บทที่ 4

การควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการ

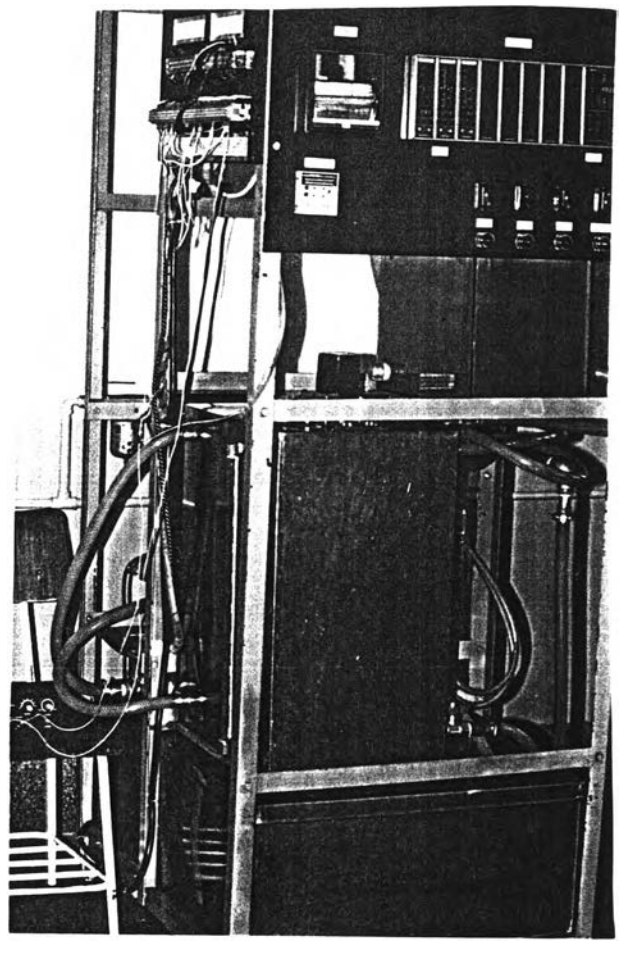
จากบทที่แล้วเป็นการจำลองเชิงเลขของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบจูนปรับตัวเองโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบจูนปรับตัวเองสามารถควบคุมกระบวนการที่มีพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ตามเวลาหรือเกิดสิ่งรบกวนขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้สมรรถนะที่เหนือกว่าการควบคุมด้วย PID แบบดั้งเดิม สำหรับในบทนี้เป็นการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบจูนปรับตัวเองในการควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลอง (Implementation of self tuning control) โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งระบบที่เลือกใช้เป็นระบบควบคุมอุณหภูมิที่มีรูปแบบทางคณิตศาสตร์เหมือนกับการจำลองเชิงเลขในบทที่แล้ว

ระบบที่ใช้ควบคุม

การควบคุมแบบจูนปรับตัวเองเป็นการควบคุมแบบ Real time อาศัยอัลกอริทึมในการควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามข้อกำหนด แต่อัลกอริทึมของการควบคุมแบบจูนปรับตัวเองมีขั้นตอนในการคำนวณหลายขั้นตอนทำให้ต้องเสียเวลาไป การเลือกกระบวนการที่จะใช้ทดลองควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองจะต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการคำนวณตามอัลกอริทึมที่ใช้ ดังนั้นกระบวนการที่จะใช้ควรมีผลตอบเชิงเวลาที่ค่อนข้างช้า เพื่อให้แน่ใจว่าตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองสามารถควบคุมได้ และในการทดลองได้ตัดสินใจเลือกการควบคุมอุณหภูมิด้วยเหตุผลที่ว่า

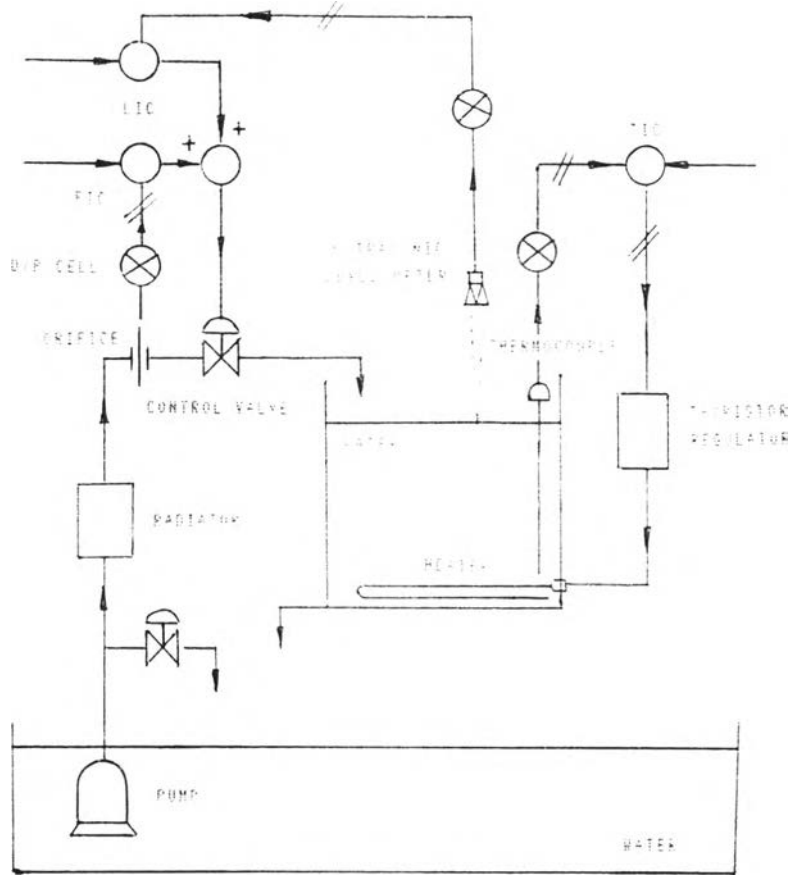
1. ระบบควบคุมอุณหภูมิเป็นกระบวนการที่ง่ายพบเห็นบ่อยในอุตสาหกรรมรวมทั้งอุปกรณ์ในการวัดและอุปกรณ์ในการควบคุมสามารถจัดหาได้ง่าย
2. ผลตอบของระบบควบคุมอุณหภูมิมีลักษณะค่อนข้างช้า

แต่เหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่เลือกการควบคุมอุณหภูมิมาใช้ในการทดลองเนื่องจากมีกระบวนการอยู่แล้วในชุดทดลอง FLT (Flow level temperature control) [24] ดังในรูปที่ 4.1 อยู่ภายในห้องปฏิบัติการวัดคุมทางอุตสาหกรรม (Industrial instrumentation laboratory) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ ทำให้สามารถประหยัดเวลาในการจัดหาอุปกรณ์เพื่อนำมาจัดระบบควบคุม



รูปที่ 4.1 ชุดทดลอง FLT

1. ชุดทดลอง FLT เป็นชุดทดลองใหม่ของห้องปฏิบัติการวัดคุมทางอุตสาหกรรม สร้างขึ้นเพื่อทดลองและศึกษา การใช้อุปกรณ์วัด อุปกรณ์ควบคุมและการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ โดยเน้นเครื่องมือที่ใช้ให้มีมาตรฐานทางอุตสาหกรรม ชุดทดลองนี้ใช้จำลองการควบคุมสำคัญ ๆ 3 อย่าง ได้แก่ การควบคุมการไหล การควบคุมระดับความสูง และการควบคุมอุณหภูมิ โดยอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการวัดปริมาณต่าง ๆ มีโครงสร้างของการควบคุม ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โครงสร้างของ FLT

ถังน้ำที่ใช้ในกระบวนการเป็นถังโลหะมีขนาด 30 x 45 x 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร รอบถังบุด้วยฉนวนใยหินกันความร้อน สามารถจุน้ำได้เต็มที่ประมาณ 67 ลิตร มีท่อสำหรับให้น้ำไหลเข้าและท่อสำหรับให้น้ำไหลออก ภายใต้ถังมีลวดนำความร้อน (Heater) ขนาดกำลัง 4,000 วัตต์ ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่น้ำภายในถังควบคุม

สำหรับการควบคุมกระบวนการทั้งสามในชุดทดลอง FLT นี้ใช้ตัวควบคุมเชิงเลขแบบ PID (Digital PID controller) [24] โดยใช้ตัวควบคุมหนึ่งตัวต่อการควบคุมหนึ่งกระบวนการ รายละเอียดอยู่ในเอกสารอ้างอิง [24]

<u>การกำหนดรูปแบบของการทดลอง</u>

ในการทดลองตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองจะเลือกใช้เพียงบางส่วนของชุดทดลอง FLT คือ การควบคุมอุณหภูมิของน้ำและการควบคุมระดับความสูงของน้ำ สาเหตุที่ต้องควบคุมระดับน้ำเพื่อรักษาปริมาตรภายในถังให้มีค่าคงที่ ซึ่งจากบทที่แล้วจะเห็นว่าปริมาตรของน้ำที่เปลี่ยนแปลงจะ

ทำให้อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงด้วย และการควบคุมระดับความสูงของน้ำไว้จะทำให้สามารถกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ของการควบคุมอุณหภูมิได้สะดวกขึ้น ดังนั้นการควบคุมที่ใช้ทดลองจึงแบ่งได้ออกเป็น 2 ลูป ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยที่กระบวนการควบคุมระดับของน้ำก็ยังคงใช้ตัวควบคุมเชิงเลขแบบ PID ของชุดทดลอง FLT เหมือนเดิม ส่วนการควบคุมอุณหภูมิจะใช้ตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองมาใช้ แต่เนื่องจากตัวควบคุมของชุดทดลอง FLT เป็นตัวควบคุมแบบ PID ซึ่งมีลักษณะของ Hardware ที่แน่นอนทำให้ไม่สามารถประยุกต์อัลกอริทึมของการควบคุมแบบจูนปรับตัวเองได้ จึงจำเป็นต้องนำไมโครคอมพิวเตอร์มาใช้เป็นตัวควบคุมแทน

เนื่องจากภายในถังควบคุมจะมีการหมุนเวียนของน้ำที่ไหลเข้าและไหลออกตลอดเวลา การควบคุมในขั้นต้นจะควบคุมระดับความสูงของน้ำในถังเสียก่อน โดยการควบคุมระดับความสูงจะใช้ Ultrasonic level meter [24] ทำหน้าที่เป็นตัววัดความสูงและตัวส่งสัญญาณสามารถส่งสัญญาณมาตรฐานแบบกระแส DC ขนาด 4-20 mA ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความสูงโดยตรงไปยังตัวควบคุม ในการควบคุมนี้จะใช้ตัวควบคุมเชิงเลขแบบ PI ซึ่งจูนค่าตามวิธีของ Ziegler & Nichols เพื่อควบคุมการไหลของน้ำที่ไหลเข้าสู่ถังควบคุม โดยส่งสัญญาณควบคุมผ่านวงจร Interface ไปควบคุมอุปกรณ์ควบคุมซึ่งได้แก่ Control valve [24] ซึ่งรับสัญญาณมาตรฐานแบบกระแส DC ขนาด 4-20 mA เปลี่ยนเป็นแรงดันของลมเพื่อใช้ในการเปิดปิดของวาล์ว

เมื่อสามารถควบคุมระดับน้ำได้ตามต้องการแล้ว จึงทำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์รับสัญญาณจากอุปกรณ์การวัด ซึ่งปกติในชุดทดลอง FLT ใช้ตัวเทอร์โมคัลเปิลเป็นอุปกรณ์ในการวัด แต่เนื่องจากข้อจำกัดและข้อกำหนดภายในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิจึงได้เปลี่ยนอุปกรณ์วัดใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับการควบคุมยิ่งขึ้นโดยเลือก Thermister [25] มาใช้แทนโดยมีวงจร Interface เปลี่ยนสัญญาณเป็นสัญญาณมาตรฐานแบบแรงดัน DC ขนาด 1-5 V ไมโครคอมพิวเตอร์ก็จะรับสัญญาณนี้ได้โดยผ่านวงจร A/D และประมวลผลพร้อมกับส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ควบคุมโดยผ่านวงจร D/A และวงจร V/I converter ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณควบคุมให้เป็นสัญญาณมาตรฐานแบบกระแส DC ขนาด 4-20 mA อุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิคือ Thyristor Regulator [24] ทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านลวดนำความร้อน

สำหรับในการทดลองจะให้อุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าถังควบคุมเป็นสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นตลอดเวลา แต่เงื่อนไขที่ทำให้การควบคุมแบบจูนปรับตัวเองมีสมรรถนะเหนือกว่าการควบคุมแบบ PID คือในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ภายในกระบวนการควบคุมซึ่งในการทดลอง

สามารถเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการได้โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำหรือระดับความสูงของน้ำนั้นเอง ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และเพื่อให้เห็นผลตอบของกระบวนการที่ควบคุมด้วยการควบคุมแบบจูนปรับตัวเองต่อสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้น จึงกำหนดให้เกิดสิ่งรบกวนขึ้นหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์แล้ว โดยการเทน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิ 6-7°C ลงในถัง ซึ่งจะปรากฏในผลการทดลองต่อไป

ข้อจำกัดของกระบวนการ

ข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในการควบคุมมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการควบคุม สาเหตุแรกคือการใช้ Ultrasonic level meter ในการวัดระดับความสูงสามารถใช้วัดความสูงได้แม่นยำในสภาพที่อุณหภูมิไม่สูงนัก ดังนั้นถ้านำไปใช้งานในถังที่มีอุณหภูมิสูงความแม่นยำในการวัดจะลดลง ซึ่งจะทำให้การควบคุมความสูงเกิดการแกว่งได้ ดังนั้นในการทดลองจึงต้องหลีกเลี่ยงปัญหานี้ ทำให้อุณหภูมิของน้ำในถังที่จะควบคุมถูกจำกัดให้มีค่าได้ไม่เกิน 40°C เพื่อให้สามารถควบคุมระดับความสูงได้คงที่ สาเหตุที่สองเกิดในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิเอง เนื่องจากกำลังของลวดนำความร้อนมีขนาดจำกัด 4,000 วัตต์ ทำให้การให้ความร้อนแก่น้ำที่มีปริมาตรมาก ๆ ต้องใช้เวลานานเป็นการเสียเวลาที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง ในการทดลองจึงได้กำหนดปริมาตรของน้ำที่จะรับความร้อนให้เหมาะสมกับกำลังของลวดนำความร้อน โดยที่ผลตอบเชิงเวลาของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิยังอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่สามารถควบคุมได้ด้วยตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเอง กำหนดให้ความสูงของน้ำในถังได้เลือกให้มีค่าเท่ากับ 6 เซนติเมตร หรือ น้ำปริมาตร 8 ลิตร และอุณหภูมิของน้ำที่ต้องการควบคุมจะมีค่าประมาณ 37.5°C เพื่อให้การควบคุมกระบวนการเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และเมื่อทดลองควบคุมอุณหภูมิแบบระบบวงเปิดแล้วพบว่าอัตราขยายของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิมีค่าต่ำมากต้องใช้เวลานานก่อนที่ผลตอบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว ในการทดลองจึงเพิ่มอัตราขยายของระบบวงเปิดขึ้นอีก 40 เท่า เพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการได้รวดเร็วขึ้น

ตัวควบคุมที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองควบคุมระดับความสูงได้ใช้ตัวควบคุมเชิงเลขแบบ PI เป็นตัวควบคุม เนื่องจากเป็นตัวควบคุมเฉพาะที่ใช้ในชุดทดลอง FLT สามารถใช้ควบคุมระดับความสูงของน้ำในถังได้เป็นอย่างดี รวมทั้งมีอุปกรณ์ในการบันทึกผลและแสดงผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายใน

กระบวนการได้ ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน และนอกจากนี้การปรับค่าและการตั้งค่าของตัวแปรต่าง ๆ สามารถทำได้ง่าย และที่สำคัญคือมีวงจร Interface ระหว่างตัวควบคุมกับอุปกรณ์ในการวัด และตัวควบคุมกับอุปกรณ์ควบคุมอยู่แล้ว

แต่สำหรับตัวควบคุมอุณหภูมิได้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์มาเป็นตัวควบคุมดังที่กล่าวมาแล้ว ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้มีขนาด 16 บิท ทำงานที่ความถี่ 8 MHz ซึ่งสามารถคำนวณให้ความแม่นยำและความรวดเร็วสูง นอกจากนี้สามารถแสดงผลในรูปของค่าตัวแปรและกราฟิกได้ง่ายสามารถเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงได้ และมีวงจร Interface ให้เลือกใช้มากมาย

การรับส่งสัญญาณข้อมูลของไมโครคอมพิวเตอร์โดยปกติจะใช้วงจร A/D และ D/A ที่มี Word length มาก ๆ เพื่อลด Quatization error แต่ในการทดลองได้ใช้วงจร A/D และ D/A ที่มีขนาดข้อมูล 12 บิท เพราะหาได้ง่ายและราคาถูก วงจร A/D ที่ใช้สามารถวัดแรงดันขนาด 0-5 V ซึ่งจะมี Resolution เท่ากับ 0.024 สำหรับวงจร D/A สามารถให้แรงดันออกขนาด 0-5 V เช่นกัน การทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์จะรับสัญญาณข้อมูลและประมวลผลในทุก ๆ คาบของการสุ่ม โดยใช้ Real time clock ซึ่งอาศัยโปรแกรมย่อยที่อยู่ภายใต้คำสั่งของ DOS นับจำนวนการ Interrupt ที่มีความถี่ประมาณ 18.2 Hz เมื่อไมโครคอมพิวเตอร์ทำงานตามโปรแกรมที่ใช้ควบคุมแล้วเสร็จจะรอจนกระทั่งถึงการสุ่มครั้งใหม่จึงจะเริ่มทำการรับส่งสัญญาณข้อมูลและประมวลผลใหม่ การใช้โปรแกรม Real time clock นี้สามารถทำได้ง่ายไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับวงจรที่จะนำมาใช้ในการ Interface

โปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมได้เลือกใช้ Turbo pascal ของ Borland เนื่องจาก Pascal เป็นภาษาระดับสูงที่นิยมใช้ในคอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ ไป ทำให้สามารถย้ายโปรแกรมไปใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ชนิดอื่นได้ง่าย มีโครงสร้างของการเขียนโปรแกรมสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย และที่สำคัญ Turbo pascal ทำงานได้อย่างรวดเร็วเป็น Software ที่มีประสิทธิภาพ มีคำสั่งติดต่อกับโปรแกรมภายนอกและคำสั่งติดต่อกับ Input/Output ได้โดยง่าย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ร่วมกับ Turbo toolbox ที่ใช้เขียนรูปกราฟิกได้โดยตรง

<u>การเลือกความถี่ในการสุ่มข้อมูล</u>

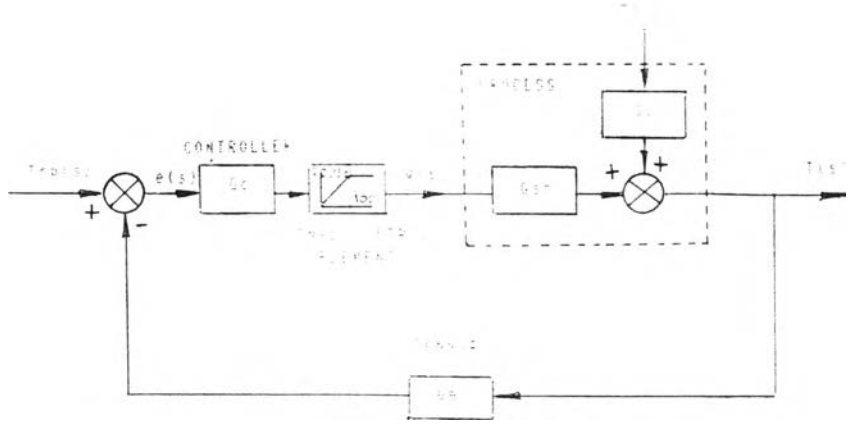
โดยปกติจะเลือกให้ความถี่ของการสุ่มสูงกว่าความถี่ของสัญญาณที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการมาก ๆ เพื่อให้การควบคุมมีเสถียรภาพมากที่สุด แต่การควบคุมแบบจูนปรับตัวเองที่ใช้ในการ

ทดลอง จะต้องอาศัยการบอกเอกลักษณ์ของพารามิเตอร์ของกระบวนการ ซึ่งจำนวนของตัวแปรของพารามิเตอร์ที่จะบอกเอกลักษณ์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง Delay time กับคาบของการสุ่ม ดังนั้นเมื่อใช้ความถี่ในการสุ่มสูงจะทำให้ตัวแปรของพารามิเตอร์ที่ต้องการบอกเอกลักษณ์มีจำนวนเพิ่มขึ้น ในการทดลองจึงต้องเลือกความถี่ของการสุ่มให้เหมาะสมกับลักษณะของกระบวนการที่ควบคุม โดยใช้ความถี่ในการสุ่มเท่ากับ 0.2 Hz ซึ่งจะทำให้เกิดตัวแปรของพารามิเตอร์เนื่องมาจาก Delay time ที่มีค่าเท่ากับ 30 วินาที จำนวน 6 ตัวแปร

การทดลองควบคุมกระบวนการ

การควบคุมระดับความสูงของน้ำโดยใช้ตัวควบคุมเชิงเลขแบบ PI นั้น จาก [24] จะจูนค่า PB เท่ากับ 10% และค่า T_I เท่ากับ 0.5 นาที ซึ่งสามารถควบคุมระดับน้ำในถังได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในการทดลองได้ตั้งระดับความสูงของน้ำในตอนต้นไว้เท่ากับ 6 เซนติเมตร จากนั้นประมาณนาทีที่ 25 จะเปลี่ยนแปลงความสูงของระดับน้ำให้เหลือเพียง 3 เซนติเมตร ซึ่งตลอดการทดลองการควบคุมระดับความสูงของน้ำสามารถควบคุมได้เป็นอย่างดี

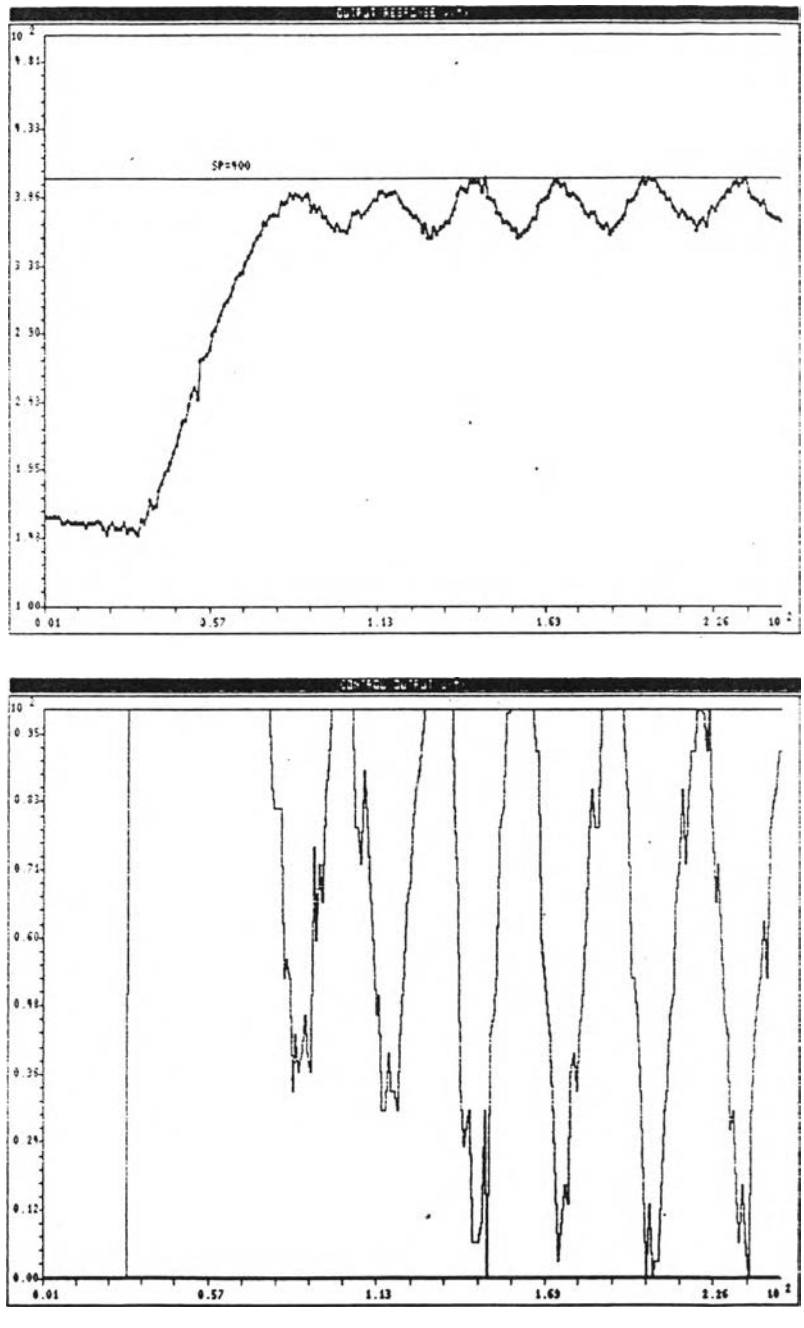
กระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น มี Block diagram ดังรูปที่ 4.3 เป็นการควบคุมกระบวนการแบบลูปเดียว (Single loop) ประกอบด้วยกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ตัวควบคุม อุปกรณ์ในการวัด และอุปกรณ์ในการควบคุม ซึ่งแต่ละส่วนจะมีความไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ด้วย ตัวอย่างเช่น ความไม่เป็นเชิงเส้นของ Quantization ของตัวควบคุม หรือ ผลตอบของอุปกรณ์ในการวัดที่ไม่เป็นเชิงเส้น เป็นต้น แต่ในการทดลองควบคุมอุณหภูมินี้ความไม่เป็นเชิงเส้นที่มีผลต่อการควบคุมมากที่สุดได้แก่ ลักษณะของ Actuator ของอุปกรณ์ควบคุมซึ่งจะจำกัด (limit) ผลตอบของตัวควบคุม (Control action) ทำให้การควบคุมไม่เป็นไปตามกฎของการควบคุม นอกจากนี้ยังมีความไม่เป็นเชิงเส้นที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิซึ่งเป็นผลมาจากไม่มีการกวนน้ำในถังเพื่อให้เกิดการกระจายของความร้อนอย่างทั่วถึงภายในถังนั่นเอง ในลูปการทดลองนี้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมซึ่งโปรแกรมเป็นตัวควบคุมแบบ PID และตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน



รูปที่ 4.3 Block diagram ของระบบควบคุมอุณหภูมิ

ในการควบคุมอุณหภูมิต้องการให้อุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 37.5°C หรือประมาณ 400 หน่วยของวงจร A/D ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0-4,095 หน่วย โดยกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมให้เริ่มต้นควบคุมกระบวนการแบบระบบวงปิดก่อน เพื่อให้เงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการใกล้เคียงกันทุกครั้งในการทดลอง จนประมาณนาทีที่ 13 จึงจะเริ่มใช้อัลกอริทึมของตัวควบคุมที่จะใช้ควบคุมเพื่อดูพฤติกรรมของผลตอบของกระบวนการและผลตอบของตัวควบคุม และในการควบคุมทดลองจะเริ่มเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์หรือเปลี่ยนแปลงระดับความสูง จาก 6 เซนติเมตร เป็น 3 เซนติเมตร ประมาณนาทีที่ 25 ซึ่งจะสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ในช่วงนี้ และเพื่อให้เห็นลักษณะผลตอบของกระบวนการเนื่องจากสิ่งรบกวนหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์แล้ว ในการทดลองจึงได้เทน้ำเย็นซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 6-7°C ลงในถังเพื่อรบกวนอุณหภูมิภายในถังประมาณนาทีที่ 42 ซึ่งหลังจากนี้ตัวควบคุมที่ดีก็ควรจะควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามค่าที่ตั้งไว้คือ 37.5°C

แต่ก่อนที่จะทดลองควบคุมกระบวนการจะต้องหาพารามิเตอร์ของกระบวนการสำหรับใช้จูนค่า PID เสียก่อน โดยการทดสอบระบบแบบวงเปิดและวงปิดพบว่าอุณหภูมิของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงช้ามากใช้เวลานานก่อนจะเข้าสู่สภาวะคงตัว สามารถวัด Delay time ได้ประมาณ 30 วินาที และเมื่อเพิ่มอัตราการขยายของกระบวนการขึ้นอีก 3.3 เท่า จึงจะทำให้กระบวนการแกว่งด้วยคาบของการแกว่งเท่ากับ 107 วินาที ผลตอบของกระบวนการและผลตอบของตัวควบคุมได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าผลตอบของตัวควบคุมจะถูกจำกัดเนื่องจากผลของ Actuator ของลวดตัวนำความร้อน ทำให้มีค่าตั้งแต่ 0-100 หน่วย ซึ่งเท่ากับสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA ตามลักษณะของ Characteristic ในรูปที่ 4.3 การแกว่งที่เกิดขึ้นนี้อาจเนื่องมาจากความไม่



รูปที่ 4.4 ผลตอบและกิริยาควบคุมของกระบวนการเมื่อทดลองควบคุมระบบแบบปิด

(หมายเหตุ แกนนอนเป็นแกนเวลามีหน่วยเป็นจำนวนครั้งของการสุ่มซึ่งมีคาบของการสุ่มเท่ากับ 5 วินาที และแกนตั้งรูปบนเป็นค่าของเอาต์พุตของ A/D)

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เป็นเชิงเส้นในระบบควบคุมแต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่วัดได้จะใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการทดลองเท่านั้น

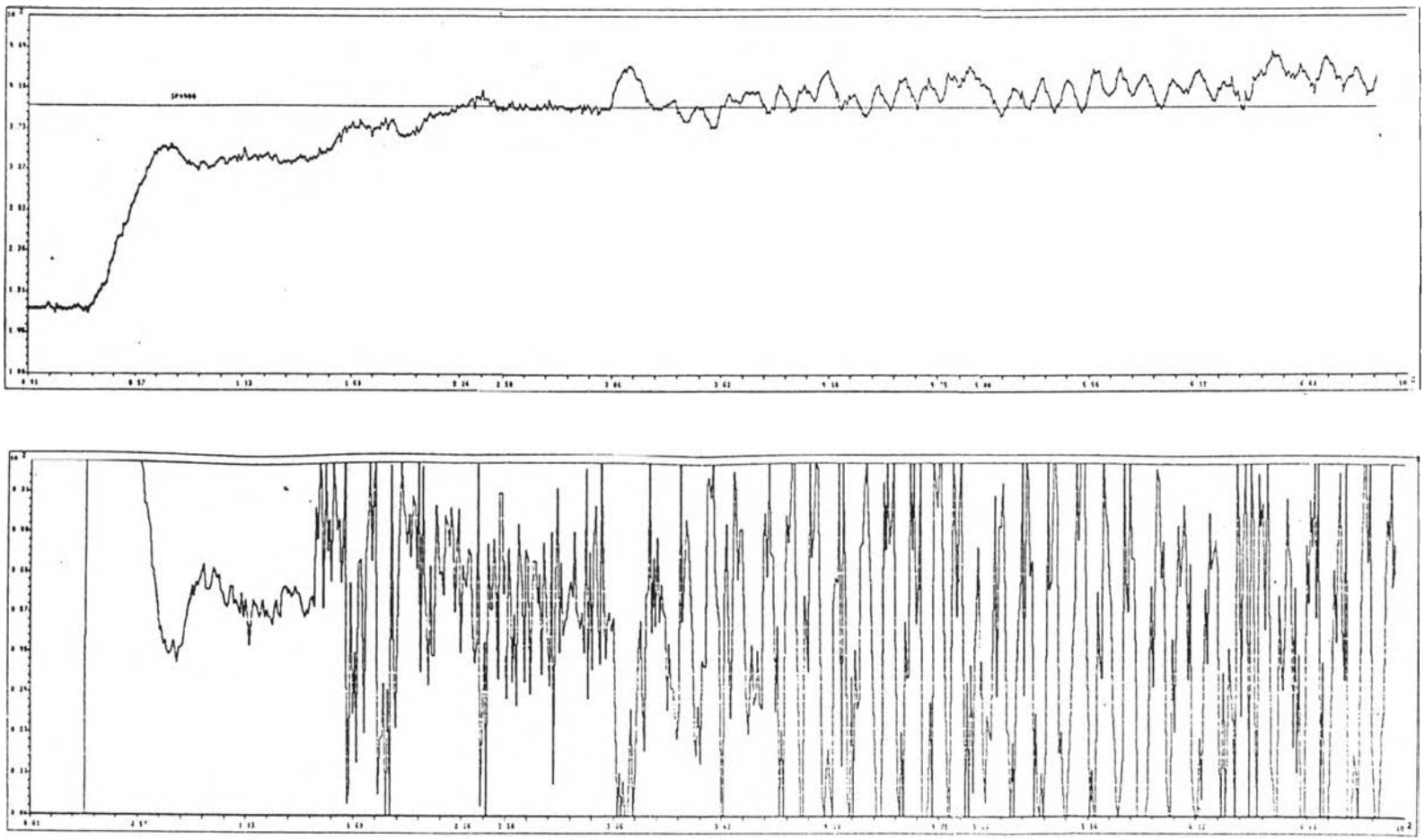
ค่าของอัตราการขยายและคาบของการแกว่งที่ได้เมื่อนำไปจูนค่า PID ตามวิธีของ Ziegler & Nichols จะได้ PB มีค่าเท่ากับ 50% T_I เท่ากับ 0.0187 sec^{-1} และ T_D เท่ากับ 13.37 sec เมื่อจูนค่า PID ให้กับตัวควบคุมหรือไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้แล้ว ทำการทดลองควบคุมกระบวนการจะได้ผลตอบของกระบวนการโดยอุณหภูมิที่วัดได้จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ถึงแม้อุณหภูมิของน้ำที่ไหลลงถังจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาก็ตาม ซึ่งย่อมแสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมแบบ PID สามารถใช้ควบคุมกระบวนการนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อทำการทดลองต่อโดยใช้เงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์เกิดขึ้นภายในกระบวนการจะพบว่าตัวควบคุมแบบ PID จะไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้หลังจากเกิดการเปลี่ยนแปลงตัวพารามิเตอร์แล้ว ซึ่งแสดงผลตอบของกระบวนการและผลตอบของตัวควบคุมในรูปที่ 4.5

ส่วนการทดลองโดยใช้ตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองจะใช้อัลกอริทึมในการควบคุมแบบเดียวกับบทก่อน เพื่อควบคุมกระบวนการที่ไม่สามารถใช้ตัวควบคุมแบบ PID ได้ ภายใต้เงื่อนไขเดิม ตัวควบคุมที่จะใช้ทดลองมี 4 ชนิด ได้แก่

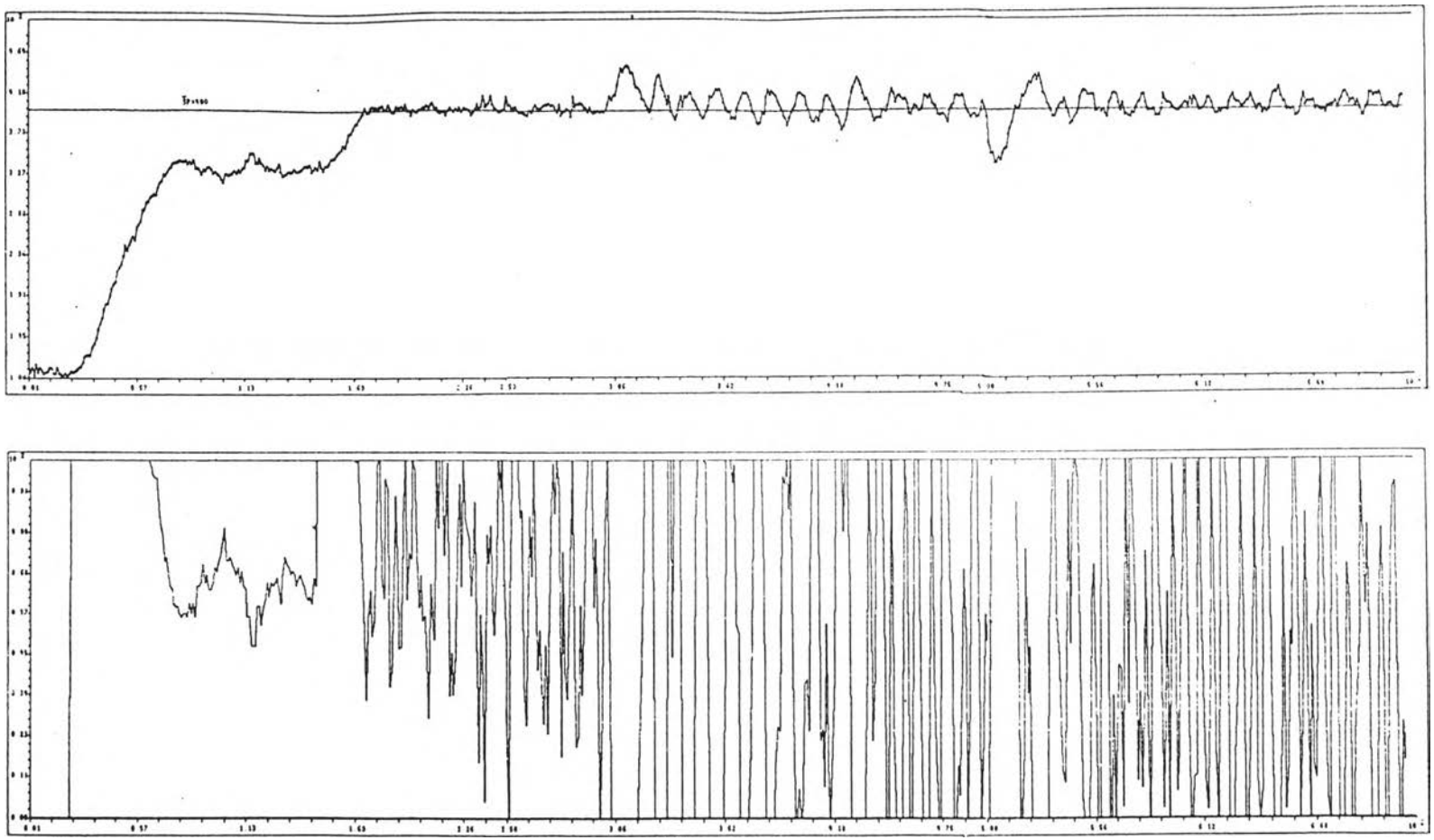
1. ตัวควบคุมที่ใช้การควบคุมแบบ Minimum variance ตั้งค่าให้ P(1) = 1 และ Q(1) = 0 ซึ่งจะให้กิริยาควบคุมที่มีลักษณะค่อนข้างไวทำให้ผลตอบของกระบวนการเกิดการแกว่งขึ้น ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของการควบคุม ผลตอบของกระบวนการและผลตอบของตัวควบคุมได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6

2. ตัวควบคุมที่ใช้การควบคุมแบบ Generalized minimum variance จะตั้งค่าทำนองเดียวกันกับตัวควบคุมแบบแรก โดยให้ค่า $P(z^{-1})$ มีโพลอยู่ที่จุด 0.21 จำนวน 2 ตัว และ λ = 0.01 โดยแทน $Q(z^{-1})$ ด้วยอัลกอริทึมแบบ PI แสดงโปรแกรมไว้ในภาคผนวก ก เมื่อใช้ควบคุมอุณหภูมิจะได้ผลตอบดีกว่าแบบแรก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.7 เนื่องมาจากคุณสมบัติของอัลกอริทึมชนิดนี้ที่มีการ Weight ผลตอบของตัวควบคุมทำให้ผลตอบของตัวควบคุมมีความไวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบแรก แต่เนื่องจากผลของ Actuator ในระบบ ทำให้การควบคุมต้องใช้เวลานานก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะคงตัว

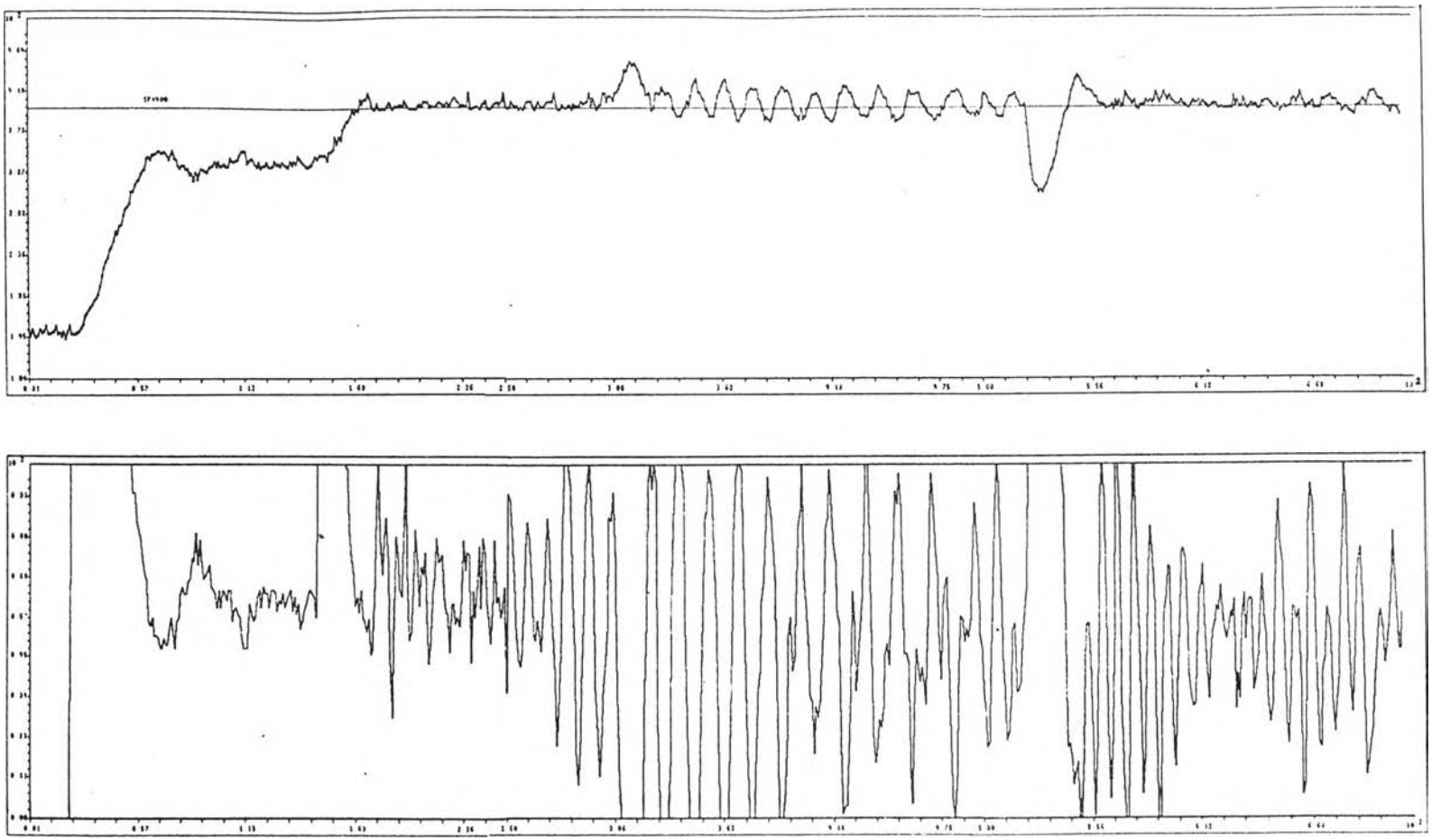
3. ตัวควบคุมที่ใช้การกำหนดโพล ในการทดลองกำหนดให้ลักษณะของผลตอบของกระบวนการที่ควบคุมมี w เท่ากับ 0.02 rad/s และ ζ มีค่าเท่ากับ 0.707 จะได้ผลตอบที่ค่อนข้างช้าตามความถี่ที่ได้กำหนดแสดงไว้ในรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าการควบคุมสามารถเข้าสู่สภาวะ



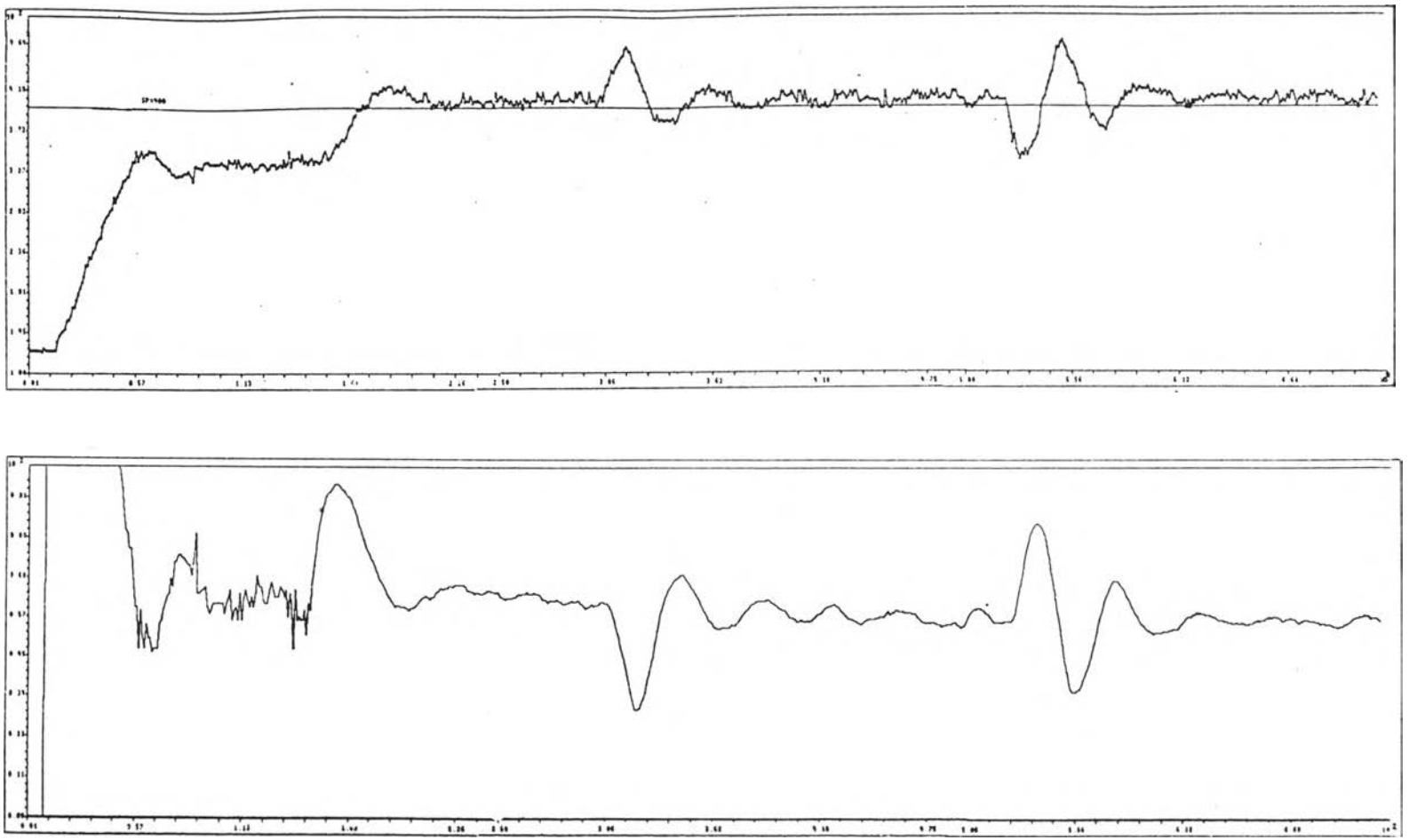
รูปที่ 4.5 แสดงผลตอบของกระบวนการ (บน) และผลตอบของตัวควบคุม (ล่าง)
โดยควบคุมด้วย Conventional PID



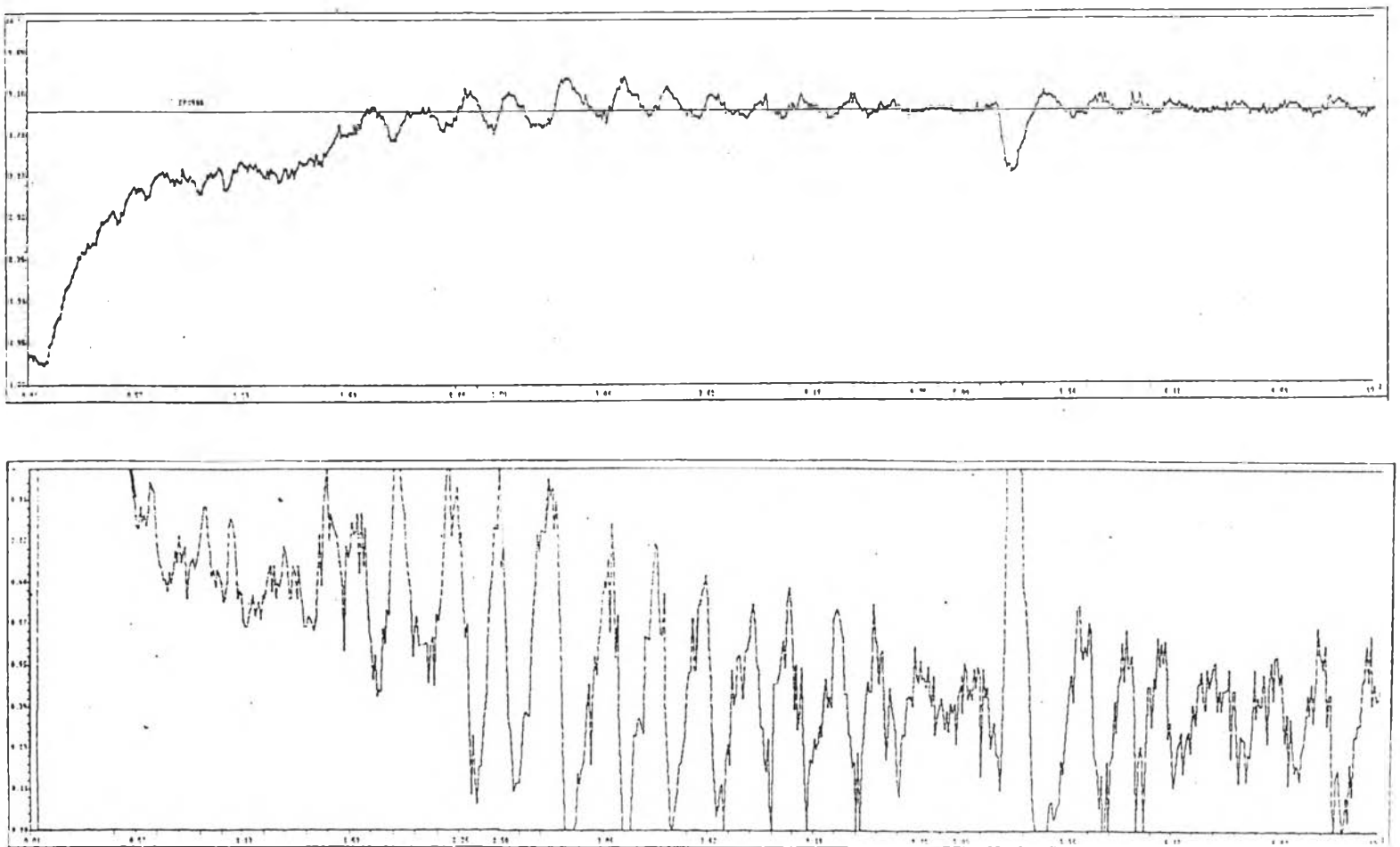
รูปที่ 4.6 แสดงผลตอบของกระบวนการ (บน) และผลตอบของตัวควบคุม (ล่าง)
โดยควบคุมด้วย MV



รูปที่ 4.7 แสดงผลตอบของกระบวนการ (บน) และผลตอบของตัวควบคุม (ล่าง)
โดยควบคุมด้วย GMV



รูปที่ 4.8 แสดงผลตอบของกระบวนการ (บน) และผลตอบของตัวควบคุม (ล่าง)
โดยควบคุมด้วย PPL



รูปที่ 4.9 แสดงผลตอบของกระบวนการ (บน) และผลตอบของตัวควบคุม (ล่าง)
โดยควบคุมด้วย PI (on-line)

คงตัวได้อย่างรวดเร็ว

4. ตัวควบคุมที่ใช้การควบคุมแบบ PI ซึ่งจูนค่าตามวิธีของ Ziegler & Nichols จะมีผลตอบดังรูปที่ 4.9 ลักษณะของผลตอบก็จะไปตามคุณสมบัติของการควบคุมแบบ PI

จากผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิจะเห็นว่าทุกการทดลองจะเริ่มต้นควบคุมกระบวนการแบบวงปิดก่อน จนประมาณการสุ่มที่ 150 จึงจะเริ่มใช้ตัวควบคุมเพื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำ ผลตอบของการควบคุมด้วย PID ในช่วงนี้จะช้าเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบจูนปรับตัวเองซึ่งแสดงว่าค่าที่ได้จากการทดสอบระบบวงปิดนั้นเกิดเนื่องมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นของการควบคุม แต่อย่างไรก็ตามผลของการควบคุมแบบ PID ก็สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นประมาณการสุ่มที่ 300 การควบคุมด้วย PID จะไม่สามารถใช้การควบคุมกระบวนการได้เลย เมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบจูนปรับตัวเองจะเห็นว่าตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวจะสามารถควบคุมอุณหภูมิตามค่าที่ตั้งไว้ได้ ไม่ว่าในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์หรือมีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นก็ตาม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิที่ทดลองนี้ตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองจะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าตัวควบคุมแบบ PID และที่สำคัญอีกประการหนึ่งจะเห็นว่ากระบวนการที่ใช้ควบคุมเป็นระบบไม่เชิงเส้น ส่วนอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งย่อมที่จะมีความคลาดเคลื่อน (error) เกิดขึ้น แต่ผลจากการทดลองการควบคุมยังใช้ได้

โดยปกติการใช้ตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองจะต้องคำนึงถึงรูปแบบของกระบวนการและขั้นตอนของการควบคุมซึ่งในกระบวนการที่ยุ่งยากหรือซับซ้อน ตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองแต่ละแบบอาจจะให้ผลตอบไม่เหมือนกันก็ได้ อย่างไรก็ตามการทดลองนี้จากผลการทดลองนี้จะเห็นว่าตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองที่ใช้ทดลองทุกตัวสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ในขณะที่ตัวควบคุมแบบ PID ไม่สามารถควบคุมได้

<u>สรุป</u>

จากการทดลองจะเห็นว่าเราสามารถควบคุมอุณหภูมิแบบจูนปรับตัวเองได้โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ และผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อกระบวนการควบคุมอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์อย่างช้า ๆ ตามเวลา และมีสิ่งรบกวนเกิดขึ้น การใช้ตัวควบคุมแบบจูนปรับตัวเองควบคุมกระบวนการดังกล่าวสามารถให้สมรรถนะที่เหนือกว่าการใช้ตัวควบคุมแบบ PID สำหรับการเลือกใช้ชนิดของการควบคุมควรพิจารณาให้เหมาะสมกับรูปแบบของกระบวนการ และขั้นตอนของการควบคุม จึงจะได้ผลตอบที่ดีที่สุด