

ผลกระทบของความชื้นในไม้และชนิดของไม้ต่อคุณสมบัติ บางประการของถ่าน¹

Effect of Moisture Content and Species of Wood on Some Properties of Charcoal

ปรีชา เกียรติกระจาย²
Preecha Kiatgrajai

ABSTRACT

Wood of five species (*Acacia catechu*, *Rhizophora candelaria*, *Luceana leucocephala*, *Eucalyptus camaldulensis* and *Melia azedarachta*) were carbonized in a 2-m³ brick beehive kiln at maximum temperature between 400-500 °C. The average moisture contents of the acacia, rhizophora, leuceana, eucalyptus and melis specimens were 18.5-46, 15.5, 48.4, 46.7 and 43.5%, respectively. Some properties of charcoal (yield, cross sectional and longitudinal shrinkages, apparent density, heat of combustion and proximate analysis) from these specimens were determined. In addition, the effects of wood species and moisture contents of the acacia specimens on yield and sectional shrinkages of charcoal were analyzed using the t-test at 95% confidence level.

The results indicated that the average yields, cross sectional shrinkages, longitudinal shrinkages and fixed carbon contents from all wood species in this report were 41.1-45.8 %, 13.0-23.1 %, 8.2-10.6 % and 73.2-79.9 %, respectively. The heat of combustion of charcoal was 7.25-7.52 Kcal/g. The apparent densities of all specimens were from 0.34 to 0.51 g/cm³. Finally, the species and moisture content of wood had little effect on charcoal yield and longitudinal shrinkage of charcoal. Both factors were however important to cross sectional shrinkage of charcoal.

บทคัดย่อ

จากการทดลองใช้ไม้ตัวอย่างที่มีความชื้นต่างกัน 5 ชนิด คือ สีเสียดแก่น โกงกางใบเล็ก กระดินยักษ์ ยูคาลิปตัสพันธุ์คามาลดูลินซิส และเลี่ยน มาผลิตเป็นถ่านด้วยเตาอิฐ ขนาด 2 ลบ.ม. ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของเตาอิฐที่สูงสุดอยู่ระหว่าง 400-500 °C. ค่าความชื้นเฉลี่ยของไม้ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ มีดังต่อไปนี้ สีเสียดแก่น 18.5-46 โกงกางใบเล็ก 15.5 กระดินยักษ์ 48.4 ยูคาลิปตัส 46.7 และเลี่ยน 43.5 นำถ่านตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์หาคุณสมบัติบางประการ เช่น การหดตัวของถ่านทางด้านหน้าตัดและตามความยาว ความแน่นของถ่านก้อนและการประเมินค่าทางเคมี นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบผลกระทบของความชื้นในไม้ และชนิดไม้ดังกล่าวว่ามีต่อผลิตผลถ่าน และการหดตัวของถ่านทั้งสองด้าน โดยวิธีทดสอบหาค่าสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองครั้งนี้พบว่า ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติถ่านจากไม้ตัวอย่างทุกชนิดที่มีค่าเป็นร้อยละ ดังต่อไปนี้ ผลิตผลถ่าน 41.1-45.8 การหดตัวของถ่านทางด้านหน้าตัด 13.0-23.1 การหดตัวของถ่านตามความยาว 8.2-10.6 และปริมาณคาร์บอนเสถียร 73.2-79.9 ความร้อนของถ่านมีค่าตั้งแต่ 7.25-7.52 กิโลแคลอรีต่อกรัม ส่วนความแน่น

^{1/} ได้รับเงินอุดหนุนจากรัฐบาลสหรัฐอเมริกา โครงการที่ 493 - 0304

^{2/} ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของถ่านก่อนจากไม้ตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 0.34–0.51 กรัม ต่อลบ.ชม. จากการทดลองทางสถิติพบว่า ชนิดไม้และความชื้นในไม้ มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อถ่านและการหดตัวทางด้านความยาวของถ่าน แต่ปัจจัยทั้งสองเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการหดตัวทางด้านหน้าตัดของถ่าน

คำนำ

ถ่านเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อชีวิตประจำวันของชาวชนบทในประเทศไทย ในปีหนึ่ง ๆ ชาวชนบทใช้ถ่านหุงต้มเพื่อประกอบอาหารมากกว่า 3 ล้านตัน (สมพงษ์ ฉันทวรภาพ 2526) ซึ่งคิดเป็นปริมาณการใช้พลังงานของทั่วประเทศประมาณร้อยละ 10

จากการศึกษาถึงผลผลิตถ่านจากไม้ทั้งเตาของเตาดินเหนียวก่อและเตาอิฐขนาดเล็กพบว่าความชื้นของไม้ที่เสียดแก่ที่ใช้ผลิตถ่านไม่ทำให้ผลผลิตถ่านแตกต่างกันในเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ปริษา เกียรติกระจาย และคณะ 2526) ซึ่งผลอันนี้ใกล้เคียงกับเตาขนาดใหญ่ที่ทดลองในต่างประเทศ เช่น รายงานของ USDA, (1961) และ Florestal Acesita S.A. (1982) รายงานทั้งสองได้สรุปว่าความชื้นในไม้มีผลกระทบต่อผลผลิตถ่านน้อย แต่ทำให้เวลาในการผลิตถ่านแตกต่างกันมาก อย่างไรก็ตาม รายงานทั้งสองไม่ได้ทดสอบทางสถิติ

Beall (1977) ได้รายงานการหดตัวตามด้านต่าง ๆ ของถ่านจากไม้ Redwood ในเตาเผาไฟฟ้า ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน เริ่มจากไม้อบแห้งถึงอุณหภูมิ 600°ซ. สรุปได้ว่า การหดตัวของถ่านจากไม้ดังกล่าวเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ และเมื่อใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1°ซ. ต่อนาที พบว่าการหดตัวของถ่านจากไม้ Redwood อบแห้ง ถึงอุณหภูมิที่ 400°–500°ซ. มีดังนี้ ด้านสัมผัสร้อยละ 20–24 ด้านรัศมีร้อยละ 14–18 และด้านความยาวร้อยละ 11–14

Slocum และคณะ (1978) ได้รายงานการหดตัวตามด้านต่าง ๆ ของถ่านจากไม้ White oak และ Shagbrak hickory ในเตาเผาไฟฟ้า ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน เริ่มจากไม้อบแห้งถึงอุณหภูมิ 800°ซ. โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิภายในเตาผลิตถ่านแบบขนาดใหญ่ (150 ลบ.เมตร) ได้สรุปการหดตัวของถ่านจากไม้ตัวอย่างทั้งสอง ซึ่งอบแห้งจนถึงอุณหภูมิ 400°–500°ซ. มีดังนี้ ด้านสัมผัส

ร้อยละ 25–35 ด้านรัศมีร้อยละ 18–26 และด้านความยาวร้อยละ 14–16

อย่างไรก็ตาม รายงานของ Beall (1977) และ Slocum และคณะ (1978) ไม่ได้ศึกษาถึงการหดตัวของถ่านจากไม้ตัวอย่างที่ระดับความชื้นต่าง ๆ

จุดประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของถ่านจากไม้ตัวอย่างที่เสียดแก่กัน กองกางใบเล็ก กระถินยักษ์ ยูคาลิปต์ และเลี่ยน ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ ในการผลิตถ่านด้วยเตาอิฐ ขนาด 2 ลบ.เมตร

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

ไม้โตเร็วที่นำมาทำตัวอย่างทั้ง 5 ชนิด เป็นไม้จากสวนป่า มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ สีเสียดแก่ (*Acacia catechu*) จำนวน 246 ท่อน อายุ 15 ปี จากนครราชสีมา กองกางใบเล็ก (*Rhizophora candelaria*) จำนวน 66 ท่อน อายุ 10 ปี จากสมุทรสงคราม ยูคาลิปต์ (*Eucalyptus camaldulensis*) จำนวน 30 ท่อน อายุ 5 ปี จากชัยภูมิ กระถินยักษ์ (*Leucana leucocephala*) จำนวน 24 ท่อน อายุ 5 ปี จากชัยภูมิ เลี่ยน (*Melia azedarachta*) จำนวน 30 ท่อน อายุ 5 ปี จากชัยนาท

เตาอิฐ

เตาอิฐที่ใช้ทดสอบเป็นเตาขนาด 2 ลบ.เมตร ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.60 เมตร สูง 1.24 เมตร ตัวเตาประกอบไปด้วยปล่องควัน 4 ปล่อง ปล่องแรง 1 ปล่องช่องใส่ไฟและช่องใส่ฟืน (ประตูเตา) อย่างละ 1 ช่อง ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในภาพที่ 1

การวางตัวอย่างและวิธีการเผา

นำไม้ตัวอย่างแต่ละละชนิดจำนวน 6 ท่อนต่อการทดลองเผาถ่านหนึ่งครั้ง มาตัดแวนหาความชื้นเพื่อกำหนดหาน้ำหนักอบแห้งของแต่ละท่อน ไม้ตัวอย่าง

เมื่อตัดได้ขนาดแล้วจะมีความยาวระหว่าง 85-105 ซม. วัดขนาดความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางตรงกลางท่อนแต่ละท่อนตัวอย่าง ตามดำหนึ่ที่ได้ทำไว้โดยใช้เลื่อยบากใส่เบอร์ที่ท่อนแต่ละท่อนตัวอย่างโดยใช้จำนวนเหวนเล็กและลวดมัด นำท่อนไม้ตัวอย่างวางตั้งจากพื้นเตาตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในภาพที่ 1 (Bottom cross-section)

ไม้อื่น ๆ ที่เหลือเป็นไม้สี่เหลี่ยมที่มึ่ความ

ขึ้นเฉลี่ยเท่ากับหรือใกล้เคียงกับไม้สี่เหลี่ยมที่จะเป็นตัวอย่าง การเรียงฟันของไม้อื่น ๆ นี้เป็นแบบเรียงในแนวตั้งจากพื้นเตาประมาณ 80 ซม. จากนั้นเป็นการเรียงแบบสุมให้ได้ปริมาณไม้ต่อเนื่องมากที่สุด

วิธีดำเนินการเผาถ่านเริ่มจากการเผาไหม้ไม้พื้นตรงช่องใส่ไฟ อากาศร้อนจะเข้าไปในเตาเพื่อกระตุ้นปฏิกิริยาไพโรไลซิส เมื่อไม้ในเตาสามารถเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวของมันเองแล้ว โดยสังเกตจากควันสีขาว-หนา

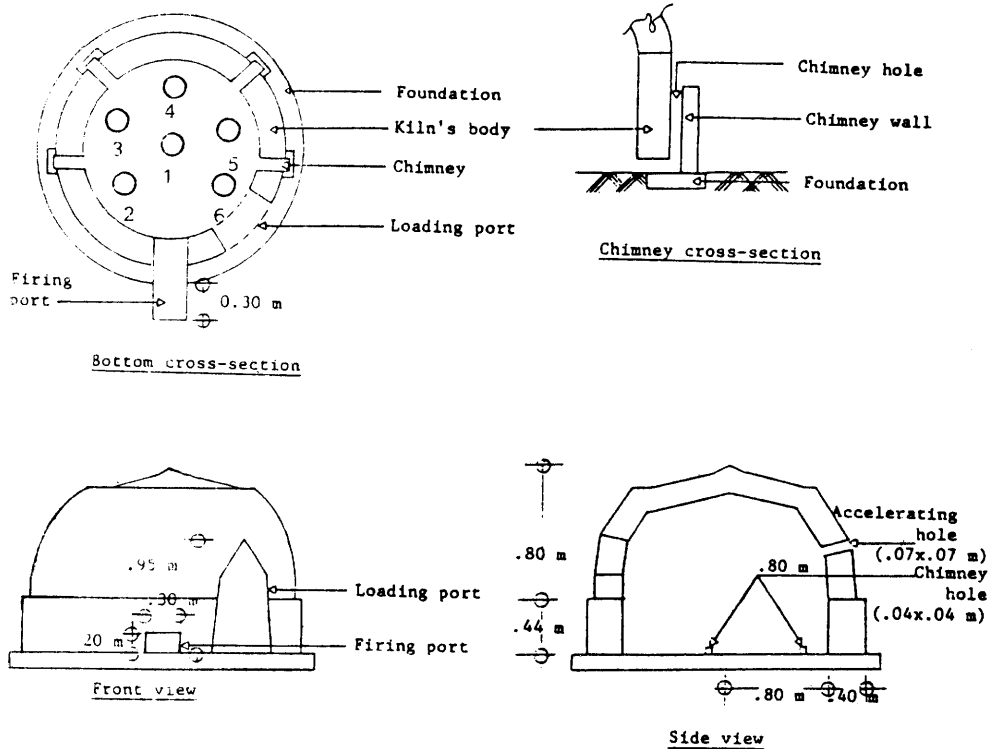


Figure 1. Schematic diagram of brick beehive kiln (2-m³)

และกลั่นออกมาอย่างสม่ำเสมอ จึงเริ่มปรับช่องอากาศที่ช่องใส่ไฟ จากนั้นก็คอยควบคุมเตาโดยปรับช่องอากาศที่ช่องใส่ไฟควบคู่กับการสังเกตวันจนกระทั่งวันเปลี่ยนเป็นสีฟ้า-ใส และปล่องแห้งจึงปิดเตา ระยะเวลาที่ทิ้งให้เตาเย็นประมาณ 3 วัน จึงนำถ่านออกจากเตาเพื่อมาวิเคราะห์ต่อไป รายละเอียดในการทดลองเผาถ่านด้วยเตาอิฐนี้ สามารถศึกษาเพิ่มเติมจากรายงานของปรีชา เกียรติกระจาย และคณะ (2526)

วิธีการวิเคราะห์ถ่านจากไม้ตัวอย่าง

ซึ่งน้ำหนักของถ่านตัวอย่างทันทีที่นำออกจากเตา จากนั้นวัดขนาดความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างตามรอยดำหนึ่ที่ทำไว้ เาะเอาหัวถ่าน (Brands) ออก แล้วแบ่งท่อนถ่านตัวอย่างดังภาพที่ 2 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้น ความแน่นของถ่านก่อนค่าความร้อน และการประเมินค่าทางเคมี เช่น คาร์บอน-เสถียร (Fixed carbon) สารระเหย (Volatile matter) และขี้เถ้า (Ash) และประสิทธิภาพในการใช้งานโดยการต้มน้ำ ดังรายละเอียดของการวิเคราะห์ และการคำนวณทำตามวิธีต่อไปนี้

1. การหาความชื้นโดยการอบถ่านตัวอย่างที่อุณหภูมิ $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณหาความชื้นดังต่อไปนี้

$$\text{ความชื้น, \%} = \frac{\text{นน.ถ่านก่อนอบ} - \text{นน.ถ่านอบแห้ง} \times 100}{\text{นน.ถ่านอบแห้ง}}$$

2. การคำนวณหาผลิตผลถ่าน

$$\text{ผลิตผลถ่าน, \%} = \frac{\text{นน.ถ่าน} \times 100}{\text{นน.ท่อนไม้อบแห้ง} - \text{นน.หัวถ่าน}}$$

3. การคำนวณหาการหดตัวจากไม้กลายเป็นถ่าน

$$\text{การหดตัว, \%} = \frac{\text{ขนาดของไม้} - \text{ขนาดของถ่าน} \times 100}{\text{ขนาดของไม้}}$$

4. การหาค่าความแน่น ทำการประเมินปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ แล้วคำนวณหาค่าความแน่นดังต่อไปนี้

$$\text{ความแน่น, กรัม/ซม}^3 = \frac{\text{นน.อบแห้ง}}{\text{ปริมาตรที่อบแห้ง}} \times 100$$

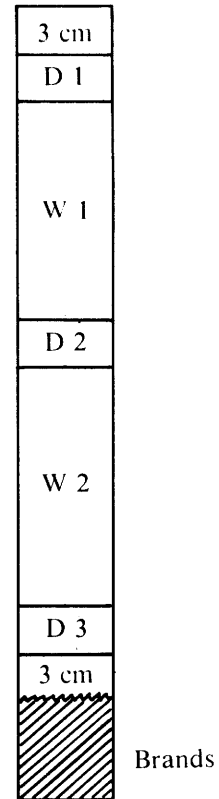


Figure 2. Portions of charcoal sample for quality evaluation

W 1, 2 = water boiling test

D 1, 2, 3 = moisture content, density, heat content and proximate analysis

5. การวิเคราะห์ค่าความร้อนและการประเมินค่าทางเคมี ทำโดยนำแว่นตัวอย่างที่จะวิเคราะห์แล้วบดให้ละเอียด จากนั้นซึ่งผงถ่านตัวอย่างแต่ละแว่นหนัก 0.50 กรัม แล้วผสมผงถ่านของแต่ละช่วงความชื้นจากไม้สีเสียดแก่ หรือแต่ละชนิดไม้ นำผงถ่านที่ผสมกันเป็นอย่างดีแล้วไปวิเคราะห์ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 การวิเคราะห์ค่าความร้อน นำผงถ่านมาอัดเม็ดแล้วเผาไหม้ในบรรยากาศของออกซิเจนใน Adiabatic oxygen bomb calorimeter ตามกรรมวิธีของ ASTM D 3015-72

5.2 การประเมินค่าทางเคมี โดยวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอนเสถียร สารระเหยและขี้เถ้า โดย

นำผงถ่านที่ผสมกันอย่างดีมาวิเคราะห์ในเตาเผาไฟฟ้าตามกรรมวิธีของ ASTM D 1762-64

6. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานโดยการคัมน์ำทำการวิเคราะห์โดยใช้เตาหุงคัมถ่าน กปม. 1 และมาตรฐานการทดสอบตามที่กำหนดโดย กรมป่าไม้ 2526 (เอกสารเผยแพร่โครงการปรับปรุงเตาหุงคัมมวลชีวในครัวเรือน)

ผลและวิจารณ์

ค่าความชื้น ผลผลิตถ่านและการหดตัวของถ่านทั้งทางด้านความยาวและหน้าตัด ที่จะวิจารณ์ต่อไปนี้ กำหนดให้มีหน่วยเป็นร้อยละทั้งหมด

อุณหภูมิและสีของควัน

อุณหภูมิสูงสุดของถ่านจากไม้จากไม้ตัวอย่างจากเตาอิฐทดลองที่วัดจากจุดกึ่งกลางเตาอยู่ระหว่าง 400-500°ซ ภาพที่ 3 ได้แสดงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ และเวลาในการผลิตถ่าน ความสัมพันธ์ของสีของควัน อุณหภูมิกลางเตา อุณหภูมิของควัน และเวลาในการผลิตถ่านอาจสรุปได้ดังนี้

เวลาจากเริ่มเผา	สีของควัน	อุณหภูมิ, °ซ	
		กลางเตา	ของควัน
18 ชม.	ขาว	300	75
36	เทา	400	100
50	น้ำเงิน	450	120

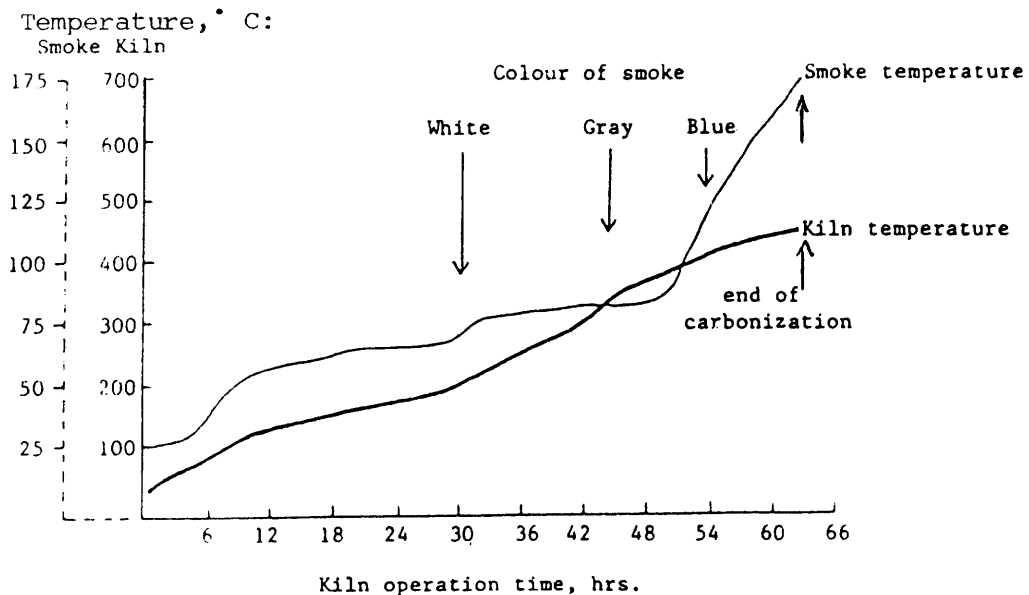


Figure 3. Development of temperature in the the brick beehive kiln

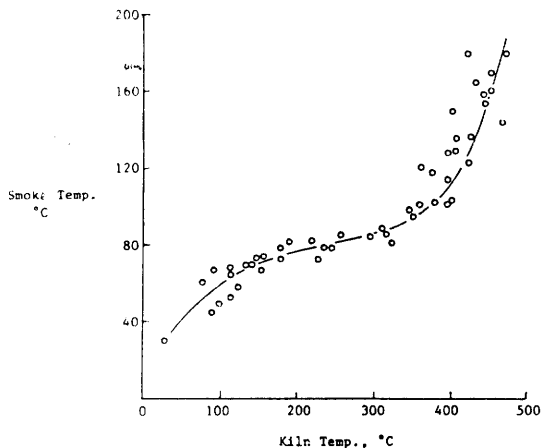


Figure 4. Smoke-kiln temperature relationship (Kiatgrajai and Yindepit, 1984)

ความสัมพันธ์ของเวลาในการเผาถ่านกับสีของควันและอุณหภูมิในการเผาถ่านจะแตกต่างกันไปตามความชื้นของไม้ ขนาดของไม้ ชนิดของไม้ การดำเนินการเผาและการเรียงฟืนเป็นต้น ดังนั้นจึงไม่ควรจะกำหนดเวลาในการเผาที่แน่นอนลงไป ควรจะสังเกตจากความสัมพันธ์ของสีของควันและอุณหภูมิในการเผาถ่าน

ความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิกลางเตา และอุณหภูมิของควันของเตาอิฐที่ใช้ทดลองค่อนข้างแน่นอนดังภาพที่ 4 เนื่องจากการวัดอุณหภูมิกลางเตา จำเป็นต้องใช้เครื่องมือราคาแพง ส่วนการวัดอุณหภูมิของควันใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดได้ถึง 150°ซ และมีความถูกต้องใช้ได้ ดังนั้นในการควบคุมเตาถ้าอาศัยความชำนาญในการสังเกตควัน ประกอบกับมีเทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิควันก็สามารถผลิตถ่านให้ผลผลิตสูงและคุณภาพดีได้

คุณสมบัติของถ่านจากไม้ตัวอย่างสีเสียดแก่

ท่อนไม้ตัวอย่างสีเสียดแก่ที่ใช้วิจัย เมื่อนำมาหาความชื้นแบ่งความชื้นได้ 3 ระดับ คือ ความชื้นต่ำกว่า 25 จำนวน 60 ท่อน ความชื้นระหว่าง 25-35 จำนวน 48 ท่อน และความชื้นสูงกว่า 35 จำนวน 138 ท่อน

คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์บางประการของไม้ตัวอย่างเหล่านี้ได้รายงานไว้ในเอกสารของปรีชา เกียรติกระจาย และคณะ 2526 และจากการศึกษาเพิ่มเติมของการหัดตัดทางด้านหน้าตัด (Cross section) ของแวนไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 11 ซม. ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ ถึงอบแห้งดังต่อไปนี้ (Kiatgrajai and Yindepit, 1984)

ความชื้น การหัดตัดทางด้านหน้าตัด

101	3.75
67	3.08
30	2.64

สำหรับการหัดตัดด้านความยาวจากไม้สีเสียดแก่จนสด ถึงอบแห้งไม้ได้ทำการศึกษา แต่เชื่อว่ามีค่าน้อยมาก ดังเช่น Panshin and de Zeeuw (1970) สรุปว่า ไม้โดยทั่ว ๆ ไป มีการหัดตัดด้านความยาวเมื่ออบแห้งอยู่ระหว่าง 0.1-0.5

คุณสมบัติของถ่านจากไม้ตัวอย่างสีเสียดแก่ที่ระดับความชื้นต่าง ๆ ในการผลิตถ่านด้วยเตาอิฐขนาดเล็ก ดังเช่น ผลิตผลถ่าน การหัดตัดความยาวและทางด้านหน้าตัด ความหนาแน่นของถ่านก้อน ค่าความร้อนของถ่าน และการประเมินค่าทางเคมีได้สรุปไว้ในตารางที่ 1 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ผลิตผลถ่าน ไม้ตัวอย่างสีเสียดแก่ทั้งหมดให้ผลิตผลถ่านเฉลี่ยเป็น 43.9 ซึ่งผลิตผลถ่านสูงสุดเป็น 50 และต่ำสุดเป็น 35 จากการทดลองแต่ละครั้ง กำหนดให้มีหัวถ่านเหลือไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักแห้งของไม้ท่อน ผลิตผลถ่านตัวอย่างนี้จะมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของผลิตผลถ่านจากไม้ทั้งเตาประมาณ 6-7 เนื่องจากอุณหภูมิของไม้ตัวอย่างต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของเตา เพราะไม้ตัวอย่างอยู่ส่วนล่างของเตา และไม้ตัวอย่างอยู่ห่างจากหน้าเตา (ช่องใส่ไฟ) ซึ่งโดยปกติแล้วส่วนของไม้ที่อยู่ติดช่องใส่ไฟจะถูกทำลายไป อีกประการหนึ่ง ที่ผลิตผลถ่านจากไม้ตัวอย่างสูง เนื่องมาจากการคิดผลิตผลถ่านจากไม้ตัวอย่างไม่ได้รวมถึงฟืนที่ใช้เผาไหม้ในช่องใส่ไฟ ซึ่งมีประมาณร้อยละ 5-10 ของน้ำหนักแห้งของไม้ทั้งเตา ดังเช่นการคิดผลิตผลถ่านจากไม้ทั้งเตา สาเหตุเหล่านี้ทำให้ผลิตถ่านจากไม้ตัวอย่างสูงกว่าผลิตผลถ่านจากไม้ทั้งเตา

Table 1. Average properties of acacia samples (no bark) in transformations of wood into charcoal by a 2 m³ brick beehive kiln at three wood moisture content conditions

Items	Wood Moisture Contents (%)		
	<25	25-35	>35
No. of tests	10	8	23
Average wood properties :			
Moisture content, %	18.5	30.8	46.0
Diameter, cm	10.6	10.7	11.7
Length, cm	88.6	96.3	97.5
Apparent densities, g/cm ³ :			
Average	0.68	0.72	0.71
Max-Min	0.71-0.55	0.80-0.66	0.81-0.63
CV, %	13.0	9.9	6.6
Charcoal properties :			
Yield, %			
Average	44.7	44.4	43.3
Max-Min	50-44	47-43	49-35
CV, %	7.3	2.6	6.9
Sectional shrinkages, %			
Cross-section : Average			
Average	13.0	14.8	16.0
Max-Min	15-11	19-12	19-12
CV, %	13.5	18.1	18.4
Longitudinal-section : Average			
Average	9.2	9.0	8.9
Max-Min	12-7	11-6	12-7
CV, %	9.9	18.1	15.8
Apparent density, g/cm ³ : Average			
Average	0.45	0.48	0.51
Max-Min	.48-.44	.52-.43	.59-.40
CV, %	3.4	7.1	8.7
Heat content, Kcal/g	7.52	7.25	7.46
Proximate analysis :			
Fixed carbon, %	77.5	75.2	77.2
Volatile matter, %	20.2	20.8	19.8
Ash, %	2.3	4.0	3.0
Water boiling test :			
heat utilization, %	27.7	29.5	27.8

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของผลิตผลถ่านจากไม้ตัวอย่างสี่เสียดแก่กัน ระหว่างระดับความชื้น โดยวิธีทดสอบหาค่าสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ความชื้นของไม้ทดสอบไม่ทำให้ผลิตผลถ่านเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับผลกระทบของความชื้นที่ไม่มีต่อผลิตผลถ่านจากไม้ทั้งเตา (ปรีชา เกียรติติระจาย และคณะ 2526) สำหรับการทดลองกับเตาขนาดใหญ่ ดังเช่น รายงานของ USDA (1961) และ Florestal Acesita S.A. (1982) สรุปได้ว่าไม้ที่มีความชื้นสูงกว่าร้อยละ

35 จะให้ผลิตผลถ่านเฉลี่ยต่ำกว่าไม้ที่แห้งกว่าเพียงเล็กน้อย แต่รายงานทั้งสองไม่ได้ทดสอบทางสถิติ

การหัตถ์ พบว่าค่าเฉลี่ยของการหัตถ์ความยาวของถ่านจากไม้สี่เสียดแก่กันทั้งหมดเป็น 8.7 ซึ่งได้มาจากค่าระหว่าง 6-12 และค่าเฉลี่ยของการหัตถ์ทางด้านหน้าตัดของถ่านจากไม้ดังกล่าวทั้งหมดเป็น 15.0 ซึ่งได้มาจากค่าระหว่าง 11-19 เมื่อวัดไม้ตัวอย่างสี่เสียดแก่กันตามความชื้นเป็น 3 ระดับคือความชื้นต่ำกว่า 25, 25-35 และสูงกว่า 35 ดังตารางที่ 1 แล้วนำค่าเฉลี่ยของการหัตถ์ของถ่านจากไม้ดังกล่าวมา

ทดสอบหานัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าการหดตัวของถ่านตามความยาวที่ระดับความชื้นทั้งสามไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การหดตัวทางด้านหน้าตัดของถ่านจากไม้สีเสียดแก่ที่มีความชื้นต่ำกว่า 25 จะมีค่าต่ำกว่าไม้ชนิดเดียวกันที่มีความชื้นสูงกว่า และการหดตัวทางด้านหน้าตัดของถ่านจากไม้สีเสียดแก่ที่มีความชื้นสูงกว่า 25 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การหดตัวของถ่านตามความยาวจากไม้สีเสียดแก่ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้มีค่าต่ำกว่าถ่านที่ได้จากไม้ Redwood, White oak และ Shagbark hickory ที่อุณหภูมิ 400°-500°ซ จากรายงานของ Beall (1977) และ Slocum และคณะ (1978) เนื่องจากสาเหตุที่ผลการทดลองนี้ต่ำกว่ารายงานทั้งสองเพราะความแตกต่างของชนิดไม้ และความชื้นในไม้จากจุดเริ่มต้นของปฏิกิริยาอุณหภูมิที่แปรผันของถ่านจากไม้สีเสียดแก่ และไม้สีเสียดแก่เป็นถ่านประมาณร้อยละ 95 เป็นต้น

สาเหตุที่ความชื้นในไม้สีเสียดแก่ทำให้การหดตัวทางด้านหน้าตัดของถ่านแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเพียงอย่างเดียวคือ การหดตัวทางด้านหน้าตัดของไม้เกิดขึ้นอย่างเด่นชัดที่อุณหภูมิต่ำได้ แต่การหดตัวตามความยาวจะเกิดขึ้นอย่างเด่นชัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 250°ซ (Beall, 1977 : Slocum *et al*, 1978) ซึ่งที่อุณหภูมินี้ความชื้นในไม้ควรจะระเหยออกไปหมดแล้ว

ความแน่นของถ่านก้อน ค่าเฉลี่ยของความแน่นของถ่านก้อนจากไม้สีเสียดแก่เป็น 490 กก. ต่อ ลบ.ม. ซึ่งผลิตจากไม้สีเสียดแก่ที่มีความแน่นเฉลี่ย 705 กก. ต่อลบ.ม. จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของความแน่นของไม้เมื่อแปรสภาพเป็นถ่านจะลดลงประมาณ 215 กก.ต่อลบ.ม. ซึ่งความแตกต่างของความแน่นระหว่างถ่านกับไม้ จากการทดลองครั้งนี้มีค่าต่ำกว่าการทดลองของ Florestal Acesita S.A. (1982) ได้แสดงถึงความแน่นแตกต่างระหว่างถ่านกับไม้ยูคาลิปตัสชนิดต่าง ๆ มีค่าตั้งแต่ 250-400 กก.ต่อลบ.เมตร

ค่าความร้อนและการประเมินค่าทางเคมี ค่าความร้อนเฉลี่ยของถ่านจากไม้สีเสียดแก่เป็น 7.43 กิโลแคลอรีต่อกรัม และการประเมินค่าทางเคมีเฉลี่ยของ

ถ่านจากไม้สีเสียดแก่ทั้งหมดมีค่าดังต่อไปนี้ การบอสน์เฉลี่ยร้อยละ 76.9 สารระเหยร้อยละ 20.1 และซีไธร้อยละ 3.0 ทั้งค่าความร้อนและค่าจากการประเมินทางเคมีของถ่านดังกล่าวให้ผลใกล้เคียงกับถ่านที่ได้จากการทดลองที่อื่น ๆ ในช่วงของอุณหภูมิ (Bailey and Blankenhorn, 1982 : Florestal Acesita S.A., 1982 : USDA, 1961)

คุณสมบัติของถ่านจากไม้ชนิดอื่น

ค่าเฉลี่ยของผลิตผลถ่าน คุณสมบัติทางฟิสิกส์ และคุณสมบัติทางเคมีบางประการของถ่าน จากไม้โกงกางใบเล็ก กระถินยักษ์ ยูคาลิปตัสและเลี่ยน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 เมื่อนำค่าเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับถ่านจากไม้สีเสียดแก่ ที่ระดับความชื้นเดียวกัน โดยใช้วิธีทดสอบหานัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พอสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

ผลิตผลถ่าน

ค่าเฉลี่ยผลิตผลถ่านจากไม้ตัวอย่างที่มีความชื้นสูงกว่า 35 เรียงตามลำดับ ยูคาลิปตัส 45.8 กระถินยักษ์ 44.3 สีเสียดแก่ 43.3 และเลี่ยน 42.3 และค่าเฉลี่ยผลิตผลถ่านจากไม้ตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำกว่า 25 เป็นสีเสียดแก่ 44.7 และโกงกางใบเล็ก 41.1

จากการทดสอบทางสถิติ ยืนยันว่าผลิตผลถ่านจากไม้ที่ทดลองชนิดต่าง ๆ ที่ระดับความชื้นเดียวกันนี้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นผลิตผลถ่านจากไม้ยูคาลิปตัสมีค่าสูงกว่าไม้เลี่ยน

การหดตัวทางด้านความยาว ค่าเฉลี่ยของการหดตัวทางด้านความยาวของถ่านจากไม้ตัวอย่างที่มีความชื้นสูงกว่า 35 เรียงตามลำดับคือ เลี่ยน 9.7 สีเสียดแก่ 8.9 ยูคาลิปตัส 8.3 และกระถินยักษ์ 8.2 และค่าเฉลี่ยของการหดตัวทางด้านความยาวของถ่านจากไม้ตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำกว่า 25 คือโกงกางใบเล็ก 10.6 และสีเสียดแก่ 9.2

จากการทดสอบทางสถิติของการหดตัวตามความยาวของถ่านจากไม้ต่างชนิดดังกล่าวที่ระดับความชื้นเดียวกันไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การหดตัวทางด้านหน้าตัด ค่าเฉลี่ยของการหดตัวทางด้านหน้าตัดของถ่านจากไม้ตัวอย่างที่มีความ

Table 2. Average properties of wood and charcoal samples from *Rhizophora candelaria* (RA), *Leuceana leucocephala* . (LL), *Eucalyptus camaldulensis* (EC) and *Melia azedarachta* (MA)

Items	RA	LL	EC	MA
No. of tests	11	4	5	9
Average wood properties :				
Moisture content, %	15.5	48.4	46.7	43.5
Diameter, cm	3.1	5.9	5.8	5.8
Length, cm	103	97	88	88
Density, g/cm ³ :				
Average	0.91	0.73	0.59	0.55
Max-min	0.99-0.82	0.78-0.64	0.64-0.55	0.68-0.47
Cv, %	5.8	9.0	6.3	13.2
Charcoal properties :				
Yield, %				
Average	41.1	44.3	45.8	42.3
Max-min	45-37	48-43	50-41	44-40
CV, %	7.3	4.8	7.4	3.2 -
Sectional shrinkages, % :				
Cross-section : Average	23.1	19.5	23.1	20.4
Max-min	28-21	22-17	27-18	26-18
CV, %	14.7	16.5	21.6	17.2
Longitudinal-section : Average	10.6	8.2	8.3	9.7
Max-min	13-7	10-7	10-7	12-7
CV, %	18.8	23.2	19.2	21.2
Apparent density, g/cm ³	0.49	0.44	0.42	0.34
Heat content, Kcal/g	7.50	7.43	7.35	7.43
Proximate analysis, % :				
Fixed carbon	79.9	78.3	79.8	73.2
Volatile matter	17.2	18.9	16.7	24.1
Ash	2.9	2.7	3.5	2.8

ชั้นสูงกว่า 35 เรียงตามลำดับคือ ยูคาลิปต์ 23.1 เลียน 20.4 กระถินยักษ์ 19.5 และสีเสียดแก่น 16.0 และค่าเฉลี่ยของการหดตัวทางด้านหน้าตัดของถ่านจากไม้ตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำกว่า 25 คือ โกงกางใบเล็ก 23.1 และสีเสียดแก่น 13.0 จากการทดสอบทางสถิติของการหดตัวทางด้านหน้าตัดของถ่านจากไม้ต่างชนิดที่ระดับความชื้นเดียวกันดังกล่าวพบว่า ไม้สีเสียดแก่นมีค่าการหดตัวทางด้านหน้าตัดของถ่านน้อยกว่าไม้ชนิดอื่นที่ระดับความชื้นทั้งสอง และการหดตัวทางด้านหน้าตัดของถ่านจากไม้ยูคาลิปต์ เลียนและกระถินยักษ์ที่มีความชื้นสูงกว่า 35 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ค่าความร้อนและการประเมินค่าทางเคมี ผลเฉลี่ยของค่าความร้อน และการประเมินค่าทางเคมีของถ่านจากไม้โกงกางใบเล็ก กระถินยักษ์ ยูคาลิปต์ และ

เลียน ดังตารางที่ 2 ให้ผลใกล้เคียงกับคุณสมบัติของถ่านจากไม้ชนิดอื่น ๆ ในช่วงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน (Bailey and Blankenhorn, 1982 : Florestal Acesita S.A., 1982 : USAD, 1961)

คำนิยม

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ดร.อรุณ ชมชาญ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทดลอง คุณวินัย ปัญญา-ธัญญา และคุณประมุข ทิชากร ช่วยควบคุมเตาและวัดขนาดไม้และถ่าน ดร.สมรัตน์ ยินดีพิช ช่วยวิเคราะห์ค่าความร้อน และการประเมินค่าทางเคมีของถ่าน ดร.บุญนำ เกี้ยวข้อง และรศ.สุพิชญ์ ภาสบุตร ช่วยตรวจและให้ข้อแนะคำในการเขียนเอกสารฉบับนี้.

เอกสารอ้างอิง

- บุญนำ เกี้ยวข้อง, ปรีชา เกียรติกระจาย และอรุณ ชมชาญ. 2524. พลังงานจากไม้ (3) : ทฤษฎีการทำถ่าน ลักษณะและคุณสมบัติของถ่าน. การประชุม การป่าไม้ 2524 สาขาวนผลิตภัณฑ์กรรมป่าไม้, กรุงเทพฯ : 186-212.
- ปรีชา เกียรติกระจาย. 2526. ผลผลิตและประสิทธิภาพ ในการแปรสภาพไม้เป็นถ่าน. วารสารวนศาสตร์ 2(3) : 186-196.
- ปรีชา เกียรติกระจาย, สมรัตน์ ยินดีพิช, อรุณ ชมชาญ, วินัย ปัญญาธัญญะ และประมุข ทิชากร. 2526. การปรับปรุงเทคโนโลยีในการเผาถ่านโดยใช้ เตาดินเหนียวก่อ และเตาอิฐสำหรับชนบท ใน รายงานการประชุมสัมมนาเรื่องพืชพลังงาน และวัสดุเหลือใช้การเกษตร 22-23 สิงหาคม 2526. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ
- สมพงษ์ ฉันทวรภาพ. 2526. การใช้พลังงานไม้. ใน รายงานสัมมนาเรื่องวนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 3 ป่าเพื่อชุมชน 24-25 กุมภาพันธ์ 2526. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Baileys, R.T. and P.R. Blankenhorn. 1982. Caloric and porosity development in carbonized wood. Wood science. 15 (1) : 19-28.
- Beall, F.C. 1977. Properties of wood during carbonization under fire conditions, pp. 39-44. In I.S. Goldsteins (ed.). Wood Technology: Chemical Aspects. ACS Symposium Series 43, Washington, D.C.
- Earl, D.E. 1974. Charcoal-An Andre' Mayer Fellowship Report. FAO. Rome 97 p.
- Florestal Acesita S.A. 1982. Charcoal production in Brazil. State of the Art, Report Submitted to USDA, Forest Service under Contract No 53-319 R-O-144:51-90.
- Kiatgrajai, P. and S. Yindepit. 1984. Charcoal production improvement for rural development in Thailand. A Final Report Submitted to USAID under Contract No. 493-0304. 163 p.
- Panshin, A.J. and C. de Zeeuw. 1970. Textbook of Wood Technology. 3rd ed., Vol.I. McGraw-Hill Book Company, New York pp 204-207.
- Slocum, D.H., E.A. McGinnes, Jr. and F.C. Beall. 1978. Charcoal yield, shrinkage, and density changes during carbonization of oak and hickory woods. Wood Science. 11(1): 42-47.
- USDA. 1961. Charcoal production, marketing and use. An FPL Report No. 2213. 137 p.