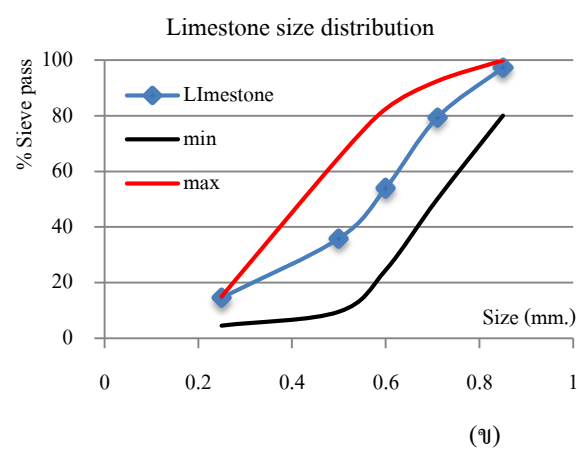
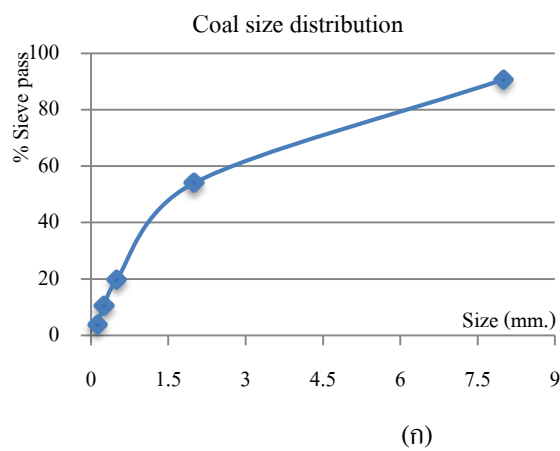


ตารางที่ 1 สมบัติกายภาพของถ่านหินและหินปูน

Sample	Physical properties			
	Sulfur (%)	Total moisture (%)	LOI (%)	Ash content (%)
Coal 1	0.65	17.90	94.29	5.71
Coal 2	0.28	15.30	96.44	3.56
Coal 3	0.56	16.40	92.98	7.02
Limestone	0.02	0.10	-	-



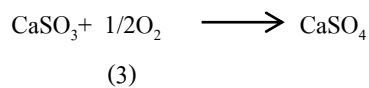
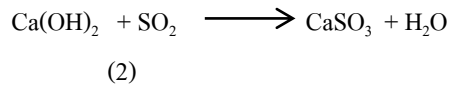
ภาพที่ 1 การกระจายตัวชนิด sieve passing ก) ถ่านหิน Coal 1 และ ข) หินปูน

ตารางที่ 2 สมบัติถ่านหินและหินปูนทางเคมีโดยการทดสอบปริมาณธาตุด้วยวิธี X-Ray fluorescence

Element	% by X-Ray fluorescence			Element	% by X-Ray fluorescence
	Coal 1	Coal 2	Coal 3		Limestone
Al ₂ O ₃	5.30	2.25	4.92	Al ₂ O ₃	0.27
SiO ₂	41.92	46.37	46.13	SiO ₂	3.63
S	8.66	7.01	5.85	S	0.02
CaO	4.52	19.77	5.84	CaCO ₃	95.77
Fe ₂ O ₃	37.02	23.20	33.70	Fe ₂ O ₃	0.23
TiO ₂	1.34	0.40	1.07	Sr	0.05
K ₂ O	0.75	0.20	0.61		
MgO	0.16	0.00	0.00		
Na ₂ O	0.00	0.00	1.56		

ผลของอัตราส่วนโดยโมลของ Ca : S ระหว่างการเผาไหม้

ดีซัลเฟอร์ไรเซชันของถ่านหินเกิดขึ้นด้วยปฏิกิริยาดังสมการ 2 และ 3

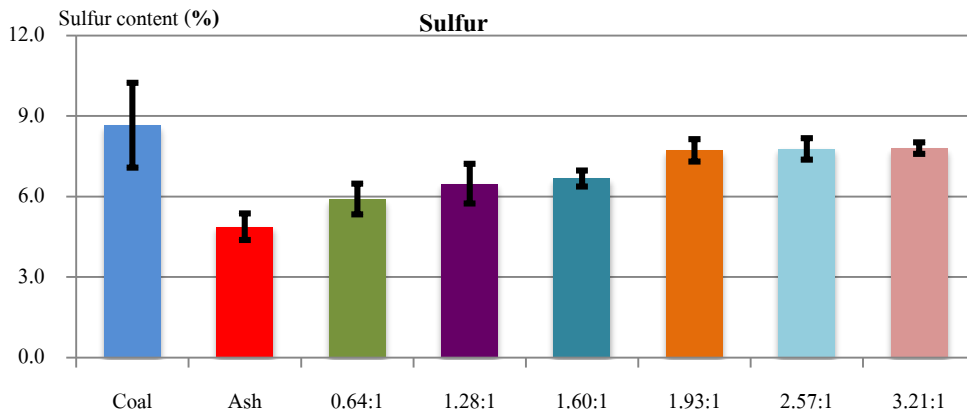


การทดลองผสมถ่านหิน coal 1 และหินปูนในอัตราส่วนโดยโมลของ Ca : S เท่ากับ 0.64 : 1, 1.28 : 1, 1.60 : 1, 1.93 : 1, 2.57 : 1 และ 3.21 : 1 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการทดสอบปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิงหลังจากการเผาไหม้ถ่านหินที่ผสมหินปูนในอัตราส่วนโดยโมลต่าง ๆ

ด้วยเทคนิค X-Ray fluorescence เปรียบเทียบกับถ่านหินที่ไม่ผสมหินปูนก่อนการเผาไหม้ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าการใช้หินปูนสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้จากสมมุติฐานว่าหากปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิงหลังจากการทดลองเผาถ่านหินและหินปูนมีมากกว่าปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิงที่ไม่มีการผสมหินปูนแสดงว่าหินปูนสามารถทำหน้าที่ในการทำปฏิกิริยากับกำมะถันในถ่านหินเกิดเป็นสารประกอบซัลเฟต (Calcium sulfate (CaSO₄)) ในเชื้อเพลิงช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปลดปล่อยทางฟลูเก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ได้ ภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณกำมะถันในถ่านหินและเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนโดยโมลของแคลเซียมและกำมะถันต่าง ๆ ด้วยเทคนิค X-Ray fluorescence

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุของเชื้อเพลิงหลังจากการเผาถ่านหินชนิด coal 1 ผสมหินปูนในอัตราส่วนของแคลเซียมต่อกำมะถันต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการเผาถ่านหินที่ไม่ผสมหินปูน

Coal 1	Calcium : Sulfur mole ratio							
Ca : S mole ratio	Coal	0 : 1	0.64 : 1	1.28 : 1	1.60 : 1	1.93 : 1	2.57 : 1	3.21 : 1
Element	% by X-Ray fluorescence							
Na ₂ O	0.00	1.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
MgO	0.16	0.86	0.81	0.78	0.83	0.46	0.55	0.66
Al ₂ O ₃	5.30	9.48	9.52	7.38	5.71	6.39	6.49	5.51
SiO ₂	41.92	32.44	31.36	29.65	30.41	28.40	26.47	24.24
S	8.66	4.88	5.91	6.48	6.67	7.73	7.77	7.80
K ₂ O	0.75	0.74	0.82	0.60	0.37	0.54	0.45	0.38
CaO	4.52	7.00	10.64	20.20	24.34	22.92	28.36	31.70
TiO ₂	1.34	1.70	1.66	1.60	1.29	1.45	1.39	1.34
Fe ₂ O ₃	37.02	40.74	38.17	32.48	29.45	31.35	27.78	28.18

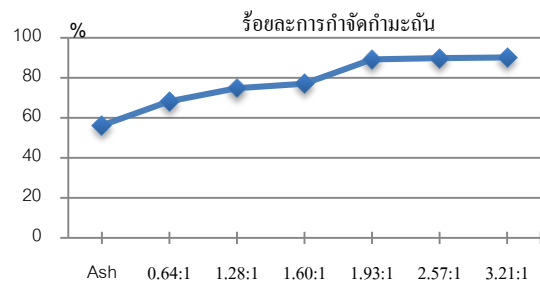


ภาพที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณกำมะถันก่อนและหลังการเผาไหม้ของถ่านหินชนิด coal 1 ที่มีการผสมหินปูนในอัตราส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับปริมาณกำมะถันในถ่านหินเริ่มต้นและเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

จากการทดลองการเผาไหม้ถ่านหินในภาวะที่ไม่ผสมหินปูนพบว่า หลังจากการเผาไหม้ เถ้ามีปริมาณกำมะถันหลงเหลือลดลงอันเนื่องมาจากกระบวนการปลดปล่อยกำมะถันด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยมีปริมาณการปลดปล่อยกำมะถันได้ 3.78 % จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณกำมะถันในเถ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของหินปูนด้วยอัตราส่วนโดยโมลของ Ca : S ที่เพิ่มขึ้นจนถึงอัตราส่วน โดยโมลเท่ากับ 1.93 : 1 และมีปริมาณกำมะถันก่อนข้างคงที่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของหินปูนในการเผาไหม้สูงขึ้น

เมื่อคำนวณร้อยละการกำจัดกำมะถันสัมพันธ์กับ -อัตราส่วนโดยโมลของแคลเซียมและกำมะถันดังภาพที่ 3 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแคลเซียมและกำมะถันช่วยเพิ่มการกำจัดกำมะถันได้ดีขึ้น โดยเกิดปฏิกิริยาสูงสุดประมาณร้อยละ 90 ที่อัตราส่วนโดยโมลของแคลเซียมและกำมะถันเท่ากับ 1.93 : 1 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการไม่ใช้หินปูนจากเดิมที่มีร้อยละการกำจัดกำมะถันร้อยละ 56 ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากขีดความสามารถใน -การทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมและกำมะถันเกิดเป็นแคลเซียมสารประกอบซัลเฟตขณะเผาไหม้ ดังนั้นอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแคลเซียมและกำมะถันที่เหมาะสม

สำหรับการใช้หินปูนผสมถ่านหิน ในช่วงอัตราส่วน 1.60 : 1 ถึง 1.93 : 1



ภาพที่ 3 ร้อยละการกำจัดกำมะถันในถ่านหิน Coal 1 ผสมหินปูนที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ผลของอุณหภูมิการเผาไหม้

การทดลองผสมถ่านหินชนิด Coal 1 และหินปูนที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแคลเซียมและกำมะถันเท่ากับ 1.93 : 1 และอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ 800, 850 และ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการเปรียบเทียบปริมาณกำมะถันในเถ้าคำนวณร้อยละการกำจัดกำมะถันตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการเผาไหม้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาซัลเฟไรเซชันระหว่างถ่านหินและหินปูนในเตาเผาที่มีความสำคัญที่ต้อง -คำนึงถึงหากต้องการให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการเกิดปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยสามารถทำ

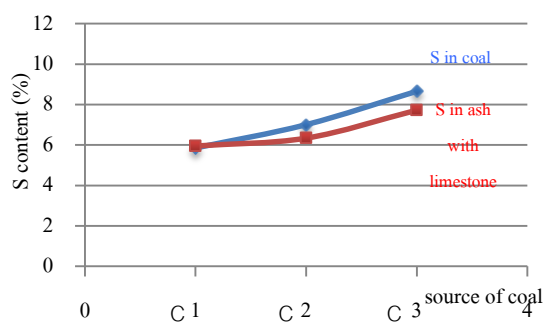
ปฏิกิริยาให้เกิดสารประกอบซัลเฟต - หลงเหลือในเถ้าได้สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 89.2 การเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงถ่านหินเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงทำให้ปฏิกิริยาซัลเฟตไรเซชันเกิดไม่สมบูรณ์จึงทำให้ร้อยละการกำจัด - กำมะถันลดลง อย่างไรก็ตามการเผาไหม้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าหรือสูงกว่า 850 องศาเซลเซียสเพียงเล็กน้อยก็ไม่ส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาซัลเฟตไรเซชันมากนัก

ผลของปริมาณกำมะถันในถ่านหินก่อนการเผาไหม้

การทดลองผสมถ่านหินชนิด Coal 1, Coal 2 และ Coal 3 ที่มีปริมาณกำมะถันเริ่มต้นก่อนการเผาไหม้ต่าง ๆ และหินปูนในอัตราส่วน Ca : S เท่ากับ 1.93 : 1

ตารางที่ 4 ผลของอุณหภูมิการเผาไหม้ต่อร้อยละการกำจัดกำมะถันในถ่านหินชนิด Coal 1 ผสมหินปูนที่อัตราส่วนโดยโมล Ca : S เท่ากับ 1.93 : 1

อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ (°C)	ร้อยละในการกำจัดกำมะถัน
800	79.7
850	89.2
900	82.9



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบปริมาณกำมะถันในเถ้าของถ่านหินที่ผสมหินปูนในอัตราส่วนโดยโมล Ca : S เท่ากับ 1.93 : 1 และปริมาณกำมะถันในถ่านหิน C1, C2 และ C3

ตารางที่ 5 ผลของปริมาณกำมะถันในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ต่อร้อยละการกำจัดกำมะถันในถ่านหินผสมหินปูนที่อัตราส่วนโดยโมล Ca : S เท่ากับ 1.93 : 1

ชนิดถ่านหิน	ปริมาณกำมะถัน (%)	ร้อยละการกำจัดกำมะถัน
Coal 3 (C1)	5.98	99.6
Coal 2 (C2)	7.01	90.6
Coal 1 (C3)	8.66	89.2

เผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณกำมะถันเริ่มต้นในถ่านหินมีปริมาณมากขึ้นการใช้หินปูนช่วยในการเกิดปฏิกิริยาซัลเฟตไรเซชันลดลงเล็กน้อยดังภาพที่ 4 เมื่อปริมาณกำมะถันเริ่มต้นเปรียบเทียบระหว่างถ่านหินและเถ้าของถ่านหินหลังจากการผสมหินปูนและเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละการกำจัดกำมะถันลดลงเล็กน้อยเช่นกัน แม้ว่าประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาลดลงแต่ยังมีร้อยละการกำจัดกำมะถันมากกว่าร้อยละ 90 แสดงดังตารางที่ 5

บทสรุป

การศึกษาซัลเฟตไรเซชันในถ่านหินโดยการผสมถ่านหินและหินปูนที่อัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาและใช้เทคนิค X-Ray fluorescence ในการติดตามปริมาณกำมะถันในถ่านหินและเถ้าหลังการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการเผาไหม้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมพบว่าอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของแคลเซียมและกำมะถันเท่ากับ 1.93 : 1 หรืออยู่ในช่วง 1.60 : 1 ถึง 1.93 : 1 อัตราส่วนนี้คำนวณจากปริมาณกำมะถันในถ่านหินและปริมาณแคลเซียมในหินปูนที่ผสมในถ่านหินก่อนการเผาไหม้ ให้ร้อยละการกำจัดกำมะถัน 89.2 สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 850 องศาเซลเซียสและสามารถเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในการเผาไหม้ให้เหมาะสมได้ตามการออกแบบของเตาเผาที่ใช้จริงในอุตสาหกรรมในช่วงอุณหภูมิ 800 -

900 องศาเซลเซียส เพราะประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาคัลเซชันไม่ได้ลดลงจนแตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

ปริมาณกำมะถันในถ่านหินเริ่มต้นยังมีผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาคัลเซชันคือ เมื่อปริมาณกำมะถันเริ่มต้นในถ่านหินมีน้อยการใช้หินปูนเพื่อให้เกิดคัลเซชัน - เฟอร์เรชันเกิดปฏิกิริยาได้ดี ประสิทธิภาพลดลงเมื่อปริมาณกำมะถันเริ่มต้นในถ่านหินเพิ่มขึ้นแต่ยังคงให้ร้อยละการกำจัดกำมะถันมากกว่า 90

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ดี.เอ. รีเซิร์ช เซ็นเตอร์ จำกัด และบริษัทแนชั่นแนล เพาเวอร์ซัพพลาย จำกัด(มหาชน) ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกการใช้เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการและตัวอย่างสำหรับการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Córdoba P. Status of flue gas desulphurisation (FGD) system from coal-fire power plant : Overview of the physic-chemical control process of wet limestone FGDs. *Journal of Fuel* 2015; 144(1): 274 – 286
- Cheng J, Zhou J, Liu J, Zhou Z, Huang Z, Cao X, Zhao X, Cen K. Sulfur removal at high temperature during coal combustion in furnace: A review. *Journal of Progress in Energy and Combustion Science* 2003; 29(5): 381 – 405
- Chen Z, Grace J.R, Lim C.J. Limestone particle attrition and size distribution in a small circulating fluidized bed. *Journal of Fuel* 2008; 87(7): 1360 – 1371

Hincik T, Buryan P. Evaluation of limestones for the purposes of desulphurization during the fluid combustion of brown coal. *Journal of Fuel* 2013; 104(1): 208 – 215

Osuwan S, Bunyakiat K, Theerapabpisit D. In-situ desulfurization of coal briquettes by lime. *Journal of Science Society of Thailand* 1989; 15(1): 17 – 37