การศึกษาอิทธิพลของการใช้ดินขาวเพื่อลดการเกิดตะกรันเกาะผิวท่อและเถ้าหลอมจากเปลือกยูคาลิปตัสอัดแท่งในหม้อไอน้ำ

Study on Influence of Kaolin for Reducing Deposit and Sintering from Eucalpytus Bark Pellet in Boiler

พินิจ จิรัคคกุล[1]* และ วีรชัย อาจหาญ[2]

[1] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ต. สุรนารี อ. เมือง จ.นครราชสีมา 30000
[2] สาขาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ต. สุรนารี อ. เมือง จ.นครราชสีมา 30000
*ติดต่อJ_pinit12@yahoo.com, 082-3055175, 043-255038

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตไม้ยูคาลิปตัสได้มากถึงปีละ 25 ล้านตัน มีเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมากถึง 4.3 ล้านตัน/ปี คิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 932.46 ktoe ซึ่งสมบัติทางกายภาพมีความชื้นเริ่มต้น 59-63%, ความหนาแน่นของเปลือกเป็นชิ้น 127.5 kg /m^3 และแบบฝอย 215.4 kg /m^3 มีค่าความร้อนต่ำ เมื่อทำนายแนวโน้มการเกิด Slagging, Fouling, การจับตัวเป็นก้อน พบว่า AI (Alkali Index) มีค่า 1.13 จะมีแนวโน้มการเกิด slagging, fouling สูง BAI (Bed Agglomeration Index) มีค่า 0.10 มีแนวโน้มจับตัวเป็นก้อน และ $R_{b/a}$ (Base to Acid Ratio) มีค่า15.02 มีแนวโน้มการเกิด slaggingและfouling และเมื่อนำเปลือกยูคาลิปตัสมาอัดแท่งความหนาแน่นจะเพิ่มเป็น 715.0 kg /m^3 ที่ความชื้น 16% wb ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm. เมื่อนำไปทดสอบในหม้อไอน้ำและวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดแท่งและผสมดินขาวพบว่า AI มีค่า 0.14-0.16 แนวโน้มจะไม่เกิด slagging, fouling BAI มีค่า 0.22-0.39 แนวโน้มการจับตัวเป็นก้อนน้อย, $R_{b/a}$ มีค่า 1.23-1.75 ไม่มีแนวโน้มการเกิด slaggingและfouling แต่ผลการทดสอบหม้อไอน้ำ fouling ลดลงเมื่อใช้ดินขาว แต่การเกิดส่วนการเกิด Slagging ก็ยังเกิดขึ้น ประสิทธิภาพของหม้อต้มไอน้ำมีค่า 39.2-53.61%

คำหลัก: ตะกรัน, เถ้าหลอม, เปลือกไม้ยูคาลิปตัส, ดินขาว

Abstract

In Thailand, eucalyptus wood could be produced 25 Mtons/year. There were the eucalyptus bark 20% of fresh wood or 4.3 Mtons/year. It was equal to 932.46 ktoe of crude oil. Physical properties of eucalyptus bark had 47.65% moisture content, 127.45 kg/m^3 and 215.40 kg/m^3 density of pieces and shredded wood, respectively, and low heating value. The results of the probability of slagging, fouling and Agglomeration found that the AI (Alkali Index) was 1.13, which had tendency to slagging and fouling. The BAI (Bed Agglomeration Index) was 0.10, which had the agglomeration occurrence. The $R_{b/a}$ (Base to Acid Ratio) was 15.02, which had tendency to slagging and fouling. The pressing of eucalyptus bark had 715.00 kg/m^3 density, 16.00% (wet basic) moisture content, and 8 mm diameter size. The experiment of the eucalyptus bark pellets in the boiler and the analyzation of the bottom ash of eucalyptus bark and mixed kaolin pellets found that AI (Alkali Index) was 0.14-0.16, which had not tendency to slagging and fouling. The BAI (Bed Agglomeration Index) was 0.22-0.39, which had the low agglomeration occurrence. The $R_{b/a}$ (Base to Acid Ratio) was 1.23-1.75, which had not tended to slagging and fouling. In contrast, the fouling in the boiler decreased with kaolin. Efficiency of boiler had 39.2-53.61%.

AMM-33

***Keywords**:* Deposit, Sintering, Eucalyptus Bark, Kaolin

1. บทนำ

ไม้ยูคาลิปตัสจัดว่าเป็นไม้โตเร็วเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ และเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตเยื่อกระดาษ (วีรชัย, 2554) จากข้อมูลความต้องการไม้ยูคาลิปตัสของประเทศไทยพบว่า ในปี 2545 ประเทศไทยใช้ไม้ยูคาลิปตัสในอุตสาหกรรมประมาณปีละ 11 ล้านตัน โดยนำมาใช้ผลิตเป็นเยื่อกระดาษ 6.5 ล้านตัน/ปี (60 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือนำมาใช้เป็นชิ้นไม้สับเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตความร้อนในอุตสาหกรรมต่างๆ 3.5 ล้านตัน/ปี (30 เปอร์เซ็นต์) โดยปัจจุบันบริษัทเอกชนที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเพื่อผลิตเยื่อกระดาษมีโครงการส่งเสริมการปลูกและพัฒนาพันธุ์ไม้ยูคาลิปตัสออกมาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ปัจจุบัน ปี 2553 เกิดการขยายพื้นที่การเพาะปลูกไม้ยูคาลิปตัสอย่างรวดเร็ว จากเดิม 5 ล้านไร่ เป็น 10 ล้านไร่ภายในระยะเวลาเพียงไม่กี่ปี สามารถผลิตไม้ยูคาลิปตัสได้มากถึงปีละ 25 ล้านตัน เพียงพอและรองรับต่อการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมได้อย่างเต็มที่ อย่างไรก็ดี ในการแปรรูปไม้ยูคาลิปตัสให้เป็นผลิตภัณฑ์ไม้สับสำหรับอุตสาหกรรมกระดาษนั้น มีผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคือ จะมีเปลือกไม้อยู่ในสัดส่วนร้อยละ 20 ของไม้ท่อนสด หรืออาจกล่าวได้ว่าประเทศไทยมีผลพลอยได้จากกระบวนการสับไม้ คือเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมากถึง 4.3 ล้านตัน/ปี คิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 932.46 ktoe แต่ปัจจุบันยังไม่มีการนำไปใช้ เนื่องจาก 2 ปัจจัย คือ 1) สมบัติทางกายภาพไม่เหมาะสม คือ ความหนาแน่นต่ำ แต่ความชื้นสูง(ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์) และ 2) สมบัติทางเคมีไม่เหมาะสม คือ องค์ประกอบธาตุที่มีฤทธิ์เป็นด่าง(Alkali) อยู่ในปริมาณมาก เช่น คลอรีน(Cl) โซเดียม(Na) แคลเซียม(Ca) และโพแทสเซียมคลอไรด์(KCl) ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเกิดเถ้าหลอม ตะกรัน และการสึกกร่อนในระบบท่อ และประสิทธิภาพของระบบการผลิตความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งปัญหาดังกล่าวข้างต้นสามารถแก้ปัญหาได้โดยพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและปรับสมบัติทางเคมีโดยใช้ดินขาวซึ่งมีองค์ประกอบของซิลิกาและอลูมิเนียมออกไซด์ซึ่งจะมีผลต่ออุณหภูมิจุดหลอมเหลวหรืออุณหภูมิ eutectic ทำให้ออกไซด์ของสารประกอบเปลี่ยนไป และสามารถลดการเกิดการเกิดตะกรันเกาะผิวท่อและการเกิดเถ้าหลอมในหม้อไอน้ำได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาการใช้เปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดแท่ง (Eucalyptus Bark Pellet) ในระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct Combustion) ของหม้อไอน้ำ
2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเกิดเถ้าหลอม ตะกรัน การสึกกร่อน ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ
3) เพื่อศึกษาการใช้ดินขาว(Kaolin) เพื่อลดการเกิดเถ้าหลอม ตะกรัน การสึกกร่อน ในหม้อไอน้ำ

3. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1) ศึกษาสมบัติทางกายภาพ คือ ความชื้น (Moisture Content) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3173 และความหนาแน่น (Appearance Density) ของเปลือกยูคาลิปตัสชนิดเป็นชิ้นและเป็นฝอย
2) ศึกษาสมบัติทางเคมีของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM D1762-84 และASTM D2015 และวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate Analysis) ได้แก่ C, H, N, S, O (CHNS Analyzer) โดยใช้เครื่อง วิเคราะห์ปริมาณธาตุ (CHNS Elemental Analyzer) รุ่น Analyzer CHNS-932
3) ประเมินแนวโน้มการเกิดตะกรันเกาะผิวท่อและการเกิดเถ้าหลอมจากวัตถุดิบที่ได้ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมจากโรงงาน โดยการวิเคราะห์ออกไซด์จากวัตถุดิบโดยใช้เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF) และนำมาประเมินดังสมการ (1)-(3) ซึ่งจะได้ค่าAI (Alkali Index), $R_{b/a}$ (Base to Acid Ratio) และ BAI (Bed Agglomeration Index) โดยจะใช้ข้อมูลปริมาณ Cl และ Na เป็นส่วนประกอบการประเมินแนวโน้ม

$$AI=kg(K_2O+Na_2O)/GJ \quad (1)$$

$$R_{b/a}= \%(Fe_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O)/\%(SiO_2+TiO_2+Al_2O_3) \quad (2)$$

$$BAI = \%(Fe_2O_3) / \%(K_2O+Na_2O) \quad (3)$$

ซึ่งถ้าค่า AI มีค่าอยู่ในช่วง 0.17-0.34 kg/GJ อาจเกิด Fouling และ Slagging แต่ถ้าค่า AI มากกว่า 0.34 kg/GJ มีแนวโน้มการเกิด Fouling และ Slagging แน่นอน ส่วนค่า BAI นั้น ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.15 เบด (Bed) จะจับตัวเป็นก้อน และ B/A ratio จะบอกแนวโน้มของเถ้าซึ่งประกอบด้วยโลหะต่าง ๆ จะรวมตัวกันที่อุณหภูมิสูงเกิดเป็นเกลือที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ B/A Ratio จะบอกถึง ลักษณะการหลอมตัวและแนวโน้มการเกิด Slag

4) การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ (Thermal Efficiency %) การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการวิจัยนี้อ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน DIN EN 2032 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนหาได้จากค่าความร้อนสัมผัสที่น้ำได้รับวัดค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงซึ่งหาได้จากเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำและอัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงแล้วนำมาคำนวณหาดังสมการที่ (4) โดยการทดสอบในหม้อไอน้ำจะทำการผสมดินขาว(Kaolin) ในอัตรา 5, 10 และ 12 % โดยน้ำหนักกับเปลือกยูคาลิปตัสอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งกำหนดให้ความดันในหม้อไอน้ำที่ 10-12 บาร์ และปล่อยไอน้ำสู่บรรยากาศเป็นภาระ และทำการป้อนอากาศเกิน 10-15% โดยวิเคราะห์จากไอเสียที่ปล่อยออกที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องเครื่องวัด Flue Gas Analyzer (Model Testo-350XL)

$$\eta_{Boiler} = \frac{\dot{m}_{Water}\left(h_{steam} - h_{water}\right)}{\dot{m}_{fuel}\left(LHV\right)} \qquad (4)$$

$\dot{m}_{Water}$ คือ อัตราการผลิตไอน้ำ
$\dot{m}_{fuel}$ คือ อัตราการการป้อนเชื้อเพลิง
h_{water} คือ เอทาลปีของน้ำที่ป้อน
h_{Steam} คือ เอทาลปีของไอน้ำ
LHV คือ ความร้อนของเชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (kJ/kg)

5) ศึกษาและประเมินแนวโน้มการเกิดตะกรันเกาะผิวท่อและการเกิดเถ้าหลอมจากเถ้าเชื้อเพลิงที่ทำการเผาไหม้ของการทดสอบหม้อไอน้ำโดยการวิเคราะห์เถ้าจะใช้เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF) ออกไซด์ในเถ้าเพื่อใช้ในการประเมินดังสมการที่ (1)-(3) และใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และเครื่อง X-ray –Diffraction (XRD) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเถ้า

4. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

จากการสำรวจเปลือกไม้ยูคาฯ 20 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดที่มีโรงงานสับไม้ยูคาฯมากที่สุด 3 ลาดับแรก คือ นครราชสีมา สุรินทร์ บุรีรัมย์ ตามลาดับ ในแต่ละปีภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีการแปรรูปประมาณ 5.09 ล้านตันต่อปี ซึ่งเมื่อประเมินปริมาณเปลือกไม้ยูคาฯจะมีประมาณ 1.04 ล้านตันต่อปี โดยสัดส่วนระหว่างเปลือกไม้ยูคาฯกับเนื้อไม้มีค่าเฉลี่ย 20.5 : 79.5 และมีความหนาของเปลือกไม้เฉลี่ย 4-6 มิลลิเมตร ความชื้นเริ่มต้น 59-63%, ความหนาแน่นของเปลือกเป็นชิ้น 127.5 kg /m^3 และแบบฝอย 215.4 kg /m^3 โดยเมื่อนำไปแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจะได้เปลือกไม้ยูคาฯอัดแท่งมีความหนาแน่นเฉลี่ย 715.0 kg /m^3 ที่ความชื้นเฉลี่ย 16% wb ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm.

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเปลือกไม้ยูคาฯแบบประมาณ (Proximate Value) และแบบแยกธาตุ (Ultimate Value) ดังตารางที่ 1

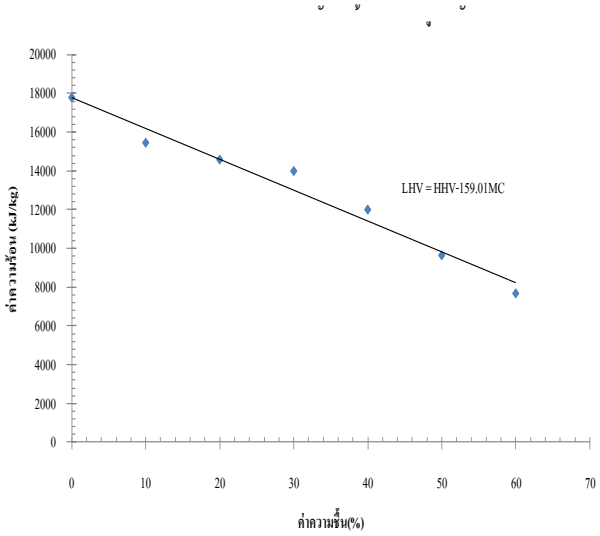
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสแบบประมาณ (Proximate Value) และแบบแยกธาตุ (Ultimate Value)

คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง		
ร้อยละความชื้นเริ่มต้น(Wet basis)		47.65
องค์ประกอบแบบประมาณ (Dry basis)	ร้อยละของสารระเหย (%VM)	69.23
	ร้อยละของเถ้า (%Ash)	9.17
	ร้อยละของคาร์บอนคงตัว(%FC)	21.61
องค์ประกอบแบบละเอียด (Dry basis)	ร้อยละของคาร์บอน (%C)	39.13
	ร้อยละของไฮโดรเจน (%H)	3.91
	ร้อยละของไนโตรเจน (%N)	0.53
	ร้อยละของซัลเฟอร์(%S)	0.41
	ร้อยละของออกซิเจน (%O)	46.85
ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)		16,533
ร้อยละของคลอลีน(Dry basis)		0.98

AMM-33

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนสุทธิกับค่าความร้อนสูงและความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส พบว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนสุทธิ (LHV) ค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากมีความชื้นสูง ดังรูปที่ 1 โดยพิจารณาความชื้นเริ่มต้นมีค่าสูงสุด 66.83 %wb ที่ค่าความร้อนสูงสุด(HHV) ของเชื้อเพลิงชีวมวล มีค่า 17.494 MJ/kg เมื่อนำมาหาค่าความร้อนสุทธิ (LHV) ดังสมการ (5) มีค่า 6.868 MJ/kg

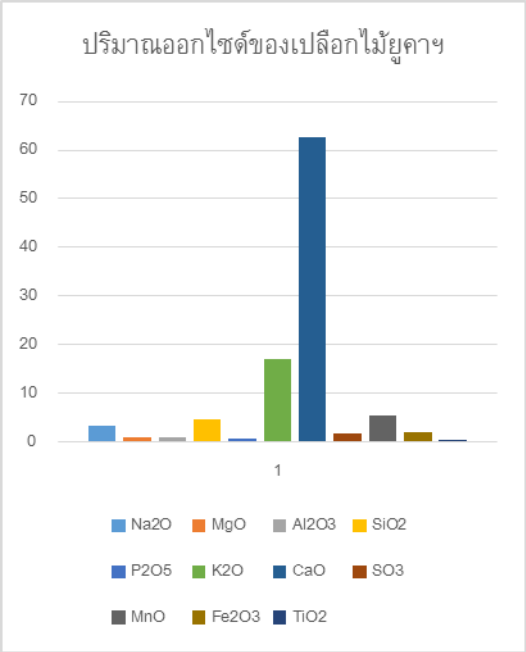
$$LHV=HHV-(159.01xMC) \quad (5)$$



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนสุทธิกับค่าความชื้นสูงและความชื้นของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสสับ

ผลการวิเคราะห์ออกไซด์จากวัตถุดิบเพื่อประเมินแนวโน้มการเกิดตะกรันเกาะผิวท่อและการเกิดเถ้าหลอมจากวัตถุดิบ พบว่า ปริมาณออกไซด์ของ CaO, K_2O, SiO_2, Na_2O, Fe_2O_3, SO_3 และอื่นๆ มีค่า 62.66, 17.09, 4.62, 3.28, 2.05,1.85, 8.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ Cl มีค่า 0.98

ผลการการวิเคราะห์ออกไซด์จากเถ้า(Bottom Ash) ของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดแท่งและที่ผสมดินขาว ออกไซด์ของเถ้าจะเป็น SiO_2, CaO และ Al_2O_3 ส่วนใหญ่ ดังตารางที่ 2 ซึ่ง Al_2O_3 จะทำปฏิกิริยา K_2O และ SiO_2 จะส่งผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลว



รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์เทียบ100% ของออกไซด์ที่วัดได้ ของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสจากโรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของเปลือกไม้ยูคาฯจากโรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ออกไซด์ของเถ้าเปลือกยูคาฯอัดแท่ง และเถ้าที่ผสมดินขาว

ออกไซด์	เปลือกยูคา		Kaolin		
	สด	อัดแท่ง	5%	10%	12%
SiO_2	4.62	56.53	63.26	68.74	66.04
Al_2O_3	0.93	9.64	10.45	10.27	11.82
Fe_2O_3	2.05	4.58	4.61	3.20	3.72
K_2O	17.09	2.62	2.81	2.60	2.84
TiO_2	0.53	1.35	1.04	1.03	0.89
MgO	0.86	3.48	2.70	1.85	1.99
CaO	62.66	15.64	12.33	10.04	9.74
Na_2O	3.28	ND	ND	ND	ND
P_2O_5	0.73	3.28	1.79	1.46	1.48
SO_3	1.85	ND	ND	ND	ND

AMM-33

ผลการทำนายผลกระทบที่มีต่อห้องเผาไหม้ของเปลือกยูคาฯในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของการเกิด Slagging, Fouling, การจับตัวเป็นก้อน พบว่า AI (Alkali Index) = kg(K_2O+Na_2O)/GJ ค่า AI >0.34 จะมีแนวโน้มการเกิด slagging, fouling สูง BAI (Bed Agglomeration Index) = %(Fe_2O_3) / %(K_2O+Na_2O) ค่า BAI < 0.15 Bed จะจับตัวเป็นก้อน, $R_{b/a}$ (Base to Acid Ratio) = % (Fe_2O_3+CaO+MgO+K_2O+Na_2O)/ % (SiO_2+TiO_2+Al_2O_3) ค่า $R_{b/a}$ >2.6 มีแนวโน้มการเกิด slaggingและfouling ดังตารางที่ 3

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดแท่งและผสมดินขาวพบว่า AI (Alkali Index) = kg(K_2O+Na_2O)/GJ ค่า AI ต่ำกว่า 0.17 จะไม่เกิด slagging, fouling BAI (Bed Agglomeration Index) = %(Fe_2O_3) / %(K_2O+Na_2O) ค่า BAI > 0.15 Bed แนวโน้มการจับตัวเป็นก้อนน้อย, $R_{b/a}$ (Base to Acid Ratio) = % (Fe_2O_3+CaO+MgO+ K_2O+Na_2O)/ % (SiO_2+TiO_2+Al_2O_3) ค่า $R_{b/a}$ <2.6 ไม่มีแนวโน้มการเกิด slaggingและfouling ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิด Slagging และ Fouling ของเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและการผสมดินขาว

พารามิเตอร์	AI	$R_{b/a}$	BAI
เปลือกยูคาลิปตัสสด	1.13	15.02	0.1
เปลือกยูคาลิปตัสอัดแท่ง	0.14	1.75	0.39
Kaolin 5%	0.16	1.64	0.3
Kaolin 10%	0.14	1.23	0.22
Kaolin 12%	0.16	1.31	0.23
แนวโน้มเกิด Slagging และ Fouling	>0.34	>2.6	<0.15

การทดสอบหม้อไอน้ำด้วยเชื้อเพลิงอัดแท่ง และผสมสารเติมแต่ง โดยการทดสอบเบื้องต้นหม้อต้มไอน้ำสามารถทำความดันได้เพียง 10-13 บาร์ ทำการควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงให้รักษาความดันไว้ที่ 10-12 บาร์ แบบต่อเนื่อง พบว่า เชื้อเพลิงเปลือกยูคาอัดแท่งสามารถผลิตไอน้ำได้ 409.2 kg-steam/hr โดยเมื่อผสมดินขาวกับเปลือกยูคาลิปตัสอัดแท่งในอัตรา 5, 10 และ 12% โดยน้ำหนักพบว่า อัตราการผลิตไอน้ำมีค่า 377.4, 366.3 และ 447.4 kg-steam/hr ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 โดยการใช้อัตราผสมดินขาว 12% ต้องใช้แรงงานในการช่วยงัดเตาเมื่อเวลาเถ้าหลอมและปิดช่องลม และความดันของไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงผสมดินขาว 12% ไม่สามารถทำความดันได้ถึง 10-12 บาร์ ทำได้เพียงเฉลี่ย 7.4 บาร์ ซึ่งจะส่งผลต่อการนำไอน้ำไปใช้งาน โดยประสิทธิภาพของหม้อต้มที่ใช้เชื้อเพลิงเปลือกยูคาลิปตัสอัดแท่ง100%และผสมดินขาวในอัตรา 5, 10 และ 12% โดยน้ำหนัก มีค่า 53.61, 48.5, 39.2 และ 48.5% ตามลำดับ โดยผลของตะกรันที่เกาะท่อความยาวท่อ 1 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีค่า 26.7, 10.9, 6.03 และ 5.02 g/hr ที่จะมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณดินขาวตามลำดับ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 การทดสอบสมรรถนะของการผลิตไอน้ำและประสิทธิภาพของ Boiler

ตัวอย่าง	แรงดันไอน้ำ (Bar)	ปริมาณไอน้ำที่ผลิต (kg/hr)	อัตราเชื้อเพลิง (kg/hr)	ประสิทธิภาพ (%)
เปลือกยูคาฯ อัดแท่ง	11.7	409.2	128	53.61
Kaolin 5%	11.4	377.4	131	48.5
kaolin 10%	10.5	366.3	157	39.2
kaolin 12%	7.4	447.4	155	48.5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบปริมาณตะกรันที่เกาะท่อ อัตราการใช้เชื้อเพลิง และปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้น

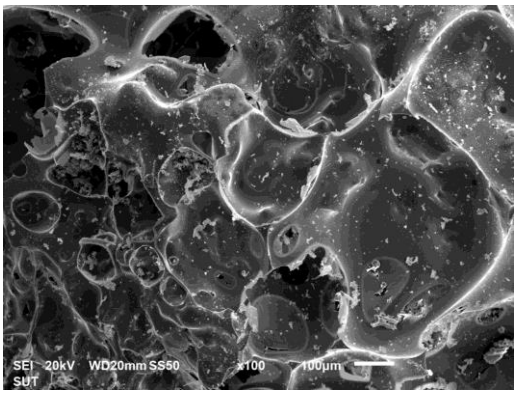
ตัวอย่าง	ตะกรันเกาะท่อ (g/hr)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/hr)	ปริมาณเถ้า (bottom ash) (%)	
			ผง	ก้อน
เปลือกยูคาอัดเม็ด	26.7	128	20.0	24.4
kaolin 5%	10.9	131	26.0	15.0
Kaolin 10%	6.03	157	22.4	13.6
Kaolin 12%	5.02	155	18.0	17.3

ผลการวิเคราะห์ของเถ้า(Bottom Ash) ของเปลือกยูคาฯอัดแท่ง ส่วนที่เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนแข็ง โดยใช้เครื่อง XRD ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย Silica เนื่องจากการวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกของเถ้ากันเตาที่สภาพออกไซด์เป็น SiO_2 มีเพียงบ้างส่วนของเถ้าที่เป็นผงมี $CaCO_3$ และจากผลการวิเคราะห์เถ้าสภาพเป็นผงและจับตัวเป็นก้อนของเครื่อง XRF เถ้ามีปริมาณ SiO_2 สูงถึง 56.527 % และ 80.218 % และ มีปริมาณ $CaCO_3$ เท่ากับ 15.644 % และ 6.47 % ตามลำดับ ซึ่งสามารถจำแนกเป็นแร่ Silicate ซึ่งจะมีส่วนประกอบแร่มากกว่า 1/3 ของแร่ทั้งหมด และจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD พบว่า แร่ Silica ที่เกิดขึ้นเป็นชนิดของ Quartz และ Cristobalite ซึ่งแร่ทั้งสองชนิดนี้ จะเสถียรถึงอุณหภูมิ 867 องศาเซลเซียส และ ที่อุณหภูมิ 1470-1713 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยทั้งสองชนิดมีลักษณะรูปแบบเดียวกันคือ จุดเปลี่ยนจากรูปแบบอุณหภูมิสูง(high) ไปสู่รูปแบบอุณหภูมิต่ำ(Low) เช่น Quartz จุดเปลี่ยนจากรูปแบบอุณหภูมิสูงไปสู่รูปแบบอุณหภูมิต่ำ คือ อุณหภูมิ 573 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ และ High-Cristobalite เปลี่ยนเป็น Low- Cristobalite ระหว่างอุณหภูมิ 200-275 องศาเซลเซียส โดยในสภาวะอุณหภูมิปกติ Quartz จะอยู่ในรูปของ Low-Quartz เสมอ ซึ่งจากปัญหาของเถ้าหลอมส่วนใหญ่ของถ่านหินจะเกิดจากซิลิคอนกับโพแทสเซียมทำปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิเผาไหม้และเกิดเป็น eutectic compound ในเถ้าเป็นโพแทสเซียมซิลิเกท ซึ่งมีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำประมาณ 700 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิเผาไหม้ภายในเตาของเปลือกยูคาลิปตัสอัดแท่งมีค่าเฉลี่ย 549.1 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดคือ 834.8 องศาเซลเซียส จะส่งผลทำให้องค์ประกอบของธาตุหลอมตัวและจับตัวเป็นก้อน ดังรูปที่ 4 และผลของซิลิคอนจะเกิดการหลอมตัวและจับตัวเป็นก้อนแข็ง ส่งผลต่อการเผาไหม้ซึ่งอากาศจะไม่สามารถผ่านตะกรับขึ้นไปเผาไหม้กับเชื้อเพลิงได้ ทำให้เกิดอุปสรรคต่อการเผาไหม้และประสิทธิภาพของการผลิตไอน้ำ

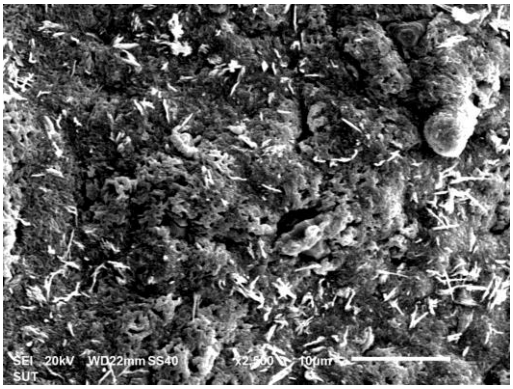
ผลการศึกษาผลของเถ้าลอยและการเกิดตะกรันเกาะท่อของเชื้อเพลิงเปลือกยูคาอัดแท่งจากการวิเคราะห์ XRD และ XRF พบว่า องค์ประกอบของเถ้าลอย SiO_2 และ CaO เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเมื่อแยกองค์ประกอบของออกไซด์ทั้งหมดพบว่า ปริมาณ SiO_2, CaO, SO_3, Al_2O_3, Cl, Fe_2O_3, MgO K_2O_5 และ อื่นๆ มีค่าร้อยละ 43.648, 18.265, 9.793, 6.961, 5.592, 5.127, 4.739, 3.183, 2.692 ตามลำดับ ซึ่งออกไซด์ในเถ้าลอยจะส่งผลต่อตะกรันที่กัดกร่อนท่อ ดังรูปที่ 3 ซึ่งเมื่อนำเถ้าที่เกาะท่อมาวิเคราะห์ออกไซด์พบว่า จะมีการกัดกร่อนสูงเนื่องจากองค์ประกอบออกไซด์เป็น Fe_2O_3 และ SiO_2 ดังรูปที่ 5 เมื่อนำตะกรันไปวิเคราะห์ออกไซด์ด้วยเครื่อง XRF เพื่อหาปริมาณออกไซด์ที่เกิดขึ้น คือ ปริมาณ Fe_2O_3, SiO_2, Al_2O_3, K_2O_5 และอื่นๆ มีค่าร้อยละ 82.933, 10.986, 1.693, 1.342, 3.046 ตามลำดับ ซึ่งการกร่อนจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ผิวท่อสูงเกินกว่า 450-500 ^{o}C และไอระเหยที่มาในรูปของออกไซด์ของสารประกอบเถ้าลอยจะทำปฏิกิริยาทำให้เกิดออกไซด์ของเหล็กและก๊าซที่เป็นคลอไรด์ เช่น Cl_2 และ HCl โดยตะกรันที่เกาะนอกท่อจะกัดกร่อนท่อที่ด่านล่างที่อุณหภูมิหลอมเหลวของ KCl และจุดที่หลอมเหลวผสม(eutectic) ก็จะต่ำลง โดยเมื่อตะกรอนเถ้าลอยของผสมระหว่าง KCl-$FeCl_2$ หรือ NaCl-$FeCl_2$ มีอุณหภูมิ eutectic จะต่ำลงอยู่ในช่วง 340-390 ^{o}C บริเวณที่ควบแน่นจะทำปฏิกิริยากับท่อและทำการกัดกร่อน ซึ่งส่วน HCl มีสถานะเป็นก๊าซจะแพร่เข้าสู่ผิวท่อและทำปฏิกิกริยากับท่อเช่นเดียวกัน ซึ่งอิทธิพลของการกัดกร่อนจากคลอไรด์

AMM-33

รูปที่ 3 ลักษณะของออกไซด์ของเถ้าทำปฏิกิริยาท่อไอน้ำ



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ภาพ SEM ของเถ้าเปลือกไม้ยูคาอัดแท่งที่เกาะจับตัวเป็นก้อนแข็ง



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ภาพ SEM ของตะกรันเกาะท่อไอน้ำ กำลังขยาย 2500 เท่า

ผลการผสมสารเติมแต่งดินขาวต่อเปลือกไม้ยูคาลิปตัสอัดแท่งพบว่า องค์ประกอบของเถ้าลอยเปลือกไม้ยูคาอัดแท่ง 100% จะมีออกไซด์ SiO_2 และ CaO เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อผสมดินขาวออกไซด์ของเถ้าจะเพิ่มส่วนประกอบ Al_2O_3 เนื่องจากส่วนประกอบ Al_2O_3 ในดินมีอยู่ประมาณ 17-20% โดยน้ำหนักดินขาวที่ผสม (ฐานิตย์และคณะ,2553) ศึกษากระบวนการ Adsorbtion และ Chemical reaction ของดินขาวหรือ Kaolin พบว่า Kaolin จะดูดซับ Potassium เป็น $KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$ ที่อุณหภูมิ 700-800 $^{\circ}C$ โดยที่อุณหภูมิ 900 $^{\circ}C$ Potassium ซึ่งดูดซับไว้ที่ผิวของ Muscovite จะทำปฏิกิริยากับ Aluminum-silicate เป็นสารประกอบดังสมการที่ 6 แล้วจะเกิดสารประกอบ $KAlSiO_4$หรือ Kalsilite ซึ่งเป็น Crystalline และลักษณะเป็น Hexagonal จึงเรียกว่า Kaliophilite (Leucite) ซึ่งเป็น Crystalline เช่นกัน สารประกอบทั้งสองมีอุณหภูมิหลอมเหลวในช่วง 1165-1250 $^{\circ}C$ ปัญหาการเกิด fouling จึงลดลง ซึ่ง $KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$ จะแยกตัวจะเกิดขึ้นได้ในช่วง 850-1200 $^{\circ}C$ และเหลือเพียง Al_2O_3 และ SiO_2 ซึ่งไม่ส่งผลต่อการกัดกร่อน

$$Al_2O_3+2SiO_2+2KCl+H_2O \rightarrow 2KAlSiO_4+2HCl \qquad (6)$$

ส่วนออกไซด์ของเถ้าลอยที่ส่งผลต่อตะกรันที่กัดกร่อนท่อ พบว่า ปริมาณออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงเปลือกยูคาอัดแท่งผสมดินขาวเป็นสารเติมแต่ง 5% 10% และ 12% โดยน้ำหนัก คือ ปริมาณ SiO_2, Fe_2O_3, Al_2O_3, K_2O_5 และอื่นๆ มีค่าร้อยละ 55.615, 22.993, 11.029, 2.836, 65.842, 9.439, 12.365, 3.766, 51.876, 28.477, 10.562 และ 2.99 % ตามลำดับ จะมีการกัดกร่อนลดลงเนื่องจากองค์ประกอบออกไซด์เป็น Fe_2O_3 ลดลง โดยเชื้อเพลิงเปลือกยูคาอัดแท่งผสมดินขาวเป็นสารเติมแต่ง 5% 10% และ 12% โดยน้ำหนัก มีปริมาณ Fe_2O_3 มีค่า 22.99, 9.44 และ 28.48% ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดลงได้ 88.6% ที่ผสมดินขาว 10% โดยน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับใช้เปลือกไม้ยูคาฯอัดแท่งเพียงอย่างเดียว ซึ่ง silicate จากเถ้าลอยจะสะสมอยู่บนด้านหลังท่อไอน้ำ

ซึ่งจากการทดสอบกับหม้อไอน้ำพบว่า จากการประเมินค่า AI, BAI และ $R_{b/a}$ จากเถ้า เปลือกยูคาฯอัดแท่ง AI ประเมินแนวโน้มว่าไม่เกิด slagging, fouling แต่ในการทดสอบพบว่า fouling มีแนวโน้มที่เกิดและกัดกร่อนท่อ ส่วนการเกิด Slagging ก็ยังเกิดขึ้น แต่เมื่อมีการผสมดินขาวแนวโน้ม fouling มีแนวโน้มไม่เกิดถึงเกิดขึ้นน้อยลง ส่วนการเกิด Slagging ก็ยังเกิดขึ้น ส่วนแนวโน้มจากค่า BAI ยังมีแนวโน้มการจับตัวเป็นก้อนเมื่อทดสอบ, $R_{b/a}$ แนวโน้มการเกิด Slag เมื่อทำการทดสอบยังเกิด Slag

5. สรุปและเสนอแนะ

การศึกษาอิทธิพลของการใช้ดินขาวเพื่อลดการเกิดตะกรันเกาะผิวท่อและการเกิดเถ้าหลอมจากเปลือกยูคาลิปตัสอัดแท่งในหม้อไอน้ำ สามารถลดการเกิดตะกรันเกาะผิวท่อ เนื่องจากดินขาวจะดูดซับ Potassium เป็น $KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$ ที่อุณหภูมิ 700-800 ^{o}C ทำให้จุดหลอมเหลวสูงขึ้น แต่การเกิดเถ้าหลอมจากเปลือกยูคาลิปตัสอัดแท่งในหม้อไอน้ำยังไม่สามารถลดลงได้ เนื่องจากองค์ประกอบของออกไซด์ของเปลือกยูคาฯที่มีปริมาณ SiO_2 และ CaO อยู่มาก ซึ่งถ้าปริมาณแคลเซียมมีพอเพียงจะเพิ่มจุดหลอมเหลวในเถ้าได้ ซึ่งจากการประเมินแนวโน้มด้วยค่า AI, BAI และ $R_{b/a}$ ยังจำเป็นต้องนำพารามิเตอร์อื่นมาประเมินร่วม เช่น ปริมาณ Cl หรือ Na ซึ่งจะส่งผลพารามิเตอร์อื่นๆต่อการประเมินแนวโน้มการเกิด slagging, fouling เช่นค่า fouling index ที่ต้องทราบค่า Na_2O

6.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานแผนพลังงานทดแทน สานักงานนโยบายและแผนพลังงาน ที่มอบทุนสนับสนุนมา ณ ที่นี้ด้วย

7.อ้างอิง

[1] วีรชัย อาจหาญ. (2554). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์เชื้อเพลิงเปลือกไม้ยูคาลิปตัสสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรม.กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานแผนพลังงานทดแทน. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

[2] ฐานิตย์ เมธิยานนท์, ประสาน สถิตเรืองศักดิ์, สราวุฒิ สังวรกาญจน์, นริศรา อินทรจันทร์ และ วิชชุลดา ชัยพร. (2553). การแก้ปัญหาการเกิด Fouling และ Sintering ในหม้อไอน้ำเพื่อนำทะลายปาล์มเปล่า (EFB) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับในผลปาล์มและกะลาปาล์มในการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำในโรงงานน้ำมันปาล์มอย่างมีประสิทธิภาพ. กองทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(สนพ.)