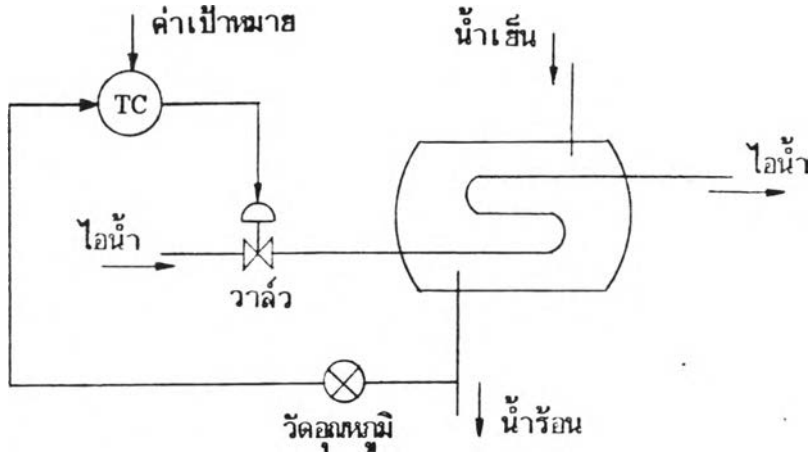
บทที่ 2

การควบคุมในงานอุตสาหกรรม

การควบคุมในงานอุตสาหกรรมมีมากมายหลายแบบ ตั้งแต่แบบง่ายๆไปจนถึงแบบซับซ้อนขึ้นกับงานแต่ละชนิด โครงสร้างของระบบควบคุมไม่ว่าจะซับซ้อนเพียงใด โดยส่วนใหญ่เราสามารถแยกแยะออกเป็นระบบควบคุมย่อยๆหลายๆระบบ โดยที่ระบบควบคุมย่อยจะประกอบด้วยการควบคุม PID หนึ่งหรือสองลูปเท่านั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงรูปแบบต่างๆ ของระบบควบคุมย่อยที่พบเห็นในงานควบคุมทางอุตสาหกรรมทั่วๆไป

2.1 องค์ประกอบและนิยามที่สำคัญของการควบคุม

ก่อนที่จะกล่าวถึงรูปแบบการควบคุม (Control Configuration) ชนิดต่างๆ จำเป็นจะต้องทราบถึงองค์ประกอบ และนิยามของเทอมบางเทอมของการควบคุม โดยจะเริ่มจากโปรเซสที่มีตัวแปรที่ถูกควบคุมเพียงตัวเดียวก่อน เช่น โปรเซสของ Heat-exchanger (ดูรูปที่ 2.1) ระบบต้องการควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อน ดังนั้นเครื่องควบคุมจะต้องสามารถควบคุมตัวแปรที่เป็นผลกระทบต่ออุณหภูมิของน้ำ เพื่อให้ได้ระดับอุณหภูมิที่ต้องการ การควบคุมในตัวอย่างนี้เป็นการควบคุมแบบง่ายๆ



รูปที่ 2.1 การควบคุม Heat Exchanger ด้วย Simple Control

จากโปรเซสในรูปที่ 2.1 สามารถเขียนบล็อคไดอะแกรมองค์ประกอบของการควบคุมได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งนิยามเทอมต่างๆของการควบคุมได้ดังนี้ [5]

(1) **โปรเซส (Process)** หมายถึง ขบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการให้มีสภาวะตามต้องการ เมื่อสภาวะการทำงานเปลี่ยนแปลงไป ในรูปที่ 1 หมายถึงการทำให้น้ำเย็นกลายเป็นน้ำร้อนโดยการรับพลังงานความร้อนจากไอน้ำ

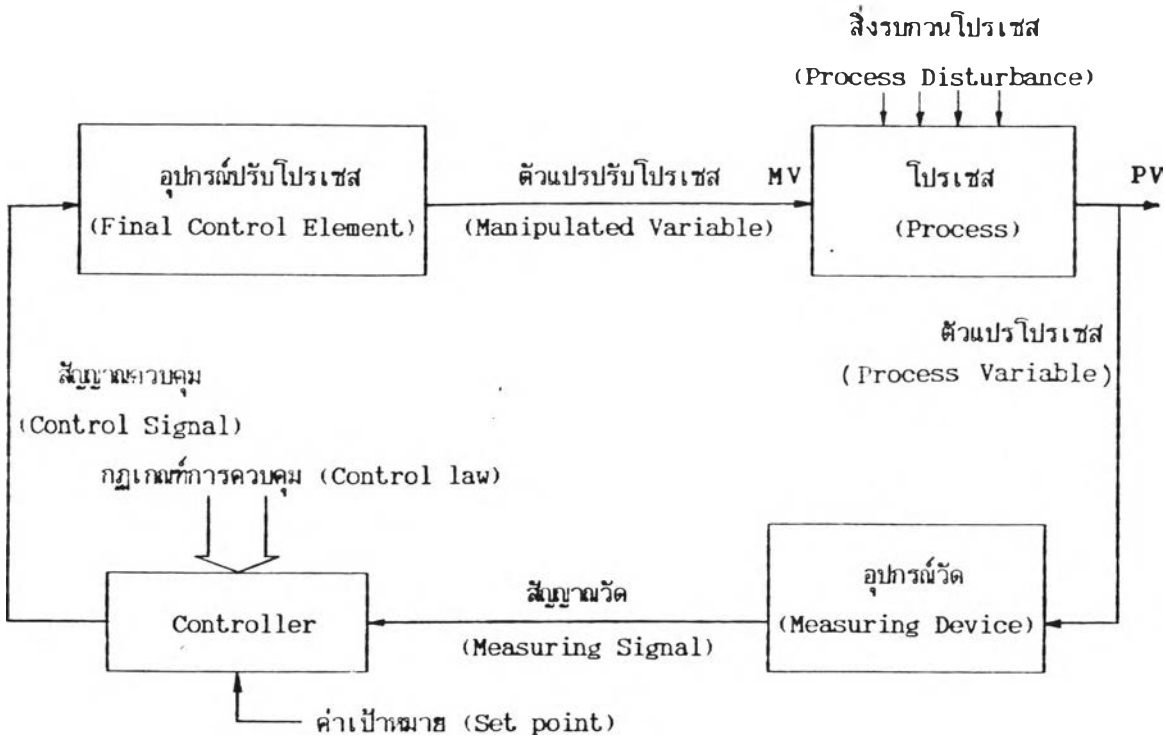
(2) **ตัวแปรโปรเซส (Process Variable)** คือ ตัวแปรทางฟิสิกส์ ซึ่งแสดงสภาวะของโปรเซส ในรูปที่ 1 หมายถึง อุณหภูมิของน้ำร้อน

(3) **ตัวแปรปรับโปรเซส (Manipulated Variable)** คือ ตัวแปรที่ใช้เปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรโปรเซส ได้แก่ อัตราไหลของไอน้ำ

นอกจากนี้ค่าตัวแปรโปรเซสจะเปลี่ยนแปลงได้อีก ถ้าเกิด "สิ่งรบกวนโปรเซส" (Process Disturbance) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- **Supply Disturbance** หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของพลังงาน (วัตถุ) ขาเข้า จากรูปที่ 1 หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพ อุณหภูมิ ความดันของไอน้ำร้อนขาเข้า
- **Demand Disturbance** หมายถึง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน (วัตถุ) ขาออกจากรูปที่ 1 หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ อัตราการไหลของน้ำเย็น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของการสูญเสียพลังงานความร้อนที่ท่อและถัง

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 บล็อคไดอะแกรมแสดงองค์ประกอบของการควบคุม

(4) อุปกรณ์วัด (Measuring Device) เป็นอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณขาออกซึ่งมีขนาดสัมพันธ์กับขนาดของตัวแปรโปรเซส (Process Variable)

(5) เครื่องควบคุม (Controller) ทำหน้าที่ออกคำสั่ง หรือกำเนิดสัญญาณควบคุม (Control Signal) ตามกฎเกณฑ์การควบคุม (Control law) ที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า คำสั่ง หรือสัญญาณควบคุมนี้อาจจะเป็นฟังก์ชันกับเวลา หรือ กับสัญญาณขาเข้าที่ได้รับจากอุปกรณ์วัด

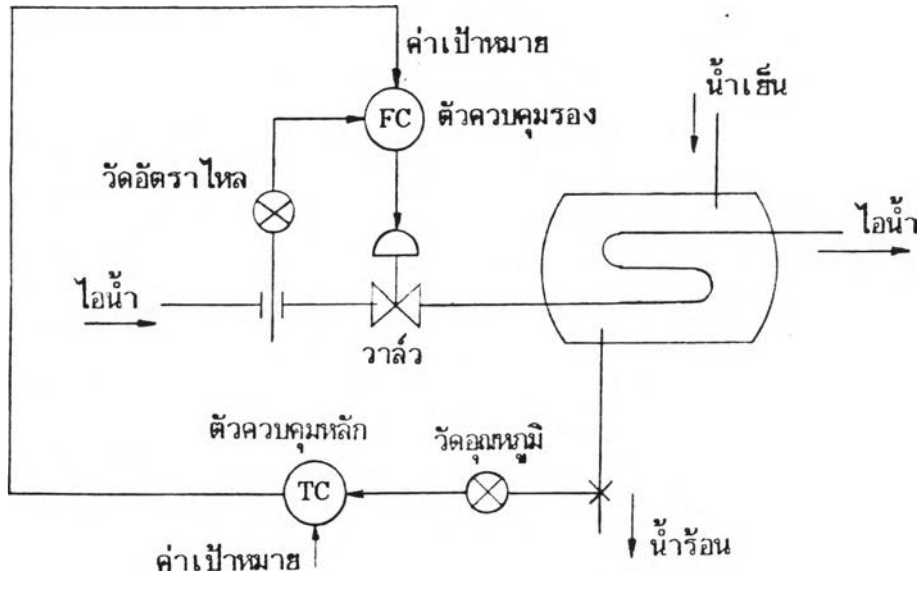
(6) อุปกรณ์ปรับโปรเซส (Final Control Element) อุปกรณ์ทำหน้าที่ปรับสภาวะของโปรเซสด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับโปรเซส (Manipulated Variable) ตามคำสั่ง หรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจาก Controller ในรูปที่ 2.1 อุปกรณ์ปรับโปรเซส คือ วาล์ว

2.2 รูปแบบการควบคุมในอุตสาหกรรม

เครื่องควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในการควบคุมมีหน้าที่หลัก คือ การคำนวณหาค่าตัวแปรปรับโปรเซส (Manipulated Variable) ที่เหมาะสม เพื่อทำให้ค่าตัวแปรโปรเซสมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมาย ซึ่งลักษณะของค่าเป้าหมาย (Set point) ในการควบคุมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบ Servo ปกติจะมีค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เครื่องควบคุมจะต้องควบคุมให้ตัวแปรโปรเซสเปลี่ยนแปลงตามให้ทัน และแบบ Regulator ซึ่งจะมีค่าเป้าหมายคงที่เกือบตลอดเวลาหรือนานๆเปลี่ยนที เครื่องควบคุมจะต้องควบคุมให้ PV มีค่าเปลี่ยนไปตาม SV แม้ว่าจะมีสัญญาณรบกวน (Disturbance) เข้ามารบกวนระบบทำให้ PV เปลี่ยนไปก็ตาม สัญญาณรบกวนมีทั้งชนิดที่ไม่สามารถรู้ล่วงหน้าหรือคาดเดาได้ และชนิดที่สามารถทำนายได้ ซึ่งมักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโปรเซสอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งรูปแบบการควบคุมที่ถูกใช้เพื่อให้ได้ตามจุดประสงค์ที่กล่าวมานั้น มีวิธีการควบคุมได้หลายแบบดังนี้ [5]

2.2.1 การควบคุมแบบง่ายๆ (Simple Control) ในที่นี้หมายถึงระบบที่ประกอบด้วยตัวควบคุมตัวเดียว ควบคุมโปรเซสเพียงโปรเซสเดียว สัญญาณวัด สัญญาณควบคุม ตัวแปรปรับโปรเซส และตัวแปรโปรเซสเพียงอย่างละตัวเท่านั้น (ดูรูปที่ 2.1) ลักษณะนี้จะเป็นการควบคุมแบบ ลูปเดียว (Single loop Control) หลักการควบคุมจะเป็นแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ซึ่งประกอบด้วย ตัวควบคุมแบบ PID หนึ่งตัว ควบคุมโปรเซสแบบ Single-Input Single-Output (SISO) ระบบแบบนี้มีใช้กันมาก เนื่องจากสามารถใช้งานกับโปรเซสทั่วๆไปได้ โดยไม่ต้องรู้ค่าคงตัวของโปรเซสต่างๆ ข้อเสียที่สำคัญ คือ สัญญาณรบกวนจะต้องทำให้โปรเซสเปลี่ยนไปจน PV เปลี่ยนแปลงไปก่อน ตัวควบคุมจึงจะเริ่มทำการแก้ไขและลูปที่ควบคุมจะต้องไม่ถูกรบกวนด้วยลูปอื่นๆมากจนเกินไป

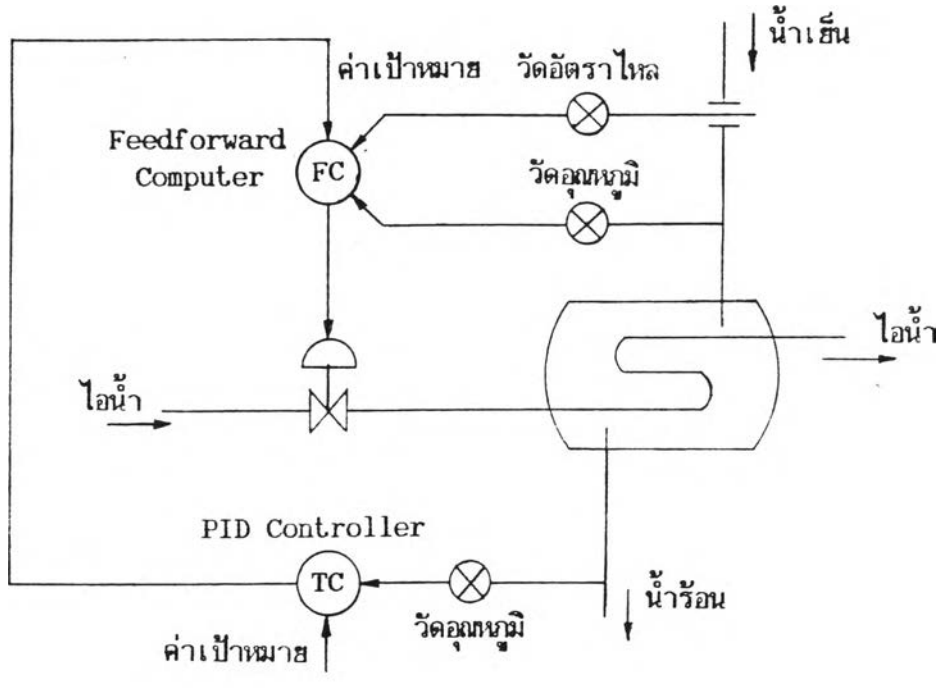
2.2.2 Cascade Control การควบคุมแบบนี้จะใช้เมื่อต้องการผลการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมแบบง่ายๆ (แบบลูปเดียว) ในการควบคุมแบบง่ายๆความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออกกับสัญญาณขาเข้าของอุปกรณ์ปรับโปรเซส อาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเกิดสิ่งรบกวน ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.3 อัตราไหลของไอน้ำขาออกของวาล์วอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ แม้ว่าสัญญาณควบคุมจะคงที่ ถ้าความดันของไอน้ำเข้าเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2.3 การควบคุม Heat Exchanger ด้วย Cascade Control

การควบคุมแบบ Cascade Control ประกอบด้วยลูปการควบคุมสองลูป ลูปการควบคุมหลัก (Primary หรือ Master Control Loop) ทำหน้าที่เหมือนกับการควบคุมแบบง่ายๆ ส่วนลูปการควบคุมรอง (Secondary หรือ Slave Control Loop) จะเป็นส่วนที่เพิ่มเติมขึ้นเพื่อการปรับปรุงการทำงานของอุปกรณ์ปรับโปรเซส ให้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออกกับสัญญาณขาเข้าคงที่ แม้ว่าจะเกิดสิ่งรบกวนระบบ ตัวควบคุมที่ใช้ในลูปทั้งสองจะเป็นแบบ PID (PID Controller)

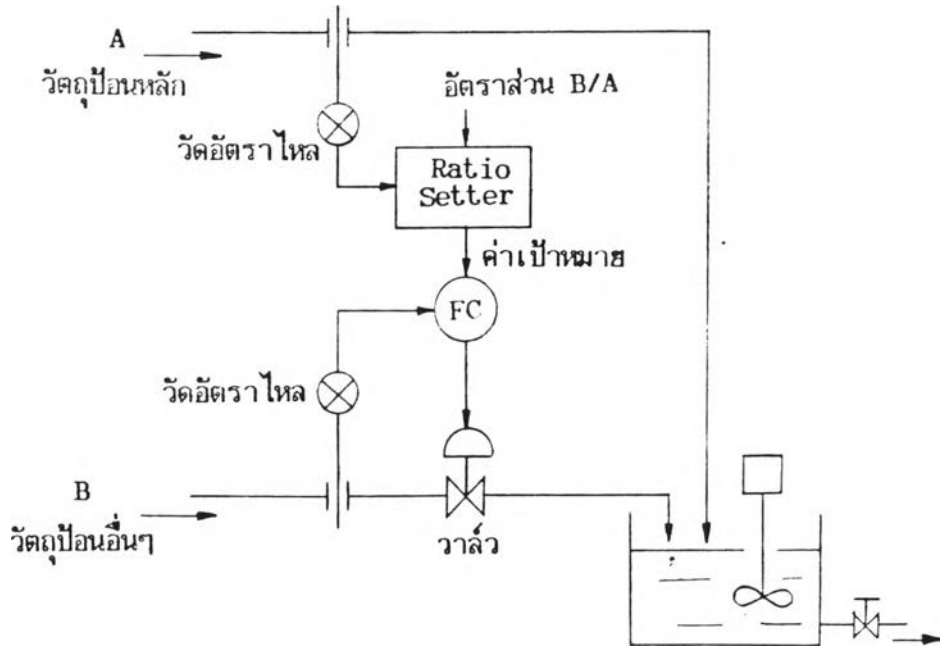
2.2.3 Feedforward-Feedback Control ในการออกแบบระบบควบคุมแบบ Feedforward Control จำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรโปรเซสกับสัญญาณควบคุม ค่าเป้าหมาย และสิ่งรบกวน อย่างชัดเจน เพื่อใช้ในการคำนวณหาผลกระทบต่อระบบได้อย่างถูกต้อง ทำให้ระบบ Feedforward-Feedback Control สามารถควบคุมโปรเซสได้โดยไม่ต้องมีระบบป้อนกลับ แต่ในความเป็นจริงแล้วมักจะทราบความสัมพันธ์เพียงคร่าวๆเท่านั้น ในทางปฏิบัติจึงต้องเพิ่ม Feedback Control (ดังรูปที่ 2.4) เพื่อทำหน้าที่หาค่าเป้าหมายที่เหมาะสมสำหรับ Feedforward Control ตัวควบคุมที่ใช้จะเป็นแบบ PID Controller และ Feedforward Computer



รูปที่ 2.4 การควบคุม Heat Exchanger ด้วย Feedforward-Feedback Control

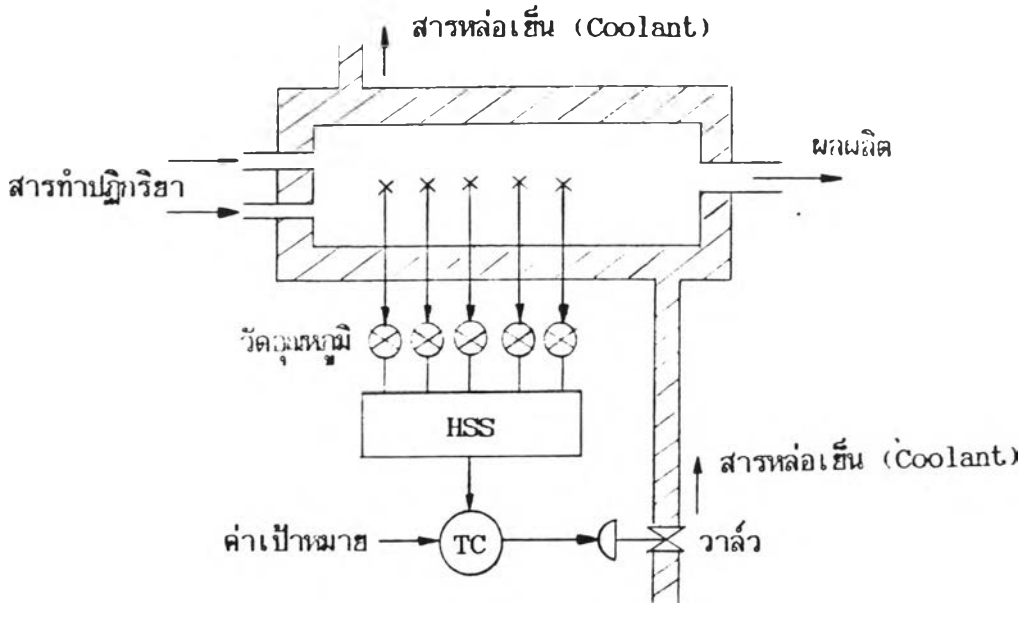
2.2.4 Ratio Control การควบคุมแบบนี้ถูกใช้เมื่อต้องการควบคุม อัตราส่วนของปริมาณวัตถุป้อนหลายๆชนิด ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา เช่น การควบคุมอัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในเตาเผา การผสมอาหารสัตว์ เป็นต้น

ในทางปฏิบัติมักจะกำหนดวัตถุป้อนชนิดหนึ่งเป็นวัตถุป้อนหลัก อัตราไหลของวัตถุป้อนหลักอาจจะไม่ถูกควบคุม หรือ อาจจะถูกควบคุมก็ได้แล้วแต่ชนิดของงาน ส่วนอัตราการไหลของวัตถุป้อนอื่นๆ ที่เหลือทุกตัวจะถูกควบคุมให้มีอัตราไหลเป็นอัตราส่วนที่แน่นอนกับอัตราไหลของวัตถุป้อนหลักตลอดเวลา ตัวอย่างการควบคุมแบบ Ratio Control ที่ตัวป้อนหลักไม่ถูกควบคุมแสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การควบคุมแบบ Ratio Control

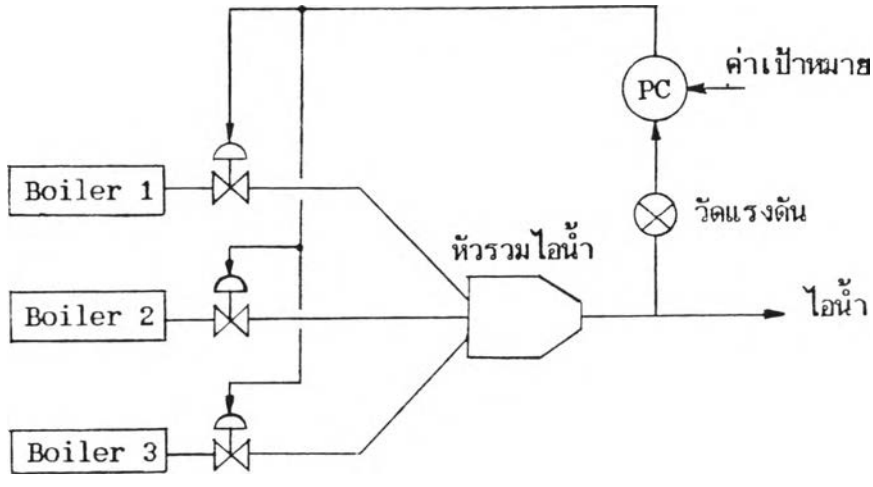
2.2.5 Selective Control เป็นการควบคุมเพื่อจำกัดไม่ให้ตัวแปรโปรเซสมีค่าเกินกว่า หรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ ลักษณะเฉพาะตัวของการควบคุมแบบนี้ คือ การใช้สวิทช์ HSS (High Selector Switch) เลือกค่าสูงสุด หรือสวิทช์ LSS (Low Selector Switch) เลือกค่าต่ำสุด ตัวอย่างการควบคุมแบบ Selective ในอุตสาหกรรม คือ **Auctioneering Control** มีลักษณะการทำงานเริ่มจากการเลือกระหว่างสัญญาณวัดชนิดเดียวกันหลายๆค่า ว่าสัญญาณใดมีค่าสูงสุด แล้วนำเอาสัญญาณวัดค่านั้นส่งไปยังตัวควบคุม (ซึ่งมีตัวเดียว) เพื่อควบคุมโปรเซสต่อไป ตัวอย่างงานได้แก่ การป้องกัน Hot Spot ในเตาเผา หรือในหม้อปฏิกิริยาแบบ Catalytic (รูปที่ 2.6) ที่เกิดความร้อนสูงๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.6 การควบคุม Auctioneering Control ในหม้อปฏิกริยา

2.2.6 Split-Range Control การควบคุมแบบนี้จะใช้เมื่อจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ปรับโปรเซส (Final Control Element) หลายตัวทำหน้าที่ประสานกันในการปรับโปรเซสเพียงโปรเซสเดียว

ลักษณะพิเศษของการควบคุมแบบนี้ คือ ในระบบควบคุมจะมีอุปกรณ์วัดตัวเดียว และอุปกรณ์ปรับโปรเซสหลายตัว ส่วนตัวควบคุมอาจมีตัวเดียวหรือหลายตัวก็ได้ ตัวอย่างที่ของงานคือ การควบคุมแรงดันก๊าซในถัง การควบคุมแรงดันของไอน้ำจากแหล่งจ่าย (Boiler) หลายๆ แหล่ง (รูปที่ 2.7) เป็นต้น



รูปที่ 2.7 การควบคุมแรงดันไอน้ำจากแหล่งจ่ายหลายแห่ง

จากรูปแบบการควบคุมต่างๆ ที่ได้กล่าวมาทั้งหมด จะเห็นได้ว่า การควบคุมที่มีความซับซ้อนจำเป็นต้องมีการคำนวณและฟังก์ชันต่างๆ ที่ช่วยในการควบคุม ดังนั้นการนำไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณมาใช้ในเครื่องควบคุม ทำให้สามารถโปรแกรมกำหนดรูปแบบการควบคุมใช้กับงานควบคุมที่ซับซ้อนได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ช่วยมากมายนัก สำหรับรายละเอียดของฟังก์ชันต่างๆที่จำเป็นในการสร้างเครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้ จะกล่าวถึงในบทที่ 5