

การลดปริมาณแก๊สไนตริกออกไซด์เมื่อเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันในเตาเผา ฟลูอิดไคซ์เบดโดยใช้เทคนิคการป้อนเชื้อเพลิงเป็นขั้น

NO Reduction from a Fluidized-bed Combustor Firing Sunflower Shells by Fuel-staged Combustion Technique

เกษมา ศิริสมบูรณ์* และพงษ์ศักดิ์ เหลลาทอง

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

*ติดต่อ: kasama_jan@yahoo.com, 0-3425-9025, 0-3421-9367

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบผลของการลดปริมาณแก๊สไนตริกออกไซด์เมื่อเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันกับเชื้อเพลิงทุติยภูมิ 2 ชนิด คือ 1) แก๊ส LPG และ 2) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา ในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดทรงกรวยชนิดฟองอากาศทุกกรณีศึกษาใช้ค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนรวมคงที่ 230 kW_h ที่สภาวะการทดลองที่อัตราส่วนพลังงานเชื้อเพลิงทุติยภูมิ 0.06, 0.11, 0.16 และ 0.22 ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20–80% จากผลการทดลองโดยใช้ LPG และขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิพบว่า มีแนวโน้มในทางเดียวกันคือ การเพิ่มอัตราส่วนพลังงานของเชื้อเพลิงทุติยภูมิทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผาที่บริเวณใกล้กับตำแหน่งในการป้อนเชื้อเพลิงทุติยภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สไนตริกออกไซด์มีปริมาณที่ต่ำลงและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินส่งผลให้ปริมาณแก๊สไนตริกออกไซด์มีปริมาณสูงขึ้นในขณะที่แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มที่ลดลง ตลอดช่วงสภาวะในการทดลองพบว่า การใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิสามารถลดปริมาณแก๊สไนตริกออกไซด์ได้ในปริมาณที่มากกว่าขี้เลื่อยไม้ยางพารา

คำหลัก: การเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบเป็นขั้น, เชื้อเพลิงชีวมวล, เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด

Abstract

This paper reports a comparative study on co-firing of sunflower shells as a primary fuel and used 1) LPG and 2) rubberwood sawdust as secondary fuels, with the aim at minimizing nitric oxide from a bubbling fluidized bed combustor. All experiments at tests were performed at the fixed combustor heat input of 230 kW_h while the excess air and energy fraction of secondary fuel were varied from 20% to 80% and at 0.06, 0.11, 0.16, 0.22, respectively. The obtained results from both case studies indicated that, for the increasing of secondary fuel energy fraction, the temperatures inside the combustor were higher at the location vicinity of secondary fuel supply, while NO emission could be reduced at the higher value of CO emission. With increasing excess air, the NO emission was found to be increased; however, the CO

AEC-114

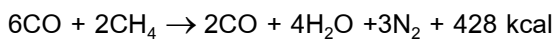
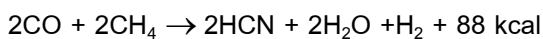
emission was relatively low. For the ranged of experimental operating conditions, it can be concluded that NO emission can be greater reduced for the case of using LPG.

Keyword: Fuel-staging combustion, Biomass fuel, Fluidized bed combustor

1. บทนำ

ปัจจุบันเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลให้เป็นพลังงาน โดยงานวิจัยด้านการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาฟลูอิดไคซ์เบดจะศึกษาผลกระทบของสภาวะในการเผาไหม้ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และการปลดปล่อยแก๊สมลพิษ (CO และ NO) โดยเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดสามารถลดปัญหาการปลดปล่อยแก๊สมลพิษได้เป็นอย่างดี [1-4] ปริมาณแก๊สมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดจะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง (คุณสมบัติของเชื้อเพลิง) และสภาวะในการเผาไหม้ (อากาศส่วนเกิน อัตราการป้อนเชื้อเพลิง) โดยปริมาณของไนโตรเจนในเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยหลักในการเกิดแก๊สไนตริกออกไซด์ [5]

เทคนิคการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบเป็นชั้นถูกนำมาใช้ในการลดปริมาณการปล่อยแก๊สไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ โดยฉีดเชื้อเพลิงทุติยภูมิ (ซึ่งโดยทั่วไปมักใช้แก๊สมีเทนหรือแก๊สธรรมชาติ) เข้าสู่ห้องเตาเผาที่เหนือบริเวณห้องเผาไหม้หลัก เพื่อเข้าทำปฏิกิริยากับแก๊สไนตริกออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการการเผาไหม้เชื้อเพลิงปฐมภูมิดังปฏิกิริยา [6]



ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า สามารถลดปริมาณไนตริกออกไซด์ได้ในปริมาณสูงถึง 50% [6-8]

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดปริมาณแก๊สไนตริกออกไซด์จากการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันด้วยวิธีการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบเป็นชั้นโดยใช้เชื้อเพลิงไม่ยาวพารากับแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิ โดยทำการทดลองเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิดไคซ์

เบดทรงกรวย นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณอากาศส่วนเกินและอัตราส่วนพลังงานของเชื้อเพลิงทุติยภูมิต่อพลังงานรวมที่ส่งผลต่ออุณหภูมิและแก๊สมลพิษภายในเตาก็ด้วย

2. ทฤษฎี

ในงานวิจัยนี้ใช้เชื้อเพลิงไม่ยาวพาราและแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิ โดยปริมาณของเชื้อเพลิงทุติยภูมิที่ให้อยู่ในรูปของสัดส่วนโดยพลังงาน โดยอัตราส่วนพลังงานทุติยภูมิต่อพลังงานรวมคือ ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงทุติยภูมิต่อพลังงานความร้อนรวมจากของเชื้อเพลิงปฐมภูมิและทุติยภูมิซึ่งคำนวณโดยใช้สมการที่ (1)

$$EF_2 = \frac{1}{1 + \frac{(1 - MF_2)LHV_1}{MF_2 LHV_2}} \quad (1)$$

เมื่อ EF_2 คือ อัตราส่วนพลังงานของเชื้อเพลิงทุติยภูมิต่อพลังงานรวม, MF_2 คือ อัตราส่วนโดยมวลของเชื้อเพลิงทุติยภูมิต่อมวลรวม, LHV_2 คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงทุติยภูมิ (kJ/kg), LHV_1 คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงปฐมภูมิ (kJ/kg)

อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน (Excess air ratio) สามารถคำนวณได้จากปริมาณแก๊สออกซิเจน (O_2) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สมีเทน (CH_4) ในแก๊สเชื้อเพลิงแห้งเป็นสัดส่วนโดยปริมาตร (vol. %)

$$\alpha = \frac{21}{21 - (\text{O}_2 - 0.5\text{CO} - 2\text{CH}_4)} \quad (2)$$

และเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกินสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$EA = 100(\alpha - 1) \quad (3)$$

AEC-114

โดย EA คือ เปอร์เซ็นอากาศส่วนเกิน (%) และ α

น้ำมันดีเซล ไฮโคลนตักฝุ่น โดยมีตำแหน่งวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง Ultimate and Proximate analyses ที่ใช้ในงานวิจัย

เชื้อเพลิง	Ultimate analysis (wt.%, on as-received basis)					Proximate analysis (wt.%, on as-received basis)				LHV (kJ/kg)
	C	H	O	N	S	W	A	VM	FC	
เปลือกเมล็ดทานตะวัน	48.21	5.72	31.51	1.23	0.16	10.37	2.89	72.50	16.30	18625
ขี้เลื่อยไม้ยางพารา	22.62	5.59	37.31	0.10	0.02	29.20	1.13	50.70	10.60	12029

คือ อัตราส่วนอากาศส่วนเกิน

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 เตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดทรงกรวยชนิดพองอากาศ

เตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดทรงกรวยชนิดพองอากาศที่ใช้เชื้อเพลิงทุติยภูมิขี้เลื่อยไม้ยางพารา ดังรูปที่ 1 (ก) และแก๊ส LPG ดังรูปที่ 1 (ข) โดยในรูปแสดงให้เห็นว่าเตาฟลูอิดไธซ์เบดแบบพองอากาศมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนฐานทรงกรวยขนาดความสูง 0.9 m ทำมุม 40° และส่วนทรงกระบอกสูง 2.5 m มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 m โครงสร้างภายในประกอบไปด้วยซีเมนส์ทนไฟหนา 50 mm และหุ้มด้วย Galvanized steel หนา 4.5 mm ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ชุดป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรูเกลียวและอินเวอร์เตอร์ควบคุมความถี่ของชุดป้อนเชื้อเพลิงพัดลมจ่ายอากาศใช้สำหรับจ่ายอากาศปฐมภูมิขนาด 25 แรงม้าหัวกระจายแบบพองอากาศจำนวน 13 หัว หัวเผาที่ใช้

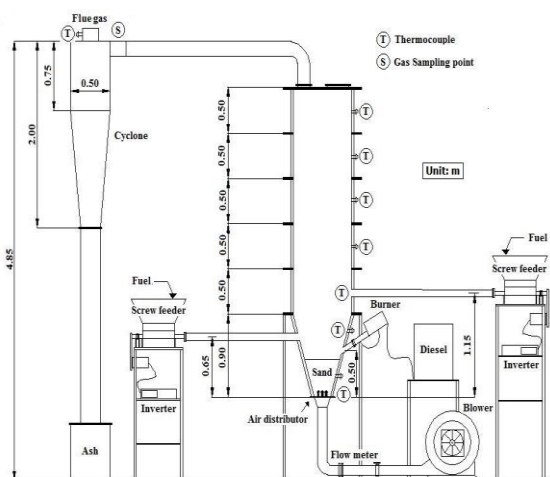
และแก๊สไอเสียตลอดความสูงเตารวม 9 จุด

3.2 เชื้อเพลิงชีวมวลและวัสดุเบด

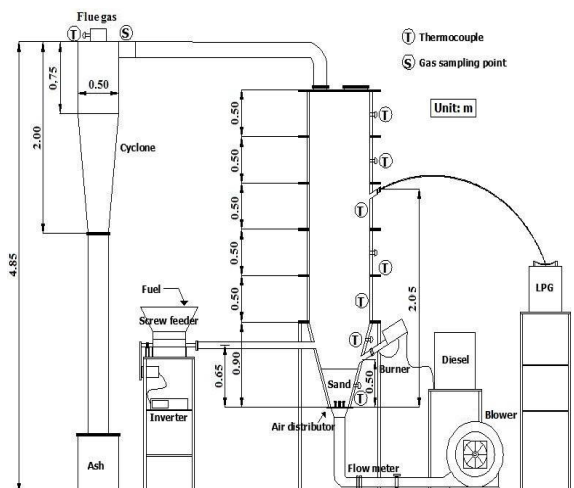
คุณสมบัติ Ultimate analysis และ Proximate analysis (wt.%, on as-received basis) รวมถึงค่า Lower heating value (LHV) ของเปลือกเมล็ดทานตะวันและขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากตารางพบว่า ขี้เลื่อยไม้ยางพารานั้นมีความเหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิเนื่องจากมีความชื้นค่อนข้างสูง มีค่าความร้อนที่ไม่สูงนักและมีปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิงต่ำเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงหลักอย่างเช่นเปลือกเมล็ดทานตะวัน

ส่วนวัสดุเบดในการทดลองได้ใช้ทรายที่มีขนาด 300–500 μm เป็นวัสดุเบดโดยกำหนดให้มีความสูงที่ 30 cm แก๊ส LPG ได้ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิในการเผาไหม้ซ้ำ โดยคุณสมบัติของเชื้อเพลิงจะประกอบไปด้วยแก๊สโพรเพน (C_3H_8) 70% โดย

(ก)



(ข)



รูปที่ 1 ชุดทดลองเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดแบบทรงกรวยชนิดพองอากาศและอุปกรณ์ต่างๆ โดยการใช้เชื้อเพลิงทุติยภูมิเป็น (ก) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และ (ข) ก๊าซ LPG

AEC-114

ปริมาตรและบิวเทน (C_4H_{10}) 30% โดยปริมาตรซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 49,585 kJ/kg [9]

3.3 วิธีการทดลอง

ก่อนเริ่มการทดลองต้องมีการอุ่นเตาเผาและวัสดุเบดด้วยหัวเผา น้ำมันดีเซล เมื่อมีอุณหภูมิประมาณ $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงทำการป้อนเชื้อเพลิงหลักและปิดหัวเผา

ในการทดลองกรณีที่ 1: การเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันกับซีลี้อยไม้ยางพารา เมล็ดทานตะวันซึ่งเป็นเชื้อเพลิงปฐมภูมิจะถูกป้อนที่ตำแหน่ง 0.6 mเหนือหัวกระจายอากาศ ส่วนซีลี้อยไม้ยางพาราซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิจะถูกป้อนเข้าสู่เตาที่ระดับความสูง 1.1 m เหนือหัวกระจายอากาศ

สำหรับกรณีที่ 2: การเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันกับแก๊ส LPG แก๊ส LPG ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิจะถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาที่ระดับความสูง 2.05 m เหนือหัวกระจายอากาศในขณะที่เปลือกเมล็ดทานตะวันถูกป้อนเข้าสู่เตาที่ตำแหน่งเดียวกับการทดลองกรณีที่ 1

ในขณะที่ทำการทดลอง ความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน (O_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (C_xH_y) ในรูปแบบของแก๊สมิเทน (CH_4) ที่ตำแหน่งทางออกของไซโคลนจะถูกวัดค่าด้วยเครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นแก๊สอัตโนมัติ Testo-350 เพื่อใช้ในการปรับค่าอัตราอากาศส่วนเกินที่ใช้ในการทดลองซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3) สำหรับการบันทึกอุณหภูมิรวมถึงการวัดค่าแก๊สมลภาวะจะทำการวัดค่าที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของห้องเผาไหม้บริเวณก่อนเข้าและออกจากไซโคลนดังแสดงรายละเอียดตำแหน่งการวัดค่าในรูปแบบที่ 1 (ก) และ 1 (ข)

สำหรับสภาวะในการทดลองจะใช้ค่าอัตราส่วนพลังงานของเชื้อเพลิงทุติยภูมิเทียบกับเชื้อเพลิงทั้งหมด (EF_2) ที่ 0.06, 0.11, 0.16 และ 0.22 (คำนวณจากสัดส่วนมวลของเชื้อเพลิงทุติยภูมิและค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงปฐมภูมิและทุติยภูมิที่ตั้งแสดงในสมการที่ 1) ซึ่งปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงปฐมภูมิตั้งกับเชื้อเพลิงทุติยภูมิของทั้งสองกรณีการทดลองแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2 โดยในการทดลองของแต่ละค่าอัตราส่วนพลังงานของเชื้อเพลิงทุติยภูมิเทียบกับเชื้อเพลิง

ทั้งหมด จะมีการปรับค่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่ 20,

ตารางที่ 2 อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้ซีลี้อยไม้ยางพาราและแก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ซ้ำ

Energy fraction of secondary fuel	Primary fuel feeder (kg/h)	Secondary fuel feeder (kg/h)
ซีลี้อยไม้ยางพารา		
0.06	42.75	3.48
0.11	40.50	6.97
0.16	38.25	10.45
0.22	36.00	13.94
แก๊ส LPG		
0.06	42.75	0.85
0.11	40.50	1.69
0.16	38.25	2.54
0.22	36.00	3.38

40, 60 และ 80% ตามลำดับ

4. ผลการทดลอง

4.1 อุณหภูมิตามความสูงของเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบด

รูปที่ 2 แสดงอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไธซ์เบดเมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวัน เมื่อใช้ซีลี้อยไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิที่ปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ (ก) 40% และ (ข) 80% และเมื่อใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิที่ปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ (ค) 40% และ (ง) 80%

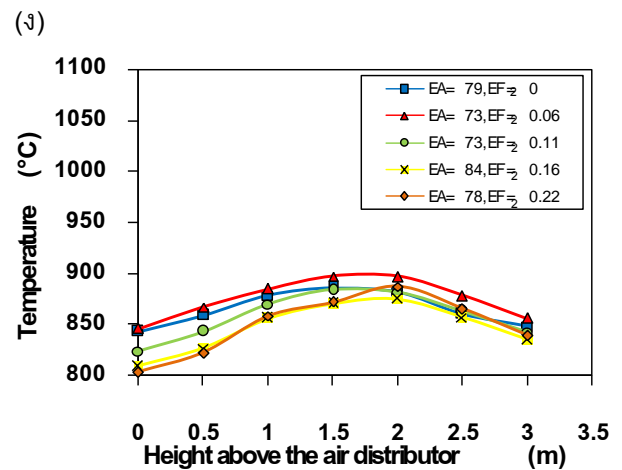
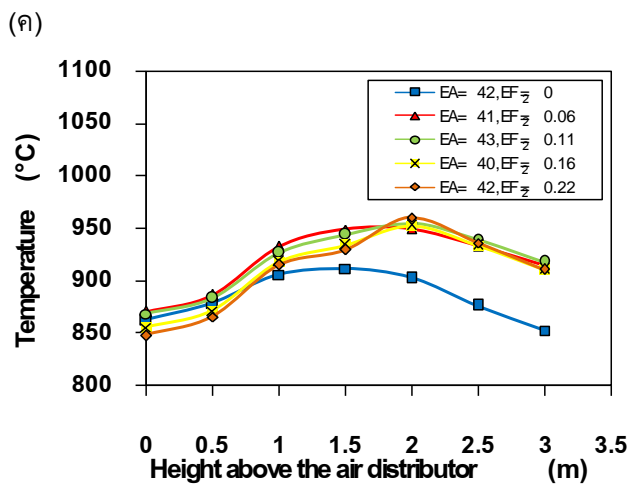
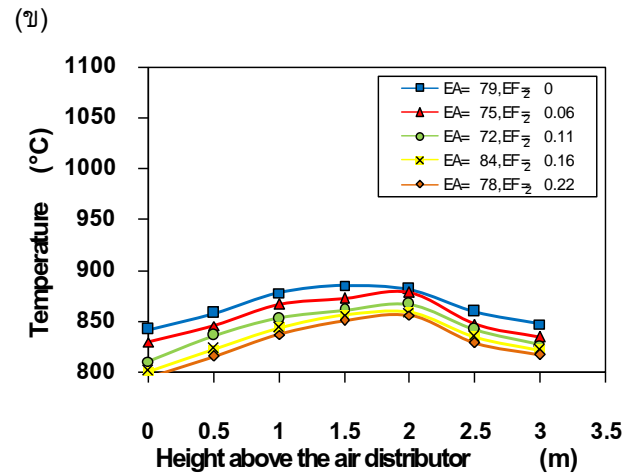
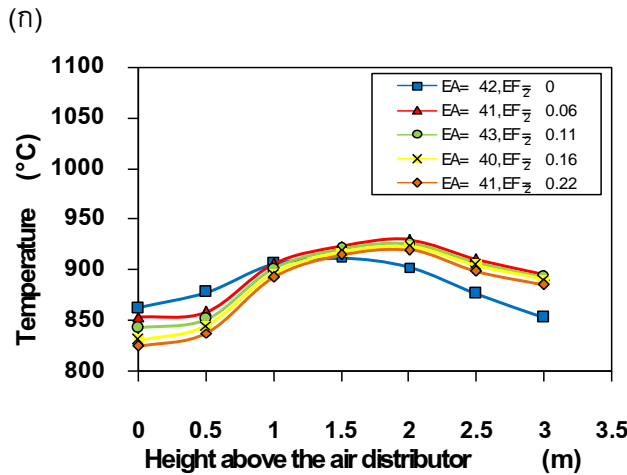
จากรูปที่ 2 พบว่า ในบริเวณกรวยเตาส่วนล่างอุณหภูมิจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงตำแหน่งป้อนเชื้อเพลิงปฐมภูมิ (ระดับความสูง 1.1 m) และเริ่มมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งที่บริเวณที่มีการป้อนเชื้อเพลิงทุติยภูมิ โดยค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยของการซีลี้อยไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 40% และ EF_2 0.06-0.22 มีค่า 882–892°C ในขณะที่เมื่อใช้ก๊าซ LPG ที่สภาวะการเผาไหม้เดียวกัน จะมีอุณหภูมิ

AEC-114

เฉลี่ยที่สูงกว่าคืออยู่ที่ 920–921°C และอุณหภูมิภายในเตานั้นมีค่าลดลงที่ความสูงมากกว่า 2 m เนื่องจากการสูญเสียความร้อนผ่านผนังของเตาเผา

4.2 ความเข้มข้นของแก๊สมลภาวะบริเวณทางออกของไซโคลน

รูปที่ 3 แสดงปริมาณความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในหน่วย ppm ที่มาตรฐาน 6% O₂



รูปที่ 2 อุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดเบดตามแนวความสูง เมื่อเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันกับซีลี้อย่างพาราที่ปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ (ก) 40% (ข) 80% และเมื่อเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันกับแก๊ส LPG ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ (ค) 40% (ง) 80%

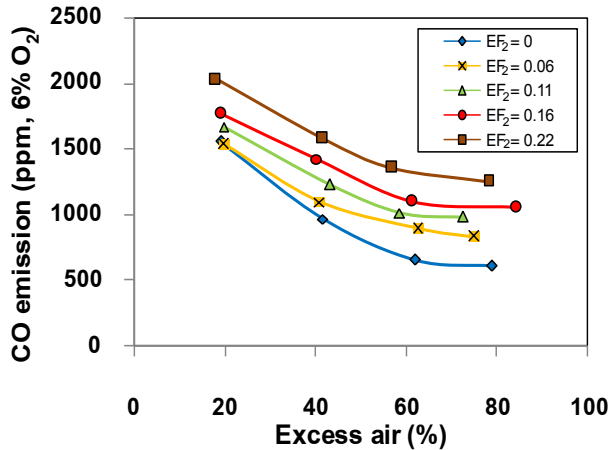
เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินในการเผาไหม้จาก 20% ไปจนถึง 80% จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผามีแนวโน้มลดลงของทั้ง 2 กรณีศึกษา เนื่องจากปริมาณอากาศที่ใส่เข้าสู่เตาเผาเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าเท่าเดิม และปริมาณแก๊สไอเสียที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการสูญเสียความร้อนของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์มีค่าสูงขึ้น

ที่ทางออกไซโคลน เมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้ (ก) ซีลี้อย่างพารา และ (ข) แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิ ที่สภาวะอัตราส่วนพลังงานเชื้อเพลิงทุติยภูมิ 0, 0.06, 0.11, 0.16 และ 0.22 ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20–80% จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณแก๊ส CO เมื่อใช้ซีลี้อย่างพาราเป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิ (รูปที่ 2 (ก)) จะมีค่าที่สูงกว่าในกรณีที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิ (รูปที่ 2

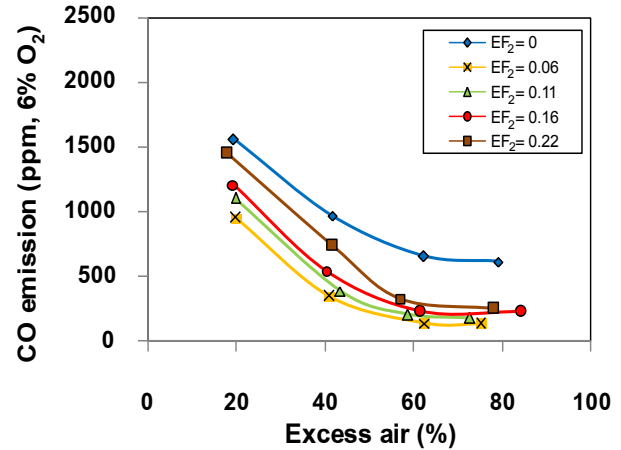
AEC-114

(ข) ในทุกๆ สภาวะการทดลอง เนื่องจากแก๊ส LPG มีส่วนประกอบหลักคือ สารไฮโดรคาร์บอนในรูปของแก๊สโพรเพนและบิวเทน เมื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้รวดเร็วและเกิดการออกซิเดชันได้ง่ายกว่า

(ก)



(ข)



รูปที่ 3 ค่าความเข้มข้นของแก๊ส CO ที่ทางออกของไซโคลนเมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้

(ก) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และ (ข) แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิ ที่สภาวะอัตราส่วนพลังงานเชื้อเพลิงทุติยภูมิและปริมาณอากาศส่วนเกินต่าง ๆ

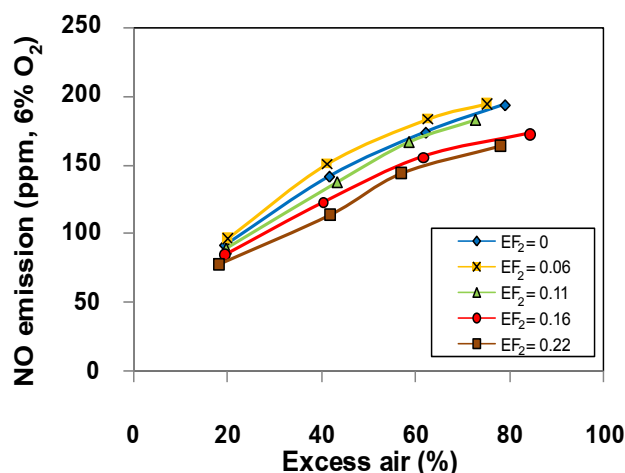
กรณีการเผาไหม้ขี้เลื่อยไม้ยางพาราซึ่งมีลักษณะเป็นเชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งการเผาไหม้เกิดขึ้นได้ยากและใช้ระยะเวลาที่นานกว่า เนื่องจากกลไกหลักในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลจะถูกควบคุมด้วยกระบวนการเผาไหม้ของ Char (Char combustion)

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณแก๊ส CO เมื่อเพิ่มอากาศส่วนเกินพบว่า ค่า CO มีปริมาณที่ลดลงและจะมีปริมาณที่ต่ำสุดเมื่อใช้อากาศส่วนเกิน 80% เนื่องจาก

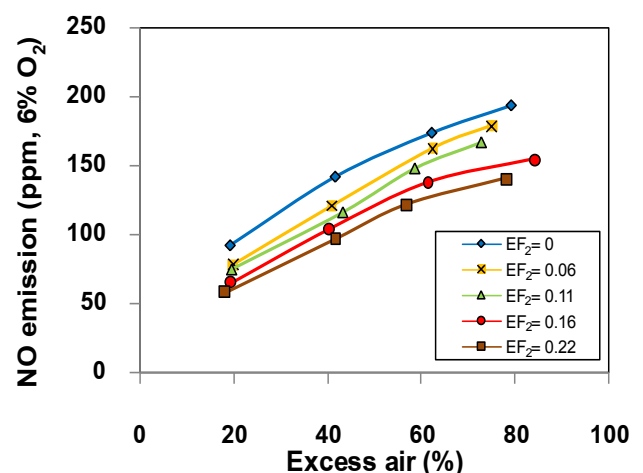
การเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินนั้นจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนพลังงานของเชื้อเพลิงทุติยภูมิค่า CO จะมีค่าที่มากขึ้นเนื่องจากเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเผาที่ระยะสูงชันทำให้มีระยะเวลาในการเผาไหม้ที่ต่ำลง

รูปที่ 4 แสดงถึงค่าความเข้มข้นของแก๊สไนตริกออกไซด์ในหน่วย ppm ที่มาตรฐาน 6% O₂ ที่ทางออกไซโคลน เมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวัน

(ก)



(ข)



รูปที่ 4 ความเข้มข้นของแก๊ส NO ที่ทางออกของไซโคลนเมื่อทำการเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้

(ก) ขี้เลื่อยไม้ยางพารา และ (ข) แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิ ที่สภาวะอัตราส่วนพลังงานเชื้อเพลิงทุติยภูมิ

AEC-114

โดยใช้ (ก) ซีลี้อยไม้ยางพารา และ (ข) แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิ ที่สภาวะอัตราส่วนพลังงานเชื้อเพลิงทุติยภูมิ 0, 0.06, 0.11, 0.16 และ 0.22 ที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 20–80%

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองในรูปที่ 4 (ก) และ 4 (ข) พบว่า สำหรับกรณีเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวัน โดยใช้เชื้อเพลิงทุติยภูมิซีลี้อยไม้ยางพารา (รูปที่ 4 (ก)) มีค่าการปลดปล่อย แก๊ส NO สูงกว่าเผาไหม้เปลือกเมล็ดทานตะวันโดยใช้เชื้อเพลิงทุติยภูมิแก๊ส LPG (รูปที่ 4 (ข)) ที่สภาวะเดียวกัน ซึ่งอธิบายได้จากปริมาณไนโตรเจนในเชื้อเพลิงซีลี้อยไม้ยางพารามีปริมาณที่สูงกว่าทำให้เกิดแก๊สไนตริกออกไซด์จากกลไก fuel-NO โดยเชื้อเพลิงดังกล่าว ในขณะที่แก๊ส LPG นั้นไม่มีส่วนประกอบไนโตรเจนในเชื้อเพลิง และมีส่วนประกอบหลักเป็นแก๊สไฮโดรคาร์บอนทำให้เร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับไนตริกออกไซด์ ($C_xH_y + NO$) และปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์กับไนตริกออกไซด์ ($CO + NO$)

จากการพิจารณารูปที่ 4 (ก) พบว่า เมื่อใช้ซีลี้อยไม้ยางพาราเป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิสามารถลดค่าแก๊ส NO ได้ดีก็ต่อเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนพลังงานเป็น 0.16 และ 0.22 ผลมาจากอุณหภูมิของค่าอัตราส่วนพลังงานทุติยภูมิดังกล่าวมีค่าต่ำทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และมีการปล่อยแก๊ส CO จำนวนมาก ซึ่งมีผลต่อการลดค่าแก๊ส NO ของเชื้อเพลิงเนื่องจากปฏิกิริยาที่กล่าวมาข้างต้นในทางกลับกันที่ค่าอัตราส่วนพลังงาน 0.06 และ 0.11 กลับทำให้ค่าการปล่อยแก๊ส NO สูงขึ้น

จากการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินสำหรับการทดลองของทั้ง 2 กรณีดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ค่าไนตริกออกไซด์มีปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องจากออกซิเจนในอากาศจะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของอากาศส่วนเกินส่งผลให้อัตราการเกิดไนตริกออกไซด์ตามกลไก fuel-NO เพิ่มขึ้นด้วย

5. สรุปผลการทดลอง

การลดปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยใช้เทคนิคการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบเป็นชั้นในเตาฟลูอิดเบดแบบทรงกรวยชนิดพองอากาศที่ค่าความร้อน 230 kW_{th} โดยอัตราส่วนพลังงานของเชื้อเพลิงทุติยภูมิเทียบกับเชื้อเพลิงทั้งหมดเท่ากับ 0.06, 0.11, 0.16 และ 0.22 รวมถึงใช้อากาศส่วนเกินที่ 20, 40, 60 และ 80% พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนพลังงานของเชื้อเพลิงทุติยภูมิจะทำให้ก๊าซไนตริกออกไซด์มีปริมาณลดลงซึ่งตรงกันข้ามกับการเพิ่มปริมาณอากาศส่วนเกินที่จะทำให้เกิดก๊าซไนตริกออกไซด์เพิ่มขึ้น อีกหนึ่งปัจจัยสำคัญของการลดปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์นั้นมาจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนทั้งจากตัวเชื้อเพลิงปฐมภูมิ, ทุติยภูมิและจากแก๊ส LPG จากผลการทดลองที่ปริมาณอากาศส่วนเกินประมาณ 40% พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนพลังงานทุติยภูมิจาก 0.06 เป็น 0.22 โดยใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิงทุติยภูมิทำให้แก๊สไนตริกออกไซด์ลดลงจาก 180 ppm เป็น 148 ppm ที่ 6% O₂ ในขณะที่ CO เพิ่มจาก 790 ppm เป็น 1254 ppm ที่ 6% O₂ สำหรับการใช้ซีลี้อยไม้ยางพาราสามารถลดปริมาณไนตริกออกไซด์จาก 206 ppm เป็น 167 ppm ที่ 6% O₂ ในขณะที่ CO เพิ่มจาก 132 ppm เป็น 252 ppm ที่ 6% O₂ โดยตลอดสภาวะการทดลองภายในเตาเผาฟลูอิดเบด ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้ด้วยแก๊ส LPG สามารถลดปริมาณไนตริกออกไซด์ได้ดีกว่าซีลี้อยไม้ยางพารา

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐมสำหรับเงินทุนในการสนับสนุนงานวิจัย

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วลาดีมีร์ คูปรียานอฟ และ นาย พิเชฐ นิลดวงดี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบการผลิต (MSME)

AEC-114

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิตที่ได้อำนวยความสะดวกในการทำการทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ ดร. ประเมษฐ์ อารมย์ดี นายปิยะฉัตร เจริญพร นายเทอดพงศ์ บุรณวนิช และนายชนภพ เทียนศรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม สำหรับความทุ่มเทกำลังกายและกำลังใจในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Arromdee P. and Kuprianov V. I. (2012). A comparative study on combustion of sunflower shells in bubbling and swirling fluidized-bed combustors with a cone-shaped bed, *Chemical engineering and processing* 62, pp. 26–38.
- [2] Koupryanov V. I., Janvijitsakul K. and Permchart W., (2006). Co-firing sugar cane bagasse with rice husk in a conical fluidized-bed combustor, *Fuel*, pp.434–442.
- [3] Permchart W. and Koupryanov V. I., (2004). Emission performance and combustion efficiency of a conical fluidized-bed combustor firing various biomass fuels. *Bioresource technology*, pp.8–91.
- [4] Arromdee P., Kuprianov V. I., Kaewklum R. and Sirisomboon K., (2010). Experimental study on combustion of sunflower shells in a pilot swirling fluidized-bed combustor. *Energy & Fuels*, pp.3850–3859
- [5] Salzmann R. and Nussbaumer T., (2001). Fuel staging for NO_x reduction in biomass combustion experiments and modeling, *Energy & Fuels*, pp. 575–582.
- [6] Smott L. D., Hill S.C. and Xu H., (1998). NO_x control through reburning, *Progress in Energy and Combustion Science* 24, pp. 1447–1461
- [7] Zamansky V., Maly P. and Ho L., (1997). Family of advanced reburning technologies, *Joint Power Generation Conference*, pp. 107–13.
- [8] ประเมษฐ์ อารมย์ดี และ กษมา ศิริสมบุญ (2557). การลดปริมาณก๊าซไนตริกออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาฟลูอิดไคซ์เบดโดยใช้เทคนิคการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบเป็นขั้น. *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบการถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวล*, ณ เจ้าหลาว คาบาน่า รีสอร์ท จังหวัดจันทบุรี
- [9] กระทรวงพลังงาน (2556). *กรมธุรกิจพลังงาน*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.doeb.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 31 ธันวาคม 2556

