พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ 2 มิติในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งแบบเม็ด

2D Computational Fluid Dynamics for Solid Fuel Particle Combustion

มงคล แก้วบำรุง[1*] และ เฉลิมพล เปล่งสะอาด[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
*ติดต่อ: E-mail : mongkol.kaewbumrung@gmail.com, โทรศัพท์ 02-979-6999

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอรูปแบบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งแบบเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50-300 ไมโครเมตร พ่นเป็นละอองเข้าไปในห้องเผาไหม้ โดยชุดสมการควบคุมของอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งสามารถประยุกต์การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของอนุภาคแบบ DPM (Discrete Particle Model) มาใช้ในการศึกษาและพิจารณาการไหลเป็นแบบแบบปั่นป่วนภายในห้องเผาไหม้ สำหรับปฏิสัมพันธ์ความปั่นป่วนทางเคมีเป็นแบบ Finite-Rate/Eddy-Dissipation และหาคำตอบด้วยวิธี Finite Volume Method (FVM) ภายใต้กรอบของ Lagrangian Reference Frame สำหรับอนุภาคเชื้อเพลิงแข็งแบบเม็ด และ Eulerian Reference Frame ด้วยโปรแกรม ANSYS FLUENT R17.1 สำหรับกลไกจลนศาสตร์เคมีของการเผาไหม้มีส่วนประกอบทางเคมี 6 ชนิด และสมการทางเคมี 9 สมการ โดยมีการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของการเผาไหม้แบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Reaction) ผลจากการศึกษา พบว่า ขนาดของเม็ดเชื้อเพลิง, ความเร็วของอากาศและเม็ดเชื้อเพลิง มีผลกับอัตราการเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบทางเคมีของก๊าซที่ได้หลังเผาไหม้ เช่น ไอน้ำ (H_2O), ก๊าซคาบอนมอนนอกไซด์ (CO), ก๊าซคาบอนไดออกไซด์ (CO_2) และอัตราการเผาไหม้ของเม็ดเชื้อเพลิง (Burnout Rate) ตามลำดับ ผลที่ได้จากการจำลองดังกล่าวจะเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ทางการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งแบบเม็ดเพื่อประกอบการออกแบบการทดลองและสร้างต้นแบบจริงต่อไปในอนาคต

คำหลัก: Discrete Particle Model, Multispecies , Burnout Rate

Abstract

The aim of this research is to investigate relationships between a particle size distribution, particle inlet velocity and air inlet against a combustion gas composition. The fluid is considered as two-dimensional multiphase turbulence incompressible flow at a steady state condition. The Particle govern by the set of ordinary differential equations based on Discrete Particle Model (DPM) in Lagrangian Reference Frame and Eulerian Reference Frame for the fluid. The commercial software ANSYS FLUENT R17.1 is a major tool on Finite Volume Method applied in this study. The combustion kinematic reaction consist of 6 chemical species under Heterogeneous Reaction with 9 chemical compositions. The result of combustion gas mixture such as H_2O, CO, CO_2 and particle burnout rate are considered in this study. The results of this study and the near further research will useful for developing combustion equipment to minimized toxic gas combustion to get more green energy.

Keywords: Discrete Particle Model, Multispecies, Burnout Rate

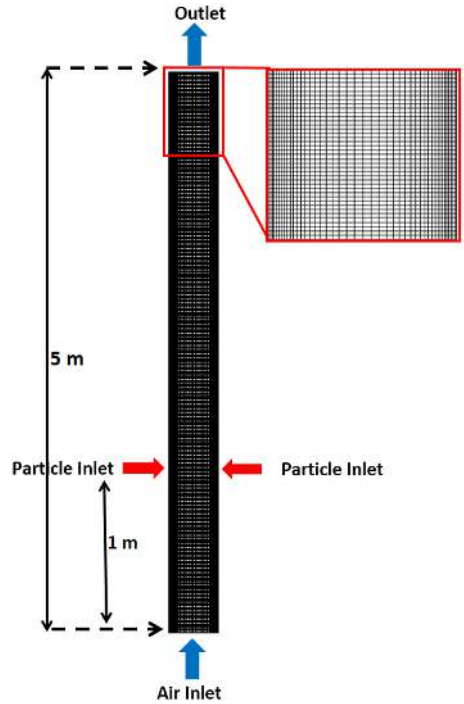
1. บทนำ

จากสถานการณ์ความผันผวนของราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มสูงขึ้นและปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้สภาพภูมิอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์ที่สูดดมก๊าซพิษเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เข้าไปสะสมในร่างกายเป็นจำนวนมาก อันนำมาซึ่งสาเหตุหนึ่งของการเจ็บป่วยที่ยากต่อการรักษามากขึ้น ส่งผลให้วิศวกรและนักวิทยาศาสตร์พยายามค้นคว้าวิจัยเพื่อหาพลังงานสะอาดมาทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยการทำวิจัยเรื่องของพลังงานสะอาดดังกล่าวมุ่งเน้นไปที่ส่วนผสมของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆตามแต่สภาวะภูมิประเทศเช่น ไม้ ถ่านหิน แกลบ และ ใบไม้เป็นต้น ซึ่งพบว่าสามารถนำมาทดแทนพลังงานที่ต้องสังเคราะห์ขึ้นได้เพียงบางส่วนเพราะยังคงพบปัญหาของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และก๊าซพิษที่เกิดขึ้นมากจนเกินไปหลังการเผาไหม้

จากการศึกษาปัจจุบันพบว่า อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่พ่นเข้าไปเป็นละอองขนาดเล็กนั้นมีผลเป็นอย่างยิ่งกับการเผาไหม้และขนาดของบริเวณที่เกิดเปลวไฟ [5] นอกจากนี้แล้วความชื้นที่อยู่ภายในเม็ดเชื้อเพลิงที่พ่นเข้าไปในระบบการเผาไหม้ยังส่งผลกระทบโดยตรงกับอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นและเป็นผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มากขึ้น [3,4] เพื่อแก้ปัญหาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ หากสามารถเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่เข้ามาและเพิ่มความปั่นป่วนของการไหลภายในระบบมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพในระดับที่น่าพอใจ [4] แต่อย่างไรก็ตามจากความซับซ้อนของความปั่นป่วนของการไหลส่งผลให้การทำนายพฤติกรรมการเผาไหม้ทำได้ยากในการทดลอง [3] ส่งผลให้การศึกษาการเผาไหม้ภายใต้สภาวะการไหลแบบปั่นป่วนได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง [1,2] แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่มีความชัดเจนของการศึกษาว่า ขนาดของเม็ดเชื้อเพลิง, ความเร็วของอากาศและเม็ดเชื้อเพลิง มีผลอย่างเฉพาะเจาะจงอย่างไรกับอัตราการเกิดส่วนประกอบทางเคมีของก๊าซที่ได้หลังเผาไหม้ เช่น ไอน้ำ (H_2O), ก๊าซคาบอนมอนนอกไซด์ (CO), ก๊าซคาบอนไดออกไซด์ (CO_2) และ อัตราการเผาไหม้ของเม็ดเชื้อเพลิง ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงความเกี่ยวข้องของตัวแปรดังกล่าวด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยผลที่ได้จากการจำลองจะเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ทางการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งแบบเม็ดเพื่อประกอบการออกแบบการทดลองและสร้างต้นแบบจริงต่อไปในอนาคต

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาเป็นแบบสองมิติในระบบแกน x-y ที่ความดันบรรยากาศปกติมีของไหลในระบบสองชนิดคือ เม็ดเชื้อเพลิงแข็งและอากาศ โดยรูปที่ 1 แสดงขนาดและรูปร่างของห้องเผาไหม้ในการศึกษาครั้งนี้



รูปที่ 1 ขนาดและรูปร่างของห้องเผาไหม้ที่ทำการศึกษา

3. ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาแบบสารหลายชนิด (Multiphase) ประกอบไปด้วยเม็ดเชื้อเพลิงแข็งและอากาศที่สามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ ซึ่งสมการควบคุมต่าง ๆที่ใช้สำหรับเม็ดเชื้อเพลิงแข็งอยู่ภายใต้ทฤษฎี Discrete Particle Model (DPM) ของโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS FLUENT R17.1 ด้วยวิธีปริมาตรจำกัด โดยแบ่งสถานะของไหลออกเป็นสองชนิดคือของแข็ง (เม็ดเชื้อเพลิงแข็ง) และก๊าซ (อากาศและก๊าซหลังเกิดการเผาไหม้) โดยจำนวนกริดที่เลือกใช้เป็นแบบสี่เหลี่ยมที่มีการกระจายตัวไม่เท่ากัน ทั้งนี้การกระจายตัวของกริดที่ใช้จะเน้นสร้างกริดขนาดเล็กที่บริเวณผนังเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีได้ดียิ่งขึ้นดังรูปที่ 1 หลังจากทดสอบการเปลี่ยนแปลงของคำตอบกับจำนวน กริด (Mesh Independent) พบว่า ที่จำนวน กริด 76,400 กริด ให้ค่าคำตอบที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดและจำนวนของกริด สำหรับการแก้สมการพีชคณิตได้ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่เหมาะสมดังนี้

P-V Coupling	:	Coupled
Gradient	:	Green-Gauss Cell Based
Pressure	:	Second Order Upwind
Momentum	:	Second Order Upwind
Volume Fraction	:	Second Order Upwind
Turbulent-k	:	Second Order Upwind
Turbulent- ε	:	Second Order Upwind
Species	:	Second Order Upwind

3.1 สมการการเคลื่อนที่ของเม็ดเชื้อเพลิงแข็ง [1,2,3]

สำหรบการเคลื่อนที่ของเม็ดเชื้อเพลิงแข็งที่พิจารณาผลของการหมุนด้วยสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{d\vec{u}_p}{dt} = \frac{\vec{u}-\vec{u}_p}{\tau_r} + \frac{\vec{g}\left(\rho_p-\rho\right)}{\rho_p} + \vec{F} \qquad (1)$$

$$\tau_r = \frac{12\rho_p d_p^2}{9\mu C_d \rho\left|\vec{u}_p-\vec{u}\right|} \qquad (2)$$

$$\vec{F} = \frac{5.188 v^{0.5}\rho d_{ij}}{\rho_p d_p \left(d_{lk}d_{kl}\right)^{0.25}}\left(\vec{u}-\vec{u}_p\right) \qquad (3)$$

เมื่อ

τ_r	คือ	Particle Relaxation Time
$\vec{u}$	คือ	Fluid Phase Velocity
$\vec{u}_p$	คือ	Particle Velocity
$\vec{F}$	คือ	Saffman's Lift Force
d_{ij}	คือ	Deformation Tensor

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้พิจารณาการเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบมีการหมุนดังนั้นสมการสำหรับ Particle Torque Balance และ Magnus Lift Force $\left(F_{RL}\right)$ สามารถเขียนได้เป็น

$$\vec{T} = I_p\frac{d\vec{\omega}_p}{dt} = \vec{\Omega}C_\omega\frac{\rho_f}{2}\left[\frac{d_p}{2}\right]^5 \qquad (4)$$

$$\vec{\Omega} = \frac{1}{2}\nabla\times\vec{u}_f - \vec{\omega}_p \qquad (5)$$

$$F_{RL} = \frac{1}{2}A_p\rho_f\frac{\left|\vec{V}\right|}{\left|\vec{\Omega}\right|}\left(\vec{V}\times\vec{\Omega}\right)C_{RL} \qquad (6)$$

$$\underbrace{C_{RL} = 0.45 + \left(\frac{\mathrm{Re}_\omega}{\mathrm{Re}_p} - 0.45\right)\exp\left(-0.05684\,\mathrm{Re}_\omega^{0.4}\,\mathrm{Re}_p^{0.3}\right)}_{\textit{Oesterle and Bui Dinh Model}}$$

เมื่อ

I_p	คือ	Particle Moment of Inertia
ρ_f	คือ	Fluid Density
$\vec{\omega}_p$	คือ	Particle Angular Velocity
C_ω	คือ	Rotational Drag Coefficient
A_p	คือ	Projected Particle Surface Area

3.2 สมการเคมีของการเผาไหม้ [2]

การเผาไหม้ของเม็ดเชื้อเพลิงแข็งที่พ่นเข้าไปในระบบมีอัตราส่วนไม่เกิน 10% โดยในการศึกษานี้จะไม่คิดการชนกันของเม็ดเชื้อเพลิงซึ่งจะประกอบไปด้วยคุณสมบัติทางเคมีดังนี้ [4,5,6,7,12]

$$\alpha_{Char} + \alpha_{Volatile} + \alpha_{Water} + \alpha_{ash} = 1 \qquad (R1)$$

$$\left.\begin{aligned} Volatile \rightarrow\ & \phi_1 CO_2 + \phi_2 CO + \phi_3 H_2 \\ & + \phi_5 C_2H_6 + \phi_6 H_2S + \phi_7 NH_3 + \phi_8 tar \end{aligned}\right\} \qquad (R2)$$

$$3C + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2CO \qquad (R3)$$

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2 \qquad (R4)$$

$$C + CO_2 \rightarrow 2CO \qquad (R5)$$

$$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2 \qquad (R6)$$

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2 \qquad (R7)$$

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O \qquad (R8)$$

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O \qquad (R9)$$

$$2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O \qquad (R10)$$

$$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O \qquad (R11)$$

เม็ดเชื้อเพลิงแข็งแต่ละเม็ดจะเกิดการเผาไหม้และเปลี่ยนเป็นก๊าซซึ่งการคำนวณการเปลี่ยนสถานะดังกล่าวใช้วิธีการคำนวณแบบ Multi Species โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเป็นไปตามกฎของ Arrhenius สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ [9]

$$k_{f,r} = A_r T^{\beta_r} e^{-E_r/RT} \qquad (7)$$

เมื่อ

A_r	คือ	Pre-exponential Factor
β_r	คือ	Temperature Exponent
E_r	คือ	Activation energy for the Reaction

3.3 สมการเคมีสำหรับ Species Transport Equations [2, 10,11]

เนื่องจากเม็ดเชื้อเพลิงแข็งแต่ละเม็ดมีการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นก๊าซหลังจากเกิดการเผาไหม้ในระบบซึ่งการคำนวณดังกล่าวสามารถคำนวณได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} Y_i) = -\nabla \cdot \bar{J}_i \qquad (8)$$

$$\bar{J}_i = -\rho D_{i,m} \nabla Y_i - D_{T,i} \frac{\nabla T}{T} \qquad (9)$$

เมื่อ

$\bar{J}_i$	คือ	Mass Diffusion in Turbulent Flows
$D_{i,m}$	คือ	Mass Diffusion Coefficient for Species in the Mixture
$D_{T,i}$	คือ	Thermal diffusion Coefficient.

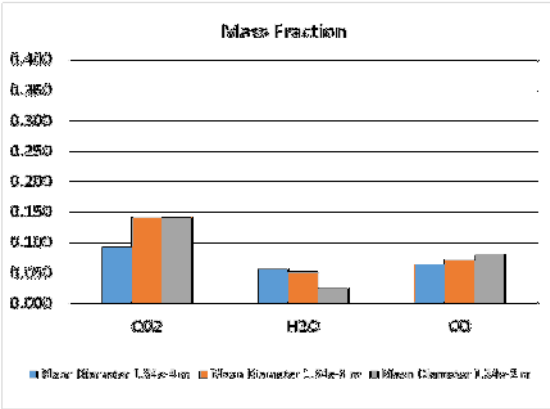
4. ผลการจำลอง

จากผลจากการศึกษาพบว่า ขนาดของเม็ดเชื้อเพลิง, ความเร็วของอากาศและเม็ดเชื้อเพลิง มีผลกับอัตราการเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบทางเคมีของก๊าซที่ได้หลังเผาไหม้ เช่น ไอน้ำ (H_2O), ก๊าซคาบอนมอนนอกไซด์ (CO), และ ก๊าซคาบอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อ อุณหภูมิอากาศ $1200\ K$, อุณหภูมิของเม็ดเชื้อเพลิง $300\ K$ ดังนี้

4.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดเชื้อเพลิง

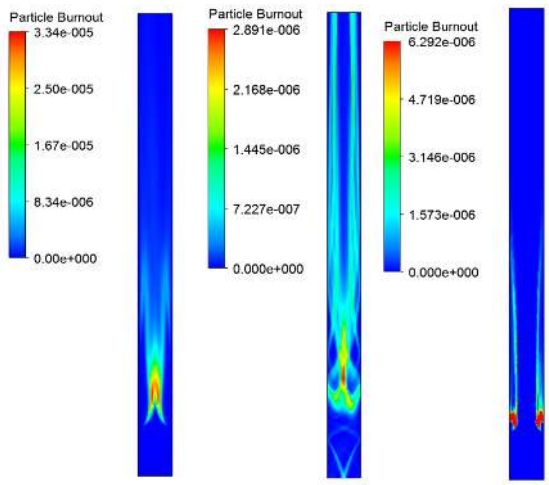
จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดเชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อการเกิดก๊าซทั้งสามชนิดคือ CO_2, H_2O และ CO ซึ่งประกอบไปด้วยค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย $1.34\times10^{-4}\ m$, $1.34\times10^{-3}\ m$ และ $1.34\times10^{-2}\ m$ อากาศพ่นเข้าไปด้วยความเร็ว $5\ m/s$ ตามลำดับ จากรูปที่ 2 พบว่า เมื่อขนาดของเม็ดเชื้อเพลิงมีขนาดเพิ่มขึ้น ก๊าซ CO_2 และ CO มีแนวโน้มที่จะเกิดมากขึ้น แต่ในทางกลับกัน H_2O กลับมีแนวโน้มที่จะเกิดน้อยลงทั้งนี้หากพิจารณาสมการการเผาไหม้ R4 และ R6 พบว่า H_2O สามารถ

เปลี่ยนไปเป็น ก๊าซ CO_2 และ CO ได้ จึงมีความเป็นไปได้สูงที่ก๊าซทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ H_2O มีแนวโน้มลดลง แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวยังคงมีขั้นตอนของการทำการทดลองและเปรียบเทียบผลเพื่อเพิ่มความถูกต้องมากขึ้น อีกทั้งการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้พิจารณาผลเนื่องจากความชื้นสะสมที่มีอยู่ในเม็ดเชื้อเพลิงมาก่อนหน้านี้อาจจะส่งผลให้การจำลองมีความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งตัวแปรดังกล่าวจะได้ศึกษาต่อไปในอนาคต



รูปที่ 2 Mass Fraction ของ ก๊าซ CO_2, H_2O และ CO เมื่อเปลี่ยนขนาดเฉลี่ยของเม็ดเชื้อเพลิง

นอกจากนี้จากรูปที่ 3 แสดงความเข้มข้นของการเผาไหม้เม็ดเชื้อเพลิงขนาดต่างๆ (Particle Burnout Rate) โดยมีอากาศไหลเข้าที่ความเร็ว 5 m/s และความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิง V_x = 2 m/s, V_y = 1 m/s พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดเชื้อเพลิง 1.34×10^{-4} m จะมีการเผาไหม้ที่บริเวณกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ ซึ่งแตกต่างจากสองกรณีที่มีการเผาไหม้ที่ไม่เป็นระเบียบโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีที่ขนาดเฉลี่ยของเม็ดเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่ ซึ่งจากพฤติกรรมดังกล่าวส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าต่ำและอาจจะเกิดก๊าซที่เป็นของเสียมากขึ้น อีกทั้งระบบการเผาไหม้ที่ไม่สม่ำเสมอดังกล่าวอาจส่งผลให้การวางแผนบำรุงรักษาห้องเผาไหม้ทำได้ยากมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่การเพิ่มความเร็วของอากาศที่ทางเข้าอาจจะช่วยพาให้เม็ดเชื้อเพลิงลอยได้สูงขึ้นและเกิดการเผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่าความเร็วต่ำ



(1) (2) (3)

รูปที่ 3 ความเข้มข้นของการเผาไหม้เม็ดเชื้อเพลิงขนาดต่างๆ

(1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.34×10^{-4} m

(2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.34×10^{-3} m

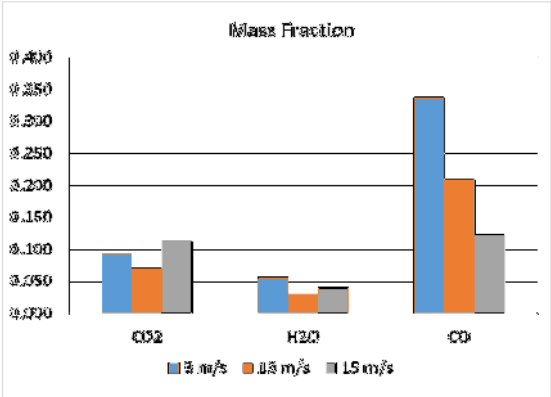
(3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.34×10^{-2} m

4.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศ

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดเชื้อเพลิงพบว่าเมื่อขนาดเฉลี่ยของเม็ดเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้การเผาไหม้และการเคลื่อนที่ของเม็ดเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศเพื่อศึกษาผลกระทบโดยกำหนดความเร็วไว้ คือ 5 m/s, 10 m/s และ 15 m/s ใช้ขนาดของเม็ดเชื้อเพลิง 1.34×10^{-2} m ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4 พบว่า การเกิดก๊าซ CO_2 และ H_2O ยังคงไม่สามารถสรุปผลได้ชัดเจนมากนักของแต่ละความเร็ว แต่สำหรับ CO มีแนวโน้มการเกิดลดลง

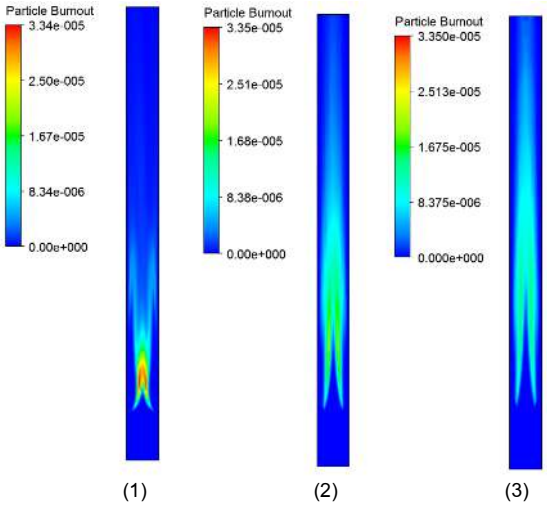
เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของการเผาไหม้เม็ดเชื้อเพลิงขนาดต่างๆ จากรูปที่ 5 พบว่าอัตราการเผาไหม้ไม่กระจุกตัวอยู่เป็นจุดใดจุดหนึ่งเหมือนดังการศึกษาที่ผ่านมา แต่เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ

มากขึ้นกลับพบว่าการกระจายตัวของการเผาไหม้มีบริเวณที่กว้างขึ้นซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้เชื้อเพลิงทุกเม็ดเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามหากความเร็วของอากาศมากจนเกินไปอาจจะมีผลกับการเผาไหม้ได้เช่นกันคือทำให้เม็ดเชื้อเพลิงไม่สามารถเผาไหม้ได้สมบูรณ์แต่ถูกอากาศพาออกไปจากบริเวณของการเผาไหม้แล้ว ซึ่งความเร็วดังกล่าวถือเป็นความเร็ววิกฤติที่มีความสำคัญและจะได้รับการศึกษาต่อไปในอนาคตจากการจำลองด้วยสมการความปั่นป่วน Species Transport Equations และ สมการการ



เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

รูปที่ 4 Mass Fraction ของ ก๊าซ CO_2, H_2O และ CO เมื่อเปลี่ยนความเร็วของอากาศ



(1) (2) (3)

รูปที่ 5 ความเข้มข้นของการเผาไหม้เม็ดเชื้อเพลิงขนาดต่างๆ

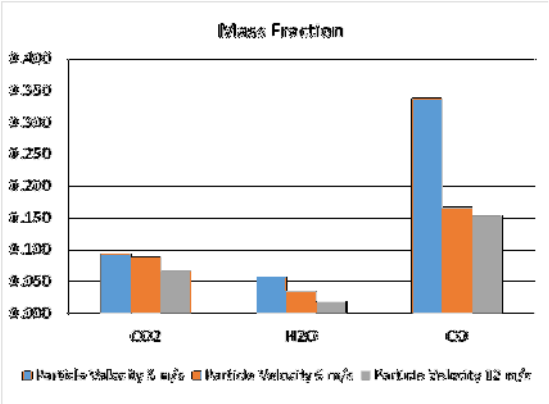
(1) ความเร็วของอากาศ 5 m/s

(2) ความเร็วของอากาศ 10 m/s

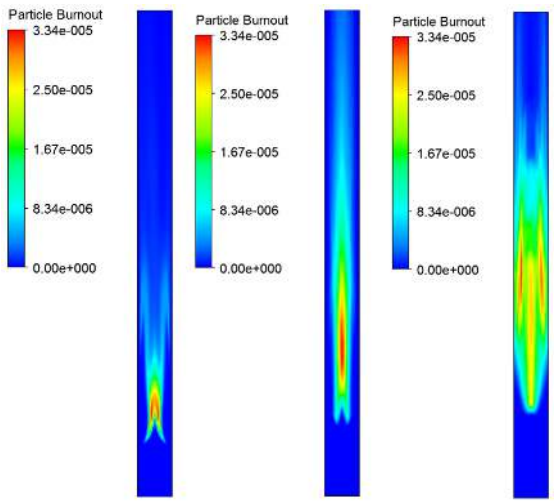
(3) ความเร็วของอากาศ 15 m/s

4.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 6 แสดงผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิงพบว่าก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งสามชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิงที่พ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ แต่สำหรับ CO มีอัตราการเกิดในปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดเชื้อเพลิง และ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศ และเมื่อพิจารณาอัตราการเผาไหม้ของเม็ดเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นจากภาพที่ 7 และ 8 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้จะเกิดการเผาไหม้ที่เป็นบริเวณที่กว้างและการเคลื่อนที่ของเม็ดเชื้อเพลิงก็มีความเป็นระเบียบมากขึ้นอันจะส่งผลให้การควบคุมประสิทธิภาพหรือการดูแลบำรุงรักษาห้องเผาไหม้ทำได้ง่ายขึ้นเพื่อลดการเกิดก๊าซ CO แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาดังกล่าวยังคงไม่คิดผลเนื่องจากการแผ่รังสี (Particle Radiation) จากการเผาไหม้สำหรับเม็ดเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการศึกษาต่อไปในอนาคต



รูปที่ 6 Mass Fraction ของ ก๊าซ CO_2, H_2O และ CO เมื่อเปลี่ยนความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิง

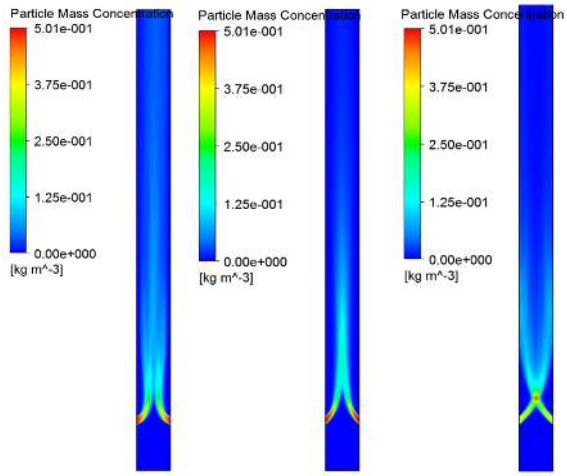


รูปที่ 7 ความเข้มข้นของการเผาไหม้เม็ดเชื้อเพลิงขนาดต่างๆ

(1) ความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิง 3 m/s

(2) ความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิง 6 m/s

(3) ความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิง 12 m/s



(1) (2) (3)

รูปที่ 8 ความเข้มข้นของเม็ดเชื้อเพลิง

(1) ความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิง 3 m/s

(2) ความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิง 6 m/s

(3) ความเร็วของเม็ดเชื้อเพลิง 12 m/s

5. สรุป

จากผลจากการศึกษาพบว่า ขนาดของเม็ดเชื้อเพลิง, ความเร็วของอากาศและเม็ดเชื้อเพลิง มีผลกับอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของส่วนประกอบทางเคมีของก๊าซที่ได้หลังเผาไหม้ เช่น ไอน้ำ (H2O), ก๊าซคาบอนมอนนอกไซด์ (CO), และ ก๊าซคาบอนไดออกไซด์ (CO_2) นอกจากนี้แล้วยังพบอีกว่าการไหลที่เป็นระเบียบรวมถึงการกระจายตัวของการเคลื่อนที่ของเม็ดเชื้อเพลิงมีผลกับก๊าซที่เกิดขึ้นโดยหากขนาดเฉลี่ยของเม็ดเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่ขึ้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องการอากาศไหลเข้าที่ความเร็วสูงหรือต้องพ่นเม็ดเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้ด้วยความเร็วที่มากพอสำหรับให้เม็ดเชื้อเพลิงเกิดการลอยตัวอยู่ได้เพื่อเริ่มปฏิกิริยาการเผาไหม้

สำหรับงานวิจัยในอนาคตจะพิจารณาการเกิดก๊าซต่างๆทุกชนิดที่เกิดขึ้นเพื่อพิจารณาอัตราการเกิดรวมถึงพิจารณาสมการความปั่นป่วนที่มีความซับซ้อนแบบสามมิติ ที่ขึ้นอยู่กับเวลา (LES : Large Eddy Simulation , SAS : Scale Adaptive Simulation เป็นต้น) เพื่อสามารถวิเคราะห์ผลให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นก่อนทำการสร้างชุดทดลองและสร้างระบบการเผาไหม้จริงในอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Ahmadi, W., Mehdizadeh, A., Chrigu, M., Sadiki, A., 2015. Numerical evaluation of unsteadiness in particle dispersion modeling. J. Fluids Eng. 137 (3). 034502-1– 034502-7.

[2] ANSYS Fluent 17.0, Theory guide, 2011

[3] B. Roy, S. Bhattacharya, Combustion of single char particles from Victorian brown coal under oxy-fuel fluidized bed conditions, Fuel 165 (2016) 477–483, http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.099.

[4] Chen, L., Ghoniem, A.F., 2012. Simulation of oxy-coal combustion in a 100 kWth test facility using RANS and LES: a validation study. Energy Fuels 26, 4783–4798

[5] Clements, A.G., Black, S., Szuhánszki, J., Ste ˛chły, K., Pranzitelli, A., Nimmo, W., Pourkashanian, M., 2015. LES and RANS of air

and oxy-coal combustion in a pilot-scale facility: Predictions of radiative heat transfer. Fuel 151, 146–155

[6] Fede, P., Simonin, O., Ingram, A., 2016. 3D numerical simulation of a lab-scale pressurized dense fluidized bed focussing on the effect of the particle–particle restitution coefficient and particle-wall boundary conditions. Chem. Eng. Sci. 142, 215–235"

[7] Fox, R.O., 2014. On multiphase turbulence models for collisional fluid-particle flows. J. Fluid Mech. 742, 368–424.

[8] H.I. Mathekga, B.O. Oboirien, B.C. North, A review of oxy-fuel combustion in fluidized bed reactors, Int. J. Energy Res. 40 (2016) 878–902, http://dx.doi.org/10.1002/er.3486.

[9] J. Brix, P.A. Jensen, A.D. Jensen, Modeling char conversion under suspension fired conditions in O2/N2 and O2/CO2 atmospheres, Fuel 90 (2011) 2224–2239, http:// dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.01.021

[10] J. Zhang, W. Prationo, L. Zhang, Z. Zhang, Computational fluid dynamics modeling on the air-firing and oxy-fuel combustion of dried Victorian brown coal, Energy Fuel 27 (2013) 4258–4269

[11] Klimanek A, Adamczyk W, Katelbach-Woz´niak A, We ˛cel G, Szle ˛k A. Towards a hybrid Eulerian-Lagrangian CFD modeling of coal gasification in a circulating fluidized bed reactor. Fuel 2015;152:131–7.

[12] P.E.A. Debiagi, G. Gentile, M. Pelucchi, A. Frassoldati, A. Cuoci, T. Faravelli, E.Ranzi, Detailed kinetic mechanism of gas-phase reactions of volatiles released from biomass pyrolysis, Biomass Bioenergy 93 (2016) 60–71.