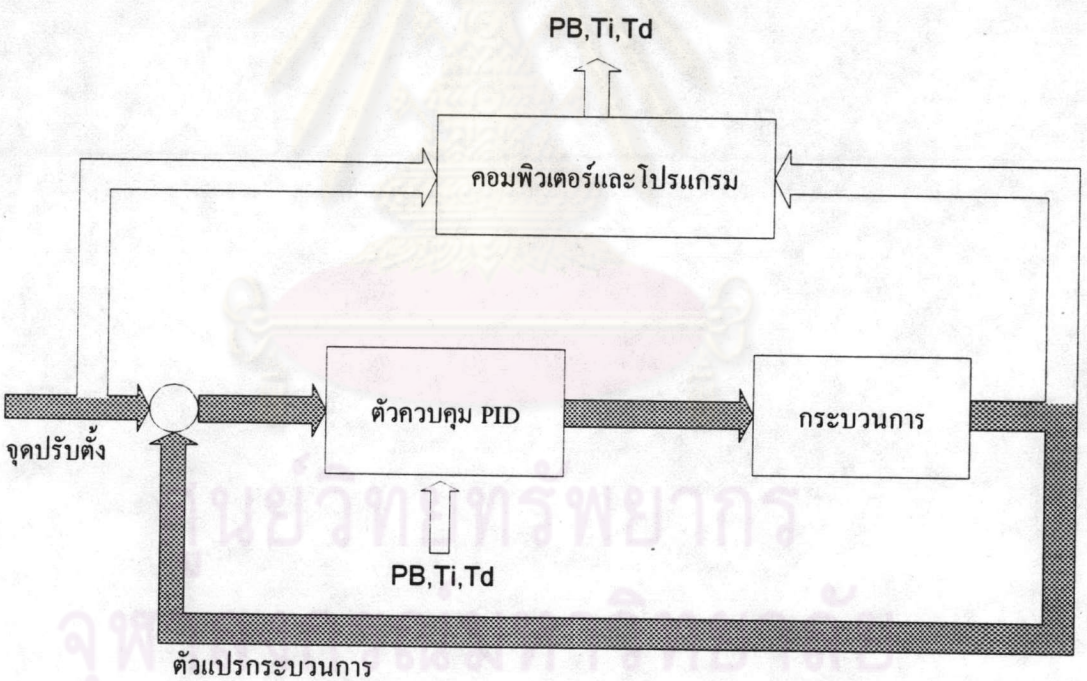
บทที่ 4

โครงสร้างของโปรแกรมการใช้ระบบฟัซซีปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID

โปรแกรมช่วยหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมแบบ PID โดยใช้ฟัซซีลอจิก ที่นำเสนอในงานวิจัยครั้งนี้ จะทำงานโดยการพ่วงคอมพิวเตอร์เข้ากับกระบวนการ ซึ่งก่อนการทำงานของโปรแกรมจำเป็นต้องมีการป้อนข้อกำหนดต่าง ๆ ที่โปรแกรมต้องการ หรือข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจ และพิจารณาผลตอบของกระบวนการ



รูปที่ 4.1 การพ่วงคอมพิวเตอร์เข้ากับระบบควบคุมกระบวนการ

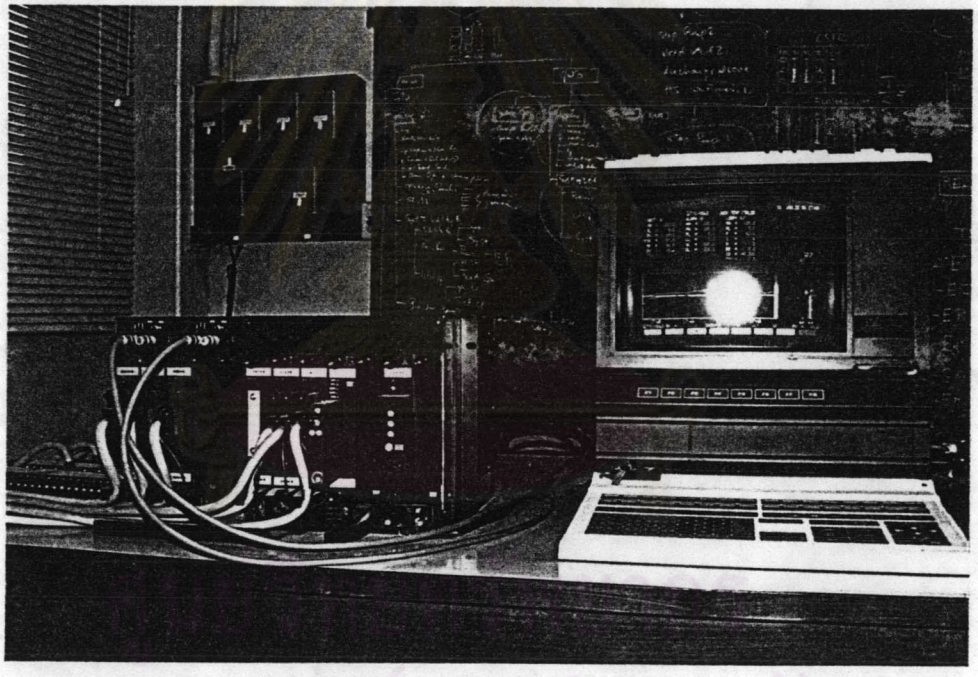
1. <u>การอ่านข้อมูลเข้าเครื่อง</u>

ในงานวิจัยครั้งนี้ เลือกใช้การ์ดแปลงสัญญาณ (A/D Converter) ซึ่งมีความละเอียด 12 Bits โดยรับสัญญาณมาตรฐานที่มีระดับแรงดัน 1-5 V โปรแกรมมีคาบเวลา

ชักตัวอย่าง (Sampling Time) เท่ากับ0.1 วินาที ซึ่งเป็นคาบเวลาที่เร็วที่สุดที่นิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรม ในการอ่านค่าจุดปรับตั้งและตัวแปรกระบวนการเข้าสู่คอมพิวเตอร์

2. ตัวควบคุมกระบวนการ

ในงานวิจัยครั้งนี้ เลือกใช้ ระบบควบคุมแบบกระจาย (Distributed Control System หรือ DCS) รุ่น μXL ของบริษัท Yokogawa เป็นตัวควบคุมกระบวนการ สัญญาณที่ใช้เป็นสัญญาณมาตรฐาน คือ สัญญาณเข้าเป็นแบบระดับแรงดัน 1-5 V และสัญญาณออกเป็นสัญญาณกระแสขนาด 4-20 mA คาบเวลาชักตัวอย่างที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ เลือกใช้ 0.2 s ซึ่งเป็นคาบเวลาที่เร็วที่สุดที่สามารถเลือกใช้ในตัวควบคุมกระบวนการนี้



รูปที่ 4.2 ระบบควบคุมแบบกระจาย (DCS) รุ่น μXL ของบริษัท Yokogawa

3. โครงสร้างโดยรวมของโปรแกรม

การออกแบบโปรแกรมหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมนี้ ออกแบบมาสำหรับการใช้งานบนโปรแกมปฏิบัติการ Microsoft Window 3.1 ทำให้ใช้งานได้ง่าย ซึ่งหน้าจอแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ หน้าจอส่วนป้อนข้อกำหนดต่าง ๆ และหน้าจอส่วนแสดงสถานะ และข้อมูลแก่ผู้ใช้ การทำงานของโปรแกรมเริ่มจาก

1. ผู้ใช้กำหนดชนิดของตัวควบคุมที่ใช้อยู่ ซึ่งสามารถเลือกได้ 2 อย่าง คือ Standard Type (Series) และ Independent Gain Adjustment Type (Parallel)

2. ผู้ใช้เลือกลักษณะของการควบคุมที่ต้องการ ซึ่งได้แก่ PI หรือ PID

3. ผู้ใช้เลือกข้อกำหนดสมรรถนะที่ต้องการ ได้แก่ Overshoot about 5 %, Overshoot about 10 %, Overshoot about 15 % และ Quarter Decay Ratio

4. หลังจากกำหนดข้อมูลที่โปรแกรมต้องการดังข้อ 1-3 เรียบร้อยแล้วโปรแกรมจะทำการบอกผู้ใช้ให้ปรับตั้งระบบควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติ ทำการป้อนค่าปรับตั้งแบบขั้นบันได และรอเก็บผลตอบทั้งหมด

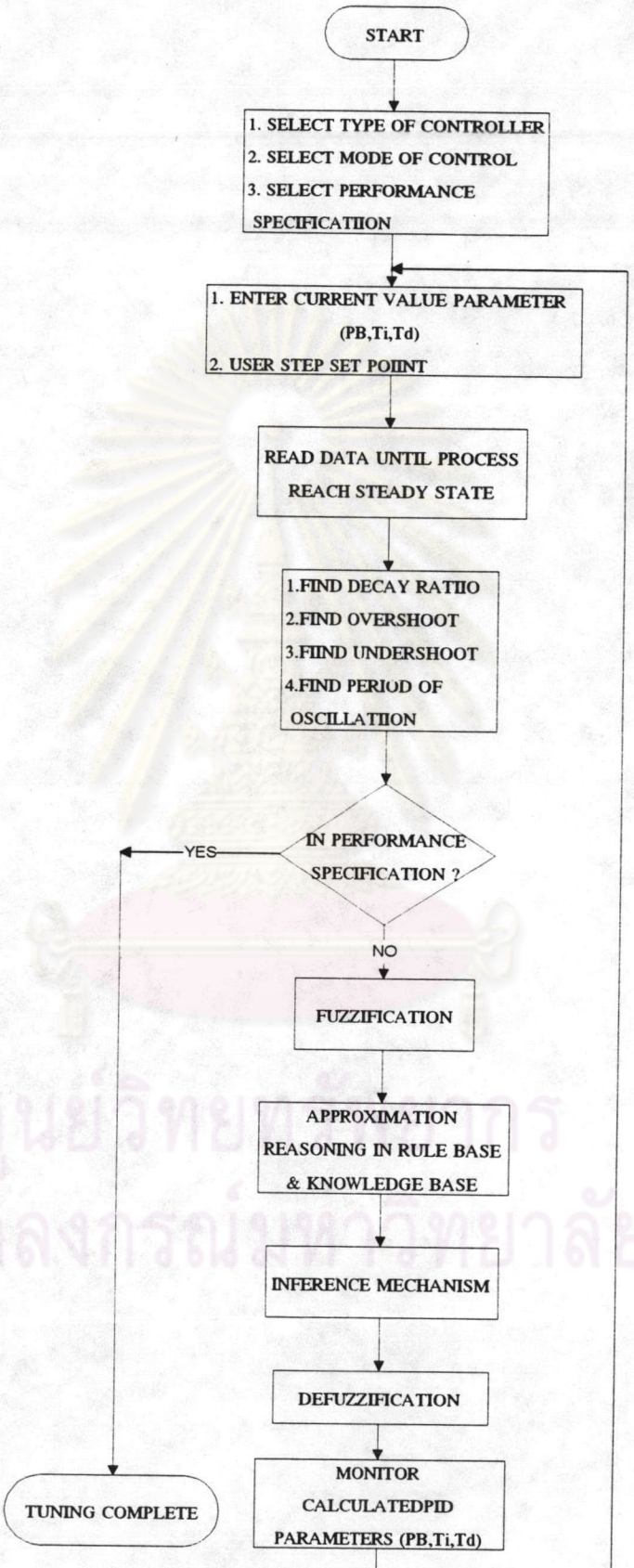
5. โปรแกรมจะนำข้อมูลทั้งหมดในข้อ 4 มาตรวจสอบผลตอบของกระบวนการเปรียบเทียบกับข้อกำหนดสมรรถนะที่ต้องการ

6. ถ้าลักษณะของผลตอบไม่อยู่ในข้อกำหนดสมรรถนะ โปรแกรมจะคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ PID ที่ควรปรับ และกลับไปเริ่มต้นทำงาน ในข้อ 4-6 อีกครั้ง

การใช้งานของโปรแกรมแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

ผังการทำงานโดยรวมของโปรแกรมสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ผังการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด

แนวทางการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยผู้เชี่ยวชาญ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทก่อน ๆ ว่า การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มีอยู่ 3 วิธีหลัก ๆ คือ 1.ใช้กฎการปรับค่าของ Zigler-Nichol และ Cohen Coon 2.ใช้ตัวควบคุมชนิดปรับค่าพารามิเตอร์ได้ด้วยตัวเอง (Self Tuning Controller) 3.ใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) ในวิธีแรกนั้นมีข้อเสียคือ เป็นการหาค่าโดยประมาณ ไม่มีการกล่าวถึงรูปแบบของตัวควบคุม และ ในขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์มีการรบกวนกระบวนการอย่างรุนแรง ซึ่งในทางปฏิบัติกระทำได้ยากหรือไม่สามารถกระทำได้ ส่วนวิธีที่สองนั้นเป็นโปรแกรมเฉพาะของตัวควบคุมของแต่ละบริษัทผู้ผลิตไม่สามารถใช้กับตัวควบคุมของบริษัทผู้ผลิตรายอื่น ๆ ได้ การทำงานของตัวควบคุมชนิดที่สองของบริษัทผู้ผลิตบางรายจะทำการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการก่อน โดยการป้อนสัญญาณทดสอบเข้าไปในกระบวนการแล้วสังเกตผลตอบสนอง และ ทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวควบคุมพีไอดีจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่หาได้ ซึ่งข้อเสียเปรียบของวิธีนี้ก็คือ จะต้องมีการใส่สัญญาณทดสอบเข้าไปรบกวนกระบวนการ ต้องการอัลกอริธึมในการหาแบบจำลองให้มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกระบวนการจริงให้มากที่สุด ซึ่งต้องอาศัยการคำนวณเชิงตัวเลขที่ยุ่งยากซับซ้อนและใช้เวลามากและเสถียรภาพของกระบวนการก็ยังเป็นที่วิจัยกันอยู่ว่ามีมากน้อยเพียงใดและทำอย่างไรกระบวนการจึงมีเสถียรภาพ [12],[13]

ส่วนในวิธีสุดท้ายนั้น เป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุดในกระบวนการอุตสาหกรรมจริงแต่ในการปรับค่านั้นต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญเป็นอย่างสูง แต่ข้อดีของวิธีนี้คือ ขั้นตอนการปรับค่ามีการรบกวนกระบวนการน้อย ผลตอบสนองที่ได้เป็นไปตามต้องการอย่างแท้จริงเนื่องจากพิจารณาจากผลตอบของระบบควบคุมวงปิดโดยตรง และ จากการพิจารณาแนวโน้มของผลตอบในการปรับค่าพารามิเตอร์ในแต่ละครั้ง โอกาสที่จะทำให้กระบวนการขาดเสถียรภาพจึงมีน้อย

เนื่องจากผู้ที่มีประสบการณ์ และความชำนาญนั้นหาได้ยากยิ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการรวบรวมหลักการ และกฎเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาปรับค่าพารามิเตอร์ของผู้เชี่ยวชาญมาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID แทน โดยนำเอาระบบฟัซซีลอจิกมาเป็นตัวแทนความรู้ และการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญได้อย่างเหมาะสม

ในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงหลักการ และ กฎเกณฑ์ที่ผู้เชี่ยวชาญใช้ในการพิจารณาปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID

1. การพิจารณาการปรับค่า PID จากผลตอบของกระบวนการ [2],[14],[15],[16],[17]

รูปที่ 4.4 แสดงถึงผลการควบคุมกระบวนการของตัวควบคุมแบบ PI ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างกัน พิจารณาที่รูปมุมบนซ้าย (1,1) แสดงถึงผลตอบสนองแบบวงปิดเมื่อ PB และ T_i มีค่ามากเกินไป จะเห็นว่าผลตอบสนองจะช้า และมีลักษณะเป็นแบบหน่วงขาด (Overdamped) ไม่มีการแกว่ง (Oscillation) และค่าผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัว (Steady State Error) มีค่ามาก

พิจารณาในแนวตั้งจากบนลงล่างของรูปที่ พบว่าเมื่อลดค่า PB ผลตอบสนองแบบวงปิดของกระบวนการจะค่อย ๆ เกิดการแกว่งมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่ค่าผิดพลาดในสภาวะอยู่ตัวจะมีค่าลดลง และลดค่า PB ถึงค่าหนึ่ง ผลตอบสนองแบบวงปิดของกระบวนการจะเกิดการแกว่งแบบคงที่ (Unity Oscillation) และระบบขาดเสถียรภาพ

พิจารณาในแนวนอนจากซ้ายมือไปขวามือ พบว่าการลดค่า T_i จะทำให้ค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวหมดไป แต่ถ้าลดค่า T_i ไปเรื่อยๆระบบจะเกิดการแกว่ง และขาดเสถียรภาพในที่สุด

รูปที่ 4.5 แสดงถึงผลการควบคุมกระบวนการของตัวควบคุมแบบ PID ที่มีการปรับค่า T_d ต่าง ๆ กัน ซึ่งจะเห็นว่าการเพิ่มค่า T_d จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่ถ้า T_d มีค่ามากเกินไป ผลตอบสนองแบบวงปิดจะช้าและแกว่งเล็กน้อย ข้อควรระวังในการใช้การควบคุมแบบ derivative อีกประการหนึ่งก็คือ การควบคุมแบบ derivative จะมีความไวต่อสัญญาณรบกวน ดังนั้นกระบวนการที่มีสัญญาณรบกวนมาก การใช้การควบคุมแบบ derivative อาจทำให้กระบวนการขาดเสถียรภาพได้

2. <u>การปรับค่าพารามิเตอร์ให้ได้ผลตอบวงปิดตามที่ต้องการ</u> [2],[14],[15],[16],[17]

ในงานวิจัยครั้งนี้ เสนอการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ผลตอบสนองวงปิดตามข้อกำหนดสมรรถนะดังต่อไปนี้คือ

ผลตอบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 5 เปอร์เซนต์

ผลตอบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 10 เปอร์เซนต์

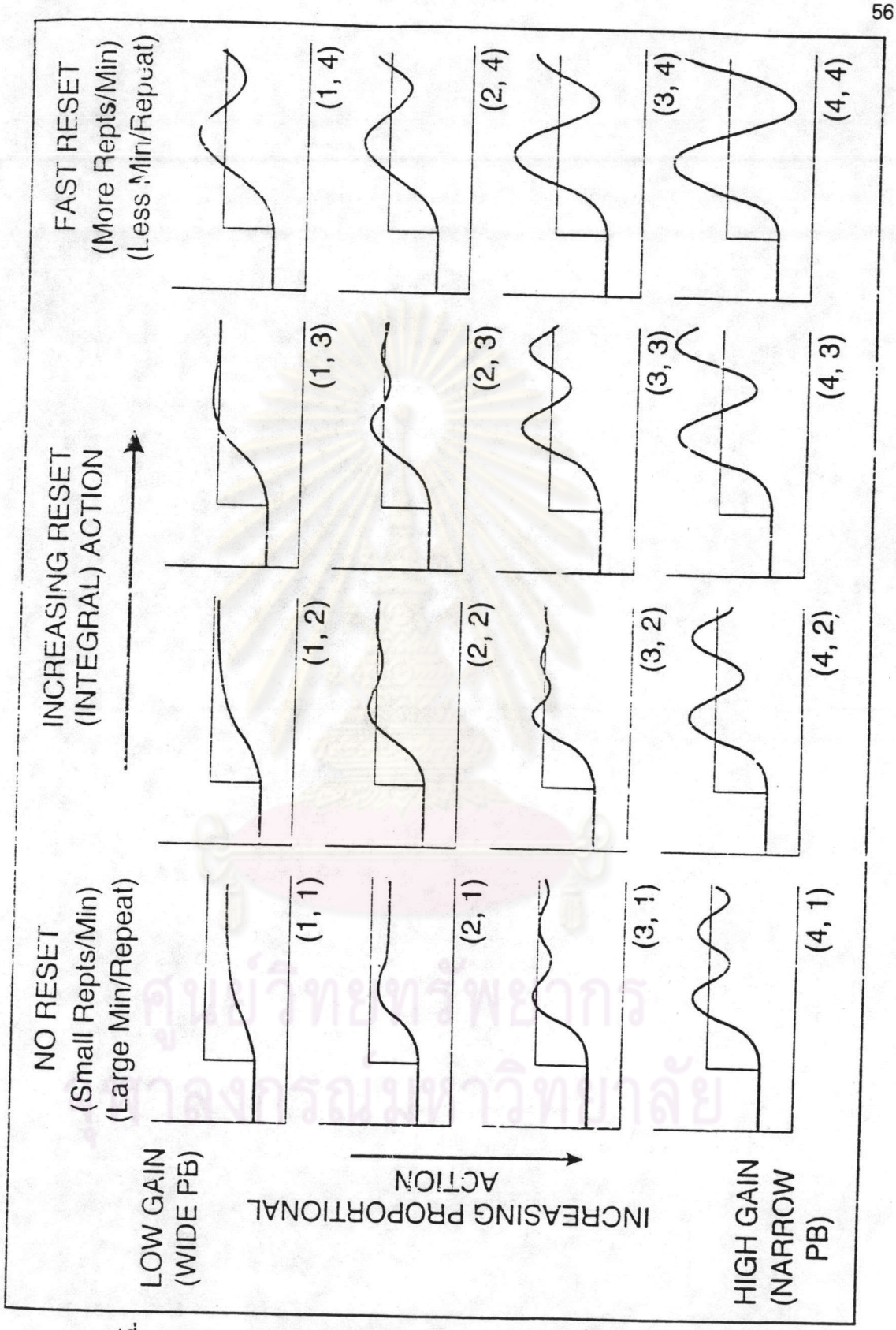
ผลตอบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 15 เปอร์เซนต์

ผลตอบที่มีการแกว่งแบบมีค่าอัตราการหน่วงเศษหนึ่งส่วนสี่(Quarter Decay Ratio)

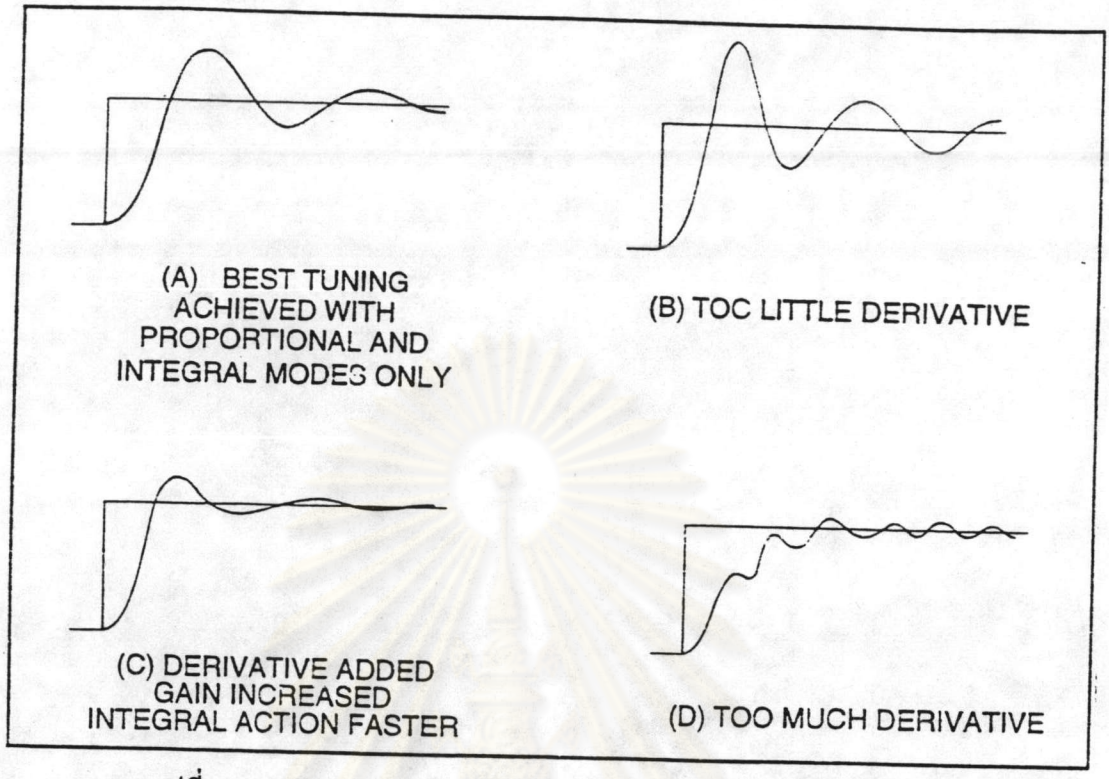
2.1 <u>ผลตอบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 5,10 หรือ 15 เปอร์เซนต์</u>

การปรับค่าพารามิเตอร์ PID ให้ได้ผลตอบสนองดังกล่าว มีขั้นตอนดังนี้คือ

1. ปรับตั้งตัวควบคุมเป็นแบบ manual mode และปรับสัญญาณออกของตัวควบคุม (MV) จนกระทั่งตัวแปรกระบวนการ (PV) มีค่าเท่ากับค่าจุดปรับตั้ง (SV) ที่จุด



รูปที่ 4.4 ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่มีต่อผลตอบสนองแบบวงปิดของกระบวนการในการควบคุมแบบ PI



รูปที่ 4.5 ผลของการควบคุมแบบ Derivative ในการควบคุมแบบ PID

ทำงานปกติ (Normal Operating Value)

2. ปรับค่า T_i ให้มีค่าสูงสุด และปรับค่า T_d ให้มีค่าต่ำสุด

3. ปรับค่า PB โดยเริ่มจากค่าสูง (ถ้าไม่ทราบให้เริ่มจาก 500 %)

4. ปรับตั้งควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติ (Automatic mode) ทดสอบกระบวนการโดยการเปลี่ยนจุดปรับตั้งเป็นขั้นบันได (Step Set point) และปรับค่า PB กระทั่งผลตอบสนองวงปิดเกิดการแกว่งแบบมีค่าอัตราการหน่วงตามต้องการ

5. ทำการวัดค่าคาบของการแกว่ง (Period of Oscillation) และทำการปรับค่า T_i=0.67×(Period of Oscillation)และปรับค่า PB เพิ่มขึ้น 33 เปอร์เซนต์จากค่าเดิมในข้อ 4

6. ถ้าต้องการนำการควบคุมแบบ Derivative เข้าใช้งานด้วย ให้ปรับค่า T_d เป็นหนึ่งในสิบเท่าของค่า T_i จากนั้นให้ลดค่า PB ลง 25 เปอร์เซนต์ และลดค่า T_i เป็นสองในสามส่วนของค่าที่ใช้ในการควบคุมแบบปราศจากการควบคุมแบบ Derivative

7. ทำการปรับละเอียด (Fine Tune) โดยพิจารณาจากค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด ว่ามีค่าประมาณ 5 หรือ 10 หรือ 15 เปอร์เซ็นต์หรือยัง โดยที่การลดค่า PB และค่า T_i จะทำให้ค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุดเพิ่มขึ้น และในทางกลับกัน การเพิ่มค่า PB และค่า T_i จะทำให้ค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุดลด

ลง ส่วนการที่จะเลือกว่าควรปรับค่า Propotional Band หรือ T_i นั้น พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของการแกว่ง ถ้ามีค่าต่ำกว่าค่าตัวแปรกระบวนการในสภาวะอยู่ตัว แสดงว่า T_i มีค่ามากเกินไป

ส่วนการปรับละเอียดค่า T_d นั้น พิจารณาจากสัญญาณรบกวนของกระบวนการเป็นหลัก แต่ถึงอย่างไรก็ตามไม่ควรมีค่าเกินหนึ่งในสี่เท่าของค่า T_i

2.2 <u>ผลตอบที่มีการแกว่งแบบมีค่าอัตราการหน่วงเศษหนึ่งส่วนสี่</u>

ลักษณะผลตอบสนองที่มีการแกว่งแบบมีค่าอัตราการหน่วงเศษหนึ่งส่วนสี่ แสดงดังในรูปที่ 4.6 การปรับค่าพารามิเตอร์ PID ให้ได้ผลตอบสนองดังกล่าว มีขั้นตอนดังนี้คือ

1. ปรับตั้งตัวควบคุมเข้าเป็นแบบ manual mode และปรับสัญญาณออกของตัวควบคุม (MV) จนกระทั่งตัวแปรกระบวนการ (PV) มีค่าเท่ากับค่าจุดปรับตั้ง (SV) ที่จุดทำงานปกติ (Normal Operating Value)

2. ปรับค่า T_i ให้มีค่าสูงสุด และปรับค่า T_d ให้มีค่าต่ำสุด

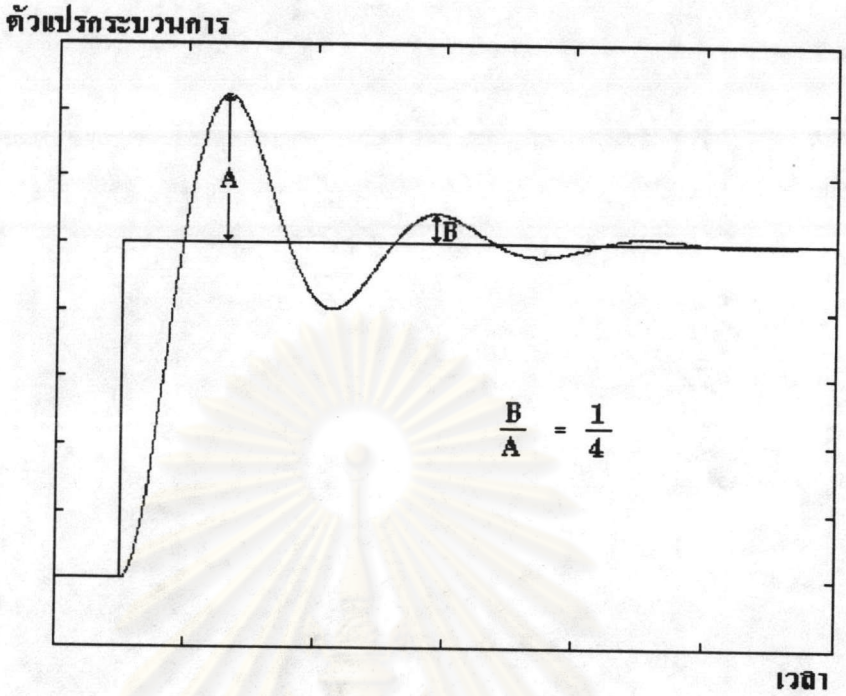
3. ปรับค่า PB โดยเริ่มจากค่าสูง (ถ้าไม่ทราบให้เริ่มจากประมาณ 500 %)

4. ปรับตั้งตัวควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติ (Automatic mode) ทดสอบกระบวนการโดยการเปลี่ยนจุดปรับตั้งเป็นขั้นบันได (Step Set point) และปรับค่า PB กระทั่งผลตอบสนองวงปิดเกิดการแกว่งแบบมีค่าอัตราการหน่วงตามต้องการ

5. ทำการวัดค่าคาบของการแกว่ง (Period of Oscillation) และทำการปรับค่า T_i=0.67×(Period of Oscillation) และปรับค่า PB เพิ่มขึ้น 33 เปอร์เซนต์จากค่าเดิมในข้อ 4

6. ถ้าต้องการนำการควบคุมแบบ Derivative เข้าใช้งานด้วย ให้ปรับค่า T_d เป็นหนึ่งในสิบของค่า T_i จากนั้นให้ลดค่า PB ลง 25 เปอร์เซนต์ และลดค่า T_i เป็นสองในสามส่วนของค่าที่ใช้ในการควบคุมแบบปราศจากการควบคุมแบบ Derivative

7. ทดสอบระบบควบคุมโดยการปรับละเอียดอีกครั้ง โดยที่พิจารณาคาบของการแกว่งที่เหมาะสมจะต้องมีค่าประมาณดังนี้คือ



รูปที่ 4.6 ลักษณะผลตอบสนองที่มีการแกว่งแบบมีค่าอัตราการหน่วงเศษหนึ่งส่วนสี่

การควบคุมแบบ PI

$1.5 \times T_i <$ คาบของการแกว่ง $< 2 \times T_i$

การควบคุมแบบ PID

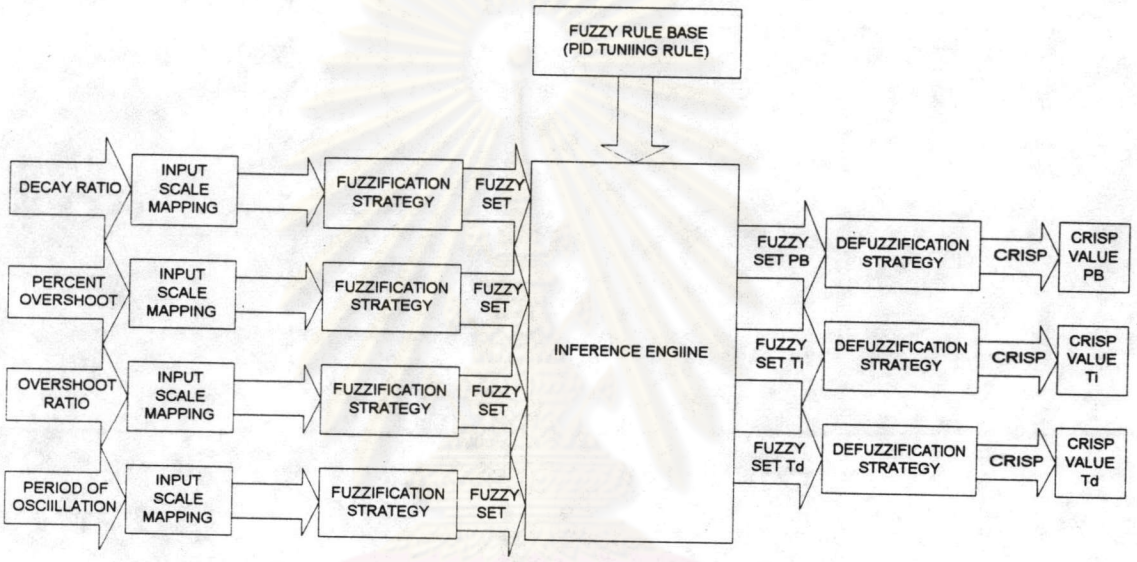
$2 \times T_i <$ คาบของการแกว่ง $< 3.33 \times T_i$

ถ้าคาบของการแกว่งมีค่ามากกว่าขอบเขตบน ($2 \times T_i$ ในกรณี PI และ $3.33 \times T_i$ ในกรณี PID) ชี้ให้เห็นว่าค่าของ T_i มีค่าน้อยเกินไป ดังนั้นต้องทำการเพิ่มค่า T_i และ ลดค่า PB เป็นการชดเชย ในทางกลับกัน ถ้าคาบของการแกว่งมีค่าน้อยกว่าขอบเขตล่าง ($1.5 \times T_i$ ในกรณี PI และ $2 \times T_i$ ในกรณี PID) แสดงว่าต้องทำการลดค่า T_i และเพิ่มค่า PB ส่วนการพิจารณาค่า T_d นั้นก็เช่นเดียวกับในหัวข้อ 2.1

การออกแบบการนำเอาระบบฟัซซีเข้ามาแทนการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ

1.ระบบฟัซซี

ระบบฟัซซีที่ใช้เป็นระบบฟัซซีแบบมีตัวแปลงฟัซซีและตัวแปลงกลับฟัซซี โดยมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 โครงสร้างของระบบฟัซซีที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลขาเข้าของระบบฟัซซีมีอยู่ 4 ข้อมูล คือ 1.Decay Ratio 2.Percent Overshoot 3.Overshoot Ratio 4.Period of Oscillation ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำไปแปลงสเกลใน Input Scale Mapping เพื่อทำให้มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงสเกลจะถูกนำไปแปลงเป็นฟัซซีเซตโดย Fuzzification Strategy ส่วน Inference Engine เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการนิรนัยหาผลลัพธ์ในรูปของฟัซซีเซตของค่าพารามิเตอร์ทั้งสามของ ตัวควบคุม PID โดยอาศัยฟัซซีเซตของสัญญาณเข้า และความรู้เกี่ยวกับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ซึ่งอยู่ใน Fuzzy Rule Base ผลลัพธ์ทั้งสามจะถูกนำไปแปลงเป็นค่าตายตัวโดย Defuzzification Strategy จนได้เป็นค่าพารามิเตอร์ที่จะนำไปใช้ในการปรับตัวควบคุม PID ต่อไป

2. <u>ตัวแปลงฟัซซี</u>

รวมเอาส่วนประกอบสำคัญ 2 ประการเข้าด้วยกัน คือ

2.1 การแปลงสเกลสัญญาณขาเข้า (Input Scale Mapping)

เป็นการแปลงสเกลของสัญญาณขาเข้าให้อยู่ในย่านที่ครอบคลุมโดย Universe of Discourse ที่เราได้กำหนดไว้ คือ -10 ถึง 10 ได้แก่

(ก) ค่าอัตราการหน่วง (Decay Ratio) จากรูปที่ 4.8 ค่าอัตราการหน่วงมีค่าเท่ากับ

$$\text{Decay Ratio} = C/A$$

และค่าอัตราการหน่วงหลังผ่านการแปลงสเกล (Scaled Decay Ratio) มีค่าเท่ากับ

$$\text{Scaled Deacay Ratio} = (\text{Decay Ratio} - 0.25)\times 10/0.25$$

โดยที่ค่า 0.25 ก็คือค่าอัตราการหน่วงเศษหนึ่งส่วนสี่นั่นเอง

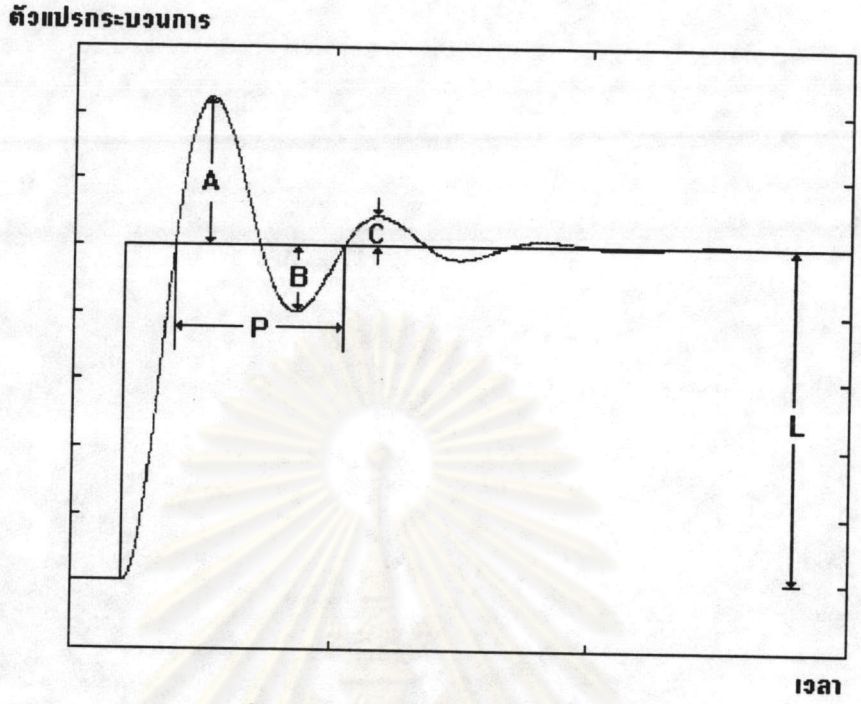
(ข) คาบของการแกว่ง (Period of Oscillation P) ซึ่งก็คือค่า P ในรูปที่ 4.8 ส่วนค่า Scaled Period of Oscillation แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่เลือกลักษณะของการควบคุมเป็นแบบ PI

$$\text{Scaled Period of Oscillation} = (P - 1.75\times T_i)\times 10/(1.75\times T_i)$$

กรณีที่เลือกลักษณะของการควบคุมเป็นแบบ PID

$$\text{Scaled Period of Oscillation} = (P - 2.65\times T_i)\times 10/(2.65\times T_i)$$



รูปที่ 4.8 สัญญาณเข้าของตัวแปลงฟัซซี

(ค) ส่วนพุ่งเกินสูงสุด (Maximum Overshoot OS) จากรูปที่ 4.8 ส่วนพุ่งเกินสูงสุดมีค่าเท่ากับ

$$OS = (A-L)\times 100/L \quad \%$$

โดยที่ค่า Scaled Maximum Overshoot แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ

กรณีที่เลือกข้อกำหนดสมรรถนะส่วนพุ่งเกินสูงสุด 5 %

$$\text{Scaled Maximum Overshoot} = (OS-5)\times 10/5$$

กรณีที่เลือกข้อกำหนดสมรรถนะส่วนพุ่งเกินสูงสุด 10 %

$$\text{Scaled Maximum Overshoot} = (OS-10)\times 10/10$$

กรณีที่เลือกข้อกำหนดสมรรถนะส่วนพุ่งเกินสูงสุด 15 %

Scaled Maximum Overshoot = (OS-15)×10/15

(ง) อัตราส่วนของส่วนพุ่งเกิน (Overshoot Ratio OSR) จากรูปที่ 4.8 มีค่าเท่ากับ

OSR = B/A

และ

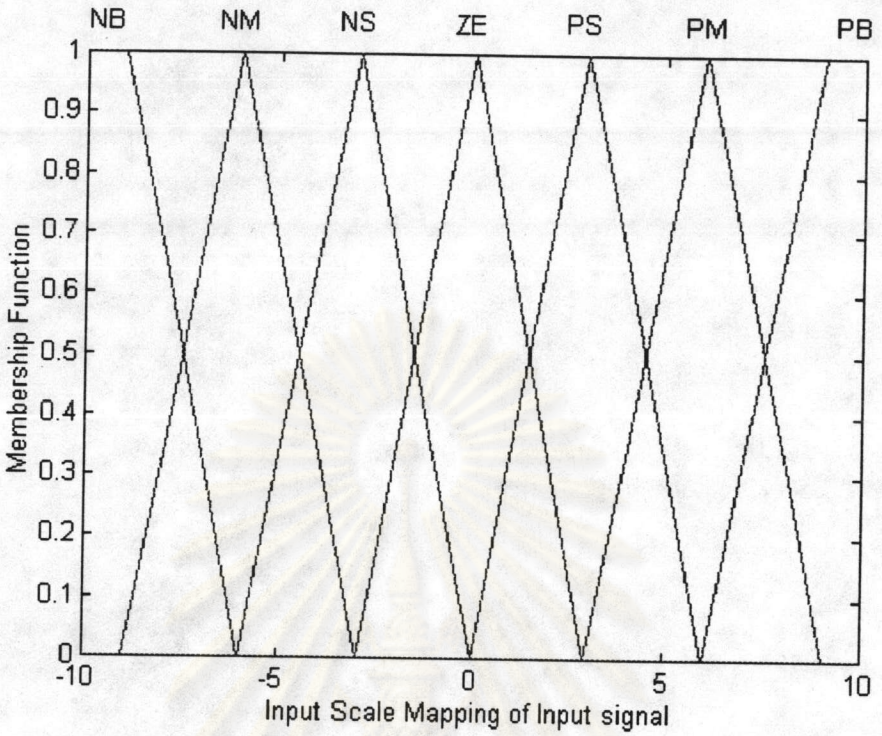
Scaled OSR = (OSR-1)×10/1

2.2 ทำการแปลงค่าที่ได้ให้เป็นฟัซซีเซต

การแบ่ง Universe of Discourse ของสัญญาณขาเข้าของระบบฟัซซี เราแบ่งเป็นจำนวนจริงที่มีค่าอยู่ระหว่าง -10 ถึง 10 และ แบ่ง UOD ดังกล่าวเป็นช่วง โดยให้แต่ละช่วงมีขนาดเท่ากับ 1 ซึ่งทำให้มีช่วงที่ใช้แบ่งทั้งหมด 21 ช่วง การกำหนด UOD ให้มีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าวทำให้เกิดความสะดวกในการสร้างตารางอ่านค่า และเป็นการผลักหน้าที่ไปให้ส่วนของ Input Scale Mapping ในการแปลงค่าที่แท้จริงของสัญญาณขาเข้าให้มาอยู่ในช่วงที่เหมาะสมของ UOD ที่เราได้กำหนดไว้

การแบ่งข้อมูลขาเข้าเป็นฟัซซีเซตเราแบ่งออกเป็น 7 ฟัซซีเซตได้แก่ NB (NegativeBig), NM (Negative Medium), NS (Negative Small), ZE (Zero), PS (Positive Small), PM (Positive Medium), และ PB (Positive Big) ฟัซซีเซตของสัญญาณขาเข้าหลังจากผ่านการแปลงสเกลโดย Input Scale Mapping แสดงได้ดังรูปที่ 4.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตของสัญญาณขาเข้า

3. ฐานกฎ

ฐานกฎที่เราใช้ประกอบด้วยกฎย่อย ๆ ในรูปของประโยคเงื่อนไข IF-THEN เช่น

IF (X_1 IS A AND X_2 IS B) THEN (Y_1 IS C, Y_2 IS D, Y_3 IS E)

โดยที่ A,B,C,D,E เป็นฟัซซีเซตของตัวแปร X_1,X_2,Y_1,Y_2,Y_3 ตามลำดับ เพื่อความง่ายต่อการเข้าใจเราได้สรุปฐานกฎออกมาอยู่ในรูปของตารางสำหรับตัวแปรออกแต่ละตัว

3.1 ฐานกฎของผลตอบสนองที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 5, 10, 15 %

ฐานกฎของ Proportional Band (PB)

ฐานกฎของ Proportional Band (PB) ในกรณีนี้ แสดงดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ฐานกฎที่ใช้ในการปรับค่า PB ให้ได้ผลตอบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 5, 10, 15 %

ฟัซซีเซต PB	ฟัซซีเซตของส่วนพุ่งเกินสูงสุด						
ฟัซซีเซตของอัตราส่วนของส่วนพุ่งเกิน	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS
NM	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS
NS	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS
ZE	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS
PS	ZE	ZE	ZE	ZE	PS	PS	PS
PM	ZE	ZE	ZE	ZE	PS	PS	PS
PB	ZE	ZE	ZE	ZE	PS	PS	PS

ฐานกฎของ Integral (T_i)

ฐานกฎของ Integral Time (T_i) ในกรณีนี้ แสดงดังในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ฐานกฎที่ใช้ในการปรับค่า T_i ให้ได้ผลตอบที่มีค่าส่วนพุ่งเกินสูงสุด 5, 10, 15 %

ฟัซซีเซต Ti	ฟัซซีเซตของส่วนพุ่งเกินสูงสุด						
ฟัซซีเซตของอัตราส่วนของส่วนพุ่งเกิน	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	ZE	ZE	ZE	ZE	PS	PS	PS
NM	ZE	ZE	ZE	ZE	PS	PS	PS
NS	ZE	ZE	ZE	ZE	PS	PS	PS
ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	PS	PS	PS
PS	NG	NG	NG	NG	PS	PS	PS
PM	NG	NG	NG	NG	PS	PS	PS
PB	NG	NG	NG	NG	PS	PS	PS

3.2 <u>ฐานกฎของผลตอบสนองที่มีการแกว่งแบบมีค่าอัตราการหน่วงเศษหนึ่งส่วนสี่</u>

<u>ฐานกฎของ Proportional Band (PB)</u>

ฐานกฎของ Proportional Band (PB) ในกรณีนี้ แสดงดังในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ฐานกฎที่ใช้ในการปรับค่า PB ให้ได้ผลตอบที่มีการแกว่งแบบมีค่าอัตราการหน่วงเศษหนึ่งส่วนสี่

ฟัซซีเซต PB	ฟัซซีเซตของค่าอัตราการหน่วงของผลตอบ						
ฟัซซีเซตของคาบของการแกว่งของผลตอบ	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS
NM	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS
NS	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS
ZE	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS
PS	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS
PM	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS
PB	NG	NG	NG	ZE	PS	PS	PS

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ฐานกฎของของ Integral Time (T_i)</u>

ฐานกฎของ Integral Time (T_i) ในกรณีนี้ แสดงดังในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ฐานกฎที่ใช้ในการปรับค่า T_i ให้ได้ผลตอบที่มีการแกว่งแบบมีค่าอัตราการหน่วงเศษหนึ่งส่วนสี่

ฟัซซีเซต Ti	ฟัซซีเซตของค่าอัตราการหน่วงของผลตอบ						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
NM	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
NS	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS
PM	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS
PB	PS	PS	PS	PS	PS	PS	PS

ฟัซซีเซตของคาบของการแกว่งของผลตอบ

4. กลไกการนิรนัยความจริง และลอจิกการตัดสินใจ

ส่วนนี้เกี่ยวข้องกับ การเลือกใช้ ตัวดำเนินการ ที่จะใช้ในการให้เหตุผลโดยประมาณ โดยทฤษฎีของฟัซซีลอจิก โดยเกี่ยวข้องกับ

4.1 การเลือกฟัซซีอิมพลิเคชันฟังก์ชัน หรือกฎการนิรนัย

จากบทที่ 3 กฎการนิรนัยแบบ Rc Rp และ Rs เป็นแบบที่เหมาะสมสำหรับการให้เหตุผลโดยประมาณ โดย Rs เป็นแบบที่ให้เหตุผลได้สอดคล้องกับสามัญสำนึกของมนุษย์มากที่สุด ส่วน Rc และ Rp นั้นสอดคล้องกับสามัญสำนึกพอสมควร แต่จากการทดลองใช้งานพบว่า Rs ไม่สามารถใช้ในงานวิจัยนี้ได้ (ดูภาคผนวก ง.) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กฎการนิรนัยแบบ Rp

4.2 การเลือกตัวดำเนินการเชื่อมประโยค AND และ ALSO

ตัวดำเนินการ AND ในงานวิจัยนี้เลือกตัวดำเนินการ Intersection สำหรับใช้เป็นตัวดำเนินการ AND

ตัวดำเนินการ ALSO ใช้ตัวดำเนินการ Union ซึ่งทำให้การคำนวณทำได้อย่างรวดเร็วเพราะสามารถแยกคิดผลลัพธ์เนื่องจากกฎย่อย ๆ แล้วค่อยนำผลลัพธ์มารวมกันด้วยตัวดำเนินการ Union ให้เป็นผลลัพธ์รวมในภายหลังได้

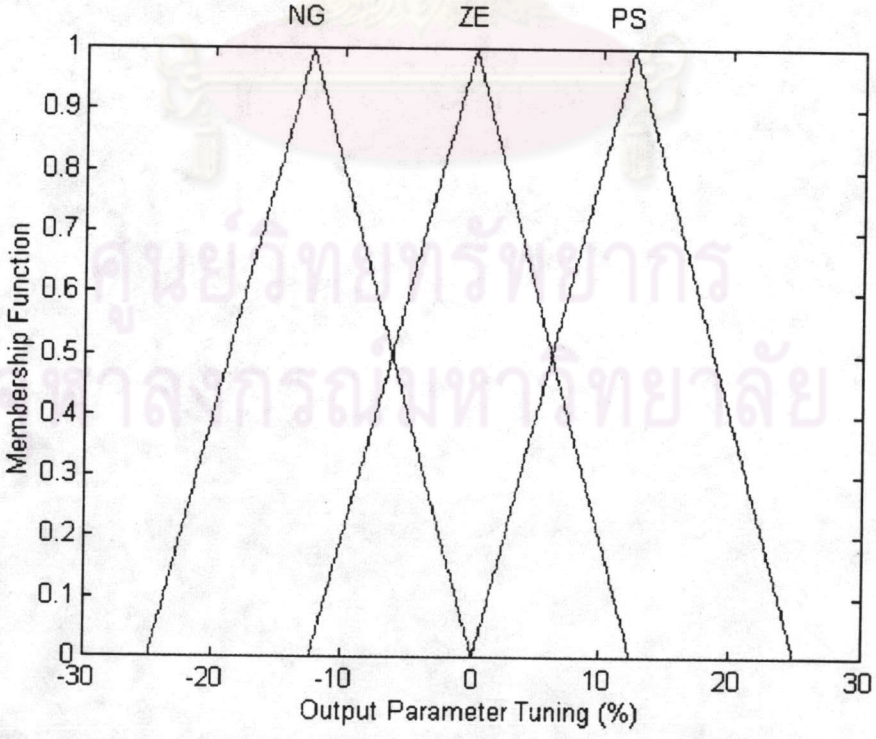
4.3 การเลือกตัวดำเนินการผสม

ตัวดำเนินการผสมที่ใช้กันทั่วไปในระบบฟัซซีเป็นตัวดำเนินการผสมแบบซูปรีมัม-ที ซึ่งอาจมีได้หลายแบบ เช่น ตัวดำเนินการผสมแบบซูปรีมัม-มินิมัม ซูปรีมัม-โพรดักส์ เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เราเลือกตัวดำเนินการแบบซูปรีมัม-มินิมัม เป็นตัวดำเนินการผสมเพราะความสะดวกง่ายดายในการคำนวณ

5. ตัวแปลงกลับฟัซซี

ในส่วนนี้ทำหน้าที่แปลงฟัซซีเซตขาออกให้เป็นค่าตายตัว โดยฟัซซีเซตของสัญญาณขาออก เราแบ่งออกเป็น 3 ฟัซซีเซต ได้แก่ NG (Negative), ZE (Zero) และ PS (Positive) ซึ่งมีความหมายคือ มีค่าน้อยกว่าปกติ มีค่าตามปกติ และมีค่ามากกว่าปกติ ตามลำดับ ส่วน UOD ของสัญญาณขาออกนั้นเรากำหนดอยู่ในช่วง -25 ถึง +25 เปอร์เซนต์ เพื่อจำกัดค่าการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ไม่ให้มีค่าเกิน 25 เปอร์เซนต์ เพื่อป้องกันไม่ให้กระบวนการขาดเสถียรภาพ ฟัซซีเซตของสัญญาณขาออกแสดงได้ดังในรูปที่ 4.10

ตัวแปลงฟัซซีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้วิธีจุดศูนย์กลางของพื้นที่ หรือ Center of Area (COA) ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 หัวข้อที่ 6



รูปที่ 4.10 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตของสัญญาณขาออก