

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

อิทธิพลของการลดอุณหภูมิผนัง และ Bluff body ต่อการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
ของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต
Effect of Furnace Wall Cooling and Bluff body of Calcium Carbonate Particle on
Sulfur Dioxide Absorption

กฤษฎา บุญศิริ^{1*} นิตินัย ปัญญาบุญกุล¹, ธนภัทร์ รักดีวรงค์² และจารุวัตร เจริญสุข²

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology, Bangkok, Thailand

² National Metal and Materials Technology Center, Pathumthani, Thailand

³ Department of Automotive Engineering, International College and

⁴ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's

Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand.

* Corresponding Author: E-mail: k.boonsiri@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของผนังและ bluff body ต่อปริมาณของ SO_2 ที่ลดลงในเตาเผาถ่านหิน โดยเตาเผามีลักษณะเป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.6 เมตร และ สูง 3.0 เมตร อุณหภูมิของผนังที่ระยะตามแนวแกน 0.12–1.53 เมตร ถูกรักษาไว้ให้คงที่ประมาณ 500 K เส้นผ่านศูนย์กลางของ CaCO_3 เท่ากับ 0.0096 เซนติเมตร ในกรณีนี้อนุภาคจะถูกฉีดจากทางผนังด้านบน ที่ระยะ 0.304 จากหัวเผา โดย bluff body ถูกสร้างไว้ที่ระยะ 0.64–0.75 เมตร จากหัวเผา และ ระยะ 0.225–0.3 เมตร จากแกนเตา จากผลการจำลองพบว่าอนุภาคถูกฉีดไปที่กระแสไหลวนภายนอก (ERZ) กระบวนการ Calcination ใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1.57×10^{-3} วินาที เนื่องจากบริเวณ ERZ จะเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า bluff body ทำให้อนุภาคสามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่หลุดออกจาก ERZ ทำให้ residence time ของอนุภาคสูงถึง 120 วินาที ปริมาณ SO_2 ที่สะสมได้เฉลี่ยอยู่ที่ 0.183 mg/30 mg Calcine เปอร์เซ็นต์การลดลงของ SO_2 ที่อัตราการป้อน CaCO_3 ที่ 0.05 kg/s และ 0.15 kg/s เท่ากับ 89% และ 94% ตามลำดับ

คำหลัก: Bluff body, Calcium Carbonate, Dry Absorption, Sulfur Dioxide

Abstract

This research studied the influence of wall temperature and bluff body with amount of SO_2 which reduce in coal burning stove. The stove is a cylindrical manner, 0.6 metre diameter and 3 m high. The wall temperature along the axis from 0.12-1.53 m is maintained constant around 500 K. The diameter of CaCO_3 is 0.0096 cm. In this case particles are injected from the top of the wall at 0.304 from burner. The bluff body is made at distant between 0.64-0.75 m from burner and distant between 0.225-0.3 m from burner axis. From the simulation found that particles was injected to ERZ. Calcination process takes time

around 1.57×10^{-3} seconds because ERZ area has temperature below bluff body. The particles can react continuously and don't flow out of ERZ which make the residence time of the particles up to 120 seconds. The amount of SO_2 collecting average is 0.183 mg/30 mg Calcine. The percentage of SO_2 reduction at 0.05 kg/s and 0.15 kg/s CaCO_3 entering rate is 89% and 94% as following.

Keywords: Bluff body, Calcium Carbonate, Dry Absorption, Sulfur Dioxide

1. บทนำ

การแพร่ของ SO_2 จากการเผาไหม้ของถ่านหินที่มีกำมะถันสูงในเตาเผา เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดฝนกรด ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งก่อสร้างต่างๆ อย่างไรก็ตามระบบกำจัด SO_2 ในก๊าซไอเสียมีค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการติดตั้งเข้ากับเตาเผา จากปัญหาดังกล่าวนักวิจัยจึงให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีในการควบคุม SO_2 ที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ ดังเช่น การฉีดหินปูนผงเข้าไปในเตาโดยตรงและเพิ่ม residence time ของอนุภาค CaCO_3 ซึ่งจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับ SO_2 จาก [7] พบว่า residence time CaCO_3 และอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อปริมาณ SO_2 ที่ดูดซับได้ ที่ผ่านมากการเปลี่ยนตำแหน่งทางเข้าของอนุภาค CaCO_3 ไม่สามารถเพิ่ม residence time ของอนุภาค CaCO_3 ในบริเวณที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ [1]

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงอยู่ภายใต้การลดของอุณหภูมิผนัง และ การใช้ Bluff body เพื่อเพิ่ม residence time ของอนุภาค CaCO_3 ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงแต่ไม่เกิน 1300 K ซึ่งก็คือการปรับปรุงประสิทธิภาพของการดูดซับ

2. สมการพื้นฐานของแบบจำลอง

2.1 สมการทางคณิตศาสตร์ของก๊าซ [9]

2.1.1 สมการความต่อเนื่อง

$$\text{div}(\rho \bar{U}) = \bar{S}_m \quad (1)$$

ρ คือ ความหนาแน่น, $\bar{U}$ คือ ความเร็วเฉลี่ย, $\bar{S}_m$ คือ Source term ของถ่ายเทมวลของอนุภาคและก๊าซ

2.1.2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัม

$$\text{div}(\rho \bar{U} \bar{u}_i) = \text{div}(\mu \text{grad} \bar{u}_i) + P_i + B_i + V_i + S_i \quad (2)$$

$\bar{u}_i$ คือ ความเร็วเฉลี่ย, P_i คือ pressure gradient, B_i คือ body force, V_i คือ viscous term, S_i คือการถ่ายโอนโมเมนตัมภายในปริมาตรควบคุมโดยอนุภาคของแข็ง โดยแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนคือ (k-ε Model) [9]

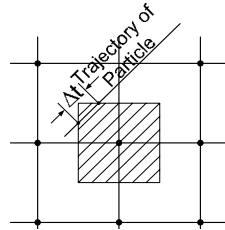
2.1.3 การเคลื่อนย้ายของสเกลลาร์

$$\text{div}(\rho \bar{U} \bar{\phi}) = \text{div}(D_{\text{eff}} \text{grad} \bar{\phi}) + S_{\phi} \quad (3)$$

$\bar{\phi}$ คือ ปริมาณสเกลลาร์ที่พิจารณาแต่ละปัญหา เช่น อุณหภูมิ, พลังงาน, ความเข้มข้น S_{ϕ} คือ Source term ที่เกิดหรือสลายตัวเนื่องจากการเผาไหม้, d_{eff} คือ conduction coefficient

2.2 แบบจำลองของอนุภาค

การกระจายตัวของอนุภาคใช้วิธี Lagrangian โดยสมมติว่าอนุภาคเป็นทรงกลมและความหนาแน่นคงที่ การถ่ายเทมวล, โมเมนตัม, และพลังงานของอนุภาคและก๊าซที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งอธิบายได้โดย Particle Source In Cell Techniques รูป (1) แสดงการกระจายตัวของอนุภาคเพื่อหาคำตอบสำหรับแต่ละตำแหน่งทางเข้าและแต่ละกลุ่มของขนาดอนุภาค



รูปที่ 1 การกระจายตัวของอนุภาคโดยวิธี Lagrangian

2.2.1 สมการอนุรักษ์มวล

$$\frac{dm_p}{dt} = R_m \quad (4)$$

R_m คืออัตราเชิงปริมาตรของมวลที่ออกจากอนุภาคสู่ก๊าซโดยการปลดปล่อยสารระเหยหรือซาร์ในระหว่างการเผาไหม้ และในแบบจำลองการดูดซึมจะถูกแทนด้วยการถ่ายเทมวลของอนุภาคแคลเซียมด้วยการปลดปล่อย CO_2 และดูดซึม SO_2

2.2.2 สมการอนุรักษ์โมเมนตัมและการเคลื่อนที่เฉลี่ย

$$\frac{dm_p \tilde{u}_i}{dt} = \sum \bar{F}_i \quad (5)$$

พจน์ทางด้านขวาเกิดจากแรงภายนอก ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากแรงจุดที่กระทำต่ออนุภาค [9] ดังนั้นสมการสมดุลโมเมนตัมคือ

$$\frac{d\tilde{u}_p}{dt} = -\alpha(\tilde{u}_p \pm u_{disp.} - \tilde{u}_g) \quad (6)$$

$$\frac{d\tilde{v}_p}{dt} = -\alpha(\tilde{v}_p \pm v_{disp.} - \tilde{v}_g) + \frac{\tilde{w}^2}{r_p} \quad (7)$$

$\tilde{u}_g, \tilde{u}_p$ คือความเร็วเฉลี่ยของก๊าซและอนุภาคตามลำดับ, r_p คือระยะจากแกนสมมาตรของอนุภาค

2.2.3 สมการอนุรักษ์พลังงาน

สมดุลพลังงานเกิดจากผลรวมการถ่ายเทความร้อนของอนุภาค ความร้อนจากการเผาไหม้ของซาร์

ความร้อนที่ปล่อยออกมากับการสูญเสียน้ำหนักของการเผาไหม้ซาร์ และความร้อนจากการระเหยในกระบวนการปลดปล่อยสารระเหย ดังนั้นสมการอนุรักษ์พลังงานคือ

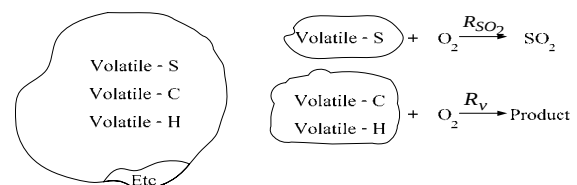
$$\frac{d(m_p c_p T_p)}{dt} = m_p \dot{Q}_t - c_p T_p \left(-\frac{dm_p}{dt} \right) - L_v \frac{dm_p}{dt} \quad (8)$$

$$\text{ซึ่ง} \quad \dot{Q}_t = \dot{Q}_{convec.} + \dot{Q}_{rad.} + \dot{Q}_{comb.} \quad (9)$$

L_v คือความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นก๊าซของถ่านหิน (kJ/kmol), c_p คือความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kmol-K), T_p คืออุณหภูมิ (K) โดยความร้อนของ Calcination และ Sulfation มีค่าน้อยมากละทิ้งได้ เมื่อเทียบกับความร้อนจากการเผาไหม้

2.3 แบบจำลองของออกไซด์ของกำมะถัน [2]

ถ่านหินเมื่อถูกทำให้ร้อนจะปลดปล่อยสารระเหยโดยส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปของแข็งและซีเถ้า จากรูปที่ 2 แบบจำลองใช้สมมุติฐานว่ากำมะถันในสารระเหยรวมตัวกับ O_2 เกิดเป็น SO_2 ทั้งหมด



รูปที่ 2 การเกิดออกไซด์ของกำมะถันของการเผาไหม้

อัตราการก่อตัวของ SO_2 นิยามได้ดังนี้คือ

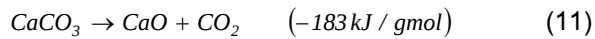
$$R_{\text{SO}_2} = x_s \cdot R_v \quad (10)$$

x_s คือสัดส่วนโดยมวลของกำมะถัน, R_v คืออัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารระเหย

2.4.แบบจำลองของกระบวนการ Calcination

[12], [13]

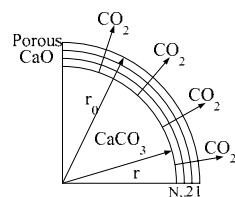
ปฏิกิริยาการสลายตัวของ CaCO_3 คือ



รูปที่ (3) แนวคิดของแบบจำลอง Calcination ในรูปแบบของแกนที่กำลังหดตัวสำหรับอนุภาคทรงกลม สมการของกระบวนการ Calcination คือ

$$\frac{dr}{dt} = -\frac{M}{\rho} R_D \quad (12)$$

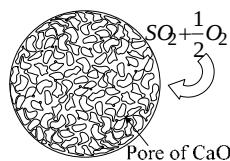
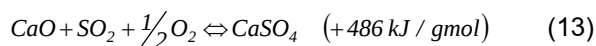
r คือรัศมีของแกน CaCO_3 ที่หดตัว (m), t คือเวลา (s), M คือน้ำหนักโมลของ CaCO_3 (kg), ρ คือความหนาแน่นของ CaCO_3 (kg/m^3), R_D คืออัตราการสลายตัว ($\text{kmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)



รูปที่ 3 แสดง Schematic Diagram ของ Calcination Model

2.5 แบบจำลองของกระบวนการ Sulfation [3], [8]

ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง CaO และ SO_2 คือ



รูปที่ 4 แบบจำลองกระบวนการ sulfation ในอนุภาค CaO

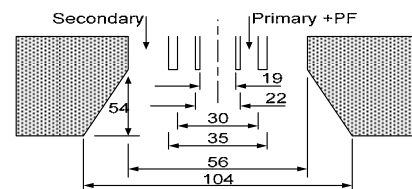
อัตราการเกิดปฏิกิริยานิยามได้ดังนี้คือ

$$r = \frac{1}{w} \frac{dn'}{dt} = r_0 e^{-\beta \frac{n'}{w}} e^{(-E/RT) + (E/RT_{ref})} \frac{C^m}{C_{ref}^m} \quad (14)$$

r_0 คืออัตราของปฏิกิริยาในสภาวะเริ่มต้น, w คือน้ำหนักเริ่มต้นของแคลเซียม (g), β เป็นตัวแปรที่ได้จากการทดลอง, n' คือปริมาณของซัลเฟตในอนุภาคของแข็งที่มีรูพรุน (g), E คือพลังงานกระตุ้น (cal/g), R คือค่าคงที่สากลของก๊าซ, T_{ref} คืออุณหภูมิอ้างอิง (1143 K) และ C_{ref} คือความเข้มข้นของ SO_2 ($2.9 \times 10^{-8} \text{ g}/\text{cm}^3$), m คืออันดับของปฏิกิริยา

3. ลักษณะห้องเผาไหม้ [9]

เตาเผาที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เมตร และ สูง 3.0 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเผา 0.056 เมตร รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างของหัวเผา Single Annular Orifice (SAO)



รูปที่ 5 โครงสร้างของหัวเผาในห้องเผาไหม้

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทำงานของเตา [15]

Central pipe:	
Air flow rate , kg/s	2.777×10^{-4}
Swirl number	0.0
อุณหภูมิ, K	353
อัตราการป้อนถ่านหิน, kg/s	0.39×10^{-2}
Primary pipe:	
Air flow rate , kg/s	8.833×10^{-3}
Swirl number	0.0
อุณหภูมิ, K	353

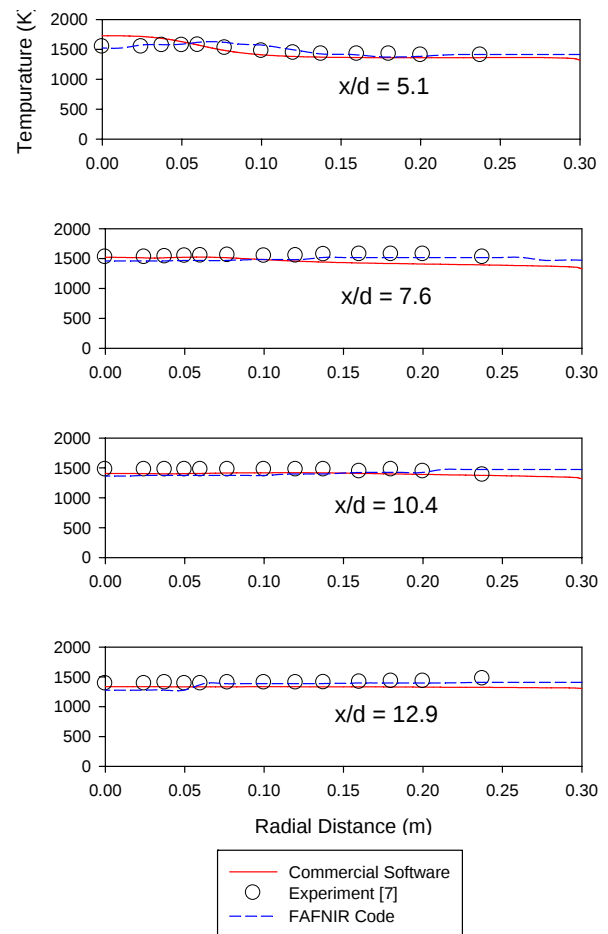
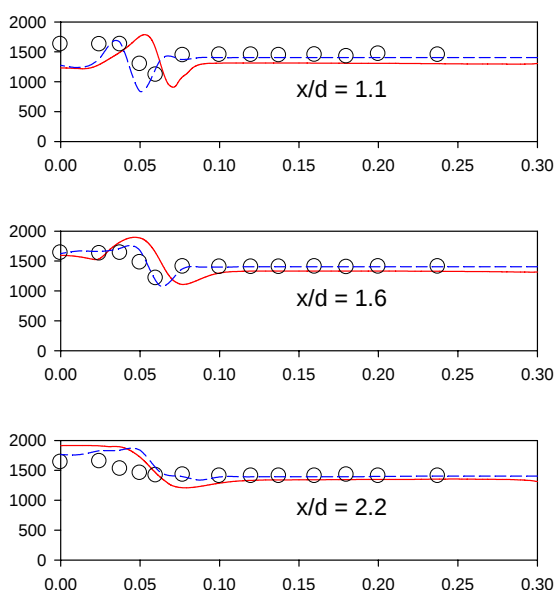
Secondary pipe:	
Air flow rate , kg/s	3.344×10^{-2}
Swirl number	1.03
อุณหภูมิ, K	573
อากาศส่วนเกินในการเผาไหม้, (%)	15

4. ผลการจำลองเชิงคำนวณและการวิเคราะห์

4.1 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการ

ทดลองการกระจายตัวของอุณหภูมิ

จากรูปที่ 6 พบว่าการทำนายกับการทดลองของอุณหภูมิมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีในช่วงกระแสไหลวนภายนอก (ERZ) และที่ระนาบ $x/d=5.1$, 7.6 , 10.4 และ 12.9 อุณหภูมิสูงสุดอยู่ในบริเวณกระแสไหลวนใกล้ทางออกของหัวเผา (IRZ) ซึ่งเป็นผลจากการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้สำหรับที่ระนาบ $x/d=1.1$, 1.6 และ 2.2 อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วที่บริเวณ 0.05 เมตร ตามแนวรัศมี ซึ่งเป็นผลมาจาก Secondary jet การทำนายการกระจายของอุณหภูมิแตกต่างจากการทดลองในกระแสการไหลความเร็วสูงที่ระยะประมาณ $0-0.07$ เมตร ที่ระนาบ $x/d=1.1-2.2$ สาเหตุมาจากความผิดพลาดของการทำนายการแพร่กระจายความร้อนในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน และการทำนายอัตราของปฏิกิริยาการเผาไหม้



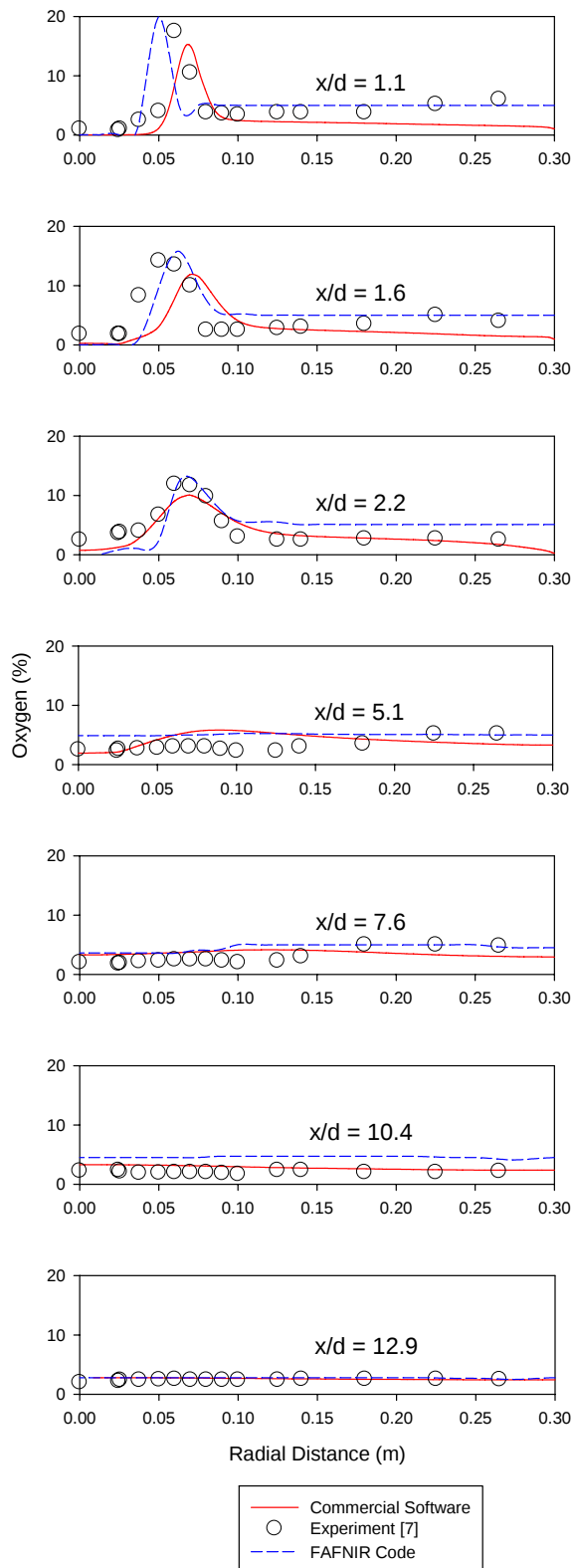
ผลการคำนวณกับผลการทดลองของการกระจายตัวของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

4.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการ

ทดลองการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจน

จากรูปที่ 7 ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ระนาบ $x/d=1.1$, 1.6 และ 2.2 ที่ระยะ $0-0.04$ เมตร ค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าต่ำกว่าการทดลอง ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการทำปฏิกิริยาและการเผาไหม้ของสารระเหยที่บริเวณ (IRZ) ที่ระนาบ $x/d=1.1$, 1.6 และ 2.2 ที่ระยะประมาณ $0.04-0.07$ เมตร ตามแนวรัศมี เป็นผลมาจาก Secondary jet โดยผลของแรงเหวี่ยงจากศูนย์กลาง การทำนายมีความผิดพลาดระดับหนึ่ง

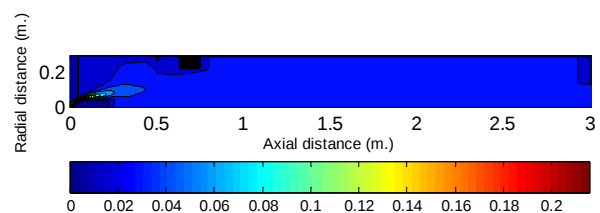
การเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน แบบจำลองการปลดปล่อยสารระเหย และแบบจำลองการเผาไหม้ สามารถนำไปใช้เพื่อจำลองการดูดซับ SO_2 จากการเผาไหม้ถ่านหินผงได้



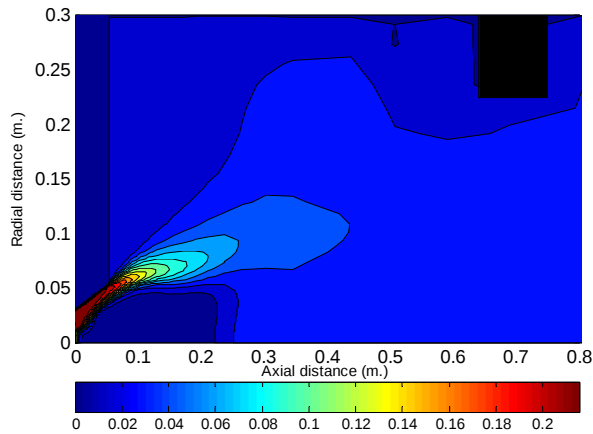
รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับผลการทดลอง
ของการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจน (Vol, %)

4.3 การจำลองการเผาไหม้ถ่านหินด้วยการลด อุณหภูมิผนัง และ bluff body (base case)

จาก [7] พบว่า residence time และอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อปริมาณ SO_2 ที่ดูดซับได้ ที่ผ่านมาการเปลี่ยนตำแหน่งทางเข้าของอนุภาค CaCO_3 ไม่สามารถเพิ่ม residence time ของอนุภาค CaCO_3 ในบริเวณที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ [1] ดังนั้นการวิจัยนี้จึงอยู่ภายใต้การลดลงของอุณหภูมิผนัง และการใช้ bluff body เพื่อเพิ่ม residence time ของอนุภาค CaCO_3 ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงแต่ไม่เกิน 1300 K ซึ่งก็คือการปรับปรุงประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยลดอุณหภูมิของผนังที่ระยะ 0.12–1.53 เมตรตามแนวแกน อนุรักษ์ไว้ที่ 500 K และได้มีการสร้าง Bluff body ไว้ตามเงื่อนไขดังตารางที่ 2 จากผลการจำลองโดยไม่ได้ฉีดอนุภาค CaCO_3 เข้าไปในเตา พบว่าการกระจายตัวของความเข้มข้นของออกซิเจนจะสูงอยู่ที่บริเวณทางเข้าดังรูปที่ 8 ขณะที่อุณหภูมิสูงสุดช่วง 0.1-0.19 เมตร ดังรูปที่ 9 และรูปที่ 10 แสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ SO_2 จะสูงสุดช่วง 0.09-0.14 เมตร ซึ่งสัมพันธ์กับการปลดปล่อยสารระเหยระหว่างเกิดการเผาไหม้ของถ่านหิน

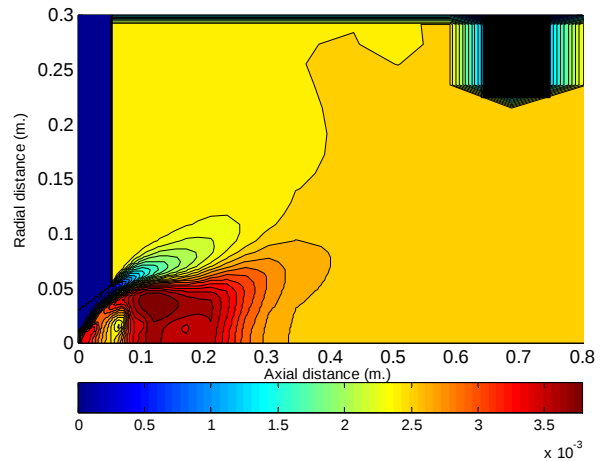


(a)



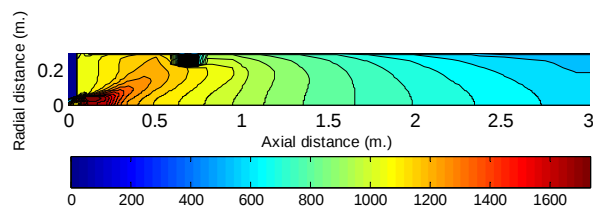
(b)

รูปที่ 8 การกระจายตัวของความเข้มข้นของ O_2 (a) ตลอดเตาเผา (b) ที่บริเวณใกล้หัวเผา (Mass fraction, %)

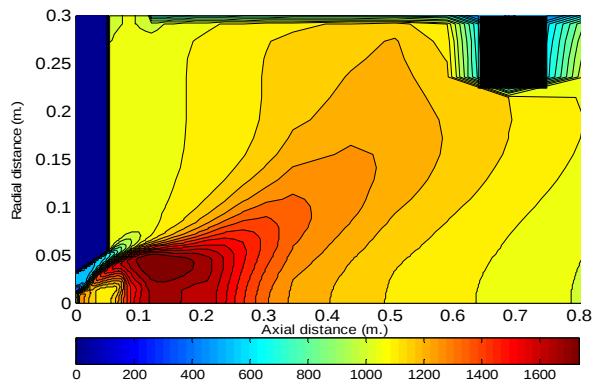


(b)

รูปที่ 10 การกระจายตัวของความเข้มข้นของ SO_2 (a) ตลอดเตาเผา (b) ที่บริเวณใกล้หัวเผา (Mass fraction, %)

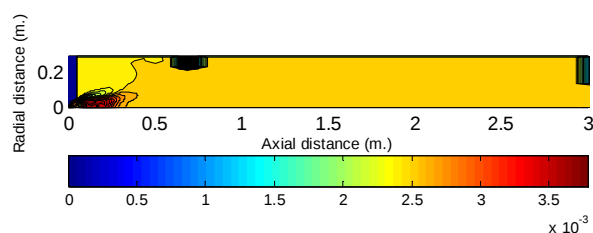


(a)



(b)

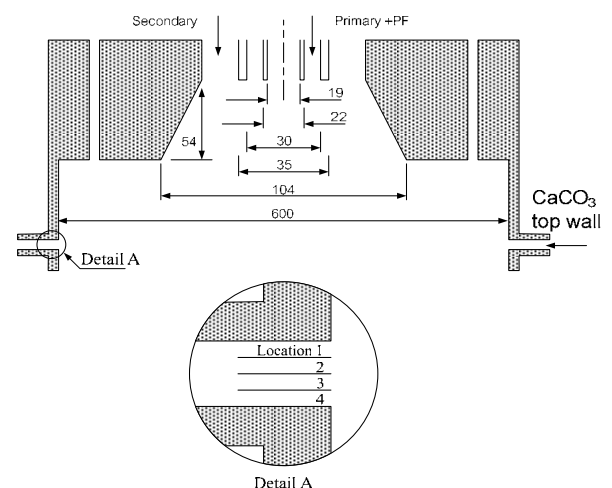
รูปที่ 9 การกระจายตัวของอุณหภูมิ (K) (a) ตลอดเตาเผา (b) ที่บริเวณใกล้หัวเผา



(a)

4.4 การจำลองเชิงคำนวณสำหรับการดูดซับภายใต้เงื่อนไขการลดอุณหภูมิผนัง และ Bluff body

การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของผนังและ Bluff body ต่อปริมาณของ SO_2 เงื่อนไขถูกแสดงในตารางที่ 2 กรณีนี้อนุภาคจะถูกฉีดจากทางผนังด้านบน ที่ระยะ 0.304 จากหัวเผา แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 โครงสร้างของหัวเผาและทางเข้าของ $CaCO_3$

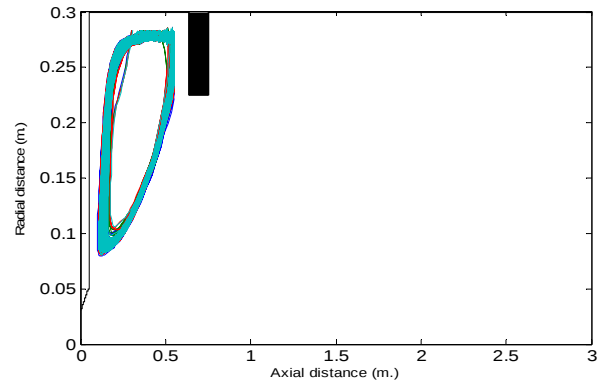
รูป 12 แสดงเส้นทางเดินของอนุภาคขนาด 0.0096 เซนติเมตร อนุภาคถูกฉีดไปที่กระแสไหลวนภายนอก (ERZ) ที่ตำแหน่ง 0.304 เมตร จาก

แนวแกนเตา อนุภาคถูกนำพาโดยความเร็วของก๊าซ ณ ตำแหน่งนั้น โดยจะวนอยู่ภายใน ERZ กระบวนการ calcination ใช้เฉลี่ยอยู่ที่ 1.57×10^{-3} วินาที อนุภาคสามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่หลุดออกจาก ERZ

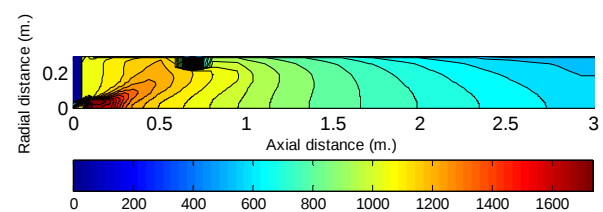
อิทธิพลนี้นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของ residence time ของอนุภาคภายใน ERZ ซึ่งสูงถึง 120 วินาที ปริมาณ SO_2 ที่สะสมได้เฉลี่ยอยู่ที่ 0.183 mg/30 mg calcine แสดงดังรูปที่ 15 จากรูป 16 เปอร์เซ็นต์การลดลงของ SO_2 ที่อัตราการป้อน CaCO_3 ที่ 0.05 kg/s เท่ากับ 89% เมื่อเพิ่มอัตราการป้อน CaCO_3 เป็น 0.15 kg/s ปริมาณ SO_2 ลดลง 94% รูปที่ 14 แสดงการกระจายตัวของความเข้มข้นของ SO_2 ซึ่งมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 10

ตาราง 2 เงื่อนไขที่ใช้ในการจำลอง

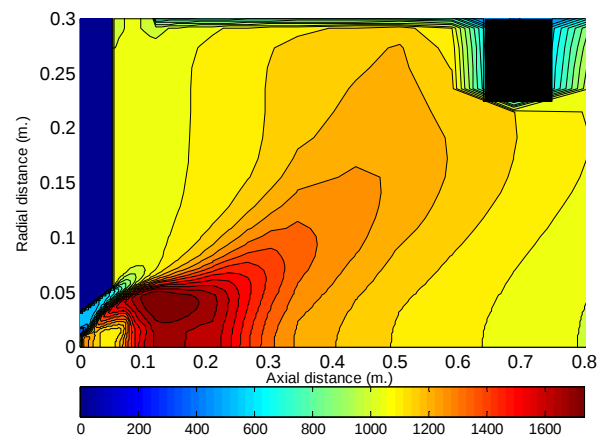
ความหนาแน่นของ CaCO_3 kg/m^3	2710
ความหนาแน่นของ CaO kg/m^3	1590
ขนาดของอนุภาค m	96×10^{-6}
อุณหภูมิของอนุภาค K	1143
อุณหภูมิของผนังด้านบน K	500
ตำแหน่งทางเข้า	ด้านบน
ระยะตามแนวแกน m	0.304
ระยะตามแนวรัศมี m	0.292
ตำแหน่งของ bluff body	
ระยะตามแนวแกน m	0.640 – 0.750
ระยะตามแนวรัศมี m	0.225 – 0.300
อัตราการไหล kg/s	0.050
ความเร็ว m/s	3.3818



รูปที่ 12 เส้นทางเดินของอนุภาค CaCO_3

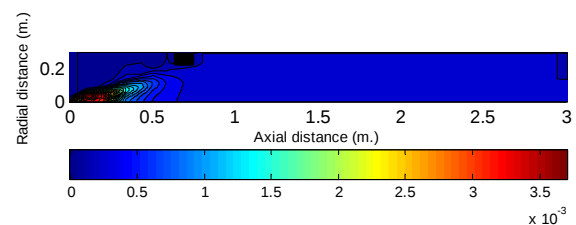


(a)

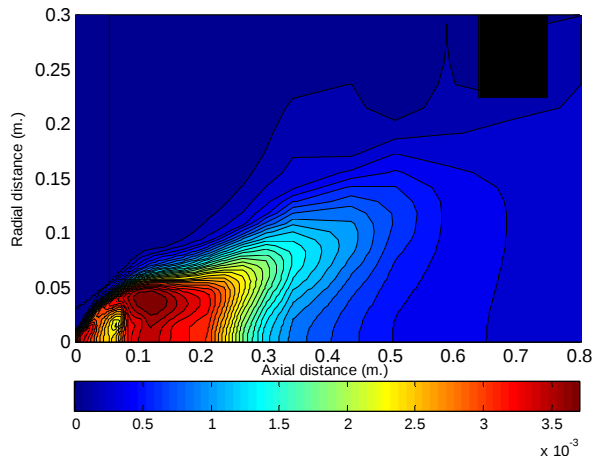


(b)

รูปที่ 13 การกระจายตัวของอุณหภูมิ (K) (a) ตลอดเตาเผา (b) ที่บริเวณใกล้หัวเผา

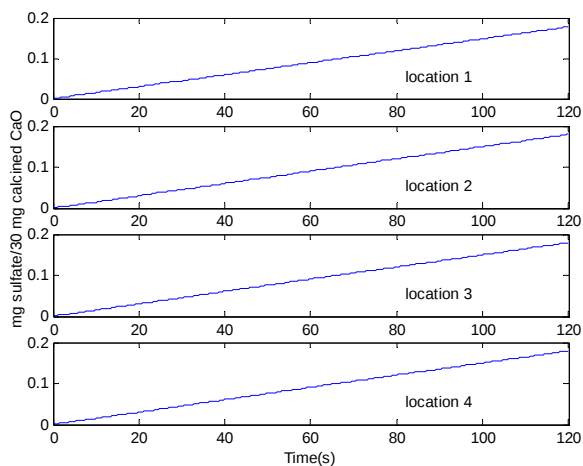


(a)

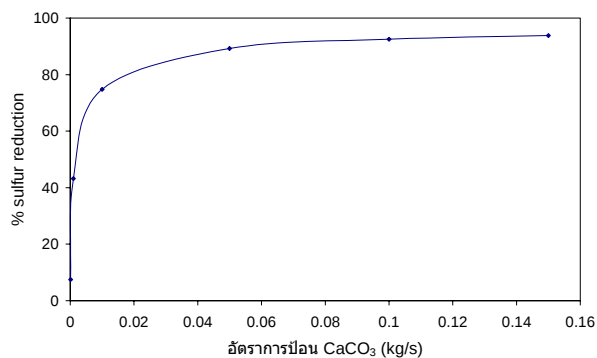


(b)

รูปที่ 14 การกระจายตัวของความเข้มข้นของ SO_2
(a) ตลอดเตาเผา (b) ที่บริเวณใกล้หัวเผา (Mass fraction, %)



รูปที่ 15 ปริมาณ SO_2 ที่สะสมสำหรับหินปูน 1351
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0096 cm



รูปที่ 16 เปอร์เซนต์ของ SO_2 ที่ลดลง เทียบกับ อัตรา
การป้อน CaCO_3 (kg/s)

5. สรุป

จากผลการจำลองพบว่าอนุภาคถูกฉีดไปที่ กระแสไหลวนภายนอก (ERZ) กระบวนการ Calcination ใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 1.57×10^{-3} วินาที เนื่องจากบริเวณ ERZ หลังจากรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 500 K จะเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ และ ผลของ Bluff body ต่อการถ่ายโอนโมเมนตัมภายในห้องเผาไหม้ส่งผลทำให้อนุภาคสามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่หลุดออกจาก ERZ ทำให้ residence time ของอนุภาคสูงถึง 120 วินาที ปริมาณ SO_2 ที่สะสมได้เฉลี่ยอยู่ที่ 0.183 mg/30 mg Calcine เปอร์เซนต์การลดลงของ SO_2 ที่อัตราการป้อน CaCO_3 ที่ 0.05 kg/s และ 0.15 kg/s เท่ากับ 89% และ 94% ตามลำดับ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] จารุวัตร เจริญสุข และ นิติชัย ปัญญ์บุศยกุล, “การจำลองผลของตำแหน่งฉีดต่อเส้นทางเดินอนุภาคในขบวนการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์,” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 17, ฉบับที่ 3, หน้า 109-114, กันยายน 2543.
- [2] จารุวัตร เจริญสุข และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์, “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเกิดออกไซด์ของกำมะถันจากการเผาไหม้ของถ่านหินผง,” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2, หน้า 24-29, มิถุนายน 2542.
- [3] จารุวัตร เจริญสุข และ วิภู ศรีสืบสาย, “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยแคลเซียมออกไซด์,” สัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลครั้งที่ 13 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 1-8, 2542.

- [4] นิตินัย ปัญญาบุศยกุล และ จารุวัตร เจริญสุข. ผลกระทบของ residence time ของอนุภาค แคลเซียมคาร์บอเนตต่อกระบวนการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, วิศวกรรมสารลาดกระบัง, ปีที่ 20, ฉบับที่ 3. กันยายน 2546, 84-89 น.
- [5] นิตินัย ปัญญาบุศยกุล และ จารุวัตร เจริญสุข. อิทธิพลของตำแหน่งฉีดอนุภาค CaCO_3 และ Bluff body ต่อ residence time ของกระบวนการดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, วิศวกรรมสารของสมาคมวิศวกรรมสารแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ “ฉบับวิจัยและพัฒนา”, ปีที่ 15, ฉบับที่ 1. มีนาคม 2547, 50-58 น
- [6] D.S. Geoffrey, C.K. John and W.P. David, “A Mathematical Model for the flash Calcination of Dispersed CaCO_3 and Ca(OH)_2 Particles,” Ind.Eng. Chem. Res., Vol.28, No.2., pp.155-160, 1989.
- [7] F.C. Lockwood, A.P. Salooja and S.A. Syed, “A Prediction Method for Coal Fired Furnaces,” Combustion and Flame. Vol.38. pp.1, 1980.
- [8] G.H. Newton, S.L. Chen and J.C. Kramlich, “Role of Porosity Loss in Limiting SO_2 Capture by Calcium Based Sorbents,” AIChE J. VOL.35, NO.6., pp.988-994, 1989.
- [9] J. Charoensuk, “The Application of Mathematical Model for Scaling Pulverized coal combustors,” Ph.D Thesis, University of London, 1996.
- [10] K. Tetsuo, “Flue Gas Desulfurization Technology,” Clean Coal Technology Seminar in Thailand, pp. 26-36, 1999.
- [11] R.H. Borgwardt, “Kinetics of the Reaction of SO_2 with Calcined Limestone,” AIChE J. Vol.4, No.1., pp.59-64, 1970.
- [12] N. Punbusayakul, J. Charoensuk and B. Fungtammasan. Modified sulfation model for simulation of pulverized coal combustion, International Journals “Energy Conversion & Management”, Volume 47, 2006, pp. 253-272
- [13] Punbusayakul N., Charoensuk J. and Fungtammasan B. A Modified Sulfation Model for Incorporation into a CFD Code for the Simulation of Multi-phase Reacting Flows, The Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE)”, JGSEE and Kyoto University, Hua Hin, Thailand, Volume 2, 1-3 December 2004, pp. 635-641.
- [14] S.M.A. Rizvi “Prediction of Flow, Combustion and Heat Transfer in Pulverized Coal Flames.” Ph.D. Thesis of University of London and the Diploma of Membership of the Imperial College. 1985.
- [15] T. Abbas “In-flame Measurement of N-Pollutant and Burnout in a Pulverised-Coal-Fired Furnace.”, Ph.D. Thesis of University of London and the Diploma of Membership of the Imperial College. 1993.
- [16] W. Sriseubsai, “Mathematical Model for the Adsorption of Sulfur Dioxide by Calcium Carbonate,” Master Thesis King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2000.