

การพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการอบแห้งถ่านอัดแท่ง

The Development of an Automatic Control System for Charcoal Briquettes Drying

พงษ์พันธุ์ ฤกษ์ขุมทรัพย์* ภาณุรุจ ยะเรื่อน และ จรัสศรี เสือทับทิม

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพหลโยธิน แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

E-mail: pongpun@pit.ac.th, rerkkumsup@hotmail.com

Pongpun Rerkkumsup*, Panurut Yaruan and Jaratsri Soeatuptim

Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology

833 Rama 1 Rd., Wangmai, Pathumwan, Bangkok 10330 Thailand

E-mail: pongpun@pit.ac.th, rerkkumsup@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการพัฒนากระบวนการควบคุมอัตโนมัติสำหรับการอบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยการให้ความร้อน ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ ตัวตั้งเวลา ตัวจุดประกายไฟ แก๊สชุดให้ความร้อน โบเวอร์ และชุดปรับความเร็ว และห้องอบถ่านจำลองขนาดกว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร สูง 56 เซนติเมตร ภายในห้องอบติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมไว้กลางห้อง และติดตั้งเซนเซอร์อีก 8 ตัวไว้ทุกมุมห้อง บริเวณด้านบนและด้านล่างห้องอบเพื่อศึกษาอุณหภูมิภายในห้องอบ ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ณ อัตราการไหลของลมร้อน 300 400 และ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อ ชั่วโมง ขณะไม่มีถ่านเปียกแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามต้องการโดยมีค่าผิดพลาด ณ สภาวะคงตัวน้อยกว่า ± 2 องศาเซลเซียส ผลการทดลองอบแห้งถ่านอัดแท่งจำนวน 90 ก้อน น้ำหนัก 13 กิโลกรัม ณ อุณหภูมิควบคุม 60 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถลดความชื้นจากการระเหยของน้ำออกจากถ่านอัดแท่งได้ 2.86 กิโลกรัม หรือร้อยละ 21.98 ของน้ำหนัก โดยมีผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณ ด้านบนและด้านล่างห้องอบเท่ากับ 0.03 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: การอบแห้งถ่านอัดแท่ง; อัตราการไหลของลมร้อน; ผลต่างอุณหภูมิ

Abstract

This research describes the development of an automatic control system for charcoal briquettes drying. The developed system consists of temperature controller, timer, ignition unit, Liquefied Petroleum Gas, blower and speed control unit and model of drying chamber with 120 cm wide $\times$ 120 cm length $\times$ 56 cm height. One temperature sensor is installed to measure the controlled temperature at centroid of the chamber and another 8 sensors are installed at every upper and lower corners of chamber to study overall temperature inside the chamber. The experimental results of temperature control inside the drying chamber at 50, 60 and 70 °C with hot air flow rate of 300, 400 and 500 m³/h without wet charcoal briquettes show that the developed system can control the desired temperature with steady state error less than ± 2 °C. The experimental results of drying 90 charcoal briquettes with weight of 13 kg at desired temperature of 60 °C illustrate that the system can reduce humidity by evaporate water from charcoal briquettes of 2.86 kg or 21.98% by weight with the temperature difference between upper zone and lower zone is of 0.03 °C.

Keywords: Briquette charcoal drying; Hot air flow rate; Temperature difference

1. บทนำ

จากวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานในปัจจุบัน หลายภาคส่วนทั่วโลกจึงพยายามแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทน โดยมุ่งหวังได้พลังงานทางเลือกใหม่ที่ราคาถูกลง มีประสิทธิภาพสูง เหมาะใช้งานในครัวเรือนและธุรกิจ [1] เชื้อเพลิงอัดแท่งผลิตจากชีวมวล หรือ ถ่านอัดแท่งเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงทางเลือกที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน มีคุณสมบัติเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่าถ่านไม้ทั่วไป [2-4] ยิ่งไปกว่านั้นถ่านอัดแท่งสามารถผลิตได้จากวัสดุในท้องถิ่นที่หลากหลาย เช่น แกลบ ชีءเลื่อย ฟาง ข้าว เปลือกไม้ ชานอ้อย เศษปาล์ม เศษกะลามะพร้าว และเศษไม้ไผ่ เป็นต้น [5-10] และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากวัสดุชีวมวลได้ด้วยกระบวนการอบแห้ง ทำให้เชื้อเพลิงเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสูงขึ้น เช่น ให้ความร้อนสม่ำเสมอเป็นเวลานาน ไม่เกิดการปะทุจนกระเด็น และมีถ่านรวมถึงคว้นจากการเผาไหม้น้อย จึงได้รับความนิยมในกลุ่มผู้บริโภคและผู้ให้บริการเมนูปิ้งย่างเตาถ่านในต่างประเทศเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ผู้ประกอบการผลิตและส่งออกเป็นจำนวนมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ก๊าซหุงต้มเป็นแหล่งพลังงานหลักในการให้ความร้อนแก่กระบวนการอบแห้งถ่านอัดแท่งในปัจจุบัน เนื่องจากมีราคาถูกและจัดหาได้ง่ายในทุกพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิตถ่านอัดแท่งในแต่ละภูมิภาคมีภูมิปัญญาและองค์ความรู้ในการสร้างห้องอบแห้งถ่านอัดแท่งที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ ส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการกั้นห้องและก่อกำแพง และพิจารณาเฉพาะอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเท่านั้น ขาดการคำนึงถึงความชื้นที่อยู่ใต้พื้นห้องอบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ความชื้นและอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งแต่ละจุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งขาด

การวิเคราะห์ถึงทิศทางของลมร้อนและการผันผวนของกระแสลมร้อนที่จ่ายเข้าสู่ห้องอบแห้ง ซึ่งส่งผลให้ถ่านอัดแท่งที่จัดเรียงไว้ด้านล่างของห้องอบถ่านได้รับอุณหภูมิต่ำกว่าถ่านที่จัดเรียงไว้ด้านบน ทำให้ถ่านอัดแท่งชั้นล่างแห้งตัวช้าและมีคุณภาพด้อยกว่าถ่านด้านบนที่สัมผัสกับอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าและแห้งตัวในเวลาเร็วกว่า

คณะนักวิจัยจึงมุ่งเน้นพัฒนาและนำเสนอแนวคิดในการออกแบบและสร้างห้องอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติด้วยวิธีการให้ความร้อนโดยใช้แก๊สทุ้งคัมเป็นเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสม โดยทดสอบการวัดและควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งได้ทดสอบอัตราการไหลลมร้อนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการอบแห้งถ่านเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่ง;

2. ระบบควบคุมการอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติ

2.1 ระบบควบคุมความชื้นถ่านอัดแท่งแบบลูปปิดด้วยการใช้ความร้อน

รูปที่ 1 (ก) แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมความชื้นในการอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติด้วยการใช้ความร้อน โดยที่

$H_{Sp}(s)$ คือ ความชื้นที่ต้องการ

$H_{FB}(s)$ คือ ความชื้นป้อนกลับของระบบ

$G_{HC}(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมความชื้น

$G_{H1}(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวปรับสภาพสัญญาณ ตัวขยายสัญญาณ และตัวกระตุ้นความชื้น

$H_1(s)$ คือ ความชื้นที่ระบบผลิตขึ้น

$H_D(s)$ คือ ความชื้นรบกวนจากสภาพแวดล้อม

$G_{H2}(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้ลดความชื้น

$T_1(s)$ คือ อุณหภูมิที่ต้องการ

$T_{FB}(s)$ คือ อุณหภูมิป้อนกลับของระบบ

$G_{TC}(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุมอุณหภูมิ

$G_{T1}(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวปรับสภาพสัญญาณ ตัวขยายสัญญาณ และตัวกระตุ้นอุณหภูมิ

$T_2(s)$ คือ อุณหภูมิที่ระบบผลิตขึ้น

$T_D(s)$ คือ อุณหภูมิรบกวนจากสภาพแวดล้อม

$G_{T2}(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมอุณหภูมิ

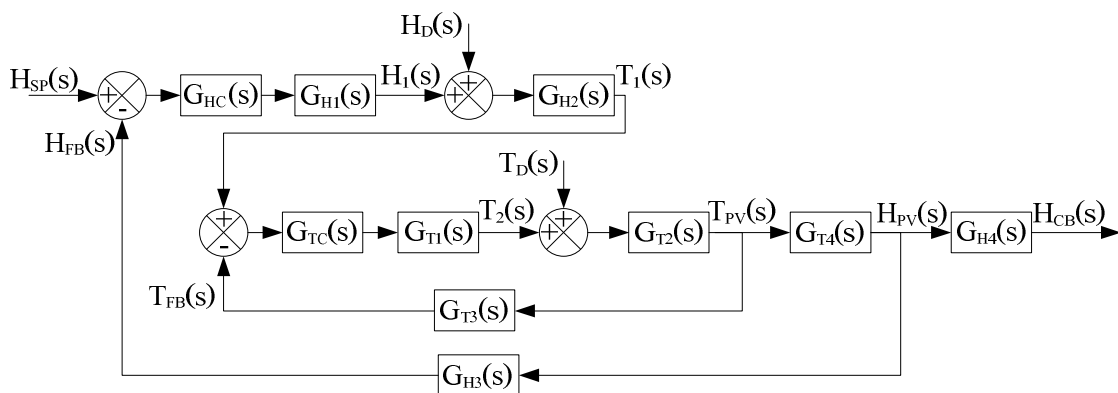
$T_{PV}(s)$ คือ อุณหภูมิในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

$G_{T3}(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในกระบวนการควบคุม

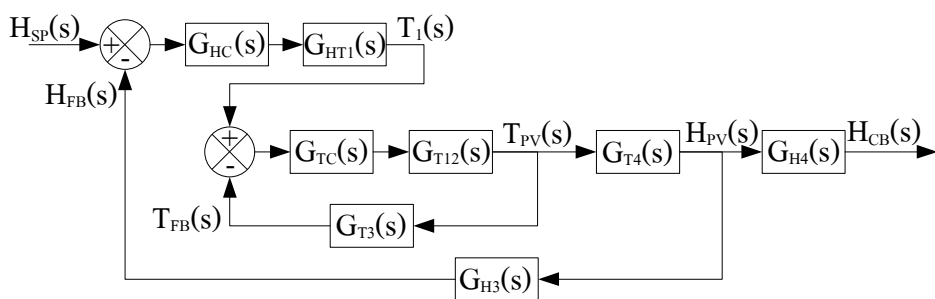
$G_{T4}(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของอุณหภูมิที่ใช้ลดความชื้นและความชื้นที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

$H_{PV}(s)$ คือ ความชื้นในกระบวนการควบคุม

$G_{H3}(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของเซนเซอร์วัดความชื้นในกระบวนการควบคุม



(ก) ระบบที่มีสัญญาณรบกวน



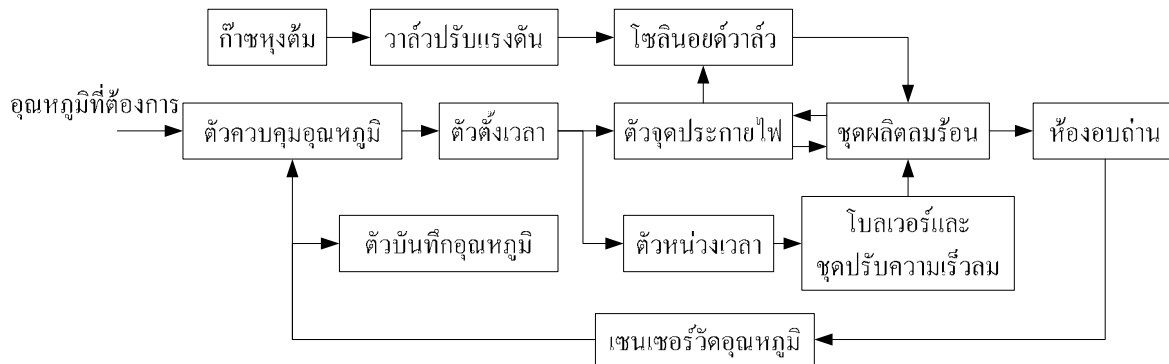
(ข) ระบบที่ปราศจากสัญญาณรบกวนหลังการชดเชยบล็อกไดอะแกรม

รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมความชื้นในการอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติด้วยความร้อน

$G_{H4}(s)$ คือ ฟังก์ชันถ่ายโอนของความชื้นในกระบวนการและความชื้นในถ่านอัดแท่ง

$H_{CB}(s)$ คือ ความชื้นจริงในถ่านอัดแท่ง

ด้วยการสร้างห้องอบถ่านอัดแท่งให้ปิดมิดชิดและเหมาะสม จะสามารถพิจารณาให้ความชื้นรบกวนจากสภาพแวดล้อม $H_D(s)$ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความชื้นจริงของถ่าน $H_{CB}(s)$ ที่ต้องการอบแห้งในห้องอบ จนสามารถตัด $H_D(s)$ ออกจากบล็อกไดอะแกรมได้ และสามารถชดเชยบล็อกไดอะแกรมตั้งแต่ $G_{HI}(s)$ จนถึง $G_{H2}(s)$ ได้เป็น $G_{HI1}(s)$ ดังแสดงในรูปที่ 1(ข) ในทำนองเดียวกัน หากพิจารณาให้ระบบปราศจากอุณหภูมิรบกวนจากสภาพแวดล้อม $T_D(s)$ จะสามารถชดเชยบล็อกไดอะแกรมตั้งแต่ $G_{TI}(s)$ จนถึง $G_{T2}(s)$ ได้เป็น $G_{TI2}(s)$ อย่างไรก็ตาม จากบล็อกไดอะแกรมจะเห็นว่าความชื้นที่อยู่ภายในถ่านถ่านอัดแท่ง $H_{CB}(s)$ เป็นตัวแปรหลักที่ต้องการควบคุมแต่ไม่สามารถวัดได้โดยตรง เนื่องจากในขั้นตอนการอบแห้งถ่านอัดแท่ง ผู้ประกอบการจะทำการจัดเรียงถ่านจำนวนมากไว้บนชั้นวางถ่าน จากนั้นจึงนำถ่านเข้าภายในห้องอบ อีกทั้งการลดความชื้นของถ่านอัดแท่งด้วยการ

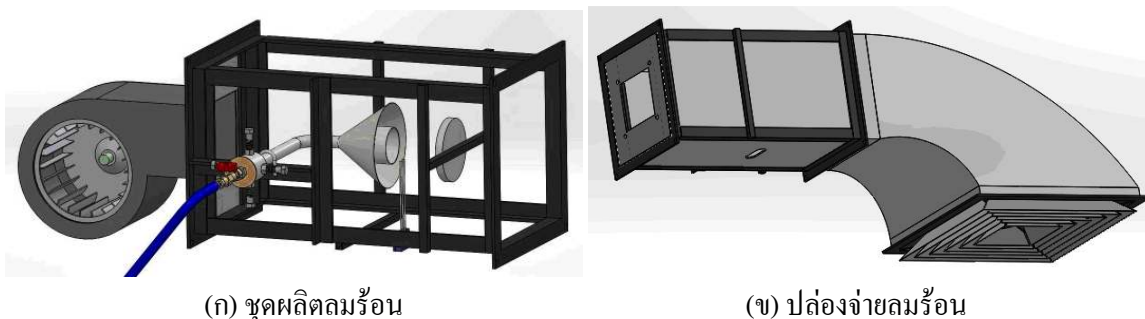


รูปที่ 2 ระบบควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติ

ใช้ความร้อน เป็นการให้ความร้อนภายในห้องอบเพื่อให้ความร้อนลดความชื้นที่อยู่ในห้องอบไปสู่ค่าที่ต้องการ จึงทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของความชื้นในห้องอบและความชื้นจริงในถ่านอัดแท่ง $G_{H4}(s)$ มีค่าเวลาหน่วงมาก และมีค่าคงที่ของฟังก์ชันถ่ายโอนเปลี่ยนแปลงตามขนาดวัสดุและส่วนผสมของถ่านอัดแท่ง ความแน่นของเนื้อถ่านที่ผ่านขั้นตอนการอัดขึ้นรูปเป็นแท่งถ่าน ความหนาแน่นของการเรียงถ่านบนชั้นวาง การจัดวางตำแหน่งและความแออัดของชั้นวางในห้องอบ ฯลฯ ส่งผลให้ค่าเวลาคงตัวของระบบอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติทั้งระบบมีค่ามาก และเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยมากมาย เพื่อให้ระบบควบคุมมีความซับซ้อนน้อยที่สุด และสามารถประยุกต์ใช้ในการผลิตได้โดยมีราคาสมเหตุสมผล คณะนักวิจัยจึงออกแบบระบบควบคุมการอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติโดยใช้ความร้อนด้วยการควบคุมอุณหภูมิแบบลูปิดควบคู่กับการควบคุมเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างเหมาะสมกับการลดความชื้นถ่านอัดแท่งที่อยู่ภายในห้องอบ

2.2 ระบบควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ (REX – C100) ที่ปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการควบคุมในห้องอบ และรับค่าอุณหภูมิป้อนกลับจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple Type K) ตัวควบคุมโหมด On-Off ส่งสัญญาณไปให้ตัวตั้งเวลาที่ควบคุมเวลาในการอบแห้ง สัญญาณจากตัวตั้งเวลาส่งไปยังอุปกรณ์ 2 ตัว ได้แก่ ตัวจุดประกายไฟที่ติดตั้งหัวจุดไว้ด้านหน้ากรวยของชุดผลิตความร้อน และตัวหน่วงเวลา เมื่อหัวจุดทำงานเป็นปกติตัวจุดประกายไฟจะได้รับสัญญาณป้อนกลับจากนั้นจึงส่งสัญญาณไปควบคุมให้โซลินอยด์วาล์วเปิดเพื่อจ่ายก๊าซหุงต้มที่ไหลผ่านวาล์วปรับแรงดันไปที่ชุดผลิตความร้อน ตัวหน่วงเวลาจะควบคุมให้โซลินอยด์ทำงานภายหลังเปลวไฟติดเป็นปกติแล้ว โดยสามารถควบคุมความเร็วลมของโซลินอยด์ได้ด้วยชุดปรับความเร็วลม ชุดผลิตความร้อนที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของลมร้อนและปริมาณก๊าซที่จ่ายให้หัวจุดเพื่อเลี้ยงเปลวไฟจะถูกจ่ายเข้าสู่ห้องอบแห้งจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ห้องอบแห้งจำลองมีขนาด กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร สูง 56 เซนติเมตร โดยคณะนักวิจัยตั้งใจออกแบบให้ห้องอบแห้งจำลองมีอัตราส่วน 1:5 ของห้องอบถ่านจริงขนาด กว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร



(ก) ชุดผลิตลมร้อน

(ข) ปล่องจ่ายลมร้อน

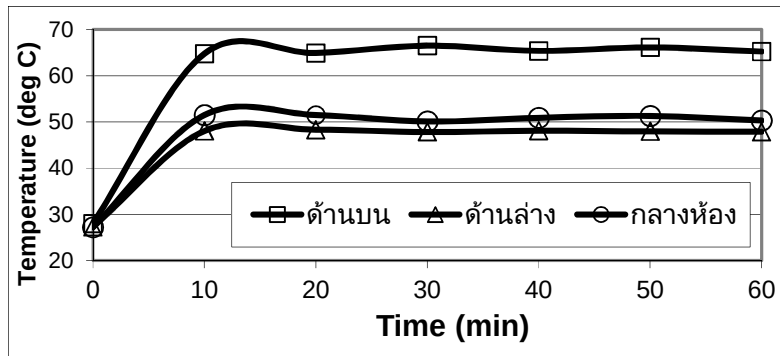
รูปที่ 3 ส่วนประกอบของชุดผลิตลมร้อน

สูง 2.8 เมตร ห้องอบแห้งจำลองสร้างจากโครงเหล็ก และบุผนังด้วยแผ่นยิปซัมชนิดมีแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ความหนา 9 มิลลิเมตร ภายในห้องอบแห้งติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิทั้งหมด 9 ตัว โดยติดตั้งเซนเซอร์ตัวที่ 1 ถึง 4 ไว้ที่ 4 มุมห้องด้านบน และติดตั้งเซนเซอร์ตัวที่ 5 ถึง 8 ไว้ที่ 4 มุมห้องด้านล่าง เซนเซอร์ตัวที่ 9 ซึ่งทำหน้าที่วัดอุณหภูมิในห้องอบแห้งและป้อนกลับไปยังตัวควบคุมอุณหภูมิถูกติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งกลางห้อง รูปที่ 3(ก) แสดงส่วนประกอบของชุดผลิตลมร้อน โดยออกแบบชุดสร้างเปลวไฟเป็นรูปทรงกรวยเพื่อควบคุมทิศทางลมจากโบลเวอร์ให้ไหลผ่านไปจนถึงด้านหลังของแผ่นกันแปลวรูปวงกลมได้อย่างปลอดภัย และไม่ส่งผลกระทบต่อเปลวไฟ ชุดผลิตลมร้อนถูกติดตั้งอยู่ในปล่องจ่ายลมร้อนรูปที่ 3(ข) ปลายปล่องจ่ายลมร้อนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25 เซนติเมตร โดยออกแบบเป็นบานเกล็ดทำมุม 45 องศาเพื่อกระจายลมได้รอบทิศทาง โดยติดตั้งปลายปล่องไว้ที่กลางผนังด้านบนของห้องอบแห้งจำลอง

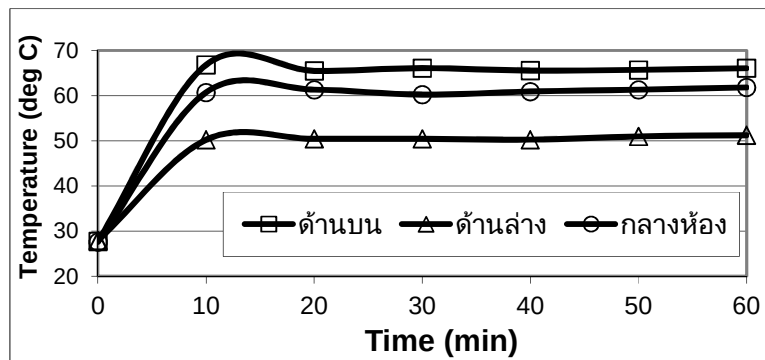
3. การทดลองควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลอง

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยปรับอัตราการไหลของลมที่ 300 400 และ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากไม่มีแท่งถ่านเป็ยกภายในห้องอบแห้ง จึงจ่ายก๊าซที่แรงดัน 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้วสร้างเปลวไฟ รูปที่ 4 (ก) – (ค) แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิห้องอบแห้งจำลองที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อจ่ายก๊าซด้วยแรงดัน 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัตราการไหลลมร้อน 300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบได้โดยมีค่าผิดพลาดน้อยกว่า ± 2 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิบริเวณด้านบนจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 1 ถึง 4 สูงกว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิบริเวณด้านล่างจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิตัวที่ 5 ถึง 8 อย่างมีนัยสำคัญ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในสภาวะคงตัวของบริเวณด้านบนและด้านล่าง ณ อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม 70 องศาเซลเซียส ต่างกันสูงถึง 20 องศาเซลเซียส

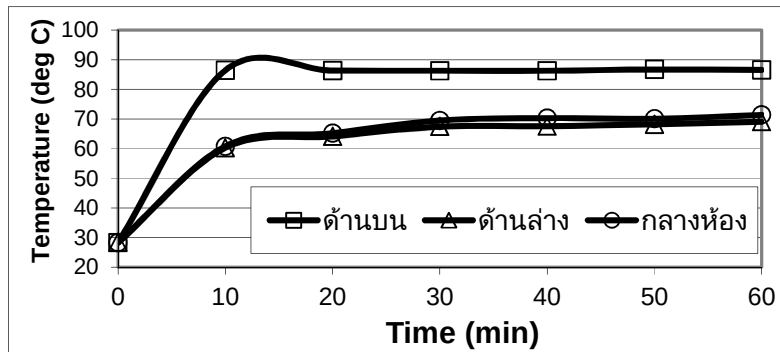
รูปที่ 5 (ก) – (ค) แสดงผลการควบคุมอุณหภูมิห้องอบแห้งจำลองที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อจ่ายก๊าซแรงดัน 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้วสร้างเปลวไฟ และอัตราการไหลลมร้อน 400 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบได้โดยมีค่าผิดพลาดน้อยกว่า ± 2



(ก) อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองเมื่ออุณหภูมิที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส



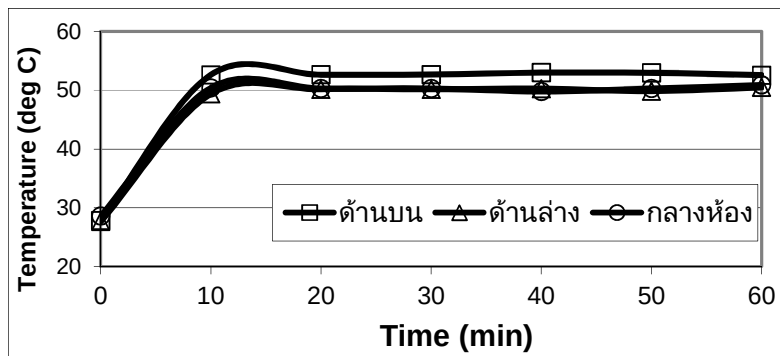
(ข) อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองเมื่ออุณหภูมิที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส



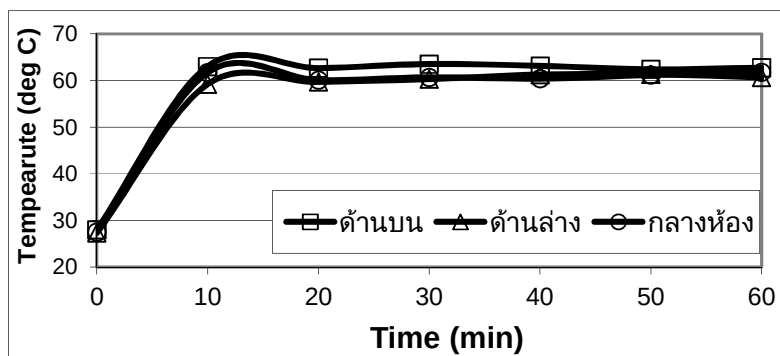
(ค) อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองเมื่ออุณหภูมิที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง เมื่อจ่ายก๊าซแรงดัน 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัตราการไหลลมร้อน 300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

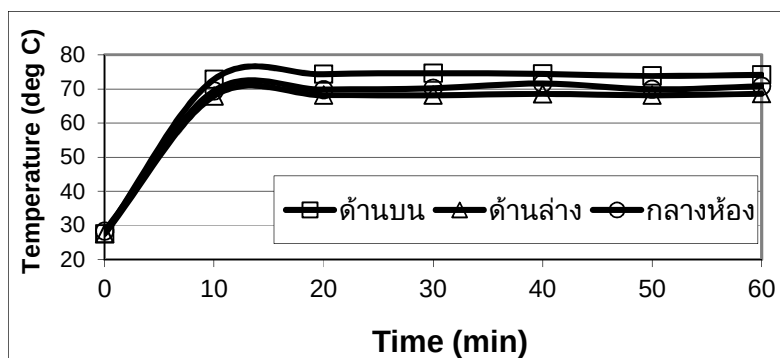
องศาเซลเซียส ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลลมร้อนให้สูงขึ้น ผลต่างของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิบริเวณด้านบนและด้านล่างมีค่าต่ำกว่าการใช้อัตราการไหลลมร้อน 300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยผลต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยในสภาวะคงตัวของบริเวณด้านบนและด้านล่างสูงสุดน้อยกว่า 6 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม 50 องศาเซลเซียส



(ก) อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองเมื่ออุณหภูมิที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส



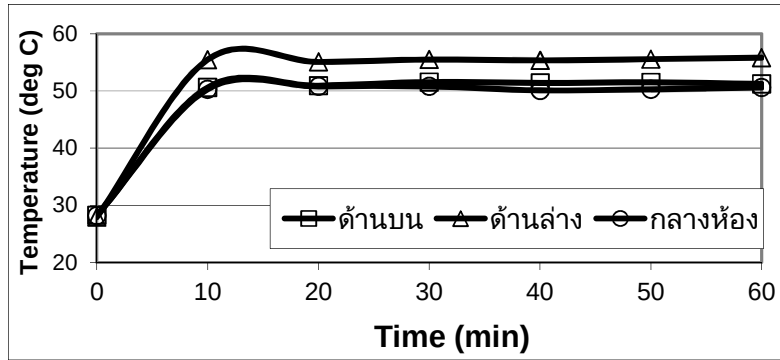
(ข) อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองเมื่ออุณหภูมิที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส



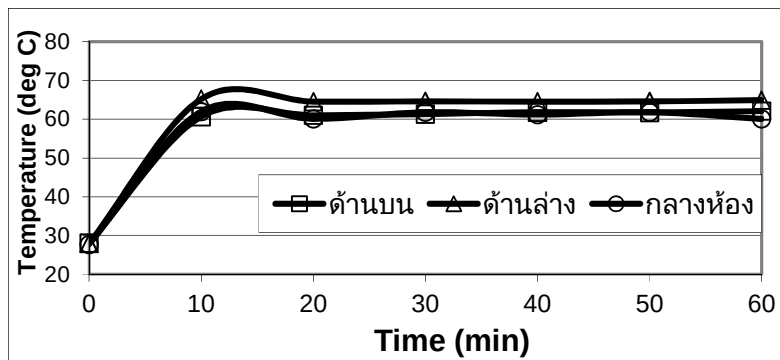
(ค) อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองเมื่ออุณหภูมิที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 5 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบเมื่อจ่ายก๊าซแรงดัน 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัตราการไหลลมร้อน 400 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

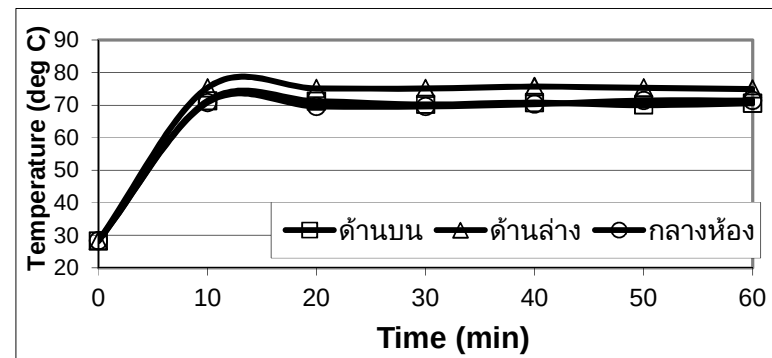
ผลการควบคุมอุณหภูมิห้องอบแห้งจำลองเมื่อจ่ายก๊าซแรงดัน 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัตราการไหลลมร้อน 500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) – (ค) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองถูกควบคุมตามค่าที่ต้องการ โดยมีความผิดพลาดต่ำกว่า ± 2 องศาเซลเซียส ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในสภาวะคงตัวบริเวณด้านล่างมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณด้านบน โดยมีผลต่างสูงสุดน้อยกว่า



(ก) อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองเมื่ออุณหภูมิที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส



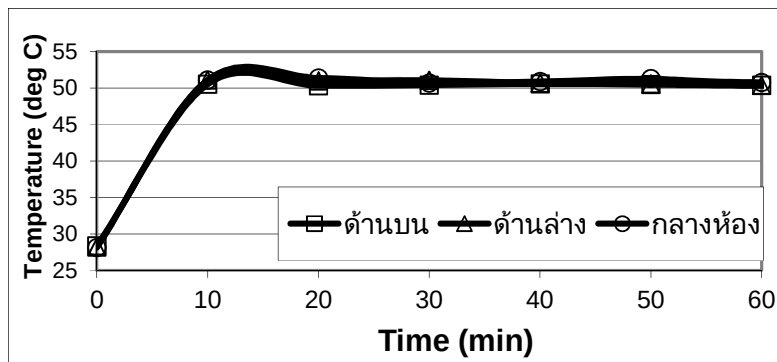
(ข) อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองเมื่ออุณหภูมิที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส



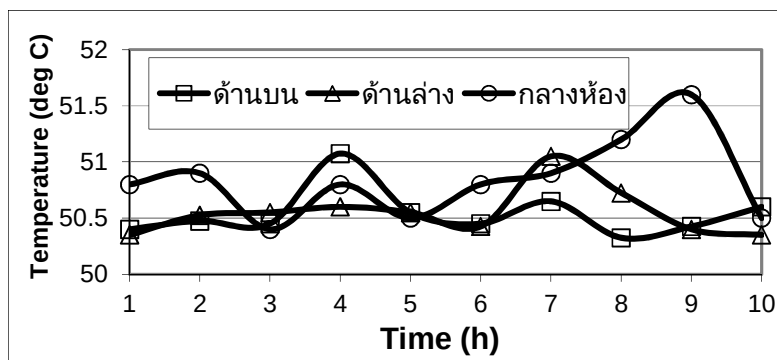
(ค) อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งจำลองเมื่ออุณหภูมิที่ต้องการควบคุมเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส

รูปที่ 6 ผลการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบเมื่อจ่ายก๊าซแรงดัน 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัตราการไหลลมร้อน 500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

5 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมิที่ต้องการ 70 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการไหลของลมร้อนที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการผันผวนของกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้งจำลองมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการลอยตัวของอากาศร้อนขึ้นสู่ด้านบนแล้วลอยนิ่งเช่นเดียวกับผลการทดลองที่อัตราการไหลลมร้อน 300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงดังแสดง



(ก) อุณหภูมิในห้องอบ ณ เวลาเริ่มต้นถึง 60 นาที



(ข) อุณหภูมิในห้องอบ ณ เวลาชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 10

รูปที่ 7 ผลการควบคุมอุณหภูมิขณะอบถ่านที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

ในรูปที่ 4 ทำให้ถ่านที่นำเข้าสู่ห้องอบแห้งและจัดเรียงบนชั้นต่างๆ มีโอกาสได้รับลมร้อนและลดความชื้นลงได้อย่างทั่วถึง การจ่ายลมร้อนจากด้านบนโดยปรับให้มีอัตราการไหลลมร้อนเหมาะสมกับการจัดเรียงและความแออัดของชั้นถ่านจึงน่าจะให้ผลการอบแห้งถ่านอัดแท่งดีกว่าวิธีจ่ายลมร้อนจากด้านล่างโดยอาศัยหลักการลอยตัวขึ้นด้านบนแล้วลอยนิ่งของอากาศร้อน เพราะทำให้ถ่านที่จัดเรียงอยู่ชั้นล่างไม่ได้รับความร้อนจากกระแสลมร้อนที่ไหลไปปะทะสิ่งกีดขวางในห้องอบถ่านอย่างเพียงพอและทั่วถึง

ตารางที่ 1 น้ำหนักถ่านอัดแท่งบนชั้นวางก่อนอบและหลังอบ ณ อุณหภูมิอบ 50 องศาเซลเซียส

	น้ำหนักถ่านอัดแท่งก่อนอบ (kg)				น้ำหนักถ่านอัดแท่งหลังอบ (kg)				ลดลงเฉลี่ย (ร้อยละ)
	ชั้นวาง 1	ชั้นวาง 2	ชั้นวาง 3	รวม	ชั้นวาง 1	ชั้นวาง 2	ชั้นวาง 3	รวม	
ชั้นบน	1.40	1.50	1.50	4.40	1.20	1.20	1.20	3.60	18.18
ชั้นกลาง	1.40	1.50	1.45	4.35	1.20	1.25	1.10	3.55	18.39
ชั้นล่าง	1.40	1.40	1.55	4.35	1.20	1.20	1.20	3.60	17.24
รวม	4.20	4.40	4.50	13.10	3.60	3.65	3.50	10.75	17.94

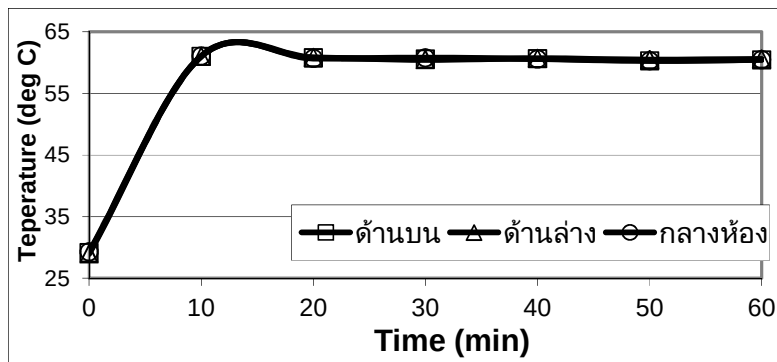
4. การทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งถ่านอัดแท่ง

จากผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิขณะไม่มีถ่านอัดแท่งในห้องอบจำลอง คณะนักวิจัยจึงเลือกใช้อัตราการไหลลมร้อนที่ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงในการทดสอบอบถ่านอัดแท่ง โดยการปรับแรงดันก๊าซให้เปลวไฟเพิ่มเป็น 3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยในการทดลองนี้ ได้ทำการจัดเรียงถ่านอัดแท่งบนชั้นวาง 3 ตัว ตัวละ 3 ชั้น (บน กลาง ล่าง) ชั้นละ 10 ก้อน รวมจำนวนถ่านอัดแท่ง 90 ก้อน (ชั้นวางละ 30 ก้อน) โดยตั้งชั้นวางในห้องอบให้มีระยะห่างระหว่างชั้นวางและผนังห้องอบใกล้เคียงกัน ถ่านที่ใช้ในการทดลองทำจากกะลามะพร้าวเผาผสมอัดขึ้นรูปเป็นรูปทรงกระบอกกลวง เส้นผ่านศูนย์กลางรูใน 1.5 เซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร

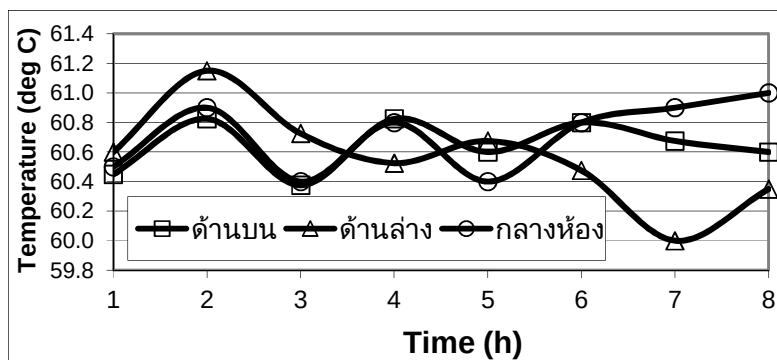
รูปที่ 7(ก) แสดงค่าอุณหภูมิในห้องอบที่บันทึกทุก 10 นาทีตั้งแต่เวลาเริ่มอบจนถึง 60 นาที และรูปที่ 7(ข) แสดงค่าอุณหภูมิในห้องอบที่บันทึกทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ชั่วโมงอบที่ 1 ถึง 10 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิเฉลี่ยจากเซนเซอร์ตัวที่ 1 ถึง 4 ที่ติดตั้งไว้ 4 มุมด้านบนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 5 ถึง 8 ที่ติดตั้งไว้ 4 มุมด้านล่างอย่างน่าพอใจ และระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิในห้องอบที่ติดตั้งเซนเซอร์ตัวที่ 9 ไว้ที่กลางห้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ณ สภาวะคงตัวตั้งแต่เวลาอบที่ 10 นาที ถึง 10 ชั่วโมง เท่ากับ 50.92 องศาเซลเซียส และมีค่าผิดพลาดอุณหภูมิ ณ สภาวะคงตัวน้อยกว่า 2 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ณ สภาวะคงตัวของบริเวณด้านบนและด้านล่างมีค่าเท่ากับ 50.52 และ 50.67 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในห้องอบมีค่าใกล้เคียงกันอย่างมาก

ตารางที่ 1 แสดงผลการเปรียบเทียบน้ำหนักถ่านอัดแท่งระหว่างก่อนอบและหลังอบ ผลการอบถ่านอัดแท่งจำนวน 3 ชั้นวาง รวม 90 ก้อน ณ อุณหภูมิที่ต้องการ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมงแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถลดความชื้นโดยขังจากน้ำหนักเฉลี่ยของน้ำที่ระเหยออกจากถ่านได้ 2.35 กิโลกรัม หรือร้อยละ 17.94 ของน้ำหนัก โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่ลดลงของถ่านที่วางเรียงในชั้นทั้ง 3 ระดับต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 1.2

ผลการควบคุมอุณหภูมิตอบถ่านอัดแท่งจำนวน 3 ชั้นวาง รวม 90 ก้อน ณ อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมงแสดงในรูปที่ 8(ก) และ (ข) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิควบคุม ณ สภาวะคงตัวตั้งแต่เวลาอบที่ 10 นาที ถึง 8 ชั่วโมง เท่ากับ 60.71 องศาเซลเซียส มีค่าความผิดพลาด ณ สภาวะคงตัวสูงสุด 1.1 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ณ สภาวะคงตัวของบริเวณด้านบนและด้านล่างมีค่าเท่ากับ 60.65 และ 60.62 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบด้วยระบบจ่ายลมร้อนจากด้านบนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพสูงน่าพอใจ ตารางที่ 2 แสดงผลการอบแห้งถ่านอัดแท่งโดยวัดจากน้ำหนักเฉลี่ยของน้ำที่ระเหยออกจากถ่านได้ 2.86 กิโลกรัม หรือร้อยละ 21.98 ของน้ำหนัก โดยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่ลดลงของถ่านที่วางเรียงในชั้นทั้ง 3 ระดับต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 3 ในการทดสอบควบคุมอุณหภูมิเพื่อลดความชื้นถ่านอัดแท่ง ณ อุณหภูมิที่ต้องการที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลปรากฏว่าถ่านอัดแท่งที่อยู่ในทิศทางลมร้อนหลายก้อนแตกหัก ทั้งนี้เนื่องจากได้รับความร้อนสูงเกินไปในเวลาที่ไม่เหมาะสมกับการระเหยตัวของความชื้นที่อยู่ภายในถ่านอัดแท่ง



(ก) อุณหภูมิในห้องอบ ณ เวลาเริ่มต้นถึง 60 นาที



(ข) อุณหภูมิในห้องอบ ณ เวลาชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 8

รูปที่ 8 ผลการควบคุมอุณหภูมิขณะอบถ่านที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 น้ำหนักถ่านอัดแท่งบนชั้นวางก่อนอบและหลังอบ ณ อุณหภูมิอบ 60 องศาเซลเซียส

	น้ำหนักถ่านอัดแท่งก่อนอบ (kg)				น้ำหนักถ่านอัดแท่งหลังอบ (kg)				ลดลงเฉลี่ย (%)
	ชั้นวาง 1	ชั้นวาง 2	ชั้นวาง 3	รวม	ชั้นวาง 1	ชั้นวาง 2	ชั้นวาง 3	รวม	
ชั้นบน	1.45	1.43	1.50	4.38	1.15	1.05	1.15	3.35	23.52
ชั้นกลาง	1.42	1.45	1.47	4.34	1.10	1.15	1.15	3.40	21.66
ชั้นล่าง	1.40	1.45	1.44	4.29	1.15	1.10	1.15	3.40	20.75
รวม	4.27	4.33	4.41	13.01	3.40	3.30	3.45	10.15	21.98

5. บทสรุป

ระบบควบคุมการอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิและตัวตั้งเวลาควบคุมการให้ความร้อนสำหรับอบแห้งถ่านอัดแท่งในห้องอบจำลองขนาด กว้าง 120 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร สูง 56 เซนติเมตร ชุดให้ความร้อนจุดประกายสร้างเปลวไฟจากก๊าซหุงต้ม โดยมีโบลเวอร์เป่าลมผ่านชุดให้ความร้อนเพื่อจ่ายลมร้อนเข้าสู่ห้องอบถ่านจากด้านบน ปลายปล่องจ่ายลมร้อนแบบบาน

เกล็ดทำมุม 45 องศากระจายลมร้อนรอบทิศทางภายในห้องอบ ระบบควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบรับสัญญาณป้อนกลับจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ติดตั้งไว้กลางห้องอบจำลอง ควบคุมกับการศึกษาอุณหภูมิภายในห้องอบทั้ง 4 มุมบริเวณด้านบนและด้านล่างห้องอบด้วยการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอีก 8 ตัว ผลการทดลองควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบจำลองขณะไม่มีถ่านเปียกด้วยการจ่ายก๊าซหุงต้มที่แรงดัน 2 ปอนด์ต่อตารางนิ้วให้เปลวไฟ และปรับความเร็วลมร้อนที่ 300 400 และ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิที่ต้องการควบคุมมีค่า 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งกลางห้องได้เป็นอย่างดี และเมื่อปรับอัตราการไหลลมร้อนให้สูงขึ้นที่ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างบริเวณด้านบนและด้านล่างของห้องอบมีค่าลดลงกว่าการจ่ายลมร้อนที่ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญ การทดสอบอบถ่านอัดแท่งจำนวน 90 ก้อน น้ำหนักรวมโดยประมาณ 13 กิโลกรัม ด้วยการจ่ายก๊าซที่แรงดัน 3 ปอนด์ต่อตารางนิ้วให้เปลวไฟ และปรับความเร็วลมร้อนที่ 500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ณ อุณหภูมิที่ต้องการควบคุมมีค่า 50 และ 60 องศาเซลเซียสแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถอบถ่านอัดแท่งที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมงโดยถ่านหลังอบมีน้ำหนักลดลงจากการระเหยของน้ำร้อยละ 17.94 ของน้ำหนัก และถ่านหลังอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีน้ำหนักลดลงจากการระเหยของความชื้นร้อยละ 21.98 ของน้ำหนัก โดยอุณหภูมิเฉลี่ยบริเวณด้านบนต่างกับด้านล่างต่างกันน้อยกว่า 0.2 องศาเซลเซียส ทำให้ถ่านที่จัดเรียงในชั้นบนถึงชั้นล่างมีผลต่างค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่ลดลงจากการระเหยของน้ำน้อยกว่าร้อยละ 2.77 ระบบควบคุมการอบแห้งถ่านอัดแท่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในห้องอบถ่านของกลุ่มผู้ผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิตและลดจำนวนของเสียจากการอบถ่านแห้งไม่ทั่วถึงทั้งห้อง โดยผู้ประกอบการถ่านอัดแท่งสามารถใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพียง 1 ตัวติดตั้ง ณ ตำแหน่งกลางห้องอบ กรณีอบถ่านในฤดูฝนหรืออบถ่านในพื้นที่ที่พื้นดินใต้ห้องอบเปียกชื้น สามารถปรับระดับระดับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิให้สูงค่าได้ตามความเหมาะสม การเพิ่มจำนวนปล่องจ่ายลมร้อนจากด้านบนให้กระจายครอบคลุมพื้นที่ภายในห้องอบ และปรับอัตราการไหลลมร้อนให้เหมาะสมกับความแออัดของชั้นถ่านที่จัดเรียงในห้องอบจริงและวัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่งจะทำให้การอบถ่านทั้งห้องอบในทุกชั้นวางมีความชื้นใกล้เคียงกัน และยังสามารถตั้งเวลาการอบเพื่อการประหยัดเวลาและเชื้อเพลิงการอบได้ และเนื่องจากคณะนักวิจัยเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาดซึ่งใช้งานง่ายและราคาไม่แพง จึงมีความเหมาะสมกับธุรกิจผลิตถ่านอัดแท่งทั้งในแง่การใช้งาน การบำรุงรักษา และระยะเวลาคืนทุน

กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยขอขอบคุณ นายณนทวัฒน์ ชมภูพันธ์ นายณพรัตน์ ขำนึ่ง และ นายอดิสร หาญวิสุทธิ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน สำหรับความอุตสาหะในการสร้างอุปกรณ์ทดลอง ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ญลักษณ์ ยิ้มเสมอจิต สำหรับคำแนะนำและความอนุเคราะห์เครื่องมือในการบันทึกผลการทดลอง และขอขอบพระคุณ บริษัท ไอ. ซี พลัส จำกัด จังหวัดนครศรีธรรมราช สำหรับการสนับสนุนข้อมูลและวัสดุอุปกรณ์ในการอบถ่านอัดแท่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 [On-Line], Available: https://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_dl_link.php?nid=43412 [January 17, 2020].
- [2] O.A. Kuti, "Performance of Composite Sawdust Briquette Fuel in a Biomass Stove under Simulated Condition," AU. J.T., Vol. 12, No. 4, 2009, pp. 284 – 288.
- [3] R.N. Singh, "Equilibrium Moisture Content of Biomass Briquettes," Biomass and Bioenergy, Vol. 26, No. 3, 2004, pp. 251 – 253.
- [4] V. Sayakoummmane and A. Ussawarujikulchai, "Comparison of the Physical and Chemical Properties of Briquette and Wood Charcoal in Khammouane province, Lao PDR," Environment and Natural Resources Journal, Vol. 7, No. 1, 2009, pp. 12 – 24.
- [5] T.U. Onuegbu, I.M. Ogbu, N.O. Ilochi, U.E. Ekpunobi and A.S. Ogbuagu, "Enhancing the Properties of Coal Briquette Using Spear Grass (Imperata Cylindrica)," Leonardo Journal of Sciences, Issue 17, 2010, pp. 47 – 58.
- [6] P. Jittabu, "Physical and Thermal Properties of Briquette Fuels from Rice Straw and Sugarcane Leaves by Mixing Molasses," Energy Procedia, Vol. 79, 2015, pp. 2 – 9.
- [7] กานต์ วิรุณพันธ์, ธนารักษ์ สายเปลี่ยน และ ภาคภูมิ ใจชมพู, "การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม," วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1, 2560, หน้า 1 – 15.
- [8] ธนาพล ตันติสัตยกุล, กะชามาศ สายคำ, สุจิตรา ภู่งงี่ และ ศิวพร เงินเรืองโรจน์, "การศึกษความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด," วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 23, ฉบับที่ 5 (ฉบับพิเศษ), 2558, หน้า 754 – 773.
- [9] R.S.D. Oliveira, S.M. Palácio, E.A.D. Silva, F.Q. Mariani and T.Q. Reinehr, "Briquettes Production for Use as Power Source for Combustion using Chacoal Thin Waste and Sanitary Sewage Sludge," Environmental Science and Pollution Research, Vol. 24, No. 11, 2017, pp. 10778 – 10785.
- [10] J. Maroušek, S. Hašková, R. Zeman, J. Váchal and R. VaníČková, "Processing of residues from biogas plants for energy purposes," Clean Technologies and Environmental Policy, Vol. 17, 2015, pp. 797 – 801.