



ผลกระทบของกะลามะพร้าวขึ้นต่อการเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน

Effect of Coconut Shell Moisturizing on Combustion in Conical Swirling Fluidized Bed Combustor

รัชดาภรณ์ แก้วกล้า^{1*}, ทศวรรษ ไถ่ประยูร², ภูเบศร์ จันดี², สมิทธิ์ สุวรรณ²

Rachadaporn Kaewklum^{1*}, Tossawat Thaipayon², Phubed Jandee², Smith Suwan²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 10520

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี, 20131

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Chonburi, 20131

*Corresponding author: Tel: +662-329-8336, Fax: +662-329-8337, E-mail: kkachad@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของความชื้นเชื้อเพลิงต่อการเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน โดยใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง หัวกระจายลมแบบเกลียววงแหวนทำมุม 14° ในแนวนอน ถูกใช้เพื่อสร้างการเคลื่อนที่แบบหมุนวนภายในห้องเผาไหม้ เชื้อเพลิงถูกเพิ่มความชื้นโดยการสเปรย์น้ำ ความชื้นเชื้อเพลิงอยู่ระหว่าง 10-35% ทหารายขนาด 600–850 μm ถูกใช้เป็นเบด โดยเบดมีความสูง 20 cm เหนือหัวกระจายลม อัตราการป้อนเชื้อเพลิงคงที่ 45 kg h^{-1} โดยเปลี่ยนแปลงอากาศส่วนเกิน 40–100% จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิตามความสูงของเตาเมื่อวัดที่ด้านบนมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอและไม่ขึ้นกับอากาศส่วนเกิน แต่อุณหภูมิได้รับผลกระทบของความชื้นเชื้อเพลิงอย่างเห็นได้ชัด ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนมอนอกไซด์ลดลงอย่างมาก ตลอดความสูงของเตาในทุกๆ การทดลอง เนื่องจากผลกระทบของการฉีดอากาศทุติยภูมิจากหัวเผาเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ดังนั้น มลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนมอนอกไซด์ถูกพบว่ามีค่าน้อยมาก จากผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ในการเพิ่มความชื้นให้กับเชื้อเพลิงกะลามะพร้าว มลพิษไนโตรเจนมอนอกไซด์สามารถถูกทำให้ลดลงได้ อย่างไรก็ตาม มลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น แต่ขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศส่วนเกิน มลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วง 100-350 ppm และ 50-230 ppm สำหรับมลพิษไนโตรเจนมอนอกไซด์ในการเผาไหม้กะลามะพร้าวที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้น ประสพผลที่น่าพอใจ เนื่องจากประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ในช่วง 88-99%

คำสำคัญ: กะลามะพร้าว, ประสิทธิภาพการเผาไหม้, มลพิษ CO, มลพิษ NO, ความชื้น

Abstract

This work aimed to study the effects of fuel moisture on firing in conical swirling fluidized bed combustor by using shredded coconut shell as a fuel. Annular spiral distributor at 14 degree to horizontal axis was used to generate the swirled motion inside the combustor. The fuel was moisturized by spraying water to acquire fuel moisture content from 10-35%. Sand particle size of 600–850 μm was used as the inert bed material with 20 cm bed height. The fuel feed rate was fixed at 45 kg h^{-1} , for variable excess air (of 40–100%). The axial temperature profile in free board region were found to be rather uniform and independent of excess air but noticeably affected by the fuel moisture. CO and NO concentrations reduced drastically along the combustor height in all the test run affected by the injection of secondary air from the burner. Therefore, CO and NO emissions were at a quite low level. As revealed by experimental results, through moisturizing as-received coconut shell, NO emission could be reduced, however, CO emission increased, its depend on the excess air. CO emission were found about 100-350 ppm and 50-230 ppm for NO emission. Firing shredded coconut shell at the above fuel moistures could be achieved 88-99% combustion efficiency.

Keywords: Coconut shell, Combustion efficiency, CO emission, NO emission, Moisturizing

1 บทนำ

ปัจจุบันเรากำลังประสบปัญหาเรื่องพลังงาน เนื่องจากเชื้อเพลิงหลักที่เดิมมีการใช้งานกันมานาน คือ เชื้อเพลิงฟอสซิล กำลังเข้าสู่สภาวะขาดแคลน อีกทั้งมีราคาเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ไม่ว่าจะเป็นก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน หรือแม้กระทั่งถ่านหิน แต่สำหรับประเทศไทย เนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในประเทศ มีปริมาณที่น้อยลงมาก ทำให้ในการใช้งาน จะต้องนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศ เราจึงต้องหันมาพึ่งพาเชื้อเพลิงจากวัสดุทางการเกษตร หรือเชื้อเพลิงชีวมวล ถึงแม้ว่าจะเริ่มมีการนำมาใช้ในการผลิตพลังงานบ้างแล้ว เช่น แกลบ ชี้เลี้ยง แต่ศักยภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลก็ยังคงมีอยู่มาก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน) และไม่ได้มีการนำมาศึกษาทดลองอย่างจริงจังถึงผลกระทบและมลพิษที่เกิดขึ้น ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดได้ขึ้นชื่อว่าเป็นเทคโนโลยีที่ให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงกว่าเตาเผาแบบอื่นๆ (Natarajan et al., 1998; Werther et al., 2000) จากข้อมูลการทดลองพบว่า ในการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบด ประสิทธิภาพการเผาไหม้จะอยู่ในช่วง 81-99% แต่มลพิษค่อนข้างสูง (Permchart and Vladimir, 2004; Armesto et al., 2002; Fand et al., 2004) อีกทั้งชี้เลี้ยงที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลจะเกิดการหลอมละลาย ทำให้เกิดการรวมตัวกันของชี้เลี้ยงและเบดทำให้การฟลูอิดไธซ์เซชันอาจจะหยุดชะงัก เนื่องจากเบดมีอุณหภูมิสูง (Chirone et al., 2006; Thy et al., 2006 และ Chunjiang Yu et al., 2011) ซึ่งจะเป็นอุปสรรคต่อการเผาไหม้ ซึ่งถ้าเราสามารถลดมลพิษและลดอุณหภูมิลงได้

ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ก็จะลดความรุนแรงลงหรือหมดไป ซึ่งความท้าทายหนึ่งคือ การทำให้เบดและเชื้อเพลิงเกิดการเคลื่อนที่แบบหมุนวน เพื่อให้เวลาในการเผาไหม้นานขึ้น ได้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงขึ้นและมลพิษลดลง (Kaewklum and Kuprianov, 2009)

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองการเผาไหม้เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวนโดยเชื้อเพลิงมีความชื้นและเงื่อนไขในการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน โดยจะมุ่งเน้นที่การศึกษาผลกระทบของคุณสมบัติเชื้อเพลิงและอากาศส่วนเกินต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการเผาไหม้

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การติดตั้งอุปกรณ์

Figure 1 แสดงลักษณะของเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดทรงกรวยแบบหมุนวน โดยเตาเผาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ทรงกรวยด้านล่างสูง 0.9 m ทำมุมกรวย 40° เส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 0.9 m และเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่าง 0.25 m ส่วนที่ 2 ทรงกระบอกด้านบนเตา สูง 2.5 m เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 m ที่ผนังเตามีฉนวนซีเมนต์ทนไฟหนา 5 cm คลุมพื้นผิวเหล็ก และเช่นเดียวกับไนโซโคลนทรายขนาด 600–850 μm ถูกใช้เป็นเบดโดยมีความสูง 20 cm เหนือหัวกระจายลม หัวกระจายลมแบบเกลียววงแหวนที่ใบพัดทำมุม 14° กับแนวระดับถูกใช้ในการทำให้เกิดการหมุนวนภายในเตาเผา

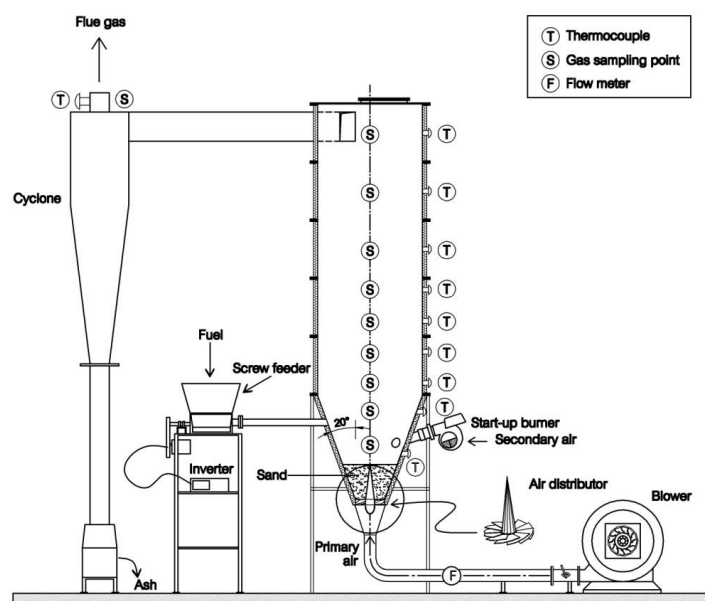


Figure 1 Schematic diagram of the experimental set-up with the conical swirling fluidized-bed combustor.

Table 1 Ultimate analysis (wt.%) and lower heating values (MJ kg⁻¹) of coconut shell used in this study (W = fuel moisture, A = fuel ash; LHV = lower heating value).

Test series No.	W	A	C	H	O	N	S	LHV
1	10.1	3.43	46.82	5.09	34.45	0.18	0.03	17.11
2	15.4	3.23	44.06	4.79	32.42	0.17	0.03	15.95
3	25.3	2.85	38.90	4.23	28.63	0.15	0.02	13.79
4	34.8	2.49	33.96	3.69	24.98	0.13	0.02	11.72

2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

กะลามะพร้าวถูกนำมาทำการบดย่อยและใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง โดยกะลามะพร้าวมีความชื้นเริ่มต้นที่ 10% (as received) ถูกนำมาเพิ่มความชื้นโดยการสเปรย์น้ำลงไป ทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 15, 25 และ 35% ตามลำดับ Table 1 แสดงการวิเคราะห์เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวแบบ ultimate และค่าความร้อนต่ำ (Lower heating value) ที่ได้ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นของเชื้อเพลิง (Basu et al., 2000)

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลอง จะทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงและเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน โดยทุกๆ การทดลองจะควบคุมอัตราการป้อนเชื้อเพลิงให้คงที่ 45 kg h⁻¹ และเปลี่ยนแปลงอากาศส่วนเกิน 40, 60, 80 และ 100% ก่อนการทดลอง เตรียมเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวให้มีความชื้นตามที่กำหนด ใช้หัวเผาดีเซลในการให้ความร้อนแก่เบตจนอุณหภูมิของเบตอยู่ระหว่าง 500–600°C จากนั้นจึงทำการดับหัวเผา พร้อมทั้งทำการป้อนเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวที่อัตราการป้อนที่กำหนด รอให้อุณหภูมิภายในเตาคงที่ จึงเริ่มทำการวัดปริมาณก๊าซ O₂ ที่บริเวณทางออกของไซโคลน และปรับวาล์วปีกผีเสื้อบริเวณด้านหน้าพัดลม เพื่อให้ได้ปริมาณก๊าซ O₂ สำหรับอากาศส่วนเกิน 40% จากนั้นทำการวัดความเข้มข้นของก๊าซภายในเตาและที่บริเวณทางออกของไซโคลน (O₂, CO และ NO) พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างซีเถ้าลอยจากห้องเก็บเถ้าที่ด้านล่างของไซโคลน เพื่อนำมาวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียจากปริมาณคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ จากนั้นปรับอากาศส่วนเกินเป็น 60, 80 และ 100% ตามลำดับ

3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

จากการศึกษาพฤติกรรมเผาไหม้และประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกะลามะพร้าว โดยเพิ่มความชื้นให้กับเชื้อเพลิง ซึ่งได้

พิจารณาพฤติกรรมเผาไหม้ ด้วยโปรไฟล์ของอุณหภูมิและก๊าซเผาไหม้ภายในแนวกึ่งกลางเตาและแนวรัศมีเตาที่ระดับความสูงต่างๆ ของเตา

3.1 ผลกระทบของความชื้นต่ออุณหภูมิ และความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนในเตาเผา SFBC

Figure 2 แสดงผลกระทบของความชื้นเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวต่ออุณหภูมิ และก๊าซออกซิเจน ภายในเตาเผาฟลูอิดเบดทรงกรวยแบบหมุนวน ตามความสูงของเตา เมื่อทำการทดลองที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 45 kg h⁻¹ สำหรับอากาศส่วนเกิน 40% จาก Figure 2a ความชื้นในเชื้อเพลิงทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผาผลลดลงอย่างเห็นได้ชัด อุณหภูมิด้านบนเตาเผาเหนือโซนของเบตจะค่อนข้างคงที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก อากาศส่วนเกินแทบจะไม่มีผลต่ออุณหภูมิเผาไหม้ที่เกิดขึ้น จากการทดลอง เมื่ออากาศส่วนเกินเพิ่มจาก 40% เป็น 80%

สำหรับที่ความสูง 0.74 m เหนือหัวกระจายลม จะเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดในเตา เนื่องจากเป็นตำแหน่งใกล้กับ screw feeder ส่วนที่ความสูงประมาณ 1 m (จาก Figure 2a) จะพบว่าอุณหภูมิจะมีค่าลดลง เนื่องจากที่จุดดังกล่าวมีการจ่ายอากาศทุติยภูมิเข้าสู่เตาเผาผ่านหัวเผา ทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผาผลลดลงประมาณ 100°C เมื่อความชื้นของเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้นจาก 10 ถึง 35% อุณหภูมิภายในเตาเผาผลลดลงประมาณ 300°C

ผลกระทบของความชื้นเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวต่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน ตลอดความสูงของเตาเผาฟลูอิดเบดทรงกรวยแบบหมุนวน แสดงใน Figure 2b ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความชื้นในเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวเพียงเล็กน้อย แต่จะขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศส่วนเกินอย่างเห็นได้ชัด ถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินเพิ่มสูงขึ้น ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนก็สูงขึ้นเช่นกัน

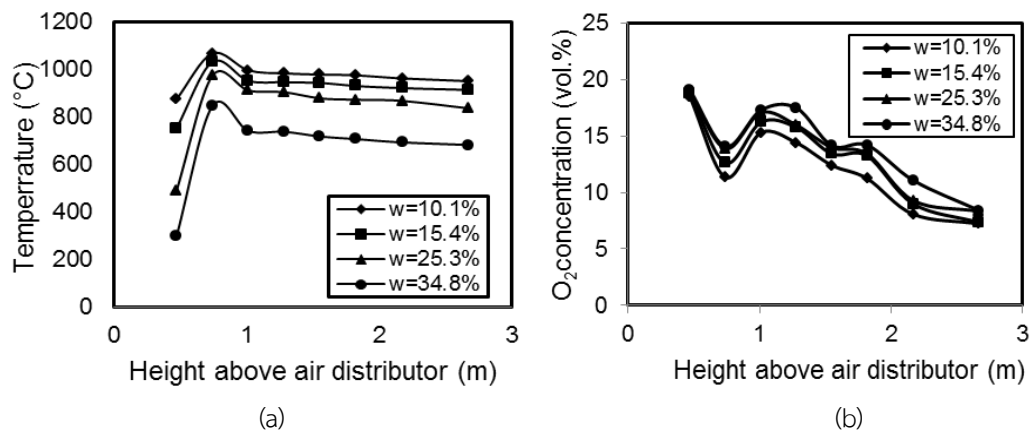


Figure 2 Axial temperature (a) and O₂ concentraton (b) profiles in the conical SFBC firing 45 kg h⁻¹ coconut shell with variable fuel-moisture content at excess air of about 40%.

3.2 การฟอร์มตัวและการลดลงของก๊าซมลพิษ

Figure 3 แสดงผลกระทบของความชื้นเชื้อเพลิงและปริมาณอากาศส่วนเกินต่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนมอนอกไซด์ ตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดเบดทรงกรวยแบบหมุนวน ที่ตำแหน่งและเงื่อนไขในการทดลองเช่นเดียวกับ Figure 2

จาก Figure 3a สามารถแบ่งเตาเผาออกได้เป็น 4 ส่วน ในเตาเผาส่วนแรก ได้แก่ ที่ความสูง 0 < Z < 0.8 m เหนือหัวกระจายลม เป็นบริเวณที่มีเบดและเชื้อเพลิงอยู่หนาแน่น การฟอร์มตัวของคาร์บอนมอนอกไซด์จะเกิดขึ้นสูงที่สุดภายในเตา และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีความเข้มข้นมากอย่างเห็นได้ชัด เมื่อทำการทดลองที่ความชื้น 25-35% ทั้งอากาศส่วนเกิน 40 และ 80% เตาเผาส่วนที่สอง ที่ความสูง 0.8 < Z < 1 m เป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบของอากาศหุดิยภูมิจากหัวเผา ความเข้มข้นของก๊าซ

คาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงอย่างรุนแรงในทุกๆ การทดลอง ส่วนบริเวณด้านบนของเตาเผาที่ความสูง 1.5 < Z < 1.8 m ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในบริเวณนี้จะยังคงมีอยู่เล็กน้อยในบางการทดลอง เนื่องจากในบริเวณดังกล่าวยังคงมีถ่านคาร์บอน (char C) หลงเหลืออยู่ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของถ่านคาร์บอนส่วนสุดท้ายของเตาเผา ที่ความสูง Z > 1.8 m ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากปฏิกิริยาเอกพันธ์ (homogeneous reaction) ของคาร์บอนมอนอกไซด์กับออกซิเจน ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่สูงขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงมีความชื้นมากขึ้น สามารถอธิบายได้จาก (1) อุณหภูมิของเบดลดลง ซึ่งทำให้การเกิดออกซิเดชัน CO/CO₂ ของถ่านคาร์บอนเพิ่มขึ้น (2) เพิ่มอัตราการเกิดออกซิเดชันของถ่านคาร์บอนที่เปียก เกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้น

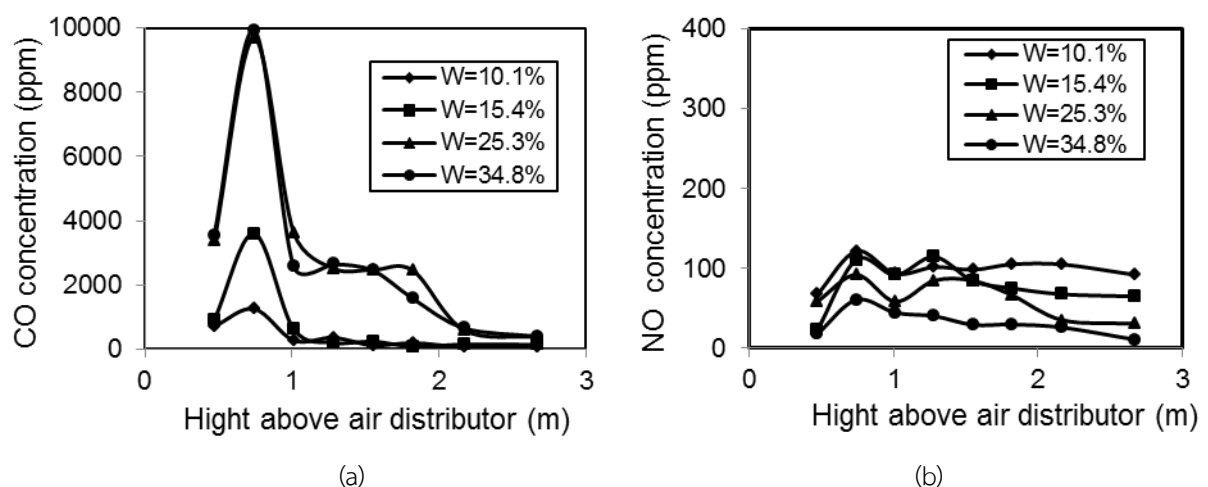


Figure 3 Axial CO (a) and NO concentraton (b) profiles in the conical SFBC firing 45 kg h⁻¹ coconut shell with variable fuel-moisture content at excess air of about 40%.

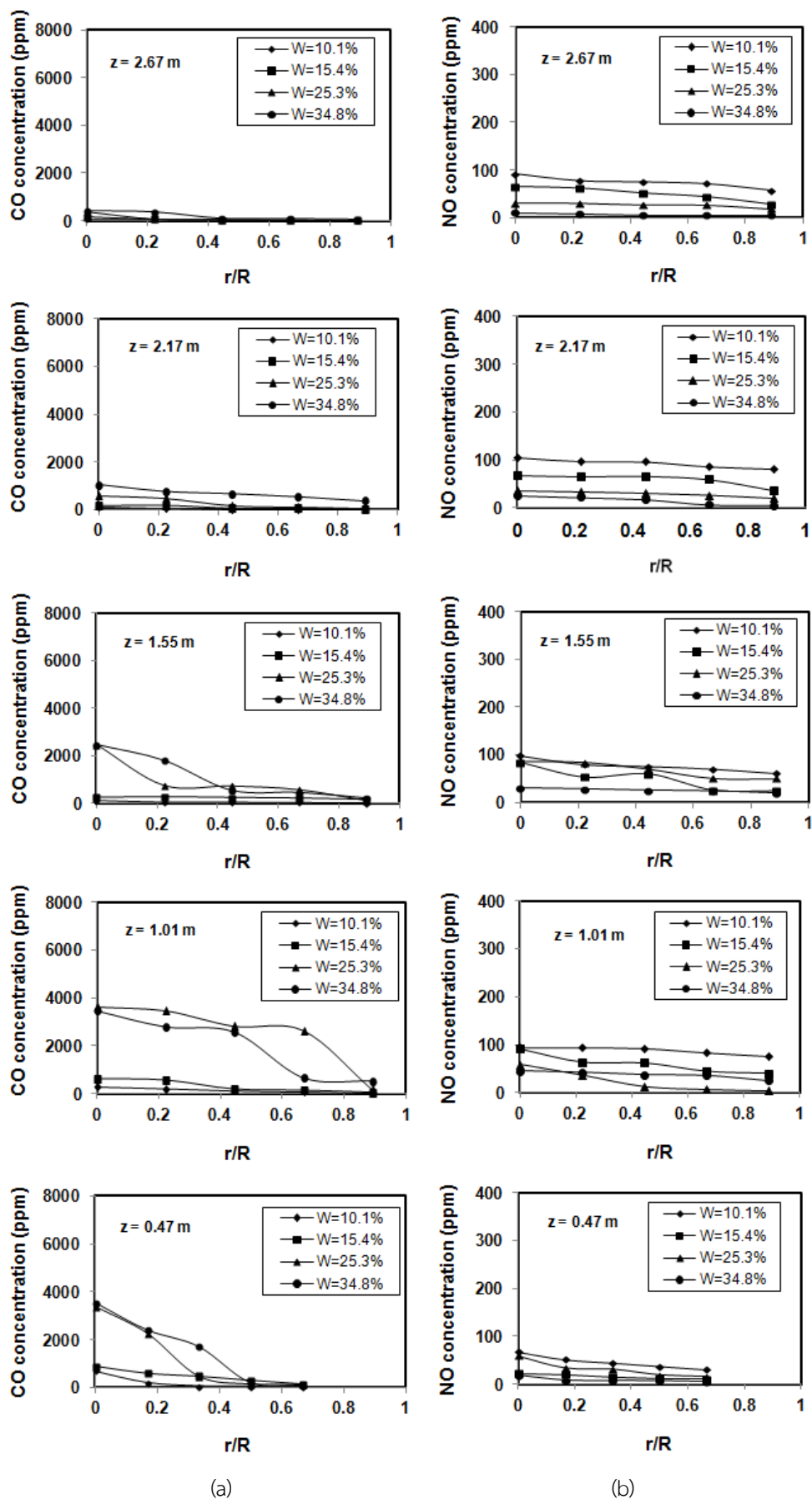


Figure 4 Effects of the fuel-moisture content on the radial CO (a) and NO concentration (b) profiles at different levels in the conical SFBC for excess air of 40%.

เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ในเตาเผาฟลูอิดเบดทรงกรวยแบบหมุนวนตามความสูงของเตา (แสดงใน Figure 3b) สำหรับที่อากาศส่วนเกิน 40% ความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ได้รับผลกระทบของความชื้นเชื้อเพลิงด้วยเช่นกัน โดยความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ลดลงเมื่อเชื้อเพลิงมีความชื้นมากขึ้นและอากาศส่วนเกินมากขึ้น การฟอร์มตัวของไนโตรเจนมอนอกไซด์เกิดจาก ในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล จะมีกลไก fuel-NO mechanism ซึ่งจะเกิดการฟอร์มตัวจาก (1) การทำปฏิกิริยาขององค์ประกอบไนโตรเจนที่ถูกปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิงร่วมกับสารระเหย เช่น ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) และ แอมโมเนีย (NH_3) และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไนโตรเจนในเชื้อเพลิงในถ่าน ซึ่งไนโตรเจนมอนอกไซด์สามารถถูกทำให้ลดลงได้จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง ไนโตรเจนมอนอกไซด์กับแอมโมเนีย หรือกับคาร์บอนมอนอกไซด์ บนผิวของถ่าน (char surface)

Figure 4 แสดงความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนมอนอกไซด์ตามแนวรัศมีของเตาที่ระดับความสูงต่างๆ เหนือหัวกระจายลมสำหรับอากาศส่วนเกิน 40% ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 45 kg h^{-1} เมื่อความชื้นเชื้อเพลิงกะลามาจะพบว่าแตกต่างกัน เช่นเดียวกับ figure 3 เมื่อความชื้นเชื้อเพลิงมากขึ้นส่งผลต่อการฟอร์มตัวของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้น โดยจะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดในบริเวณที่อากาศสดุดิถูกจ่ายเข้าเตาเผา ตรงกันข้ามกับก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ที่มีค่าลดลงเมื่อเชื้อเพลิงมีความชื้นเพิ่มขึ้น และจากผลกระทบของรูปแบบการหมุนวนของเตาเผาฟลูอิดเบดนี้ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนมอนอกไซด์ที่ตรงกลางเตามีค่าสูงกว่าที่ผนังเตาอย่างเห็นได้ชัดที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากบริเวณกลางเตามีอัตราการเกิด (1) การแตกสารถะเหย (fuel devolatilization) (2) ถ่านคาร์บอน และสารระเหย

NH_3 เกิดทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่บริเวณกลางเตามีสูงกว่าที่ผนังเตา

3.3 การปล่อยก๊าซมลพิษ

Figure 5 แสดงมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จากเตาเผาฟลูอิดเบดทรงกรวยแบบหมุนวน ที่อัตราการป้อน 45 kg h^{-1} ในช่วงการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอากาศส่วนเกินที่ทดลอง พบว่ามลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนมอนอกไซด์มีค่าไม่มากนัก (น้อยกว่า 350 ppm) ซึ่งเกิดจากการจ่ายอากาศสดุดิเข้าสู่บริเวณที่คาร์บอนมอนอกไซด์เกิดการฟอร์มตัวพอดี มลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ได้รับอิทธิพลจากปริมาณอากาศส่วนเกินมาก เช่นเดียวกับความชื้นเชื้อเพลิง แต่ผลกระทบจะไม่รุนแรงเท่าปริมาณอากาศส่วนเกิน ตรงกันข้ามมลพิษไนโตรเจนมอนอกไซด์จะได้รับอิทธิพลจากความชื้นเชื้อเพลิงมากกว่าผลกระทบจากปริมาณอากาศส่วนเกิน

3.4 ประสิทธิภาพการเผาไหม้

Table 2 แสดงคาร์บอนที่ยังถูกเผาไหม้ในชี้ถ่านลอยและมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ทางออกไซโคลน) และความร้อนที่สูญเสียจากการเผาไหม้ ความร้อนสูญเสียจากคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้ และความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

ความร้อนสูญเสียจากคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้จะมีมากขึ้นเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงสูงขึ้น และจะเห็นผลชัดเจนเมื่อเชื้อเพลิงมีความชื้นมากกว่า 25% และอากาศส่วนเกิน 80% ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากที่ความชื้นดังกล่าว อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทำให้การแตกสารถะเหยเป็นไปไม่ได้ไม่เท่าที่ควร ซึ่งผลกระทบนี้จะเกิดขึ้นกับความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ด้วยเช่นกัน

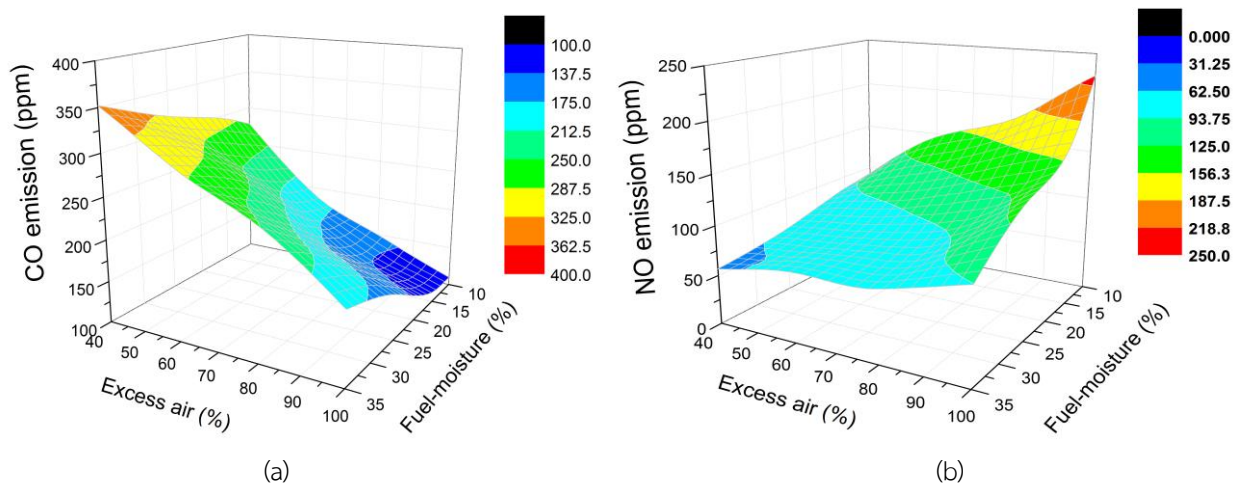


Figure 5 Effects of the fuel moisture and excess air on the CO (a) and NO (b) emissions from the conical SFBC firing coconut shell at the 45 kg h^{-1} feed rate.

Table 2 Heat losses and combustion efficiency (LHV%) for the conical SFBC firing coconut shell at 45 kg h⁻¹ and different values of excess air for the selected fuel moistures.

Fuel moisture (wt.%)	Excess air (%)	Heat loss owing to unburned carbon (%)	Heat loss owing to incomplete combustion (%)	Combustion efficiency (%)
10.1	40	1.71	0.12	98.17
	80	0.78	0.08	99.14
15.4	40	4.92	0.13	94.96
	80	2.57	0.08	97.35
25.3	40	5.02	0.14	94.84
	80	11.65	0.10	88.24
34.8	40	1.81	0.16	98.03
	80	10.71	0.14	89.16

ประสิทธิภาพการเผาไหม้จากเตาเผาฟลูอิดเบดทรงกรวยแบบหมุนวนเมื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอากาศส่วนเกิน พบว่าประสิทธิภาพจะมีค่าอยู่ 88-99% ขึ้นอยู่กับอากาศส่วนเกินและความชื้น

4 สรุปผลการทดลอง

เตาเผาฟลูอิดเบดทรงกรวยแบบหมุนวนเมื่อทำการทดสอบการเผาไหม้เชื้อเพลิงกะลามะพร้าว ที่อัตราการป้อน 45 kg h⁻¹ โดยมีความชื้นเชื้อเพลิงและเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกินที่แตกต่างกัน สามารถลดการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ได้อย่างดี

ข้อสรุปดังต่อไปนี้มาจากการทำงานวิจัยที่ดำเนินการ ได้แก่

ในการเพิ่มความชื้นเชื้อเพลิงโดยการสเปรย์น้ำในกะลามะพร้าว asreceived อุณหภูมิของเบดสามารถถูกทำให้ลดลงได้ (ประมาณ 300°C) ซึ่งนำไปสู่การลดลงของมลพิษไนโตรเจนมอนอกไซด์ และการลดลงของปัญหาการเกาะตัวกันของซีเถ้าภายในเตาเผาได้

อากาศส่วนเกินมีผลกระทบต่ออุณหภูมิในเตาเผาเพียงเล็กน้อย

การจ่ายอากาศทุติยภูมิเข้าสู่โซนเผาไหม้ทำให้เห็นผลกระทบต่อความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและรวมถึงการฟอร์มตัวและการลดลงของความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนมอนอกไซด์ ซึ่งการฟอร์มตัวของก๊าซเหล่านี้จะอยู่ในบริเวณเบดที่ด้านล่างของเตาเผาซึ่งเป็นโซนของการเผาไหม้และถูกทำให้ความเข้มข้นลดลงจากอากาศทุติยภูมิ

เมื่อทำการเผาไหม้เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวที่อากาศส่วนเกิน 40-100% มลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์จากเตาเผาฟลูอิดเบด ทรงกรวยแบบหมุนวน สามารถถูกควบคุมให้อยู่ในปริมาณมลพิษไม่รุนแรง 100-350 ppm ในขณะที่มลพิษไนโตรเจนมอนอกไซด์จากเตาเผาไหม้

อยู่ในระดับปานกลาง และที่ความชื้นสูงที่สุดที่ทำการทดสอบ 35% มลพิษไนโตรเจนมอนอกไซด์ลดลงเหลือแค่ 50-100 ppm ประสิทธิภาพการเผาไหม้ค่อนข้างสูง 88-99% โดยประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีที่สุดและมลพิษที่น้อยที่สุด ประสบความสำเร็จจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงกะลามะพร้าวที่มีความชื้น 15-20% และอากาศส่วนเกิน 40-50%

5 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ในโครงการทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ (สกว. ร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา) ที่ได้อนุเคราะห์งบประมาณในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย 2555. แหล่งข้อมูล: http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/Alternative_1012/thailand%20alternative%20energy%20situation%202012.pdf. เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2556.
- Armesto, L., Bahillo, A., Veijonen, K., Cabanillas, A., Otero, J. 2002. Combustion Behaviour of Rice Husk in a Bubbling Fluidised Bed. Biomass and Bioenergy 23, 171–179.
- Basu, P., Cen, K.F., Jestin, L. 2000. Boilers and Burners. Springer, New York, USA.
- Chirone, R., Micco, F., Scala, F. 2006. Mechanism and prediction of bed agglomeration during fluidized bed

- combustion of a biomass fuel: Effect of the reactor scale.
Chemical Engineering Journal 123, 71–80
- Fang, M., Yang, L., Chen, G., Shi, Z., Luo, Z., Cen, K. 2004.
Experimental Study on Rice Husk Combustion in a
Circulating Fluidized Bed. Fuel Processing Technology 85,
1273–1282.
- Kaewklum, R., Kuprianov, V.I. 2009. Experimental studies on
a novel swirling fluidized-bed combustor using an
annular spiral air distributor. Fuel 89, 43–52.
- Natarajan, E., Nordin, A., Rso, A.N. 1998. Overview of
combustion and gasification of rice husk in fluidized bed
reactors. Biomass and Bioenergy 14, 533-546.
- Permchart, W., Kouprianov, V.I. 2004. Emission Performance
and Combustion Efficiency of a Conical Fluidized-Bed
Combustion Firing Various Biomass Fuels. Bioresource
Technology 92, 83–91.
- Thy, P., Jenkins, B.M., Williams, R.B., Leshner, C.E., Bakker, R.R.
2010. Bed agglomeration in fluidized combustor fueled
by wood and rice straw blends. Fuel processing
Technology 91, 1464–1485.
- Werther, J., Saenger, M., Hartge, E.U., Ogada, T., Siagi, Z. 2000.
Combustion of Agricultural residues. Progress in Energy
and Combustion Science 26, 1–27.
- Yu Chunjiang, et al. 2011. Experimental research on
agglomeration in straw-fired fluidized beds. State Key
Laboratory of Clean Energy Utilization, Zhejiang University.