

ชุดฝึกปฏิบัติการระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบด้วยโปรแกรมแลปวิวส์

The Experimental Setup of Oven Temperature Control with LabVIEW Programming

ปริณญา บุญช่วย¹, เทพรัตน์ สะสม², ศักดา พรหมเหมือน³, สันติ หวังนิพนพานโต⁴, เทียนชัย สุขศรี^{5*}

^{1,2,5} สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม, ^{3,4} สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทร 0-2219-3861, โทรสาร 0-2219-3861, *อีเมลล์ aaa_kmitl@hotmail.com

Parinya Boonchouy¹, Tepparat Sasom², Sakda Prommeuan³, Santi Wangnipparnto⁴, Tianchai Suksri^{5*}

^{1,2,5} Department of Instrumentation Engineering, ^{3,4} Department of Electrical Engineering,

Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Pathumwan, Bangkok, 10330, Thailand,

Tel: 0-2219-3861, Fax: 0-2219-3861, *E-mail: aaa_kmitl@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ ชุดฝึกปฏิบัติการระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบด้วยโปรแกรมแลปวิวส์ โดยกระบวนการเตาอบที่ใช้สำหรับการทดลองนี้ประกอบไปด้วย เตาอบที่ควบคุมการทำงานด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแท่งฮีตเตอร์ผ่านทางอุปกรณ์ควบคุมมมเฟส และใช้อาร์ทีดีเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิ ซึ่งช่วงของอุณหภูมิที่สามารถทำงานได้อยู่ระหว่าง 25 – 180 °C สำหรับการควบคุมใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับ PID Control Toolset และใช้การ์ดอินเทอร์เฟซ USB-6008 ในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการเตาอบ ชุดฝึกนี้สามารถตอบสนองต่อการใช้งาน ในเรื่องของการควบคุมกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีเวลาไร้ผลตอบสนองได้อย่างครบถ้วน ซึ่งนักศึกษาจะได้ทดลองและทำความเข้าใจถึงการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้วิธี Ziegler-Nichols นอกจากนั้นยังเป็นชุดฝึกที่สามารถสร้างและใช้งานได้ง่าย

Abstract

This objective of the paper is to introduce the experimental setup of oven temperature control with LabVIEW programming. The process is composed of oven and phase angle for heater controlling. Internal temperature in the oven is detected by RTD. Range of temperature operation is among 25-180 °C that is controlled by LabVIEW programming combination with PID Control Toolset. The interface between controller and process is operates by DAQ USB-6008. The experiment setup is efficiency in supportable the system control of first order plus dead time

(FOPDT) process. Student will to experiment with process for analysis mathematical model and control with PID controller by Ziegler-Nichols method. Moreover, the experiment setup is easily for build and use.

1. บทนำ

วิชาการกระบวนการพลศาสตร์และการควบคุม เป็นวิชาหนึ่งที่อธิบายถึงพฤติกรรมทางด้านพลศาสตร์ของกระบวนการต่างๆ เช่น พฤติกรรมของกระบวนการระดับน้ำ, ความดัน, อุณหภูมิ, อัตราการไหล ฯลฯ ซึ่งการเรียนการสอนในวิชานี้ จำเป็นที่จะต้องมีการทดลองปฏิบัติเพื่อทำความเข้าใจถึงคุณลักษณะพฤติกรรมของกระบวนการ โดยกระบวนการอุณหภูมิเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้กันมากในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว กระบวนการอุณหภูมิจะมีคุณลักษณะของกระบวนการเป็นแบบอันดับหนึ่งที่มีเวลาไร้ผลตอบสนองร่วมอยู่ด้วย (first order plus dead time) ดังนั้นผู้เขียนจึงได้มีแนวความคิดในการจัดทำชุดฝึกปฏิบัติการซึ่งจะเน้นที่ความสะดวกในการใช้งานของชุดฝึก สามารถทำการเคลื่อนย้ายและทำความเข้าใจในการใช้งานได้ง่าย

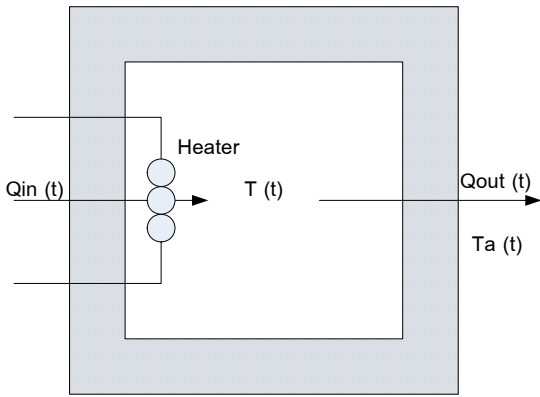
ในบทความนี้นำเสนอ ชุดฝึกปฏิบัติการระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบด้วยโปรแกรมแลปวิวส์ โดยการออกแบบและการควบคุมเตาอบได้กระทำบนคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW [1-2] ร่วมกับ PID Control Toolset [3] เนื่องจากสามารถทำการออกแบบหน้าจอการใช้งาน (GUI: Graphic User Interface) ได้รวดเร็ว, สวยงาม, ประยุกต์ใช้งานได้ง่าย และใช้การ์ดอินเทอร์เฟซ DAQ USB-6008 ในการรับและส่งสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนการเตาอบ โดยการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุม และค่าพารามิเตอร์ของ

ตัวควบคุมพีไอดีทำได้โดยใช้วิธี Ziegler-Nichols [4] สำหรับการทดลอง จะทำการทดลองควบคุมกระบวนการอุณหภูมิด้วยตัวควบคุม พีไอ และ พีไอดี ทั้งในสถานะไม่มีโหลดและมีโหลด

2. ทฤษฎีการทดลอง

2.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนกระบวนการเตาอบ

กระบวนการเตาอบ เป็นกระบวนการการควบคุมอุณหภูมิแบบหนึ่ง ที่ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยรูปแบบตัวอย่างของ กระบวนการแสดงได้ดังรูปที่ 1. เป้าหมายของการควบคุมกระบวนการ คือการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบ โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแท่ง ฮีตเตอร์ภายในเตาอบผ่านทางอุปกรณ์ควบคุมมูมเฟส และอุณหภูมิ ภายในกระบวนการถูกวัดโดยใช้อาร์ทีดี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกระบวนการสามารถหาได้จากสมการสมดุลทางพลังงาน แสดง ได้ดังสมการที่ (1) และจัดรูปแบบใหม่ให้อยู่ในรูปอัตราการเปลี่ยนแปลง ของอุณหภูมิภายในเตาอบได้ดังสมการที่ (2)



รูปที่ 1. กระบวนการเตาอบ

$$\rho V c_p \frac{dT(t)}{dt} = -GA(T(t) - T_a(t)) + ku(t) \quad (1)$$

$$\frac{dT(t)}{dt} = -\frac{GA}{\rho V c_p} (T(t) - T_a(t)) + \frac{k}{\rho V c_p} u(t) \quad (2)$$

โดย

ρ = ความหนาแน่นของอากาศภายในเตาอบ kg/m^3

V = ปริมาตรภายในเตาอบ m^3

c_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศภายในเตาอบ $J/(kg \cdot ^\circ C)$

G = สัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนรวม $J/(s \cdot m^2 \cdot ^\circ C)$

A = พื้นที่ผิวที่มีการส่งผ่านความร้อน m^2

k = ค่าอัตราขยายของฮีตเตอร์ $J/(s \cdot Volt)$

$T(t)$ = อุณหภูมิภายในเตาอบ $^\circ C$

$T_a(t)$ = อุณหภูมิภายนอกเตาอบ $^\circ C$

$u(t)$ = แรงดันควบคุมที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์ Volt

จากสมการที่ (1) เมื่อจ่ายแรงดันให้กับชุดฮีตเตอร์คงที่และอุณหภูมิ ภายในเตาอบอยู่ในสถานะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ค่าสัมประสิทธิ์ของ การนำความร้อนรวม G สามารถหาได้จาก

$$G = \frac{ku(t)}{A(T(t) - T_a(t))} \quad (3)$$

จากสมการที่ (2) ทำการกำหนดตัวแปรใหม่ได้ดังสมการที่ (4)

$$\frac{dT(t)}{dt} = -\tau(T(t) - T_a(t)) + Ku(t) \quad (4)$$

โดย

$$\tau = \frac{GA}{\rho V c_p}, s \quad K = \frac{k}{\rho V c_p}, ^\circ C/Volt$$

จากสมการที่ (4) ทำให้อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังสมการที่ (5)

$$T(s) = \frac{K}{\tau s + 1} U(s) + \frac{1}{\tau s + 1} T_a(s) \quad (5)$$

แต่เนื่องจากกระบวนการเตาอบ มีคุณลักษณะเวลาไร้ผลตอบสนอง รวมอยู่ด้วย ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการเตาอบจึงต้องมีส่วน ของเวลาไร้ตอบสนองรวมอยู่ด้วย แสดงได้ดังสมการที่ (6)

$$T(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1} U(s) + \frac{e^{-t_0 s}}{\tau s + 1} T_a(s) \quad (6)$$

และถ้าหากอุณหภูมิภายนอกเตาอบอยู่ในสถานะที่คงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการที่ (7)

$$T(s) = \frac{Ke^{-t_0 s}}{\tau s + 1} U(s) \quad (7)$$

โดยเทอมของเวลาไร้ผลตอบสนอง $e^{-t_0 s}$ สามารถประมาณให้อยู่ใน รูปฟังก์ชันถ่ายโอนได้ โดยในบทความนี้จะทำการประมาณโดยใช้วิธี ของ Pade ซึ่งจะทำการประมาณเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับหนึ่ง แสดง ได้ดังสมการที่ (8)

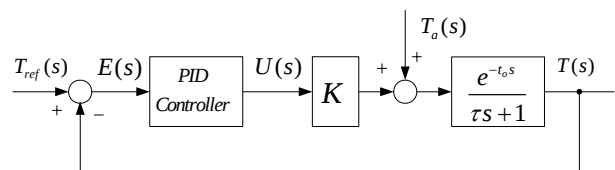
$$e^{-t_0 s} \approx \frac{-\frac{t_0}{2}s + 1}{\frac{t_0}{2}s + 1} \quad (8)$$

นำสมการที่ (8) แทนในสมการที่ (7) ได้ดังสมการที่ (9)

$$T(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \frac{-t_0/2s + 1}{t_0/2s + 1} U(s) \quad (9)$$

2.2 ระบบควบคุมอุณหภูมิกระบวนการเตาอบ

ระบบควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการเตาอบ แสดงได้ดังรูปที่ 2.



รูปที่ 2. บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมอุณหภูมิกระบวนการเตาอบ

จากรูปที่ 2. หากพิจารณาตัวควบคุมเป็นแบบ พี, พีไอ และพีไอดี สามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนระบบควบคุมวงปิด ของอุณหภูมิภายในเตาอบต่ออุณหภูมิอ้างอิงได้ดังนี้

กรณีตัวควบคุมแบบ พี

$$\begin{aligned}\frac{N_T(s)}{D_{T_{ref}}(s)} &= \frac{T(s)}{T_{ref}(s)} \\ N_T(s) &= KK_p(-t_0/2s+1) \\ D_{T_{ref}}(s) &= \tau t_0/2s^2 + (\tau + t_0/2 - KK_p t_0/2)s + (1 + KK_p)\end{aligned}\quad (10)$$

กรณีตัวควบคุมแบบพีไอ

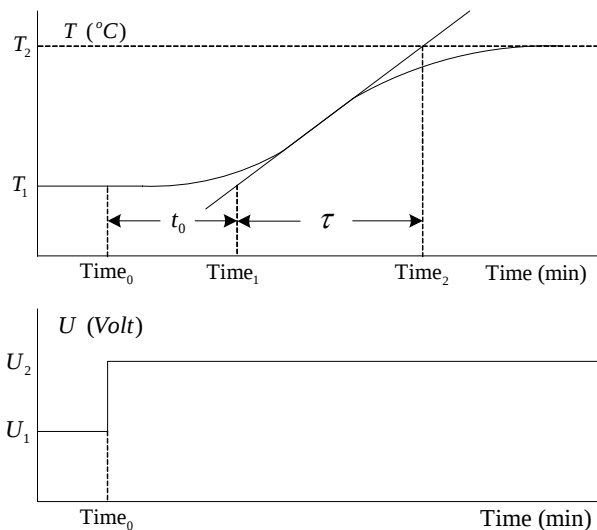
$$\begin{aligned}\frac{N_T(s)}{D_{T_{ref}}(s)} &= \frac{T(s)}{T_{ref}(s)} \\ N_T(s) &= K(K_p s + K_i)(-t_0/2s+1) \\ D_{T_{ref}}(s) &= \tau t_0/2s^3 + (\tau + t_0/2 - KK_p t_0/2)s^2 \\ &\quad + (1 + KK_p - KK_i t_0/2)s + KK_i\end{aligned}\quad (11)$$

กรณีตัวควบคุมแบบพีไอดี

$$\begin{aligned}\frac{N_T(s)}{D_{T_{ref}}(s)} &= \frac{T(s)}{T_{ref}(s)} \\ N_T(s) &= K(K_d s^2 + K_p s + K_i)(-t_0/2s+1) \\ D_{T_{ref}}(s) &= (\tau t_0/2 - KK_d t_0/2)s^3 + (\tau + t_0/2 + KK_d - KK_p t_0/2)s^2 \\ &\quad + (1 + KK_p - KK_i t_0/2)s + KK_i\end{aligned}\quad (12)$$

จากสมการที่ (10), (11) และสมการที่ (12) พบได้ว่าตัวควบคุมแบบพีไอดีนั้น เป็นตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำกรอกแบบตัวควบคุมเมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบพีและพีไอ เนื่องจากฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการเตาอบ เมื่อคิดเวลาไอร์แลนด์ตอบสนองรวมเข้าไปด้วยนั้นเป็นแบบอันดับสอง

2.3 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนกระบวนการเตาอบด้วยวิธีการทดลอง



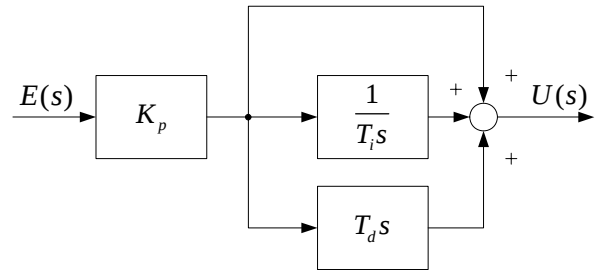
รูปที่ 3. การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการด้วยวิธีป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดให้กับกระบวนการ

สำหรับวิธีการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการเตาอบ สามารถทำได้โดยใช้วิธีป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดให้กับกระบวนการ โดยวิธีการคือการป้อนสัญญาณแรงดันควบคุม $U(s)$ ให้กระบวนการและวัดอุณหภูมิของกระบวนการเตาอบ $T(s)$ จากนั้นจะได้พารามิเตอร์ของกระบวนการเตาอบตามสมการที่ (7) ดังนี้

$$\begin{aligned}K &= \frac{T_2 - T_1}{U_2 - U_1} \\ \tau &= T - \text{Time}_2 - \text{Time}_1, \quad t_0 = L = \text{Time}_1 - \text{Time}_0\end{aligned}\quad (13)$$

2.4 การออกแบบตัวควบคุมพีไอดี

ตัวควบคุมพีไอดีตามโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4. สามารถทำการเขียนฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมได้ตามสมการที่ (17)



รูปที่ 4. โครงสร้างตัวควบคุมพีไอดี

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \quad (14)$$

สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม จะใช้วิธีป้อนสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได ให้กับกระบวนการซึ่งถูกแนะนำโดย Ziegler-Nichols [4] และตารางการหาค่าพารามิเตอร์พีไอดีที่เหมาะสมแสดงได้ดังตารางที่ 1.

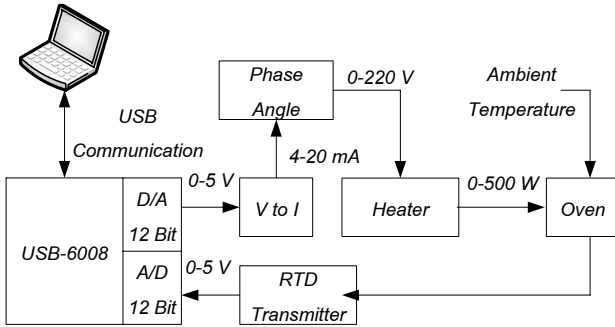
ตารางที่ 1. การหาค่าพีไอดีที่เหมาะสมด้วยวิธี Ziegler-Nichols

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$T/(K \cdot L)$	∞	0
PI	$0.9T/(K \cdot L)$	$L/0.3$	0
PID	$1.2T/(K \cdot L)$	$2L$	$0.5L$

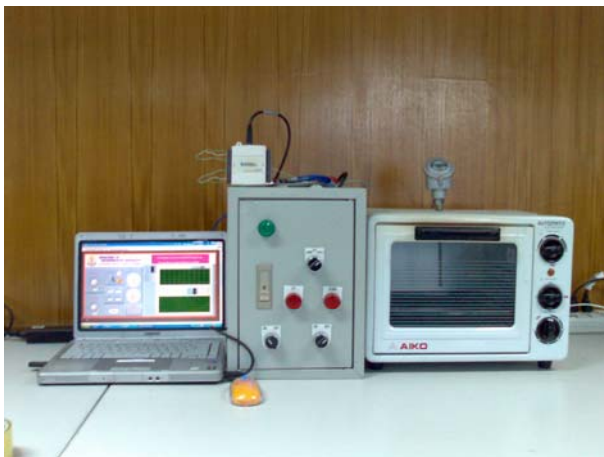
3. การออกแบบระบบควบคุมด้วย LabVIEW

ระบบควบคุมประกอบไปด้วยเตาอบขนาดปริมาตร 15,000 cm³ หรือ 15 ลิตร ควบคุมการทำงานด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแท่งฮีตเตอร์ขนาด 500 Watt ภายในเตาอบผ่านทางอุปกรณ์ควบคุมมูมเฟสที่รับสัญญาณอินพุตขนาด 4-20 mA และการตรวจวัดอุณหภูมิใช้อาร์ทีดีเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิภายในเตาอบที่เปลี่ยนแปลงไป ช่วงของอุณหภูมิภายในเตาอบที่ใช้ในการทดลองมีช่วงระหว่าง 25 – 180 °C อุปกรณ์แปลงสัญญาณรับค่าจากตัวอาร์ทีดี เพื่อแปลงสัญญาณอุณหภูมิที่วัดได้ให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิเตาอบกระทำการคอมพิวเตอรโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับตัวควบคุมพีไอดีใน PID Control Toolset โดยสัญญาณควบคุมขนาด 0-5 โวลต์

ถูกส่งให้กับวงจรแปลงแรงดันเป็นกระแส เพื่อส่งต่อไปยังอุปกรณ์ควบคุมมุมเฟส ซึ่งการรับและส่งสัญญาณ ระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนกรเตาอบใช้การ์ดอินเทอร์เฟซรุ่น USB-6008 ของบริษัทเนชั่นแนลอินสทรูเมนต์ จำกัด ในการรับและส่งสัญญาณ ระหว่างคอมพิวเตอร์กับกระบวนกรเตาอบ ระบบควบคุมกระบวนกรเตาอบแสดงได้ดังรูปที่ 5. และรูปที่ 6. แสดงระบบควบคุมกระบวนกรเตาอบที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5. ระบบควบคุมกระบวนกรเตาอบ



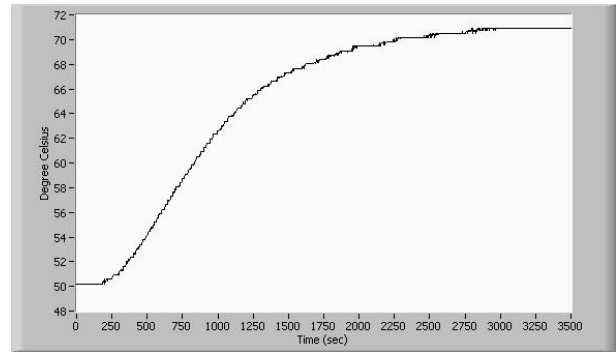
รูปที่ 6. ระบบควบคุมกระบวนกรเตาอบที่ใช้ในการทดลอง

4. ผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนกร และการควบคุมกระบวนกรด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้วิธี Ziegler-Nichols

4.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนกร

การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนกร ทำได้ดังตามที่อธิบายในหัวข้อ 2.3 โดยในการทดลองนี้ทำการทดลองในห้องที่มีอุณหภูมิ (T_0) 25°C และเลือกจุดทำงาน ณ ตำแหน่งที่อุณหภูมิของกระบวนกร (T) มีค่าเท่ากับ 50.2°C



รูปที่ 7. ผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงปิด

รูปที่ 7. แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมแบบวงปิด เมื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุตอ้างอิงที่ป้อนให้กับกระบวนกรไป 10 % โดยจากผลการทดลองได้แบบจำลองของกระบวนกรดังนี้

$$T(s) = \frac{41.362e^{-1.667s}}{14.1667s + 1} U(s) \quad (15)$$

จากสมการที่ 15 พบว่า ณ จุดการทำงานของกระบวนกรนี้ มีค่าอัตราขยายของระบบควบคุม $41.362^{\circ}\text{C/Volt}$, ค่าคงตัวเวลา (Time Constant) 14.1667 นาที หรือ 850 วินาที และค่าเวลาไร้ผลตอบสนอง 1.6667 หรือ 100 วินาที

4.2 การควบคุมกระบวนกรด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้วิธี

Ziegler-Nichols

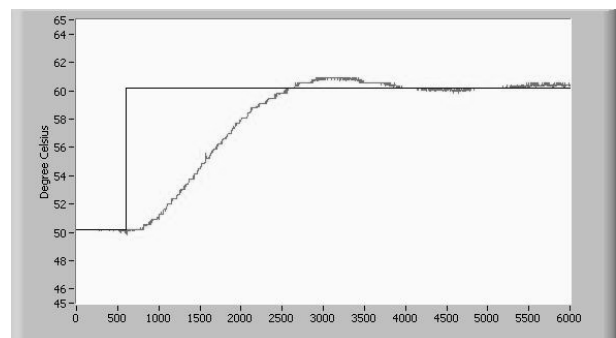
การหาพารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดีทำได้ดังที่อธิบายในหัวข้อ 2.4 และจากผลการหาแบบจำลองในหัวข้อที่ 4.1 ได้พารามิเตอร์ของตัวควบคุมพีไอดี ตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2. พารามิเตอร์ของตัวควบคุม

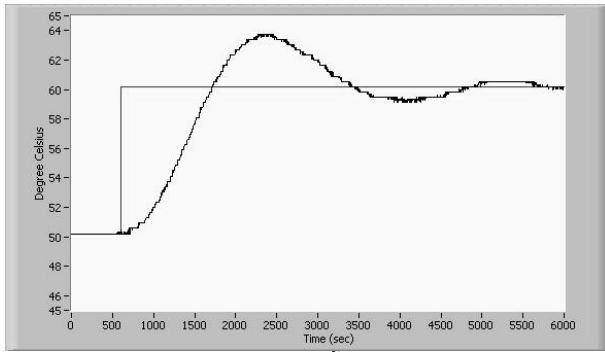
Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	0.198	∞	0
PI	0.185	5.556	0
PID	0.246	3.333	0.833

4.2.1 การควบคุมกระบวนกรด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้วิธี

Ziegler-Nichols ในสภาวะไม่มีโหลด



รูปที่ 8. ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอ

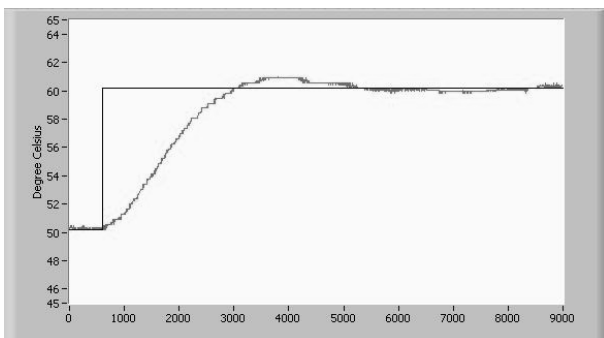


รูปที่ 9. ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี

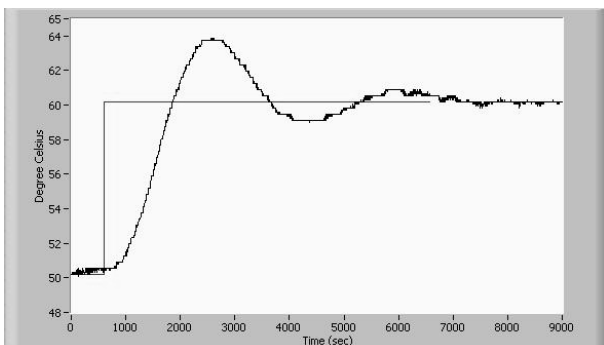
รูปที่ 8. และรูปที่ 9. แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบของตัวควบคุมพีไอและพีไอดี เมื่อกำหนดให้สัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดเปลี่ยนแปลงไป 10°C จากรูปพบว่าผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมพีไอและพีไอดีมีค่าพุ่งเกิน (Percent Overshoot) 7 เปอร์เซ็นต์ และ 35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเวลาเข้าที่ (Settling Time) ประมาณ 3,500 วินาที และ 5,000 วินาที ตามลำดับ

4.2.2 การควบคุมกระบวนการด้วยตัวควบคุมพีไอดีโดยใช้วิธี Ziegler-Nichols ในสภาวะมีโหลด

การทดลองผลตอบสนองของระบบควบคุมในสภาวะมีโหลดนี้ ใช้ น้ำจำนวน 2 ลิตรทำหน้าที่เป็นโหลดในระบบควบคุม ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 10. และ 11



รูปที่ 10. ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอ



รูปที่ 11. ผลตอบสนองต่อสัญญาณขั้นบันไดของตัวควบคุมพีไอดี

รูปที่ 10. และรูปที่ 11. แสดงผลตอบสนองของระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบของตัวควบคุมพีไอและพีไอดี เมื่อกำหนดให้สัญญาณอ้างอิงแบบขั้นบันไดเปลี่ยนแปลงไป 10°C ในสภาวะมีโหลดเป็นน้ำจำนวน 2 ลิตร จากรูปพบว่า ผลตอบสนองของระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุมพีไอและพีไอดีมีค่าพุ่งเกิน (Percent Overshoot) 7 เปอร์เซ็นต์ และ 35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเวลาเข้าที่ (Settling Time) ประมาณ 6,000 วินาที และ 6,500 วินาที ตามลำดับ เห็นได้ว่าในสภาวะมีโหลดนั้น ตัวควบคุมแบบพีไอและพีไอดี สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ แต่ผลตอบสนองของระบบควบคุมจะช้ากว่าในสภาวะไม่มีโหลด โดยค่าเวลาเข้าที่ของระบบควบคุมสำหรับตัวควบคุมพีไอและพีไอดี ในสภาวะมีโหลดช้ากว่าประมาณ 1,100 และ 1,500 ตามลำดับ

5. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้นำเสนอ ชุดฝึกปฏิบัติการระบบควบคุมอุณหภูมิเตาอบด้วยโปรแกรมแลปวิวส์ โดยชุดฝึกนี้เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้สำหรับการเรียนการสอนในวิชากระบวนการพลศาสตร์และการควบคุม ซึ่งกระบวนการที่นำเสนอนี้เป็นกระบวนการที่สามารถใช้เรียนรู้ทำความเข้าใจเกี่ยวกับการหาฟังก์ชันถ่ายโอนและการควบคุมกระบวนการแบบอื่นหนึ่งที่ไร้เวลาผลตอบสนองได้เป็นอย่างดี จากการทดลองใช้งาน ชุดฝึกนักศึกษามีความสนใจในการทดลอง เนื่องจากโปรแกรมแลปวิวส์เป็นโปรแกรมที่มีลักษณะ ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมในการควบคุมและสามารถแสดงผลตอบสนองของกระบวนการได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Johnson, G.W., and Jennings, R., 2001. LabVIEW Graphical Programming. 3rd ed., McGraw-Hill., Singapore
- [2] Essick, J., 1999. Advanced LabVIEW Labs., PrenticeHall., New Jersey, USA
- [3] National Instruments, 2001. PID Control Toolset User Manual
- [4] J.G. Ziegler and N.B. Nichols, 1942. Optimum Settings for Automatic Controller. ASME Trans., Vol. 64, pp.759-768