TSF-253

อิทธิพลของอากาศภายนอกที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาด่านเกวียน
Influence of Outside Air Effect to Temperature Distribution in Dan Kwien Kiln

พลเทพ เวงสูงเนิน* และ จาริณี จงปลื้มปิติ

สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 744 ถนนสุรนารายณ์ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
*ติดต่อ: ponthep_veng@kkumail.com, 086-6539179

บทคัดย่อ

การกระจายความร้อนภายในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนมีรูปแบบของอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลาเป็นรูประฆังคว่ำคล้ายกันทุกครั้งของการเผา แต่ไม่สามารถระบุหรือกำหนดเวลาในแต่ละช่วงการเผาให้ชัดเจนได้ จึงทำการศึกษาอิทธิพลของความเร็วอากาศภายนอกที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา โดยนำแบบจำลองเตาเผาที่มีผู้ศึกษาแล้วมากำหนดความเร็วอากาศ 0.05 - 1 m/s เตาเผาที่ใช้อ้างอิงมีความเร็วอากาศไหลผ่าน 0.15 m/s และมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาประมาณ 920°C ซึ่งใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง เมื่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกมีความเร็วช้ากว่า 0.15 m/s อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 26.24°C ต่อความเร็วที่ลดลงทุกๆ 0.01 m/s และที่ความเร็วสูงกว่า 0.15 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลง 25.79°C เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.01 m/s ตำแหน่งที่ได้รับผลกระทบส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณกลางเตามากกว่าขอบเตาเผา ดังนั้นค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ได้นี้จะส่งผลไปยังอัตราความสิ้นเปลืองที่เพิ่มขึ้นของเหง้ามันสำปะหลังที่ใช้ในการเผาไหม้ให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์เมื่อความเร็วอากาศภายนอกเพิ่มสูงขึ้น ในทางกลับกันเมื่ออากาศภายนอกไหลผ่านเตาเผาช้าเกินไปก็จะส่งผลต่อระยะเวลาการเผาผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน

คำหลัก: เตาเผาด่านเกวียน การกระจายอุณหภูมิ แบบจำลอง

Abstract

The temperature distribution in Dan Kwien kiln has a same profile in always firing, but the time period cannot define. Studying the influence of external air velocity that effect to temperature profile inside the kiln by take velocity 0.05-1 m/s on kiln simulated. The kilns have reference data of velocity and temperature is 0.15 m/s and 920°C, respectively and cassava rhizomes used to firing fuel. The result as found, when the outside air has velocity slower than 0.15 m/s effect to tend of increasing temperature 26.24°C per 0.01 m/s. Furthermore, the temperature profiles decrease 25.79°C per 0.01 m/s of every greater velocity. The CFD program can show the middle position is affected than the edge of kiln. Therefore, the temperature changing inside the kiln effected to the increased rate of consumption of cassava rhizome that used to heat the combustion products outside air when speed increases. In the other hand, when the outside air flowing through the kiln is too slow, it will affect the duration of combustion products as well.

Keywords: Dan Kwien Kiln, temperature distribution, simulation

1. บทนำ

เครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียงของตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา ดินเหนียวที่นำมาขึ้นรูปมีเนื้อละเอียดและเมื่อถูกเผาแล้วจะให้สีธรรมชาติคือสีส้มแดงซึ่งสันนิษฐานว่าน่าจะเกิดจากธาตุเหล็กที่มีอยู่ในเนื้อดินและควรนำผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาหรือลงเตาให้พอเหมาะกับเตาทุกครั้ง แล้วเผาด้วยไม้ฟืนจำนวน 2,500-3,000 กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 3–4 วัน แต่เนื่องจากไม้ฟืนมีแนวโน้มที่จะหาได้ยากจึงส่งผลให้มีราคาแพง จาริณีและเกียรติฟ้าจึงได้นำเหง้ามันสำปะหลังซึ่งเมื่อนำมาลดความชื้นแล้วจะมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับไม้ฟืนมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนไม้ฟืน[1] เพื่อให้ได้ปริมาณความร้อนและใช้ระยะเวลาการเผาไหม้ให้ได้เทียบเท่าไม้ฟืน ดังนั้นการเผาด้วยเชื้อเพลิงจากเหง้ามันสำปะหลังจึงต้องใช้จำนวนมากกว่าคือประมาณ 3,000-4,000 กิโลกรัม [2] ซึ่งในแต่ละครั้งจะมีแนวโน้มของอุณหภูมิในลักษณะเดียวกัน แต่ค่าของอุณหภูมิต่างกัน โดยมีรูปแบบของอุณหภูมิที่สัมพันธ์กับเวลาเป็นรูประฆังคว่ำและมีช่วงของการเผาไหม้คล้ายกันทุกครั้งของการเผาเครื่องปั้นดินเผา[3] และได้ทำการสร้างแบบจำลองเตาเผา 2 แบบคือพิจารณาเฉพาะตัวเตาและพิจารณาอากาศภายนอก เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอากาศร้อนภายในเตาเผาซึ่งพบว่ากรณีที่พิจารณาอากาศภายนอกได้ผลของอุณหภูมิใกล้เคียงกับการทดลองจริงมากกว่าการพิจารณาเฉพาะตัวเตา แต่ในการทดลองจริงไม่สามารถระบุหรือกำหนดเวลาในแต่ละช่วงการเผาให้ชัดเจนได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอกเตาเผาซึ่งมีอากาศไหลผ่านด้วยความเร็วแตกต่างกันจึงส่งผลให้อากาศร้อนที่มีความหนาแน่นต่ำที่อยู่ภายในเตาเผาเคลื่อนที่ออกไปยังปล่องไฟ [4,5] ด้วยความเร็วและมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันทุกครั้ง ดังนั้นจึงทำการศึกษาอิทธิพลของความเร็วอากาศภายนอกที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาด่านเกวียน โดยนำแบบจำลองเตาเผาที่พิจารณาอากาศภายนอกมากำหนดความเร็วลมที่ไหลผ่านเตาเผาต่างกัน เพื่อที่ต้องการทราบลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาและบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากอิทธิพลของความเร็วอากาศภายนอก ซึ่งจะมีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้เช่นกัน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) เป็นการนำระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) เข้ามาแก้ไขระบบสมการการเคลื่อนที่ของพลศาสตร์ของไหล การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) และระบบอื่นๆ โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเพื่อปรับปรุงหรือแก้ไขระบบที่ต้องการออกแบบก่อนที่จะสร้างจริง [6] ซึ่งสมการที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

สมการอนุรักษ์มวล (Continuity Equation) [7,8]

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x}+\frac{\partial \rho v}{\partial y}+\frac{\partial \rho w}{\partial z}+\frac{\partial \rho}{\partial t}=0$$

สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

$$dF_x = dF_{Bx} + dF_{Sx} = \left[\rho g_x + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}\right] dxdydz$$

$$dF_y = dF_{By} + dF_{Sy} = \left[\rho g_y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}\right] dxdydz$$

$$dF_z = dF_{Bz} + dF_{Sz} = \left[\rho g_z + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}\right] dxdydz$$

สมการพลังงาน (Energy Equation)

$$\rho c_p\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}\right)=k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)+\mu\varphi$$

The standard k-ε Mode [8]

1) สมการพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (Turbulent Kinetic Energy)

$$\underset{(I)}{\frac{\partial(\rho k)}{\partial t}} + \underset{(II)}{div(\rho k U)} = \underset{(III)}{div\left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} grad\ k\right)} + \underset{(IV)}{2\mu_t E_{ij}\cdot E_{ij}} - \underset{(V)}{\rho\varepsilon}$$

2) สมการอัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (Dissipation Rate Equation)

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+div(\rho k\mathrm{U})=div\left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}grad\ \varepsilon\right)+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}2\mu_t E_{ij}\cdot E_{ij}-C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}$$

(I) (II) (III) (IV) (V)

ในแต่ละเทอมของทั้งสองสมการคือ

(I) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ k หรือ ε

(II) คือ การส่งถ่ายของ k หรือ ε โดยการพา

(III) คือ การส่งถ่ายของ k หรือ ε โดยการกระจาย

(IV) คือ Rate of production of k or ε

(V) คือRate of destruction of k or ε

สมการดังกล่าวประกอบด้วยค่าคงที่ 5 ค่าที่สามารถปรับได้ $C_\mu, \sigma_k, \sigma_\varepsilon,\ C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$ สำหรับ The standard k-ε model ได้กำหนดค่าคงที่ให้ครอบคลุมในช่วงที่กว้างสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน โดยให้มีค่าคงที่ดังนี้

$$C_\mu = 0.09;\ \ \sigma_k = 1.00;\ \ \sigma_\varepsilon = 1.30;$$
$$C_{1\varepsilon} = 1.44;\ \ C_{2\varepsilon} = 1.92$$

หลังจากการคำนวณคุณสมบัติต่างๆ แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผลตอบสนองของตัวแปรตามภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้นดังสมการที่ (1)

$$S = \frac{Max(y_i) - Min(y_i)}{Avg(y_i)} \qquad (1)$$

โดยที่ S คือการตอบสนอง (local sensitivity) $y_i = f\left(x_i\right)$ คือตัวแปรที่สนใจศึกษา

3. วิธีดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้นำเอาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาทำนายพฤติกรรมของอากาศภายในเตาเผา การคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต้องอาศัยผลจากการทดลองจริงเพื่อนำมาเป็นตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้ได้ผลออกมาถูกต้องมากที่สุด ซึ่งมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

1) นำผลของขนาดภายนอกและภายในของเตากูบ มาสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมเขียนแบบ 3 มิติ

2) วิเคราะห์แบบจำลองเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาที่สร้างขึ้น ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ และกำหนดเงื่อนไขสภาวะขอบเขตให้เหมือนกับการทดลองจริง กรณีที่ใช้เชื้อเพลิงจากเหง้ามันสำปะหลัง ซึ่งในบทความนี้ทำการอ้างอิงข้อมูลการทดลองจากวิทยานิพนธ์ของ น.ส.จาริณี จงปลื้มปิติ โดยมีอาจารย์ที่ปรึกษาคือ ผศ.ดร.เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต

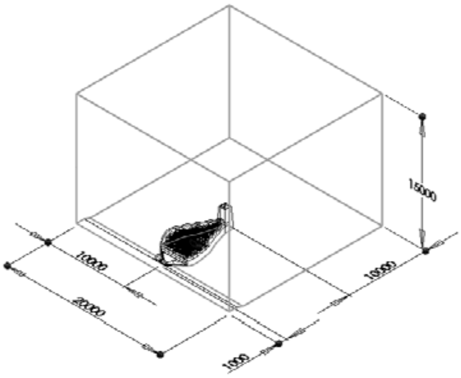
3) ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยการเปลี่ยนตัวแปรความเร็วอากาศภายนอกให้อยู่ในช่วง 0.05 – 1 เมตรต่อวินาที

4) เปรียบเทียบผลการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาและบริเวณที่ได้รับผลกระทบที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมกับการทดลองจริง

4. ผลการการศึกษา

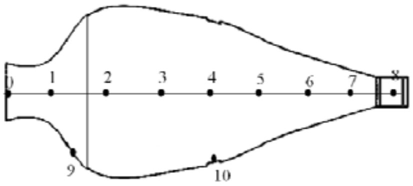
แบบจำลองเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียนซึ่งเป็นเตาเผาที่มีขนาดความยาวประมาณ 8.8 เมตร ปากทางเข้าเตามีลักษณะเป็นรูปวงรีความยาวแกนเอก 0.9 เมตร ความยาวแกนโท 0.7 เมตร สร้างด้วยดินเผาที่ทำให้มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 0.3 x 0.3 เมตร หนา 0.04 เมตร เชื่อมต่อระหว่างก้อนด้วยดินชนิดเดียวกัน ผิวภายนอกมีการฉาบด้วยดินทำให้ผนังเตาเผามีความหนาเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำการเจาะรูที่ผนังเตาเผาทั้งสองด้านโดยห่างจากพื้นในของเตาประมาณ 1 เมตร ด้านละ 2 จุด ห่างกันประมาณ 2.5 เมตร ปล่องไฟมีลักษณะคล้ายทรงพีรามิดสูงประมาณ 2 เมตร บริเวณปากปล่องไฟมีขนาด 0.7 x 0.5 เมตร ด้านในเตาเผาถัดจากเรือนไฟเป็นพื้นที่สำหรับวางผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ซึ่งถูกยกพื้นสูง 0.5 เมตร เพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสกับเชื้อเพลิงโดยตรง นอกจากนี้ยังพิจารณาอากาศที่ไหลผ่านภายนอกเตาเผาเป็นการขยายขอบเขตของปัญหาให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งในความเป็นจริงแล้วตำแหน่งที่ทำการวัดความเร็วลมอยู่ห่างจากปากเตามีระยะห่างประมาณ 1 เมตร เนื่องจากไม่สามารถวัดบริเวณปากเตาได้โดยตรงเพราะมีอุณหภูมิสูงอาจทำให้เครื่องมือวัดความเร็วลมเสียหายได้ ดังภาพที่ 1 โดยที่ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ มีระยะห่างระหว่างจุด 1 เมตร เริ่มจากปากเตาเผาจนถึงปล่องไฟจำนวน 9 จุด และด้านข้างบริเวณช่องแหย่ไฟอีก 2 จุด โดยกำหนดให้ว่าอุณหภูมิด้านข้างของเตามีรูปแบบเดียวกัน ดังรูปที่ 2

TSF-253



หน่วย: มิลลิเมตร

รูปที่ 1 แบบจำลองเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาด่านเกวียน

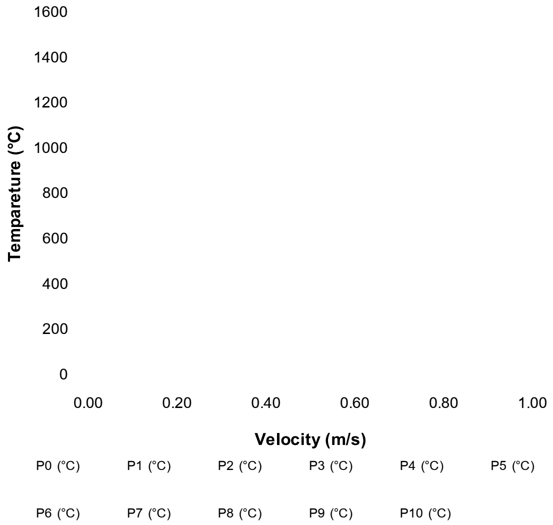


รูปที่ 2 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ

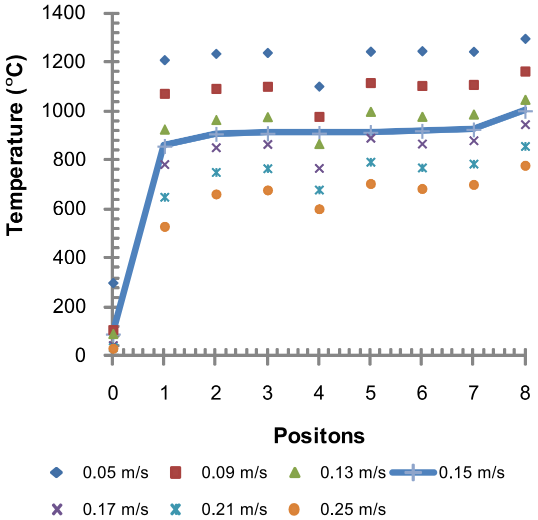
4.1 อุณหภูมิภายในเตาเผา

เมื่อความเร็วของอากาศภายนอกแตกต่างกัน ส่งผลให้กระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแต่ละตำแหน่งเปลี่ยนไป โดยมีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้จากแนวโน้มของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งมีค่าลดลงเมื่อความเร็วอากาศภายนอกมีการเคลื่อนที่เร็วขึ้น ส่งผลให้ความร้อนที่อยู่ภายในเตาเผากระจายไปสู่ปล่องไฟและระบายออกสู่บรรยากาศภายนอกเร็วกว่ากรณีที่อากาศภายนอกมีความเร็วลมต่ำ

ในการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งจาก 0-8 เทียบกับการทดลองจริงที่มีความเร็วอากาศภายนอกเฉลี่ย 0.15 m/s แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าที่ความเร็วอากาศภายนอก (V) อยู่ในช่วง 0.05 m/s< V < 0.15 m/s มีอุณหภูมิภายในเตา (T) อยู่ในช่วง 900°C< T < 1,200°C ซึ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองจริงในอัตราที่เพิ่มขึ้น 26.24°C เมื่อความเร็วอากาศไหลผ่านช้าลง 0.01 m/s และในทางกลับกันอุณหภูมิภายในเตาเผาลดลงอยู่ในช่วง 650°C < T < 850°C เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.15 m/s < V < 0.25m/s และจะได้ว่าความเร็วอากาศภายนอกเพิ่มขึ้น 0.01 m/s ค่าของอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ลดลง 25.79°C



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศภายนอกกับอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ

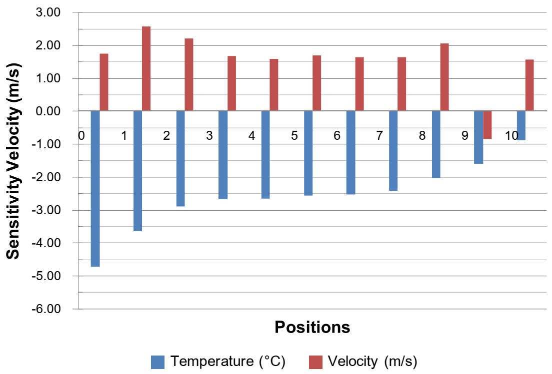


รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิที่ความเร็วอากาศภายนอกต่างกันกับการทดลองจริง

4.2 ความเร็วอากาศภายในเตาเผา

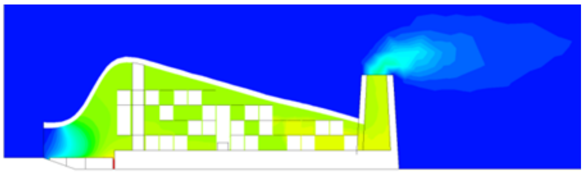
ผลกระทบของความเร็วอากาศภายนอกเตาเผามีผลต่ออุณหภูมิและความเร็วของอากาศร้อนที่อยู่ภายในเตา เนื่องจากเกิดความแตกต่างของความดันที่บริเวณปล่องไฟ [9] จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วภายในเตาเผาเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งจะมีค่าเปลี่ยนไปตาม โดยที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของ

อุณหภูมิและความเร็วตำแหน่งต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4 บริเวณที่มีผลกระทบน้อยคือบริเวณข้างเตาเผาจุดที่ 9 และ 10 เนื่องจากความเร็วของอากาศร้อนจะไหลตรงสู่ปล่องไฟอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้บริเวณกลางเตามีอุณหภูมิต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่อยู่บริเวณนี้ได้รับความร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็วจึงอาจทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าว และบริเวณขอบเตาผลิตภัณฑ์อาจไม่สุกได้

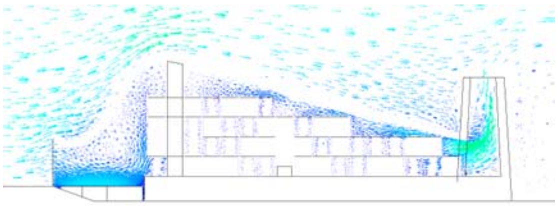


รูปที่ 4 ผลของความเร็วอากาศภายนอกต่ออุณหภูมิและความเร็วภายในเตาเผา

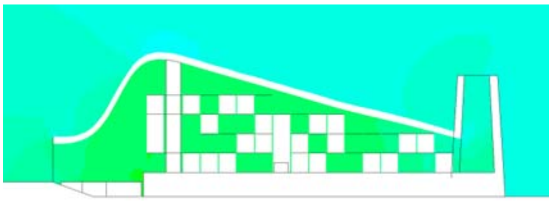
สำหรับลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิในบทความนี้จะยกตัวอย่างให้เห็นลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนภายในเตาของความเร็วอากาศภายนอก 0.15 m/s โดยมีการกระจายตัวของอุณหภูมิ ดังรูปที่ 5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของความเร็วของอากาศภายในเตาเผาดังรูปที่ 6 และความดันภายในเตาเผาดังรูปที่ 7



รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา



รูปที่ 6 ลักษณะการเคลื่อนที่ของความเร็วของอากาศภายในเตาเผา



รูปที่ 7 การกระจายความดันภายในเตาเผา

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาอิทธิพลของอากาศภายนอกที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาด่านเกวียนโดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการทำนายพฤติกรรมของอากาศภายในเตาเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่า เมื่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกมีความเร็วช้ากว่า 0.15 m/s อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 26.24 $^{\circ}$C ต่อความเร็วที่ลดลงทุกๆ 0.01 m/s โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยทั้งความยาวเตาประมาณ 1,200 $^{\circ}$C ที่ความเร็วอากาศภายนอก 0.05 m/s สำหรับกรณีที่ความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านเตาเผามีความเร็วสูงกว่า 0.15 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลง 25.79 m/s เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.01 m/s และอุณหภูมิสามารถลดลงต่ำกว่า 200 $^{\circ}$C ได้เมื่อความเร็วสูงถึง 1 m/s ตำแหน่งที่ได้รับผลกระทบส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณกลางเตามากกว่าขอบเตาเผา ผลิตภัณฑ์ที่อยู่บริเวณนี้ได้รับความร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็วจึงอาจทำให้ผลิตภัณฑ์แตกร้าวและบริเวณขอบเตาผลิตภัณฑ์อาจไม่สุกได้ ดังนั้นค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผาที่ได้นี้จะส่งผลไปยังอัตราความสิ้นเปลืองที่เพิ่มขึ้นของเหง้ามันสำปะหลังที่ใช้ในการเผาไหม้ให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์เมื่อความเร็วอากาศภายนอกเพิ่มสูงขึ้น ในทางกลับกันเมื่ออากาศภายนอกไหลผ่านเตาเผาช้าเกินไปก็จะส่งผลต่อระยะเวลาการเผาผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่สนับสนุนเครื่องจักร เครื่องมือมือวัด

และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และหน่วยวิจัยด้านการออกแบบเชิงกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์ผลการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Jarinee Jongpluempiti, Kiatfa Tangchaichit. (2012). Conparison proximate analysis and heating value between cassava rhizome and perennial wood. Advanced Materials Research. Vols. 415-417, pp. 1693-1696.

[2] Jarinee Jongpluempiti, Kiatfa Tangchaichit. (2012). Experimental Investigation of Using Cassava Rhizome to Replace Firewood for Dan Kwian Pottery Firing, Thailand. **Advanced Science Letters.** Volume 15, pp. 39-42.

[2] จาริณี จงปลื้มปีติ, (2556). **การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนและของไหลในเตาเผาดินด่านเกวียนโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 95-108.

[3] เดช ดำรงศักดิ์, ณัฏฐ์พัฒน์ คำเวียง, จีรศักดิ์ แก้วเงิน และจักรกฤษณ์ ปัญญาธรรม, (2552). การออกแบบและสร้างเตาเผาขยะชุมชน, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552, จังหวัดเชียงใหม่.

[4] Maatouk Khoukhi, Hiroshi Yoshino and Jing Liu (2007). The effect of the wind speed velocity on the stack pressure in medium-rise buildings in cold region of China. **Building and Environment.** 42 (1081-1088).

[5] เสฏฐวรรธ สุจริตภวัตสกุล. (2553). **การคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.** ค้นเมื่อ 14 พฤศจิกายน 2554, จาก http://www.cadthai.com

[6] Fox, R. W., Mcdonald, A. T., and Pritchard, P. J. (1998). **Introduction to Fluid Mechanics 6th ed.** USA: John Wiley & Sons.

[7] Lewis, R. W., Nithiarasu, P., and Seetharamu, K. N. (2004). **Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow.** Great Britain: John Wiley & Sons.

[8] Versteeg, H.K. and Malalasekera, W. (1995). **An introduction to computational fluid dynamics the finite volume method.** New York: Longman Group Ltd.