บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองนำถ่านหินมาทำการคาร์บอไนซ์ด้วยความร้อนในขณะที่หุงต้มในเตาที่ออกแบบขึ้นใหม่ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของถ่านหินให้ดีขึ้น เช่น มีกลิ่นและควันลดลง สามารถจุดติดไฟได้ง่าย เป็นต้น ตัวแปรในการทดลองคือ ปริมาณเชื้อเพลิง ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ โดยพิจารณาถึงผลที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานของเตา คุณสมบัติของถ่านหินไร้ควันที่ได้จากการคาร์-บอไนซ์ เช่น ปริมาณสารระเหยที่เหลืออยู่ เป็นต้น ตลอดจนพิจารณาอุณหภูมิภายในห้องคาร์บอไนซ์ ถ่านหิน ถ่านหินไร้ควันที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ นำมาทดลองอัดก้อนโดยใช้วิธีอย่างง่าย พิจารณาร้อยละของส่วนผสมต่างๆในการอัดก้อนที่เหมาะสม เพื่อผลิตเป็นถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีคุณภาพดีและนำมาใช้ในเตาได้ต่อไปอย่างเพียงพอ ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินที่ใช้

การวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์ค่าความ-ร้อน และการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันของถ่านหินที่ใช้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ผลการวิเคราะห์ถ่านหิน พบว่ามีค่าความร้อนแบบไม่รวมความชื้นเท่ากับ 5,562 แคลอรี/กรัม จากค่าความร้อนนี้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับตารางที่ 2.1 ซึ่งจัดแบ่งถ่านหินตามศักดิ์โดยวิธีมาตรฐาน ASTM พบว่าถ่านหินดังกล่าวจัดอยู่ในประเภทซับบิทูมินัสซีที่มีปริมาณสารระเหยสูง (high volatile subbituminous-C) เมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจะมีควันมากและมีกลิ่นในขณะเผาไหม้ ก่อนที่นำไปใช้งานควรนำไปคาร์บอไนซ์เพื่อลดสารระเหย ซึ่งช่วยให้มีควันและกลิ่นลดลง

4.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านไม้ที่ใช้

ในระยะแรกของงานวิจัยนี้ เนื่องจากยังไม่มีถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มและคาร์บอไนซ์ถ่านหิน จึงได้ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงก่อน เมื่อทำการทดลองหลายครั้งจนได้ถ่านหินไร้ควันปริมาณมากพอสมควรแล้ว จึงนำเอาถ่านหินไร้ควันของแต่ละการทดลองมารวมกัน

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะ

รายการที่วิเคราะห์	ก	ข
การวิเคราะห์แบบประมาณ (ร้อยละ)		
- ความชื้น	17.96	—
- สารระเหย	35.82	43.66
- เถ้า	8.46	10.31
- คาร์บอนคงตัว	37.76	46.03
- ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	4,563	5,562
- ปริมาณกำมะถัน	1.06	1.29

หมายเหตุ ก. สภาวะที่ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศจนเข้าสู่สมดุล (air-dried basis)
ข. สภาวะที่ไม่รวมความชื้น (dry basis)

นำไปบดและอัดก้อนเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนถ่านไม้ต่อไป สำหรับถ่านไม้ที่ใช้มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณก้อนละ 20 กรัม ถ่านไม้ที่นำไปวิเคราะห์ความชื้นและค่าความร้อน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

4.3 ผลการออกแบบเตาคาร์บอไนซ์

เตาคาร์บอไนซ์ที่สร้างขึ้นใหม่ ตามแบบและรายละเอียดใน 3.3.3 สามารถนำไปใช้งานในการหุงต้มอาหารพร้อมกับการคาร์บอไนซ์ถ่านหินได้ตามวัตถุประสงค์คือ สามารถหุงต้มอาหารโดยมีประสิทธิภาพการใช้งานไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 ซึ่งเป็นประสิทธิภาพการใช้งานของเตาอั้งโล่ที่ดี และสามารถคาร์บอไนซ์ถ่านหินที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 450 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature carbonization) และผลิตถ่านหินไร้ควันได้อย่างเพียงพอ เมื่อนำไปอัดก้อน สามารถนำมาใช้งานในเตาต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยัง

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ถ่านไม้

รายการที่วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์
ความชื้น (ร้อยละ)	5.13
ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	
- รวมความชื้น (wet basis)	6,792
- ไม่รวมความชื้น (dry basis)	7,160

สามารถนำก๊าซที่ได้จากการคาร์บอไนซ์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาได้ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานเพิ่มขึ้น ดังแสดงผลการทดลองในหัวข้อต่อไป

4.4 ผลการคาร์บอไนซ์ถ่านหินและการหาประสิทธิภาพการใช้งานของเตา

การนำเตามาใช้งานนั้น ได้พิจารณาถึงผลของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน คุณสมบัติของถ่านหินไร้ควันที่ได้ และอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ เตาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีจำนวน 2 เตา ทำการคาร์บอไนซ์ถ่านหินไปพร้อมกับการหาประสิทธิภาพการใช้งาน โดยเตาดังกล่าวได้บุดินทนไฟที่ผนังห้องเถ้าและรอบผิวเตาด้านนอกทั้งหมด ดังรายละเอียดใน 3.3.3 แต่ไม่บุดินทนไฟที่ผนังห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงดังเช่นเตาอั้งโล่ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป ทั้งนี้เพื่อต้องการให้ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในขณะที่หุงต้มอาหารสามารถผ่านผนังห้องเผาไหม้ที่ทำด้วยโลหะไปยังถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ได้มากขึ้น ทำให้ไล่ความชื้นและสารระเหยออกจากถ่านหินได้มากขึ้น ผลการทดลองคาร์บอไนซ์ถ่านหินและหาประสิทธิภาพการใช้งาน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลของปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานและคุณสมบัติของถ่านหินไร้ควันที่ได้

การทดลองในข้อนี้ ใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์คงที่ 1,300 กรัม ซึ่งเป็น

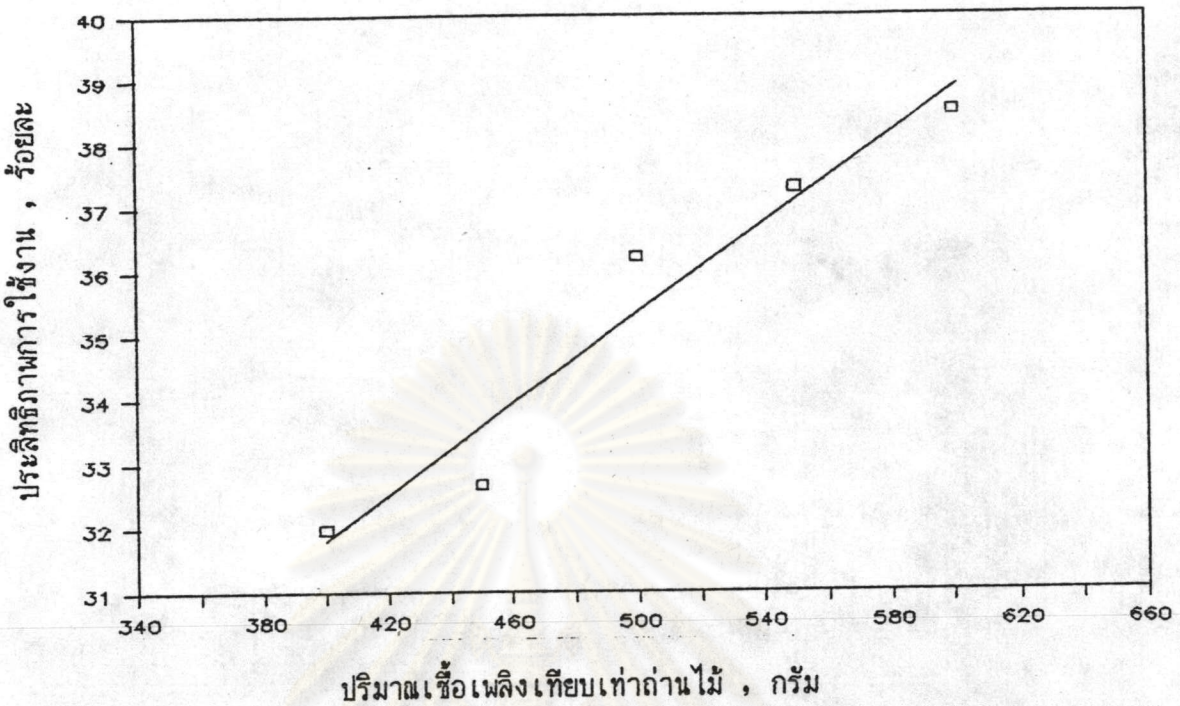
ปริมาณสูงสุดที่สามารถใส่ในห้องคาร์บอไนซ์ได้ ทำการคาร์บอไนซ์ถ่านหินพร้อมกับการหุงต้มโดยนำเอาสารระเหยที่ได้ในขณะคาร์บอไนซ์กลับเข้ามายังเตาผ่านหัวเผา (burner) ที่อยู่ใต้ห้องเผาไหม้เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตา ผลของปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานและคุณสมบัติของถ่านหินไร้ควันที่ได้ พิจารณาจากปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันเป็นหลัก ได้แสดงในตารางที่ 4.3 และแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน และคุณสมบัติของถ่านหินไร้ควันที่ได้

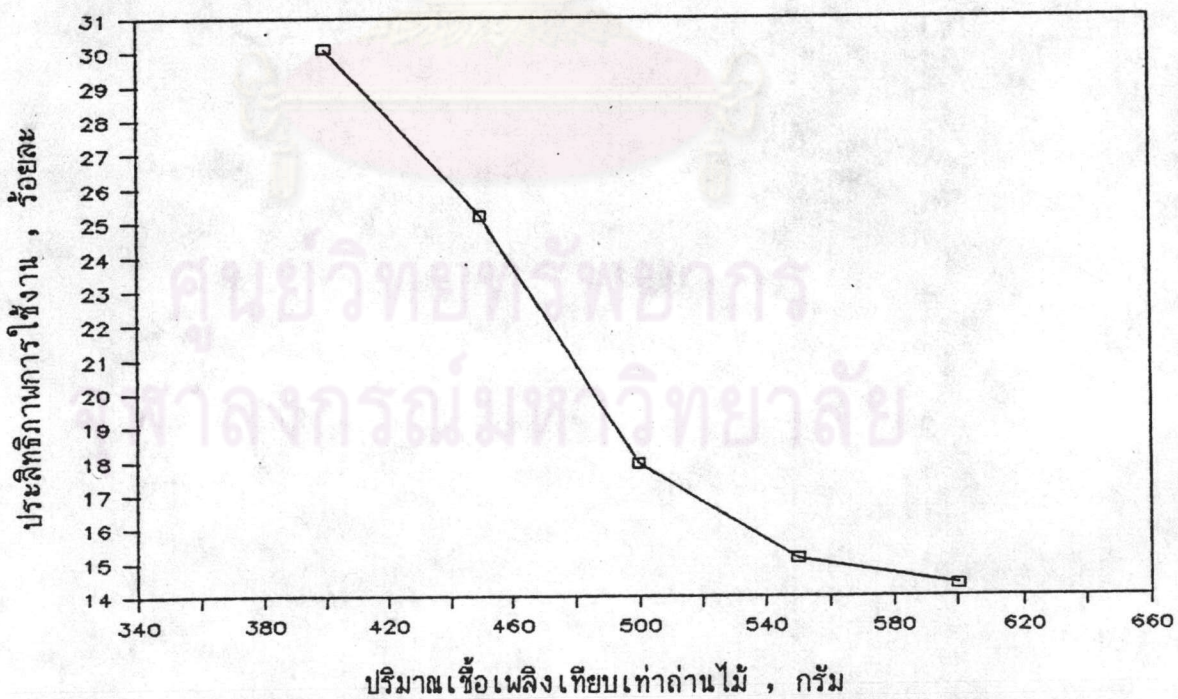
ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน (กรัม)	ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ (กรัม)	ประสิทธิภาพการใช้งาน (ร้อยละ)	ปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควัน (ร้อยละ)
579 (400)*	1,300	31.98	30.12
652 (450)	1,300	32.67	25.20
724 (500)	1,300	36.20	17.93
796 (550)	1,300	37.29	15.14
868 (600)	1,300	38.49	14.36

หมายเหตุ * A (B) หมายถึง ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน A กรัมซึ่งเทียบเท่าปริมาณความร้อนที่ได้จากถ่านไม้ B กรัม (ถ่านไม้มีคุณสมบัติต่างๆตามการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.2) และมีความหมายเช่นเดียวกันในตารางอื่นๆ

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 เมื่อใช้ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการใช้งานจะเพิ่มขึ้น และปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันที่ได้ลดลง จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการใช้งานเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 31.98 เป็น 38.49 เมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงจากปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 400 กรัม เป็น 600 กรัม การที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงทำให้เตาและถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ได้รับความร้อนมากขึ้น



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการใช้งานกับปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน (เทียบเท่าถ่านไม้) เมื่อปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์คงที่ 1,300 กรัม



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควัน กับปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน (เทียบเท่าถ่านไม้) เมื่อใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์คงที่ 1,300 กรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไล่สารระเหยออกจากถ่านหินได้มากขึ้น เมื่อสารระเหยดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตา ซึ่งสามารถติดไฟได้ที่หัวเผา ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของเตาเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเผาไหม้ของสารระเหยดังกล่าว นอกจากนี้ยังทำให้สารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันลดลงอีกด้วย (ผลของการนำเอาสารระเหยกลับมาเผาไหม้ในเตาที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน เปรียบเทียบผลกับเมื่อไม่นำเอาสารระเหยกลับมาเผาไหม้ในเตา ได้แสดงรายละเอียดในข้อ 4.4.2) พิจารณาผลการทดลองเมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม พบว่าประสิทธิภาพการใช้งานสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ 450 กรัม และ 400 กรัม เป็นเพราะที่ปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัมนี้ ขณะคาร์บอไนซ์ถ่านหินจะให้สารระเหยออกมามากกว่า และจุดไฟติดได้ที่หัวเผาเป็นเวลานานกว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ 450 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ส่วนการคาร์บอไนซ์โดยใช้เชื้อเพลิงเทียบเท่ากับถ่านไม้ 400 กรัมนั้น ไม่สามารถจุดสารระเหยให้ติดไฟที่หัวเผาได้ เนื่องจากสารระเหยที่ออกมามีปริมาณน้อยเกินไป

ตารางที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาที่สารระเหยสามารถจุดติดไฟได้ที่หัวเผาในขณะทำการคาร์บอไนซ์ถ่านหินปริมาณ 1,300 กรัมคงที่ และใช้ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันต่างกัน

ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ใช้ (กรัม)	ระยะเวลาที่สารระเหยจุดติดไฟได้ที่หัวเผา (นาที)
579 (400)	0
652 (450)	18
724 (500)	53
796 (550)	58
868 (600)	65

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และ 4.4 เห็นได้ชัดว่า ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเทียบเท่ากับถ่านไม้ 500 กรัมนั้น ให้ประสิทธิภาพการใช้งานสูงและ

สารระเหยสามารถจุดติดไฟได้นานกว่าการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันในปริมาณเทียบเท่ากับถ่านไม้ 450 กรัม และ 400 กรัมมาก (นอกจากนี้ยังทำให้อุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์สูงกว่า 450 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ ดังรายละเอียดใน 4.4.3) และเมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ใช้เป็นเทียบเท่าถ่านไม้ 550 กรัม และ 600 กรัม พบว่าช่วงเวลาที่สารระเหยติดไฟได้ในเตาเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ไม่ต่างจากการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม มากนัก ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควัน พบว่าเมื่อใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัมนั้น มีสารระเหยเหลืออยู่ร้อยละ 17.93 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของปริมาณสารระเหยที่จะมีได้คือร้อยละ 8 - 20 เมื่อมีการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ (8) แม้ว่าการเพิ่มเชื้อเพลิงเป็นปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 550 กรัม และ 600 กรัม จะทำให้สารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันที่ได้ลดลงก็ตาม แต่จะลดลงไม่มากนักเมื่อเทียบกับการลดลงจากการเปลี่ยนปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ 400 กรัม และ 450 กรัม มาเป็น 500 กรัม ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันในปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 550 กรัม และ 600 กรัม เพื่อทำให้ถ่านหินไร้ควันมีสารระเหยเหลืออยู่ไม่เกินร้อยละ 20 ปริมาณเชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพการใช้งานสูงและถ่านหินไร้ควันที่ได้มีสารระเหยไม่เกินร้อยละ 20 อ่านได้จากกราฟในรูปที่ 4.2 (เมื่อปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์เป็น 1,300 กรัม) คือใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเทียบเท่ากับถ่านไม้ตั้งแต่ 485 กรัมขึ้นไป

4.4.2 ผลของปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานและคุณสมบัติของถ่านหินไร้ควันที่ได้

การทดลองในข้อนี้ ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันคงที่ และเปลี่ยนปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ ทำการทดลองโดยให้สารระเหยที่ได้จากการคาร์บอไนซ์กลับมาในเตาเพื่อใช้จุดเป็นเชื้อเพลิงที่หัวเผา พิจารณาผลของปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานของเตา และคุณสมบัติของถ่านหินไร้ควันที่ได้ โดยพิจารณาปริมาณสารระเหยที่เหลือเป็นหลัก ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 พิจารณาประสิทธิภาพการใช้งานเมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 400 กรัม พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ไม่ขึ้นกับปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้งานโดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 450 กรัม และ 500 กรัม พบว่ามีแนวโน้มเหมือนกันคือ ประสิทธิภาพการใช้งานใกล้เคียงกันเมื่อปริมาณเชื้อเพลิงเท่ากัน ยกเว้นการทดลองที่ปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ 450

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งานและคุณสมบัติของถ่านหินไร้ควันที่ได้

ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน (กรัม)	ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ (กรัม)	ประสิทธิภาพการใช้งาน (ร้อยละ)	ปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควัน (ร้อยละ)
579 (400)	1,300	31.98	30.12
579 (400)	975	30.93	28.05
579 (400)	650	32.54	25.16
652 (450)	1,300	32.67	25.20
652 (450)	900	36.14	19.44
652 (450)	650	36.54	18.85
724 (500)	1,300	36.20	17.93
724 (500)	1,100	37.19	16.32
724 (500)	900	35.91	15.88
724 (500)	700	35.83	15.65
724 (500)	650	36.04	15.68

กรัมและใช้ถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 1,300 กรัม มีประสิทธิภาพการใช้งานเพียงร้อยละ 32.67 ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพการใช้งานเมื่อใส่ถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 900 กรัม และ 650 กรัม ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้งานร้อยละ 36.14 และ 36.54 ตามลำดับ เป็นเพราะปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 1,300 กรัม และใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ 450 กรัมนั้น สามารถไล่สารระเหยออกจากถ่านหินในขณะคาร์บอไนซ์ได้ปริมาณน้อยกว่าเมื่อใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 900 กรัม และ 650 กรัม เมื่อนำสารระเหยกลับเข้ามาในเตาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง จึงมีช่วงเวลาที่สารระเหยจุดติดไฟได้ในเตาน้อยกว่า ดังข้อมูลในตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงช่วงเวลาที่

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ที่มีต่อระยะเวลาที่สารระเหยจุดติดไฟได้ในเตา เมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 450 กรัม

ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน (กรัม)	ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ (กรัม)	ช่วงเวลาที่สารระเหยจุดติดไฟได้ในเตา (นาที)
652 (450)	1,300	18
652 (450)	900	40
652 (450)	650	38

ทอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารระเหยจุดติดไฟได้ในเตาเป็นเวลาต่างกันมาก ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ของสารระเหยจึงน้อยกว่า เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำกว่าเมื่อใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 900 กรัม และ 650 กรัม ประสิทธิภาพการใช้งานที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ของสารระเหยนั้น สามารถหาได้โดยการเปรียบเทียบกับการทดลองที่ไม่นำเอาสารระเหยกลับมาเผาไหม้ในเตา โดยทำการคาร์บอไนซ์ถ่านหินด้วยปริมาณเชื้อเพลิงคงที่เทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม และเปลี่ยนปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 1,300 กรัม เป็น 1,100 กรัม , 900 กรัม และ 700 กรัม ตามลำดับ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานกับการทดลองเมื่อนำสารระเหยมาใช้เผาไหม้ในเตา ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7

จากตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่อนำสารระเหยกลับมาใช้เผาไหม้ในเตา ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานเพิ่มขึ้นจากการไม่นำสารระเหยมาเผาไหม้ ร้อยละ 6.14 - 7.76 ประสิทธิภาพการใช้งานที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณ (ดังแสดงในภาคผนวก ข) เป็นปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของสารระเหย เปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่สารระเหยออกจากถ่านหิน ดังแสดงผลในตารางที่ 4.8

จากตารางที่ 4.8 พิจารณาปริมาณความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านหินแห้งที่นำไปคาร์บอไนซ์ เปรียบเทียบระหว่างปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ของสารระเหย กับ ปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่สารระเหยออกจากถ่านหิน พบว่า ความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่สารระเหยออกจากถ่านหินมีค่ามากกว่าความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ของสารระเหยในเตา และเมื่อลดปริมาณ

ตารางที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพการใช้งานเมื่อนำเอาสารระเหยกลับมาเผาไหม้และไม่นำมาเผาไหม้ในเตา โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณคงที่เทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม

ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์-บอไนซ์ (กรัม)	ประสิทธิภาพการใช้งานเมื่อนำสารระเหยมาเผาไหม้ในเตา(ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการใช้งานเมื่อไม่นำสารระเหยมาเผาไหม้ในเตา(ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการใช้งานที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
1,300	36.20	29.14	7.06
1,100	37.19	29.43	7.76
900	35.91	29.06	6.85
700	35.83	29.69	6.14

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของสารระเหยในเตา กับปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่สารระเหยออกจากถ่านหิน โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณคงที่เทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม

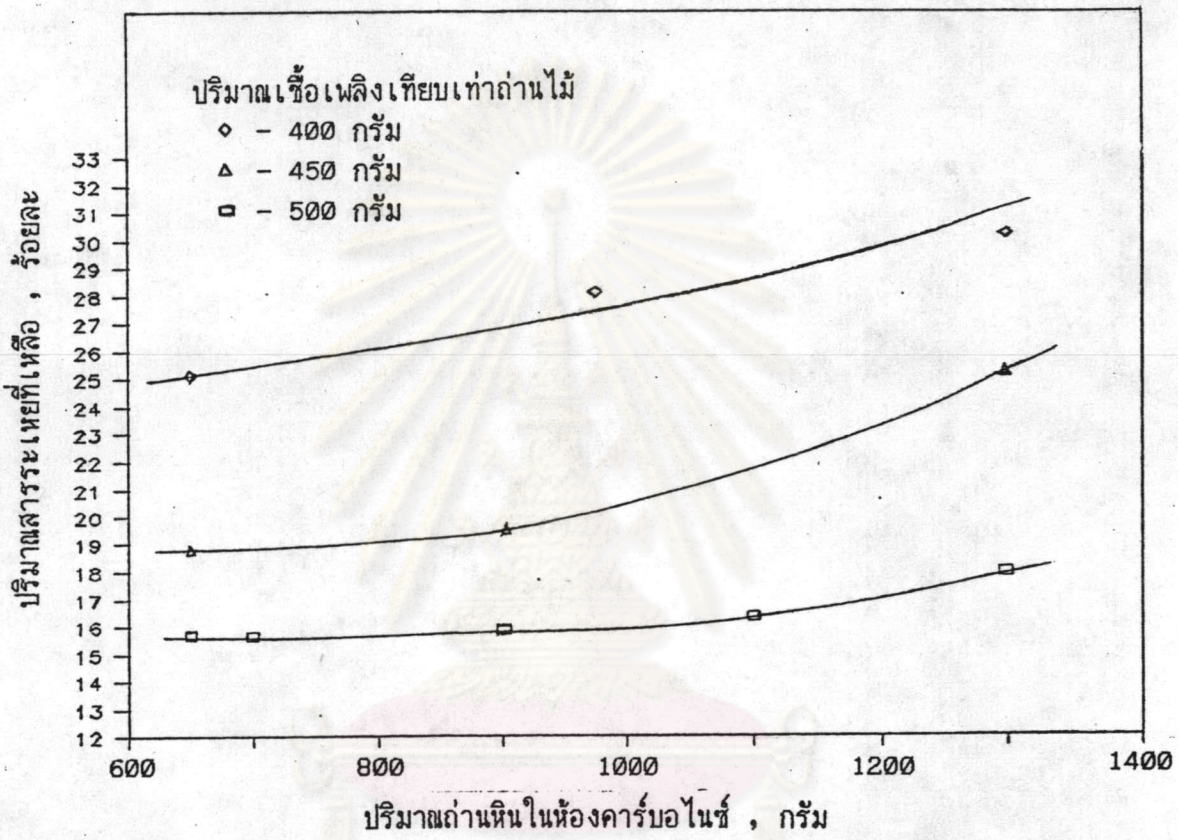
ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ (กรัม)	ปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้ของสารระเหยในเตา		ปริมาณความร้อนที่ใช้ไปเพื่อไล่สารระเหยออกจากถ่านหิน	
	แคลอรี*	แคลอรี/กรัม**	แคลอรี*	แคลอรี/กรัม**
1,300	591,500	555	1,119,500	1,050
1,100	670,700	743	1,059,800	1,174
900	617,500	836	880,700	1,193
700	559,900	975	676,600	1,178

หมายเหตุ * หมายถึง ปริมาณความร้อนรวมทั้งหมด

** หมายถึง ปริมาณความร้อนต่อน้ำหนักของถ่านหินแห้งที่นำไปคาร์บอไนซ์

ถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ลง พบว่าความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ของสารระเหยเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่า เมื่อใช้ถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ลดลงจะสามารถไล่ความชื้นและสารระเหยออกจากถ่านหินได้ง่ายกว่า ดังนั้น จึงทำให้ได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ของสารระเหยมากขึ้น

ผลของปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ที่มีต่อปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันจากข้อมูลในตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 4.3

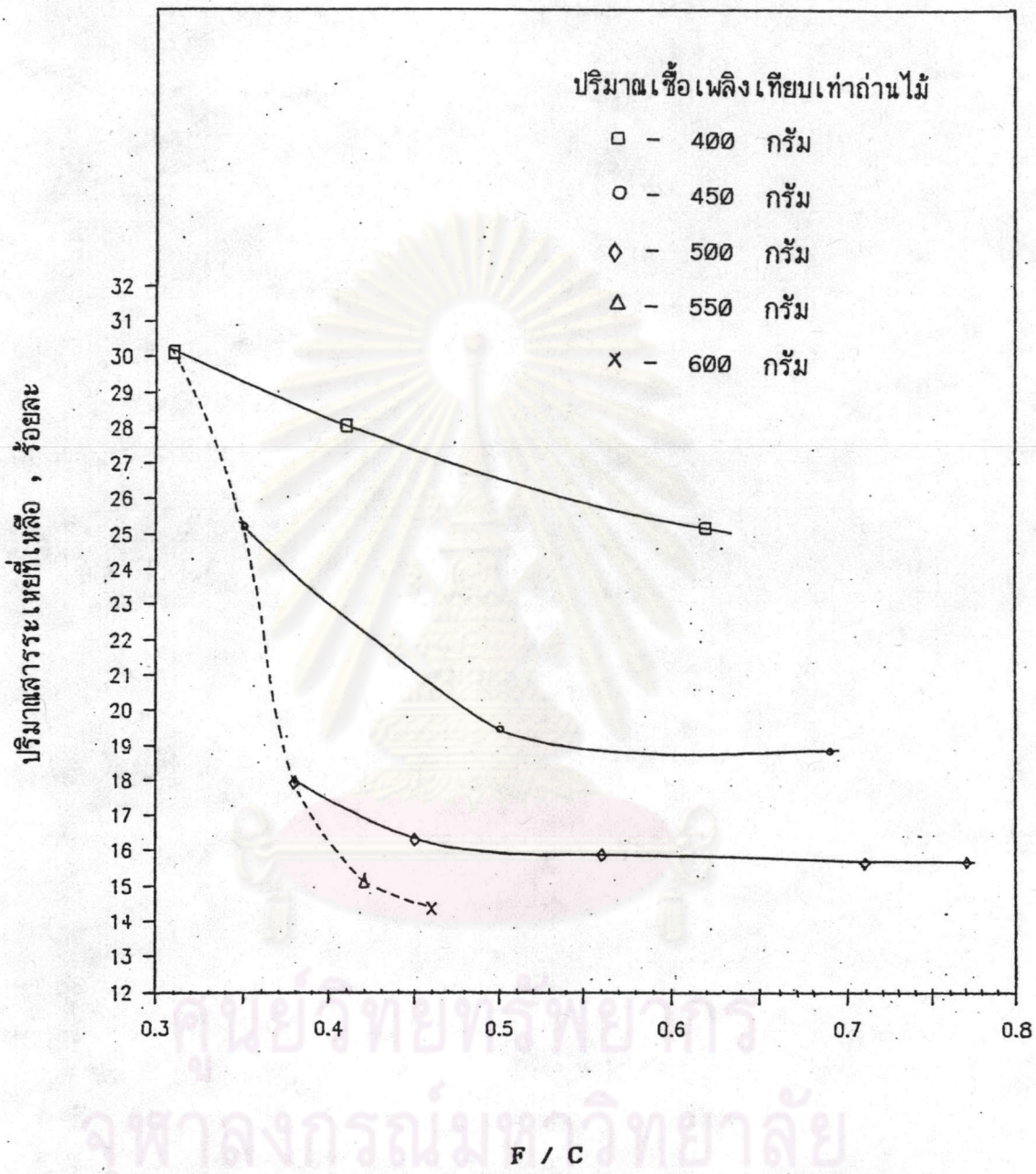


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันกับปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์

จากกราฟรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณเชื้อเพลิงเท่ากัน สารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันจะลดลงเมื่อลดปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ ซึ่งปริมาณสารระเหยที่เหลือจะลดลงมากเมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 400 กรัม หรือ 450 กรัม และจะลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้เชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม ปริมาณสารระเหยที่เหลืออยู่ในถ่านหินไร้ควันจากตารางที่ 4.5 บางค่า ต่ำกว่าร้อยละ 20 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งได้แก่เมื่อใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ประมาณ 900 กรัม หรือน้อยกว่า (ที่ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเทียบเท่าถ่านไม้ 450 กรัม) และเมื่อใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 1,300 กรัม หรือน้อยกว่า (ที่ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเทียบเท่าถ่านไม้

500 กรัม) ซึ่งเมื่ออ่านค่าจากกราฟรูปที่ 4.3 พบว่า เมื่อต้องการให้ปริมาณสารระเหยที่เหลืออยู่ในถ่านหินไม่เกินร้อยละ 20 ต้องใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ประมาณ 940 กรัม หรือต่ำกว่า โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเทียบเท่าถ่านไม้ 450 กรัม หรือใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์-บอไนซ์ได้ 1,300 กรัม หรือน้อยกว่า โดยใช้ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัมได้

ข้อมูลในตารางที่ 4.5 และ 4.3 สามารถนำมาสร้างเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันแห้ง กับอัตราส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ใช้เทียบเท่ากับถ่านไม้ (F) ต่อ ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์-บอไนซ์ (C) ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน โดยให้ถ่านหินไร้ควันที่ได้จากการคาร์บอไนซ์มีปริมาณสารระเหยที่เหลืออยู่ตามต้องการ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการหาปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์สูงสุดที่สามารถบรรจุได้ เมื่อกำหนดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควัน อย่างไรก็ตาม เตาที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถบรรจุถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ได้สูงสุดประมาณ 1,300 กรัม ซึ่งหากปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์เกินปริมาณดังกล่าวมากเกินไปจะไม่สามารถบรรจุได้ ดังนั้น จึงได้แสดงด้วยกราฟเส้นประในรูปที่ 4.4 โดยแสดงในรูปของอัตราส่วน F ต่อ C ต่ำสุดที่สามารถนำไปใช้งานได้ โดยที่อัตราส่วน F ต่อ C ต่ำกว่านี้ จะทำให้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ที่คำนวณได้มีปริมาณมากกว่า 1,300 กรัม ซึ่งเกินปริมาณสูงสุดที่สามารถบรรจุได้ในห้องคาร์บอไนซ์ถ่านหิน ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เช่น เมื่อต้องการหาปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์สูงสุดที่บรรจุได้โดยกำหนดปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันไม่เกินร้อยละ 20 ตามเกณฑ์ในการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ เมื่ออ่านจากกราฟโดยลากเส้นขนานกับแกนนอน เริ่มจากที่ปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันร้อยละ 20 พบว่าเส้นที่ลากขนานกับแกนนอนดังกล่าว ตัดเส้นกราฟที่ปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ตั้งแต่ 487 กรัม ไปจนถึงประมาณ 440 กรัม ซึ่งสามารถอ่านค่าอัตราส่วน F ต่อ C ที่สามารถนำไปใช้งานได้ และสามารถคำนวณเป็นปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์สูงสุดที่สามารถบรรจุได้ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.9 สำหรับที่ปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้มากกว่า 487 กรัม ซึ่งไม่สามารถอ่านค่าอัตราส่วน F ต่อ C ได้นั้น หากนำไปใช้งานจะให้ถ่านหินไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่ต่ำกว่าร้อยละ 20 ได้เช่นเดียวกัน เพราะเชื้อเพลิงมีปริมาณมากกว่า จึงสามารถนำไปใช้งานได้ และสำหรับที่ปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้น้อยกว่า 440 กรัม ซึ่งไม่สามารถอ่านค่าอัตราส่วน F ต่อ C ได้นั้น หากนำไปใช้งานจะให้ถ่านหินไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่เกินร้อยละ 20 เพราะเชื้อเพลิงมีปริมาณน้อยเกินไป ดังนั้นจึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันแห้ง กับอัตราส่วนของปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่าถ่านไม้ (F) ต่อ ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ (C)

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเทียบเท่าถ่านไม้ที่เลือกใช้ อัตราส่วน F / C ที่อ่านได้ และปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์สูงสุดที่คำนวณได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานโดยให้ถ่านหินไร้ควันมีสารระเหยเหลืออยู่ไม่เกินร้อยละ 20

ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเทียบเท่าถ่านไม้ (F) , กรัม	อัตราส่วนของ F / C	ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์สูงสุดที่บรรจุได้ (C) , กรัม
490	—	—
487	0.375	1,298
480	0.393	1,221
470	0.425	1,106
460	0.453	1,015
450	0.480	938
440	0.592	743
430	—	—

ปริมาณเชื้อเพลิงและถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ที่ได้จากตารางที่ 4.9 เป็นค่าที่เหมาะสมซึ่งเมื่อนำไปคาร์บอไนซ์แล้ว จะได้ถ่านหินไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่ไม่เกินร้อยละ 20 ตามต้องการ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้นั้น สามารถใช้ในปริมาณที่มากขึ้นกว่าค่าที่ได้จากตารางดังกล่าว เช่นเดียวกันกับปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ สามารถใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าค่าที่ได้จากตาราง ซึ่งจะทำให้ถ่านหินไร้ควันที่ได้มีปริมาณสารระเหยที่เหลือลดลงต่ำกว่าร้อยละ 20 ได้ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้มากเกินไป หรือการลดปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์มากเกินไป อาจทำให้ปริมาณถ่านหินไร้ควันที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ ไม่เพียงพอต่อการนำไปอัดก้อนเพื่อนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงไม่ควรเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงหรือลดปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ที่ใช้มากเกินค่าที่เหมาะสมดังกล่าว

นอกจากถ่านหินไร้ควันที่ได้ ซึ่งมีสารระเหยเหลืออยู่ไม่เกินร้อยละ 20 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำดังได้กล่าวมาแล้วนั้น ถ่านหินไร้ควันที่มีปริมาณสารระเหยเหลืออยู่มากกว่าร้อยละ 20 ก็ยังสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เช่นเดียวกัน ซึ่งข้อแตกต่างของ

ถ่านหินไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่มากกว่าร้อยละ 20 กับถ่านหินไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 20 มีเพียงเล็กน้อย (รายละเอียดในข้อ 4.7.1) สำหรับการหาปริมาณเชื้อเพลิงและถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ใช้วิธีเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.4.3 ผลของปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์และปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีต่ออุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์

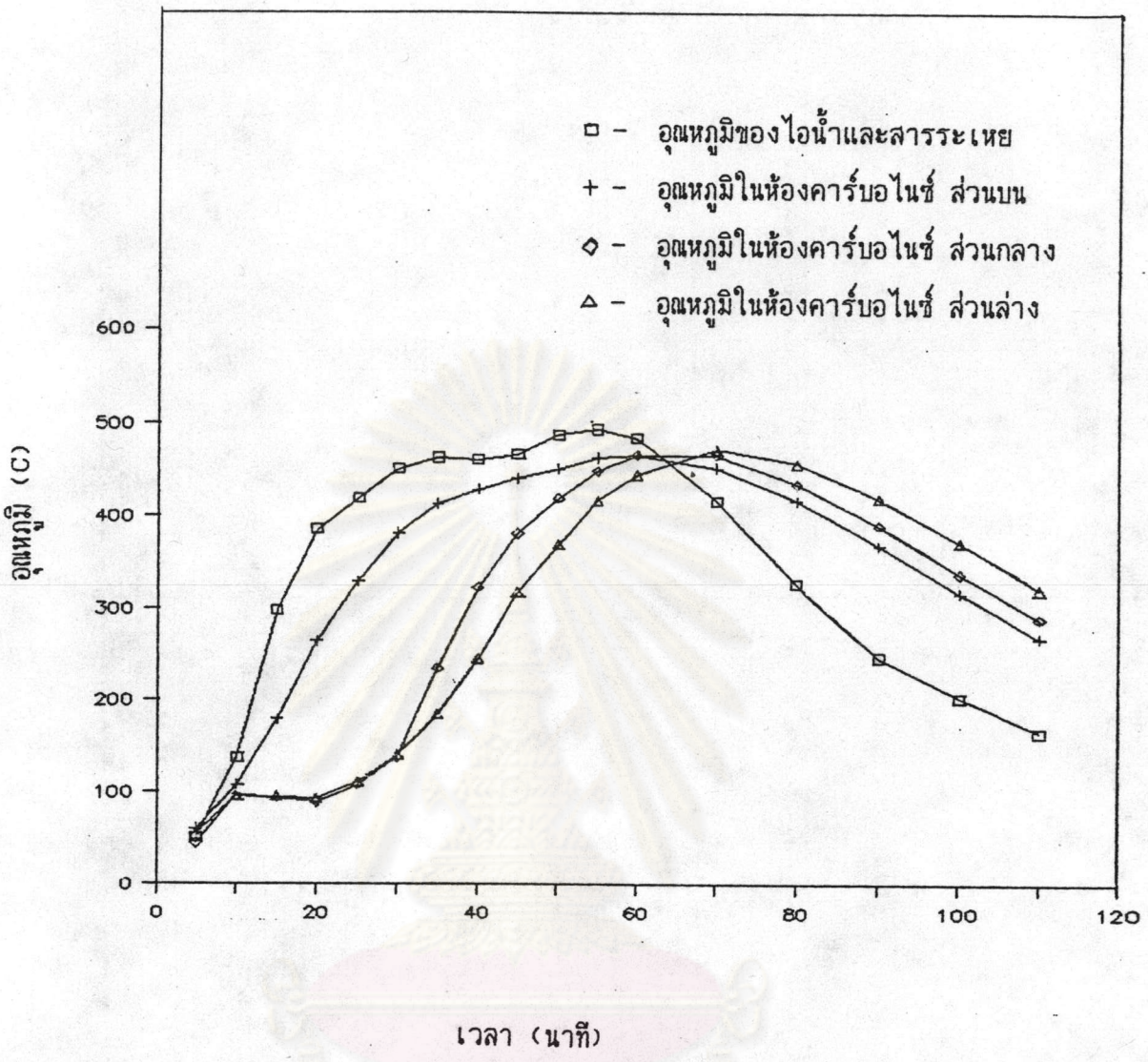
การทดลองในข้อนี้ เป็นสภาวะเดียวกันกับใน 4.4.1 และ 4.4.2 ได้ทำการวัดอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ โดยเปลี่ยนปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์หรือเปลี่ยนปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ใช้ พิจารณาผลที่มีต่ออุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์โดยพิจารณาช่วงเวลาที่อุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์สูงกว่า 450 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นเกณฑ์ต่ำสุดของการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำ (8) ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.10

จากตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อใช้ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเทียบเท่ากับถ่านไม้ 450 กรัม โดยใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 900 กรัม หรือน้อยกว่า และเมื่อใช้ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเทียบเท่ากับถ่านไม้ 500 กรัมขึ้นไป โดยบรรจุถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ได้สูงสุด 1,300 กรัม หรือน้อยกว่า สามารถทำให้อุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ถ่านหินสูงกว่า 450 องศาเซลเซียสได้ ช่วงเวลาที่อุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ถ่านหินสูงกว่า 450 องศาเซลเซียสนั้น นานมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยให้ถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์มีปริมาณคงที่ หรือเมื่อลดปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ลง โดยให้เชื้อเพลิงที่ใช้มีปริมาณคงที่ เมื่อเทียบผลการทดลองในตารางที่ 4.10 กับตารางที่ 4.5 พบว่า ช่วงเวลาที่อุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์มีค่าเกิน 450 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ถ่านหินไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 20 ได้

พิจารณาลักษณะของอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณคงที่เทียบเท่ากับถ่านไม้ 500 กรัม และลดปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์จาก 1,300 กรัม เป็น 650 กรัม ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.5 - 4.6 การวัดอุณหภูมิได้ทำการวัดทุก 5 นาที เป็นเวลา 1 ชม. หลังจากนั้นวัดทุก 10 นาที จนยุติการทดลอง โดยวัดอุณหภูมิของไอน้ำและสารระเหยก่อนออกจากเตาซึ่งแทนด้วยหมายเลข [1] วัดอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ที่บริเวณส่วนบนของห้องซึ่งแทนด้วยหมายเลข [2] ส่วนกลางซึ่งแทนด้วยหมายเลข [3] และส่วนล่างซึ่งแทนด้วยหมายเลข [4] พิจารณาจากรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ถ่านหินสูงขึ้นเมื่อลดปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ลง อุณหภูมิบริเวณส่วนบนจะสูงกว่าส่วนกลางและส่วนล่างในระยะเริ่มต้น โดยเฉพาะเมื่อมีถ่านหินอยู่ในห้องคาร์บอไนซ์มากจะเห็นได้ชัดเจนดังรูปที่ 4.5 ซึ่งใช้ถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 1,300 กรัม ความแตกต่างของอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์แต่ละส่วนจะน้อยลงเมื่อลด

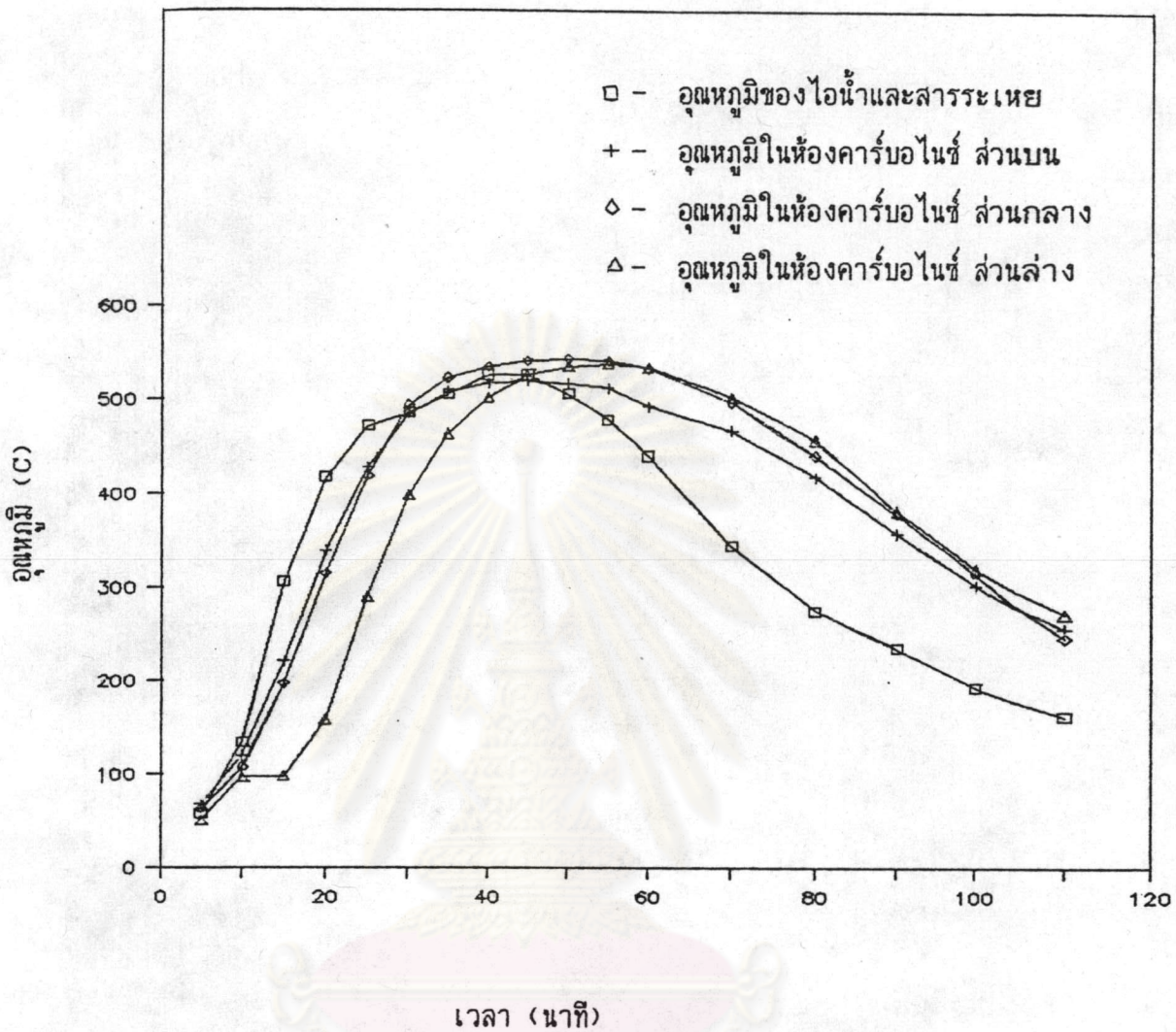
ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ และปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีต่ออุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์

ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน (กรัม)	ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ (กรัม)	ช่วงเวลาที่อุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์สูงกว่า 450 องศาเซลเซียส (นาที)
579(400)	1,300	0
579(400)	975	0
579(400)	650	0
652(450)	1,300	0
652(450)	900	5
652(450)	650	40
724(500)	1,300	28
724(500)	1,100	34
724(500)	900	40
724(500)	700	44
724(500)	650	45
796(550)	1,300	44
868(600)	1,300	44



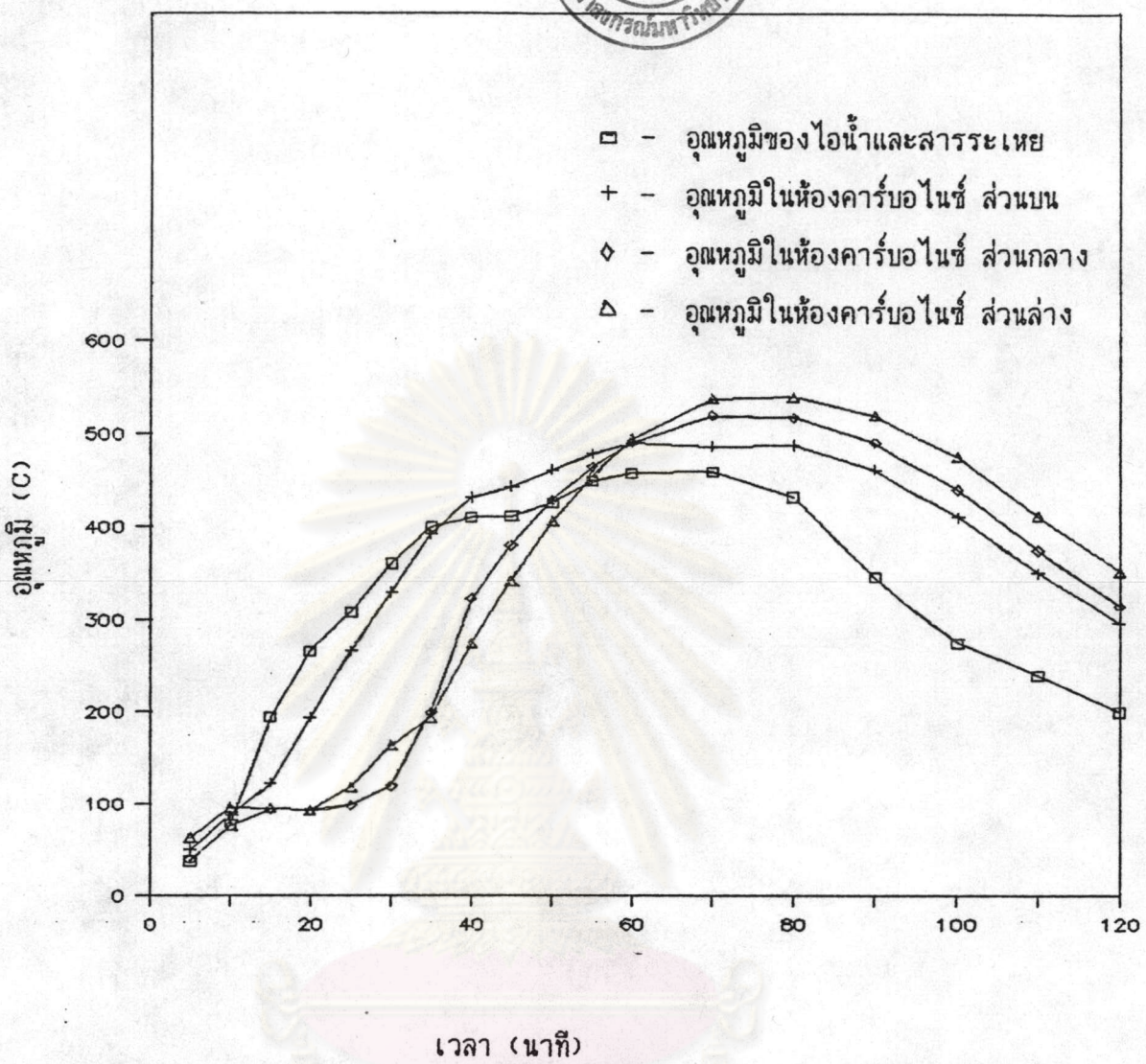
รูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ถ่านหิน โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม และใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 1,300 กรัม

ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ ซึ่งเห็นได้ชัดในรูปที่ 4.6 ซึ่งใช้ถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 650 กรัม พิจารณาลักษณะของอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์โดยเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ใช้เป็นปริมาณเทียบเท่ากับถ่านไม้ 550 กรัม โดยใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 1,300 กรัม ในกราฟรูปที่ 4.7 พบว่า อุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ และมีลักษณะของกราฟคล้ายคลึงกันกับเมื่อลดปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์โดยใช้เชื้อเพลิงปริมาณคงที่ในรูปที่ 4.5 และ 4.6 คืออุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ส่วนบนสูงกว่าส่วนกลางและส่วนล่างในระยะเริ่มต้น ลักษณะดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงรูปแบบของเตาโดยให้ห้องคาร์บอไนซ์ถ่านหิน



รูปที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ถ่านหิน โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม และใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 650 กรัม

ในส่วนล่างแคบลง และเพิ่มความกว้างมากขึ้นตามระดับความสูงของห้องคาร์บอไนซ์ ซึ่งที่ส่วนบนของห้องจะมีความกว้างมากที่สุด เพราะอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ที่ส่วนนี้สูงกว่าส่วนอื่นๆ ดังนั้นจึงสามารถขยายความกว้างเพื่อรับถ่านหินได้มากขึ้น และเป็นการลดความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละส่วนลง นอกจากนี้ยังอาจติดแผ่นครีบ (fins) บางๆภายในห้องคาร์บอไนซ์เพื่อช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนไปยังถ่านหินได้มากขึ้น อาจทำให้สามารถคาร์บอไนซ์ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าและให้ถ่านหินไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่น้อยกว่าได้



รูปที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิในห้องคาร์บอไนซ์ถ่านหิน โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 550 กรัม และใช้ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ 1,300 กรัม

4.5 ผลการอัดก้อนถ่านหินไร้ควัน

ถ่านหินไร้ควันที่ได้จากกระบวนการคาร์บอไนซ์ถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยนำถ่านหินไร้ควันที่ได้จากแต่ละการทดลองมารวมกัน บดละเอียดด้วยเครื่องบด Cross beater mill โดยใช้ตะแกรงขนาด 0.75 มม. (ถ่านที่ได้ร้อยละ 96 โดยน้ำหนัก มีขนาดเล็กกว่า 0.6 มม.) และนำมาอัดก้อนเพื่อนำไปใช้งาน ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการผลิตถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน ให้สามารถทำใช้ได้เองด้วยอุปกรณ์อย่างง่าย ราคาไม่แพง ซึ่งได้ใช้ถาดน้ำแข็งพลาสติก (ดังรูปที่ 3.19) เป็น

แบบพิมพ์ในการอัดก้อน ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสมที่ใช้ในการอัดก้อน ได้แก่ ดินเหนียว ซึ่งใช้เป็นตัวประสาน และปูนขาวใช้กำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ (20) โดยพิจารณาผลที่มีต่อการคงรูปร่างของถ่านหินอัดก้อนไร้ควันในขณะที่หยิบจับ ขณะเผาไหม้ ตลอดจนมีเถ้าที่คงรูปหลังการเผาไหม้ ปริมาณส่วนผสมที่ใช้คือ ดินเหนียว ร้อยละ 0 , 5 , 10 , 15 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของถ่านหินไร้ควันแห้ง และปูนขาวร้อยละ 0 , 5 , 10 , 15 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของถ่านหินไร้ควันแห้ง ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลของ Cao / S เท่ากับ 0 , 2.21 , 4.42 และ 6.64 ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่า เมื่ออัดก้อนถ่านหินไร้ควันโดยไม่ใส่ดินเหนียวหรือปูนขาวลงไปแม้จะอัดเป็นก้อนได้ แต่เมื่อตากทิ้งไว้ในอากาศจนแห้งดีแล้วหยิบมาใช้งาน พบว่าถ่านหินอัดก้อนไร้ควันจะแตกทั้งหมด ไม่สามารถนำไปใช้เผาไหม้ได้ เมื่อเพิ่มส่วนผสมดินเหนียวเป็นร้อยละ 5 คงที่ และใช้ปูนขาวร้อยละ 0 , 5 , 10 , 15 พบว่าถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ได้ค่อนข้างเปราะ แตกได้เป็นบางครั้งถ้าหยิบจับแรงเกินไป ซึ่งยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน เมื่อเพิ่มปริมาณดินเหนียวเป็นร้อยละ 10 คงที่ และใช้ปูนขาวร้อยละ 0 , 5 , 10 , 15 พบว่า ถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ได้มีความแข็งแรงดี อันเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณดินเหนียว หยิบจับได้โดยไม่แตก เมื่อนำไปใช้งานโดยทดสอบการเผาไหม้ พบว่าสามารถคงรูปร่างอยู่ได้ในขณะเผาไหม้โดยไม่แตกหัก มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยไม่มีเศษถ่านเหลืออยู่ในเถ้าหลังการเผาไหม้ และเมื่อเผาไหม้จนเสร็จสิ้นแล้วเถ้าที่เหลืออยู่จะคงรูป และหยิบจับได้โดยไม่แตก เมื่อทดลองเพิ่มส่วนผสมที่ใช้อีก โดยใช้ดินเหนียวร้อยละ 15 คงที่ และปูนขาวร้อยละ 0 , 5 , 10 , 15 พบว่า ถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ได้มีคุณสมบัติทุกประการเหมือนกับถ่านหินอัดก้อนไร้ควันจากการใช้ส่วนผสมดินเหนียวร้อยละ 10 คงที่ และปูนขาวร้อยละ 0 , 5 , 10 , 15 จึงไม่จำเป็นที่ต้องใช้ดินเหนียวถึงร้อยละ 15 สำหรับปูนขาวนั้น เนื่องจากพบว่าปูนขาวที่ใส่ลงไปในถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน มีส่วนช่วยในการขจัดกำมะถันน้อยมาก (ดังรายละเอียดในข้อ 4.6) จึงไม่จำเป็นต้องใส่ปูนขาวลงไปในถ่านหินอัดก้อนไร้ควันอีก ดังนั้น ส่วนผสมที่เหมาะสมในการอัดก้อนถ่านหินไร้ควันคือ ใช้ดินเหนียวร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักถ่านหินไร้ควันแห้ง โดยไม่ต้องเติมปูนขาวลงไปอีก

นอกจากการทดลองอัดก้อนถ่านหินไร้ควัน โดยใช้ถ่านที่ผ่านการบดโดยใช้เครื่องบดแบบ Cross beater mill ใช้ตะแกรงขนาด 0.75 มม. แล้ว ยังได้ทดลองบดโดยใช้ตะแกรงขนาด 4.0 มม. (ถ่านที่ได้ร้อยละ 46 โดยน้ำหนัก มีขนาดใหญ่กว่า 0.6 มม.) ซึ่งถ่านที่ผ่านการบดมีขนาดใหญ่ขึ้น ทดลองอัดก้อนโดยใช้ดินเหนียวร้อยละ 10 คงที่ และปูนขาวร้อยละ 0 , 5 พบว่าถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ได้มีความแข็งแรงดีในการหยิบจับ และสามารถคงรูปในระหว่างการเผาไหม้ได้ แต่มีข้อเสียเล็กน้อยคือ มีเม็ดถ่านหลุดออกมาจากก้อนถ่านบ้างในช่วงเริ่มติดไฟ ซึ่งมีปริมาณ

ไม่มากนักและไม่มีผลต่อการใช้งานในช่วงที่ติดไฟดีแล้ว ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ ต้องออกแรงเพิ่มขึ้นเพื่ออัดให้เป็นก้อน เนื่องจากขนาดของถ่านหยาบกว่า สำหรับเถ้าที่ได้หลังการเผาไหม้มีความคงรูปเช่นเดียวกัน แต่ความแข็งแรงของเถ้าต่ำกว่าเถ้าที่ได้จากถ่านที่ผ่านการบดโดยใช้ตะแกรง ø.75 มม. ซึ่งเมื่อหยิบจับแล้ว เถ้าบางชิ้นอาจแตก แต่ลักษณะดังกล่าวไม่เป็นผลเสียแต่อย่างไร เนื่องจากเถ้าสามารถคงรูปอยู่ได้ในระหว่างการเผาไหม้ จึงไม่เกิดปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากขาดอากาศ เมื่อทดลองเพิ่มส่วนผสมดินเหนียวเป็นร้อยละ 15 คงที่ และปูนขาวร้อยละ 5 , 15 พบว่าถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ได้มีคุณสมบัติทุกประการเหมือนกับถ่านหินอัดก้อนไร้ควันจากการใช้ส่วนผสมดินเหนียวร้อยละ 10 และปูนร้อยละ ø , 5 แต่เถ้าที่ได้จากสูตรดินเหนียวร้อยละ 15 และปูนขาวร้อยละ 15 นั้น มีความคงตัวดีกว่าเล็กน้อยคือ เมื่อหยิบจับจะไม่แตก แต่ความแข็งแรงของเถ้ายังต่ำกว่าเถ้าที่ได้จากการอัดก้อนถ่านหินไร้ควันซึ่งบดโดยใช้ตะแกรง ø.75 มม. ดังนั้นการนำถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ได้จากการบดถ่านหินไร้ควันโดยใช้ตะแกรงขนาด 4.ø มม. ซึ่งมีขนาดของถ่านใหญ่กว่าไปใช้งานนั้น สามารถทำได้เช่นเดียวกัน ซึ่งข้อเสียมีเพียงเล็กน้อยคือต้องใช้แรงในการอัดก้อนมากขึ้น สำหรับส่วนผสมที่เหมาะสมยังคงเป็นดินเหนียวร้อยละ 10 เช่นเดียวกัน ข้อได้เปรียบของการใช้งานคือ การบดถ่านก่อนนำมาอัดก้อนสามารถทำได้สะดวกขึ้น เนื่องจากขนาดของถ่านใหญ่กว่า จึงบดได้ง่ายและรวดเร็วกว่า

4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณและรูปแบบของกำมะถัน

ทำการทดลองโดยวิเคราะห์เถ้าเพื่อหาประสิทธิภาพในการขจัดกำมะถันของปูนขาวที่ใส่ลงไปในถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน โดยเลือกเถ้าที่ได้หลังจากการเผาไหม้ของถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน ที่มีส่วนผสมในการอัดก้อนต่างกัน โดยใช้ดินเหนียวคงที่ร้อยละ 10 และเปลี่ยนปริมาณปูนขาวร้อยละ ø , 5 , 10 มาทำการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวม และรูปแบบของกำมะถัน เปรียบเทียบกับปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินก่อนคาร์บอไนซ์และถ่านหินไร้ควันที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ ผลการวิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 4.11 ซึ่งเมื่อคิดเป็นร้อยละเทียบกับปริมาณกำมะถันรวมของถ่านหินก่อนการคาร์บอไนซ์ โดยให้ปริมาณกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนการคาร์บอไนซ์เป็น 100 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.12

พระบรมราชูปถัมภ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์กำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในตัวอย่าง

ตัวอย่างที่วิเคราะห์	ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักถ่านหินแห้ง			
	กำมะถันรวม	กำมะถันซัลเฟต	กำมะถันไพไรต์	กำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน	1.35	0.15	0.24	0.96
ถ่านหินไร้ควัน	0.95	0.10	0.06	0.79
เถ้า (10 + 0)*	0.90	0.87	0.00	0.03
เถ้า (10 + 5)	0.90	0.89	0.01	0.00
เถ้า (10 + 10)	0.93	0.90	0.01	0.02

หมายเหตุ * เถ้า (C + D) หมายถึง เถ้าที่ได้จากถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีส่วนผสมของดินเหนียวร้อยละ C และ ปูนขาวร้อยละ D โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของถ่านหินไร้ควันแห้ง และมีความหมายเช่นเดียวกันในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์กำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในตัวอย่าง (ร้อยละเทียบกับน้ำหนักกำมะถันรวมในถ่านหินก่อนคาร์บอไนซ์)

ตัวอย่างที่วิเคราะห์	ร้อยละโดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักกำมะถันรวมในถ่านหิน			
	กำมะถันรวม	กำมะถันซัลเฟต	กำมะถันไพไรต์	กำมะถันอินทรีย์
ถ่านหิน	100.00	11.11	17.78	71.11
ถ่านหินไร้ควัน	70.37	7.41	4.44	58.52
เถ้า (10 + 0)	66.67	64.44	0.00	2.22
เถ้า (10 + 5)	66.67	65.93	0.74	0.00
เถ้า (10 + 10)	68.89	66.67	0.74	1.48

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.12 พบว่าการใส่ปูนขาวลงไปในถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน มีผลเล็กน้อยต่อการขจัดกำมะถันคือ ทำให้ปริมาณกำมะถันรวมในเถ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาว กำมะถันในเถ้าเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของกำมะถันซัลเฟต ซึ่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย กำมะถันในรูปแบบอื่นเหลืออยู่น้อยมากจนไม่มีความสำคัญ อย่างไรก็ตาม ปูนขาวที่ใส่ลงไปไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการขจัดกำมะถันต่างกันมากนัก สังเกตได้จากปริมาณกำมะถันซัลเฟตที่เหลืออยู่ในเถ้ามีปริมาณใกล้เคียงกัน ร้อยละ 64.44 , 65.93 และ 66.67 เมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวจากร้อยละ 0 เป็น 5 และ 10 ตามลำดับ พิจารณาปริมาณกำมะถันรวมและรูปแบบของกำมะถันในถ่านหินไร้ควันเทียบกับถ่านหินก่อนนำไปคาร์-บอไนซ์พบว่า เมื่อนำถ่านหินไปทำการคาร์บอไนซ์ จะมีกำมะถันส่วนหนึ่งสูญหายไป ซึ่งทำให้ปริมาณกำมะถันรวมของถ่านหินไร้ควันที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 70.37 เมื่อเทียบกับปริมาณกำมะถันรวมก่อนการคาร์บอไนซ์ กำมะถันที่สูญหายไปนี้อาจอยู่ในรูปของก๊าซซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น เมื่อพิจารณารูปแบบต่างๆของกำมะถันได้แก่ กำมะถันซัลเฟต กำมะถันไพไรต์ และกำมะถันอินทรีย์ พบว่ามีปริมาณลดลง เนื่องจากการคาร์บอไนซ์ถือเป็นวิธีการขจัดกำมะถันวิธีหนึ่งได้

พิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวม และรูปแบบของกำมะถันในเถ้าที่ได้หลังจากการเผาไหม้ของถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน โดยใช้ร้อยละของปูนขาวต่างกัน และใช้ดินเหนียวคงที่ร้อยละ 10 พบว่า ปริมาณกำมะถันรวมในเถ้าใกล้เคียงกันร้อยละ 66.67 , 66.67 และ 68.89 เมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวในถ่านหินอัดก้อนไร้ควันจากร้อยละ 0 เป็น 5 และ 10 ตามลำดับ ใกล้เคียงกับปริมาณกำมะถันรวมในถ่านหินไร้ควันซึ่งมีปริมาณร้อยละ 70.37 จากตัวเลขดังกล่าวแสดงว่า ถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเมื่อเผาไหม้แล้ว กำมะถันที่มีในถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเกือบทั้งหมดจะมาอยู่ในเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ นอกจากนี้กำมะถันในเถ้าเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปของกำมะถันซัลเฟตซึ่งมีปริมาณร้อยละ 64.44 , 65.93 และ 66.67 เมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวจากร้อยละ 0 เป็น 5 และ 10 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวเห็นได้ว่าปริมาณกำมะถันซัลเฟตในเถ้าต่างกันไม่มากนักคือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวที่ใช้ ปริมาณกำมะถันซัลเฟตในเถ้าใช้เป็นสิ่งที่ชี้บอกถึงประสิทธิภาพในการขจัดกำมะถันของปูนขาวที่ใส่ลงไปในถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน โดยปูนขาวจะจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออก-ไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ให้กลายเป็นกำมะถันซัลเฟตซึ่งจะตกอยู่ในเถ้าหลังการเผาไหม้ จากผลการทดลองแสดงว่าการใส่ปูนขาวในถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน ไม่มีผลมากนักต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการขจัดกำมะถัน ซึ่งกำมะถันบางส่วนได้ถูกขจัดโดยกระบวนการคาร์บอไนซ์แล้ว ดังนั้น การนำถ่านหินไร้ควันมาอัดก้อนเพื่อใช้งาน จึงใช้เพียงส่วนผสมดินเหนียวร้อยละ 10 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักของถ่านหินไร้ควันแห้ง ก็เพียงพอแล้ว โดยไม่ต้องเติมปูนขาวลงไปอีก เนื่องจากดินเหนียวที่ใส่ลงไปมีส่วนช่วยในการขจัดกำมะถันของถ่านอัดก้อนได้บ้าง (20)

4.7 ผลการศึกษาลักษณะและความสะดวกในการใช้งาน

การศึกษาลักษณะและความสะดวกในการใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการนำถ่านหินอัดก้อนไร้ควันไปใช้งานโดยเหมาะสมต่อไป ผลของปัจจัยต่างๆที่ศึกษามีดังนี้

4.7.1 ผลการศึกษาลักษณะในการใช้งาน โดยเปรียบเทียบเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันกับถ่านไม้

การนำถ่านหินอัดก้อนไร้ควันมาใช้งานนั้น เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านไม้มีข้อแตกต่างบางประการ ซึ่งจะพิจารณาในแง่ของความสะดวกในการจุดติดโดยทำการวัดเวลาที่ใช้เพื่อทำให้เชื้อเพลิงติดไฟ (ควันหมด) เวลาที่ใช้เพื่อทำให้น้ำเดือด และเวลาใช้งานของเชื้อเพลิงจนกว่าจะมอด (รายละเอียดในภาคผนวก ค) โดยใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเทียบเท่ากับความร้อนที่ได้รับจากถ่านไม้ 500 กรัม ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงเวลาจุดติด เวลาที่ใช้เพื่อทำให้น้ำเดือด และเวลาใช้งานของเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน เปรียบเทียบกับถ่านไม้

เชื้อเพลิงที่ใช้	เวลาจุดติด (นาที)	เวลาที่ใช้เพื่อทำให้น้ำเดือด (นาที)	เวลาใช้งาน (นาที)
ถ่านไม้	3	13 - 16	89 - 95
ถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน(34.74)*	4.5 - 6	16 - 19.5	108 - 125
ถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน(18.31)	3.5 - 4	18.5 - 20.5	134 - 138

หมายเหตุ * ถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน(A) หมายถึงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ได้จากการอัดก้อนถ่านหินไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่ร้อยละ A โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักถ่านหินไร้ควันแห้ง

จากตารางที่ 4.13 พิจารณาเวลาจุดติดของเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงถ่านไม้จุดติดได้ง่ายและเร็วกว่า ใช้เวลาประมาณ 2 - 3 นาที สำหรับเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันใช้เวลาในการจุดติดช้ากว่าเล็กน้อยและต่างกัน ขึ้นกับปริมาณสารระเหยที่เหลือในถ่านหินไร้ควันที่นำมาอัดก้อน ซึ่งพบว่า ถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่มากจะใช้เวลาในการจุดติดมากกว่าถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่น้อย พิจารณาเวลาใช้งานของเชื้อเพลิงถ่านไม้พบว่าเวลาใช้งานสั้นกว่าถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน เนื่องจากการเผาไหม้ของถ่านไม้จะเป็นไปอย่างรวดเร็วในระยะเริ่มแรก และความร้อนจะลดลงอย่างรวดเร็ว เห็นได้จากเวลาที่ใช้เพื่อทำให้น้ำเดือดเพียง 13 - 16 นาที ซึ่งสั้นกว่าถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน การเผาไหม้ของถ่านหินอัดก้อนไร้ควันจะเป็นไปอย่างช้าๆและสม่ำเสมอ ทำให้เวลาใช้งานนานกว่าถ่านไม้ ถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่น้อย มีเวลาใช้งานนานกว่าถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่มาก เนื่องจากสารระเหยลดลงจะทำให้การเผาไหม้ของถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเป็นไปอย่างช้าๆและสม่ำเสมอมากขึ้น เวลาใช้งานจึงมากขึ้น และใช้เวลาเพื่อทำให้น้ำเดือดมากขึ้นเล็กน้อย

ถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่มาก (สูงกว่าร้อยละ 20) ขณะเผาไหม้เมื่อเทียบกับถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่น้อย (ต่ำกว่าร้อยละ 20) พบว่าแทบไม่ต่างกัน คือเผาไหม้โดยปราศจากควันเช่นเดียวกัน เพียงแต่ถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่มีสารระเหยเหลืออยู่มากต้องใช้เวลาจุดติดนานกว่า และมีเวลาใช้งานสั้นกว่าเล็กน้อย ดังนั้น ถ่านหินที่ผ่านการคาร์บอไนซ์มาแล้ว แม้ว่ายังมีสารระเหยเหลืออยู่มากกว่าร้อยละ 20 ก็ยังสามารถนำไปใช้งานได้ดีเช่นเดียวกัน

4.7.2 ผลการศึกษาความสะดวกในการใช้งานในแง่ของการเก็บเถ้าและความคงตัวของเถ้า

จากการศึกษาการเก็บเถ้าออกจากเตาหุงต้ม พบว่าการเก็บเถ้าของถ่านหินอัดก้อนไร้ควันทำได้สะดวก เนื่องจากเถ้ามีความคงตัวเป็นก้อนและไม่ฟุ้งกระจายเหมือนเถ้าของถ่านไม้ อย่างไรก็ตาม ถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเมื่อเผาไหม้แล้ว มีปริมาณเถ้ามาก จากการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ใช้ส่วนผสมดินเหนียวร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก พบว่ามีเถ้าร้อยละ 21.34 การที่มีปริมาณเถ้ามากทำให้ต้องเก็บเถ้าออกบ่อยครั้งกว่าการใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีเถ้าในปริมาณน้อยกว่า นอกจากนี้การที่เถ้ามีความคงตัว ก้อนเถ้าจะคงอยู่ในห้องเผาไหม้เป็นส่วนมาก ทำให้การใช้งานที่มีการเติมเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันเพิ่มในระหว่างการเผาไหม้ ทำได้ในปริมาณจำกัด เนื่องจากติดก้อนเถ้าที่อยู่ในห้องเผาไหม้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเขี่ยให้เถ้าตกลงมายังห้องเถ้าก่อนที่จะเติมเชื้อเพลิงต่อไป

4.8 สมดุลพลังงานของเตาคาร์บอไนซ์

ในขณะที่หุงต้มและคาร์บอไนซ์ถ่านหินโดยใช้เตาคาร์บอไนซ์นั้น ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควัน และสารระเหยที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ 2 ทางคือ ใช้ในการหุงต้มอาหาร และใช้ในการคาร์บอไนซ์ถ่านหิน ปริมาณความร้อนส่วนที่เหลือเป็นส่วนที่สูญเสียไปและสะสมอยู่ในตัวเตา ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมดุลพลังงานของเตาคาร์บอไนซ์ เมื่อคาร์บอไนซ์ถ่านหินปริมาณ 1,300 , 1,100 , 900 , และ 700 กรัม โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันคงที่ ปริมาณเทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม และนำสารระเหยกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตา ดังแสดงผลในตารางที่ 4.14 (รายละเอียดการคำนวณ ได้แสดงในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4.14 สมดุลพลังงานของเตาคาร์บอไนซ์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันคงที่เทียบเท่าถ่านไม้ 500 กรัม และนำสารระเหยกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตา

ปริมาณถ่านหินในห้องคาร์บอไนซ์ (กรัม)	ปริมาณความร้อนจากเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันและจากการเผาไหม้สารระเหยในเตา (แคลอรี)	ส่วนที่ใช้ประโยชน์		ส่วนที่สูญเสียและส่วนที่สะสมในเตา (ร้อยละ)
		หุงต้มอาหาร (ร้อยละ)	คาร์บอไนซ์ (ร้อยละ)	
1,300	3,987,875	30.83	28.07	41.10
1,100	4,067,057	31.06	26.06	42.88
900	4,013,812	30.39	21.94	47.67
700	3,956,214	30.76	17.10	52.14

4.9 เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่มีในประเทศและต่างประเทศ

เปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆที่มีในประเทศ เช่น งานวิจัยของ วิเชียร ตรงจิตธรรม (44) ซึ่งเป็นการคาร์บอไนซ์ถ่านหินในฟลูอิไดซ์เบด โดยใช้ช่วงขนาดของถ่านหินเท่ากันกับงานวิจัยนี้ พบว่า งานวิจัยนี้มีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น สามารถคาร์บอไนซ์ถ่านหินโดยใช้เตาคาร์บอไนซ์ที่มีขนาดเล็กกว่าชุดอุปกรณ์ในการคาร์บอไนซ์แบบฟลูอิไดซ์เบด และใช้เวลาในการคาร์บอไนซ์ในแต่ละครั้งน้อยกว่า หรือใกล้เคียงกันกับเมื่อคาร์บอไนซ์ถ่านหินในฟลูอิไดซ์เบด นอกจากนี้ยังไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการคาร์บอไนซ์เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด เมื่อพิจารณาสภาวะในการคาร์บอไนซ์แบบฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 475 องศาเซลเซียส เทียบกับการคาร์บอไนซ์ด้วยเตาที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่า ร้อยละของปริมาณถ่านหินไร้ควันที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ใกล้เคียงกัน คือเฉลี่ยร้อยละ 58.95 และ 56.28 เมื่อคาร์บอไนซ์แบบฟลูอิไดซ์เบดและคาร์บอไนซ์โดยเตาที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ตามลำดับ นอกจากนี้ เตาคาร์บอไนซ์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพการใช้งานสูงกว่าร้อยละ 30 ของพลังงานที่ได้รับจากเชื้อเพลิงทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพการใช้งานของเตาอั้งโล่ที่มีใช้ทั่วไป (2) และถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ผลิตได้เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตได้จากงานวิจัยของ สุชาติ อารีรุ่งเรือง (3) พบว่ามีคุณสมบัติที่ดีกว่า คือผลิตใช้ได้เองโดยไม่ต้องใช้เครื่องอัดก้อนถ่านหิน สามารถจุดติดได้ง่ายกว่า คือใช้เวลาในการจุดติด 3.5 - 4 นาที ใกล้เคียงกับเวลาการจุดติดของเชื้อเพลิงถ่านไม้ 3 นาที โดยที่ถ่านหินอัดก้อนต้องใช้เวลาจุดติด 11 - 12 นาที นอกจากนี้ยังมีกลิ่นและควันลดลง แต่ถ่านอัดก้อนไร้ควันที่ได้ในงานวิจัยนี้มีความแข็งแรงน้อยกว่าถ่านหินอัดก้อนที่ผลิตจากเครื่องอัดก้อน แต่ลักษณะดังกล่าวไม่เป็นผลเสียอย่างใด เนื่องจากถ่านหินอัดก้อนไร้ควันที่ผลิตได้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะนำไปใช้งานคือหยิบจับได้โดยไม่แตกเป็นผง สามารถคงรูปร่างในขณะที่เผาไหม้ และมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยไม่มีเศษถ่านหินเหลือค้างอยู่ในเถ้าหลังการเผาไหม้เช่นเดียวกัน เปรียบเทียบกับงานวิจัยของอนัญญา พจนารถ (10) ซึ่งนำเอาเศษถ่านหินมาทำการคาร์บอไนซ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนนำไปใช้งาน พบว่างานวิจัยนี้มีข้อได้เปรียบคือ สามารถคาร์บอไนซ์ถ่านหินโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม และสามารถอัดก้อนถ่านโดยไม่ต้องใช้เครื่องอัดก้อน อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้สามารถผลิตถ่านหินไร้ควันโดยการคาร์บอไนซ์ถ่านหินที่อุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างจากในงานวิจัยของอนัญญาซึ่งสรุปไว้ว่า อุณหภูมิในการคาร์บอไนซ์ที่เหมาะสมคือ 700 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเกิดการคาร์บอไนซ์ที่สมบูรณ์กว่า แม้ว่าในงานวิจัยนี้จะทำการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า แต่ก็สามารถนำถ่านหินไร้ควันไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดี ดังนั้น จึงไม่เป็นผลเสียแต่อย่างใด เมื่อพิจารณาปริมาณสารระเหยที่เหลืออยู่ในถ่านหินไร้ควันของงานวิจัยอนัญญา ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เทียบกับ

งานวิจัยนี้พบว่า ถ่านหินไร้ควันที่ได้มีสารระเหยเหลืออยู่ร้อยละ 19.25 และ 17.93 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในเกณฑ์ของการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำเช่นเดียวกัน

เปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยในต่างประเทศ พบว่า การคาร์บอไนซ์ถ่านหินเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านหินอัดก้อนไร้ควันนั้น อยู่ในระดับอุตสาหกรรมทั้งสิ้น และสามารถผลิตได้เป็นปริมาณมาก มีราคาถูก ถ่านอัดก้อนที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้งานทั้งในระดับอุตสาหกรรมและในครัวเรือน สำหรับในงานวิจัยนี้ แม้ว่าจะสามารถผลิตถ่านหินอัดก้อนไร้ควันได้น้อยกว่า แต่สามารถผลิตโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในครัวเรือนทั่วไปได้เช่นเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย