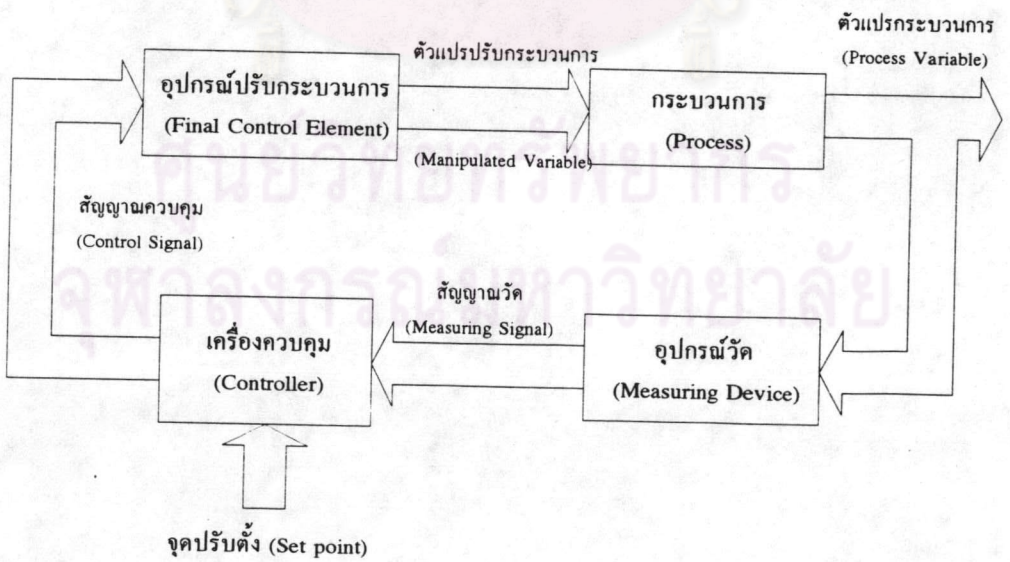
บทที่ 2

ตัวควบคุมกระบวนการแบบ PID

ในกระบวนการผลิตที่ทำงานโดยอัตโนมัติทั่วไป จำเป็นต้องมีตัวควบคุมกระบวนการ ซึ่งการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ก็มีมากมายหลายแบบ ตั้งแต่การควบคุมกระบวนการแบบง่าย ๆ (Single -Loop Control) จนถึงการควบคุมกระบวนการแบบซับซ้อน แต่ถ้ามองลงไปยังส่วนย่อยของตัวควบคุมกระบวนการแล้ว มักพบว่าประกอบไปด้วยตัวควบคุมกระบวนการแบบ PID ทั้งสิ้น น้อยครั้งที่จะพบการควบคุมกระบวนการแบบอื่น ๆ ในบทนี้จะขอกล่าวถึงตัวควบคุมแบบ PID รวมทั้งการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

<u>องค์ประกอบของการควบคุม</u>

ก่อนที่จะกล่าวถึงตัวควบคุม และการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม จำเป็นที่จะต้องกล่าวถึงองค์ประกอบของระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมเสียก่อน ระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบสำคัญของระบบควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรม

1. กระบวนการ (Process) หมายถึง กระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะตามต้องการ สถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process Variable) การควบคุมสถานะของกระบวนการทำได้โดยการปรับ หรือ เปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Variable) ในทิศทางที่ทำให้ตัวแปรกระบวนการมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามต้องการ

2. อุปกรณ์วัด (Measuring Device) เป็นอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณขาออก หรือ สัญญาณวัด (Measuring Signal) ซึ่งมีขนาดสัมพันธ์กับตัวแปรทางฟิสิกส์ที่ต้องการวัดหรือตัวแปรกระบวนการ โดยทั่วไปสัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดจะเป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA_{dc}, 1-5 V_{dc}, หรือสัญญาณลม 3-15 psi.

3. เครื่องควบคุมหรือตัวควบคุม (Controller) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คำนวณหาสัญญาณขาออก หรือสัญญาณควบคุม (Control Signal) จากสัญญาณขาเข้า ได้แก่ สัญญาณวัดและจุดปรับตั้ง (Set Point) โดยอาศัยกฎเกณฑ์การควบคุม (Control Law) ที่ถูกกำหนดไว้ก่อนล่วงหน้าแล้ว

4. อุปกรณ์ปรับกระบวนการ (Final Control Element) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ ตามคำสั่ง หรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม

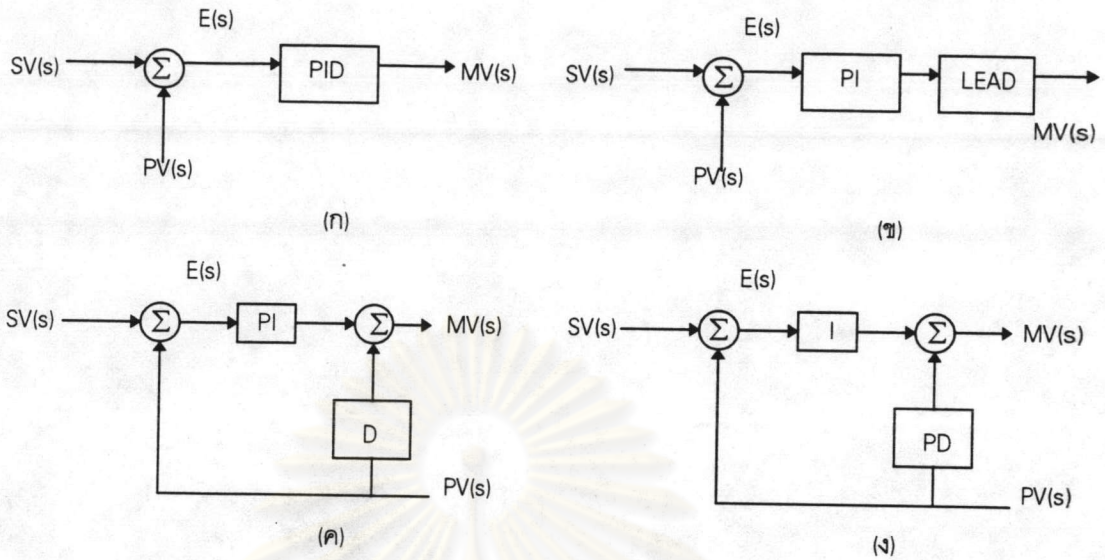
ตัวควบคุมแบบพีไอดีคืออะไร

ตัวควบคุมกระบวนการแบบพีไอดี คือ ตัวควบคุมชนิดหนึ่งในการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ทำหน้าที่นำสัญญาณเอาท์พุทของกระบวนการมาเปรียบเทียบกับสัญญาณจุดปรับตั้งที่กำหนด และคำนวณตามกฎเกณฑ์การควบคุมแบบ PID ซึ่งประกอบด้วยการคำนวณ 3 ส่วน คือ Proportional , Integral และ Derivative สัญญาณควบคุมที่ได้จากตัวควบคุมกระบวนการแบบ PID ก็คือ ผลรวมของการคำนวณทั้ง 3 ส่วน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั่นเอง

รูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID

ตัวควบคุมแบบ PID พอจะแบ่งรูปแบบของตัวควบคุมตามกฎเกณฑ์ของการควบคุมออกได้เป็น4 แบบ [3] ตามรูปที่ 2.2

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 รูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID

SV(s) - จุดปรับตั้ง (Set Point หรือ Set Value)

PV(s) - สัญญาณตัวแปรกระบวนการ (Process Variable)

E(s) - ผลต่างระหว่างจุดปรับตั้งและสัญญาณป้อนกลับมีค่าเท่ากับ SV(s)-PV(s) หรือ PV(s)-SV(s)

MV(s) - สัญญาณตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Variable)

รูปแบบตามรูปที่ 2.2 ก เป็นรูปแบบที่ใช้มากในการอธิบายเพื่อความเข้าใจในหนังสือต่างๆทั่วไป แต่เป็นรูปแบบที่ไม่ค่อยได้ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตจริงๆ พารามิเตอร์แต่ละตัวจะไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนั้นการปรับค่าพารามิเตอร์ตัวใดจะไม่มีผลของพารามิเตอร์ตัวอื่นไปเกี่ยวข้องด้วย สมการของการควบคุมใน s-Domain แสดงได้ด้วยสมการที่ 2.1

$$MV(s) = (100/PB)\ (1 + 1/T_i s + T_d s)\ E(s) \qquad [2.1]$$

รูปแบบตามรูปที่ 2.2 ข. เป็นรูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID แบบเชิงอุปมาน (Analog) ทั้งนี้เนื่องจากง่ายในการออกแบบวงจรอิเลคทรอนิคส์ แต่ในปัจจุบันไม่ค่อยได้พบเห็นกันมากนัก เนื่องจากการปรับค่า PB, T_i และ T_d นั้นจะมีผลกระทบต่อกัน (Mutual Interference)

สมการของการควบคุมใน s-Domain แสดงได้ด้วยสมการที่ 2.2

$$MV(s) = (100/PB)\ (1 + 1/T_i s)\ (1 + T_d s)\ E(s)/(1 + T_d s/N) \qquad [2.2]$$

สำหรับตัวควบคุมแบบ PID ในรูปที่ 2.2 ค. และรูปที่ 2.2 ง. นั้นเป็นรูปแบบที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในเครื่องควบคุม PID ชนิดเชิงเลข (Digital PID Controller) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน รูปแบบตามรูปที่ 2.2 ค.เป็นรูปแบบที่ผลตอบสนองของกระบวนการที่มีต่อการเปลี่ยนค่าจุดปรับตั้งและสัญญาณรบกวน (Load หรือ Supply Disturbance) มีลักษณะต่างกัน ส่วนในรูปแบบที่ 2.2ง. จะมีลักษณะใกล้เคียงกัน สำหรับรูปแบบทั้งสองที่กล่าวมานั้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า Derivative Time นั้นจะมีผลเฉพาะค่าตัวแปรกระบวนการ ทั้งนี้มีข้อดีคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าจุดปรับตั้งอย่างทันทีทันใดจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของกระบวนการ สมการคณิตศาสตร์ใน s-Domain ของรูปแบบที่ 2.2 ค. แสดงได้ดังสมการที่ 2.3 ส่วนสมการคณิตศาสตร์ใน s-Domain ของรูปแบบที่ 2.2 ง. แสดงได้ตามสมการที่ 2.4

$$MV(s) = (100/PB)\ [E(s) + E(s)/T_i s + T_d s PV(s)/(1 + T_d s/n)] \qquad [2.3]$$

$$MV(s) = (100/PB)\ [PV(s) + E(s)/T_i s + T_d s PV(s)/(1 + T_d s/n)] \qquad [2.4]$$

สำหรับงานวิจัยนี้จะสนใจในรูปแบบของตัวควบคุมตามสมการที่ 2.3 เป็นพิเศษ

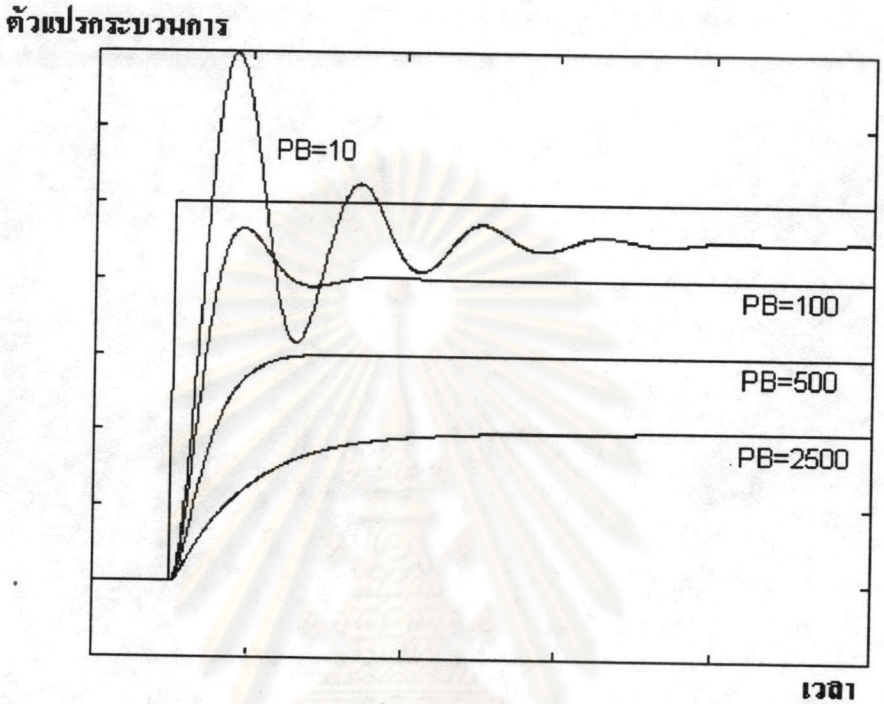
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ผลของพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID กับกระบวนการ</u>

1. ผลของ Proportional Band กับกระบวนการ

กรณีที่ระบบควบคุมเป็นแบบ P-only นั้น Proportional Band จะมีผลกับขนาดของผลตอบ ความไว (Sensitivity) และ ออฟเซต (Offset) หรือ ค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว (Steady state Error) ของผลตอบ ค่า Proportional Band ที่มากเกินไปจะมีผลทำให้เกิดค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมากขึ้น และทำให้ความไวของผลตอบลดลง ในทางตรงกันข้ามค่าของ Proportional

Band ที่น้อยเกินไปจะทำให้กระบวนการเกิดการแกว่ง หรือเข้าใกล้จุดไร้เสถียรภาพมากขึ้น รูปที่ 2.3 แสดงผลของการเพิ่มหรือลดค่า Proportional Band ต่อกระบวนการในการควบคุมแบบ P-only

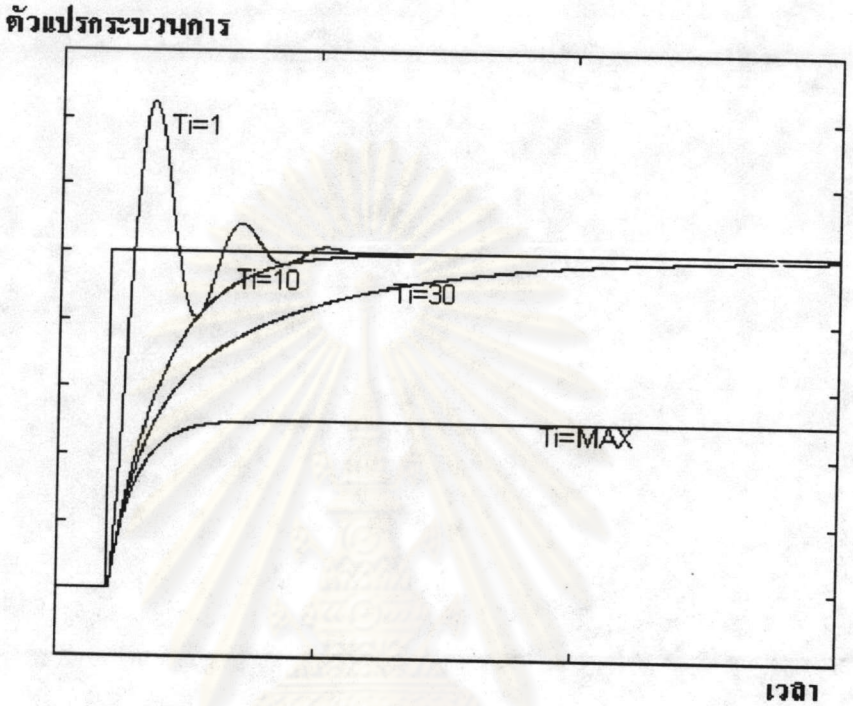


รูปที่ 2.3 ผลของ Proportional Band ที่มีต่อผลตอบของกระบวนการในการควบคุมแบบ P-only

2 ผลของ Integral Time กับกระบวนการ

สำหรับ Integral Time นั้น จะมีผลกับผลตอบในลักษณะของค่าสะสม แต่จะไม่มีผลกับผลตอบในลักษณะทันทีทันใด การลดค่า Integral Time จะมีผลทำให้ออฟเซตหรือค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวของกระบวนการลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก Integral Time จะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของความผิดพลาดสะสมของผลตอบ แต่ถ้า Integral Time ที่ตั้งให้กระบวนการนั้นมีค่าน้อยเกินไป ก็จะทำให้ผลตอบของกระบวนการเกิดการแกว่งมากขึ้น ส่วนพุ่งเกินมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สถานะอยู่ตัวนานขึ้นได้ ในทำนองกลับกันการเพิ่มค่า Integral Time จะมีผลในทางตรงกันข้ามกับที่กล่าวมาแล้ว คือจะเพิ่มค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวของผลตอบแทน ถ้าผลตอบของกระบวนการนั้นเป็นผลตอบที่มีค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว แต่ในขณะเดียวกันก็จะเป็นการลดการแกว่ง และส่วนพุ่งเกินของกระบวนการ ในกรณีที่ตั้งค่า Integral Time น้อยเกินไป เมื่อมีการเริ่มเดินเครื่องอย่างอัตโนมัติ (Automatic Start) ด้วยการควบคุมของตัวควบคุม PID ความผิดพลาด

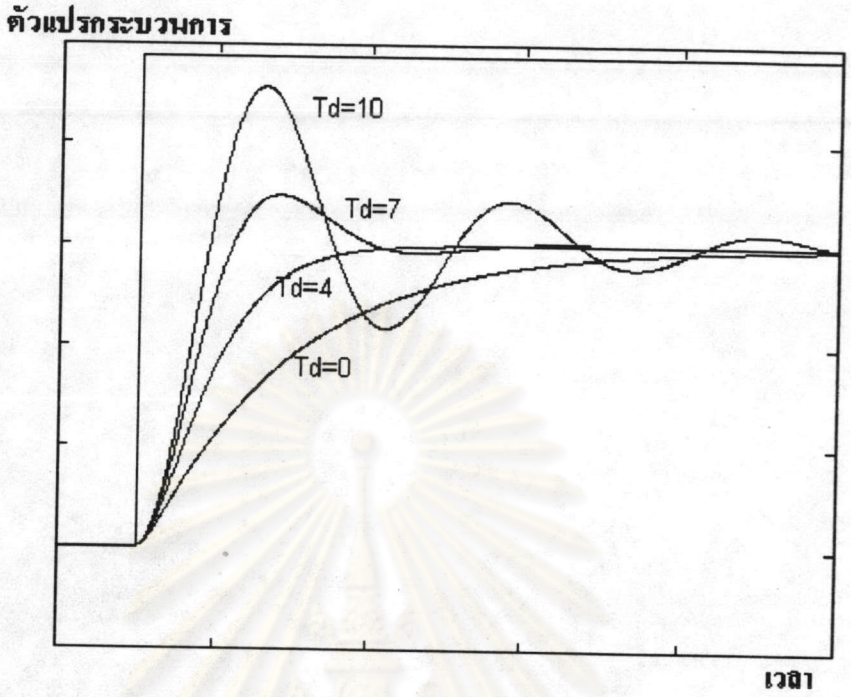
จะเกิดขึ้นเป็นเวลานาน ทำให้เทอมของ Integral มีค่าเท่ากับ 100 % รูปที่ 2.4 แสดงผลของการเพิ่มหรือลดค่า IntegralTime ในการควบคุมแบบ PI



รูปที่ 2.4 ผลของ Integral Time ที่มีต่อผลตอบของกระบวนการในการควบคุมแบบ PI

3. ผลของ Derivative time กับผลของกระบวนการ

ผลของ Derivative Action จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเข้า ซึ่งมีผลทำให้กระบวนการสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้นสำหรับตัวควบคุมแบบ PID ที่มีรูปแบบตามสมการที่ 2.3 และ 2.4 นั้น Derivative Action จะมีผลกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกระบวนการ โดยจะทำให้กระบวนการมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นแต่ Derivative Action จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าจุดปรับตั้งแต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม Derivative Action จะมีผลเสียในการควบคุมกระบวนการที่มีสัญญานรบกวนมากทั้งนี้เนื่องจาก Derivative Action จะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญานเข้าอย่างมาก ดังนั้น กระบวนการที่มีสัญญานรบกวนมาก ตัวอย่างเช่น กระบวนการควบคุมอัตราไหล หรือกระบวนการควบคุมความดัน Derivative Control อาจมีผลทำให้กระบวนการไม่มีเสถียรภาพได้ รูปที่ 2.5 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของ Derivative Action ต่อการควบคุมแบบ PD



รูปที่ 2.5 ผลของ Derivative Time ที่มีต่อผลตอบของกระบวนการในการควบคุมแบบ PD

สำหรับผลของพารามิเตอร์ทั้งสามตัวที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น เป็นการพิจารณาผลตอบของกระบวนการอย่างไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน หรือเป็นการพิจารณาทางทฤษฎีเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้ว ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้งสามกับผลตอบของกระบวนการ ยังเกี่ยวพันกับสิ่งอื่น ๆ เช่น รูปแบบของตัวควบคุม รูปแบบของการควบคุม การใช้ตัวควบคุมในลักษณะใด และเกี่ยวพันกับสภาพแวดล้อม สัญญานรบกวนที่กระบวนการได้รับอีกด้วย ดังนั้นในการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยปกติต้องอาศัยความคุ้นเคยและเคยความชำนาญกับกระบวนการหรือตัวควบคุมแบบนั้น ๆ เป็นอย่างมาก

5. <u>การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน</u>

ตามที่กล่าวมาแล้วว่า การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมักจะใช้วิธีลองผิดลองถูก ซึ่งการปรับค่าด้วยวิธีนี้นั้น จำเป็นอย่างมากที่ต้องอาศัยความชำนาญประสบการณ์และความคุ้นเคยกับกระบวนการเป็นอย่างสูง อย่างไรก็ตามก็มีการวิจัยหาวิธีที่จะช่วยหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ถึงแม้ว่าวิธีเหล่านี้จะปฏิบัติได้อย่างค่อนข้างลำบากในกระบวน

ที่แท้จริงก็ตาม ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID ที่เป็นที่นิยมและคุ้นเคยกันเป็นอย่างมากสำหรับผู้ที่อยู่ในวงการนี้ วิธีที่กล่าวถึงได้แก่วิธีที่นำเสนอโดย Ziegler and Nichols และ Cohen and Coon

Ziegler and Nichols และ Cohen and Coon เสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการควบคุมแบบ PID โดยได้ศึกษาผลของ Proportional Band , Integral time และ Derivative time ที่มีผลต่อการควบคุมกระบวนการ และเสนอการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของการควบคุมแบบ PI และแบบ PID ไว้ โดย Ziegler and Nichols เสนอทั้งวิธีการหาจากผลตอบแบบวงรอบปิด และการหาค่าพารามิเตอร์จากผลตอบแบบวงรอบเปิด ส่วน Cohen and Coon เสนอการหาค่าพารามิเตอร์จากผลตอบแบบวงรอบเปิด ซึ่งจะขอสรุปวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของ Ziegler-Nichols และ Cohen-Coon ไว้โดยย่อดังนี้

<u>วิธีวงรอบปิด (Closed-Loop Method) ของ Ziegler and Nichols</u>

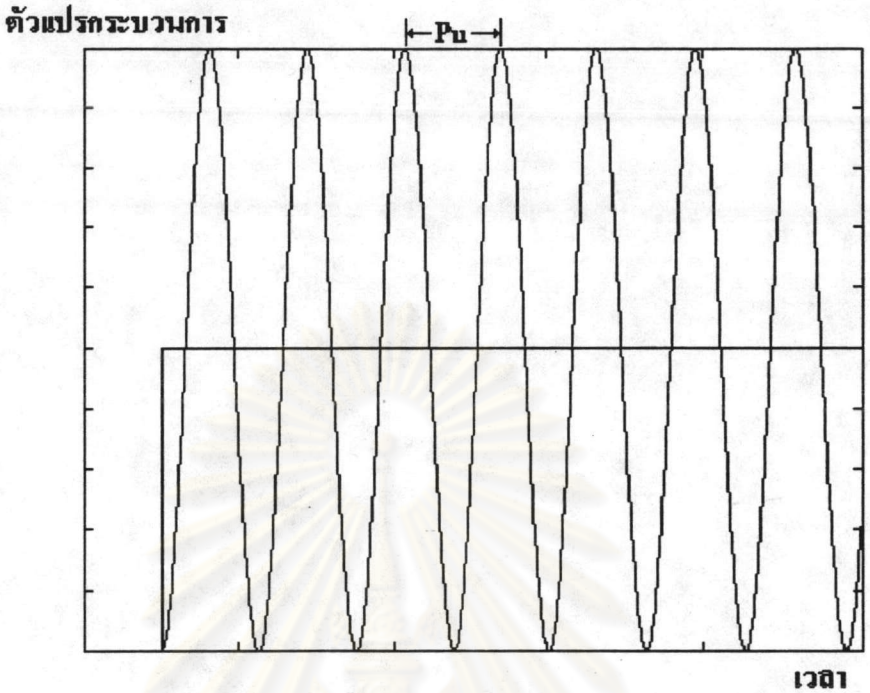
ในการหาค่าพารามิเตอร์แบบวงรอบปิดของ Ziegler และ Nichols นั้น จะขอนิยามคำจำกัดความของตัวแปรที่ต้องหาค่าก่อนการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม 2 ตัว ดังนี้

S_u (Ultimate Sensitivity) คือค่าของ Proportional Band ที่ทำให้ผลตอบในขณะวงรอบปิดแกว่งจนกระทั่งค่าอัตราส่วนของแอมพลิจูด (Amplitude Ratio) ของผลตอบ มีค่าเท่ากับ 1

P_u (Period of Oscillation) คือ คาบของสัญญาณที่มีค่าอัตราส่วนของแอมพลิจูดเท่ากับ 1

ลักษณะของสัญญาณที่มีอัตราส่วนของแอมพลิจูดเท่ากับ 1 และคาบของสัญญาณแสดงตามรูปที่ 2.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 สัญญาณที่มีอัตราส่วนของแอมพลิจูดเท่ากับ 1 และคาบของสัญญาณกำหนดตาม Ziegler และ Nichols

สำหรับการควบคุมแบบ PI ที่จุดที่เหมาะสมที่สุดนั้น Ziegler-Nichols กำหนดว่าค่า Proportional Band มีค่าเท่ากับ 2.22 S_u และค่าของ Integral time มีค่าเท่ากับ 0.83P_u

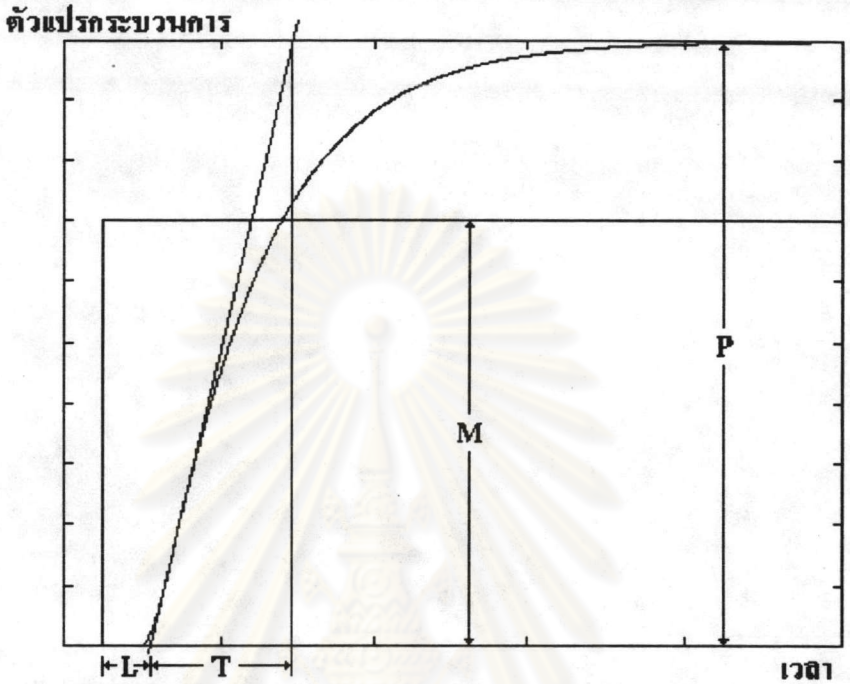
สำหรับการควบคุมแบบ PID ที่จุดที่เหมาะสมที่สุดนั้น Ziegler และ Nichols กำหนดว่าค่า Proportional Band มีค่าเท่ากับ 1.66 S_u และค่าของ Integral time มีค่าเท่ากับ 0.5P_uและค่า Derivative time มีค่าเท่ากับ 0.125P_u

จะเห็นว่าในการหาค่าของ Ziegler และ Nichols ที่นำเสนอนั้นเป็นการหาค่าโดยประมาณและจะเห็นว่าไม่มีการกล่าวถึงรูปแบบของตัวควบคุมแบบ PID ซึ่งปัจจุบันมีรูปแบบในการคำนวณมากมาย

<u>วิธีวงรอบเปิด (open-Loop Method) ของ Ziegler and Nichols</u>

ในการหาค่าด้วยวิธีวงรอบเปิดของ Ziegler และ Nichols นั้น จะหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมจาก Process Reaction Curve โดยจะกำหนดนิยามของพารามิเตอร์ 4 ตัว ได้แก่

พารามิเตอร์ L พารามิเตอร์ T พารามิเตอร์ M และ P โดยค่าทั้ง 4 ได้แสดงดังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 พารามิเตอร์ที่หาจาก Process Reaction Curve ของ Ziegler and Nichols

M :- ขนาดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับกระบวนการ

P :- ขนาดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกระบวนการ

L :- ค่าการประวิงเวลา (dead time) ของผลตอบ

T :- ค่าคงตัวทางเวลา (time constant) ของผลตอบ

จากค่าที่กำหนด Ziegler และ Nichols กำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดของการควบคุมโดย

การควบคุมแบบ PI

Proportional Band = 100KpL/(0.9T)

Integral time = 3.33L

การควบคุมแบบ PID

Proportional Band = 100KpL/(1.1T)

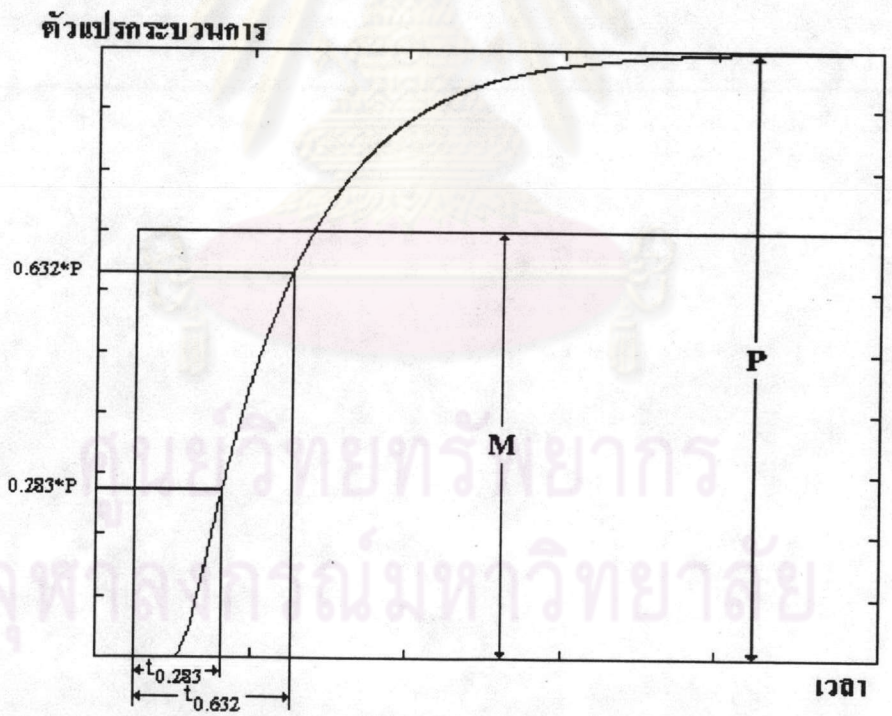
Integral time = 2L

Derivative time = 0.5L

โดย Kp = P/M

<u>วิธีวงรอบเปิด (open-Loop Method) ของ Cohen and Coon</u>

ในการหาค่าด้วยวิธีวงรอบเปิดของ Cohen and Coon นั้น จะหาค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมจาก Process Reaction Curve โดยจะกำหนดนิยามของพารามิเตอร์ 4 ตัว ได้แก่ พารามิเตอร์ L พารามิเตอร์ T พารามิเตอร์ M และ P โดยค่าทั้ง 4 ได้แสดงดังในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 พารามิเตอร์ที่หาจาก Process Reaction Curve ของ Cohen and Coon

M :- ขนาดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับกระบวนการ

P :- ขนาดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกระบวนการ

$t_{0.283}$:- ค่าเวลาที่ผลตอบมีค่า 28.3 เปอร์เซ็นต์ของผลตอบในสภาวะอยู่ตัว

$t_{0.632}$:- ค่าเวลาที่ผลตอบมีค่า 63.2 เปอร์เซ็นต์ของผลตอบในสภาวะอยู่ตัว

จากค่าที่กำหนด Cohen and Coon กำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดของการควบคุมโดย

การควบคุมแบบ PI

$$\text{Proportional Band} = \frac{100KpL}{T\left(0.9+\frac{L}{12T}\right)}$$

$$\text{Integral Time} = L\frac{30+3L/T}{9+20L/T}$$

การควบคุมแบบ PID

$$\text{Proportional Band} = \frac{100KpL}{T\left(\frac{4}{3}+\frac{L}{4T}\right)}$$

$$\text{Integral Time} = L\frac{32+6L/T}{13+8L/T}$$

$$\text{Derivative Time} = L\frac{4}{11+2L/T}$$

โดย $Kp = P/M$

$T = 1.5(t_{0.632}-t_{0.283})$

$L = t_{0.632}-T$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย