การพัฒนาระบบเตาเผาถ่านชีวมวลควบคุมระบบด้วยอินเทอร์เน็ตออฟติงส์

A DEVELOPMENT OF BIOMASS CHARCOAL KILN SYSTEM CONTROL BY INTERNET OF THINGS

ปฐมพงษ์ หอมศรี[1] กมลวรรณ จิตจักร[2] และ จิรวัฒน์ สิตรานนท์[3]
[1]นักศึกษาปริญญาโท, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110, patomphong.homsri@gmail.com
[2,3]อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110, [2]kamonwan_ji@rmutto.ac.th, [3]Jirawat_si@rmutto.ac.th

Patomphong Homsri[1], Kamonwan Jitjack[2] and Jirawat Sitranon[3]
[1]Student, Department of Energy Technology, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, 43 Moo 6 Bangpra Subdistrict, Sriracha District, Chonburi 20110, Thailand, patomphong.homsri@gmail.com
[2,3]Lecturer, Department of Energy Technology, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, 43 Moo 6 Bangpra Subdistrict, Sriracha District, Chonburi 20110, Thailand,
[2]kamonwan_ji@rmutto.ac.th, [3]Jirawat_si@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเตาเผาถ่านชีวมวลเชิงความร้อนประสิทธิภาพสูงควบคุมด้วยระบบอินเทอร์เน็ตออฟติงส์ โดยทำการออกแบบและสร้างเป็นแบบถังแนวนอนขนาด 400 ลิตรทำจากสเตนเลส ภายในมีช่องกระจายความร้อน จำนวน 3 ตำแหน่ง สามารถกระจายความร้อนได้ในภายในเตาได้อย่างทั่วถึง มีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน มีท่อน้ำส้มควันไม้เชื่อมเข้ากับระบบกำจัดมลพิษทางอากาศที่เป็นระบบสครับเบอร์แบบน้ำมีปั๊มน้ำพ่นแบบสเปรย์ 2 ตำแหน่ง ขนาด 0.5 แรงม้า และมีพัดลมดูดอากาศขนาด 1 แรงม้า เพื่อกำจัดก๊าซไอเสียที่ควบแน่นไม่ได้และมีแผ่นกรองคาร์บอนกัมมันต์เป็นการลดมลพิษออกสู่บรรยากาศ และใช้การควบคุมปัจจัยที่กำหนดของระบบการเผาถ่านชีวมวลผ่านสมาร์ทโฟนผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

ที่เชื่อมต่อกับระบบการทำงานของเตาเผา ระบบจะทำการควบคุมการปิดช่องอากาศเข้า เมื่อค่าอุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้อย่างเหมาะสม การทดสอบระบบได้ทำการเผาถ่านจากไม้ยูคาลิปตัส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ความชื้นร้อยละ 13.20 ตามมาตรฐานเปียก ผลการทดลองพบว่าใช้เวลาในการเผาไหม้ไม้จนเป็นถ่านรวม 480 นาที โดยได้น้ำหนักของถ่านชีวมวลร้อยละ 39.48 เมื่อเทียบกับเนื้อไม้ก่อนทำการเผา และมีค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานร้อยละ 40.39 ระบบควบคุมทางไกลผ่านสมาร์ทโฟนสามารถควบคุมและตรวจสอบค่าความร้อนแต่ละตำแหน่งในเตาเผาได้ทั้งระบบ สามารถติดตามค่าได้ตลอดการทดลอง

คำสำคัญ: เตาเผาถ่านชีวมวล อินเทอร์เน็ตออฟติงส์ ถ่านชีวมวล

ABSTRACT

This study was aimed to develop a highly thermal effective biomass charcoal kiln controlled by the Internet of things (IoT). The kiln was designed from a 400-liter horizontal stainless steel tank. The internal wall was attached with 3 metal fins to circulate the heat inside the kiln, and insulation was installed to reduce the heat loss. The wood vinegar tube was connected to an air pollution disposal system, a wet scrubber tower with two ½ horsepower electric sprayers, and a one-horsepower air blower was installed to dispose non-condensable exhaust gas. The activated charcoal filters were used to reduce air pollutants from the kiln. The parameters of the kiln was controlled by smartphone via the Internet connection installed in the kiln. All air entrances of the system were closed once the temperature reached the certain set points. The Eucalyptus firewood with a diameter of 4-6 centimeters and length of 60 centimeters were used to test the system, where the initial moisture content was at 13.20 %wet basis. It was found that the production process took 480 minutes, and the output biomass charcoal was 39.48% of the initial firewood weight. The energy conversion efficiency was 40.39%. A smartphone application was able to remotely control and track the system parameters during the experiment.

KEYWORDS: Biomass charcoal kiln, Internet of things, Biomass charcoal

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายชนิด เช่น ข้าว อ้อย ยางพารา มันสำปะหลัง ปาล์ม ข้าวโพด เป็นต้น โดยมีพื้นที่ทางการเกษตรในประเทศรวม 149.25 ล้านไร่ [1] ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปีทำให้ประเทศไทยมีชีวมวลเกิดขึ้นและมีชีวมวลเหลือทิ้ง

ทางการเกษตรที่แปรผันโดยตรงกับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศเป็นจำนวนมาก การนำชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะระดับชุมชนของกลุ่มเกษตรพื้นที่ต่างจังหวัด ที่ได้นำชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นเชื้อเพลิง ที่สามารถให้ค่าพลังงานความร้อนสูง เช่น การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาทำเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งของกลุ่มเกษตรกรอำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี [2] หรือการนำกะลามะพร้าว เปลือกและผลไม้ กิ่งและลำต้นไม้ยางพาราของกลุ่มเกษตรกรทวีผล อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา นำมาผลิตเป็นถ่านชีวมวลตามวิถีชาวสวนยางพารา [3] เป็นต้น

ปริมาณความต้องการของถ่านชีวมวลมีปริมาณความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง นับตั้งแต่ราคาน้ำมันมีการปรับตัวที่สูงขึ้น ทำให้ภาคครัวเรือนเริ่มให้ความสนใจในการนำถ่านชีวมวลมาใช้ในการหุงต้มอาหารเพิ่มมากขึ้น ทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติ นอกจากนี้ด้วยสถานการณ์การแพร่กระจายของโรคติดต่อเชื้อไวรัสโคโรน่า 2019 ได้คลี่คลายลง และมียกเลิกประกาศสถานการณ์ฉุกเฉินในทุกเขตท้องที่ทั่วราชอาณาจักรเมื่อวันที่ 1 ตุลาคม ที่ผ่านมาทำให้ภาคธุรกิจบริการร้านอาหารโดยเฉพาะร้านหมูกระทะมีความต้องการถ่านชีวมวลในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น ปัจจุบันเตาเผาถ่านมีการใช้งานกันหลายรูปแบบในกลุ่มเกษตรกร เช่น เตาเผาแบบถังตั้งและแบบถังนอนขนาด 200 ลิตรโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้พัฒนาขึ้น [4] และเตาเผาแบบดินเหนียว เตาอิฐก่อ เตาอิวาเตะ และเตาเผายุคใหม่รูปทรงและขนาดต่าง ๆ ตามการใช้งานในแต่ละท้องถิ่น แต่เตาเผาถ่านที่เกษตรกรใช้อยู่ยังคงมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากไม่สามารถควบคุมและจำกัดปริมาณของอากาศภายในเตาเผาได้ และมีการกระจายความร้อนในเตาเผายังไม่ดีหรือค่าความร้อนไม่ทั่วถึง [5] เตาเผาถ่านที่มีคุณภาพสูงจะมีลักษณะเป็นแบบถังนอนให้ค่าความร้อนสูงขึ้นและติดไฟได้เป็นเวลานาน [6-8] อีกทั้งการระบบการเผาไหม้ถ่านการควบคุมต่าง ๆ ยังต้องใช้ความชำนาญและแรงงานคนในการดำเนินการเผาตลอดกระบวนการและใช้เวลาในกระบวนการผลิตมาก

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาและนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้กับเตาเผาถ่านกันเพิ่มมากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผา ลดแรงงานคน และระยะเวลาในการเผาไหม้ของเตาเผา เช่น การนำอินเทอร์เน็ตออฟติงส์เข้ามาติดตั้งในกระบวนการเผาในเตาเผาต่าง ๆ มากขึ้น ดังผลงานวิจัยของ Intamas et al [9] ได้สร้างชุดเตาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ในเขตเทศบาลนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช ควบคุมด้วยระบบอัจฉริยะ (IOT) และทดสอบประสิทธิภาพของชุดเตาเผา ผลการศึกษาพบว่า การสร้างชุดเตาเผาสำหรับขยะติดเชื้อโควิด-19 ที่ระบบควบคุมอัจฉริยะ (IOT) เป็นการนำนวัตกรรมสำหรับเตาเผาให้มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงสุด 99.90% และอัตราการเผาขยะสูงที่สุดที่ 182 kg/hr นอกจากนี้ระบบควบคุมอัจฉริยะ (IOT) ยังสามารถควบคุมการทำงานเปิดวาล์วแก๊สและเป็นต้นแบบควบคุมการเปิดวาล์วก๊าซได้จริงและมีประสิทธิภาพ Maruyama et al [10] ได้ทำการออกแบบและสร้างเตาเผาแกลบความร้อนสูงแบบมี

ระบบฝาปิดอัตโนมัติ เพื่อแก้ไขปัญหาในเรื่องเวลาในการดูแลระบบและเวลาการเผาไหม้ของเตาเผาแกลบดำ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแรกวัตถุดิบที่ใส่เข้าไปเท่ากับ 18 kg ได้แกลบดำเท่ากับ 7.5 kg หรือ 41.67% ใช้คนทำการปิดเตาใช้เวลา 5 ชั่วโมง และแบบที่สองมีการออกแบบและสร้างระบบปิดอัตโนมัติและชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ด้านล่างของเตาเผาและตั้งค่าอุณหภูมิที่ 280 °C เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่กำหนดเซ็นเซอร์จะสั่งให้กลไกของระบบปิดอัตโนมัติปิดลงทันที วัตถุดิบที่ใส่เข้าไปเท่ากัน 18 kg แต่แกลบดำได้จากแบบที่สองมีปริมาณมากกว่าแบบแรก 8.3 kg หรือ 46.12% ซึ่งประหยัดเวลาในการดูแลเฝ้าเตาจากระบบแรก นอกจากนี้การเผาแกลบยังได้แกลบที่มีคุณภาพสูงมีปริมาณเถ้าน้อยไม่เกิน 10% ของแกลบดำทั้งหมด ซึ่งผลการทดลองได้ปริมาณเถ้าประมาณ 5% จึงทำให้เตาเผาแกลบมีคุณภาพขึ้น นอกจากนี้ Ruangsaen et al [6] ได้ทำการพัฒนาเตาเผาถ่านไม้หุงต้มมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนาดความจุ 750 ลิตร เพื่อให้ได้ปริมาณความชื้น สารระเหย เถ้า และค่าความร้อน ให้ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านไม้หุงต้ม (มผช. 657/2547) โดยใช้วัตถุดิบเป็นไม้ยูคาลิปตัส ปริมาณน้ำหนัก 3 ระดับ คือ 400 kg 600 kg และ 800 kg ผลที่ได้พบว่าถ่านมีค่าความชื้น 5-11% ปริมาณสารระเหย 20-26% ปริมาณเถ้า 5-10% และค่าความร้อนสูง 6,243-6,599 cal/g ซึ่งถ่านที่เผาได้มีแนวโน้มเป็นไปตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านไม้หุงต้ม

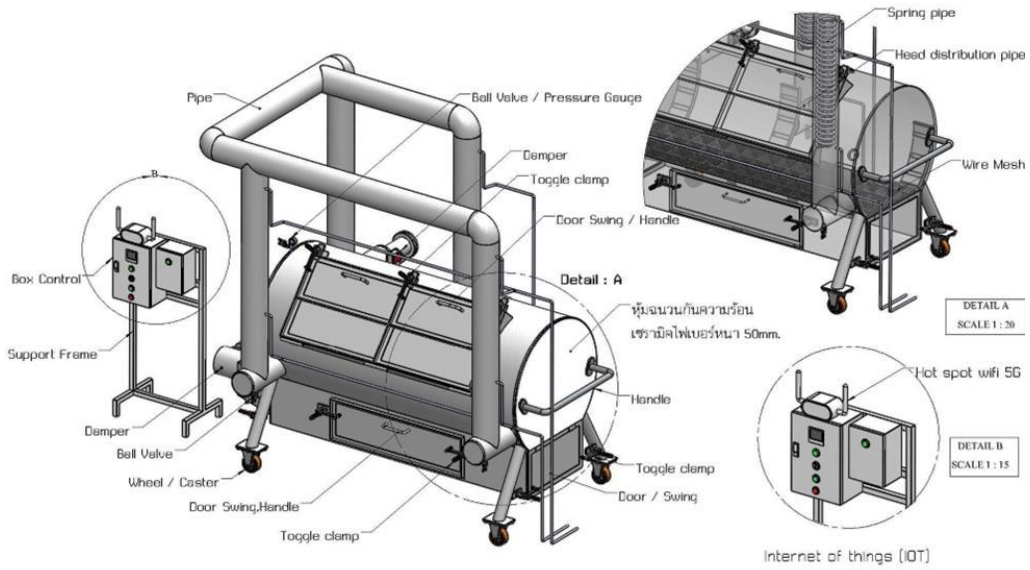
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเตาเผาถ่านชีวมวลแบบถังนอนขนาด 400 ลิตร ประสิทธิภาพสูงและควบคุมการเผาไหม้โดยใช้การควบคุมผ่านระบบอินเทอร์เน็ตออฟติงส์ผ่านระบบสมาร์ทโฟนและคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถใช้ควบคุมชุดการปิดช่องเชื้อเพลิงและปล่องระบายควัน เพื่อให้ชีวมวลในเตาเผาเกิดการเผาไหม้ได้สมบูรณ์และลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตถ่านในแต่ละชุดการเผา ลดจำนวนคนดูแลระบบ และได้น้ำส้มควันไม้ในกระบวนการผลิตถ่าน เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรให้สูงขึ้น เป็นการสร้างงานสร้างอาชีพเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อต่อยอดในเชิงพาณิชย์ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และทำให้เกิดอาชีพใหม่ ๆ ของกลุ่มเกษตรกรเกิดขึ้นอีกด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบเตาเผาถ่านชีวมวล

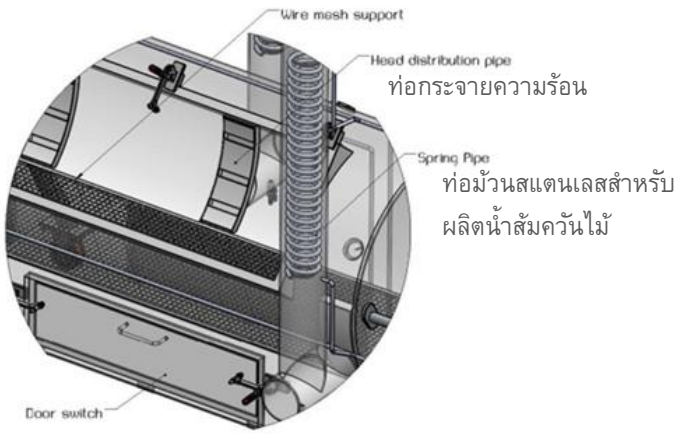
เตาเผาชีวมวลออกแบบให้เป็นแบบแนวนอนเพื่อให้มีค่าความร้อนสูงและมีการกระจายความร้อนได้อย่างทั่วถึงโดยมีขนาด 0.80x1.75 เมตร คิดเป็นปริมาตร 0.88 ลูกบาศก์เมตร โดยตัวเตาทำจากวัสดุสแตนเลสหนา 3 มิลลิเมตร มีช่องใส่เชื้อเพลิงสำหรับเป็นช่องใส่ฟืนที่อยู่ด้านล่างของเตาจำนวน 1 ช่อง ขนาดกว้าง 0.30 เมตร ยาว 0.40 เมตร ปล่องระบายควันและท่อน้ำส้ม

ควันไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.50 เซนติเมตร สูง 1.50 เมตร เพื่อทำหน้าที่ระบายควันเพื่อควบแน่นน้ำส้มควันไม้จำนวน 3 ปล่อง ดังแสดงในรูปที่ 1



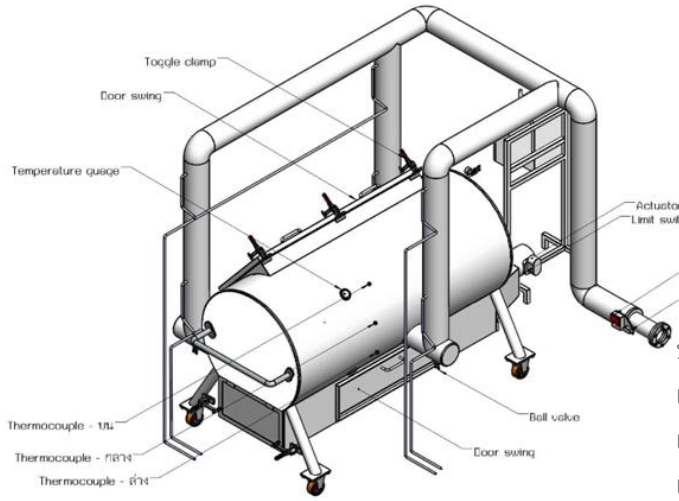
รูปที่ 1 องค์ประกอบของเตาเผาถ่านชีวมวล

ภายในเตาเผามีท่อกระจายความร้อนที่แนบชิดไปกับเตาเผาจำนวน 3 ตำแหน่ง ท่อกระจายความร้อนจะนำความร้อนจากด้านล่างขึ้นมายังด้านกลางและบนของเตาเผา เตาเผามีการหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนเซรามิกไฟเบอร์ ขนาดความหนา 50 มิลลิเมตร สามารถทนความร้อนได้สูงสุด 1,300 °C [11-12] และรอบนอกหุ้มซ้ำด้วยแผ่นสแตนเลสขนาดความหนา 0.50 มิลลิเมตร ใช้วงแขวนเซรามิกไฟเบอร์ขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร เพื่อลดการสูญเสียความร้อนขณะเผาไหม้ รวมทั้งใช้วงแขวนกันไฟที่มีคุณสมบัติสามารถทนความร้อนสูงสุด 1,300 °C ใส่วงแขวนกันไฟที่ขอบประตูและช่องเชื้อเพลิงด้านล่างเพื่อป้องกันการรั่วของก๊าซจากการเผาไหม้และอากาศที่สามารถเข้าไปภายในเตาเผาได้ [13] มีโครงสร้างที่ทำหน้าที่ยึดเตาเผาให้มีความแข็งแรง เพิ่มล้อเหล็กจำนวน 4 ล้อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิทั้งภายในเตาบริเวณด้านบนและด้านล่างและภายในปล่องควันจะมีท่อสแตนสเลสม้วน (Spring pipe) ขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1/2 นิ้ว ม้วนคอยล์ขนาด 75xP15xL100 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2



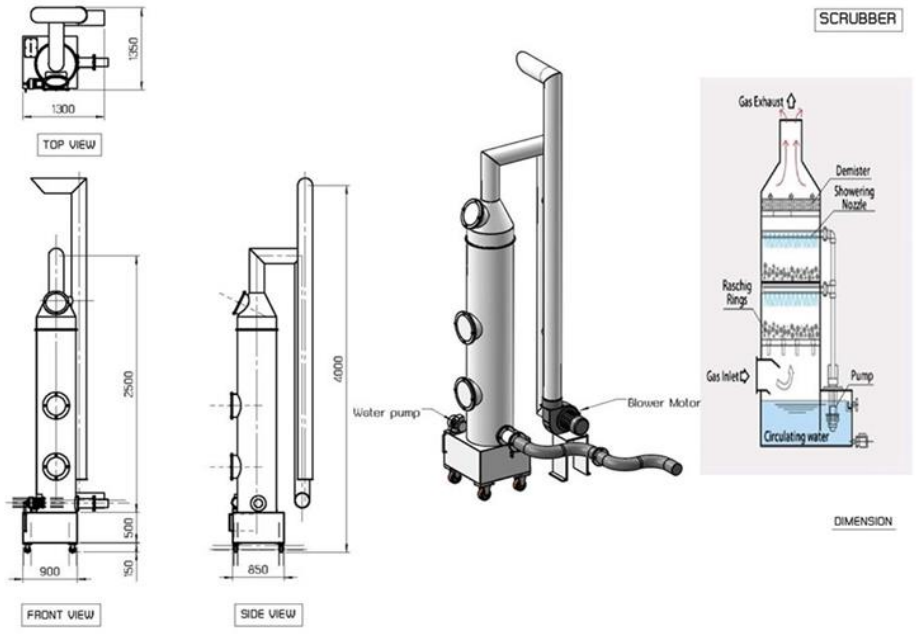
รูปที่ 2 ช่องกระจายความร้อนและท่อน้ำส้มควันไม้ภายในเตาเผาถ่านชีวมวล

ปล่องระบายควันเชื่อมต่อกับระบบควบคุมมลพิษทางอากาศด้วยสครับเบอร์แบบน้ำ เมื่อก๊าซพิษและน้ำมันดินที่เกิดจากการเผาไหม้ออกจากเตาเผา ดังแสดงในรูปที่ 3 จะผ่านเข้าระบบกำจัดมลพิษอากาศด้วยสครับเบอร์แบบน้ำ ซึ่งมีขนาดกว้างxสูง เป็น 0.4x1.8 เมตร สครับเบอร์ทำจากวัสดุสแตนเลสหนา 3 มิลลิเมตร ใช้พัดลมดูดอากาศขนาด 1 แรงม้า และปั๊มน้ำขนาด 0.5 แรงม้า เพื่อฉีดพ่นด้วยสเปรย์ฝอยจำนวน 2 จุด มีแพ็คกิ้งมีเดีย (Packing Media) คอยดักจับก๊าซพิษและน้ำมันดินด้านใน ด้านบนของสครับเบอร์มีแผ่นกรอง (Carbon Filter) ที่ทำจากถ่านคาร์บอนกัมมันต์ เพื่อใช้สำหรับกรองอากาศเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4 จากนั้นทำการติดตั้งระบบควบคุม พร้อมติดตั้งชุดกระจายสัญญาณ 5G พร้อมทำการเชื่อมต่อระบบอินเตอร์เน็ตออฟติงส์เข้ากับหัวขับไฟฟ้าและลิมิตสวิตช์เข้ากับเทอร์โมคับเปิลชนิด K เพื่อทำการบันทึกอุณหภูมิภายในเตาเผาทั้ง 3 ตำแหน่ง และติดตั้งชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอลทำงานโดยอัตโนมัติ เมื่อค่าอุณหภูมิภายในเตาเผาด้านล่างถึงค่าที่ตั้งไว้ในระบบหัวขับไฟฟ้าจะทำการสั่งให้แดมเปอร์ปิดช่องอากาศที่เข้าเตา และปิดช่องอากาศที่ไปยังสครับเบอร์แบบน้ำด้วยทั้ง 2 ตำแหน่ง



ปล่องระบายควัน
เชื่อมต่อกับสครับเบอร์
แบบน้ำมีหัวขับไฟฟ้า
เพื่อขับปิดแดมเปอร์

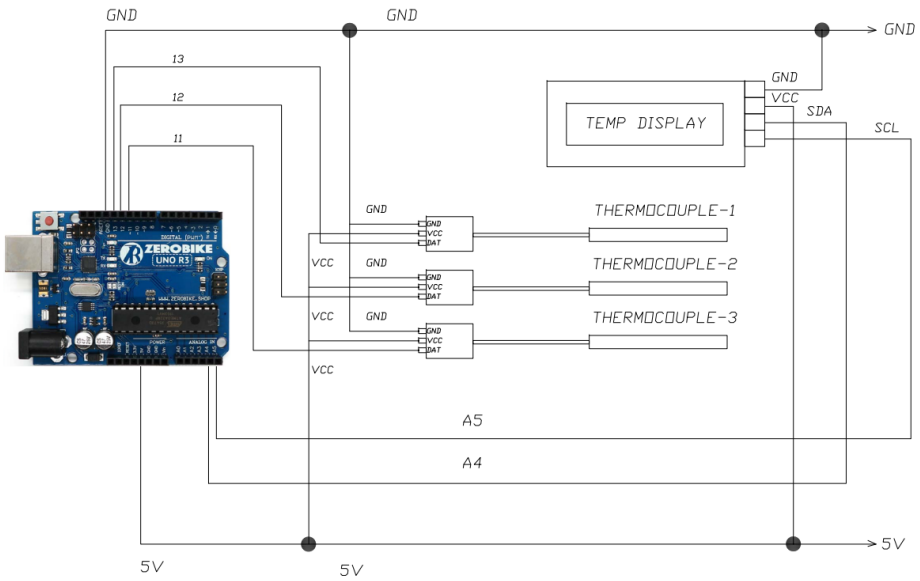
รูปที่ 3 ปล่องระบายควันเชื่อมต่อกับระบบควบคุมมลพิษทางอากาศด้วยสครับเบอร์แบบน้ำ



รูปที่ 4 ชุดระบบควบคุมมลพิษทางอากาศด้วยสครับเบอร์แบบน้ำ

2.2 การออกแบบและติดตั้งระบบอินเทอร์เน็ตออฟติงส์

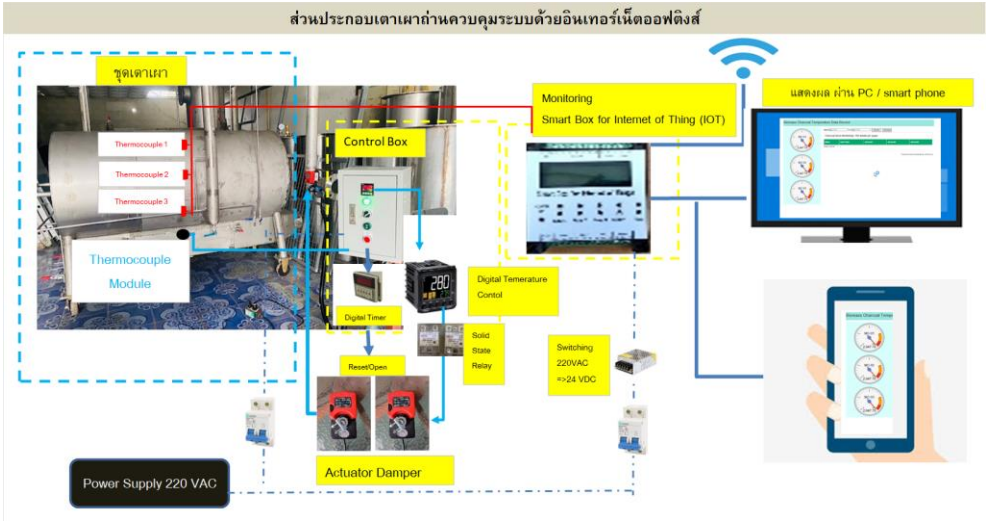
ทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี C++ ของ Arduino สำหรับใช้ควบคุมระบบโดยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ผ่านคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน เขียนโค้ดในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 Arduino Uno ด้วยโปรแกรม Arduino IDE ผ่านฟังก์ชันสำหรับควบคุมการปิดด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ผ่านคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน และทำการคอมไพล์โปรแกรม Arduino IDE และดาวน์โหลดโปรแกรม Arduino IDE ลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรม [14] ออกแบบระบบอินเทอร์เน็ตออฟติงส์ โดยเลือกใช้ PHP + Java Script เนื่องจากเป็นแอพพลิเคชันสำหรับงานอินเทอร์เน็ตออฟติงส์ เป็นโปรแกรมที่เขียนง่าย ไม่ต้องทำการเขียนแอพพลิเคชันสามารถใช้งานเชื่อมต่อเข้ากับอินเทอร์เน็ตและชุดอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น Arduino ESP8266 ESP32 Raspberry Pi เป็นต้น และสามารถรองรับได้ทั้งแอนดรอยด์และไอโอเอส [14-15] สำหรับการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าที่ใช้กับบอร์ด Arduino ในระบบอินเทอร์เน็ตออฟติงส์ แสดงในรูปที่ 5



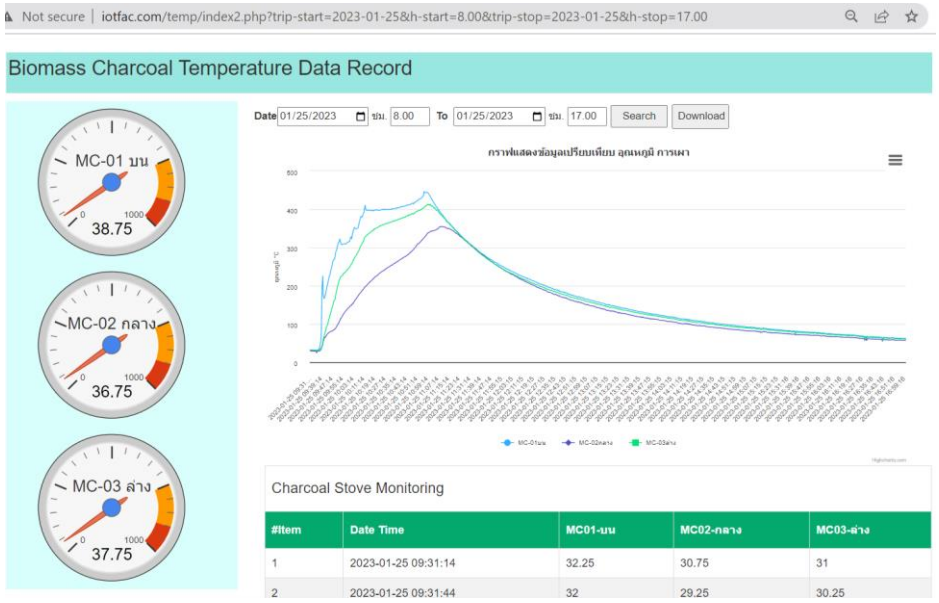
รูปที่ 5 การเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าที่ใช้กับ Arduino ในระบบอินเทอร์เน็ตออฟติงส์

ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์ติดตั้งเทอร์โมคับเปิลทั้ง 3 ตำแหน่ง บน กลาง และล่าง และระบบอินเตอร์เน็ตออฟติงส์ในเตาเผาแสดงได้ดังรูปที่ 6 ในการนำอินเทอร์เน็ตออฟติงส์มาใช้ในกระบวนการเผาถ่านเป็นการเพิ่มระบบจัดการข้อมูล เพื่อให้ส่งข้อมูลค่าอุณหภูมิของเตาเผาตำแหน่ง บน กลาง และล่าง เข้า Cloud Server ทุก ๆ 30 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยผ่านระบบ

อินเตอร์เน็ตไร้สาย มีหน้าจอแสดงผลอุณหภูมิบนเว็บไซต์ทันทีและต่อเนื่องจนจบกระบวนการ สามารถดูสถานะอุณหภูมิได้จากทุกที่บนสมาร์ทโฟน และสามารถดูค่าอุณหภูมิย้อนหลังได้ 3 เดือน มีระบบสืบค้นข้อมูลตามวัน เดือน ปี สามารถบันทึกผลออกมาเป็นโปรแกรมที่สามารถใช้ในการประมวลผลการทดลองได้อย่างสะดวก และผู้ปฏิบัติงานไม่จำเป็นต้องอยู่หน้าเตาเผาเพื่อเฝ้าดูอุณหภูมิที่หน้าเตาตลอดเวลา

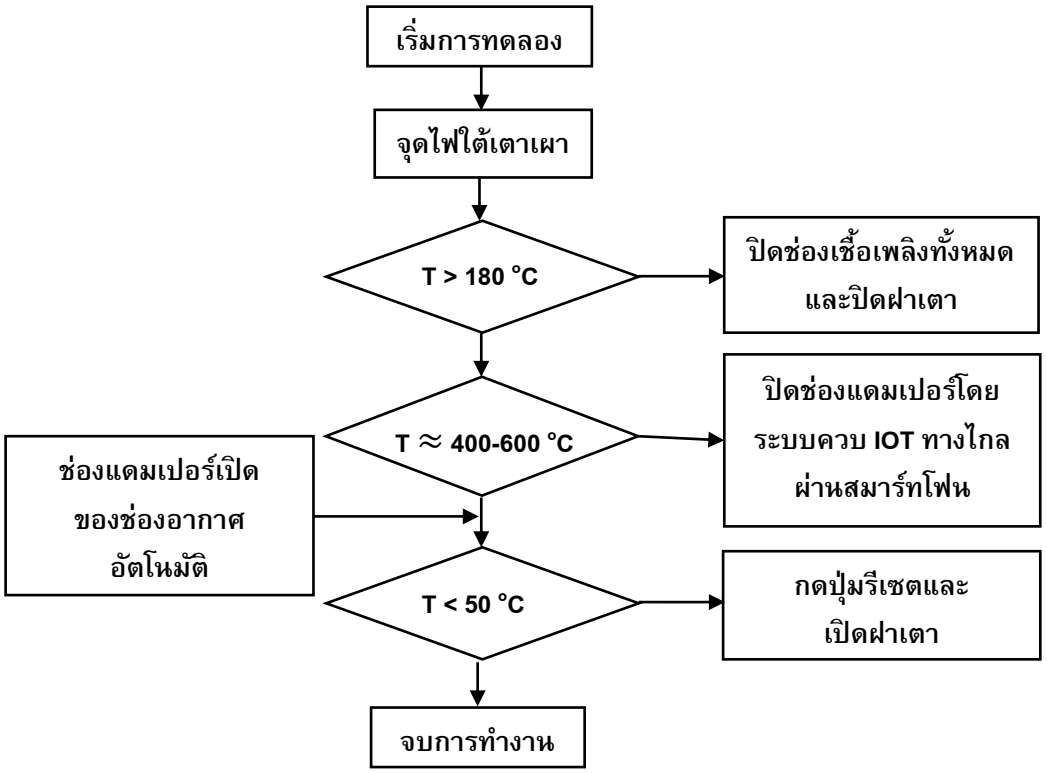


รูปที่ 6 ชุดอุปกรณ์ติดตั้งเทอร์โมคับเปิลและระบบอินเตอร์เน็ตออฟติงส์



รูปที่ 7 ภาพอุณหภูมิของเตาเผาถ่านเก็บผลในระบบบันทึกบน Cloud Server

รูปที่ 8 แสดงผังระบบควบคุมการเผาไหม้ของเตาเผาถ่านชีวมวลด้วยระบบอัตโนมัติ โดยเริ่มติดเตาจากช่องใส่เชื่อเพลิงด้านล่างและเปิดฝาช่องใส่ชีวมวลสำหรับทำถ่าน เมื่อค่าอุณหภูมิมากกว่า 180 °C จะทำการปิดช่องใส่เชื้อเพลิงด้านล่างและช่องใส่ชีวมวล เมื่ออุณหภูมิถึง ตามที่ระบุไว้ในระบบคือ ช่วง 400-600 °C ระบบอัตโนมัติจากการตั้งค่าผ่านระบบอินเตอร์เน็ตออฟติงส์จะสั่งการให้ปิดช่องอากาศทั้งหมดเพื่อเข้ากระบวนการอบถ่าน และปล่อยให้ระบบเย็นลงจนถึง 50 °C จึงเปิดระบบเพื่อเก็บถ่านต่อไป



รูปที่ 8 ผังระบบควบคุมการเผาไหม้ของเตาเผาถ่านชีวมวล ด้วยระบบอัตโนมัติ

2.3 วิธีการทดลอง

1) นำวัตถุดิบทดสอบระบบ คือ ไม้ยูคาลิปตัสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 เซนติเมตร ไปทำความสะอาดโดยการเป่าด้วยลมแล้วนำไปตากแดดให้แห้ง นำมาตัดเป็นท่อนให้มีขนาดความยาวขนาด 60 เซนติเมตร

2) นำไม้ที่เตรียมไว้ทำการวัดความชื้นด้วยเครื่องวัดความชื้นสัมผัสแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Exotec Instrument รุ่น MC-380XCA ย่านการวัดความหนา 0-100 มิลลิเมตรย่านการวัดความชื้น 0-85%

ค่าความละเอียด ±1 % MC ดังรูปที่ 9 (ก) ซึ่งค่าความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการเผาแต่ละรอบไม่เกิน 30% wb

3) ชั่งน้ำหนักไม้ก่อนเข้าเตาเผาด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ยี่ห้อ ZEPPER รุ่น A12-EA4050-60 ย่านการชั่ง 0-60 kg ค่าความละเอียด ±5 g ขนาดแท่นชั่ง 40x50 เซนติเมตร (เครื่องชั่งผ่านตรวจรับรองจากสำนักชั่งตวงวัดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว) ดังรูปที่ 9 (ข) โดยในแต่ละครั้งการทดลองมีน้ำหนักไม้ก่อนเผาที่ 70 kg

(ก)

(ข)

รูปที่ 9 ทำการวัดค่าความชื้นของไม้และทำการชั่งมวลไม้ก่อนเข้าเตาเผา

4) นำไม้ที่เป็นเชื้อเพลิงเริ่มต้นการเผาไหม้ใส่ในช่องด้านล่างของเตา จุดไฟเพื่อให้เกิดกระบวนการเผาไหม้เข้าในห้องเผาไหม้ สังเกตการลุกไหม้ของไฟโดยให้มีเปลวไฟจนลุกทั่วทั้งเตาเผา ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 การเผาไหม้ของไม้ในเตาเผา

5) ทำการเปิดชุดควบคุมระบบอินเทอร์เน็ตออฟติงส์ จากนั้นทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์กระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ต 5G เพื่อทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่อยู่ภายในเตาเผาผ่านสายเทอร์โมคัปเปิลที่ได้มีการเจาะช่องขนาดเล็กไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้วจำนวน 3 จุด คือ ตำแหน่งด้านล่าง ด้านกลาง และด้านบนของกึ่งกลางของเตาเผา แล้วทำการสอดหัววัดเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ให้ปลายแตะที่ผิวเตาส่วนในของเตาเผา ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิทุก ๆ 30 วินาทีดังแสดงในรูปที่ 11

รูปที่ 11 ชุดระบบระบบอินเทอร์เน็ตออฟติงส์

6) เมื่อสังเกตเห็นไฟลุกดีแล้วให้ทำการปิดช่องเชื้อเพลิงด้านล่างเตาทั้งหมด ดังรูปที่ 12 (ก) ยกเว้นด้านที่มีแดมเปอร์ซึ่งจะทำการปล่อยไว้ให้อากาศไหลเข้าเตาเพื่อให้ภายในห้องเผาไหม้ยังคงเกิดการเผาไหม้ต่อเนื่องอย่างสมบูรณ์ต่อไป ดังรูปที่ 12 (ข)

(ก)

(ข)

รูปที่ 12 ปิดช่องเชื้อเพลิงยกเว้นช่องอากาศอัตโนมัติ

7) เมื่ออุณหภูมิด้านล่างภายในเตาเผามีค่าอุณหภูมิประมาณ 450 °C ระบบจะทำการสั่งการให้เซ็นเซอร์ควบคุมกลไกของหัวขับไฟฟ้าขับแดมเปอร์ปิดช่องอากาศอัตโนมัติทันที เพื่อไม่ให้อากาศเข้าไปทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ได้อีกดังรูปที่ 13 (ก) ช่องอากาศอัตโนมัติ

(ข) ปล่องระบายควันที่ต่อกับระบบสครับเบอร์แบบน้ำ จากนั้นทำการปล่อยทิ้งไว้จนอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เข้าใกล้อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมซึ่งสามารถดูได้จากสมาร์ทโฟน หรือคอมพิวเตอร์ และหน้าตู้ควบคุมบริเวณหน้าเตาเผาหลังจากอุณหภูมิภายในลดลงเท่ากับสิ่งแวดล้อม ทำการกดปุ่มรีเซตที่ตู้คอนโทรลเพื่อทำการเปิดแดมเปอร์ทั้ง 2 จุด และทำการเปิดฝาเตาเผา เมื่อถ่านเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่า 50 °C แล้วนำถ่านที่ได้ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล เพื่อนำไปคำนวณหา % ของผลผลิตถ่าน (Yield %) และชั่งน้ำหนักน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการผลิตถ่าน เพื่อนำไปคำนวณหาค่าผลิตภัณฑ์ก๊าซต่อไป

(ก)

(ข)

รูปที่ 13 หัวขับไฟฟ้าสั่งการทำงานให้ขับแดมเปอร์ปิดช่องอากาศอัตโนมัติ

สำหรับขั้นตอนตั้งแต่ขั้นตอนการทดลองที่ 1-6 ใช้คนงานทำงานเพียง 1 คน และเมื่อสิ้นสุดขั้นตอนที่ 7 คนงานสามารถดูอุณหภูมิการเผาไหม้ผ่าน สมาร์ทโฟน หรือคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องอยู่หน้าเตาเผา เพื่อดำเนินการปิดช่องอากาศของระบบการเผาไหม้ ทำให้สามารถลดปริมาณงานในการจัดการเผาถ่านได้

2.4 วิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเผาถ่าน

1) ในการทดลองเผาถ่านชีวมวลสามารถหาร้อยละผลผลิตถ่าน (Yield %) O.D. basis ได้จากสมการที่ (1) [16]

$$\text{ผลผลิตถ่าน (Yield \%)} = \frac{(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - (\text{ค่าความชื้น}/100) \times \text{น้ำหนักของถ่านชีวมวล})}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของวัตถุดิบ}} \times 100 \quad (1)$$

2) ผลิตภัณฑ์ก๊าซ สามารถหาได้จากน้ำหนักผลิตภัณฑ์น้ำส้มควันไม้และน้ำหนักสุดท้ายผลิตภัณฑ์ของถ่านชีวมวลที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละโดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2)

ปริมาณก๊าซ (%) = ปริมาณไม้ฟืนก่อนเผา (%) – ปริมาณของถ่าน (%) – ปริมาณน้ำส้มควันไม้ (%) (2)

2.5 การหาประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของถ่านชีวมวล (Energy conversion efficiency %)

ในการหาประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน เป็นการพิจารณาพลังงานที่ป้อนเข้าและออกในระบบการเผาไหม้ สามารถหาได้จากสมการที่ (3) [17]

$$\eta_{En} = \text{Yield \%} \times (HHV_{\text{ถ่านชีวมวล}} / LHV_{\text{ไม้ยูคาลิปตัส}}) \quad (3)$$

เมื่อ $HHV_{\text{ถ่านชีวมวล}}$ คือ ค่าความร้อนสูงของถ่านหลังเผา (High Heating Value) (kJ/kg)

$LHV_{\text{ไม้ยูคาลิปตัส}}$ คือ ค่าความร้อนต่ำของไม้ฟืนก่อนเผา (Low Heating Value) (kJ/kg)

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดลอง

ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของเตาเผาโดยการใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K วัดอุณหภูมิจำนวน 3 ตำแหน่ง โดยวัดที่ผนังเตาเผาชั้นใน พบว่าอุณหภูมิแต่ละช่วงเวลาแต่ละตำแหน่งการวัด มีความแตกต่างกัน โดยค่าอุณหภูมิที่สูงสุดในเตาเผาจะเป็นช่วงกลางของเตา แต่ลักษณะเส้นกราฟ มีความคล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 14 สามารถอธิบายช่วงการเผาไหม้เป็น 4 ช่วง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการพัฒนาประสิทธิภาพเตาเผาถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว [5] และงานวิจัยการพัฒนาเตาเผาถ่านไม้หุงต้มมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน [6] ดังนี้

1) ขั้นตอนการไล่ความชื้น (Dehydration) ใช้อุณหภูมิในช่วง 20-270 °C เป็นขั้นตอนการใช้ความร้อนจากเชื้อเพลิงด้านล่างของเตาเพื่อให้ไม้ยูคาลิปตัสเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction) ระยะเวลาในการเผาจะขึ้นอยู่กับความชื้นของไม้ยูคาลิปตัส ความชื้นมากใช้เวลามากขึ้น ไม้ฟืนที่แห้งจะสามารถลดระยะเวลาในการเผาลง

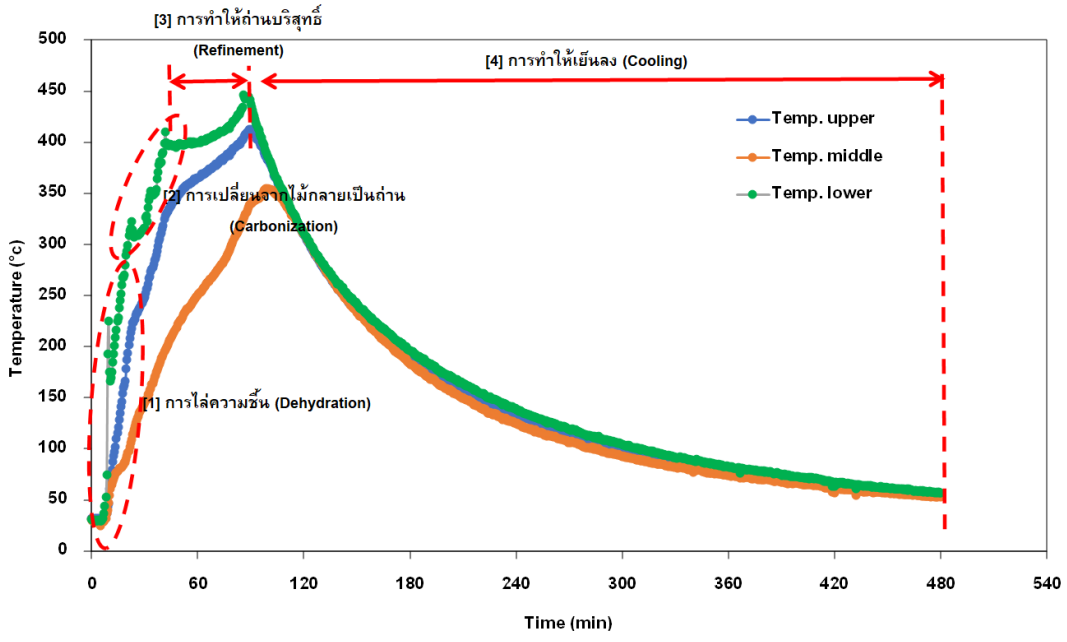
2) ขั้นตอนการเปลี่ยนจากไม้กลายเป็นถ่าน (Carbonization) ในช่วงอุณหภูมิ 270-400 °C ในขั้นตอนนี้จะมี 2 คือช่วงแรกอุณหภูมิ 270-350 °C มีความร้อนที่สะสมไว้จะคลายความร้อนออกมาจะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) เซลลูโลสจะมีการสลายตัวอย่างรวดเร็ว มีควันสีขาวปนออกมาหรือควันบ้ามีกลิ่นฉุน ควันบ้าจะน้อยลงและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเทาโดยควบคุมอุณหภูมิไว้ให้คงที่โดยการควบคุมอากาศที่ช่องอากาศอัตโนมัติเป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้ขั้นตอนนี้มการถ่ายเทความร้อนจากด้านล่างเตาค่อยๆ ถ่ายเทไปยังจุดต่างๆ ทั่วทั้งเตา ถ้ามีการปล่อยให้อุณหภูมิสูงเร็วเกินไปไม้ยูคาลิปตัสจะกลายเป็นเถ้ามาก ช่วงที่สองอุณหภูมิ 350-400 °C ในช่วงนี้เซลลูโลสยังคงมีการสลายตัวทั้งหมดและจะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 400 °C ขั้นตอนนี้ไม้จะ

กลายเป็นถ่าน (Carbonization) ควันที่ออกมาจะประกอบด้วยสารที่เกิดขึ้นใหม่หลายชนิดจากการสลายตัวด้วยความร้อน (Pyrolysis) และสามารถกลั่นเป็นของเหลวที่ปล่องระบายควันที่ติดตั้งท่อน้ำส้มควันไม้สำหรับผลิตน้ำส้มควันไม้

3) ขั้นตอนการทำถ่านให้บริสุทธิ์ (Refinement) หลังจากไม้จะกลายเป็นถ่านสิ้นสุดลงที่อุณหภูมิ 400 °C แต่ยังคงมีปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ต่ำ และมีน้ำมันดินเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง เนื่องจากน้ำมันดินเป็นสารที่ก่อมะเร็งเมื่อนำถ่านคุณภาพต่ำไปประกอบอาหารปิ้งย่าง จึงต้องทำการเผาถ่านให้บริสุทธิ์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 400 °C ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้งานโดยเติมอากาศเข้าไปเป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ประมาณ 26 นาที

4) ขั้นตอนการทำให้ถ่านเย็นลง (Cooling) เมื่อแดมเปอร์ปิดช่องอากาศอัตโนมัติแล้ว เตาเผาจะปล่อยให้เย็นลงอุณหภูมิต่ำกว่า 50 °C จึงจะนำถ่านไปใช้งานได้เพื่อไม่ให้ถ่านลุกติดไฟเองเมื่อได้รับออกซิเจนจากอากาศ

โดยรวมใช้เวลาในกระบวนการเผาถ่านทั้งสิ้นประมาณ 8 ชั่วโมง และสามารถลดระยะเวลาในกระบวนการเผาไหม้จากเตาเผาแบบดั้งเดิม [5] แบบเตาหลุม หรือแบบเตาเผาแบบถัง 200 ลิตร โดยเปรียบเทียบระยะเวลาในการเผาไหม้จากไม้กลายเป็นถ่าน ซึ่งเตาเผาดังกล่าวใช้เวลาในการเผาระหว่าง 15-20 ชั่วโมง



รูปที่ 14 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาของเตาเผาถ่าน

ไม้ยูคาลิปตัสที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตถ่าน ความชื้นของไม้ยูคาลิปตัสจะถูกนำมาวิเคราะห์และทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ตามมาตรฐาน (ASTM D 5373) วิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบโดยประมาณ (Proximate analysis) ตามมาตรฐาน (ASTM D7582) และวิเคราะห์ค่าความร้อนแบบกรอส (High heating value: HHV) และแบบเนท (Low heating value : HLV) ที่ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (ว.ว.)

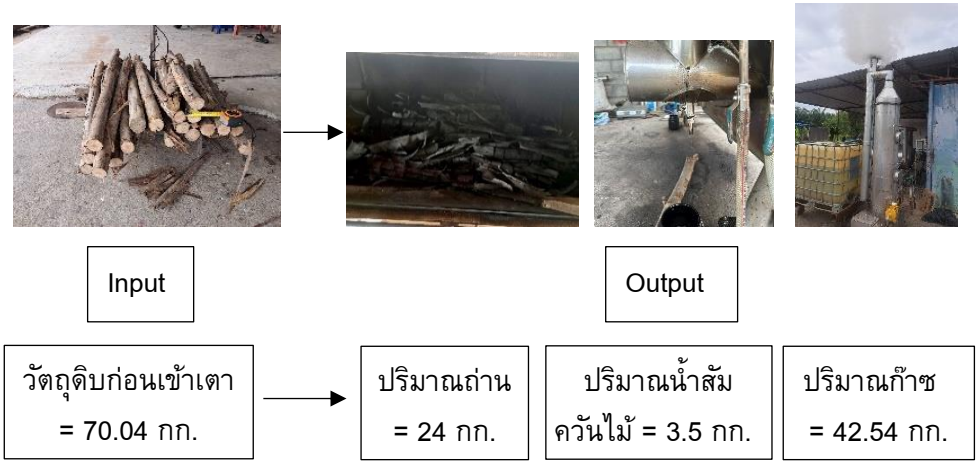
จากกราฟดังรูปที่ 14 จะเห็นว่าลักษณะกราฟของอุณหภูมิของไม้ยูคาลิปตัสจะมีช่วงเวลาในการเผาไหม้อุณหภูมิค่อย ๆ สูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยใช้เวลา 1.30 ชั่วโมง เนื่องจากก๊าซไอเสียและน้ำมันดินจะถูกดูดไปยังท่อน้ำส้มควันไม้ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบกำจัดมลพิษอากาศด้วยสครับเบอร์แบบน้ำด้วยพัดลมดูดอากาศขนาด 1 แรงม้า และภายในเตาเผามีท่อกระจายความร้อนจำนวน 3 ท่อ สามารถกระจายความร้อนได้ในภายในเตาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเตาเผาถ่านแบบทั่วไปซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของของ Sangsuk et al [11] ซึ่งอธิบายว่าท่อและปล่องกระจายความร้อนภายในเตาเผาที่มีรูสล๊อตที่ด้านบนและกลางของปล่องรอบตัวจะสามารถกระจายความร้อนให้ทั่วถึงภายในเตาเผา และเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการเผาแบบเดิมพบว่าความร้อนจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น ทำให้เตาเผาถ่านมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานที่สูง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sinsa-ad [5] พบว่า ให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ใช้ระยะเวลาสั้นจะให้ประสิทธิภาพในการเผาที่ดีกว่าแบบเดิมถึง 70% และให้ค่าพลังงานความร้อนสูงและยาวนานกว่า ซึ่งเมื่อเทียบกับผลการทดลองของ Phimpabutra et al [18] ได้อธิบายผลของอุณหภูมิเผาไหม้และคุณสมบัติของถ่านที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสด้วยเตาเผาถ่านแบบไหลขึ้นขนาดเล็ก พบว่า ไม้ยูคาลิปตัสให้ร้อยละของผลผลิตถ่าน 27% และปริมาณคาร์บอนคงตัวเท่ากับ 45.9% ซึ่งได้ปริมาณที่น้อยกว่าผลการทดลองที่ได้ ในขณะที่ค่าความร้อนมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ 32.51-33.26 kJ/kg

ตารางที่ 1 แสดงค่าตัวแปร ปริมาณต่าง ๆ ที่ได้จากกระบวนการเผาถ่านไม้ยูคาลิปตัส ปริมาณความชื้นของไม้ยูคาลิปตัสก่อนเผามีค่า 13.20% ค่าน้ำหนักแห้งของไม้ยูคาลิปตัสก่อนเผา 60.79 kg หลังเผาได้น้ำหนักถ่าน 24 kg ปริมาณน้ำส้มควันไม้ 3.50 kg คิดเป็นค่าปริมาณผลผลิตถ่าน 39.48% คำนวณค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน 40.39% ซึ่งผลการทดลองที่ได้ให้ค่าความร้อนของไม้ยูคาลิปตัสที่สูงกว่างานวิจัยที่ผ่านมา [19]

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการเผาถ่านชีวมวลจากไม้ยูคาลิปตัส

ตัวแปร	ก่อนเผา	หลังเผา(ถ่าน)
ปริมาณความชื้นของไม้ยูคาลิปตัส (%) wb	13.20	-
น้ำหนักแห้งของไม้ยูคาลิปตัส (kg)	60.79	24.00
น้ำส้มควันไม้ (kg)	-	3.50
ค่าความร้อนของไม้ยูคาลิปตัส (MJ/kg)	32.51	33.26
พลังงานความร้อนของถ่านจากการเผาไหม้ (MJ)	1,976.44	798.24
ผลผลิตถ่าน (Yield %)	-	39.48
ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (%)	40.39	

คำนวณปริมาณก๊าซจากการชั่งน้ำหนักของไม้ฟืนก่อนเผาชั่งน้ำหนักถ่านไม้หลังเผา และชั่งน้ำหนักน้ำส้มควันไม้ที่ได้ โดยสมดุลมวลก่อนเผาเท่ากับมวลหลังเผา ตามสมการที่ 2 สามารถหาสมดุลมวลในกระบวนการเผาไม้ยูคาลิปตัสได้ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 สมดุลมวลของเตาเผาถ่าน

4. สรุป

จากการออกแบบและพัฒนาเตาเผาเชิงความร้อนประสิทธิภาพสูงในครั้งนี้พบว่า เตาเผาให้ปริมาณถ่านในปริมาณมากถึง 24 kg ผลผลิตถ่าน 39.48% และประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน 40.39% ใช้เวลา 8 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับเตาเผาแบบดั้งเดิม ภายในเตาเผามีการกระจายความร้อนได้อย่างทั่วถึงทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง การใช้ระบบอินเทอร์เน็ตออฟติงส์เข้ามา

ควบคุมปิดและเปิดช่องอากาศอัตโนมัติซึ่งจะทำให้สามารถปิดเตาเผาได้รวดเร็วและจำกัดอากาศไม่ให้เข้าไปภายในเตาเผาทำให้เกิดการอบด้วยความร้อน ได้ถ่านในปริมาณที่มาก โดยมีค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว 75.2% ปริมาณเถ้า 2.4% ค่าความชื้น 3.5% ปริมาณสารระเหย 22.4% และให้ค่าความร้อนที่สูงในช่วง 32.51-33.26 kJ/kg และประหยัดเวลาในการผลิตถ่าน ใช้คนงานดูแลระบบเพียงคนเดียว และไม่ต้องเสียเวลารอปิดและเปิดระบบเผาถ่านในช่วงที่อุณหภูมิยังไม่ถึงอุณหภูมิที่กำหนด ทำให้คนงานสามารถไปทำงานอื่นได้ และสามารถดูอุณหภูมิจากมือถือหรือจากทุก ๆ ที่ และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 50 ^{o}C จะทำการรีเซตระบบและเปิดฝาเตา จากเวลาในการผลิตถ่านที่สั้นลง ทำให้สามารถผลิตถ่านได้ 3 ครั้งต่อวัน

5. ข้อเสนอแนะ

1) ควรทำการศึกษาไม้อื่น ๆ เพิ่มเติม นอกจากไม้ยูคาลิปตัส เช่น ไม้ยางพารา กะลามะพร้าว และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เพื่อจะได้ทราบว่าประสิทธิภาพของเตาเผาถ่าน (Kiln productivity: kg/hr) ผลผลิตของถ่าน (Yield %) และประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Energy conversion efficiency %)

2) การเผาถ่านนั้นควรเผาถ่านในพื้นที่โล่งแจ้ง ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกและไม่เป็นการรบกวนชาวบ้านในพื้นที่ใกล้เคียง

3) ระบบบำบัดสครับเบอร์แบบน้ำจะต้องมีการดูแลบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากน้ำมันดินที่เกิดจากการเผาไหม้ ที่ออกมาปนมากับน้ำในระบบซึ่งจะต้องใช้สารเคมีในการกำจัดก่อนปล่อยสู่แหล่งธรรมชาติทุกครั้ง แพ็คกิ้งมีเดีย (Packing Media) และคาร์บอนฟิลเตอร์ (Carbon Filter) ต้องทำความสะอาดด้วยสารเคมีเพื่อชำระล้างให้สะอาดเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการดักจับน้ำมันดินที่มากับก๊าซไอเสีย ซึ่งจะเกิดการอุดตันและลดประสิทธิภาพในการกรองของสครับเบอร์แบบน้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย และขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่เป็นต้นสังกัดในการให้มาได้มาซึ่งทุน สถานที่ทำวิจัย และความรู้ในการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้

References

[1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Renewable and alternative energy development plan 2018-2037 (AEDP2018). Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency; 2017. (In Thai)

[2] Homraruen W, Phoochinda W. Utilization of durian shell and mangosteen shell as fuel briquette and fertilizer: a case study of Kaeng Hang Maeo district, Chanthaburi province. Ph.D. in Social Sciences Journal 2019;9(2):452-66. (In Thai)

[3] Rattanathavorn T, Jittiwasurat P. The process of producing biomass charcoal from agricultural residence using local rubber planters' method: A case study of Taveepol Agricultural Group in Namom, Songkhla. Journal of Agricultural Research & Extension 2018;35(2):44-54. (In Thai)

[4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. A manual for the production and use of a 200 liter drum kiln. Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency; np. (In Thai)

[5] Sinsa-ad A. Development of activated charcoal from a coconut shell kiln. Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal 2017;10(2):95-108. (In Thai)

[6] Ruangsan K, Heman A, Tasaroj H, Reungrit S, Kraisoda P, Heman W, et al. Development of wood charcoal for cooking retort with community product standards. Kalasin University Journal of Science Technology and Innovation 2022;1(1):1-10. (In Thai)

[7] Rathasilpokin N. A comparative study on the efficiency of a 200 liter charcoal oven between horizontal and vertical designs. Phichit: Phichit Provincial Energy Office; 2011. (In Thai)

[8] Ruchuwararak P, Tathong P. Charcoal burning, the traditional way of local community to alternative energy technology. Academic Journal of Humanities and Social Sciences Buriram Rajabhat University 2014;6(2):52-71. (In Thai)

[9] Intamas P, Ruayruay W, Wongklang W, Prommuang K, Boonraksa P. Development of incinerator sets for COVID-19 infected waste using Intelligent Control (IoT). Institute of Vocational Education Southern Region 1 Journal 2022; 7(1):108-17. (In Thai)

[10] Maruyama K, Kidrangsan T, Jansuya P. The design and build husk furnance heat automatic shut-off. Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL) Engineering Journal 2016;1(2):22-8. (In Thai)

[11] Sangsuk S, Buathong C, Suebsiri S. High-energy conversion efficiency of drum kiln with heat distribution pipe for charcoal and biochar production. Energy for Sustainable Development 2020;59:1-7.

[12] Rakkangan P, Sakulpongmalee K, Intanin J, Moonsri P. Development of thermal efficiency of 200 liters Charcoal Kiln by using insulate enveloped. In the 7th Thailand Renewable Energy for Communities Conference; 2014 Nov 12-14; Nakhon Pathom, Thailand. Nakhon Pathom: Rajamangala University of Technology Rattanakosin; 2014. p. 266-71. (In Thai)

[13] Thapsamut T, Chaopisit I, Timyamprasert A, Sritanu S, Somkeattikul K, Siripaiboon C, et al. Design and fabrication of biomass and municipal solid waste carbonizer. Thai Society of Agricultural Engineering Journal 2021;27(1):25-31. (In Thai)

[14] Somsong P, Khanuengnit S, Bundasak S. Smart farm and poultry that automatic working with sensor and can control with smartphone. Rattanakosin Journal of Science and Technology 2020;2(3):167-75. (In Thai)

[15] Sukkri S, Seh S, Mak-on S. Trash management web application. Journal of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University 2021;2(2):50-7. (In Thai)

[16] Wongsawiang O, Unpiphat M, Chareannate C, Chaichana E. Pyrolysis of agricultural residues in the local area of Nakhon Pathom Province. Journal of Thai Interdisciplinary Research 2016;11(3):46-53.

[17] Sangsuk S, Suebsiri S, Puakhom P. The metal kiln with heat distribution pipes for high quality charcoal and wood vinegar production. Energy for Sustainable Development 2018;47:149-57.

[18] Phimpabutra N, Chaiya A, Chawkla S. Effect of wood type on combustion temperature characteristics and properties of charcoal prepared by high temperature pyrolysis process. Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal 2020; 12(16):50-60. (In Thai)

[19] Cavalcanti E, Carvalho M, Azevado J. Exergoenvironmental results of a eucalyptus biomass-fired power plant. Energy 2019;189:116188.

ประวัติผู้เขียนบทความ

ปฐมพงษ์ หอมศรี นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110 โทรศัพท์ 083-789-2652 Email: patomphong.homsri@gmail.com

ดร.กมลวรรณ จิตจักร ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110 โทรศัพท์ 092-332-5566 Email: kamonwan_ji@rmutto.ac.th

ผศ.ดร.จิรวัฒน์ สิตรานนท์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ประธานหลักสูตร และอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

งานวิจัย: Thermal Energy, Solar Energy, Steam-Air Power, Solar Thermal Water Pump โทรศัพท์ 081-001-0903 Email: Jirawat_si@rmutto.ac.th

Article History:

Received: February 1, 2023

Revised: June 28, 2023

Accepted: June 30, 2023