

การใช้แกลบล้างคาร์บอน เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในครัวเรือน

ดร. สุภาภรณ์ เทอดเทียนวงษ์

ดร. อภิชัย เทอดเทียนวงษ์

อาจารย์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

จรัญ แรงฤทธิ์

วิรัตน์ บรรพพรสกุล

นักศึกษานิเทศศาสตร์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการคาร์บอนแกลบล้างโดยใช้เครื่องคาร์บอนแบบ volatile loop ซึ่งเป็นเครื่องคาร์บอนแบบไม่ต่อเนื่องโดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากภายนอก ความร้อนที่ได้จะถูกถ่ายเทไปยังแกลบล้างโดยอาศัยการนำความร้อนผ่านครีบริบความร้อน การศึกษาจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1. ศึกษาผลกระทบของการกระจายของอุณหภูมิในเครื่องคาร์บอนและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ที่มีผลต่อคุณสมบัติของแกลบล้างคาร์บอน 2. ศึกษาการอัดก้อนของแกลบล้างคาร์บอนโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน 3. การทดสอบคุณสมบัติของแกลบล้างคาร์บอนและการใช้งานของแกลบล้างอัดก้อนเพื่อเปรียบเทียบกับถ่านไม้

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า แกลบล้างคาร์บอนที่ผลิตได้มีองค์ประกอบดังนี้ ปริมาณซีเมนต์ 31.7% ปริมาณสารระเหยง่าย 26.8% ปริมาณคาร์บอนคงที่ 41.5% ปริมาณความชื้น 4.2% โดยน้ำหนัก คุณค่าทางความร้อนเฉลี่ยของแกลบล้างคาร์บอนนี้มีค่าเท่ากับ 15,567 จูล/กรัม

ในการอัดก้อนของแกลบล้างคาร์บอนพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแกลบล้างคาร์บอนนี้มีค่าเท่ากับ 1:10 และถ่านแกลบล้างอัดก้อนที่มีอัตราส่วนผสมดัง

กล่าวมีค่าความแข็งแรงอัด 6.52 kg/cm^2 ซึ่งเพียงพอต่อการต้านทานการแตกในระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหุงต้มของแกลบคาร์บอนไนซ์อัดก้อนกับถ่านไม้ พบว่าแกลบคาร์บอนไนซ์อัดก้อนมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในครัวเรือน และจากการวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิตถ่านแกลบอัดก้อนพบว่ามีค่าเท่ากับ 1.54 บาท/กิโลกรัม

The Utilization of Carbonized Rice Hulls as an Alternative Domestic Fuel

Dr. Supaporn Therdthianwong

Dr. Apichai Therdthianwong

Lecturers

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering, Khonkaen University

Mr. Charun Rangrit

Mr. Veerasak Banphavorrasakul

Senior Students

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering, Khonkaen University

Abstract

A carbonization of rice hulls in volatile-loop batch carbonizer was studied. Heating of rice hulls was done through conductive fins, using an external fuel. Three main studies were conducted : 1) a study of effect of temperature distribution and amount of fuel on properties of carbonized rice hulls, 2) a study on briquetting method of carbonized rice hulls using tapioca starch as binder, and 3) a comparison of carbonized rice hull briquettes to wood charcoal.

The results indicated that the carbonized rice hulls produced contain 31.7% of ash, 26.8% of volatile matter, 41.5% of fixed carbon, and 4.2% of moisture by weight. An average heat content is 15,567 joule/g.

For briquetting process, an optimum starch to carbonized rice hulls ratio was found to be 1:10. With this ratio, compressive strength of the carbonized rice hull briquettes is 6.52 kg/cm^2 which is strong enough to withstand damage during transport and stocking.

Comparison the cooking efficiency of carbonized rice hull briquettes to wood charcoal indicated that the carbonized rice hull briquettes is suitable for domestic use. The capital investment of the carbonized rice hull briquettes is 1.54 Baht/kg.

บทนำ

ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา ประเทศไทยได้ขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมอย่างมาก มีการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ไฟฟ้า ไม้และอื่นๆ ซึ่งจากการบริโภคไม้ทั้งในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม ภาคสังคมและบริการ จึงทำให้ไม้ในประเทศไทยเริ่มขาดดุลและมีราคาแพงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคการขาดแคลนเชื้อเพลิงไม้ การพัฒนาเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจึงเป็นวิธีการแก้ไขที่ดีวิธีหนึ่ง โดยเฉพาะแกลบข้าวซึ่งมีปริมาณมากถึง 40% ที่ถูกทิ้งไว้โดยมิได้นำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านจากแกลบเพื่อใช้ในครัวเรือนด้วยเทคโนโลยีแบบง่ายๆ ซึ่งจะทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีราคาถูกและยังเป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เป็นประโยชน์อีกวิธีหนึ่ง

วิธีดำเนินงานวิจัย

การคาร์บอนไนซ์แกลบ

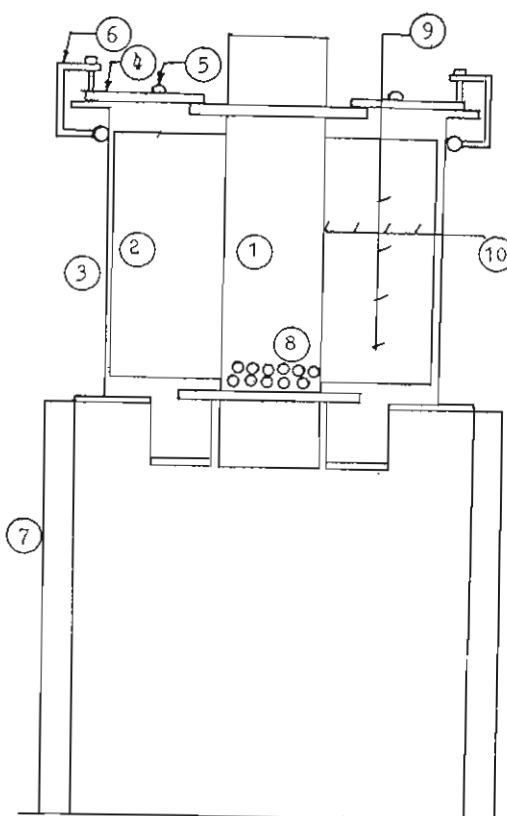
ปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการคาร์บอนไนซ์ขึ้นคือ อุณหภูมิในการทำคาร์บอนไนซ์ เครื่องคาร์บอนไนซ์ที่ดีนั้นควรมีค่าการกระจายของอุณหภูมิภายในสม่ำเสมอ เพื่อให้แกลบที่อยู่ภายในสามารถคาร์บอนไนซ์อย่างสม่ำเสมอ ในขณะเดียวกันเครื่องคาร์บอนไนซ์ที่ดีควรใช้เชื้อเพลิงในปริมาณไม่สูง ดังนั้นจึงได้ศึกษาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเครื่องคาร์บอนไนซ์ และปริมาณเชื้อเพลิงถ่านไม้ที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์

การศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในเครื่องคาร์บอนไนซ์และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้

เครื่องคาร์บอนไนซ์ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบมีแหล่งให้พลังงานความร้อนจากภายนอกโดยใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ลักษณะของเครื่องประกอบด้วย ท่อสองชั้น และมีช่องว่างระหว่างท่อสำหรับใส่แกลบ ท่อชั้นในทำหน้าที่เป็นห้องเผาไหม้ ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะถูกส่งถ่ายไปยังแกลบโดยอาศัยแผ่นครีบริบความร้อน (fin) ดังแสดงในรูปที่ 1 เครื่องคาร์บอนไนซ์นี้มีฉนวนหุ้ม 2 ชั้น ชั้นในสุดติดกับผนังด้านนอกจะใช้ซีเมนต์เป็นฉนวนกันความร้อน และชั้นที่สองใช้ไมโครโฟเบอร์

ในการทดลองนี้ทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องคาร์บอนไนซ์เพื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อการคาร์บอนไนซ์แกลบ โดยตัวแปรในการทดลองนี้คือ ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านไม้ที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์ซึ่งมีค่าในช่วง 1.1-1.5 กิโลกรัม

หลังจากทำการคาร์บอนไนซ์ได้แกลบคาร์บอนไนซ์แล้วจะนำแกลบคาร์บอนไนซ์ไปทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ อันได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบ (proximate analysis) และการหาคุณค่าทางความร้อน (heating value)



รูปที่ 1 เครื่องคาร์บอไนซ์แบบ Volatile Loop

1. ห้องใส่เชื้อเพลิง ϕ 160 มม. 2. แผ่นกระจายความร้อน 180x410 มม.
3. ห้องใส่เกลบ ϕ 270 มม สูง 470 มม 4. ฝาครอบ 5. มือจับฝาครอบ
6. ตัวล๊อคฝาครอบ 7. ขารองรับเครื่อง
8. รูสำหรับสกรูเหยงจากเกลบเผาไหม้เข้าห้องเชื้อเพลิง
9. ช่องใส่แท่งเทอร์โมคัปเปิ้ลวัดอุณหภูมิในแนวตั้งที่ระยะ 90, 180, 270 และ 360 มม. จากฐานเครื่อง
10. ช่องใส่แท่งเทอร์โมคัปเปิ้ลวัดอุณหภูมิในแนวราบที่ระยะ 0, 50, 100 และ 150 มม จากผิวของห้องเชื้อเพลิง

องค์ประกอบและคุณค่าทางความร้อนของเกลบคาร์บอไนซ์

- ก. ในการวิเคราะห์องค์ประกอบ (proximate analysis) ของเกลบคาร์บอไนซ์ เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ชี้น้ำ สารระเหยง่าย และคาร์บอนคงที่ ซึ่งขั้นตอนและ

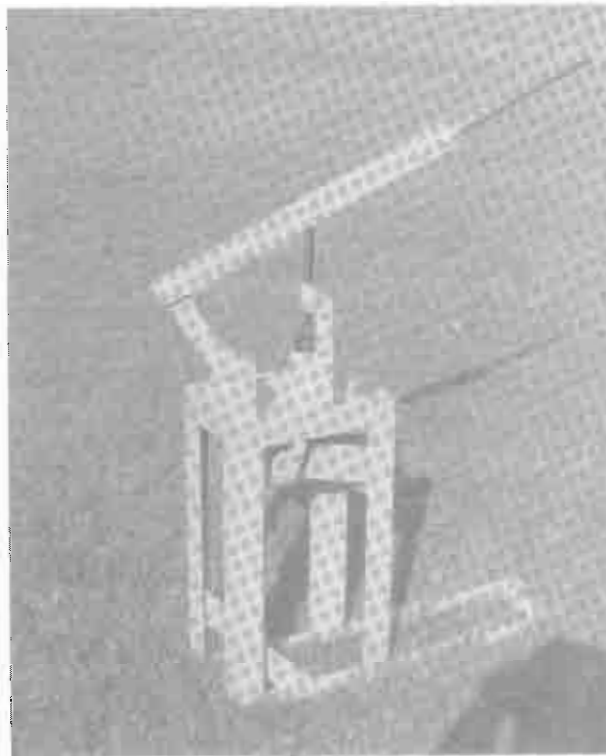
รายละเอียดต่างๆ ของการวิเคราะห์เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D3172-73 ถึง D3175-73

- ข. การวิเคราะห์คุณค่าทางความร้อน ได้ทำการวิเคราะห์แกลบคาร์บอนไนซ์ แกลบสด และถ่านไม้ เพื่อเปรียบเทียบเป็นปริมาณความร้อนของตัวอย่างแต่ละชนิดโดยใช้เครื่องมือ Gallenkamp autobomb automatic adiabatic bomb calorimeter (CBA-Series)

การอัดก้อน (briquetting)

กรรมวิธีการอัดก้อน [10]

แกลบคาร์บอนไนซ์ที่ได้จะถูกนำมาทำการอัดก้อนด้วยตัวเชื่อมประสาน (binder) ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้แป้งมันสำปะหลังเนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยในการทดลองต้องการหาเปอร์เซ็นต์ของตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมเพื่อให้แกลบคาร์บอนไนซ์สามารถยึดเกาะกันได้ดี



รูปที่ 2 เครื่องอัดก้อนแกลบคาร์บอนไนซ์

ในการทดลองตอนแรก ซึ่งน้ำหนักแกลบคาร์บอนไนซ์หนัก 500 กรัม และแป้งมันสำปะหลังหนัก 25 กรัม (5% ของน้ำหนักแกลบคาร์บอนไนซ์) แล้วละลายแป้งมันสำปะหลังลงในน้ำและผสมลงในน้ำเดือด จากนั้นเคี่ยวจนแป้งมันสำปะหลังสุก โดยน้ำที่ละลายในแป้งมันสำปะหลังและน้ำ เติบรวมกันจะมีน้ำหนักเป็น 4 เท่าของแป้งมันสำปะหลัง ต่อบำรุงแป้งเปียกที่ได้มาผสมกับแกลบคาร์บอนไนซ์ คลุกเคล้าให้เข้ากันดีจนทั่ว แล้วนำไปอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดก้อนแบบคันโยกอย่างง่าย ซึ่งอาศัยหลักของโมเมนต์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2

การอัดก้อนมีวิธีการดังต่อไปนี้ คือ นำแกลบคาร์บอนไนซ์ที่ผสมกับแป้งเปียกใส่ลงในแม่พิมพ์รูปทรงกระบอกให้เต็ม จากนั้นทำการอัดลูกสูบลงมาโดยการกดคันโยก อัดประมาณ 4 ครั้ง เพื่อให้แกลบคาร์บอนไนซ์ได้รับแรงกดมากขึ้น จากนั้นดึงแผ่นกันทางด้านล่างแม่พิมพ์ออก แล้วกดคันโยกอีกครั้งเพื่อดันให้ผลิตภัณฑ์ตกลงมาตามรางรองรับ ทำการทดลองเช่นนี้โดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์แป้งมันสำปะหลังจาก 5% เป็น 10, 15 และ 20% ของแกลบคาร์บอนไนซ์ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 4 ซม. ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 3 และเรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่าถ่านแกลบอัดก้อน หรือแกลบคาร์บอนไนซ์อัดก้อน



รูปที่ 3 ถ่านแกลบคาร์บอนไนซ์อัดก้อน

การทดสอบความแข็งแรงอัดของเกลบคาร์บอนในซ้อัดก้อน

เป็นการทดสอบวัดความแข็งแรงอัด (compressive strength) ของเกลบคาร์บอนในซ้อัดก้อนที่ได้จากการผสมตัวเชื่อมประสานด้วยปริมาณที่แตกต่างกัน โดยนำเกลบอัดก้อนแล้วนี้มาทำให้แห้งด้วยการตากแดดเป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้ตัวเชื่อมประสานสามารถยึดเกาะกับเกลบคาร์บอนได้ดี หลังจากนั้นจึงนำเกลบคาร์บอนในซ้อัดก้อนไปทำการทดสอบหาความแข็งแรงอัด (compressive strength) ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบคืออุปกรณ์ทดสอบความแข็งแรงอัดแบบ triaxial

การทดสอบประสิทธิภาพในการหุงต้มของเกลบคาร์บอนในซ้อัดก้อน

หลังจากที่ได้ทำการอัดก้อนถ่านเกลบคาร์บอนในซ้อแล้ว ได้ทดลอง นำเอาถ่านเกลบไปทดสอบในด้านการใช้งาน โดยเป็นการหาประสิทธิภาพ ในการหุงต้มของถ่านเกลบอัดก้อน ซึ่งจะกระทำเช่นเดียวกับวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเตาหุงต้ม[12] ในการนี้ได้หาเป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ทำให้ น้ำที่อุณหภูมิปกติเดือดต่อพลังงานที่ให้ออกมาของเชื้อเพลิง ในการทดสอบครั้งนี้นอกจากจะใช้เกลบอัดก้อนที่มีปริมาณแ่งมันสำปะหลัง 10% เป็นตัวทดสอบแล้ว ยังได้ทำการทดลองเพิ่มปริมาณดินเหนียวลงไปในเกลบอัดก้อนด้วย (ปริมาณดินเหนียว 10 และ 15%) ทั้งนี้เพื่อต้องการศึกษาการ ลูกติดไฟของเกลบอัดก้อนเมื่อเกลบอัดก้อนมีความพรุนน้อยลง แล้วทำการเปรียบเทียบกับถ่านไม้ การทดสอบนี้เป็นแบบ standard boiling test [12] โดยใช้เตาหุงต้มที่มีขายทั่วไปในจังหวัดขอนแก่นที่มีชื่อเรียกว่า เตาทอง การทดสอบได้ทำในห้องทดลองขนาดเล็ก โดยมีการควบคุมสภาวะของตัวแปรต่างๆ เหมือนกันทุกประการ กล่าวคือ ใช้เตาและหม้อต้มน้ำอย่างเดียวกัน ปริมาณน้ำในหม้อเท่ากัน สภาวะอัตราการไหลของอากาศรอบข้างเท่ากัน

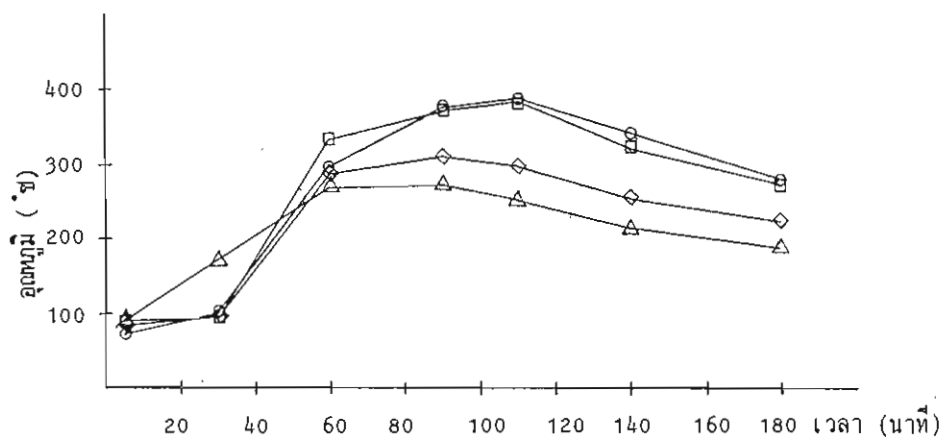
ในการทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานของเกลบคาร์บอนในซ้ออัดก้อน แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ การทดสอบในช่วง high power phase และ low power phase การทดสอบในช่วง high power phase เป็น การทดสอบในช่วงต้นโดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจากอุณหภูมิต้องไปจนถึงอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ ส่วนการทดสอบในช่วง low power phase เป็นการทดสอบในช่วงหลังโดยใช้เวลาทดสอบ 30 นาทีและรักษาอุณหภูมิของน้ำให้มีค่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) ตลอดเวลา

ผลการทดลอง

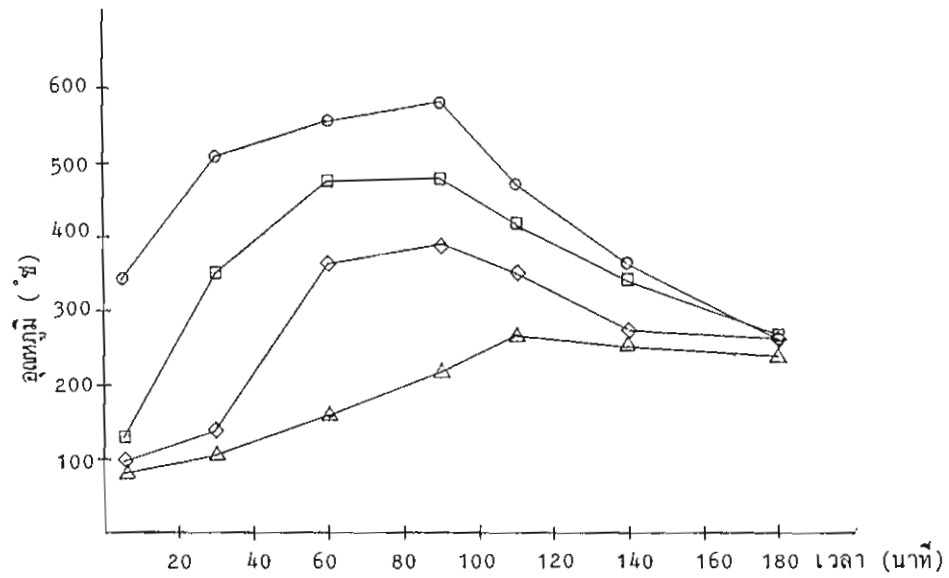
การกระจายของอุณหภูมิและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์

การทดลองทำคาร์บอนไนซ์แกลบข้าวในเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบ Volatile Loop โดยการใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ปริมาณ 1.1 -1.5 กิโลกรัม และให้สภาวะการไหลเข้าของอากาศไปสู่ห้องเผาไหม้เป็นไปตามธรรมชาติ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของห้องเผาไหม้ตรงทางเข้าของอากาศมีค่าเท่ากับ 200 ตารางเซนติเมตร จากการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบถึงการกระจาย ของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในเครื่องคาร์บอนไนซ์ดังแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระยะทางต่าง ๆ ทั้งในแนวนราบและแนวดิ่งในรูปที่ 4 - 7

ปริมาณของแกลบคาร์บอนไนซ์ที่ได้จากการทดลองเมื่อใช้ปริมาณถ่านต่างกัน ถูกนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของแกลบคาร์บอนไนซ์ที่ได้ (% yield) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ($\pm 5\%$) โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 62%

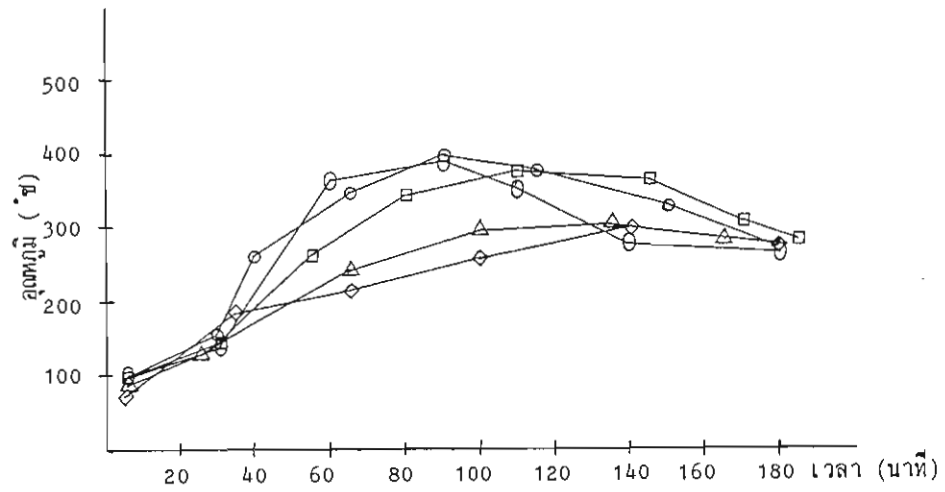


รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระยะต่างๆ ในแนวดิ่งของการทดลองทำการคาร์บอนไนซ์แกลบเมื่อใช้ปริมาณถ่านไม้ 1.3 ก.ก.

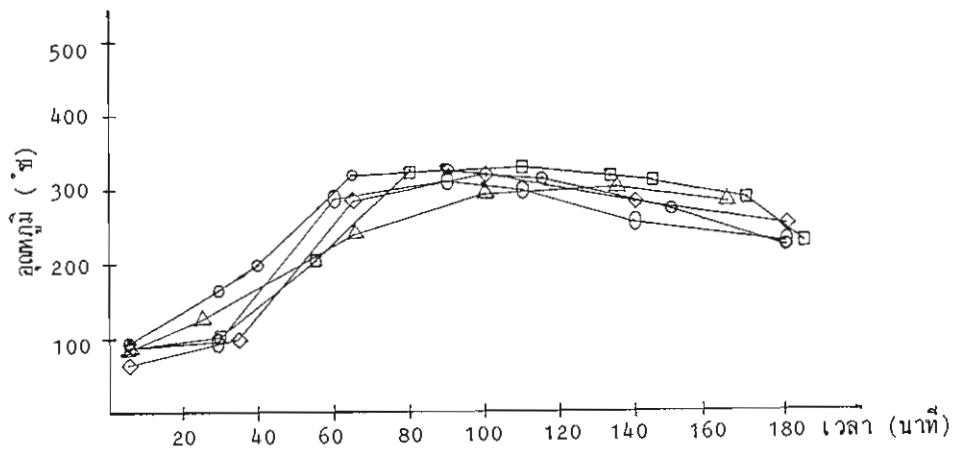


รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุนหนุมิกับเวลาที่ระยะต่าง ๆ ในแนวราบของ
การทดลองทำการคาร์บอนไนซ์เกลบเมื่อใช้ปริมาณถ่านไม้ 1.3 กก.

- ระยะ 0 เซนติเมตรในแนวราบและ 9 เซนติเมตรในแนวตั้ง
- ระยะ 5 เซนติเมตรในแนวราบและ 18 เซนติเมตรในแนวตั้ง
- ◇ ระยะ 10 เซนติเมตรในแนวราบและ 27 เซนติเมตรในแนวตั้ง
- △ ระยะ 15 เซนติเมตรในแนวราบและ 36 เซนติเมตรในแนวตั้ง



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระยะตำแหน่ง 10 ซม. ในแนวราบ
เมื่อมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิง (ถ่านไม้) ต่างๆ กัน
◇ 0.1, △ 0.2, ○ 0.3, □ 0.4, ● 0.5 กิโลกรัม



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ระยะตำแหน่ง 27 ซม. ในแนวตั้ง
เมื่อมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิง (ถ่านไม้) ต่างๆ กัน
◇ 0.1, △ 0.2, ○ 0.3, □ 0.4, ● 0.5 กิโลกรัม

องค์ประกอบและคุณค่าทางความร้อนของแกลบคาร์บอนไนซ์

องค์ประกอบต่างๆ และ คุณค่าทางความร้อนของแกลบคาร์บอนไนซ์ ถ่านไม้ และแกลบสด ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1

องค์ประกอบต่างๆ ของแกลบคาร์บอนไนซ์ แกลบสด และถ่านไม้

สารตัวอย่าง	องค์ประกอบของแกลบ(Proximate Analysis Properties)			
	% ความชื้น	% ซี้เถ้า	% สารระเหย ง่าย	% คาร์บอนคงที่
แกลบคาร์บอนไนซ์	4.2	31.7	26.8	41.5
แกลบสด	9.5	22.4	61.5	16.1
ถ่านไม้	4.8	3.7	21.4	75.0

ตารางที่ 2

คุณค่าทางความร้อนรวม (Gross Calorific Value) ของแกลบคาร์บอนไนซ์ แกลบสด และถ่านไม้

สารตัวอย่าง	คุณค่าความร้อนรวม (Gross Calorific Value)(จูล/กรัม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
แกลบคาร์บอนไนซ์	14,452.2	14,812.4	17,438.0	15,567.5
แกลบสด	13,813.2	13,929.4	14,080.4	13,941.0
ถ่านไม้	26,639.0	26,442.0	28,266.0	27,115.7

การอัดก้อนของถ่านแกลบ

จากการทดสอบโดยใช้ตัวเชื่อมประสานเป็นแป้งมันสำปะหลังและดินเหนียว ปริมาณของตัวเชื่อมประสานที่ใช้มีค่าตั้งแต่ 5-20% โดยน้ำหนัก พบว่าในการอัดก้อนที่ 5% ของตัวเชื่อมประสานจะไม่สามารถทำการอัดก้อนได้ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของแป้งมันสำปะหลังเป็น 10%

พบว่าสามารถทำการอัดก้อนถ่านแกลบได้ และค่าความแข็งแรงอัด (compressive strength) แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3

ค่าความแข็งแรงอัด (Compressive strength)

สารตัวอย่าง	จำนวนรอบของมาตรวัด (gauge)			compressive strength (kg/cm ²)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	
No. 1	-	-	-	ไม่สามารถอัดก้อนได้
No. 2	340	380	360	6.52
No. 3	400	470	435	7.95
No. 4	800	780	790	14.46

No. 1 หมายถึง แกลบคาร์บอนที่อัดก้อนที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 5 %

No. 2 หมายถึง แกลบคาร์บอนที่อัดก้อนที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 10 %

No. 3 หมายถึง แกลบคาร์บอนที่อัดก้อนที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 15 %

No. 4 หมายถึง แกลบคาร์บอนที่อัดก้อนที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 20 %

การทดสอบคุณสมบัติในแง่การใช้งานของถ่านแกลบอัดก้อน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานกับเตาหุงต้มหลังจากที่ได้ทำการอัดก้อนถ่านแกลบคาร์บอนแล้ว ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานกับเตาหุงต้ม

สารตัวอย่าง	High Power Phase		Low Power Phase		Overall Specific***
	PHU*	Fire Power**	PHU*	Fire Power**	kg fuel/ kg
	(%)	(kW)	(%)	(kW)	water boiled
ถ่านไม้	20.58	4.88	42.38	0.9	0.10
ถ่านเกลบอัดก้อน					
- (แป้งมัน 10%)	25.69	1.82	45.23	0.43	0.11
- แป้งมัน 10% + ดินเหนียว 10%)	24.27	1.82	44.41	0.26	0.10
- แป้งมัน 10% + ดินเหนียว 15%)	24.08	1.63	37.49	0.26	0.10

PHU (percentage heat Utilized) คือ อัตราส่วนของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการหุงต้ม (ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับจากอุณหภูมิปกติจนกลายเป็นไอน้ำต่อปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง)

** Fire Power คือ อัตราการให้พลังงานออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

*** Overall Specific fuel Consumption คือ อัตราส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อ น้ำที่เดือดเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การกระจายอุณหภูมิภายในเครื่องคาร์บอนไนซ์และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์

ในการทดสอบการคาร์บอนไนซ์เกลบและทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในเครื่องคาร์บอนไนซ์ พบว่าเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบ volatile loop มีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ (ดังแสดงในรูปที่ 4-5 โดยแสดงเฉพาะกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้ 1.3 กิโลกรัม เนื่องจากการแปรเปลี่ยนปริมาณเชื้อเพลิงถ่านไม้ไม่มีอิทธิพลมากนักดังจะเห็นได้จากการวิเคราะห์ถัดไป) อุณหภูมิในแนวราบจะมีค่าสูงที่สุดตรงบริเวณใกล้ผนังของห้องเผาไหม้ (อุณหภูมิประมาณ 500-600°C) และอุณหภูมิจจะมีค่าลดลงเมื่อห่างจากผนังของห้องเผาไหม้ อุณหภูมิตรงผนังของห้องคาร์บอนไนซ์จะมีค่าต่ำสุดคือมีค่าอยู่ในช่วง 200°C ในทำนองเดียวกัน บริเวณทางตอนล่าง ของเครื่องคาร์บอนไนซ์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าทางตอนบน (อุณหภูมิทางตอนบนมีค่าอยู่ในช่วง 200-250°C) เมื่อทำการคาร์บอนไนซ์และทิ้งไว้หนึ่งคืนจึงเปิดดู พบว่าเกลบข้าวส่วนใหญ่ถูกคาร์บอนไนซ์หมด โดยสังเกตจากการที่เกลบสดถูกเปลี่ยนเป็นสีดำ ยกเว้นเกลบข้าว

ที่อยู่ทางบริเวณตอนบนและริมด้านนอกที่ติดผนังของห้องคาร์บอนไนซ์ยังถูกคาร์บอนไนซ์ได้ไม่เต็มที่ เมื่อพิจารณาจากกราฟการกระจายอุณหภูมิในรูปที่ 4-5 จะเห็นได้ว่าบริเวณที่ถูกคาร์บอนไนซ์ส่วนใหญ่เป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 270°C ทั้งสิ้น ส่วนเกลบที่ไม่ถูกคาร์บอนไนซ์จะอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิไม่ถึง 250°C ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า เกลบจะเกิดการสลายตัว (คาร์บอนไนซ์) ได้นั้น จะต้องมียุณหภูมิมากกว่า 250°C

เมื่อทำการทดลองคาร์บอนไนซ์เกลบโดยเพิ่มปริมาณของเชื้อเพลิง (ถ่านไม้) จาก 1.1 กิโลกรัม ไปเรื่อยๆ จนถึง 1.5 กิโลกรัม พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ได้ในแต่ละการทดลองจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น แต่ก็ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนักดังจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 6-7 ซึ่งเป็นกราฟที่พล็อตระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ตำแหน่ง 10 ซม. ในแนวราบ และที่ตำแหน่ง 27 ซม. ในแนวตั้ง เหตุผลที่เลือกตำแหน่งดังกล่าวมาใช้ในการเปรียบเทียบ เนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่อยู่ตรงบริเวณส่วนกลางของเครื่องคาร์บอนไนซ์

คุณสมบัติของเกลบคาร์บอนไนซ์

ในการทดลองวิเคราะห์หาองค์ประกอบต่างๆ ของเกลบคาร์บอนไนซ์ พบว่ามีปริมาณความชื้นและปริมาณสารระเหยง่ายลดลงเมื่อเทียบกับเกลบสด ในทางตรงกันข้ามเกลบคาร์บอนไนซ์มีปริมาณคาร์บอนคงที่และ ปริมาณซีเถ้าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเกลบสด โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยดังนี้

- ปริมาณความชื้นในเกลบคาร์บอนไนซ์มีค่าลดลง 60 %
- ปริมาณสารระเหยง่ายในเกลบคาร์บอนไนซ์มีค่าลดลง 55 %
- ปริมาณซีเถ้าในเกลบคาร์บอนไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้น 39 %
- ปริมาณคาร์บอนคงที่ในเกลบคาร์บอนไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้น 155 %

คุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นส่งผลทั้งในข้อดีและข้อเสียต่อเกลบคาร์บอนไนซ์ กล่าวคือ เกลบคาร์บอนไนซ์มีปริมาณสารระเหยง่ายต่ำ (ใกล้เคียงกับถ่านไม้) จะส่งผลให้เกิดข้อดีคือ เกลบคาร์บอนไนซ์จะลุกติดไฟได้ง่ายและมีควันเกิดไม่มากนัก ส่วนเกลบคาร์บอนไนซ์ที่มีค่าความชื้นลดลงนี้เป็นคุณสมบัติที่ดีสำหรับการนำไปเป็นเชื้อเพลิงเพราะไม่ต้องสูญเสียความร้อนในการไล่ความชื้นออกไป เกลบคาร์บอนไนซ์มีปริมาณคาร์บอนคงที่สูงขึ้นมากจึงทำให้คุณค่าความร้อนของเกลบคาร์บอนไนซ์มีค่าสูงกว่าเกลบสด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ถ่านไม้กับเกลบคาร์บอนไนซ์ จะเห็นว่า เกลบคาร์บอนไนซ์ยังมีปริมาณคาร์บอนคงที่ต่ำกว่าถ่านไม้

มาก ดังจะเห็นได้จากข้อมูลในตารางที่ 3 ซึ่งถ่านไม้มีคุณค่าทางความร้อนสูงกว่าเกลบคาร์บอนไนซ์ถึง 43% ข้อเสียเปรียบอีกประการของเกลบคาร์บอนไนซ์ คือ เกลบคาร์บอนไนซ์มีปริมาณซีต่ำกว่าถ่านไม้มาก

การศึกษาการอัดก้อนเกลบคาร์บอนไนซ์

จากการทดลองอัดก้อนเกลบคาร์บอนไนซ์โดยใช้อัตราส่วนของตัวเชื่อมประสานเป็นแป้งมันสำปะหลังในปริมาณ 5, 10, 15, และ 20% (โดยน้ำหนัก) ของเกลบคาร์บอนไนซ์ พบว่า เมื่อใช้แป้งมันสำปะหลังเป็น 5% จะไม่ทำให้เกิดการเกาะตัวที่ดี ทั้งนี้สังเกตได้จากภายหลังจากการอัดเมื่อนำเอาผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องอัด พบว่าผลิตภัณฑ์ถ่านอัดก้อนที่ได้มีลักษณะร่วน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังเป็น 10% 15% และ 20% ตามลำดับ พบว่าถ่านที่ผ่านการอัดเป็นก้อนแล้ว เมื่อนำออกจากแบบพิมพ์จะสามารถทรงรูปร่างอยู่ได้และไม่แตกออกจากกัน

จากตารางผลการทดลองที่ 3 เมื่ออัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อเกลบคาร์บอนไนซ์มีค่าสูงขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงอัด (compressive strength) มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปริมาณแป้งมันสำปะหลังสูงขึ้นย่อมส่งผลทำให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคได้ดีขึ้น ค่าความแข็งแรงอัดจึงมีค่าสูงขึ้นด้วย และจากการทดลองโยนเกลบคาร์บอนไนซ์อัดก้อนที่ทุกๆ อัตราส่วนผสมขึ้นในแนวตั้งสูงประมาณ 2 เมตร ถ่านอัดก้อนที่มีปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่างๆ ยังคงสภาพที่สมบูรณ์ไม่แตก ออกจากกันหลังกระทบพื้น แสดงให้เห็นว่าในการอัดก้อนเกลบคาร์บอนไนซ์สามารถใช้อัตราส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังต่อเกลบคาร์บอนไนซ์เพียง 10% ก็มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการต้านทานการกระแทกและการขนส่ง

นอกจากนี้ยังพบว่า การอัดก้อนถ่านเกลบยังทำให้เกิดข้อดีกล่าวคือ การอัดก้อนถ่านเกลบจะทำให้ค่าความหนาแน่น (bulk density) ของเกลบมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงค่าความหนาแน่นไว้ในตารางที่ 5 การที่ถ่านเกลบคาร์บอนไนซ์มีค่าความหนาแน่นสูงทำให้สะดวกในการขนส่งและการเก็บ

ตารางที่ 5

เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของแกลบสด แกลบคาร์บอนไนซ์ และแกลบคาร์บอนไนซ์อัดก้อน

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
แกลบสด	0.097
แกลบคาร์บอนไนซ์	0.084
แกลบคาร์บอนไนซ์อัดก้อน	0.5087

การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของแกลบคาร์บอนไนซ์อัดก้อน

จากการทดสอบโดยการสังเกตควันที่ออกทางปล่องด้านบนของห้องทดสอบ พบว่าถ่านไม้จะลุกติดไฟและควันจะหมดไปภายหลังจากการจุดเตาประมาณ 5-7 นาที ในขณะที่ถ่านแกลบอัดก้อนจะก่อให้เกิดควันนานประมาณ 10-15 นาที จึงจะหมดควัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในถ่านแกลบคาร์บอนไนซ์ยังคงมีปริมาณของสารระเหยง่ายอยู่สูงกว่าถ่านไม้ ซึ่งถ้าทำการไล่สารระเหยง่ายให้น้อยลงกว่านี้ก็จะสามารถลดควันในเวลาที่ก่อไฟให้เท่ากับถ่านไม้ได้

จากการเปรียบเทียบค่า Percentage Heat Utilized (PHU) สำหรับช่วง high power phase และ low power phase พบว่า ถ่านแกลบอัดก้อนจะให้ค่า PHU สูงกว่าถ่านไม้ทั้งคู่ แสดงว่าถ่านแกลบอัดก้อนจะให้พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการหุงต้มสูงกว่าถ่านไม้ซึ่งเป็นข้อดี เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากลักษณะการลุกติดไฟของถ่านแกลบอัดก้อนจะลุกไหม้อย่างค่อยเป็นค่อยไป ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนแก่อสิ่งแวดล้อมได้น้อยต่างกับถ่านไม้ซึ่งเมื่อเกิดการลุกไหม้ในเตาแล้ว จะเกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็วและให้เปลวไฟแรง ดังนั้นการสูญเสียความร้อนแก่อสิ่งแวดล้อมจึงเกิดได้ง่าย

จากการเปรียบเทียบค่า fire power (P) สำหรับช่วง high และ low power phase พบว่า ถ่านแกลบอัดก้อนจะให้ค่า P ต่ำกว่าถ่านไม้ เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทดสอบทั้งสองช่วงของถ่านแกลบอัดก้อนมีค่ามากกว่าถ่านไม้มาก ซึ่งจากการทดสอบพบว่าเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำให้เดือดในช่วง high power phase ของถ่านแกลบอัดก้อนมีค่ามากกว่าถ่านไม้ถึงเกือบ 1 เท่า และนี่เป็นเหตุผลที่ยืนยันสนับสนุนคำกล่าวข้างต้นที่ว่า “ถ่านแกลบอัดก้อนจะเกิดการลุกไหม้อย่างช้าๆ” สำหรับการทดสอบในช่วง low power phase นั้นเวลาที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเท่ากันคือ 30 นาที แต่ค่า fire power (P) ของถ่านแกลบอัดก้อนมีค่าต่ำกว่าถ่าน

ไม้ ก็เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของถ่านแกลบมีค่าเพียงพอที่จะรักษาอุณหภูมิของน้ำให้มีค่าคงที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิจุดเดือดได้ตลอด และสิ่งนี้แสดงถึงข้อดีของถ่านแกลบเพราะปริมาณความร้อนที่ใช้สำหรับการเคี่ยวอาหารนี้ไม่ต้องการปริมาณความร้อนสูงมาก จึงทำให้ถ่านแกลบเหมาะที่จะใช้งานมากกว่าถ่านไม้ ในทำนองเดียวกันสำหรับถ่านแกลบอัดก้อนที่มีการผสมดินเหนียวลงไป การลุกไหม้จะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าถ่านแกลบอัดก้อนที่ไม่มีการผสมดินเหนียว จึงทำให้ค่า P สำหรับถ่านแกลบผสมดินเหนียวต่ำกว่าถ่านแกลบที่ไม่ได้ผสมดินเหนียว แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากถ่านแกลบอัดก้อนให้ลักษณะการลุกไหม้เป็นไปอย่างช้า ๆ อยู่แล้ว จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มดินเหนียวในถ่านแกลบเพื่อให้แกลบมีความพรุนตัวน้อยลง

ในการเปรียบเทียบ overall specific fuel consumption สำหรับทั้งถ่านไม้ และถ่านแกลบอัดก้อน (ทั้งที่ผสมดินเหนียวและไม่ได้ผสม) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่าการทำงานของถ่านแกลบอัดก้อนมีลักษณะใกล้เคียงกับถ่านไม้ทุกประการ ทั้งๆ ที่ถ่านแกลบอัดก้อนมีค่าคุณค่าทางความร้อนต่ำกว่าถ่านไม้ แต่สามารถต้มน้ำในปริมาณที่เท่ากันให้เดือดด้วยการใช้ปริมาณความร้อนที่น้อยกว่า

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์นี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตถ่านแกลบ ราคาขายต่อหนึ่งกิโลกรัมของถ่านแกลบและราคาขายต่อหนึ่งหน่วยพลังงานของถ่านแกลบ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบถึงความเหมาะสมในการนำแกลบคาร์บอนไนซ์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน วิธีการคำนวณได้แสดงอยู่ในเอกสารรายงานการวิจัย[1] ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 6

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่า ราคาขายต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของถ่านแกลบคาร์บอนไนซ์จะมีราคาถูกกว่ามาก และถึงแม้ว่าราคาขายต่อหนึ่งหน่วยพลังงานของถ่านแกลบคาร์บอนไนซ์จะมีค่าสูงกว่าถ่านไม้ก็ไม่ได้เป็นข้อเปรียบเทียบมากนัก เพราะเป็นการนำเอาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เป็นประโยชน์ จึงเป็นสิ่งที่ชดเชยข้อเสียเปรียบ และนอกจากจะเป็นการได้พลังงานเพิ่มขึ้น (ความได้เปรียบพลังงานเท่ากับ 293 เปอร์เซ็นต์) แล้วยังเป็นการลดการตัดไม้ทำลายป่าลงได้

ตารางที่ 6

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบระหว่าง ถ่านแกลบ กับถ่านไม้

การวิเคราะห์	ถ่านแกลบคาร์บอนไนซ์	ถ่านไม้
ต้นทุนการผลิตต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก (บาท/กิโลกรัม)	1.54	-
ราคาขายต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก (บาท/กิโลกรัม)	2.00	3.25
ราคาขายต่อหนึ่งหน่วยพลังงาน (บาท/จูล)	1.30×10^{-4}	1.20×10^{-4}
ความได้เปรียบพลังงาน (เปอร์เซ็นต์)	293	

ราคาถ่านไม้ เป็นราคาถ่านไม้ในจังหวัดขอนแก่น ปี พ.ศ. 2532

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบเพื่อหาแนวโน้มของความเป็นไปได้ในการใช้แกลบข้าวคาร์บอนไนซ์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในครัวเรือน โดยเริ่มตั้งแต่การศึกษาถึงกระบวนการคาร์บอนไนซ์แกลบข้าวโดยใช้เครื่องคาร์บอนไนซ์แบบ volatile loop การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแกลบคาร์บอนไนซ์ ตลอดจนกระบวนการอัดก้อน และการทดลองใช้งานของถ่านแกลบอัดก้อน ได้ข้อสรุปดังนี้

1. เครื่องคาร์บอนไนซ์แบบ volatile loop สามารถนำมาใช้ในการคาร์บอนไนซ์แกลบข้าวได้ และพบว่าเครื่องคาร์บอนไนซ์ที่เหมาะสมควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องคาร์บอนไนซ์ ประมาณ 38 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องเผาไหม้ 12 เซนติเมตร โดยมีครีปให้ความร้อนจำนวน 10 แผ่น
2. แกลบคาร์บอนไนซ์มีคุณสมบัติที่เหมาะสมเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในครัวเรือน ทั้งนี้เนื่องจากแกลบคาร์บอนไนซ์มีเปอร์เซ็นต์ของสารระเหยได้ใกล้เคียงกับถ่านไม้ และมีปริมาณของคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับแกลบที่ยังไม่ถูกคาร์บอนไนซ์ แต่ก็มีข้อเสียกล่าวคือ แกลบคาร์บอนไนซ์จะมีปริมาณขี้เถ้าสูงขึ้น
3. กระบวนการอัดก้อนถ่านแกลบสามารถทำได้ง่าย โดยการใช้แป้งมันสำปะหลังประมาณ 10% โดยน้ำหนัก ก็สามารถอัดก้อนถ่านแกลบได้โดยเครื่องอัดแบบคั่นโยก และได้ค่าความแข็งแรงอัด 6.52 kg/cm^2 ซึ่งมีค่าสูงพอที่จะทนต่อการกระแทกในขณะขนส่งและการใช้งาน

4. ในการใช้งานของถ่านแกลบ พบว่า ถ่านแกลบจะเผาไหม้และค่อยๆ ให้ความร้อนออกมาซึ่งแตกต่างจากถ่านไม้ และในการทดสอบ standard boiling test พบว่า ถ่านแกลบจะให้ค่า percentage heat utilized สูงกว่าถ่านไม้ แต่ให้ค่า fire power ต่ำกว่าถ่านไม้ ส่วนค่า overall specific fuel consumption ของทั้งถ่านไม้และถ่านแกลบมีค่าใกล้เคียงกัน ย่อมแสดงให้เห็นว่าถ่านแกลบมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับถ่านไม้ และสามารถใช้ทดแทนถ่านไม้ได้
5. จากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า ในการผลิตถ่านแกลบนั้นต้องใช้ ค่าต้นทุนในการผลิตประมาณ 1.54 บาท/กิโลกรัม และมีค่าความได้เปรียบพลังงานเท่ากับ 293 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยที่ควรศึกษาต่อไปจากงานนี้คือ การศึกษาการคาร์บอนไนซ์แกลบขาวโดยการใช้เครื่องคาร์บอนไนซ์แบบสัมผัสความร้อนโดยตรง หรือเครื่องคาร์บอนไนซ์แบบอื่นๆ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมของเครื่องคาร์บอนไนซ์แกลบขาว
2. ทดลองหาตัวเชื่อมประสานอื่นๆ ที่สามารถลดต้นทุนการผลิตถ่านแกลบให้ต่ำลง และพัฒนาเครื่องอัดก้อนให้สามารถอัดก้อนถ่านแกลบได้ในปริมาณมากๆ
3. ทดลองนำถ่านแกลบไปเผยแพร่ เพื่อศึกษาถึงปัญหาในท้องตลาด ตลอดจนความนิยมของผู้ใช้

คณะผู้ดำเนินงานวิจัยใคร่ขอขอบคุณ รศ.ดร. วรพัฒน์ อรรถยุกติ ในการให้คำแนะนำ เอกสาร ตลอดจนอุปกรณ์บางส่วนที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. สุภาภรณ์ มานะรังสรรค์ และ อภิชัย เทอดเทียนวงศ์ รายงานผลงานวิจัยเรื่อง การใช้แกลบขาวคาร์บอนไนซ์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในครัวเรือน ทุนอุดหนุนทั่วไปของมหาวิทยาลัยขอนแก่นประจำปีงบประมาณ 2531 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีนาคม 2532.
2. FAO Forestry paper, **Industrial Charcoal Making**, FAO, Rome, 1985.

3. Mechanical Wood products branch, forest Industries division, Forestry department, **Simple Technology for Charcoal Making**, FAO, Rome, 1983.
4. FAO/ESCAP Regional workshop, a report on **Charcoal Production and Technology**. FAO, Rome, 1983.
5. Panya, O., Lovelace, G.W., et al. **Charcoal In Northeast Thailand**. KKU-FORD Rural Systems Research Project, Khon Kaen University, Thailand, 1988.
6. Nanayakkara, V.R. **Wood Energy Systems for Rural and Other Industries**. SRI LANKA, FAO, 1986.
7. Werner, R., Ursula, R. **Survey of Simple Kiln Systems and Recommendations for the Selection of Kilns**. German Appropriate Technology Exchange (GATE), Germany, 1979.
8. Chomcharn, A. **Charcoal Production Improvement for Rural Development in Thailand**. National Energy Administration, Bangkok, Thailand, 1984.
9. Estudillo, C.P. **Simple Technology for the Production of Charcoal Briquettes from Sawdust and Rice Hulls**. paper presented at Senior Science Research Specialist and Coordinator Dendro-Energy Program, (FPRDI), NSTA college, Laguna, Republic of the Philippines, 1981.
10. Arthayukti, W., Thongtaoin, B. **Rice Hulls Charcoal Making with a Volatiles Loop Carbonizer**. Paper presented at Regional Seminar on Alternative Energy Applications in Agriculture, (UNESCO), Chiang Mai, Thailand, October 27-29, 1986.
11. Davies, M.C. **Understanding Briquetting**. Published by Volunteers in Technical Assistance (VITA), Virginia, U.S.A..
12. Brunet, E., Kandpal, T.C. **Design, Fabrication and Laboratory Performance Evaluation of Improved Charcoal Cookstoves**. Brace Research Institute, McGill university, August 1987.

13. Vogler, J., **Understanding Wood Wastes as Fuel**. Published by Volunteers in Technical Assistance (VITA), Virginia, U.S.A..
14. Modesto G.O., Estudillo, C.P., **Forest Products Technoflow**. National Science and Technology Authority, Forest Products Research and Development Institute, College Laguna, Republic of the Philippines.