การหาเอกลักษณ์และการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวล

IDENTIFICATION AND TEMPERATURE CONTROL OF HOT AIR GENERATION PROCESS FROM BIOMASS BURNER

ธนยศ อริสริยวงศ์*, ณัชชานันท หัตถศาสตร์, สุรศักดิ์ กาญจนวงศ์, จิณณวัตร บุญสุข, สมมาส แก้วล้วน*

Tanayos Arisariyawong*, Natchanan Hattasat, Surasak Kanjanawong, Jinnawat Bunsuk, Sommas Kaewluan*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University.

**Corresponding author, e-mail: Tanayos.Swu@gmail.com*

Received: *23 July 2020;* ***Revised:*** *3 March 2021;* ***Accepted:*** *21 May 2021*

บทคัดย่อ

การสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวลถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นการใช้พลังงานทดแทน ช่วยขจัดปัญหาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและลดปัญหาสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิของลมร้อนที่ได้ถือเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบ่งบอกถึงเสถียรภาพและประสิทธิภาพของหัวเผาชีวมวล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการหาเอกลักษณ์และการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวล โดยเอกลักษณ์ของกระบวนการจะเขียนเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่ง และใช้ตัวควบคุมแบบ พี ไอ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนให้เป็นไปตามที่ต้องการ จากผลการทดลองพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถจำลองผลการตอบสนองของระบบได้ดี และตัวควบคุมแบบ พี ไอ สามารถควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนให้เป็นไปตามที่ต้องการโดยมีค่ารากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 2.23°C

คำสำคัญ: หัวเผาชีวมวล กระบวนการสร้างลมร้อน การควบคุมอุณหภูมิลมร้อน

Abstract

The hot air generation from biomass burner is widely used, since it is a renewable, eliminate agricultural wastes and reduce environmental problems. The temperature of hot air is an important parameter in determining the stability and efficiency of the biomass burner. Therefore, this research presents the identification and temperature control of the hot air generation process from biomass burner. The identification of process is written as a mathematical model of first order differential equations. A PI controller is using to control the temperature of the hot air to meet the requirements. The experimental results shown that the developed mathematical model was able to simulate the system response as well.

The PI controller can control the hot air temperature as needed with the average root mean square error of 2.23°C

Keywords: Biomass burner, Hot air generation, Hot air temperature control

บทนำ

พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมเนื่องจากชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้มาจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ซังข้าวโพด ฟางข้าว เศษไม้ หรือ ขี้เลื่อย เป็นต้น การใช้พลังงานจากชีวมวลจึงเป็นพลังงานทางเลือกที่ดีทั้งในแง่ของการรักษาสิ่งแวดล้อมและต้นทุนการผลิตพลังงาน [1-2] หัวเผาชีวมวลสร้างความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวลผ่านกระบวนการสร้างแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์แล้วนำแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ได้ไปทำให้เกิดการติดไฟ ความร้อนที่ได้จากเปลวไฟนี้สามารถนำไปผสมกับอากาศเพื่อสร้างลมร้อนแล้วนำไปอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้เป็นอย่างดี [3-4] อุณหภูมิลมร้อนที่ได้ถือเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบ่งบอกถึงเสถียรภาพและประสิทธิภาพของหัวเผาชีวมวล [5-6] ดังนั้นการหาเอกลักษณ์และการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากถ้าสามารถควบคุมอุณหภูมิลมร้อนให้เป็นไปตามที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ จะส่งผลให้การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และจากการหาเอกลักษณ์ของกระบวนการสร้างลมร้อนนี้ยังเป็นพื้นฐานไปสู่การออกแบบและปรับปรุงหัวเผาชีวมวลให้มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพที่ดีขึ้น [7] การหาเอกลักษณ์ของหัวเผาชีวมวลที่ผ่านมามักเป็นในลักษณะการศึกษาเชิงทดลองเพื่อให้รู้พฤติกรรมของตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการเท่านั้น ทำให้การทดลองลักษณะนี้มีต้นทุนที่สูงใช้เวลานาน การเปลี่ยนเงื่อนไขการทดลองทำได้ยาก [8] ต่อมาจึงเริ่มหันมาใช้วิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแต่ละส่วนในกระบวนการด้วยทฤษฎีทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์และการถ่ายเทความร้อน [9-10] วิธีการดังกล่าวนี้มีข้อดีตรงที่สามารถอธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแต่ละส่วนได้ดี แต่อาจเกิดความผิดพลาดได้สูงหากค่าตัวแปรบางตัวมีความไม่เป็นเชิงเส้นหรือความไม่แน่นอน อีกทั้งเงื่อนไขการนำไปใช้ยังมีข้อจำกัดค่อนข้างมาก ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ดีเท่าที่ควร ส่วนการควบคุมอุณหภูมิของเปลวไฟและลมร้อนจากหัวเผาชีวมวลมักเป็นแบบแมนนวลหรือเป็นการจำลองการควบคุมจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [11-12] ซึ่งให้ผลการทดลองที่ยังไม่ดีนักเนื่องจากเป็นแบบแมนนวลและผลที่ได้จากการจำลองก็ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าจะตรงกับระบบจริง ส่วนการออกแบบตัวควบคุมที่ซับซ้อนเกินไปถึงแม้อาจจะให้ผลการทดลองที่ดีแต่ก็เป็นการยากเมื่อจะนำไปใช้งานจริงเนื่องจากข้อจำกัดทางความเร็วในการคำนวณและความน่าเชื่อถือของตัวควบคุมเอง [13-14]

เพื่อให้การหาเอกลักษณ์และการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนของหัวเผาชีวมวลมีประสิทธิภาพและสามารถประยุกต์ไปสู่การใช้งานในทางปฏิบัติกับกระบวนการจริงได้ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการหาเอกลักษณ์จากการทดลองกับกระบวนการจริงแล้วเขียนความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ และใช้ตัวควบคุมแบบ พี ไอ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนให้เป็นไปตามที่ต้องการ เนื่องจากตัวควบคุมชนิดนี้มีใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม รวมถึงความน่าเชื่อถือและความง่ายในการปรับค่าเกนของตัวควบคุม

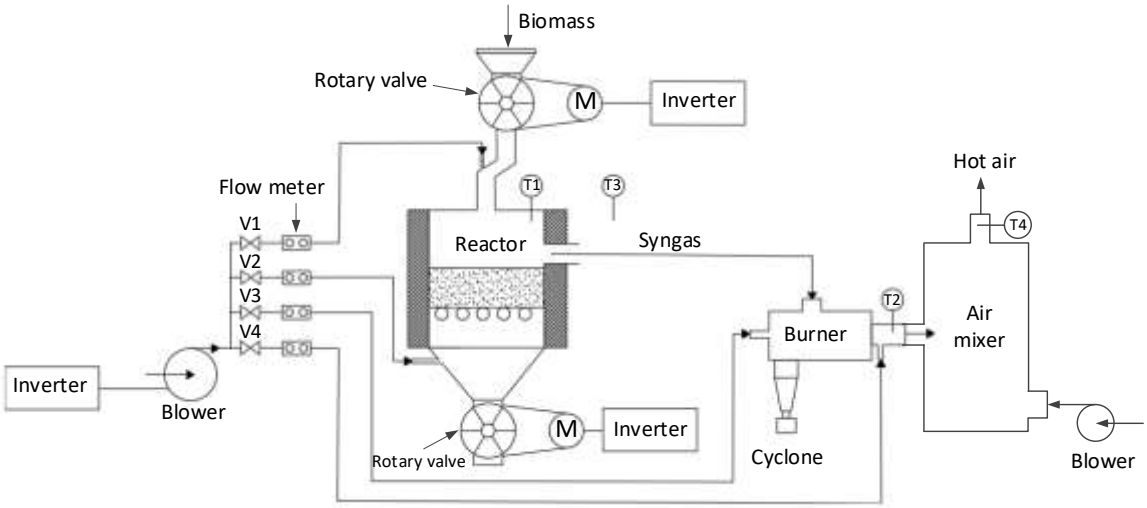
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาการหาเอกลักษณ์และการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวลให้มีประสิทธิภาพและสามารถประยุกต์ไปสู่การใช้งานในภาคปฏิบัติ

วิธีดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์ทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้จะใช้ต้นแบบหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวล ซึ่งพัฒนาและจัดสร้างโดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ [15] ซึ่งเป็นหัวเผาขนาดเล็ก ค่าความร้อนที่ได้เท่ากับ 169 MJ/hr อุณหภูมิภายในเตาประมาณ 800 °C เมื่อใช้ชีวมวลอัดเม็ดที่ทำมาจาก ขี้เลื่อยของไม้ยางพารา และไดอะแกรมการทำงานสามารถแสดงดังภาพที่ 1



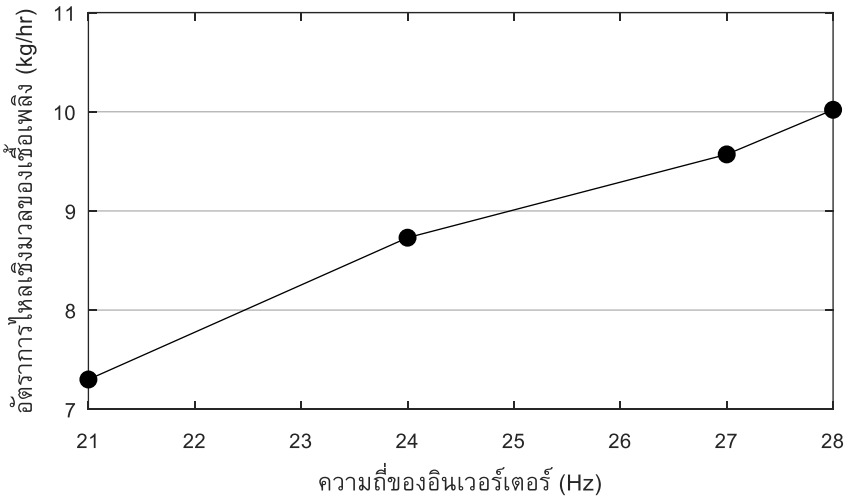
ภาพที่ 1 ไดอะแกรมการทำงานของต้นแบบหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวล

จากภาพที่ 1 การทำงานจะเริ่มจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะถูกป้อนจากด้านบนของเตาผลิตแก๊สผ่านวาล์วแบบโรตารี (Rotary Valve) ที่ถูกขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพื่อควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิง ส่วนอากาศจะถูกป้อนเข้าระบบด้วยโบลเวอร์ (Blower) และควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ ผ่านวาล์วที่ควบคุมด้วยมือ (V1 – V4) ผ่านอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow Meter) โดยวาล์ว V1 ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่จะเข้าไปยังส่วนบนของท่อลำเลียงเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Syngas) ไหลย้อนกลับขึ้นมาด้านบน วาล์ว V2 ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่จะเข้าไปยังเตาผลิตแก๊ส (Reactor) ซึ่งอากาศจะไหลจากล่างขึ้นบน วาล์ว V3 ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่จะเข้าไปผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากเตาผลิตแก๊สที่ทางเข้าของหัวเผา (Burner) โดยจะมีไซโคนเอาไว้ดักฝุ่นให้ตกลงด้านล่าง และวาล์ว V4 ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่จะเข้าไปยังทางออกของหัวเผาเพื่อช่วยให้การสันดาษมีประสิทธิภาพดีขึ้น ส่วนเปลวไฟและความร้อนจะพุ่งออกจากหัวเผาไปที่ห้องผสมอากาศ (Air Mixer) เพื่อสร้างลมร้อน วาล์ว V1 – V4 จะถูกปรับตั้งให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานที่ต้องการจากนั้นในระหว่างการทำงานวาล์ว V1 – V4 จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ส่วนขี้เถ้าที่เกิดขึ้นภายในเตาผลิตแก๊สจะถูกนำออกทางด้านล่างผ่านวาล์วแบบโรตารีที่ถูกขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (T1 – T4) จะถูกติดตั้ง ณ จุดต่าง ๆ โดย T1 วัดอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊ส T2 วัดอุณหภูมิเปลวไฟที่ทางออก T3 วัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อม และ T4 วัดอุณหภูมิของลมร้อน อุณหภูมิที่วัดได้จะถูกจัดเก็บด้วยดาต้าล็อกเกอร์ (Data Logger) ส่วนความเร็วของมอเตอร์

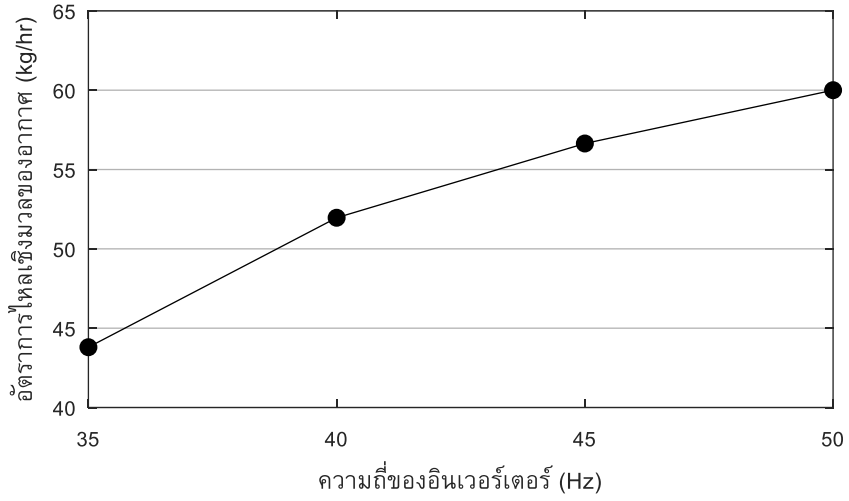
ไฟฟ้าและโบลเวอร์ที่ต่อกับอินเวอร์เตอร์จะถูกควบคุมด้วย พี แอล ซี (PLC) โดยสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของหัวเผานี้ต้องใช้อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง (A/F Ratio) เท่ากับ 6:1 [15]

การปรับเทียบความถี่ของอินเวอร์เตอร์กับอัตราการไหลเชิงมวล

ในการหาเอกลักษณ์และการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวล จะต้องควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่ควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและโบลเวอร์ที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบ ซึ่งการควบคุมความเร็วทั้งหมดกระทำผ่านอินเวอร์เตอร์ ดังนั้นจะต้องปรับเทียบความถี่ของอินเวอร์เตอร์กับความเร็วของมอเตอร์และโบลเวอร์ในรูปอัตราการไหลเชิงมวลเสียก่อน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเขียนโปรแกรมให้ พี แอล ซี ต่อไป ซึ่งผลการปรับเทียบสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 และ 3



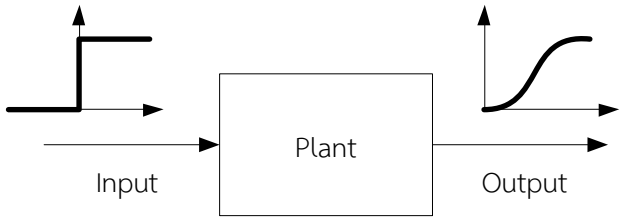
ภาพที่ 2 ผลการปรับเทียบความถี่ของอินเวอร์เตอร์กับอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง



ภาพที่ 3 ผลการปรับเทียบความถี่ของอินเวอร์เตอร์กับอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

การหาเอกลักษณ์ของกระบวนการ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการหาเอกลักษณ์โดยรวมของกระบวนการจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากกระบวนการสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวลมีความซับซ้อนสูง การหาเอกลักษณ์ด้วยการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแต่ละชิ้นส่วนเป็นไปได้ยาก มีต้นทุนที่สูงเนื่องจากต้องติดตั้งอุปกรณ์วัดเข้าไปทุกส่วนของกระบวนการ และอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้มาก อีกทั้งยังไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ในทางปฏิบัติ การหาเอกลักษณ์โดยรวมจึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่า เพราะใช้เพียงข้อมูลเข้าและออกของกระบวนการก็สามารถนำมาหาเอกลักษณ์ได้แล้ว โดยจะใช้สัญญาณขาเข้า (Input Signal) เป็นแบบฟังก์ชันขั้นบันได (Step Function) ซึ่งในที่นี้ก็คืออัตราการป้อนเชื้อเพลิง จากนั้นทำการวัดสัญญาณขาออก (Output Signal) ซึ่งในที่นี้ก็คืออุณหภูมิของลมร้อนที่ผลิตได้ เพื่อดูผลการตอบสนองแล้วนำไปเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานต่อไป [16] วิธีการหาเอกลักษณ์โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การหาเอกลักษณ์ของกระบวนการโดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง

กระบวนการทางด้านความร้อนโดยทั่วไปจะสามารถเขียนเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่ง หรือ เขียนในรูปฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ซึ่งอยู่ในรูปของผลการแปลงลาปลาซ (s domain) ได้ดังสมการที่ 1

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_s}{\tau s+1} \quad (1)$$

โดย

$G(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการ (Transfer Function)

$C(s)$ คือ ตัวแปรขาออกของกระบวนการ (Output Variable) ในรูปผลการแปลงลาปลาซ

$R(s)$ คือ ตัวแปรขาเข้าของกระบวนการ (Input Variable) ในรูปผลการแปลงลาปลาซ

K_s คือ ค่าเกนของกระบวนการ (System Gain) หาได้จากอัตราส่วนของตัวแปรขาออกกับตัวแปรขาเข้า

τ คือ ค่าคงที่ของเวลา (Time Constant) หาได้จากเวลาที่ผลการตอบสนองของกระบวนการมีค่าเป็น 63.2% ของสถานะคงตัว

การออกแบบระบบควบคุม

งานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวควบคุมแบบ พี ไอ (PI Controller) ในการควบคุมอุณหภูมิของลมร้อน เนื่องจากตัวควบคุมชนิดนี้สามารถลดค่าความผิดพลาด ณ สถานะคงตัว ได้ดี นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม รวมถึงความน่าเชื่อถือและความง่ายในการปรับค่าเกน (อัตราขยาย) ของตัวควบคุม สมการของตัวควบคุมแบบ พี ไอ สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2

$$u(t) = K_p\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)dt\right) \quad (2)$$

โดย

$u(t)$ คือ สัญญาณออกของตัวควบคุม

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด

K_p คือ ค่าเกนแบบสัดส่วน

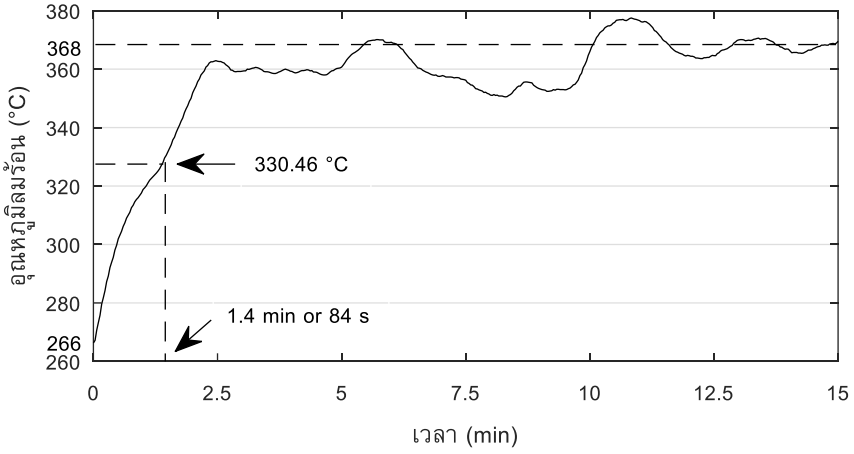
T_i คือ ค่าคงที่ของเวลาแบบอินทิกรัล

การหาค่า K_p และ T_i สามารถหาได้จากวิธีการของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols) [17] หรือใช้วิธีลองผิดลองถูก

ผลการวิจัย

ผลการทดลองการหาเอกลักษณ์ของกระบวนการสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวล

จากถาพที่ 4 ในที่นี้ตัวแปรขาเข้าของกระบวนการ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล ส่วนตัวแปรขาออก คือ อุณหภูมิของลมร้อนที่ผลิตได้ ทำการป้อนตัวแปรขาเข้าเป็นฟังก์ชันขั้นบันได โดยการเปลี่ยนอัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากความถี่อินเวอร์เตอร์ 21 Hz (7.30 kg/hr) ไปเป็น 28 Hz (10.02 kg/hr) แบบทันทีทันใด และปรับอัตราการไหลของอากาศจากความถี่อินเวอร์เตอร์ 35 Hz (43.80 kg/hr) ไปเป็น 50 Hz (60.00 kg/hr) แบบทันทีทันใด เช่นเดียวกัน เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง (A/F Ratio) อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมคือ 6:1 ผลการตอบสนองของกระบวนการสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลการตอบสนองของกระบวนการเมื่อป้อนตัวแปรขาเข้าเป็นฟังก์ชันขั้นบันได

จากภาพที่ 5 จะเห็นว่าผลการตอบสนองของกระบวนการสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งหรือเขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้ตามสมการที่ 1 โดยค่า K_s สามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ 3

$$K_s = \frac{(Final\ Temperature - Initial\ Temperature)}{Change\ in\ Fuel\ Flow\ Rate} = \frac{(368-266)}{(28-21)} = \frac{102}{7} = 14.57 \quad (3)$$

ส่วนค่า τ หาได้จากเวลาที่ผลการตอบสนองของกระบวนการมีค่าเป็น 63.2% ของสถานะคงตัว โดยอุณหภูมิของลมร้อนมีค่าเป็น 63.2% ของสถานะคงตัว หาได้จากสมการที่ 4

$$\begin{aligned} T_{63.2\%} &= 63.2\%\ of\ (change\ in\ steady\ state) + offset \\ &= 63.2\%\ of\ (368 - 266) + 266 \\ &= 330.46\ ℃ \end{aligned} \quad (4)$$

จากภาพที่ 5 ที่อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 330.46 ºC เวลาที่ใช้ในการตอบสนองเท่ากับ 1.4 นาที หรือ 84 วินาที ดังนั้นจะได้ว่า

$$\tau = 1.4\ min \quad (5)$$

แทนค่าตัวแปรจากสมการที่ 3 และ 5 ลงในสมการที่ 1 จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวลในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการที่ 6

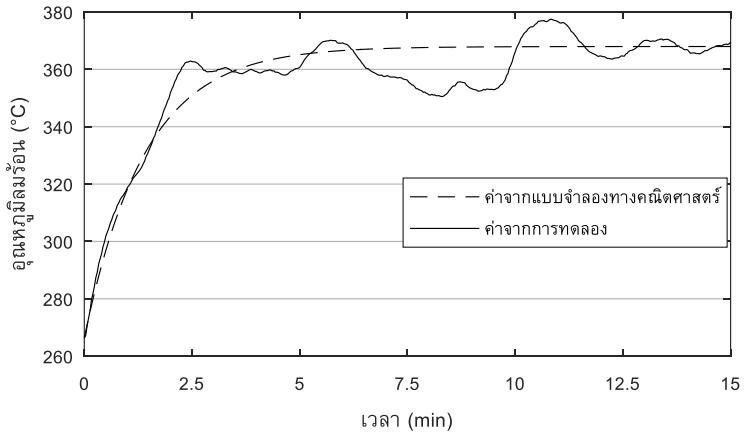
$$G(s) = \frac{T(s)}{Q(s)} = \frac{14.57}{1.4s+1} \quad (6)$$

โดย

$T(s)$ คือ อุณหภูมิของลมร้อนที่ผลิตได้

$Q(s)$ คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล

ผลการตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ 6 เมื่อเทียบกับกระบวนการจริง สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6 ซึ่งจะพบว่าในช่วงผลการตอบสนองแบบสถานะคงตัว (Steady-State Response) จะให้ผลใกล้เคียงกันมาก แต่ในช่วงผลการตอบสนองแบบชั่วครู่ (Transient Response) ผลที่ได้จะมีความแตกต่างกันอยู่บ้างเนื่องจากในช่วงนี้ความไม่แน่นอนและความไม่เป็นเชิงเส้นของกระบวนการจริงมีสูง เช่น อุณหภูมิของอากาศจะไม่คงที่เมื่อผ่านโบลเวอร์ขณะเพิ่มความเร็วรอบทำให้ความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนไป ส่งผลให้อุณหภูมิของลมร้อนที่ได้มีการแกว่งค่อนข้างมาก เป็นต้น



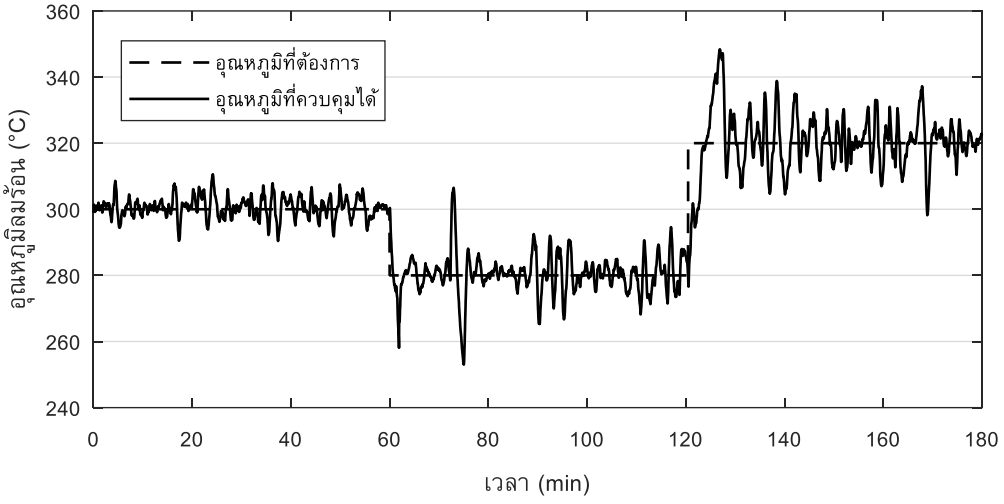
ภาพที่ 6 ผลการตอบสนองของกระบวนการระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับกระบวนการจริง

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ออกแบบและวิเคราะห์ระบบควบคุมต่อไปโดยที่ ไม่จำเป็นจะต้องไปทดลองกับกระบวนการจริง ซึ่งจะช่วยลดเวลา ลดต้นทุน รวมถึงลดความผิดพลาด ลงไปได้มาก เนื่องจากกระบวนการสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวล ใช้เวลาในการทดลองนาน ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจำนวนมาก และอาจเกิดอันตรายได้หากมีความผิดพลาดในขั้นตอนการปฏิบัติ

ผลการทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวล

เพื่อควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนให้เป็นไปตามที่ต้องการ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวควบคุมแบบ พี ไอ โดยการหาค่าเกนและค่าคงที่ของเวลาในตัวควบคุมจะใช้วิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์ ร่วมกับวิธีการลองผิดลองถูก โดยจะใช้วิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์ ในการหาค่าเริ่มต้นของค่าเกนและค่าคงที่ของเวลาในตัวควบคุม จากนั้นจะใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการหาค่าโดยละเอียดอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด [18] โดยจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่หาได้จากสมการที่ 6 เพื่อจำลองผลการควบคุม จากนั้นนำค่าตัวแปรต่าง ๆ ของตัวควบคุมแบบ พี ไอ ที่ได้จากการจำลองไปทดสอบกับกระบวนการจริงเพื่อดูผลการควบคุมและปรับแต่งให้เหมาะสมอีกครั้งหนึ่ง โดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดและเวลาในการตอบสนองของระบบไม่ให้มีค่ามากจนเกินไป

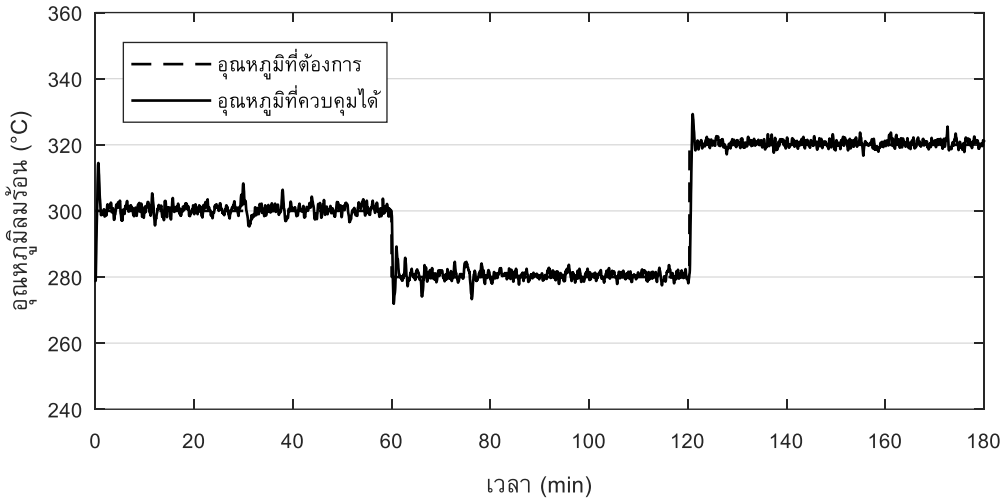
จากการใช้วิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์ ร่วมกับวิธีการลองผิดลองถูก โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ พบว่าค่าเกนและค่าคงที่ของเวลาในตัวควบคุมแบบ พี ไอ ที่เหมาะสมคือ $K_p = 0.1$ และ $T_i = 10$ จากนั้นนำค่าที่ได้นี้ไปเขียนโปรแกรมให้กับ พี แอล ซี เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการจริง ผลที่ได้เป็นไปดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนโดยใช้ $K_p = 0.1$ และ $T_i = 10$

จากภาพที่ 7 จะพบว่าอุณหภูมิลมร้อนที่ได้ยังคงมีการแกว่งและค่าความผิดพลาดที่สูง แสดงว่า ค่า K_p และ T_i นี้ยังไม่เหมาะสมกับกระบวนการจริง ทั้งนี้เนื่องมาจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่หาได้จากสมการที่ 6 ยังมีความผิดพลาด เพราะความไม่เป็นเชิงเส้นของกระบวนการ แต่ค่า K_p และ T_i นี้ จะทำให้ทราบค่าเริ่มต้นของตัวควบคุมเพื่อใช้ในการปรับละเอียดอีกครั้งในขณะควบคุมกระบวนการจริง ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการปรับจูนตัวควบคุมลงได้เมื่อเทียบกับการปรับจูนด้วยวิธีลองผิดลองถูกอย่างเดียวตั้งแต่เริ่มต้น

หลังจากทดลองปรับจูนตัวควบคุมโดยละเอียดอีกครั้งกับกระบวนการจริงด้วยวิธีลองผิดลองถูก พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวควบคุมคือ $K_p = 0.04$ และ $T_i = 11$ ซึ่งผลการควบคุมสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ผลการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนโดยใช้ $K_p = 0.04$ และ $T_i = 11$

จากภาพที่ 8 พบว่าผลการควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนเป็นไปตามที่ต้องการแล้ว โดยมีการแกว่งของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย และค่าความผิดพลาดต่ำ เมื่อเทียบกับภาพที่ 7 โดยมีค่ารากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMS) เท่ากับ 2.23 °C

สรุปและอภิปรายผล

การหาเอกลักษณ์ของกระบวนการสร้างลมร้อนจากหัวเผาชีวมวลโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองพบว่าเป็นวิธีที่มีความสะดวกและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้เป็นอย่างดี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนดังสมการที่ 1 ยังสามารถนำไปใช้ในการจำลองการควบคุมและวิเคราะห์ผลการตอบสนองของกระบวนการได้ การควบคุมอุณหภูมิลมร้อนด้วยตัวควบคุมแบบ พี ไอ โดยใช้วิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์ ร่วมกับวิธีการลองผิดลองถูกในการปรับจูนตัวควบคุม ถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ เหมาะกับการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ ช่วยลดเวลาในการปรับจูนตัวควบคุมลงได้มาก เมื่อเทียบกับการปรับจูนด้วยการลองผิดลองถูกแต่เพียงอย่างเดียว ส่วนความผิดพลาดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกิดขึ้น ส่วนหนึ่งมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นและความไม่แน่นอนของกระบวนการจริง ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้มีความซับซ้อนและยืดหยุ่นมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2562

เอกสารอ้างอิง

[1] Caputo, A. C., Palumbo, M., Pelagagge, P. M., and Scacchia, F. (2005, January). Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effect of logistic variable. *Biomass and Bioenergy*, *28*(1), 35-51.

[2] Yang, Y. B., Sharifi, V. N., and Swithenbank, J. (2004, August). Effect of air flow rate and fuel moisture on the burning behaviours of biomass and simulated municipal solid wastes in packed beds. *Fuel*, *83*(11-12), 1553-1562.

[3] Babu, B. V., and Sheth, P. N. (2004). Modeling and simulation of downdraft biomass gasifier. In *Proceedings of International Symposium & 57th Annual Session of IIChE in association with AIChE (CHEMCON-2004)*. pp. 170-176. Mumbai.

[4] Chum, H. L., and Overend, R. P. (2001, June). Biomass and renewable fuels. *Fuel Processing Technology, 71*(1-3), 187-195.

[5] Schuster, G., Loffler, G., Weigl, K., and Hofbauer, H. (2001, March). Biomass steam gasification – an extensive parametric modeling study. *Bioresource Technology*, *77*(1), 71-79.

[6] García-Bacaicoa, P., Serrano, S., Berrueco, C., and Ceamanos, J. (2004). Study on the gasification of sewage sludge for power production in a dual fueled engine. In *The 2nd World Conf. and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection.* Roma.

[7] Altafini, C. R., Wander, P. R., and Barreto, R. M. (2003, October). Prediction of the working parameters of a wood waste gasifier through an equilibrium model. *Energy Conversion and Management*, *44*(17), 2763-2777.

[8] Baratieri, M., Baggio, P., Fiori, L., and Grigiante, M. (2008, October). Biomass as an energy source: Thermodynamic constraints on the performance of the conversion process. *Bioresource Technology, 99*(15), 7063-7073.

[9] Sharma, A. K. (2011, February). Modeling and simulation of a downdraft biomass gasifier 1. Model development and validation. *Energy Conversion and Management*, *52*(2), 1386-1396.

[10] Baruah, D., and Baruah, D. C. (2014, November). Modeling of biomass gasification: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 39*, 806-815.

[11] Vijay Daniel P., and Sanjeevi Gandhi A. (2017). Design for Modeling and Control of Temperature Process in Downdraft Gasifier System: Simulation Studies. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, *117*(10), 13-17.

[12] Vijay Daniel P., and Sanjeevi Gandhi A. (2017). Design of Mathematical Modelling and Control of Downdraft Biomass Gasifier. *International Journal of Control and Automation, 10*(11), 175-184.

[13] Sagüés, C., García-Bacaicoa, P., and Serrano, S. (2007, March). Automatic control of biomass gasifiers using fuzzy inference system. *Bioresource Technology*, *98*(4), 845-855.

[14] Prempain, E., Postlethwaite, I., and Sun, X. D. (2000). Robust control of the gasifier using a mixed sensitivity H1 approach. *Journal of Systems and Control Engineering, 214*(6), 415-427.

[15] Pimparat, T., Tumruangsri, P., and Sandod, S. (2017). *Development of Agricultural Residue Biomass Pellet Burner*. Engineering Project Report, B.Eng. (Mechanical Engineering). Nakornnayok. Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University.

[16] Ramachandran, R. Lakshminarayanan, S., and Rangaiah, G. P. (2005). Process identification using open-loop and closed-loop step responses. *Journal of The Institution of Engineers, 6*(45), 1-13.

[17] Ziegler, J. G., and Nichols, N.B. (1942). Optimum setting for automatic controllers. *Trans. ASME, 64*, 759-768.

[18] Arisariyawong., S. (2005, September). PID Controller Tuning with Unknown Mathematical Model. *Industrial Technology Review Magazine, 11*(142), 92-95.