

การทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ซันชนิดเม็ดกลมอัดแน่น โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

The Prediction of Combustion Temperature of the Packed-Bed Sphere Porous Burner Using Diesel Oil as a Fuel

ปฐวิติ วรามิตร^{1*}, บัณฑิต กฤตาคม¹, นันทวัฒน์ วีระยุทธ² และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 744 ถ.สุรนารายณ์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

*ติดต่อ: E-mail: pathiwat.wa@rmuti.ac.th โทร. 044-233073 ต่อ 3410

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ซันชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และวิเคราะห์อุณหภูมิการเผาไหม้จากผลการทดลอง ภายใต้เงื่อนไขการเผาไหม้โดยมี Q_A คือ อัตราการจ่ายอากาศหมุนวน Q_F คือ อัตราการจ่ายน้ำมัน H_{pb} คือ ระยะความสูงของวัสดุพอร์ซัน T คือ ตำแหน่งของอุณหภูมิ ผลของการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้แล้วจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ซันเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98892 และมีค่า RMSE เท่ากับ 0.069785 และมีความยืดหยุ่นสำหรับทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ซันเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยครอบคลุมทุกเงื่อนไขของการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ซันเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่น

คำหลัก: อุณหภูมิการเผาไหม้; หัวพ่นไฟวัสดุพอร์ซัน; แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

This paper aimed to study the application of artificial neural network model for predicting a combustible temperature of the packed-bed sphere porous burner using diesel oil as a fuel and analyze combustion temperature under the combustible condition of Q_A as the flow rate of swirling air, Q_F as the rate of fuel input, H_{pb} as the height of porous material, and T as the position of temperature. Then, the temperature prediction result was compared with the experimental result. From the study, it was found that the artificial neural network model can describe the porous burner temperature effectively with the R^2 at 0.98892 and RMSE at 0.069785. Additionally, it had flexibility for predicting combustion behavior of the packed-bed sphere liquid fuel porous burner covering all conditions of combustion of the packed-bed sphere porous burner.

Keywords: Burning temperature; Porous burner; Artificial neural network model

1. บทนำ

โดยทั่วไปหัวพ่นไฟ (Burner) ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว (Liquid fuels) จะมีวิธีการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยใช้หัวฉีด

(Atomizer) กระทำกับน้ำมันเชื้อเพลิงให้แตกตัวเป็นฝอยละออง (Liquid droplets) ที่ละเอียดมาก ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ต่อปริมาตรผิวน้ำมันเชื้อเพลิงให้สูงขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่ม

ETM-03

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากแก๊สร้อนโดยรอบสู่ผิวละอองน้ำมันทำให้อัตราการระเหยกลายเป็นไอสูงขึ้นและผสมคลุกเคล้าระหว่างไอน้ำมันกับอากาศให้สม่ำเสมอยิ่งขึ้น จนทำให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ความจำเป็นต้องใช้หัวฉีดแรงดันสูงเพื่อทำให้เกิด การแตกตัวเป็นฝอยละอองน้ำมันเชื้อเพลิง ห้องเผาไหม้ การเผาไหม้ (Combustion intensity) มีค่าต่ำ และยังต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของละอองน้ำมัน (Ballistic characteristics) อีกด้วย นอกจากนี้ห้องเผาไหม้ยังต้องรักษาการกระจายของอุณหภูมิที่สูงตลอดห้องเผาไหม้เพื่อให้แน่ใจว่า ละอองน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถระเหยกลายเป็นไอและผสมกับอากาศแล้วเกิดการเผาไหม้ได้อย่างเต็มที่ จากข้อเสียดังกล่าวจึงเป็นแนวคิดว่าเอาวัสดุพอร์มาประยุกต์ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวดังกล่าวซึ่งวัสดุพอร์มีลักษณะเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อค่าความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุทั่วไป ทำให้วัสดุพอร์สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อน ระหว่างการพา และการแผ่รังสีความร้อนได้เป็นอย่างดี

จากลักษณะเด่นของวัสดุพอร์ดังกล่าว Kaplan และ Hall [1] รวมทั้ง Tseng และ Howell [2] ได้นำเอาวัสดุพอร์มาประยุกต์ใช้กับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวด้วยการสเปรย์เชื้อเพลิงเหลว พร้อมทั้งป้อนอากาศเข้าไปในชั้นวัสดุพอร์ พบว่าละอองน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถระเหยและผสมกับอากาศแล้ว เกิดการเผาไหม้ในชั้นวัสดุพอร์ตัวเอง (Self sustaining combustion) จากการศึกษาเชิงทดลองที่ได้นี้ ทำให้เชื่อได้ว่า การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว โดยใช้วัสดุพอร์นี้จะดีกว่าการสเปรย์แบบปกติ (Conventional open spray flame) เพราะลักษณะการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า มลภาวะจากการเผาไหม้ มีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามการเผาไหม้แบบสเปรย์นี้ยังมีข้อเสีย นั่นคือ การป้อนเชื้อเพลิงต้องพึ่งพาหัวฉีดแรงดันสูงเพื่อพ่นให้เป็นฝอยละออง ซึ่งยุ่งยากต่อการนำไปใช้ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดใหม่ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยใช้การหยดเชื้อเพลิงลงบนวัสดุพอร์แทนการสเปรย์เข้าไปในวัสดุพอร์ ซึ่งเชื้อเพลิงระเหยภายในชั้นวัสดุพอร์ และไหลออกมาผสมกับอากาศบริเวณทางออกของชั้นวัสดุพอร์แล้วเกิดการเผาไหม้ ดังแสดงในผลการศึกษาของนักวิจัยหลายกลุ่ม ได้แก่ Takami และคณะ [3] จากการศึกษาเชิงการทดลองของการเผาไหม้แบบใหม่นี้ พบว่าสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวได้อย่าง

สมบูรณ์ มีมลภาวะต่ำ ห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับแบบปกติ และไม่จำเป็นต้องใช้หัวฉีดความดันสูงทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน ซึ่งวัสดุพอร์ในระบบการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบหยดนี้จะมีบทบาทสำคัญมากในการส่งเสริมการระเหย แสดงพฤติกรรมเป็นตัวกระจายเชื้อเพลิงเหลวและอุ่นไอเสียที่ดีเพราะให้อุณหภูมิสูงเกิน (Leidenfrost temperature) ทั้งยังมีกลไกการแผ่รังสีความร้อน และการนำความร้อนตลอดทั้งชั้นวัสดุพอร์ นำไปสู่การจุดติดไฟได้เองและช่วยส่งเสริมการเผาไหม้

จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าในการพัฒนาประสิทธิภาพของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์นั้นจำเป็นต้องมีชุดทดลองและทำการทดลองด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ ซึ่งล้วนแต่ต้องใช้งบประมาณในการสร้างชุดทดลอง ใช้เวลาในการทดลองและทดสอบเป็นอย่างมาก เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลหรือเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ ซึ่งการทราบอุณหภูมิการเผาไหม้ล่วงหน้าหรือทำนายได้อย่างแม่นยำ จึงเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบหรือจำลองกระบวนการเผาไหม้ให้มีความเหมาะสมและเป็นการลดค่าใช้จ่ายและลดเวลาในการทดลองและทดสอบลงได้ ด้วยเหตุผลที่กล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะประยุกต์ใช้ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks) เพื่ออธิบายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทำนายกับผลการทดลอง

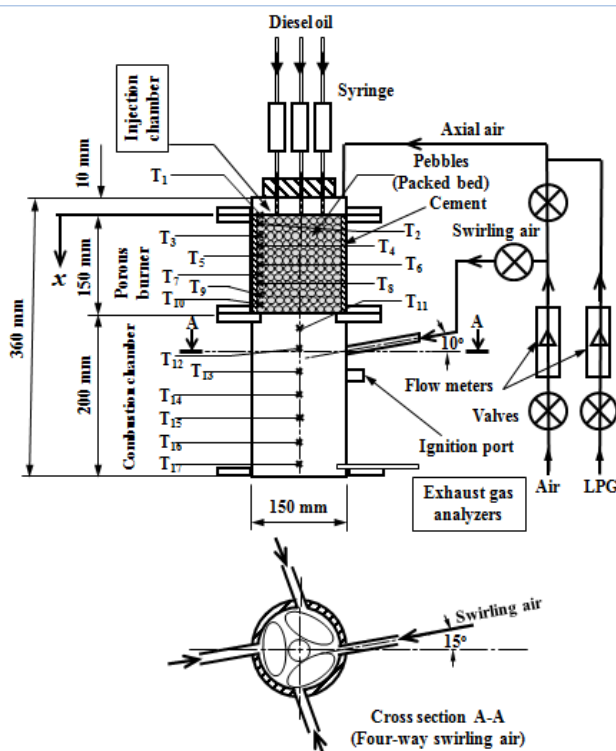
2. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับการศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยมีดังแปรที่เป็นข้อมูลป้อนเข้า (Input) ได้แก่ อัตราการจ่ายอากาศหมุนวน อัตราการจ่ายน้ำมัน ระยะความสูงของวัสดุพอร์ และตำแหน่งของอุณหภูมิ โดยที่ผลการทำนาย (Output) ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมคืออุณหภูมิข้อมูลจากการทดลองจะเป็นข้อมูลที่จะนำมาฝึกหัดแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์ชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์และวิธีการดังนี้

ETM-03

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การทดลองของหัวพ่นไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็กลมอัดแน่นที่มีการจ่ายอากาศหมุนวนแบบสี่ทิศทาง แบ่งออกได้ 3 ขอบเขตที่สำคัญประกอบไปด้วยขอบเขตที่หนึ่งเป็นส่วนที่ป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง (Injection zone) โดยการหยดน้ำมันจากชุดจ่ายเชื้อเพลิง (Syringe) ลงสู่วัสดุพูนเม็ดเซรามิกส์ ขอบเขตที่สองเป็นการอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดการระเหย (Porous burner zone) ภายในชั้นวัสดุพูน ซึ่งวัสดุพูนทำมาจากเม็ดกลมอัดแน่นเรียงตัวบรรจุอยู่ข้างในท่อสแตนเลสที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 150 mm หนา 3 mm เพื่อกักความร้อนสูญเสียสู่ภายนอกจึงหล่อปูนทนไฟ (Cement) หนา 3 mm ภายในท่อสแตนเลส ตลอดช่วงที่มีการบรรจุวัสดุพูน (150 mm) และขอบเขตสุดท้ายคือ ส่วนที่มีการคลุกเคล้าระหว่างอากาศหมุนวนกับไอน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดการเผาไหม้ (Combustion zone) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์การทดลอง [4]

จากส่วนประกอบทั้งหมดของหัวพ่นไฟแบบนี้จะมีหลักการทำงาน คือ เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงถูกหยดลงมาจากด้านบนสุดของระบบผ่าน Injection zone จนมาถึงวัสดุพูนของ Porous burner zone น้ำมันเชื้อเพลิงจะไหล

ผ่านชั้นวัสดุพูน และจะระเหยกลายเป็นไอจนหมดในชั้นวัสดุพูน หลังจากนั้นไอน้ำมันเชื้อเพลิงจะไหลลงมาสู่บริเวณทางออกของชั้นวัสดุพูนเข้าสู่ Combustion zone ผสมกับอากาศที่ป้อนเข้ามาทางด้านข้างของห้องเผาไหม้ในลักษณะหมุนวนแบบสี่ทาง (Four-way swirling air) เกิดการผสมคลุกเคล้ากันอย่างรุนแรงนำไปสู่การจุดติดไฟ (Ignition) และเผาไหม้ในที่สุด เปลวไฟที่เกิดขึ้นจะแผ่รังสีความร้อนย้อนกลับไปยังชั้นวัสดุพูน ทำให้มีความร้อนหมุนเวียนภายในระบบเป็นวัฏจักรเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องตรงที่มีเชื้อเพลิงป้อนหยดลงมาบนชั้นวัสดุพูนด้วยเหตุนี้เพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์เผาไหม้ กลไกการระเหยของเชื้อเพลิง และการส่งถ่ายความร้อนระหว่างชั้นวัสดุพูนกับเปลวไฟที่เกิดขึ้น อุณหภูมิตามแนวแกนและแก๊สไอเสียจึงถูกตรวจวัด ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้ เทอร์โมคัปเปิลชนิดเอ็น (N-type thermocouples) จำนวน 17 ชิ้น ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 mm จะถูกติดตั้งในระบบโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามตำแหน่งที่ติดตั้ง แบ่งได้ดังนี้ กลุ่มที่หนึ่งเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 11 ชิ้น จะติดตั้งตามแนวแกนที่ผิวด้านในของปูนทนไฟ และสัมผัสกับผิวด้านนอกของวัสดุพูน สาเหตุที่ไม่สอดเทอร์โมคัปเปิลจนทะลุถึงตำแหน่งตรงกลางเนื่องจากไม่ต้องการให้ขัดขวางการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านชั้นวัสดุพูน ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อกลไกการระเหยได้สำหรับกลุ่มที่สอง เทอร์โมคัปเปิลจำนวน 7 ชิ้น จะติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางของระบบตามแนวแกนแก๊สไอเสียที่จะเกิดขึ้น จะไหลออกจากระบบทางด้านล่างของท่อสแตนเลส และถูกตรวจวัดหาปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกซิเจน (O_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO_2) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer) ยี่ห้อ Testo รุ่น M350 นำเสนอปริมาณแก๊สไอเสียโดยปรับค่าเทียบกับออกซิเจนส่วนเกิน 0 % ในพื้นฐานแห้ง (Correction by 0% excess oxygen on dry basis)

2.2. วิธีการทดลอง

การทดลองการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในหัวพ่นไฟวัสดุพูนชนิดเม็กลมอัดแน่น จะมีการศึกษาโดยพิจารณาตัวแปรต้นและตัวแปรตามดังต่อไปนี้

ตัวแปรต้น คือ อัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (Q_F) และอากาศหมุนวนแบบสี่ทิศทาง (Q_A) ซึ่งทั้งสองค่านี้จะจ่ายให้กับระบบตั้งแต่เริ่มเกิดการติดไฟจนถึงที่สภาวะ

ETM-03

$Q_A = 30 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ $Q_F = 12 \text{ cc/min}$ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงความสูงของชั้นวัสดุพอร์น (H_{pb}) ที่ติดตั้งในหัวพ่นไฟ โดยจะทำการทดลอง 2 ขนาดความสูง คือ $H_{pb} = 150$ และ $H_{pb} = 125 \text{ mm}$

ตัวแปรตาม คือ อุณหภูมิที่วัดตลอดความยาวของหัวพ่นไฟซึ่งมีทั้งหมด 17 ตำแหน่ง แบ่งเป็น 10 ตำแหน่งในส่วนหัวพ่นไฟวัสดุพอร์น (Porous burner section) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงและอีก 7 ตำแหน่งในส่วนผสมคลุกเคล้าและการเผาไหม้ (Combustion zone) เพื่อสังเกตพฤติกรรมการเผาไหม้ของไอน้ำมันและการแผ่รังสีย้อนกลับที่มีผลต่อกลไกการระเหยและเผาไหม้

วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูลของหัวพ่นไฟวัสดุพอร์นแบบนี้สามารถอธิบายได้เป็น 2 ช่วงเวลาก็คือ

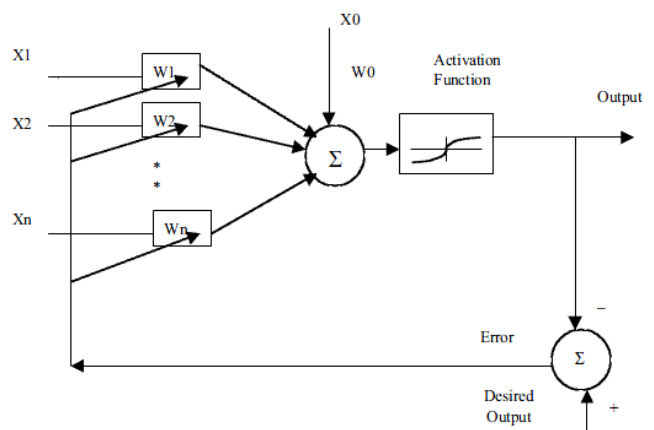
- ช่วงแรกการอุ่นวัสดุพอร์น (Preheating period) ทำการเปิดท่อลม (Axial air) เพียงเล็กน้อยพร้อมทั้งเปิดท่อแก๊ส (LPG) โดยให้อัตราส่วนทั้งสองเหมาะสมกันเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จากนั้นทำการจุดเชื้อเพลิงแก๊สให้ติดโดยใช้ไฟล่อ (Pilot flame) ตรงตำแหน่งช่องล่อไฟ (Ignition port) ของห้องเผาไหม้เมื่อไฟติดแล้วรอจนกว่าอุณหภูมิของวัสดุพอร์นสูงถึงช่วงการระเหยตัวของน้ำมันดีเซลประมาณ $200 - 300^\circ\text{C}$ ทำการปิดแก๊ส LPG โดยที่ Axial air ยังเปิดอยู่เพื่อไล่แก๊สออกจากชั้นของวัสดุพอร์น

- ช่วงที่ 2 ช่วงการเผาไหม้ (Combustion period) ทำการเปิดวาล์วให้น้ำมันหยดลงบนวัสดุพอร์น พร้อมกับค่อย ๆ ลด Axial air และเริ่มเปิดอากาศหมุนวน (Swirling air) ทำให้ลมเข้าด้านข้างของห้องเผาไหม้เกิดเปลวไฟด้านล่าง ปรับอัตราการหยดน้ำมันและอัตราการไหลของ Swirling air ให้เหมาะสมโดยรักษาให้ห้องเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเสถียรอยู่บริเวณด้านล่างของ Porous burner หลังจากนั้นทำการปรับค่าอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงและอากาศหมุนวนตามสภาวะการทดลอง ที่ต้องการศึกษา และรอจนกว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) จึงทำการบันทึกข้อมูลการทดลอง คือ อุณหภูมิตลอดความยาวของหัวพ่นไฟด้วยเครื่อง Data logger นอกจากนี้ยังมีการตรวจวัดปริมาณออกซิเจน (O_2) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Exhaust analyzer) ที่ด้านขาออกจากหัวพ่นไฟเพื่อนำมาคำนวณและช่วยอธิบายพฤติกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเหลว

ในหัวพ่นไฟวัสดุพอร์นให้เข้าใจได้ถูกต้องยิ่งขึ้นเพราะปริมาณ CO จะแสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้มีความสมบูรณ์เพียงใด กล่าวคือการเผาไหม้จะสมบูรณ์มากหากระบบปล่อย CO ในปริมาณที่ต่ำ สำหรับปริมาณ NO_x จะแสดงให้เห็นถึงการกระจายอุณหภูมิและ การเกิดอุณหภูมิสูง (Peak temperature) ในระบบการเผาไหม้ซึ่งแก๊ส CO และ NO_x เป็นมลพิษ ที่ต้องควบคุมให้มีปริมาณน้อยๆในการปล่อยสู่บรรยากาศ

2.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

แบบจำลองแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า (multilayer feed forward neural network) และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับของเลเวนเบิร์ก-มาควาร์ดท์ (Levenberg-Maquardt's Back-Propagation) ซึ่งเป็นหนึ่งในโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้ที่สุด [5] เนื่องจากเป็นโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและใช้เวลาไม่นานในการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม [6] Back-Propagation ยังเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมวิธีหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างนิวรอนให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้นี้จะขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ ชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมจะมีคำตอบไว้คอยตรวจดูว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าคำตอบไม่ถูก วงจรข่ายก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ [7]

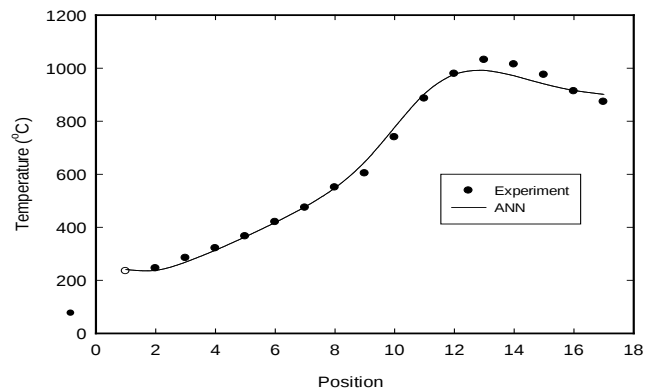
ETM-03

งานวิจัยนี้ได้ใช้งานแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมผ่านกล่องเครื่องมือโครงข่ายประสาทเทียม (neural network toolbox) โดยที่ข้อมูลอินพุต (input) ของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย อัตราการจ่ายอากาศหมุนวน อัตราการจ่ายน้ำมัน ระยะความสูงของวัสดุพูน และตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิ ข้อมูลเอาต์พุต (output) ของโครงข่ายประสาทเทียมคืออุณหภูมิในแต่ละจุดและมีจำนวนชั้นซ่อน (hidden layer) ของโครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งชั้นซ่อนมีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน 20 นิวรอน และใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ของโครงข่ายประสาทเทียมคือ tansig function ทั้งในชั้นซ่อนและชั้น output อัตราการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าเท่ากับ 0.1 ตามลำดับ

ข้อมูลจากการทดสอบหัวพ่นไฟจะนำมาใช้ฝึกหัดและทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายอุณหภูมิในแต่ละจุด โดยที่ชุดข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใช้เพื่อการฝึกหัดแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและส่วนที่เหลือจะใช้เพื่อทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายอุณหภูมิในแต่ละจุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ร้อยละ 75 ของข้อมูลการเผาไหม้จะถูกใช้เพื่อฝึกหัดและอีกร้อยละ 25 ของข้อมูลการเผาไหม้จะใช้เพื่อทดสอบการทำนายอุณหภูมิในแต่ละจุดด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม จากนั้นเปรียบเทียบผลการทำนายระหว่างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับการทดลองโดยใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลรวมของความคลาดเคลื่อนทั้งหมด (RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เป็นดัชนีชี้วัดในการเปรียบเทียบ

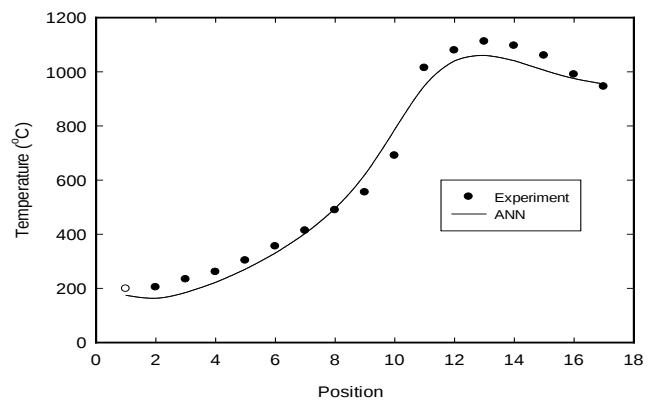
3. ผลและวิจารณ์

หลังจากทำการทดลองหัวพ่นไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่มีการจ่ายอากาศหมุนวนแบบสี่ทิศทางเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลจากการทดลองจะถูกนำมาใช้ในการฝึกหัดและทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟวัสดุพูนเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่น โดยใช้ค่า R^2 และค่า RMSE เป็นดัชนีชี้วัดความแม่นยำของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งผลเปรียบเทียบการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมกับผลการทดลอง ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 3 ถึง 6



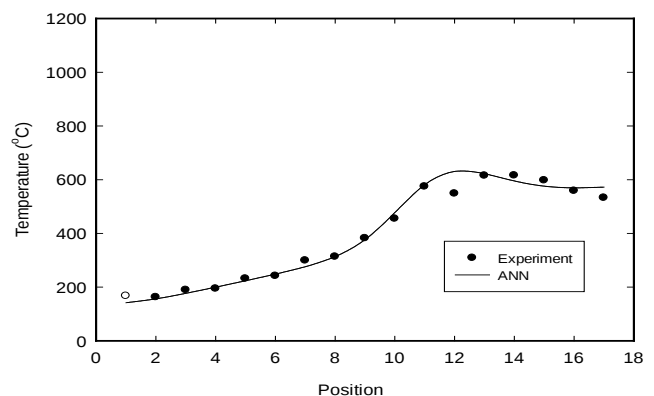
รูปที่ 3 ผลการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของโครงข่ายประสาทเทียมกับการทดลองที่

$$Q_A = 20 \text{ m}^3/\text{hr}, Q_F = 12 \text{ cc/min}, H_{pb} = 15 \text{ cm}$$



รูปที่ 4 ผลการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของโครงข่ายประสาทเทียมกับการทดลองที่

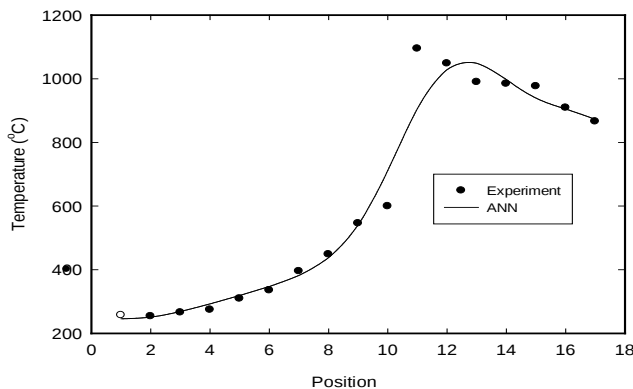
$$Q_A = 14 \text{ m}^3/\text{hr}, Q_F = 12 \text{ cc/min}, H_{pb} = 15 \text{ cm}$$



รูปที่ 5 ผลการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของโครงข่ายประสาทเทียมกับการทดลองที่

$$Q_A = 20 \text{ m}^3/\text{hr}, Q_F = 7.5 \text{ cc/min}, H_{pb} = 15 \text{ cm}$$

ETM-03



รูปที่ 6 ผลการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของโครงข่ายประสาทเทียมกับการทดลองที่

$$Q_A = 20 \text{ m}^3/\text{hr}, Q_F = 12 \text{ cc}/\text{min}, H_{pb} = 12.5 \text{ cm}$$

จากรูปที่ 3 ถึง 6 พบว่าการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟฟัดูพุ่นเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.98892 และมีค่า RMSE เท่ากับ 0.069785 มีผลการทำนายที่ใกล้เคียงกับการทดลองมากเนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมทำงานโดยการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์โดยมีการเรียนรู้และจดจำจากข้อมูลที่นำมาฝึกสอน มีการปรับค่าน้ำหนักในการคำนวณเพื่อให้ค่าทำนายสู่เข้าใกล้ค่าตอบหรือค่าที่ตั้งเอาไว้ โดยเป็นการประมวลผลผ่านฟังก์ชันถ่ายโอน จึงมีความยืดหยุ่นและสามารถทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟฟัดูพุ่นเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นได้ครอบคลุมทุกเงื่อนไขการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟฟัดูพุ่นเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่น

4. สรุปผล

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟฟัดูพุ่นเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นภายใต้เงื่อนไขของการเผาไหม้ ผลการเปรียบเทียบการทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟฟัดูพุ่นเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมกับการทดลองพบว่า การทำนายของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายได้แม่นยำโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98892 และมีค่า RMSE เท่ากับ 0.069785 นอกจากนั้นยังพบว่า

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความยืดหยุ่นสำหรับทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟฟัดูพุ่นเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นโดยครอบคลุมทุกเงื่อนไขของการเผาไหม้ของหัวพ่นไฟฟัดูพุ่นเชื้อเพลิงเหลวชนิดเม็ดกลมอัดแน่นซึ่งจากจุดเด่นส่วนนี้น่าจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาหัวพ่นไฟฟัดูพุ่นต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายณรงค์เดช นิยมทอง นายอาทิตย์ บำรุงกุล และนายภิญโญ เข้มทอง นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ช่วยในการทดลองและเก็บข้อมูล และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่สนับสนุนทุนวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kaplan, M. and Hall, M.J. (1995). The combustion of liquid fuels within a porous media radiant burner, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol.11, (1), pp.13-20.
- [2] Tseng, C.-J., and Howell, J.R. (1996). Combustion of liquid fuels in porous radiant burner, *Combustion Science and Technology*, Vol.112, pp. 141-161.
- [3] Takami, H., Suzuki, T., Itaya, Y., and Hasatani, M. (1998). Performance of flammability of kerosene and NOX emission in the porous burner, *Fuel*, Vol.77 (3), pp. 165-171.
- [4] ศาสตรา บุญมาก, สมภพ ลือพงศ์พัฒนะ และบัณฑิต กฤตาคม. (2555). หัวพ่นไฟฟัดูพุ่นชนิดเม็ดกลมอัดแน่นที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง (Packed-bed Sphere Porous Burner using LPG as Fuel), การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทน สู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, 18 - 20 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- [5] Movagharnjad, K. and Nikzad, M. (2007). Modeling of tomato drying using artificial neural network, *Computers and electronics in agriculture*, vol. 59, pp. 78-85.

ETM-03

[6] Hagan, M.T., Demuth, H.B., and Beals, M. (1996).
Neural Network Design, PWS Publishing Company,
USA.

[7] ปฏิวัติ วรามิตร, นันทวัฒน์ วีระยุทธ และอำไพศักดิ์ ที่
บุญมา. 2553. การทำนายพฤติกรรมกรอบแห้งโดยใช้
แบบจำลองเอมพีรีคัลและแบบจำลองโครงข่ายประสาท
เทียม. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย.
5-7 พฤษภาคม 2553, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิ
โรฒ จังหวัดเพชรบุรี.