

Development of High-Efficiency Charcoal Furnace with of Stainless Wire-Mesh Porous media

Niwat Ketchat¹, Bundit Krittacom¹, Suradech Sinjapo¹, Kompet Inla²,
Jattupon Pongkun³, Pilin Hankhantod^{3,*}

ABSTRACT

This research article aims to study the influence of installation of the stainless wire-mesh type of porous media on the temperature inside charcoal furnace. The procedure was divided into 2 steps. Step 1 was the generation of a mathematical model to study the airflow characteristics inside the heat conduction pipe installed in the stainless wire-mesh type of porous media. The pores per inch (PPI) were analyzed by 6, 10, and 20. Five pitch distances (LP) were studied: 10, 20, 30, 40, and 50 cm. As a result, there were 16 cases in this step. For step 2, the experiment to examine the performance of the 200-liter charcoal furnace installed the stainless wire mesh porous media. It was found that the distribution of airflow in the heat conduction pipe installed the stainless porous media at the case of PPI 20 LP 50 gave better. The air-flow velocity in the pipe became lower than the pipe without porous media. Therefore, the experimental case was based on the results of analysis resulting in there existed only 6 cases. In the experiment, it had the interesting point that the average temperature in the furnace gave maximum level at 196.7 °C at the condition of PPI 20 LP 10. The temperature was higher than the furnace without porous media of 48 °C. However, the production time of charcoal compared with the furnace without porous media gave decreased by 42 minutes, and the total time spent was 5.58 hours at the condition of PPI 10 LP 50. In addition, it was found that the comparative results between the mathematical model and the experiment were errors within acceptable limits and the advantage of the stainless wire-mesh type of porous media was the ability to help heat transfer. Therefore, charcoal furnaces can be developed for use in community enterprises.

Keywords: High-Efficiency Charcoal Furnace, Porous media, Stainless Wire-Mesh

Published Online: 30 May 2024

ISSN: 2730-3829

Niwat Ketchat¹

¹Faculty of Engineering and Technology
Rajamangala University of Technology
Isan, Nakhonratchasima, Thailand
(niwat.ke@rmuti.ac.th)

Bundit Krittacom¹

¹Faculty of Engineering and Technology
Rajamangala University of Technology
Isan, Nakhonratchasima, Thailand
(bundit.kr@rmuti.ac.th)

Suradech Sinjapo¹

¹Faculty of Engineering and Technology
Rajamangala University of Technology
Isan, Nakhonratchasima, Thailand
(auto013_rmuti@hotmail.com)

Kompet Inla²

²Faculty of Agriculture and Technology
Rajamangala University of Technology
Isan, Surin Campus, Thailand
(kompet.in@rmuti.ac.th)

Jattupon Pongkun³

³Faculty of Railway Systems and
Transportation Rajamangala University
of Technology Isan, Nakhonratchasima,
Thailand
(Jattupon_mp2r@hotmail.com)

Pilin Hankhantod^{3,*}

³Faculty of Railway Systems and
Transportation Rajamangala University
of Technology Isan, Nakhonratchasima,
Thailand
(pilin.ha@rmuti.ac.th)

*Corresponding Author

Received date: 24 March 2023

Revised date: 7 May 2024

Accepted date: 10 May 2024

การพัฒนาเตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูงด้วยวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส

นิวัฒน์ เกตุชาติ¹ บัณฑิต กฤตาคม¹ สุรเดช ลินจะโป๊ะ¹ คมเพชร อินลา²
จตุพล ป้องกัน³ ไพลิน หาญขุนทด^{3,*}

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในเตาเผาถ่าน โดยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน ประกอบไปด้วย ขั้นตอนที่ 1 ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของอากาศภายในห้องความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่าย สแตนเลส จำนวนช่องว่างต่อนิ้ว (PPI) ที่ทำการวิเคราะห์ คือ 6, 10 และ 20 และมีการศึกษาระยะพิทช์ (LP) จำนวน 5 ระยะ ได้แก่ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตร ทำให้มีการวิเคราะห์รวมกรณีไม่ติดตั้งวัสดุพูนทั้งหมด 16 กรณี สำหรับขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาสมรรถนะการเผาถ่านของเตาถ่านแบบ 200 ลิตร เมื่อมีการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองพบว่า การกระจายตัวของอากาศภายในห้องความร้อนที่ทำการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส กรณี PPI 20 LP 50 มีลักษณะไหลทั่วผิวท่อและมีความเร็วช้ากว่าท่อเปล่าที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน ส่งผลให้มีการทดลองเหลือเพียง 6 กรณีเท่านั้น จากผลการทดลองได้ข้อที่น่าสนใจ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตามีค่าสูงสุด เท่ากับ 196.7 °C ซึ่งสูงกว่าเตาเผาถ่านที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูน ประมาณ 48 °C เกิดขึ้นที่กรณี PPI 20 LP 10 อย่างไรก็ตามกรณี PPI 10 LP 50 ใช้เวลาในการผลิตถ่านน้อยลงมากที่สุด คือ 42 นาที เมื่อเทียบกับเตาเผาถ่านที่ไม่ติดตั้งวัสดุพูนภายในห้องความร้อน รวมเวลาที่ใช้ทั้งหมด 5.58 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าผลการเปรียบเทียบระหว่างการจำลองกับการทดลองมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และจากข้อดีของวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสมีคุณสมบัติช่วยการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นสามารถพัฒนาเตาเผาถ่านเพื่อใช้ในวิสาหกิจชุมชนได้

คำสำคัญ: เตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูง วัสดุพูน ตาข่ายสแตนเลส

Published Online: 30 พฤษภาคม 2567

ISSN: 2730-3829

นิวัฒน์ เกตุชาติ¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
(niwat.ke@rmuti.ac.th)

บัณฑิต กฤตาคม¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
(bundit.kr@rmuti.ac.th)

สุรเดช ลินจะโป๊ะ¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
(auto013_rmuti@hotmail.com)

คมเพชร อินลา²

²คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
(kompet.in@rmuti.ac.th)

จตุพล ป้องกัน³

³คณะบริหารและการขนส่ง มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
(Jattupon_mp2r@hotmail.com)

ไพลิน หาญขุนทด^{3,*}

³คณะบริหารและการขนส่ง มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
(pilin.ha@rmuti.ac.th)

**Corresponding Author*

Received date: 24 มีนาคม 2566

Revised date: 7 พฤษภาคม 2567

Accepted date: 10 พฤษภาคม 2567

1. บทนำ

การเผาถ่านในสมัยก่อนเป็นวิธีการเผาถ่านแบบดั้งเดิม ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นของแต่ละภูมิภาค แต่ละพื้นที่แตกต่างกันไป ถ่านที่ได้จากการเผาจะถูกนำไปใช้ในครัวเรือนสำหรับเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนในการหุงต้มประกอบอาหาร และทำประโยชน์ต่าง ๆ ในครัวเรือน หรือบางครั้งเรือน มีการทำเป็นอาชีพผลิตถ่านขายสร้างรายได้ให้กับครอบครัว ในการเผาถ่านแบบดั้งเดิมนั้นเป็นการเผาถ่านด้วยวิธีการใช้เตาเผาหลายแบบ เช่น เตาหลุม เตาดินเหนียว และเตาอิฐ เป็นต้น จากการเผาถ่านด้วยวิธีการใช้เตาเผาเหล่านี้ พบปัญหาในเรื่องการเผาถ่านในแต่ละครั้งใช้เวลานาน สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำ เนื่องจากในขณะเผาถ่านมีการสูญเสียความร้อนออกจากเตาเผาเป็นจำนวนมาก และยังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ มีฝุ่นละออง เขม่าควัน และกลิ่นควันที่ออกมาจากเตาเผาถ่าน ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจและสุขภาพของผู้คนที่อาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียง ๆ ที่มีการเผาถ่าน และควันที่เกิดจากเตาเผาถ่านนั้นยังเป็นก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน (Patcharin, and Pantip, 2014)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเตาเผาถ่านแบบเตาเผาถ่านไร้ควัน โดยใช้ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร ขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาจากการเผาถ่านแบบดั้งเดิม ที่มีการปล่อยควันออกมาจากเตาเผาถ่าน และมีการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่าควันดังกล่าวมีองค์ประกอบเป็นก๊าซในกลุ่มที่มีคุณสมบัติติดไฟได้ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen, H_2), ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide, CO) และก๊าซมีเทน (Methane, CH_4) เป็นต้น (Kanit, 2021) ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาเตาเผาถ่านแบบไร้ควันแบบติดตั้งท่อนำก๊าซ (ควันบ้า) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการคาร์บอนในเซชันให้กลับมาเป็นเชื้อเพลิงเสริมช่วยในกระบวนการผลิตถ่าน เพื่อลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตถ่านรวมถึงลดการปล่อยก๊าซพิษสู่สิ่งแวดล้อมและการใช้เชื้อเพลิงเสริมจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในกระบวนการคาร์บอนในเซชัน ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มปริมาณคาร์บอนเสถียรภายในถ่านไม้ และช่วยลดปริมาณสารระเหยในถ่านที่ผลิตได้ คือ ก๊าซไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ถ่านมีคุณภาพสูงขึ้น เตาเผาถ่านแบบไร้ควันต้นแบบในงานวิจัยที่ผ่านมาพัฒนาจากถังเหล็กขนาด 200 ลิตร ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาดัดแปลงเป็นเตาเผาถ่านแบบต่าง ๆ โดยแบ่งส่วนประกอบของเตาเผาถ่านเป็น 3 ส่วนคือ 1) เตาเชื้อเพลิง 2) เตาเผาถ่าน และ 3) ท่อนำก๊าซ (ควันบ้า) โดยท่อนำก๊าซจะมีหน้าที่นำก๊าซที่เกิดขึ้นในกระบวนการคาร์บอนในเซชันเข้าสู่เตาเชื้อเพลิง ซึ่งก๊าซกลุ่มที่ติดไฟได้จะเป็นเชื้อเพลิงเสริมในการผลิตถ่าน ส่วนก๊าซกลุ่มที่เป็นพิษจะถูกกำจัดด้วยการเผา ในบริเวณเตาเชื้อเพลิง นอกจากนี้ไม่ได้นำมาใช้ผลิตถ่าน ยังมีอิทธิพลต่อกระบวนการคาร์บอนในเซชัน เพราะในเนื้อไม้ประกอบไปด้วยความชื้น สารระเหย เซลลูโลส ลิกโนเซลลูโลส ที่ส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการไพโรไลซิส (Thananchai et al., 2016) จากการทดลองนำไม้สองชนิดคือ ไม้ไผ่ และกะลามะพร้าว มาศึกษาประสิทธิภาพของการผลิตถ่านแบบใช้แก๊สไพโรไลซิสหมุนเวียนในเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร ที่มีท่อแผ่รังสีความร้อนอยู่ตรงกลาง พบว่าในการผลิตถ่านใช้เวลา 6 ชั่วโมง และอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผาถ่านคือ $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Kanit, 2021) จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร ที่ใช้ระบบแก๊สไพโรไลซิสหมุนเวียนจะใช้ท่อแผ่รังสีความร้อนติดตั้งที่กลางเตาเผาถ่าน เพื่อเป็นแหล่งความร้อนหลักที่ทำให้ไม้กลายเป็นถ่าน (Darin, 2019) แต่ยังไม่พบว่าการสูญเสียความร้อนที่บริเวณปลายท่อแผ่รังสีความร้อนเกินความจำเป็น จากการศึกษาทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อกลม ซึ่งมีการศึกษาการติดตั้งวัสดุชนิดต่างๆ แต่ที่น่าสนใจคือ การติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่าย (Panuwat, 2018) พบว่าการติดตั้งวัสดุพูนจะช่วยทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับท่อเปล่า (Naga Sarad et al., 2009) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาทดลองการถ่ายเทความร้อนแบบถ่ายเทในแนวตั้ง โดยใช้วัสดุพูนชนิดตาข่าย จากการทดลองพบว่าการถ่ายเทความร้อนด้วยตาข่ายในช่องทางแนวตั้ง ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า เมื่อเทียบกับช่องเปล่า (Renju et al., 2016) และจากการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนการไหลในท่อกรณีมีวัสดุพูนเต็มท่อกับกรณีมีวัสดุพูนเพียงบางส่วนของท่อสำหรับการไหลแบบราบเรียบ พบว่าท่อที่มีวัสดุพูนเพียงบางส่วนช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้เหมาะสมกว่าการติดตั้งแบบเต็มท่อ (Abdulmajeed, 2003) ยังมีการเพิ่มประสิทธิภาพการพาความร้อนแบบบังคับของอากาศในท่อกลมโดยการปรับระยะห่างของตาข่ายสเตนเลส (LP) และใช้จำนวนช่องว่างต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว (PPI)

ของแผ่นตาข่ายสแตนเลส PPI=8 คงที่ พบว่าที่ LP=75 มิลลิเมตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมากที่สุด คณะผู้วิจัยมีแนวทางการติดตั้งวัสดุพูนตามงานวิจัยของ (Pathiwat et al., 2021)

จากการทบทวนงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยได้เห็นถึงข้อดีของการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายใน ท่อกลม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำตาข่ายสแตนเลสมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุพูนติดตั้งภายในท่อนำความร้อนของเตาเผาถ่าน โดยสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อทำนายค่าระยะห่างของแผ่นวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส LP และค่าจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งหน่วยนิ้วของตาข่ายสแตนเลส PPI ที่เหมาะสมในการเลือกรูปแบบเพื่อการติดตั้งของตาข่ายสแตนเลส ซึ่งนำไปสู่การทดลองจริงอันเป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาเตาเผาถ่านให้ดีขึ้นจากเดิมอาจจะกล่าวได้ว่าเป็นเตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูงก็เป็นได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มผลผลิตลดระยะเวลาในการเผาถ่านและยังเป็นการนำความรู้ไปเผยแพร่สู่ชุมชนได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลและอุณหภูมิของอากาศภายในท่อนำความร้อนของเตาเผาถ่านโดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์
2. เพื่อพัฒนาและสร้างเตาเผาถ่านที่ติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสภายในท่อนำความร้อน
3. เพื่อศึกษาทดลองอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในเตาเผาถ่าน โดยทำการติดตั้งภายในท่อนำความร้อน และเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองจริง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การดำเนินงานจะแบ่งออกเป็น 1) ขั้นตอนการจำลองการไหลของอากาศภายในท่อนำความร้อนของเตาเผาถ่านด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ 2) การทดลองเผาถ่านพร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองจริง ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศที่ส่วนปลายท่อนำความร้อน

1. การศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลของอากาศภายในท่อนำความร้อนโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

1.1 ลักษณะท่อนำความร้อนของเตาเผาถ่าน

การออกแบบส่วนประกอบของท่อนำความร้อนของเตาเผาถ่านที่ติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่าย สแตนเลสเพื่อทำการศึกษาลักษณะการไหลและอุณหภูมิของอากาศภายในท่อนำความร้อน ดังแสดงใน Figure 1 ประกอบไปด้วยเตาเชื้อเพลิงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.6 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร ปากเตามีขนาด 20 × 35 เซนติเมตร กำหนดให้ท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความยาว 150 เซนติเมตร ซึ่งติดตั้งอยู่บนเตาเชื้อเพลิง และแผ่นตาข่ายสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร

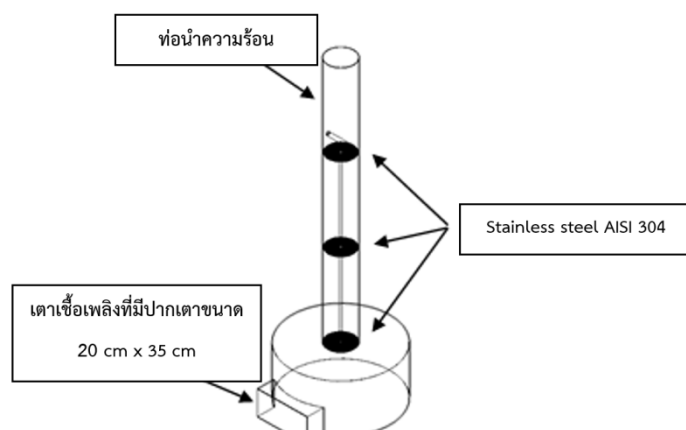


Figure 1 Shows the characteristics of the heat pipe used in the computer mathematical models for the charcoal furnace

1.2 เงื่อนไขการจำลองทางคอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการศึกษาลักษณะการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นเฉพาะส่วนเตาเชื้อเพลิงซึ่งเป็นทางเข้าของอากาศ (Air inlet) ท่อนำความร้อนซึ่งเป็นทางออกของอากาศ (Air outlet) ดังแสดงใน Figure 2 โดยกำหนดเงื่อนไขการจำลองดังต่อไปนี้ 1) แหล่งความร้อนเข้าสู่เตาเชื้อเพลิงด้วยก๊าซร้อนมีอุณหภูมิ (T_i) 700 °C และมีความเร็ว (V_i) 0.72 เมตรต่อวินาที 2) กำหนดให้ความดันที่บริเวณปลายท่อนำความร้อน (P_o) ที่จะทำการศึกษาคือความดันสิ่งแวดล้อม (Environment pressure) 101,325 Pa 3) กำหนดให้แผ่นวัสดุพูนที่ติดตั้งภายในท่อนำความร้อนที่ทำการศึกษาคือ Stainless steel AISI 304 เบอร์ PPI = 6, PPI = 10 และ PPI = 20 โดยแยกเป็นการศึกษาของแต่ละกรณีนั้น ๆ 4) ระยะพิทช์ (LP) ที่ติดตั้งตาข่ายสแตนเลสมี 5 ระยะ ได้แก่ 10, 20, 30, 40, และ 50 เซนติเมตร โดยใช้ชั้นวัสดุพูนตรงกลางเป็นตัวกำหนด LP (Chayanon et al., 2019) 5) กำหนดให้ผนังเตาเชื้อเพลิงด้านนอกและผนังท่อนำความร้อนด้านนอกเป็นผนังแบบ adiabatic wall

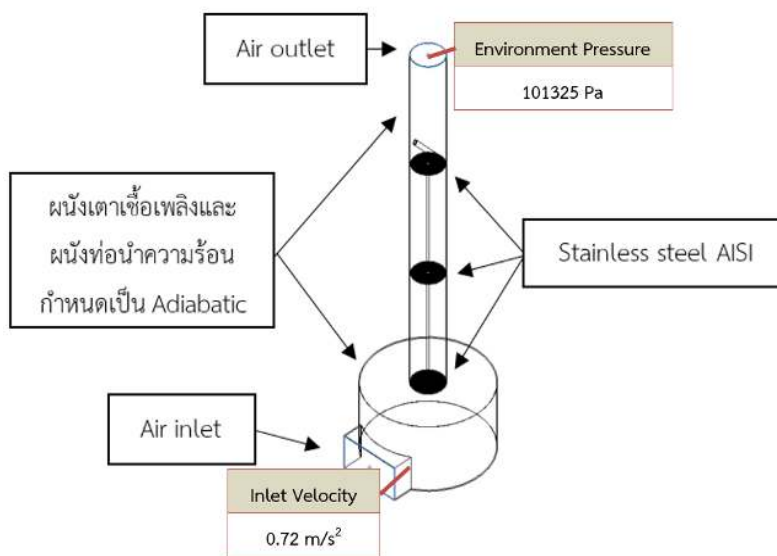


Figure 2 Shows the conditions of the charcoal furnace were studied by computer modeling

2. การศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในเตาเผาถ่าน โดยทำการติดตั้งภายในท่อนำความร้อน

2.1 อุปกรณ์และรายละเอียดการทดลองของเตาเผาถ่าน

ส่วนประกอบของเตาเผาถ่านสร้างด้วยถังเหล็กขนาด 200 ลิตร ทำการติดตั้งท่อเหล็ก (ท่อนำความร้อน) ภายในถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความยาว 150 เซนติเมตร และมีท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.1 เซนติเมตร ทำหน้าที่เป็นท่อนำแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ไม้ภายในถังนำออกมาสู่เตาเชื้อเพลิงด้านล่าง เพื่อให้เป็นไปตามกระบวนการไพโรไลซิส ดัง Figure 3 การทดลองเผาถ่านในเตาเผาถ่านขนาดปริมาตร 200 ลิตร นั้นต้องมีอุปกรณ์อื่นๆ มาใช้ควบคู่กับการทดลองเพื่อให้เสร็จไปตามกระบวนการที่กำหนด โดยอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิคือ เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งมีตำแหน่งติดตั้งดังนี้ เทอร์โมคัปเปิล T_{Tube} ติดตั้งบริเวณท่อนำความร้อน เทอร์โมคัปเปิล T_{Furn1} ติดตั้งบริเวณส่วนล่างของเตา และเทอร์โมคัปเปิล T_{Furn2} ตำแหน่งการติดตั้งบริเวณส่วนบนของเตา ดัง Figure 3 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมดถูกเชื่อมต่อเข้ากับดาต้าล็อกเกอร์ ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น MV 1000 เพื่อแสดงผลเก็บข้อมูลผลการทดลอง

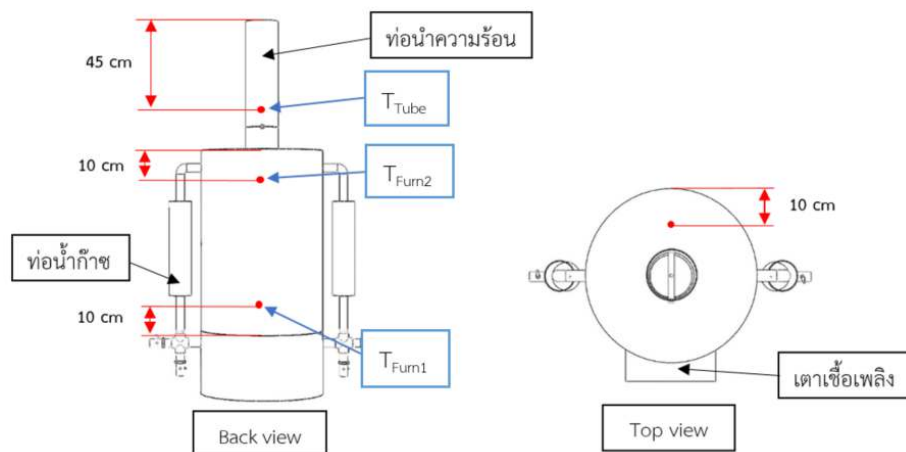


Figure 3 Components of the charcoal furnace and the installation point of the thermocouple used to measure the temperature

2.2 วิธีการทดลอง

กำหนดเงื่อนไขและขอบเขตของการทดลองเริ่มจาก เลือกใช้เชื้อเพลิง คือ ใช้ไม้ยูคาลิปตัสในการเผาถ่าน มวลของไม้ที่ใช้เผาถ่านครั้งละ 50 กิโลกรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.1 ถึง 7.6 เซนติเมตร ความยาว 1780 เซนติเมตร ความชื้นไม่เกิน 20 % (Pralong, 1977) และเลือกตาข่ายสแตนเลสพิจารณาจากข้อ 1 จากค่า PPI และ LP ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นตัวแปรต้นของการทดลอง ในขั้นตอนการศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ต้องทำการศึกษากฎการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสภายในท่อทำความร้อนอยู่หลายกรณี ดังนั้นจึงต้องทำการกำหนดชื่อของวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสดังแสดงใน Figure 4 มีความหมายดังนี้ XX คือ ค่าจำนวนช่องว่างของแผ่นตาข่ายสแตนเลส PPI คือ Pores Per Inch หรือ จำนวนช่องว่างต่อหนึ่งหน่วยนิ้วของแผ่นตาข่ายสแตนเลส YY คือ ค่าระยะห่างที่ใช้ติดตั้งแผ่นตาข่ายสแตนเลส (เซนติเมตร) LP คือ Length Pitch หรือ ระยะห่างของตาข่ายสแตนเลสแต่ละแผ่น จากนั้นทำการเก็บข้อมูล อุณหภูมิภายในเตาเผาถ่าน (T_{Furn1} และ T_{Furn2}) อุณหภูมิของอากาศภายในท่อทำความร้อน (T_{Tube}) โดยการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิดัง Figure 3 และเวลาที่ใช้ในการเผาถ่าน ส่วนของการทดลองขั้นตอนที่ 1 นำไม้ยูคาลิปตัสมวล 50 กิโลกรัม ใส่ในถังเตาเผาถ่าน แล้วปิดฝาเตาเผาถ่านให้สนิท ขั้นตอนที่ 2 นำชุดวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสติดตั้งเข้าไปภายในท่อทำความร้อนของเตาเผาถ่าน รวมทั้งกรณีท่อเปล่า ขั้นตอนที่ 3 จุดไฟที่เตาเชื้อเพลิง ขั้นตอนที่ 4 บันทึกข้อมูลอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตามจุดที่กำหนดโดยเก็บข้อมูลอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลดาต้าล็อกเกอร์ ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น MV 1000 ขั้นตอนที่ 5 เมื่อไม้พืนเกิดกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ทำให้ควันบ้าย้อนกลับมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงเสริม ขั้นตอนที่ 6 เมื่อกระบวนการคาร์บอนไนเซชันเสร็จสิ้น จากนั้นปล่อยอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านให้ลดลงถึงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (ประมาณ 50 °C) และทำการทดลองซ้ำตามกรณีการศึกษาของชุดวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส

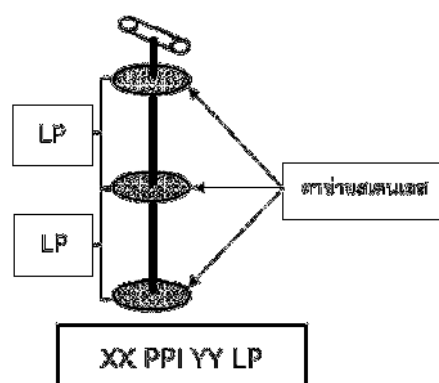


Figure 4 Defined the name of the stainless wire-mesh type of porous media

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. ผลการศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลของอากาศและอุณหภูมิของอากาศภายในท่อนำความร้อนโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

จาก Figure 5 แสดงค่าความเร็วเฉลี่ยของอากาศจากการศึกษาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ พบว่าการติดตั้งตาข่ายสแตนเลส PPI = 6 ความเร็วเฉลี่ยของอากาศมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ LP เพิ่มขึ้น เนื่องจาก LP ส่งผลให้เกิดการไหลในท่อปั่นป่วนมากยิ่งขึ้นจึงมีความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการติดตั้ง ตาข่าย สแตนเลส PPI = 10 พบว่าความเร็วเฉลี่ยของอากาศลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเนื้อวัสดุของตาข่ายสแตนเลสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การขัดขวางการไหลของอากาศภายในท่อเพิ่มขึ้นและความเร็วเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงเมื่อ LP เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการติดตั้งตาข่ายสแตนเลส PPI = 20 พบว่าความเร็วเฉลี่ยของอากาศลดลงเล็กน้อยและมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ LP เพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่วนท่อที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุนมีความเร็วเฉลี่ยของอากาศสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากไม่มีสิ่งขัดขวางการไหลภายในท่อ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Panuwat, 2018) เป็นคุณสมบัติของวัสดุพรุน

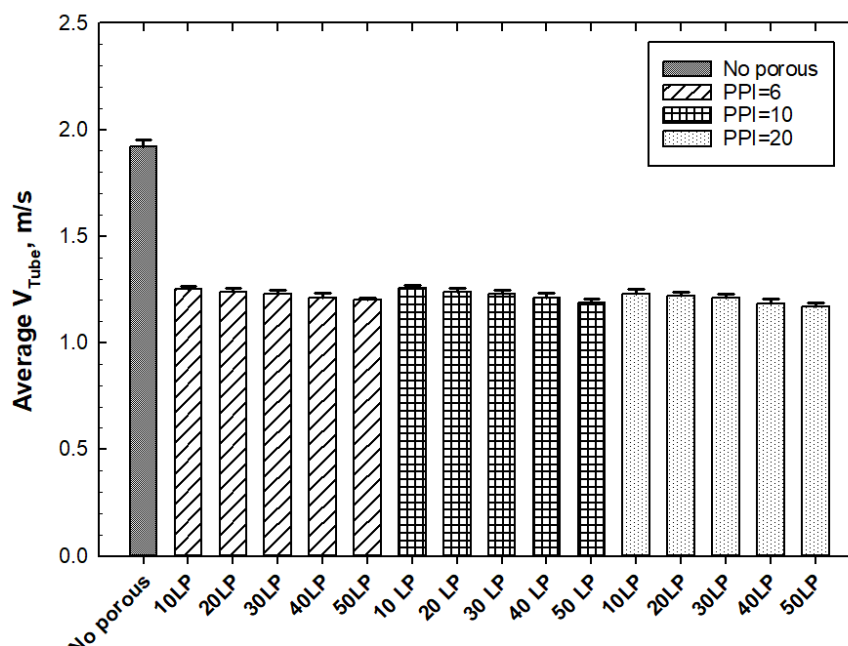


Figure 5 Effect of average velocity of air inside the heat pipe

จาก Figure 6 แสดงค่าอุณหภูมิของอากาศจากการศึกษาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ พบว่า การติดตั้งตาข่ายสแตนเลส PPI = 6 อุณหภูมิของอากาศลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของตาข่ายสแตนเลสช่วยกักเก็บพลังงานจากอากาศภายในท่อไว้ และอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ LP เพิ่มขึ้น เนื่องจาก LP ส่งผลให้เกิดการไหลในท่อปั่นป่วนมากยิ่งขึ้น จึงมีความดันตกคร่อมเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนของอากาศไปยังผิวท่อได้สูงขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับการติดตั้งตาข่ายสแตนเลส PPI = 10 พบว่าอุณหภูมิของอากาศลดลงเล็กน้อย เนื่องจากเนื้อวัสดุของตาข่ายสแตนเลสที่เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถกักเก็บพลังงานจากอากาศได้มากขึ้นและอุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงเมื่อ LP เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการติดตั้งตาข่ายสแตนเลส PPI = 20 พบว่าอุณหภูมิของอากาศลดลงเล็กน้อยเช่นกันและมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อ LP เพิ่มขึ้น ส่วนท่อที่ไม่ติดตั้งวัสดุพรุนมีอุณหภูมิของอากาศสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากไม่มีสิ่งกักเก็บพลังงานภายในท่อเอาไว้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Panuwat, 2018) เป็นคุณสมบัติของวัสดุพรุน

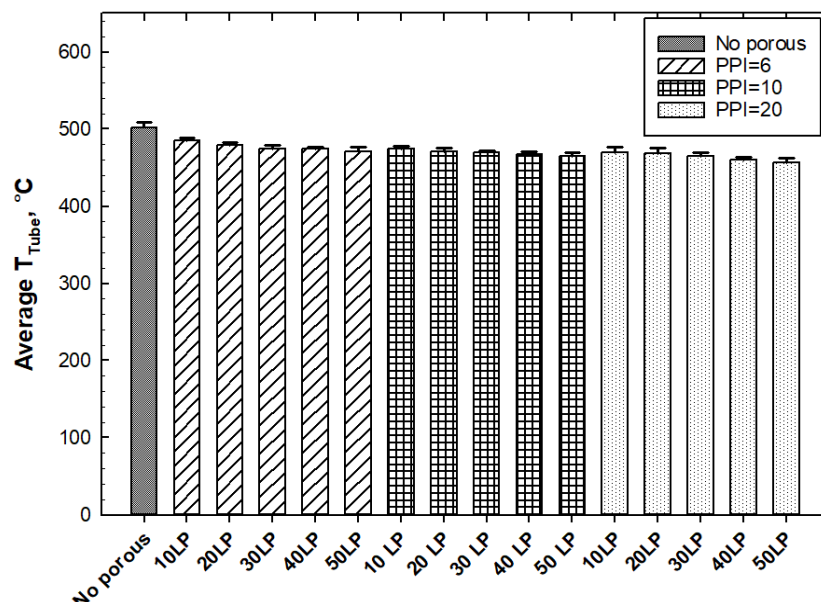


Figure 6 Effect of temperature of air inside the heat pipe

จากการศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพรุนภายในท่อนำความร้อนจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ พบว่า อิทธิพลของระยะพิทช์กรณี 20 PPI 50 LP มีความเร็วเฉลี่ยและอุณหภูมิของอากาศภายในท่อที่น้อยที่สุดคือ 1.2 เมตร ต่อวินาที และ 456.29 °C ตามลำดับ ดังนั้นในขั้นตอนที่ 2 จึงทำการศึกษาอิทธิพลของ LP กรณี LP = 50 ใช้เป็นตัวกำหนดการศึกษาในการทดลองอิทธิพลของวัสดุพรุนจำนวนช่องว่างตาข่ายสเตนเลส 6, 10 และ 20 PPI ตามลำดับ และที่จำนวนช่องว่างตาข่ายสเตนเลส PPI = 20 ซึ่งนำมาใช้เป็นตัวกำหนดการศึกษาอิทธิพลของ LP การติดตั้งวัสดุพรุนกรณี LP = 10, LP = 30 และ LP = 50 ด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจาก LP = 20 และ LP = 40 ให้ผลการทดลองค่อนข้างใกล้เคียงกันจึงไม่นำมาทำการศึกษาต่อในขั้นตอนที่ 2 ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการศึกษาดทดลองเผ่าถ่านของอิทธิพล การติดตั้งวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสเตนเลส 6 กรณี โดยแบ่งเป็นการศึกษาอิทธิพลของ LP ทั้ง 3 กรณี โดยกำหนดชื่อของ วัสดุพรุนใหม่ คือ 20 PPI 10 LP, 20 PPI 30 LP และ 20 PPI 50 LP ซึ่งแบ่งเป็นผลของลักษณะ การไหลของ อากาศดังแสดงใน Figure 7(1), 7(2), 7(3), 8(1), 8(2), และ 8(3) ตามลำดับ และการศึกษาอิทธิพลของ PPI ทั้ง 3 กรณี คือ 6 PPI 50 LP, 10 PPI 50 LP และ 20 PPI 50 LP ซึ่งแบ่งเป็นผลของอุณหภูมิของอากาศดังแสดงใน Figure 7(4), 7(5), 7(6), 8(4), 8(5), และ 8(6) ตามลำดับ นอกจากนี้ทำการทดลองเผ่าถ่านด้วยเตาเผ่าถ่านกรณีที่ไม่ได้ติดตั้ง วัสดุพรุนภายในท่อนำความร้อนหรือ (No Porous) เพื่อศึกษาลักษณะอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาเผ่าถ่านด้วยเช่นกัน ดังแสดงใน Figure 9

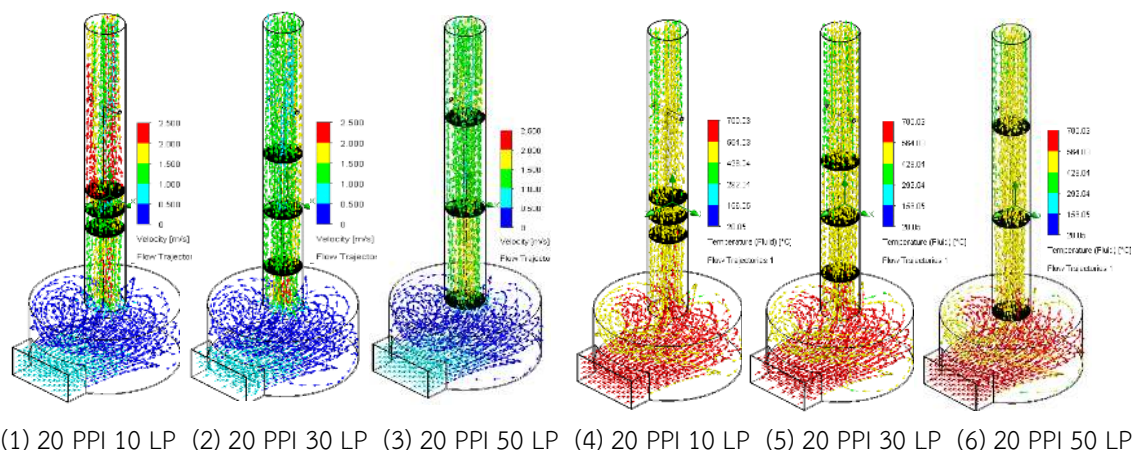


Figure 7 Airflow characteristics of air (left picture) Air temperature characteristics (right picture) inside the heat pipe of the influence of pitch (LP) distances

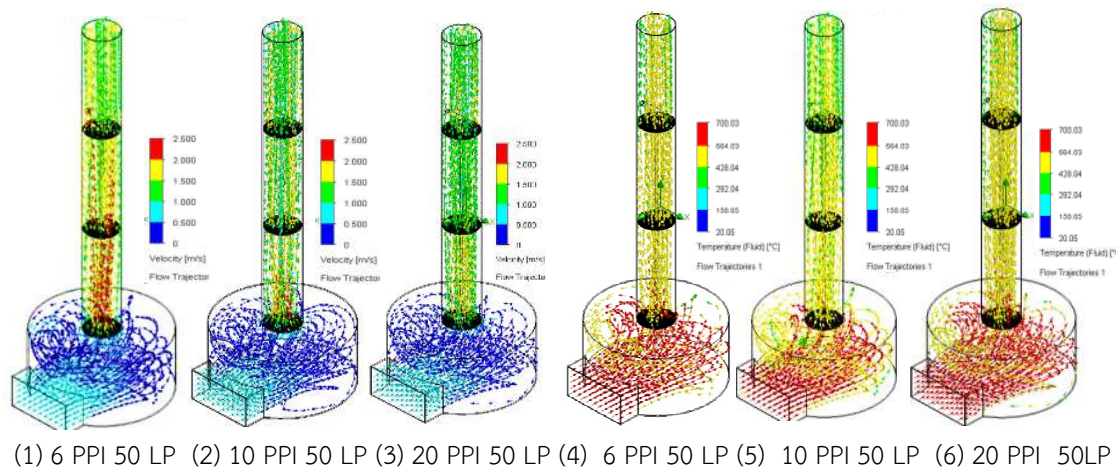


Figure 8 Airflow characteristics of air (left picture) Air temperature characteristics (right picture) inside the heat pipe the influence of pores per inch (PPI)

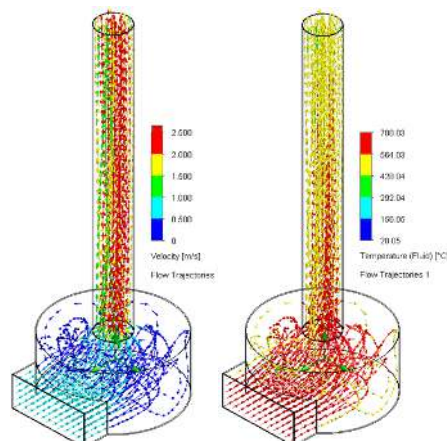


Figure 9 Airflow characteristics of air (left picture) Air temperature characteristics (right picture) inside the heat pipe without the stainless wire-mesh type of porous media installed

2. ผลการศึกษาทดลองอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในเตาเผาถ่าน โดยทำการติดตั้งในท่อนำความร้อน

2.1 ลักษณะของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาถ่าน

จาก Figure 10 อุณหภูมิจากการทดลองเผาถ่านกรณีท่อเปล่าหรือ (No Porous) พบว่า T_{Furn1} มีอุณหภูมิสูงสุด 146.62°C ที่เวลา 90 นาที จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงอย่างต่อเนื่อง และ T_{Furn2} มีอุณหภูมิสูงสุด 582.72°C ที่เวลา 90 นาที หลังจากนั้นอุณหภูมิภายในเตาลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 50°C ดัง Figure 10(ก) อุณหภูมิ T_{Furn} กรณี No Porous เนื่องจากอุณหภูมิ T_{Tube} มีอุณหภูมิสูงสุด $1,053^{\circ}\text{C}$ ที่เวลา 90 นาที ซึ่งสังเกตได้จาก Figure 10(ข) อุณหภูมิ T_{Tube} กรณี No Porous และเมื่อนำอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในท่อนำความร้อนทั้งกระบวนการมาเฉลี่ยจะมีค่า 433.6°C ใช้เวลาในกระบวนการทั้งหมด 400 นาที หรือ 6.40 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิ T_{Tube} มากกว่า T_{Furn2} เนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านไปสะสมอยู่บริเวณทางออกของท่อนำความร้อนทำให้สูญเสียความร้อนออกไปทำให้ระยะเวลาในการเผาถ่านเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

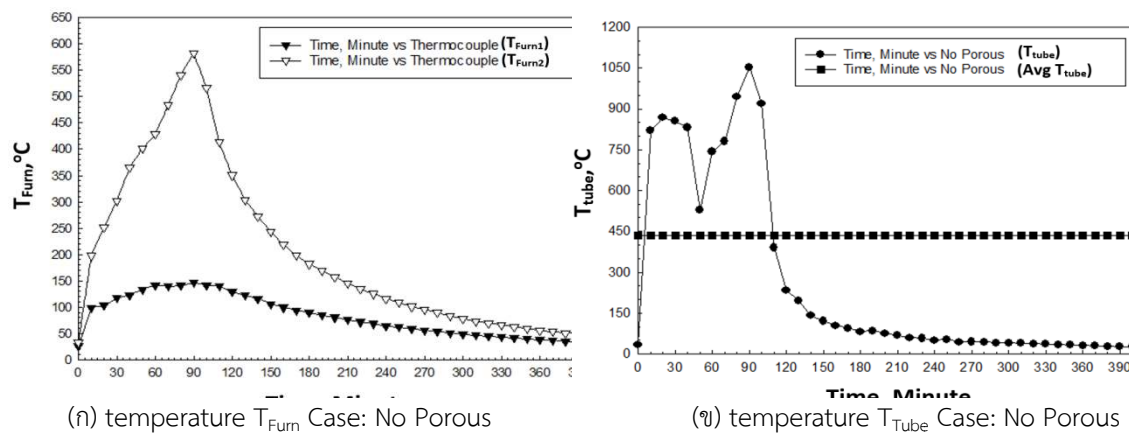
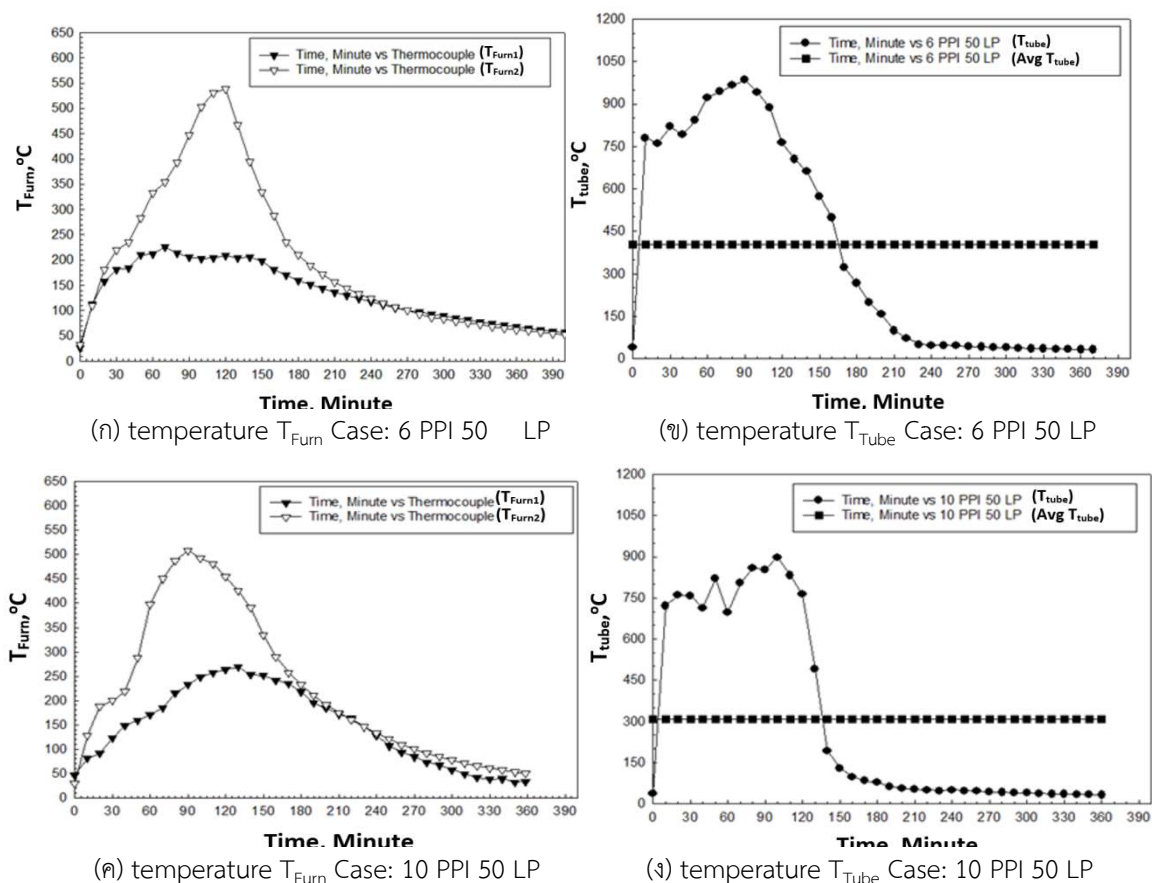


Figure 10 The temperature of the charcoal furnace without porous media installed

จาก Figure 11 อุณหภูมิที่ของเตาเผาถ่านที่ติดตั้งวัสดุพูนกรณี PPI เปลี่ยนแปลง คือ 6 PPI 50 LP, 10 PPI 50 LP และ 20 PPI 50 LP พบว่า T_{Furn1} มีอุณหภูมิสูงสุด 226.38, 268.12 และ 368.49°C ที่เวลา 70, 120 และ 140 นาที ตามลำดับ จากนั้นอุณหภูมิลดลงอย่างต่อเนื่อง และ T_{Furn2} มีอุณหภูมิสูงสุด 538.16, 508.52 และ 316.44 °C ที่เวลา 120, 90 และ 140 นาที หลังจากนั้นอุณหภูมิภายในเตาตกลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 50°C ดัง Figure 11(ก), 11(ค) และ 11(จ) นอกจากนี้อุณหภูมิ T_{Tube} มีอุณหภูมิสูงสุด 984.5, 940 และ 219.64 °C ที่เวลา 90, 100 และ 70 นาที ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้จาก Figure (ข)11, 11(ง) และ 11(ฉ) เมื่อนำอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในท่อนำความร้อนทั้งกระบวนการมาเฉลี่ยมีค่า 402.07, 302 และ 92.4 °C เมื่อเทียบกับกรณีท่อเปล่า พบว่า T_{Furn1} มีอุณหภูมิมากกว่า T_{Furn2} และมีอุณหภูมिन้อยกว่าในทุกกรณี เนื่องจากอุณหภูมิได้ถูกเฉลี่ยอยู่ภายในเตา และ T_{Tube} มีอุณหภูมิลดลงน้อยกว่าในทุกกรณี เพราะวัสดุพูนกักเก็บและดูดซับพลังงานความร้อนภายในท่อไว้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุพูน (Pathiwat et al., 2021) ให้ความร้อนที่สะสมภายในชั้นวัสดุพูนถ่ายเทไปยังผิวท่อนำความร้อนส่งผลให้การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตา โดยการทดลองเผาถ่านใช้เวลาในกระบวนการทั้งหมด 371, 358 และ 413 นาที หรือ 6.11, 5.58 และ 6.53 ชั่วโมง ตามลำดับ เห็นได้ว่า 10 PPI 50 LP ใช้เวลาน้อยที่สุด ซึ่งเป็นค่า PPI ระหว่าง 6 PPI และ 20 PPI ดังนั้น 10 PPI 50 LP จึงเป็นการติดตั้งวัสดุพูนที่เหมาะสมในกรณี PPI เปลี่ยนแปลง



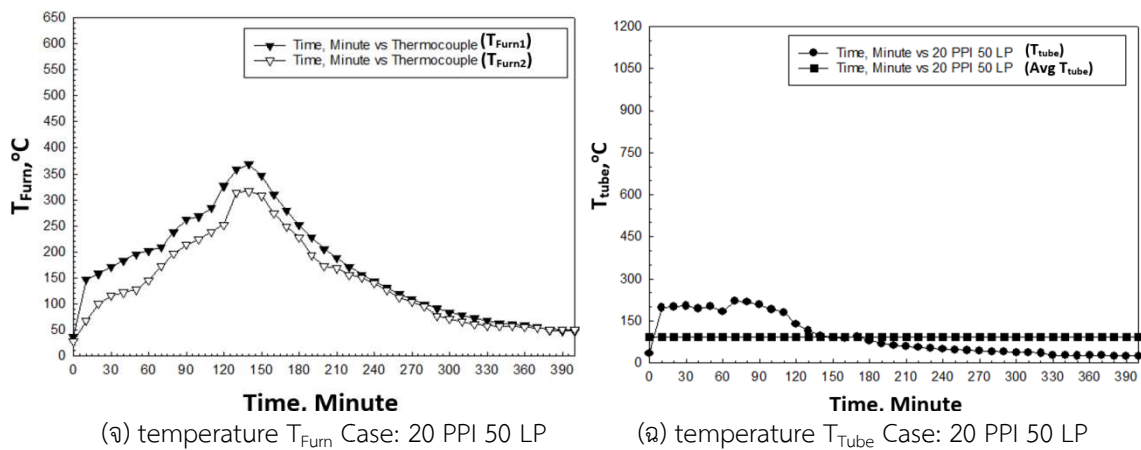
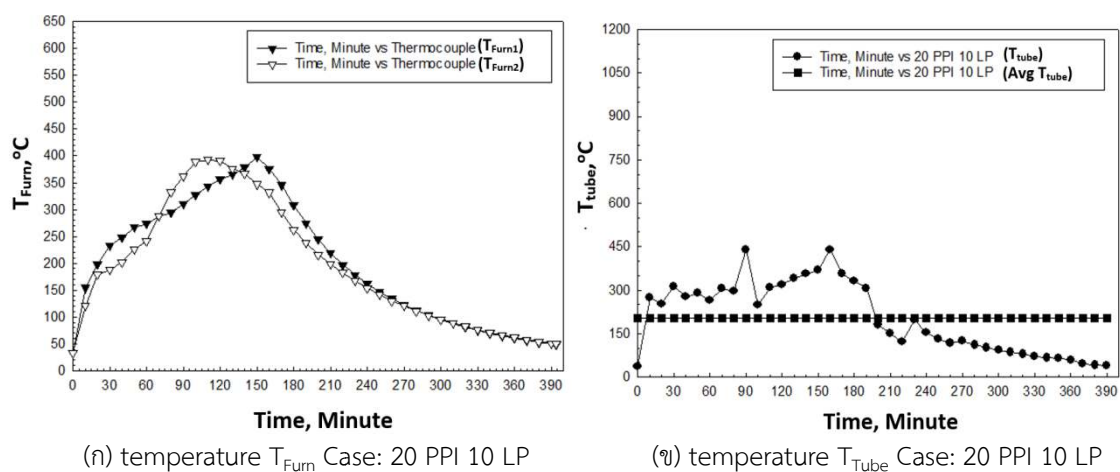


Figure 11 The temperature of the charcoal furnace installed with porous media in case of PPI changes

จาก Figure 12 อุณหภูมิที่ของเตาเผาถ่านที่ติดตั้งวัสดุพูนกรณี LP เปลี่ยนแปลง 20 PPI 10 LP, 20 PPI 30 LP และ 20 PPI 50 LP พบว่า T_{Furn1} มีอุณหภูมิสูงสุด 397.89, 369.84 และ 368.49 °C ที่เวลา 150, 150 และ 140 นาที ตามลำดับ จากนั้นอุณหภูมิลดลงอย่างต่อเนื่อง และ T_{Furn2} มีอุณหภูมิสูงสุด 397.89, 354.89 และ 316.44 °C ที่เวลา 110, 130 และ 140 นาที หลังจากนั้นอุณหภูมิภายในเตาลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 50 °C ดัง Figure 12(ก), 12(ค) และ 11(จ) นอกจากนี้อุณหภูมิ T_{Tube} มีอุณหภูมิสูงสุด 439.56, 475.27 และ 219.64 °C ที่เวลา 160, 70 และ 70 นาที ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้จาก Figure 12(ข), 12(ง) และ 11(ฉ) เมื่อนำอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในท่อทำความร้อนทั้งกระบวนการมาเฉลี่ยจะมีค่า 203.9, 186.39 และ 92.4 °C เมื่อเทียบกับกรณีท่อเปล่า พบว่า T_{Furn1} มีอุณหภูมิมากกว่า T_{Furn2} และมีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกกรณี เนื่องจากอุณหภูมิได้ถูกเฉลี่ยอยู่ภายในเตา และ T_{Tube} มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกกรณี เพราะวัสดุพูนกักเก็บและดูดซับพลังงานความร้อนภายในท่อไว้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุพูน (Pathiwat et al., 2021) ส่งผลให้การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตา โดยการทดลองเผาถ่านใช้เวลาในกระบวนการทั้งหมด 394, 409 และ 413 นาที หรือ 6.34, 6.49 และ 6.53 ชั่วโมง ตามลำดับ เห็นได้ว่าเมื่อค่า LP เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เวลาในกระบวนการเพิ่มขึ้นเนื่องจากระยะห่างของวัสดุพูนที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การกักเก็บความร้อนในเตาเผาถ่านลดลง จึงทำให้เวลาในกระบวนการเผาถ่านเพิ่มมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Panuwat et al., 2021) ในการปรับระยะห่างของวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส



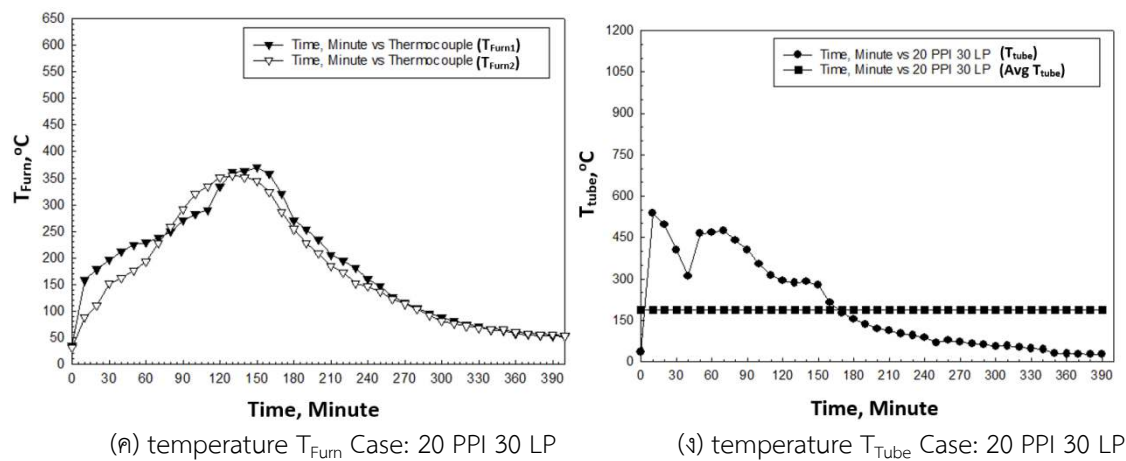


Figure 12 the temperature of the charcoal furnace installed with porous media in case of LP changes

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการเผาถ่าน

จาก Figure 13 เวลาที่ใช้ในการทดลองของแต่ละกรณี พบว่าในแต่ละกรณีใช้เวลาในกระบวนการเผาถ่านแตกต่างกัน โดยในแต่ละกรณีศึกษา ทำการหยุดการจับเวลาทันทีเมื่ออุณหภูมิภายในเตาเผาถ่านลดลงถึง 50 °C เป็นการหยุดกระบวนการเผาถ่าน (Kanit, 2021) กรณี 10 PPI 50 LP ใช้เวลาในกระบวนการทั้งหมด 5.58 ชั่วโมง น้อยที่สุดเป็นกรณีที่เหมาะสมของการติดตั้งวัสดุพูน เนื่องจากวัสดุพูนช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนไปยังภายในเตาเผาถ่าน ซึ่งสามารถยืนยันได้จากผลการทดลองดัง Figure 11 และ 12

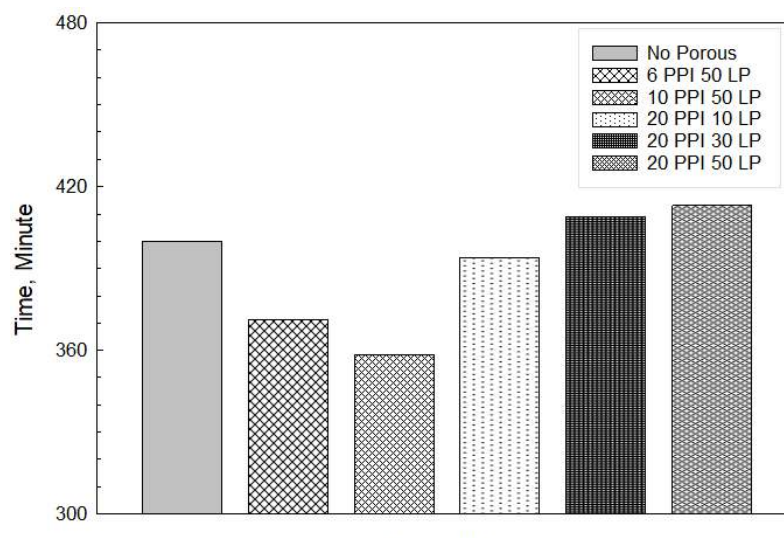


Figure 13 The time spent in each case was tested

4. ความคลาดเคลื่อนของผลแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

จาก Figure 14 การหาความคลาดเคลื่อนของผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์เทียบกับผลการทดลองจริง โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิ T_{Tube} ซึ่งเป็นจุดวัดอุณหภูมิที่ของไหลผ่านชั้นวัสดุพูนมาแล้ว นำเสนอ 2 กรณีศึกษา คือกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งวัสดุพูนภายในท่อนำความร้อน (No Porous) และกรณี 6 PPI 50 LP เนื่องจากกรณีศึกษานี้ให้ผลการจำลองค่อนข้างใกล้เคียงกับกรณีที่เหลือและผลการเปรียบเทียบพบว่าผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์กรณีท่อเปล่าที่ไม่ได้ติดตั้งวัสดุพูนภายในท่อนำความร้อน (No Porous) และกรณี 6 PPI 50 LP มีความคลาดเคลื่อนกับผลการทดลองเผาถ่านจริงอยู่ที่ 15.6% และ 17.3% ตามลำดับ ดัง Figure 14(ก) และ 14(ข)

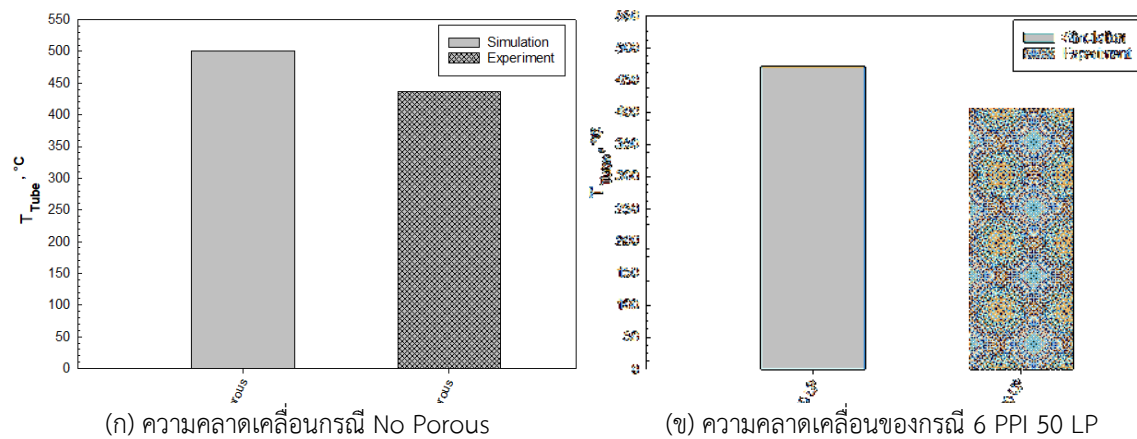


Figure 14 The discrepancy in computer simulation results

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลกระทบต่อการใช้และอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทำความร้อนของเตาเผาถ่านโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ และผลการศึกษาดลองอิทธิพลของการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในเตาเผาถ่าน โดยทำการติดตั้งในห้องทำความร้อน สรุปได้ดังนี้

1. จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ความเร็วเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง เมื่อ PPI และ LP เพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทำความร้อนของเตาเผาถ่านมีแนวโน้มลดลง เมื่อ PPI และ LP เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีวัสดุพูน.
2. จากการศึกษาทดลองเตาเผาถ่าน พบว่าอิทธิพล PPI ของตาข่ายสแตนเลสมีผลต่อกระบวนการผลิตถ่าน โดยเฉพาะการใช้ตาข่ายสแตนเลส 10 PPI 50 LP ส่งผลให้มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาอยู่ที่ 302 °C ส่งผลให้ระยะเวลาในกระบวนการผลิตถ่านน้อยที่สุดคือ 5.58 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด
3. จากการศึกษาทดลองเตาเผาถ่าน พบว่าอิทธิพลระยะพิทช์ LP ที่กรณี 20 PPI 10 LP มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาดีที่สุดที่ 196.7 °C และใช้เวลาในกระบวนการผลิตถ่านน้อยที่สุดคือ 6.34 ชั่วโมง และที่กรณี 20 PPI 50 LP มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทำความร้อนต่ำที่สุดคือ 92.4 °C นอกจากนี้ยังพบว่าผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ยังอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตามสัญญาเลขที่ RMUT/RF/16 และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาเทคโนโลยีของวัสดุพูน (DiTo-Lab) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ในการวิจัย

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้วิจัยขอยืนยันว่างานวิจัยนี้ไม่มีความขัดแย้งทางผลประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับบทความนี้กับบทความอื่นๆ และเป็นงานวิจัยที่ผู้มีส่วนร่วมในงานนี้ยอมรับในการเผยแพร่ในวารสารนี้

REFERENCES

- Abdulmajeed, A. M. (2003). Heat transfer enhancements in heat exchangers fitted with porous media. Part I: constant wall temperature. *International Journal of Thermal Sciences*, 42(4), 385–395. [https://doi.org/10.1016/S1290-0729\(02\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S1290-0729(02)00039-X).
- Chayanon, T., Natthaphong, W., Bongkotchakorn, P., Pratapuban, W., Bundit, K., Panuwat, C. and Rapeepong, P. (2019). Influence of spacing of stainless steel mesh-type propellants on the promotion of forced convection in round tubes in case of constant surface heat flux. *The 15th Energy Network of Thailand Academic Conference*, Nakhon Ratchasima Province. [In Thai].
- Darin, S. (2018). *Investigation of thermal efficiency of a porous media burner with a KB-8 cooking burner*. (Master's thesis). Ubon Ratchathani University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, [In Thai].
- Kanit, M. (2021). Novel performance study of recirculated pyro-gas carbonizer for charcoal production. *Energy for Sustainable Development*, 64, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.07.002>.
- Naga Sarada, S., Kalyani, K., and Raju, A. V. S. (2009). Experimental investigations in a circular tube to enhance turbulent heat transfer using mesh inserts. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(5), 53–60.
- Panuwat, C., Bundit, K., Pathiwat, W., and Rapeepong, P. (2021). Experimental Investigation of Forced Convective Heat Transfer in Circular Pipe with Wire Mesh Porous Media. *Journal of Physics: Conference Series*, 1773(2021), 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1733/1/012007>.
- Panuwat, H. (2018). Enhancement of heat transfer in flowing pipes turbulence through triangular wing plates. *King Mongkut's Journal of North Bangkok*, 25(3), 557–566. [In Thai].
- Pathiwat, W., Panuwat, C., Rapeepong, P., and Bundit, K. (2021). Forced convection enhancement of air flowing inside circular pipe with varying the pitch (P) of wire-mesh porous media. *Energy Reports*, 7(2021), 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.09.046>.
- Patcharin, R., and Pantip, T. (2014). Charcoal burning, the traditional way of local community to alternative energy technology. *Academic journal of Humanities and Social Sciences Buriram Rajabhat University*, 6(4), 54–71. [In Thai].
- Pralong, D. (1997). Study of productive process and quality of charcoal from charcoal making process of local compared with royal forest Department or RFD process. *The 35th Kasetsart University Academic Conference*, 709–717. [In Thai].
- Phisit, M. (2015). Development of vertical 200-liter charcoal kiln by gasification technique. *renewable energy college*, Naresuan University. [In Thai].
- Renju, K., Balaji, C., and Venkateshan, S. P. (2016). Experimental investigation of convective heat transfers in a vertical channel with brass wire mesh blocks. *International Journal of Thermal Sciences*, 99, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.08.002>.
- Thananchai, S., Prin, K., and Akkarin, I. (2016). The Study of Fumeless Charcoal Retort with Rectangular Fin Installation for Thermal Efficiency and Energy Saving Optimization. *12th Conference on Energy Network of Thailand*, 632–637. [In Thai]. Sanuksan, J. and Surinta, O.

(2019). Deep convolutional neural networks for plant recognition in the natural environment.
Journal of Science and Technology MSU, 38(2). 113– 124. [In Thai].