



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพและการนำมาใช้งานของถ่านหินอัดก้อน ในการทดลองตอนที่ 1 (ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดก้อนถ่านหิน) ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ คุณภาพของถ่านหินดิบเริ่มต้น (พิจารณาจากร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้น), ขนาดของถ่านหิน และปริมาณร้อยละสารประสานที่ใช้ เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดก้อนถ่านหิน สภาวะที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองในตอนที่ 1 จะนำไปใช้ในการทดลองตอนที่ 2 (การทดลองใช้ถ่านหินอัดก้อนเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม)

#### ผลการทดลองตอนที่ 1 (หาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดก้อนถ่านหิน)

##### 1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินเบื้องต้น

1. จากการนำถ่านหินจากเหมืองบ้านปู แต่ละชนิดคือ เศษถ่านหิน (รหัสถ่านหิน 163) และถ่านหินขนาด 1-3 นิ้ว (รหัสถ่านหิน 110 และ BP2) ไปบดด้วยเครื่องบดแฮมเมอร์มีลผ่านตะแกรงขนาด 9.8 มม. และวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่การวิเคราะห์แบบประมาณ, การวิเคราะห์หาค่าความร้อน, การวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันในถ่านหิน และการวิเคราะห์ขนาด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าถ่านหินจากเหมืองบ้านปูทั้ง 3 ชนิดเมื่อทำการแบ่งถ่านหินตามศักดิ์ โดยวิธี ASTM D388-91a จัดอยู่ในประเภทถ่านหินซับบิทูมินัส ซี

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินจากเหมืองบ้านปู

รายการที่วิเคราะห์	163		110		BP2	
	air-dried	dry**	air-dried	dry	air-dried	dry
ร้อยละความชื้น	7.90	-	10.42	-	15.42	-
ร้อยละเถ้า	34.71	37.69	15.50	17.30	13.34	15.77
ร้อยละสารระเหย	30.39	33.00	36.67	40.94	45.61	53.93
ร้อยละคาร์บอนคงตัว	27.00	29.31	37.41	41.76	25.63	30.30
ค่าความร้อนแครอริต่อกรัม	3,264	3,544	4,511	5,036	4,436	5,245
ร้อยละกำมะถัน	0.82	0.89	1.10	1.23	0.88	1.04

\* air-dried basis คือ สภาวะที่ฝังสารตัวอย่างไว้ในบรรยากาศจนความชื้นสมดุล

\*\* dry basis คือ ผลการวิเคราะห์ที่ไม่รวมความชื้น

2. เมื่อนำถ่านหินจากเหมืองบ้านปูทั้ง 3 ชนิด มาผสมกันให้ได้ตัวอย่างถ่านหินที่มีร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ นำไปวิเคราะห์ คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่การวิเคราะห์แบบประมาณ, การวิเคราะห์หาค่าความร้อน, การวิเคราะห์หาร้อยละกำมะถันในถ่านหิน และการวิเคราะห์ขนาด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าตัวอย่างถ่านหินที่มีร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ เมื่อทำการแบ่งถ่านหินตามศักดิ์ โดยวิธี ASTM D388-91a จัดอยู่ในประเภทถ่านหินซับบิทูมินัส ซี

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดของถ่านหินจากเหมืองบ้านปู ที่บดผ่านแฮมเมอร์มิล ที่มี ตะแกรงขนาด 9.8 มม. 1 ครั้ง

ขนาดของถ่านหิน (มม.)	น้ำหนักร้อยละ		
	163	110	BP2
9.08 - 4.75	2.35	5.57	0
4.75 - 2.36	29.90	31.92	4.59
2.36 - 1.18	29.17	32.58	38.40
1.18 - 0.85	11.06	9.65	31.95
0.85 - 0.60	7.98	6.54	8.03
0.60 - 0.30	10.61	6.96	5.09
0.30 - 0.25	2.44	0.82	5.67
0.25 - 0.15	4.16	1.96	1.77
0.15 - 0.00	11.12	3.82	3.46

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ในการทดลอง

รายการที่วิเคราะห์	ชนิดของถ่านหิน			
	A15		A25	
	air-dried	dry	air-dried	dry
1. ร้อยละความชื้น	15.42	-	9.48	-
2. ร้อยละเถ้า	13.34	15.77	23.04	25.45
3. ร้อยละสารระเหย	45.61	53.93	34.33	31.92
4. ร้อยละคาร์บอนคงตัว	25.63	30.30	33.15	36.63
5. ค่าความร้อน คาลอรี/กรัม	4,436	5,245	4,045	4,469
6. ร้อยละกำมะถัน	0.88	1.04	0.99	1.10



ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งบดผ่าน  
แสมเมอร์มิลที่มี ตะแกรงขนาด 9.8 มม. 1 ครั้ง

ขนาดของถ่านหิน (มม.)	ร้อยละน้ำหนัก	
	A15	A25
9.08 - 4.75	2.35	5.57
4.75 - 2.36	29.90	31.92
2.36 - 1.18	29.17	32.58
1.18 - 0.85	11.06	9.65
0.85 - 0.60	7.98	6.54
0.60 - 0.30	10.61	6.96
0.30 - 0.25	2.44	0.82
0.25 - 0.15	4.16	1.96
0.15 - 0.00	11.12	3.82

Axx หมายถึง ตัวอย่างถ่านหินที่ร้อยละของเค้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ xx

3. จากการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างถ่านหินที่มีร้อยละของเค้าแบบไม่รวมความชื้น 15 และ 25 ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 2 มม. และ ขนาดเล็กกว่า 1 มม. ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 สำหรับตัวอย่างถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่า 2 มม. พบว่าตัวอย่างถ่านหิน A15 มีการกระจายตัวของอนุภาคถ่านหินอยู่ในช่วงขนาดต่างๆ กันไปโดยมีการกระจายตัวอยู่ในช่วงขนาด 2.0 - 0.30 มม. เป็นหลัก ส่วนตัวอย่างถ่านหิน A25 พบว่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ่านหินอยู่ในช่วงขนาด 2.00 - 0.60 มม. และสำหรับตัวอย่างถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มม. พบว่าถ่านหิน A15 มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคต่างๆกันโดยมีขนาดอยู่ในช่วง 1.00 - 0.30 มม. เป็นส่วนใหญ่ ตัวอย่างถ่านหิน A25 พบว่ามีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1.00 - 0.25 มม.



ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างถ่านหินขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร

ขนาดของถ่านหิน (มม.)	ร้อยละน้ำหนัก	
	A15	A25
2.0 - 1.18	2.35	5.57
1.18 - 0.85	29.90	31.92
0.85 - 0.60	29.17	32.58
0.60 - 0.30	11.06	9.65
0.30 - 0.25	7.98	6.54
0.25 - 0.15	10.61	6.96
0.15 - 0.00	2.44	0.82

Axx หมายถึง ตัวอย่างถ่านหินที่ร้อยละของเค้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ xx

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร

ขนาดของถ่านหิน (มม.)	ร้อยละน้ำหนัก	
	A15	A25
1.00 - 0.85	9.78	12.93
0.85 - 0.60	16.62	17.37
0.60 - 0.30	28.64	20.59
0.30 - 0.25	6.38	23.26
0.25 - 0.15	22.80	8.93
0.15 - 0.00	15.79	16.92

Axx หมายถึง ตัวอย่างถ่านหินที่ร้อยละของเค้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ xx

4. แบลคลิคเคอร์ซึ่งใช้เป็นสารประสานในการอัดก้อนถ่านหิน วิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆที่มีอยู่ในแบลคลิคเคอร์พบว่าแบลคลิคเคอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบต่างดังแสดงในตารางที่ 4.7

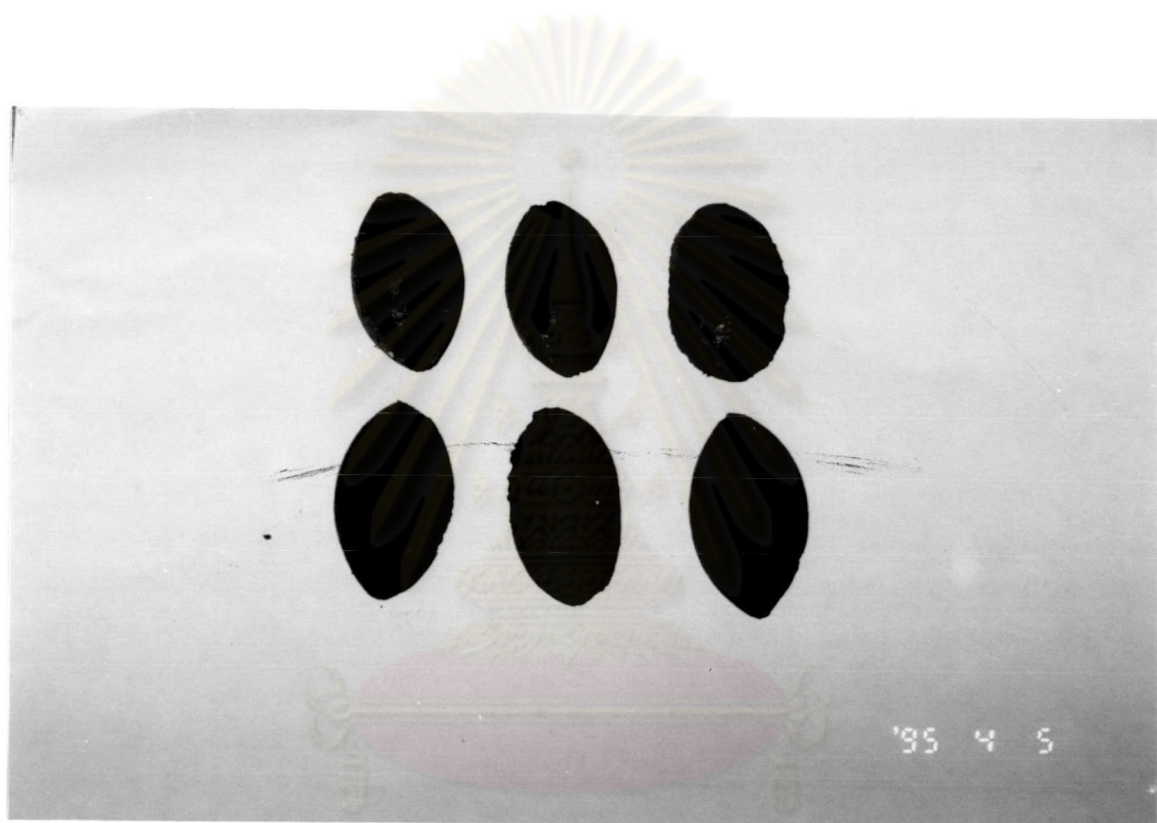
ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบของแบลคลิคเคอร์

รายการที่วิเคราะห์	ร้อยละน้ำหนัก
ร้อยละเถ้า	39.04
ร้อยละความชื้น	47.40
ร้อยละกำมะถัน	0.17
ค่าความร้อน กิโลคาลอรีต่อกิโลกรัม	2875

## 2 ผลการทดลองอัดก้อนถ่านหิน และทดสอบคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน

### 2.1 ผลการทดลองอัดก้อน และการตากแห้งก่อนนำมาใช้งาน

กระบวนการอัดก้อนถ่านหินด้วยเครื่องอัดก้อนถ่านหินแบบดับเบิลริงโรล โดยทำการผสมตัวอย่างถ่านหิน, ปูนขาว และ แบลคลิคเคอร์ ตามสูตรอัตราส่วนต่างๆด้วยเครื่องผสม จากนั้นนำไปอัดก้อน ถ่านหินอัดก้อนที่ได้เป็นรูปไข่ (ovoid) ตามแม่พิมพ์ดังรูปที่ 4.1 มีขนาดประมาณ 3 ซม. x 5 ซม. โดยมีน้ำหนักถ่านหินอัดก้อนเริ่มแรกประมาณ 20 กรัม และร้อยละของความชื้นที่อัดติดประมาณ 30-40 ขึ้นอยู่กับคุณภาพของถ่านหิน, ปริมาณปูนขาว และปริมาณร้อยละของสารประสาน จากนั้นตากถ่านหินอัดก้อนทิ้งไว้จนความชื้นของถ่านหินอัดก้อนเข้าสู่ภาวะสมดุล ดังผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.1 รูปร่างของถ่านหินอัดก้อน  
ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 4.8 ระยะเวลาที่ถ่านหินอัดก้อนเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ขนาดของถ่านหินต่างๆกัน และ ปริมาณ ร้อยละแบลคลิคเคอร์ต่างๆกัน (สำหรับถ่านหิน A15 และ A25 ที่มีร้อยละ ของเถ้าแบบไม่ รวมความชื้นประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ ปริมาณปูนขาวใน อัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S เท่ากับ 2 อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์โดย เฉลี่ย ร้อยละ 60)

ขนาดของตัวอย่างถ่านหิน	ร้อยละสารประสาน	ระยะเวลาที่ถ่านหินอัดก้อนเข้าสู่สภาวะสมดุล (วัน)	
		A15	A25
ขนาดเล็กกว่า 9.8 มม.	10	13	14
	12	10	14
	14	9	14
	16	10	14
ขนาดเล็กกว่า 2 มม.	10	11	13
	12	10	12
	14	10	13
	16	10	13
ขนาดเล็กกว่า 1 มม.	10	16	12
	12	15	11
	14	15	13
	16	15	13

Axx หมายถึง ตัวอย่างถ่านหินที่ร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ xx

ตารางที่ 4.9 ระยะเวลาที่ถ่านหินอัดก้อนเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ปริมาณแบลคลิคเคอร์ต่างๆกัน (สำหรับถ่านหิน A15 และ A25 ที่มีร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ ปริมาณปูนขาวในอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S เท่ากับ 2 อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยร้อยละ 60 ขนาดของถ่านหินที่ใช้คือขนาดรวมๆ ที่บดผ่านแสมเมอร์มิลที่มีตะแกรงขนาด 9.8 มม. 1 ครั้ง)

ร้อยละแบลคลิคเคอร์	ระยะเวลาที่ผ่านหินอัดก้อนเข้าสู่ภาวะสมดุล (วัน)	
	A15	A25
10	13	14
12	10	14
14	9	14
16	10	14

Axx หมายถึง ตัวอย่างผ่านหินที่ร้อยละของเค้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ xx

## 2.2 ผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน

จากการทดลองศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อนเช่น ขนาดของตัวอย่างถ่านหินดิบเริ่มต้น, ปริมาณร้อยละของแบลคลิคเคอร์ที่ใช้เป็นสารประสาน และคุณภาพเริ่มต้นของตัวอย่างถ่านหินดิบโดยพิจารณาจากร้อยละของเค้าแบบไม่รวมความชื้น ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

### 1 ผลการศึกษาขนาดของถ่านหินที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน

เมื่อนำตัวอย่างถ่านหินดิบ A15 และ A25 ที่มีร้อยละของเค้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ เป็นตัวอย่างในการศึกษา โดยทำการอัดก้อนถ่านหิน และทดสอบคุณภาพของถ่านหินอัดก้อนตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ ถ่านหินอัดก้อน A15 ที่มีร้อยละของเค้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ 15 พบว่าขนาดของตัวอย่างถ่านหินมีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อนในด้านความแข็งแรง ซึ่งพิจารณาจากค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตก ที่ปริมาณร้อยละของสารประสานแบลคลิคเคอร์เท่ากัน ถ่านหินอัดก้อนที่อัดด้วยตัวอย่างถ่านหินดิบขนาดเล็กมีค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกมากกว่าถ่านหินอัดก้อนที่อัดด้วยตัวอย่างถ่านหินดิบขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างถ่านหินดิบที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าตัวอย่างถ่านหินดิบที่มีขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น ที่ปริมาณร้อยละแบลคลิคเคอร์เท่ากับ 10 เมื่อเทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง น้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกมีค่าดังนี้คือ 3.50, 5.00 และ 5.50 กิโลกรัม ที่ขนาดของ

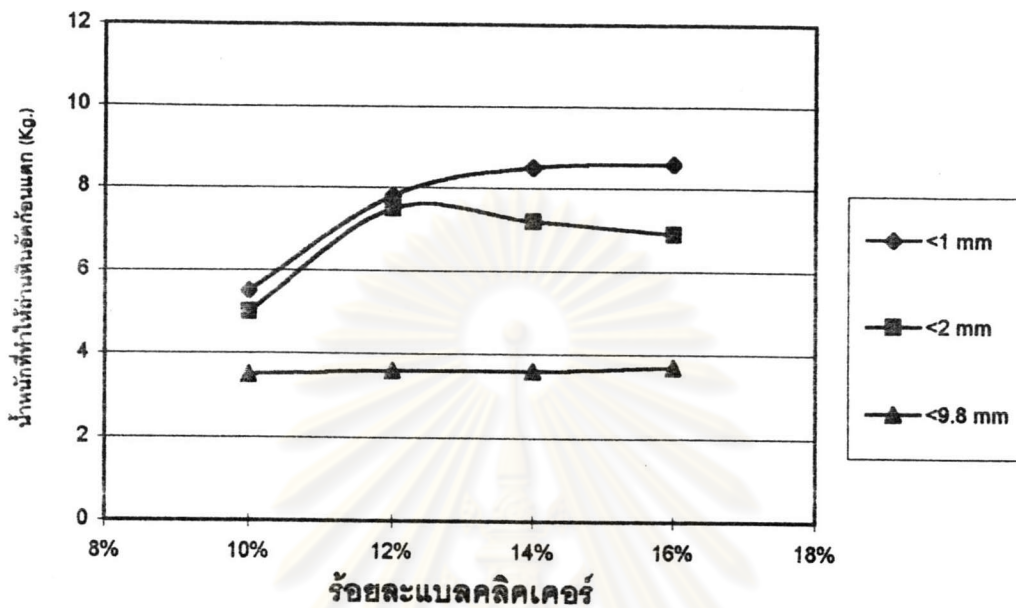


ตัวอย่างถ่านหินดิบบดผ่านแฮมเมอร์มีลที่มีตะแกรงขนาด 9.8 มม. 1 ครั้ง ขนาดเล็กกว่า 2 มม. และ ขนาดเล็กกว่า 1 มม. ตามลำดับ จากรูปที่ 4.2 พบว่าที่ร้อยละของแบลคลิคเคอร์เท่ากับ 10 นั้นถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินดิบขนาดเล็ก (ขนาดเล็กกว่า 1 มม. และ ขนาดเล็กกว่า 2 มม.) มีค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกมากกว่าถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินดิบที่มีขนาดใหญ่ (ตัวอย่างถ่านหินที่บดผ่านแฮมเมอร์มีลที่มีขนาดตะแกรงขนาด 9.8 มม.) เนื่องจากถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินดิบขนาดเล็ก จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า ถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินขนาดใหญ่ ทำให้สารประสานสามารถปกคลุมผิว ถ่านหินได้มากกว่าจึงมีผลทำให้ค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกมีค่ามากกว่าถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินดิบขนาดใหญ่ ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจาก ตัวอย่างถ่านหินขนาดเล็ก (ขนาดเล็กกว่า 2 มม. และ ขนาดเล็กกว่า 1 มม.) พบว่าที่ปริมาณ ร้อยละแบลคลิคเคอร์เท่ากับ 10 พบว่าค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกของถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินดิบที่มีขนาดเล็กกว่า 2 มม. มีค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตก น้อยกว่าถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินดิบที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มม. ทั้งนี้เนื่องจากว่า ตัวอย่างถ่านหินดิบที่ขนาดเล็กกว่า 1 มม. มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าตัวอย่างถ่านหินดิบที่มีขนาด เล็กกว่า 2 มม. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของ อรัญญา และ เนาวรัตน์ (2535) ซึ่งทำการ อัดก้อนถ่านหินโดยใช้แบลคลิคเคอร์เป็นสารประสาน ซึ่งได้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน ถ่านหินอัดก้อน A25 ที่มีร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้นเท่ากับ 25 ผลการทดลองแสดงไว้ดัง รูป 4.3 พบว่าขนาดของถ่านหินที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อนในด้านความแข็งแรง เป็น เช่นเดียวกับตัวอย่างถ่านหินอัดก้อน A15 (ร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้นเท่ากับ 15) แตกต่าง กันที่ค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกไม่เท่ากัน

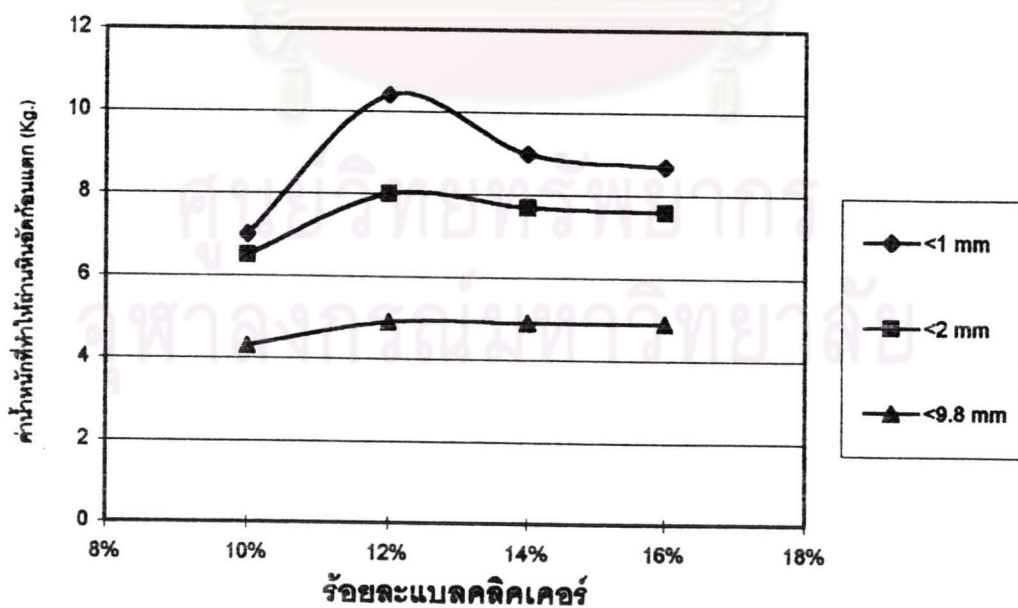
## 2. ผลการศึกษาปริมาณสารประสานที่มีผลต่อคุณภาพ ของถ่านหินอัดก้อน

สารประสานที่ใช้ในงานวิจัยคือ แบลคลิคเคอร์ เพื่อ ช่วยในการยึดเกาะอนุภาคของถ่านหิน ทำให้ถ่านหินอัดก้อนมีความแข็งแรง ได้ผลดังแสดงในรูป 4.2 และ 4.3 ข้างต้น จากผลการทดลองตัวอย่างถ่านหินดิบ A15 ที่มีร้อยละของเถ้าแบบไม่รวม ความชื้นประมาณ 15 พบว่าที่ขนาดอนุภาคตัวอย่างถ่านหินเล็กกว่า 2 มม. และ เล็กกว่า 1 มม. เมื่อปริมาณร้อยละแบลคลิคเคอร์เพิ่มขึ้นค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกมีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งปริมาณ ร้อยละของแบลคลิคเคอร์ เท่ากับ 12 และ 14 ตามลำดับ จากนั้น เมื่อเพิ่มปริมาณ



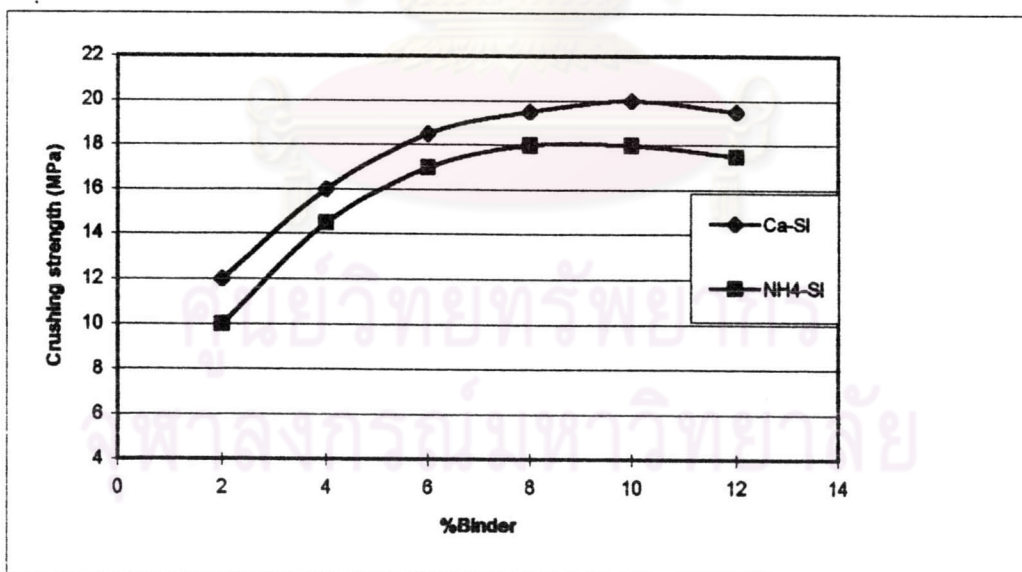


รูปที่ 4.2 น้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตก ของถ่านหินอัดก้อน A15 (ร้อยละของแก้วแบบไม่รวมความชื้นประมาณ 15) ที่อนุภาคถ่านหินขนาดต่างๆ



รูปที่ 4.3 น้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตก ของถ่านหินอัดก้อน A25 (ร้อยละของแก้วแบบไม่รวมความชื้นประมาณ 25) ที่อนุภาคถ่านหินขนาดต่างๆ

ร้อยละแบลคลิเคอร์ คำน้ําหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงแรก ปริมาณแบลคลิเคอร์มีปริมาณไม่เหมาะสม เมื่อปกคลุมผิวถ่านหินมีผลทำให้คุณสมบัติในการ ยึดเกาะระหว่างอนุภาคของถ่านหินมีค่าน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณร้อยละของแบลคลิเคอร์ มีผลทำ ให้น้ําหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกมีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งค่าน้ําหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตก มีค่าสูงสุด จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณร้อยละของแบลคลิเคอร์มีผลทำให้น้ําหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อน แตกมีค่าลดลงเนื่องจากปริมาณร้อยละของแบลคลิเคอร์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ฟิล์มแบลคลิเคอร์ ที่ ปกคลุมผิวถ่านหินหนาขึ้น จากคุณสมบัติของแบลคลิเคอร์เมื่อแข็งตัวจะได้อะไรที่มีลักษณะ เปราะคุณสมบัติดังกล่าวเมื่อฟิล์มแบลคลิเคอร์ที่ปกคลุมผิวอนุภาคถ่านหินหนาขึ้น ฟิล์มนั้นจะ เปราะ และแตกหักทำให้คุณสมบัติในการยึดเกาะระหว่างอนุภาคลดลงค่าน้ําหนักที่ทำให้ถ่านหิน อัดก้อนแตกจึงมีค่าลดลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Saglam และ คณะ (1990) ซึ่งได้ทำ การอัดก้อนถ่านหินโดยใช้ซิลิไฟลิกเคอร์ เป็นสารประสาน (แคลเซียมซิลิไฟท์ และ แอมโมเนีย มซิลิไฟท์ ลิกเคอร์) โดยใช้ความดันในการอัดก้อน 100 เมกกะปาสกาล และอุณหภูมิ 80 องศา เซลเซียส ได้ผลการทดลองดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.4 ซึ่งให้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 4.4 ผลการทดลองของ Saglam และ คณะ

และสำหรับตัวอย่าง ถ่านหินดิบที่ขนาดเล็กกว่า 9.8 มม. (ขนาดรวมๆที่บดผ่านแฮมเมอร์มิลที่มี ตะแกรงขนาด 9.8 มม.) เมื่อเพิ่มปริมาณร้อยละของแบลคลิเคอร์ไม่มีผลต่อค่าน้ําหนักมากที่สุดที่ทำ

ให้ถ่านหินอัดก้อนแตก เนื่องจากอนุภาคของตัวอย่างถ่านหินดิบมีขนาดใหญ่ พื้นที่ผิวสัมผัสของอนุภาคถ่านหินจึงมีค่าน้อยทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณร้อยละแบบกลลิตเคอร์จึงไม่มีผลต่อน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตก และจากผลการทดลองตัวอย่างถ่านหิน A25 ซึ่งมีร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้นเท่ากับ 25 พบว่าผลการทดลองที่ได้เป็นในลักษณะเดียวกันกับตัวอย่างถ่านหิน A15 แตกต่างกันที่ค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกของ ถ่านหินอัดก้อน A25 มีค่ามากกว่า A15 เนื่องจากตัวอย่างถ่านหินดิบ A25 มีปริมาณร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้นมากกว่า ตัวอย่างถ่านหินดิบ A15 โดยที่เถ้าของถ่านหินนี้มีคุณสมบัติเป็นสารประสานทำให้ถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินดิบ A25 มีความแข็งแรงมากกว่า

### 3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านหินอัดก้อน

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องทำการทดสอบคุณภาพของถ่านหินอัดก้อนในแง่ของการนำไปใช้งานในครัวเรือน จึงเลือกทดสอบในสภาวะที่ใกล้เคียงความเป็นจริง คือการใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาอั้งโล่ ซึ่งเป็นเตาที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบชนบท และขนาดของเตาที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานนั้น เป็นเตาอั้งโล่ขนาดกลางที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในครัวเรือน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 25 ซม. ในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานนั้นใช้ถ่านไม้เป็นตัวเปรียบเทียบ และหาประสิทธิภาพโดยวิธีต้มน้ำครั้งเดียวจนไฟรา กล่าวคือใช้ถ่านไม้ 400 กรัมซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการใช้งานและการทดลอง เนื่องจากปริมาณถ่านไม้ 400 กรัม เมื่อบรรจุลงในห้องเผาไหม้ของเตาอั้งโล่ ความสูงของเบด (Bed) ถ่านไม้จะอยู่ในระดับเดียวกับขอบเตา ทำการต้มน้ำ 2.5 ลิตร โดยใช้ภาชนะเป็นหม้ออลูมิเนียมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 25 ซม. ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้ตามครัวเรือนทั่วไป และเป็นขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานกับเตาอั้งโล่ขนาดนี้ เมื่อนำ ถ่านหินอัดก้อนมาใช้งานในเตาอั้งโล่ ปริมาณถ่านหินอัดก้อนที่ใช้นั้นเปรียบเทียบให้มีค่าความร้อนเทียบเท่ากับถ่านไม้ 400 กรัม และทำการทดลองเช่นเดียวกับถ่านไม้ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำถ่านหินอัดก้อนมาทดลองใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนถ่านไม้นั้นน้ำหนักถ่านหินอัดก้อนเมื่อคำนวณให้มีค่าความร้อนเทียบเท่าถ่านไม้ 400 กรัม พบว่าปริมาณน้ำหนักถ่านหินอัดก้อนที่ใช้มีค่า 800 กรัม จนถึง 1000 กรัม ปริมาณถ่านหินอัดก้อนนี้เมื่อบรรจุลงในห้องเผาไหม้ของเตาอั้งโล่พบว่าระดับความสูงของเบดมีค่าใกล้เคียงกับถ่านไม้เนื่องจากถ่านหินอัดก้อน



ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านหินอัดก้อน ในเตาตั้งโล่ (ถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินดิบ A15 ซึ่งมีร้อยละของถ่านแบบไม่รวม

ความชื้นเท่ากับ 15)

ขนาดของถ่านหิน	ร้อยละสารประสาน	ระยะจุดติดไฟ	ช่วงเวลามีควัน	ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด	ระยะเวลาที่น้ำเดือด	ระยะเวลาการใช้งาน	ประสิทธิภาพการใช้งาน
< 1 มม.	10	2	12	11	41	83	38.90
	12	2	13	11	45	89	41.50
	14	1	13	12	36	92	39.04
	16	2	14	12	49	90	39.00
< 2 มม.	10	2	10	19	41	83	37.05
	12	2	13	11	52	86	39.00
	14	2	13	13	46	81	35.05
	16	2	11	12	50	85	38.02
< 9.8 มม.	10	2	12	11	33	91	36.02
	12	1	12	10	40	92	35.52
	14	2	11	9	44	97	35.24
	16	2	12	10	42	93	37.00

เวลา : หน่วยเป็น นาที

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านหินอัดก้อน ในเตาอังใต้ (ถ่านหินอัดก้อนที่ผลิต จากตัวอย่างถ่านหินดิบ A25 ซึ่งมีร้อยละของถ่านแบบไม่รวม ความชื้นเท่ากับ 25)

ขนาดของถ่านหิน	ร้อยละสารประสาน	ระยะจุดติดไฟ	ช่วงเวลามีควัน	ระยะเวลาที่ทำให้หน้าเดือด	ระยะเวลาน้ำเดือด	ระยะเวลาการใช้งาน	ประสิทธิภาพการไ้ งาน
< 1 มม.	10	2	12	12	40	85	39.20
	12	1	12	13	41	88	38.50
	14	1	12	13	40	91	39.70
	16	1	11	13	39	90	38.70
< 2 มม.	10	2	12	13	40	82	38.40
	12	2	11	11	38	84	40.30
	14	2	12	13	38	84	38.00
	16	1	12	13	38	86	39.50
< 9.8 มม.	10	2	13	13	38	90	38.60
	12	2	12	11	38	92	39.30
	14	2	12	12	40	88	39.00
	16	2	12	12	39	92	38.70

เวลา : หนึ่งเป็น นาที

นั้นมีขนาดเดียวกัน ทำให้สัดส่วนช่องว่างของเบตมีค่าน้อยกว่ามีผลทำให้ระดับความสูงของเบตมีค่าใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 พบว่า ถ่านหินอัดก้อนแต่ละประเภทเมื่อนำมาใช้งานให้ผลการใช้งานใกล้เคียงกันกล่าวคือ ระยะจุดติดไฟประมาณ 2 นาที ช่วงระยะเวลา มีควัน 10-13 นาที ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือดประมาณ 10-13 นาที ระยะเวลาให้น้ำเดือดประมาณ 40-50 นาที และมีระยะเวลาการใช้งานประมาณ 83-97 นาที ประสิทธิภาพในการใช้งานอยู่ในระดับร้อยละ 35-41 ค่าประสิทธิภาพในการใช้งานนั้น มีค่าไม่แตกต่างกันมากเพราะ ถ่านหินอัดก้อนในแต่ละแบบ มีค่าความร้อนใกล้เคียงกันโดยมีค่าประมาณ 4100-4700 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ทำให้ปริมาณถ่านหินอัดก้อนที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพการใช้งานนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน จากปริมาณค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนที่ใช้ในเตาอั้งโล่มีค่าอยู่ในระดับปานกลางมีผลทำให้เมื่อนำมาใช้งานปริมาณของถ่านหินอัดก้อนในห้องเผาไหม้มีปริมาณพอเหมาะ ไม่มากและแน่นจนเกินไป การหมุนเวียนของอากาศในห้องเผาไหม้จึงเป็นไปได้อย่างสะดวก เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาอั้งโล่ดังแสดงดังตารางที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านไม้ ซึ่งมีระยะจุดติดไฟประมาณ 1 นาที ช่วงเวลา มีควัน 4 นาที ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด 9 นาที ระยะเวลาที่น้ำเดือดประมาณ 45 นาที ระยะเวลาในการใช้งาน 98 นาที และประสิทธิภาพในการ ใช้งานประมาณร้อยละ 40 พบว่าถ่านหินอัดก้อนมีระยะเวลาที่มีควันมากกว่าถ่านไม้ประมาณ 10 นาทีเนื่องจากถ่านหินอัดก้อนมีร้อยละของสารระเหยมากกว่า อีกทั้งถ่านไม้ได้ผ่านการคาร์บอน มาแล้วทำให้ปริมาณสารระเหยในถ่านไม้มีค่าน้อย แต่เมื่อทำการเผาไหม้แก๊สของถ่านไม้จะพุ่งกระจายในขณะที่แก๊สของถ่านหินอัดก้อนยังคงรูปอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหิน

ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ

ประเภทของเชื้อเพลิง	ระยะจุดติดไฟ	ช่วงเวลามีควัน	ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด	ระยะเวลาที่น้ำเดือด	ระยะเวลาใช้งาน	ประสิทธิภาพการใช้งาน
ถ่านไม้	1.00	4.28	9.37	45.63	98.26	40.20
ถ่านหินอัดก้อนที่ไม่ใช้สารประสาน	1.59	12.59	19.28	46.21	132.47	33.54
ถ่านหินอัดก้อนที่ใช้ดินเหนียวเป็นสารประสาน	2.25	12.35	10.08	53.40	105.56	33.40



อัดก้อนที่ใช้ดินเหนียวเป็นสารประสานพบว่า การใช้งานอยู่ในระดับเดียวกันกับถ่านหินอัดก้อนในงานวิจัย แต่ประสิทธิภาพในการใช้งานของถ่านหินอัดก้อนในงานวิจัยมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากว่าถ่านหินอัดก้อนที่ใช้ดินเหนียวเป็นสารประสานนั้นดินเหนียวที่เติมลงไปทำหน้าที่เป็นสารประสานนั้น จะทำให้ร้อยละของถ่านหินอัดก้อนมีค่าสูงขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ลดลงเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินอัดก้อนที่ไม่ใช้สารประสานพบว่าการใช้งานอยู่ในระดับเดียวกันคงมีแต่ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือด ของถ่านหินอัดก้อนที่ไม่ใช้สารประสานนี้มีค่ามาก แต่ระยะเวลาในการใช้งานของถ่านหินอัดก้อนที่ไม่ใช้สารประสานมีค่าประมาณ 132 นาที โดยที่ประสิทธิภาพในการใช้งานนั้นมีค่าใกล้เคียงกับถ่านหินอัดก้อนที่ใช้ดินเหนียวเป็นสารประสานคือร้อยละ 33 แต่จะน้อยกว่าถ่านหินที่ใช้ในงานวิจัยเล็กน้อยเนื่องจากว่าถ่านหินอัดก้อนที่ไม่ใช้สารประสานนั้น ถ่านหินดิบที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการอัดก้อนควรจะมีร้อยละของถ่านหินรวมความชื้นอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง จึงมีผลทำให้อัดติดเป็นก้อนโดยใช้แรงดันในการอัดก้อนไม่สูงมากนัก แต่ถ้าในกรณีที่ถ่านหินดิบมีร้อยละของถ่านหินอยู่ในระดับต่ำจะทำให้แรงดันที่ใช้ในการอัดก้อนมีค่าสูงตามไปด้วย ถ่านหินอัดก้อนที่ได้จึงมีความแข็งและมีความหนาแน่นสูง ผลทั้งจากปริมาณร้อยละของถ่านหินรวมความชื้นอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง และถ่านหินอัดก้อนที่ความหนาแน่นสูง มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของถ่านหินอัดก้อนที่อัดก้อนโดยไม่ใช้สารประสาน กล่าวคือร้อยละของถ่านหินดิบเริ่มต้นที่อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงทำให้ปริมาณค่าความร้อนของถ่านหินอัดก้อนมีค่าต่ำ เมื่อนำมาใช้ในเตาอั้งโล่ปริมาณน้ำหนักของถ่านหินอัดก้อนถูกคำนวณให้มีค่าเทียบเท่ากับค่าความร้อนจากถ่านไม้ 400 กรัม ปริมาณน้ำหนักของถ่านหินอัดก้อนที่ใช้จึงมีค่ามาก เมื่อนำบรรจุลงในห้องเผาไหม้ของเตาอั้งโล่เบดของถ่านหินอัดก้อนในเตาอั้งโล่จะหนาแน่น และตัวถ่านหินอัดก้อนยังมีความหนาแน่นมาก จากผลของปัจจัยทั้งสองอย่างทำให้เมื่อทำการเผาไหม้แล้ว ประสิทธิภาพในการเผาไหม้จึงน้อยกว่าถ่านหินอัดก้อนที่ใช้สารประสาน โดยสังเกตจากระยะเวลาที่ทำให้น้ำเดือดของถ่านหินอัดก้อนที่ไม่ใช้สารประสานมีค่าประมาณ 19 นาที มากกว่าถ่านหินอัดก้อนที่ใช้สารประสานคือดินเหนียว และแบลคลิคเคอร์ซึ่งมีค่าประมาณ 10-13 นาที เมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้วถ่านหินอัดก้อนที่ไม่ใช้สารประสานยังคงมีถ่านหินที่ยังไม่ได้ลุกไหม้อยู่บริเวณแกนกลางของก้อนถ่าน

## ผลการทดลองตอนที่ 2 (ผลิตถ่านหินอัดก้อนเพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม)

จากการทดลองในตอนที่ 1 (หาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดก้อนถ่านหิน) พบว่าในการผลิตถ่านหินอัดก้อน เมื่อใช้ตัวอย่างถ่านหินที่มีขนาดเล็ก ถ่านหินอัดก้อนที่มีค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกสูงกว่า ถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินที่มีขนาดใหญ่ กล่าวคือ มีความแข็งแรงมากกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ประกอบเช่น ประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน, น้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตก, เวลาที่ใช้ในการบดถ่านหิน และต้นทุนการผลิต เป็นต้น พบว่าถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากตัวอย่างถ่านหินซึ่งบดผ่านแอมเมอร์มิลที่มีตะแกรงขนาด 9.8 มิลลิเมตร 1 ครั้ง มีความแข็งแรงอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้งานโดยมีค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตก อยู่ในช่วง 4-5 กิโลกรัม ดังนั้นเพื่อความสะดวกในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างถ่านหิน จึงใช้ตัวอย่างถ่านหินที่ได้จากการบดผ่านแอมเมอร์มิล ซึ่งมีตะแกรงขนาด 9.8 มิลลิเมตร 1 ครั้ง เป็นขนาดที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 2 เท่านั้น จากกราฟรูป 4.2 และ 4.3 เมื่อพิจารณาร้อยละของสารประสานที่ใช้ในการอัดก้อนถ่านหินพบว่าร้อยละของปริมาณสารประสานมีผลต่อความแข็งแรงของถ่านหินอัดก้อนน้อยมาก โดยที่ค่าน้ำหนักที่ทำให้ถ่านหินอัดก้อนแตกมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณร้อยละแบลคลิคเคอร์เท่ากับ 14 ปริมาณร้อยละของสารประสานนี้เมื่อนำมาผลิตถ่านหินอัดก้อนในระดับอุตสาหกรรม สามารถทำการผลิตได้สะดวกและใช้ปริมาณสารประสานอย่างเหมาะสมดังนั้นในการทดลองตอนที่ 2 จึงใช้ปริมาณสารประสานร้อยละ 14

### 1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินเบื้องต้น

1. จากการนำถ่านหินจากเหมืองบ้านปูแหล่งแม่ทาน ไปบดด้วยเครื่องบดแอมเมอร์มิลผ่านตะแกรงขนาด 9.8 มม. และวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์แบบประมาณ, การวิเคราะห์หาค่าความร้อน, การวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันในถ่านหิน และการวิเคราะห์ขนาด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.13 และ 4.14 พบว่าถ่านหินจากเหมืองบ้านปูทั้ง 2 ชนิด เมื่อทำการแบ่งถ่านหินตามศักดิ์โดยวิธี ASTM D388-91a จัดอยู่ในประเภทถ่านหินซับบิทูมินัส

2. เมื่อนำถ่านหินจากเหมืองบ้านปูทั้ง 3 ชนิดมาผสมกันให้ได้ตัวอย่างถ่านหินที่มี ร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้นประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ การ วิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์หาค่าความร้อน, การวิเคราะห์หา



ร้อยละของกำมะถันในถ่านหิน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.15 และ 4.16 พบว่าตัวอย่างถ่านหินที่มี ร้อยละของเถ้าแบบไม่รวมความชื้น ประมาณ 15 และ 25 ตามลำดับ เมื่อทำการแบ่งถ่านหินตาม คัดดีโดยวิธี ASTM D388-91a จัดอยู่ในประเภทถ่านหินชั้นบิทูมินัส ซี ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินจากเหมืองบ้านปูแหล่งแม่ทาน

รายการที่วิเคราะห์	ตัวอย่างถ่านหิน					
	163		110		แม่ทาน	
	air-dried	dry	air-dried	dry	air-dried	dry
1. ร้อยละความชื้น	7.9	-	10.42	-	12.50	-
2. ร้อยละเถ้า	34.70	37.69	15.50	17.30	10.90	12.50
3. ร้อยละสารระเหย	30.39	33.00	36.67	40.94	41.00	46.90
4. ร้อยละคาร์บอนคงตัว	27.00	29.31	37.41	41.76	35.60	40.70
5. ค่าความร้อน แคลอรี/กรัม	3,264	3,544	4,511	5,036	4,571	5,225
6. ร้อยละกำมะถัน	0.82	0.89	1.10	1.23	2.10	2.40

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ขนาดของถ่านหินจากเหมืองบ้านปูแหล่งแม่ทาน ที่บดผ่าน แสมเมอร์มิลที่มีตะแกรงขนาด 9.8 มม. 1 ครั้ง

ขนาดของถ่านหิน (มม.)	น้ำหนักร้อยละ		
	163	110	แม่ทาน
9.08 - 4.75	2.35	5.57	1.24
4.75 - 2.36	29.90	31.92	27.62
2.36 - 1.18	29.17	32.58	34.13
1.18 - 0.85	11.06	9.65	12.48
0.85 - 0.60	7.98	6.54	8.28
0.60 - 0.30	10.61	6.96	8.86
0.30 - 0.25	2.44	0.82	4.26
0.25 - 0.15	4.16	1.96	1.31
0.15 - 0.00	11.12	3.82	1.82



ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ในการทดลอง

รายการที่วิเคราะห์	ชนิดของถ่านหิน			
	A15		A25	
	air-dried	dry	air-dried	dry
1. ร้อยละความชื้น	12.04	-	10.26	-
2. ร้อยละเถ้า	13.87	15.77	23.00	25.63
3. ร้อยละสารระเหย	35.36	40.20	33.49	37.36
4. ร้อยละคาร์บอนคงตัว	38.73	44.03	33.25	37.05
5. ค่าความร้อน แคลอรี/กรัม	4,448	5,057	3,934	4,384
6. ร้อยละกำมะถัน	1.98	2.25	1.48	1.65

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ขนาดตัวอย่างถ่านหินที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งบดผ่านแอมเมอร์มิลที่มีตะแกรงขนาด 9.8 มม. 1 ครั้ง

ขนาดของถ่านหิน (มม.)	ร้อยละน้ำหนัก	
	A15	A25
9.08 - 4.75	1.35	1.74
4.75 - 2.36	27.85	28.76
2.36 - 1.18	33.63	31.65
1.18 - 0.85	12.34	11.77
0.85 - 0.60	8.25	8.13
0.60 - 0.30	9.04	9.74
0.30 - 0.25	4.08	3.35
0.25 - 0.15	1.60	2.74
0.15 - 0.00	2.75	6.47

## 2 ผลการทดลองอัดก้อนถ่านหิน และการนำไปใช้งานในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม

กระบวนการอัดก้อนถ่านหินด้วยเครื่องอัดก้อนถ่านหินแบบดับเบิลโรลโดยใช้เครื่องอัดก้อนถ่านหินชนิด แบริงคิงที่ (fixed bearing) ในวงล้อของแม่พิมพ์สามารถผลิตถ่านหินอัดก้อนได้ 80 ก้อนต่อการหมุน 1 รอบ โดยที่วงล้อแม่พิมพ์มีอัตราการหมุนประมาณ 70 รอบต่อนาที การอัดก้อนถ่านหินทำการผสมตัวอย่างถ่านหินดิบ, ปูนขาว และแบลคลิคเคอร์ ตามสูตรต่างๆดังแสดงในภาคผนวก ก. ในเครื่องผสมแบบไม่ จากนั้นนำไปอัดก้อน ถ่านหินอัดก้อนที่ได้เป็นรูปไข่ (ovoid) ตามแม่พิมพ์ ถ่านหินอัดก้อนที่ได้จะนำไปตากไว้ในบรรยากาศเป็นเวลาประมาณ 4 วันจึงทำการเก็บรวบรวมเพื่อนำไปใช้ทดลองเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม

การทดลองนำถ่านหินอัดก้อนไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรมนั้นทำการเปรียบเทียบกับการใช้งานปกติประจำวันของทางโรงงานโดยหม้อไอน้ำที่ทำการทดลองเป็นหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำท่อไฟ มีระบบการป้อนถ่านหินโดยใช้ระบบการป้อนแบบเกลียวทำการป้อนถ่านหินจากทางด้านล่างเตา (under feed type Boiler) มีอัตราการผลิตไอน้ำอิมตัวที่ความดัน 10 บาร์ 5 ตัน/ชั่วโมง ใช้ถ่านหินในการเผาไหม้ประมาณ 2 ตัน/ชั่วโมง ในการทำการทดลองนั้นในขั้นตอนแรกทำการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของ แสติกก๊าซ (stack gas) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซทำการติดตั้งบริเวณช่องทางออกของแอสติกก๊าซ โดยทำการสอดท่อนำก๊าซเข้าไปในปล่องโดยให้ปลายของท่อนำก๊าซอยู่บริเวณกึ่งกลางของปล่องควัน ต่อจากนั้นทำการติดตั้งหน่วยประมวลผลวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซ หน่วยประมวลผลที่ใช้ในการวัดความเข้มข้นของก๊าซมีอยู่ 2 อย่างคือ Landcom 2000 ใช้วัดค่าความเข้มข้นของก๊าซ  $SO_x$  และ  $NO_x$  มีหน่วยออกมาเป็น ปริมาตรต่อล้านส่วนปริมาตร (ppmV) อีกทั้งเครื่อง Landcom 2000 ยังสามารถวัดอุณหภูมิของแอสติกก๊าซได้อีกด้วย ส่วนในการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ใช้เครื่อง ไพไรท์ (Pyrite) ค่าความเข้มข้นที่ได้ออกมาเป็น ร้อยละโดยปริมาตร (ไม่รวมความชื้น) ในการทำการทดลองนั้นจุดบันทึกค่าความเข้มข้นของ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ทุกๆนาที และวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประจำทุกๆช่วงของการทำงานของหม้อไอน้ำ ในการทำการทดลองในขั้นแรกทำการป้อนถ่านหินอัดก้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำโดยระบบการป้อนของหม้อไอน้ำหลังจากป้อนถ่านหินเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำประมาณ 15 นาที จึงเริ่มทำการวัดค่าความเข้มข้นของแอสติกก๊าซ และอุณหภูมิของแอสติกก๊าซ โดยอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งไว้ก่อนการใช้งานของถ่านหินอัดก้อนในหม้อไอน้ำทำการทดลองช่วงละประมาณ 1 ชั่วโมง ถ่านหินที่นำมาทดลองใช้ในหม้อไอน้ำมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.17



ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านหินอัดก้อนที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม

รายการที่วิเคราะห์	ตัวอย่างถ่านหิน					
	A15C11		A15C21		A25C11	
	air-dried	dry	air-dried	dry	air-dried	dry
1. ร้อยละความชื้น	17.10	-	18.55	-	19.15	-
2. ร้อยละเถ้า	16.48	19.88	19.73	24.22	22.80	28.2
3. ร้อยละสารระเหย	31.41	37.89	29.19	35.84	28.64	35.42
4. ร้อยละคาร์บอนคงตัว	35.01	42.23	32.53	39.94	29.41	36.88
5. ค่าความร้อน แคลอรี/กรัม	3,951	4,766	3,671	4,508	3,392	4,196
6. ร้อยละกำมะถัน	1.76	2.10	1.63	2.00	1.28	1.58

จากตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านหินอัดก้อน 3 ชุดเพื่อดูผลการปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ออกสู่บรรยากาศ โดยเปรียบเทียบกับการใช้งานปกติของถ่านหินของทางโรงงาน ถ่านหินที่ใช้ประจำของบริษัทราชบุรีอาหารสัตว์เป็นถ่านหินจากเหมืองบ้านปูแหล่งแม่ทานมีขนาดอยู่ในช่วง 1-3 นิ้ว เป็นขนาดที่สามารถป้อนด้วยระบบป้อนแบบเกลียวของหม้อไอน้ำได้ ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์พบว่าถ่านหินมีความชื้นร้อยละ 14.97 มีค่าความร้อนประมาณ 4908 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และมีร้อยละกำมะถันประมาณ 2.1 โดยมีความชื้นขณะใช้งานร้อยละ 35 ตามมาตรฐาน ASTM D388-91a พบว่าถ่านหินนี้จัดอยู่ในประเภทถ่านหินซิปทูนินส์ ซี เนื่องจากร้อยละความชื้นที่สูง กอปรกับคุณสมบัติของถ่านหินลิกไนท์ที่มีคุณสมบัติเปราะและแตกง่ายทำให้เมื่อกองเก็บไว้เกิดการแตกร่วนเป็นผง ซึ่งต่างจากถ่านหินอัดก้อนของงานวิจัยซึ่งไม่แตกร่วนเมื่อกองเก็บจากการสังเกตพบว่าถ่านหินที่ทางบริษัทใช้อยู่เมื่อเผาไหม้ถ่านหินที่เกิดขึ้นหลอมตัวกันเป็น แอสติก (slack) ทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของถ่านหินลดลง อีกทั้งในการเผาไหม้ยังต้องการปริมาณร้อยละของอากาศเกินพอ (excess air) สูง และเถ้าที่หลอมตัวเป็นแอสติกนี้จะมีผลทำให้ตะกรับเตา (grate) เสื่อมสภาพเร็วเนื่องจากขณะนำเถ้าออกจากห้องเผาไหม้ต้องทำการกระทุ้งให้แอสติกแตกตัวออกให้มีขนาดเล็กลงเพื่อที่จะนำออกทางปากเตาได้ ซึ่งถ่านหินที่มีลักษณะเช่นนี้จะไม่สามารถนำไปใช้กับหม้อไอน้ำที่มี

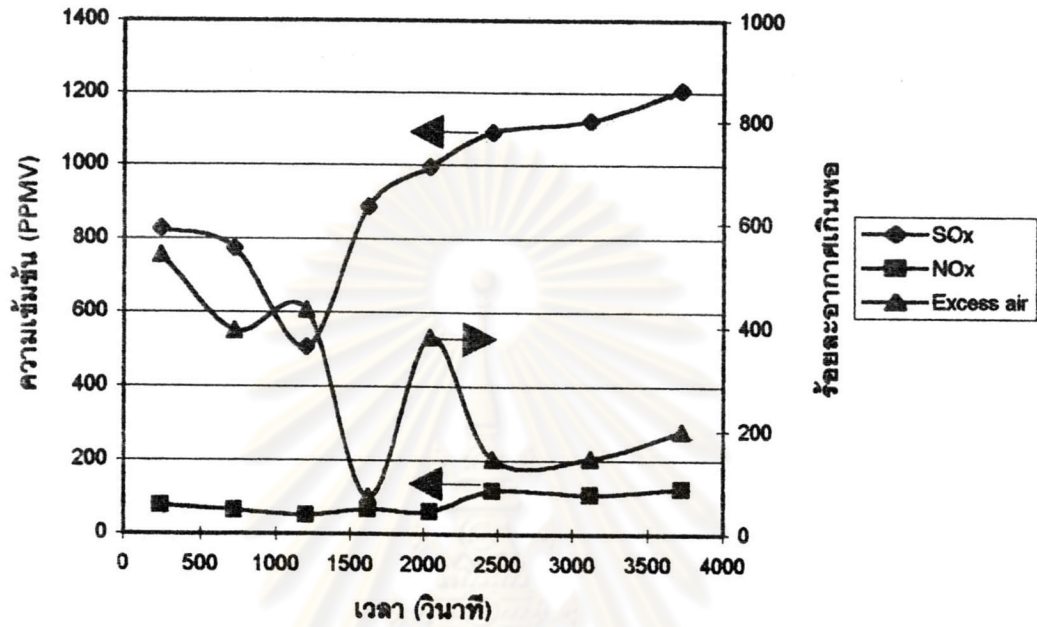


ระบบนำแก๊สออกอัดโนมิติได้ จากการทดลองเมื่อทำการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซต่างๆในแอสติก ก๊าซตลอดระยะเวลาการทดลองได้ผลการทดลองดังในรูปที่ 4.5

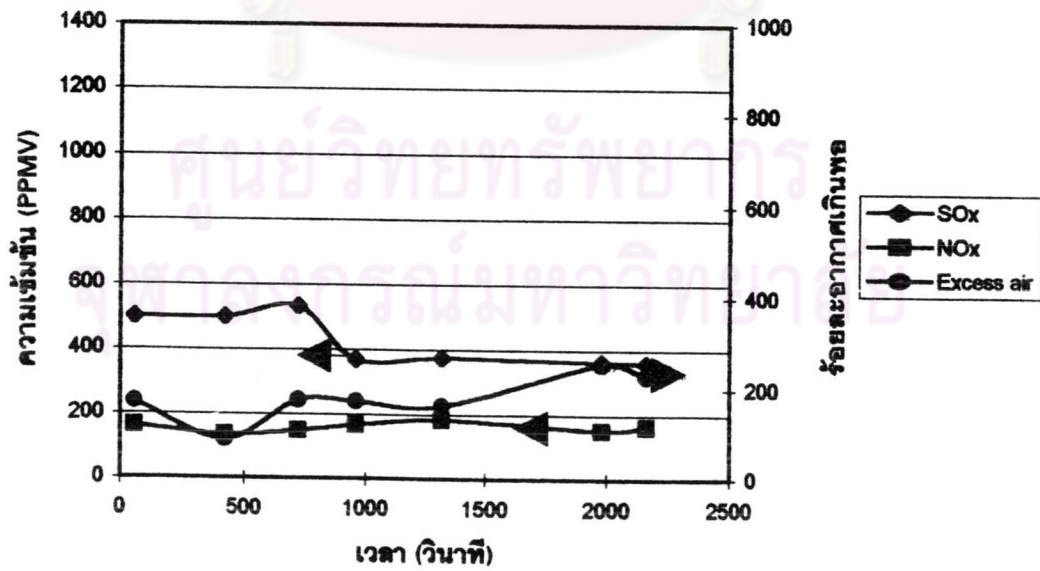
ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของถ่านหินบริษัทเหมืองบ้านปูจากแหล่งแม่ทาน

รายการที่วิเคราะห์	air-dried	dry
1. ร้อยละความชื้น	14.97	-
2. ร้อยละเถ้า	8.23	9.68
3. ร้อยละสารระเหย	48.89	57.50
4. ร้อยละคาร์บอนคงตัว	27.91	32.82
5. ค่าความร้อน แคลอรี/กรัม	4,908	5,772
6. ร้อยละกำมะถัน	2.11	2.48

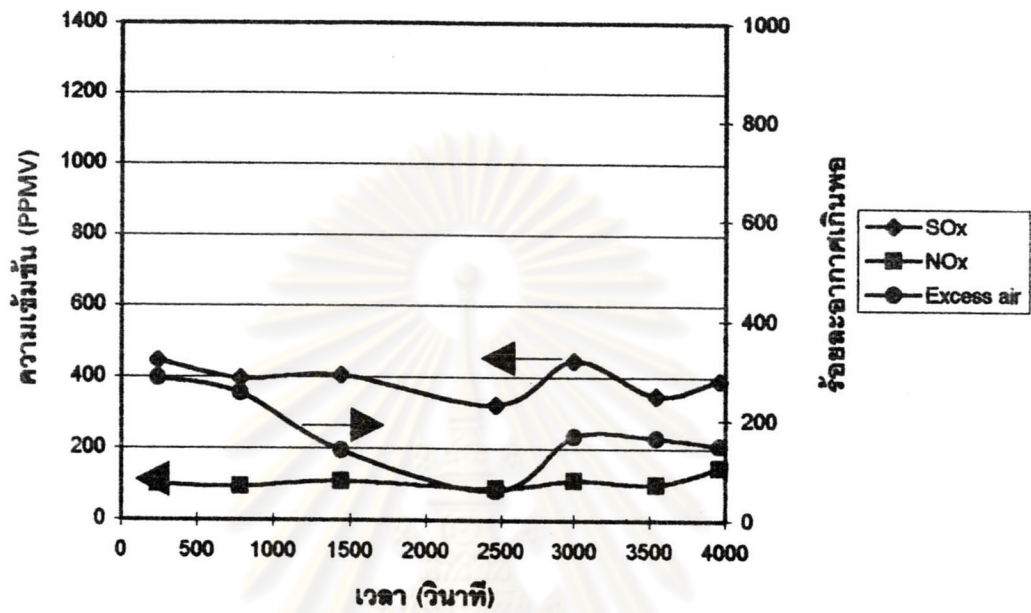
เมื่อนำถ่านหินอัดก้อนของงานวิจัยนี้มาใช้แทนถ่านหินปกติของทางบริษัท โดย ถ่านหินอัดก้อนสามารถป้อนด้วยระบบการป้อนแบบเกลียวของหม้อไอน้ำได้เหมือนกับถ่านหิน ปกติเนื่องจากขนาดอยู่ในช่วงที่สามารถป้อนด้วยระยะเกลียวขนาด 4 นิ้ว จากการสังเกต และ สอบถามทางบริษัทเกี่ยวกับปัญหาของถ่านหินปกติกับระบบการป้อนของหม้อไอน้ำ พบว่า ถ่านหินปกตินั้นมักจะมีปัญหาเข้าไปติดขัดในระบบการป้อนแบบเกลียว โดยเนื่องจากตัวถ่านหิน หรือสิ่งที่ปนมากับถ่านหินเช่น ก้อนหินซึ่งมีผลทำให้ระบบการป้อนติดขัดหรือขัดข้องเกลียวทำให้เกิด ความเสียหายกับระบบการป้อนแบบเกลียวเนื่องจากตัวเกลียวอาจขาดได้ การใช้งานถ่านหิน อัดก้อนป้อนถ่านหินอัดก้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นทำการ วัดค่าความเข้มข้นของก๊าซต่างๆที่อยู่ในแอสติกก๊าซทำการทดลองเช่นเดียวกับถ่านหินปกติ ได้ผล การทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซต่างๆในแอสติกก๊าซของ ถ่านหินปกติ และถ่านหินอัดก้อนของงานวิจัยดังตารางที่ 4.19



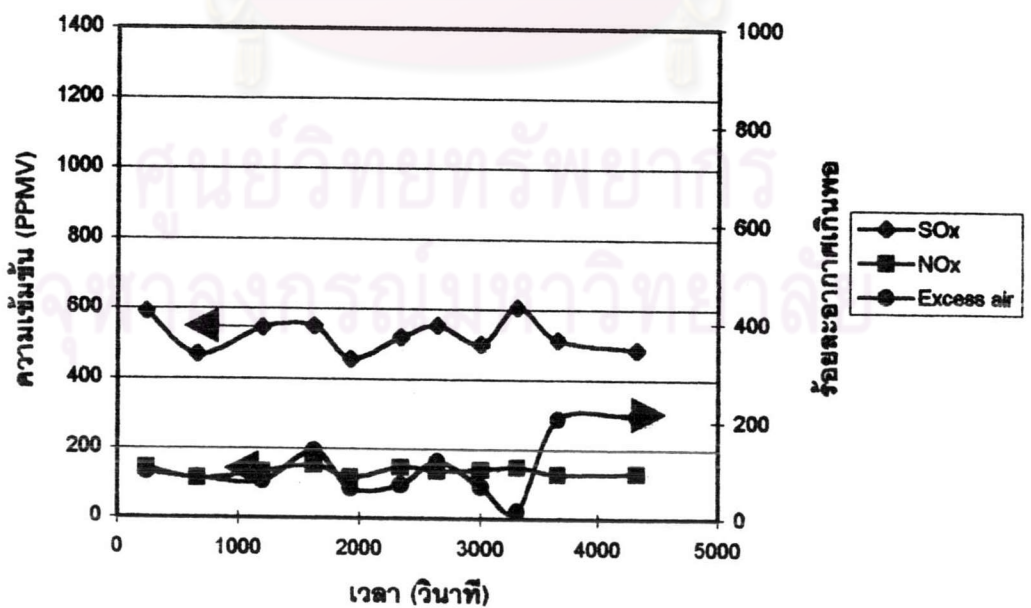
รูปที่ 4.5 ค่าความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ในเสตคก๊าซจากการเผาไหม้ถ่านหินปกติ



รูปที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ในเสตคก๊าซของถ่านหินอัดก้อน A15C11



รูปที่ 4.7 ค่าความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ในเสตคก๊าศจากการเผาผ่านหินอัดก้อน A15C21



รูปที่ 4.8 ค่าความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ ในเสตคก๊าศจากการเผาผ่านหินอัดก้อน A25C11



ตารางที่ 4.19 ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซต่างๆ ในแอสติกก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินปกติ และถ่านหินอัดก้อน

ชนิดของถ่านหิน	SO <sub>x</sub> (PPMV)	NO <sub>x</sub> (PPMV)	%CO <sub>2</sub>	%O <sub>2</sub>	Excess air	อุณหภูมิ (C)
1. ถ่านหินปกติ	952	88	9.5	12.7	288	199
2. A15C11	434	83	11.0	12.0	179	211
3. A15C21	385	103	7.0	11.0	169	214
4. A25C11	517	129	9.8	7.9	75	215

จากตารางที่ 4.19 ถ่านหินปกติในระหว่างการเผาไหม้ได้ปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกมาในระดับความเข้มข้น 952 PPMV ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ในระดับ 88 PPMV โดยมีร้อยละอากาศเกินพอประมาณ 288 อุณหภูมิของแอสติกก๊าซ 199 องศาเซลเซียส ในระหว่างการเผาไหม้ได้ทำการวัดค่าอุณหภูมิในห้องเผาไหม้โดยใช้ไพโรมิเตอร์ประเภทการแผ่รังสีรวม (Pyrometer ประเภท Total radiation) พบว่าอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ขณะที่ถ่านหินลุกไหม้มีค่า 870 องศาเซลเซียส ลักษณะของเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้แสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานกับถ่านหินอัดก้อนของงานวิจัย พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงจาก 952 PPMV เป็น 434, 385, 517 PPMV ของชุดถ่านหิน A15C11, A15C21, A25C11 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณร้อยละแบบไม่รวมความชื้นของซัลเฟอร์ในถ่านหินอัดก้อนมีค่าน้อยกว่าในถ่านหินปกติ และถ่านหินอัดก้อนยังมีการผสมปูนขาวซึ่งมีองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ซึ่งเกิดปฏิกิริยากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้มีผลทำให้การปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศมีค่าลดลง



รูปที่ 4.9 ลักษณะเปลวไฟของการเผาไหม้ของถ่านหินปกติในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม



รูปที่ 4.10 ลักษณะเปลวไฟของการเผาไหม้ของถ่านหินอัดก้อนในหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม

จากผลการทดลองเมื่อนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซต่างๆในแอสติกก๊าซ ไปคำนวณหาร้อยละ การปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ เทียบกับปริมาณกำมะถันที่มีอยู่ใน ถ่านหิน ดังแสดงในภาคผนวกที่ ง ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.20 จากการคำนวณพบว่าปริมาณซัลเฟอร์ที่ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศของถ่านหินอัดก้อนลดลงจากถ่านหินปกติ โดยมี ร้อยละของการปลดปล่อย 31-50 จากถ่านหินปกติซึ่งมีร้อยละการปลดปล่อย 75 ในกรณีนี้ ถ่านหินอัดก้อนมีอัตราส่วนโดยโมลของ CaO/S 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ กันพบว่ายังไม่สามารถสรุปผลได้อย่างชัดเจนว่าอัตราส่วน CaO/S ที่ผสมอยู่ในถ่านหินอัดก้อนมีผล ต่อการปลดปล่อยซัลเฟอร์ออกสู่บรรยากาศอย่างไรทั้งนี้เนื่องจากระบบการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ เป็นระบบอัดโน้มติอัตราการป้อนถ่านหิน, อัตราการป้อนอากาศ และปริมาณการใช้ไอน้ำของ

ตารางที่ 4.20 ร้อยละการปลดปล่อยซัลเฟอร์ออกสู่บรรยากาศของถ่านหินปกติ และ ถ่านหินอัดก้อน

ชนิดของถ่านหิน	ถ่านหินปกติ	A15C11	A15C21	A25C11
1. ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (PPMV)	952	434	385	517
2. ปริมาณซัลเฟอร์ในแอสติกก๊าซ (lb-mole)	52	26.80	35.40	31.88
3. ปริมาณซัลเฟอร์ในถ่านหิน (lb)	92.84	84.92	80.96	62.92
4. ร้อยละการปลดปล่อย	75.23	31.55	43.70	50.70

กระบวนการผลิตอาหารสัตว์ของโรงงานในแต่ละครั้งของการทดลองมีค่าแตกต่างกัน จากปัจจัยดังกล่าวมาแล้วข้างต้นมีผลทำให้ อัตราการเผาไหม้ของถ่านหินในแต่ละการทดลองอยู่ในสภาวะที่ แตกต่างกัน ข้อมูลการทดลองที่ได้จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อสรุปผลอย่างชัดเจน ผลการ ทดลองที่วิเคราะห์ได้สามารถแสดงได้ว่าถ่านหินอัดก้อนลดการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกสู่บรรยากาศ ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีค่าระหว่าง 88 - 109 PPMV โดยมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกัน เนื่องจากการเกิดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในระหว่างการเผาไหม้ขึ้น อยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้ อุณหภูมิในเปลวในหม้อเผาไหม้, ร้อยละอากาศเกินพอ, ร้อยละ ของไนโตรเจนในถ่านหิน เป็นต้นโดยมีร้อยละของอากาศเกินพอเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดก๊าซ ไนโตรเจนไดออกไซด์โดยที่อุณหภูมิในหม้อเผาไหม้อยู่ในช่วง 770 - 944 องศาเซลเซียส และมี



ร้อยละอากาศเกินพอมอยู่ในช่วง 75 - 179 สำหรับถ่านหินอัดก้อน และ 288 สำหรับถ่านหินปกติ ถ่านหินปกติสาเหตุที่มีร้อยละอากาศเกินพอมากกว่าถ่านหินอัดก้อนเนื่องจากว่าถ่านหินปกติเมื่อเผาไหม้ถ้าถ่านหินที่เกิดขึ้นจะหลอมตัวเป็นแอสลิกทำให้ต้องการร้อยละอากาศเกินพอมากกว่าเพื่อใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่พบว่าการเกิดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ระหว่างการเผาไหม้เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 875 - 975 องศาเซลเซียส จากเหตุผลดังที่กล่าวข้างต้นทำให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในแต่ละชุดของการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย