



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

.....
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

.....
ปริญญา

.....
วนผลิตภัณฑ์

สาขา

.....
วนผลิตภัณฑ์

ภาควิชา

เรื่อง อิทธิพลของการปิดเตาผลิตถ่าน ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน ต่อสมบัติของถ่าน

Effects of Closer Wood Charcoal Kiln at Various Carbonization Temperature on
Properties of Charcoal

นามผู้วิจัย นายอัจฉริยะ โชติจันทร์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิคม แผลมศักดิ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(รองศาสตราจารย์อนันต์ชัย เชื้อนธรรม, M.S.)

หัวหน้าภาควิชา

.....
(รองศาสตราจารย์ทรงกลด จารุสมบัติ, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อิทธิพลของการปิดเตาผลิตถ่าน ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน ต่อสมบัติของถ่าน

Effects of Closer Wood Charcoal Kiln at Various Carbonization Temperature
on Properties of Charcoal

โดย

นายอัจฉริยะ โชติจันทร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

พ.ศ. 2552

อัจฉริยะ โชติจันทร์ 2552: อิทธิพลของการปิดเตาผลิตถ่าน ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน ต่อ สมบัติของถ่าน ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาวนผลิตภัณฑ์ ภาควิชา วนผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิคม แหลมศักดิ์, Ph.D. 58 หน้า

การศึกษาอิทธิพลของการปิดเตาผลิตถ่าน ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน ที่มีผลต่อสมบัติของ ถ่าน เป็นการศึกษาการผลิต และสมบัติของถ่าน เมื่อระดับอุณหภูมิของการปิดเตาต่างกันที่ 3 ระดับ คือ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส โดยใช้เตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ซึ่งใช้ไม้ยูคาลิปตัสคามาตุ เลนซิส อายุ 3-5 ปี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5-4 นิ้ว นำไม้ฝังไว้ในกระแสะอากาศเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ก่อนนำไปใช้เป็นวัตถุดิบ (ความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 40)

จากการศึกษาสมบัติของถ่าน ได้แก่ ผลผลิตของถ่าน ปริมาณความชื้น ปริมาณถ่านคงตัว ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ค่าความร้อน และความหนาแน่น ส่วนสมบัติของน้ำส้มไม้ดิบ ได้แก่ ผลผลิตของน้ำส้มไม้ดิบ ความถ่วงจำเพาะ ค่าพีเอช สี กลิ่น และความใส พบว่า ในการผลิต 1 รอบ (ปริมาตรภายในของเตา 12 ลูกบาศก์เมตร) ใช้เวลา 15 วัน ปริมาณไม้เฉลี่ย 5,607 กิโลกรัมสมบัติ ของถ่านชั้นบนมีปริมาณถ่านคงตัว และค่าความร้อนมากกว่าถ่านชั้นล่างในแต่ละอุณหภูมิที่ปิดเตา โดยมีค่าคาร์บอนเสถียรสูงสุด ร้อยละ 82.0 และค่าความร้อนสูงสุด 7,480 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ที่ อุณหภูมิการปิดเตา 700 องศาเซลเซียส ของถ่านชั้นบน เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน และใช้การเปรียบเทียบโดยวิธีของ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) พบว่า ในถ่านชั้นบน อุณหภูมิที่ปิดเตา 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติของถ่าน ในถ่านชั้นล่าง อุณหภูมิที่ปิดเตา 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส มีผลต่อปริมาณถ่านคงตัว และค่าความร้อน มี ค่าเฉลี่ยของกลุ่มอย่างน้อย 1 คู่ ที่แตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบทีละคู่พบว่า อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อยู่คนละกลุ่มกับอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จากผลการวิจัย การผลิตถ่านในวิธีการ ทดลองนี้ควรเลือกการปิดเตาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เพราะให้ค่าความร้อนสูง ปริมาณถ่านคง ตัวสูง และมีปริมาณสารระเหยน้อย ซึ่งเป็นสมบัติของถ่านที่มีคุณภาพสูง

Aujchariya Chotikhun 2009: Effects of Closer Wood Charcoal Kiln at Various Carbonization Temperature on Properties of Charcoal. Master of Science (Forestry), Major Field: Forest Products, Department of Forest Products. Thesis Advisor: Assistant Professor Nikhom Laemsak, Ph.D. 58 pages.

The research on effects of closes wood charcoal kiln at various carbonization temperature on properties of charcoal were studied the manufacture and properties of charcoal at 3 level carbonization temperature i.e. 500, 600 and 700 °C. The charcoal kilns were made by Thai-Iwate kiln (Japanese type) using Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*) wood. Those woods, were 3-5 years old with diameter 1.5-4 inches and air-dried approximately 4 weeks (moisture content less than 40 %).

The results revealed that charcoal properties, i.e. charcoal yield, moisture content, fixed carbon, volatile matter, ash content, heating value and density and wood vinegar properties, i.e. wood vinegar yield, specific gravity, pH, color, smell and transparent. In addition, the results showed the charcoal making cycle consumed (inner volume of the kiln 12 m³) 15 days with average 5,607 kg of wood. The properties of charcoal were divided into two parts, i.e. top and bottom part of the kiln. All the temperature closer kiln, top part charcoal had fixed carbon and heating value higher than bottom part. At closer temperature 700 °C, top part charcoal, had highest value of fixed carbon and heating value 82.0 % and 7,480 kcal/kg, respectively. Statistical analysis using statistical package, analysis of variance and multiple comparison of Duncan's Multiple Range Test (DMRT), showed that all closer temperature of top part charcoal not significant different on properties of charcoal. Bottom part charcoal, all closer temperature, had significant different on fixed carbon and heating value. The mean of group at least had one pair different. Multiple comparison showed that the charcoal properties at closer temperature 500 °C and 700 °C were differed. Other properties of bottom part of the kiln charcoal were not significantly different. The charcoal making in this research should be choosed closer temperature 700 °C to get high quality charcoal as higher heating value and fixed carbon and low volatile matter.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นิคม แหลมศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รศ.อนันต์ชัย เชื้อนธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และห้างหุ้นส่วนจำกัดเอ็มเคไบโอโอแมสแอนด์ชาร์โคลท์ ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ และพนักงานศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดจนให้คำแนะนำจนการทดลองสำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้าย กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว และคุณจิตจรดา กิตติจารุวัฒนา ผู้ซึ่งสร้างครอบครัวที่อบอุ่น ผู้เป็นความรักและกำลังใจที่ยิ่งใหญ่แก่ข้าพเจ้า

อัจฉริยะ โชติจันทร์

มกราคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	38
ผล	38
วิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	45
สรุป	45
ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	47
ภาคผนวก	51
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	58

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติของน้ำส้มไม้ที่มีคุณภาพดี	11
2	ถ่านขาวและถ่านดำจากไม้ชนิดเดียวกันมีคุณสมบัติแตกต่างกัน	13
3	เมื่อไม้สลายตัวด้วยความร้อนเปลี่ยนเป็นถ่าน จะมีสมบัติเปลี่ยนไปจากไม้	13
4	ถ่าน ไม้ชนิดเดียวกันที่ผลิตด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะมีคุณสมบัติที่แตกต่าง กัน	14
5	สมบัติถ่านไม้ที่ได้จากเนื้อไม้และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส	15
6	ถ่านไม้แต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันไป	16
7	ปริมาณไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้ในการผลิตถ่าน	38
8	ปริมาณไม้ฝืนหน้าเตาที่ใช้ในการผลิตถ่าน	39
9	ผลผลิตของถ่านที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน	40
10	ผลผลิตของน้ำส้มไม้ที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิต ต่างกัน	40
11	สมบัติของน้ำส้มไม้ที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิต ต่างกัน	41
12	ค่าเฉลี่ยสมบัติของถ่านชั้นบน	41
13	ค่าเฉลี่ยสมบัติของถ่านชั้นล่าง	42
14	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติของถ่าน	43

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กระจกฝ้าไม้ในกระแสนอากาศ	33
2 การเรียงไม้เข้าเตา	34
3 การก่อกำแพงชั้นใน	34
4 การก่อกำแพงชั้นนอก	35
5 ตำแหน่งที่ใช้วัสดุฉนวนหุ้มภายในเตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ	35
6 เตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ ห้างหุ้นส่วนจำกัดเอ็มเคไบโอแมสแอนด์ชาร์โคลล์	36
7 ปล่องเก็บน้ำส้ม ไม้จากเตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ	37
8 ลักษณะของถ่านที่ผลิตภายในเตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ	39
9 ลักษณะของถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่ได้จากการผลิตโดยเตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ	43
ภาพผนวกที่	
1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกระบวนการผลิตถ่านไม้ยูคาลิปตัสจากเตาเผาถ่านไทยอิวาเตะ ใน Block 1	52
2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกระบวนการผลิตถ่านไม้ยูคาลิปตัสจากเตาเผาถ่านไทยอิวาเตะ ใน Block 2	52
3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกระบวนการผลิตถ่านไม้ยูคาลิปตัสจากเตาเผาถ่านไทยอิวาเตะ ใน Block 3	53
4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกระบวนการผลิตถ่านไม้ยูคาลิปตัสจากเตาเผาถ่านไทยอิวาเตะ ใน Block 4	53
5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกระบวนการผลิตถ่านไม้ยูคาลิปตัสจากเตาเผาถ่านไทยอิวาเตะ ใน Block 5	54
6 ปริมาณความชื้นที่ได้จากเตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน	54
7 ปริมาณถ่านคงตัวที่ได้จากเตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
8	ปริมาณสารระเหยที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน	55
9	ปริมาณเถ้าที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน	56
10	ปริมาณค่าความร้อนที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน	56
11	ความหนาแน่นที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน	57

อิทธิพลของการปิดเตาผลิตถ่าน ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน ต่อสมบัติของถ่าน

Effects of Closer Wood Charcoal Kiln at Various Carbonization Temperature on Properties of Charcoal

คำนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการใช้ในครัวเรือน ด้านการคมนาคม หรืออุตสาหกรรมต่างๆ ยิ่งความต้องการในการพัฒนาประเทศมากขึ้น การใช้พลังงานก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เชื้อเพลิงฟอสซิลในธรรมชาติที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น น้ำมัน แก๊สหุงต้ม หรือถ่านหิน ล้วนแล้วแต่มีแนวโน้มราคาที่จะสูงขึ้น ตามปริมาณที่เหลือน้อยลง ดังนั้นเราจึงควรนำพลังงานหมุนเวียนอย่างเช่นไม้มาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิง นอกจากจะใช้ประโยชน์ด้านพลังงานแล้ว การปลูกต้นไม้ยังส่งผลดี เช่น ช่วยลดภาวะโลกร้อน ช่วยป้องกันอุทกภัย เป็นต้น

ไม้ยูคาลิปตัสเป็นไม้โตเร็วชนิดหนึ่ง ที่มีการใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ เช่น ไม้เพื่อการก่อสร้าง ไม้ใช้สอยขนาดเล็ก ไม้เชื้อเพลิงสำหรับผลิตฟืนและถ่าน ไม้เพื่อพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าและแก๊สหุงต้ม (นิคม และคณะ, 2550) หรือการปลูกไม้สำหรับป้อนโรงงานอุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษ เนื่องจากไม้ยูคาลิปตัสเป็นไม้ที่มีการเจริญเติบโตเร็ว ปลูกง่าย ทนต่อสภาพแห้งแล้ง สามารถขึ้นได้ในที่ดินเสื่อมโทรมที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ นอกจากนี้ยังมีรูปทรงลำต้นเปลาตรง สามารถเจริญเติบโตและตัดฟันเพื่อใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่อายุ 3-5 ปี และยังสามารถตัดฟันได้ดีจึงสามารถตัดฟันได้หลายครั้ง โดยไม่ต้องปลูกใหม่ ซึ่งในปัจจุบันนับว่าไม้ยูคาลิปตัสมีความสำคัญและมีความโดดเด่นอย่างยิ่งในหมู่ไม้โตเร็วชนิดต่างๆ ที่มีการปลูกในประเทศไทย

การผลิตถ่าน (charcoal) และการใช้น้ำส้มไม้ (wood vinegar) ได้มีการใช้มายาวนาน ตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ของญี่ปุ่นควบคู่กับการผลิตถ่าน โดยเริ่มจากจังหวัดชิซุโอะ (จังหวัดชิบามะในปัจจุบัน) ซึ่งอยู่ทางตะวันตกของญี่ปุ่น ถ่านที่ผลิตได้มักใช้ในการถลุงเหล็ก ในยุคแรกเริ่มนิยมผลิตถ่าน จากการเลือกเตาที่เกิดตามธรรมชาติของหิน ที่สามารถหาได้ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1960 มีการผลิตถ่านถึง 2 ล้านตันต่อปี จากการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของญี่ปุ่น ทำให้การใช้ถ่านลดลงเหลือเพียง 35,000 ตันต่อปี ต่อมาก็ได้มีการรวมตัวกันจัดตั้งเป็นสมาคมผู้ผลิตถ่านไม้ขึ้นในปี ค.ศ. 1985 โดยได้ทำการศึกษาวิจัยและประชาสัมพันธ์ ให้ประชาชนได้รับรู้และเข้าใจถึงการใช

ประโยชน์จากถ่านไม้และน้ำส้มไม้อย่างกว้างขวางและหลากหลาย โดยเฉพาะใช้ในการเกษตรและการบำบัดน้ำทิ้ง ประชาชนจึงหันกลับมาใช้ถ่านไม้เพิ่มขึ้นถึง 176,000 ตัน และน้ำส้มไม้ 6 ล้านลิตรต่อปี ในปี ค.ศ. 1992 และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน เนื่องจากประชาชนตระหนักถึงปัญหาสุขภาพ และการใช้สารเคมีที่ทำให้เกิดสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรม ขาดความสมดุล (นิคม, 2551) น้ำส้มไม้หรือน้ำส้มควันไม้ (wood vinegar or pyroligneous acid or pyroligneous liquor) เป็นของเหลวสีน้ำตาลใส มีกลิ่นควันไฟซึ่งได้มาจากระบวนการผลิตถ่าน (carbonization) โดยผ่านกระบวนการควบแน่นของควันไฟที่อุณหภูมิในเตาระหว่าง 280-400 องศาเซลเซียส (พุฒินันท์, 2546) ซึ่งน้ำส้มไม้ที่ได้นั้นมีความแตกต่างจากน้ำส้มสายชู หรือน้ำส้มชนิดอื่นๆ ที่ได้จากการหมักหรือการสังเคราะห์ กล่าวคือน้ำส้มไม้จะมีสารประกอบหลากหลายชนิดมากกว่า เช่น ฟีนอลได้จากการสลายตัวของลิกนิน กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ที่ได้จากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส จึงทำให้สามารถนำเอาน้ำส้มไม้ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมายในชีวิตประจำวัน เช่น ใช้ผลิตสารดับกลิ่นตัว สารปรับผิวนุ่ม ยารักษาโรคผิวหนัง อุตสาหกรรมอาหารรมควัน กระบวนการย้อมผ้า สารป้องกันเนื้อไม้จากเชื้อราและแมลง

เตาเผาถ่านแบบจีน มีใช้ในจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี เป็นเตารูปไข่หลังคาโค้ง เพื่อให้การกระจายความร้อนจากด้านหน้าไปด้านหลัง และจากหลังคาไปยังพื้นเป็นไปอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ไม่มีจุดอับที่ทำให้ได้รับความร้อนน้อยกว่าหรือมากกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดสันถ่านหรือเกิดขี้เถ้า ญี่ปุ่นได้พัฒนาเตานี้มาอย่างต่อเนื่อง จนได้เตาผลิตถ่านที่มีลักษณะที่ดี และเรียกเตาชนิดนี้ว่า เตาอิวาเตะ (iwate kiln) ซึ่งมี 2 ชนิดคือ เตาเผาถ่านดำหรือถ่านอ่อน (black or soft charcoal) และเตาเผาถ่านขาวหรือถ่านแข็ง (white or hard charcoal) ซึ่งเตาทั้ง 2 ชนิดมีรูปร่างคล้ายกัน แตกต่างกันที่วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง เพราะถ่านขาวต้องใช้อุณหภูมิในการผลิตสูงถึง 1,100 °C เตาอิวาเตะมีจุดเด่นคือสามารถผลิตถ่านได้ตามวัตถุประสงค์ทุกชนิด แต่มีจุดด้อยคือ ค่าก่อสร้างสูง ประเทศไทยจึงได้นำเตานี้มาพัฒนาต่อเพื่อให้เหมาะสมกับวัสดุที่มีอยู่ในประเทศจึงตั้งชื่อใหม่ว่า เตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ โดยชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้ (สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, 2547)

การศึกษาอิทธิพลของการปิดเตาผลิตถ่าน ที่อุณหภูมิต่างกัน ต่อสมบัติของถ่าน เป็นการศึกษาถึงอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป เมื่ออุณหภูมิในการปิดเตาสูงขึ้นจะส่งผลต่อสมบัติของถ่านอย่างไร เป็นการนำไม้ยูคาลิปตัสมาแปรรูปเป็นผลผลิตใหม่ ก่อนนำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม ปิ้งย่าง การเกษตร และสามารถถ่ายทอดสู่เกษตรกร และผู้ที่สนใจทั่วไปได้

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการผลิตถ่านและน้ำส้มไม้จากไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งผลิตจากเตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ โดยการปิดเตาที่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส
2. ศึกษาสมบัติของถ่านและน้ำส้มไม้ที่ได้จากการผลิต
3. เปรียบเทียบสมบัติของถ่านและน้ำส้มไม้ที่ได้จากการปิดเตาที่อุณหภูมิต่างกัน และนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก.-ธ.ก.ส.

การตรวจเอกสาร

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม เกษตรกรต้องสูญเสียเงินในแต่ละปีกับการใช้ปุ๋ย และสารเคมีเพื่อทำให้ได้ผลผลิตสูง แต่ในปัจจุบันได้มีการส่งเสริมการนำสารจากธรรมชาติมาใช้ในการเกษตรมากขึ้น เพราะนอกจากมีความปลอดภัยสูงทั้งต่อผู้ผลิต ผู้บริโภค และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว เกษตรกรยังสามารถผลิตใช้ได้เองในประเทศอีกด้วย การผลิตถ่านเป็นที่รู้จักกันมาอย่างยาวนาน โดยทั่วไปคนส่วนใหญ่จะใช้ประโยชน์จากถ่านเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้ม เนื่องจากถ่านเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ความร้อนสูง ง่าย และไม่มีราคาถูก (นิคม และ อลงกรณ์, 2545) ในกระบวนการผลิตถ่านนั้น จะมีวันที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาของไม้กับความร้อนทำให้สารประกอบในเนื้อไม้เกิดการสลายตัว และทำให้ได้สารประกอบใหม่มากมาย เมื่อเรานำถ่านนั้นมาควบแน่นก็จะได้ของเหลว ที่เรียกกันว่า น้ำส้มไม้

น้ำส้มไม้ มีการใช้ประโยชน์ต่อการทำเกษตรอินทรีย์ ส่วนหนึ่งเป็นสารเร่งการเจริญเติบโต สารไล่แมลง สารปรับสภาพดิน ซ้ำเชื้อแบคทีเรีย ไล่เดือนฝอย และปรับค่า pH ของดิน กรณีสนามกอล์ฟ อาจทำเป็น organic landscape กล่าวคือ ไม้ใช้สารเคมี เพราะอาจมีผลต่อสุขภาพ ถ้านำเอาน้ำส้มไม้ไปกลั่นอีกครั้งจะได้น้ำสีเหลืองใส (vinegar tea) ประเทศญี่ปุ่นนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับสุขภาพ เช่น เครื่องสำอาง ครีมบำรุง แชมพูสระผม สบู่ โลชั่นปรับสภาพผิว โคลอยด์ ใช้ทำยาฆ่าเชื้อ ทำน้ำแร่ ผลิตภัณฑ์สปา ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้มาจากน้ำส้มไม้ทั้งสิ้น ส่วนทาร์หรือน้ำมันดิน สามารถใช้ผลิตเป็นยาแก้พิษในระบบทางเดินอาหารได้

น้ำส้มไม้หรือน้ำส้มควันไม้ เป็นของเหลวสีน้ำตาลใสมีกลิ่นควันไฟ ชิมดูจะมีรสเปรี้ยวเนื่องจากสภาพความเป็นกรดโดยของเหลวนี้จะผลิตได้จากการควบแน่นควันไฟที่เกิดขึ้นในขณะที่ไม้กำลังเปลี่ยนเป็นถ่านในเตา (ขั้นตอนที่เรียกว่า carbonization) ที่อุณหภูมิระหว่าง 300-400 °C ในสภาวะอุณหภูมิดังกล่าวสารประกอบต่างๆในไม้จะถูกความร้อนสลายตัวทำให้เกิดเป็นสารประกอบใหม่อันเป็นประโยชน์ในหลายๆด้านไม่ว่า จะเป็นการปลูกพืช การเลี้ยงปลา เลี้ยงสัตว์ หรือการนำไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมอื่น

น้ำส้มไม้ ได้จากการควบแน่น (condensed) ของควันจากการเผาถ่านไม้ในเตา ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นมีการนำมาใช้ประโยชน์กว่า 100 ปีมาแล้ว ในรูปของน้ำส้มไม้ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

การแพทย์ แต่ในประเทศไทยมีการควบคุมการผลิตกันอย่างเข้มงวด แนวทางการผลิตเพื่อเพิ่มคุณภาพและการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้จึงมีน้อยมาก แต่กระนั้นตามชนบทยังมีการเผาถ่านขายอยู่จำนวนมากพอสมควร (ประพันธ์, 2547)

น้ำส้มไม้ที่กล่าวได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้อย่างกว้างขวางเช่นเดียวกับถ่านไม้ไม่ว่าจะนำมาใช้ในครัวเรือน เกษตรกรรม ปศุสัตว์ และอุตสาหกรรมการผลิตสารพัดชนิดแล้ว คุณสมบัติที่โดดเด่นที่สุดของผลิตภัณฑ์น้ำส้มไม้ คือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นธรรมชาติ สอดคล้องกับกระแสการบริโภค ในปัจจุบันที่เน้นเรื่องความปลอดภัย ปลอดภัยสารพิษ สามารถใช้ได้สะดวก ไร้สารเคมีตกค้างส่งผลให้ขณะนี้ การนำน้ำส้มไม้เข้าสู่ตลาดอุตสาหกรรม เป็นเรื่องที่ไม่ยากเย็นนัก น้ำส้มไม้นั้นมีสารประกอบ มากกว่า 200 ชนิด (Xinxi, 2004) เช่น กรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ รวมทั้งสารอินทรีย์อื่น ๆ เช่น กรดอะซิติก (acetic acid), กรดโพรไพโอนิก (propionic acid) และแร่ธาตุตามธรรมชาติอีกนานาชนิดซึ่งเป็นประโยชน์หลายประการ ในประเทศญี่ปุ่น การใช้งานผลพลอยได้จากการผลิตถ่านนี้ แพร่หลายมานานมากแล้ว ทั้งในด้านอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม และให้ผลดีอย่างน่าเชื่อถือทีเดียว ส่วนการใช้ประโยชน์จากน้ำส้มไม้ในประเทศไทยยังคงอยู่ในวงที่จำกัด

ชนิดของเตาเผาถ่าน

เตาเผาถ่านมีมากมายหลายขนาด แตกต่างกันไปแต่ละภูมิภาคของโลกและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1. เตาผลิตถ่านระบบอุตสาหกรรม เป็นเตาผลิตถ่านที่มีวัตถุประสงค์ในการนำผลพลอยได้ไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเคมี โดยการนำควันที่เกิดขึ้นจากการเผาถ่านมาควบแน่น (condensed) แล้วนำของเหลวที่ได้มากลับแบบลำดับส่วน (fraction distillation) โดยมีฟีน 1 ตัน จะได้ผลผลิตดังนี้

กรดน้ำส้ม (acetic acid)	50 กิโลกรัม
เมทานอล (methanol)	16 กิโลกรัม
อะซีโตน และ เมทิลอะซีโตน (acetone and methyl acetone)	8 กิโลกรัม
น้ำมันดินที่ละลายน้ำ (soluble tars)	190 กิโลกรัม
น้ำมันดินที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble tars)	50 กิโลกรัม

เตาประเภทนี้มีจุดเด่นคือ มีกำลังผลิตสูง อาจสูงถึง 60 ตัน/วัน และยังสามารถนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมป่าไม้มาเป็นวัตถุดิบได้อีกด้วย แต่ปัจจุบันผลผลิตที่ได้ไม่สามารถแข่งกับผลผลิตที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี จึงหยุดการผลิตและนำวันวนกลับมาเป็นเชื้อเพลิงในการเผาถ่านหรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับต้นกำเนิดพลังงานอื่นๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว

2. เตาผลิตถ่านแบบดั้งเดิม สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

ชนิดที่ 1 เตาหลุม หรือเตากลบ (ground pit or heap kiln) เป็นเตาชนิดแรกของโลกที่ยังคงใช้อยู่จนถึงปัจจุบัน มีรูปร่างขนาด และวัสดุแตกต่างกันไปแต่ละภูมิภาค เช่น เตากลม เตาเหลี่ยม เตาโดม ฯลฯ กลบด้วยดิน แกลบ จี้เลื่อย ฯลฯ เตาชนิดนี้ก่อสร้างง่าย ราคาถูกแต่ผลผลิตและคุณภาพต่ำ เนื่องจากอากาศสามารถไหลผ่านวัสดุที่ใช้กลบได้

ชนิดที่ 2 เตาโลหะ (metal kiln) เป็นเตาขนาดเล็ก สามารถโยกย้ายได้ ให้คุณภาพและผลผลิตของถ่านดีพอสมควร แต่อายุการใช้งานสั้นเนื่องจากความร้อนและกรดในควันขณะเผาถ่านไม้

ชนิดที่ 3 เตาดิน หรืออิฐก่อ (mud or brick kiln) เตาชนิดนี้ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องนับเป็นร้อยๆปีมาแล้ว ลักษณะที่ดีของเตาชนิดนี้ต้องประกอบด้วย

1. เตาต้องผนึกแน่น (air tight) มีช่องอากาศเข้าและปล่อยควันออกเพียงอย่างละ 1 จุด เพื่อความสะดวกในการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการ และยังเป็นการประหยัดหากต้องการนำควันไปควบแน่นเป็นน้ำส้มควันไม้
2. ช่องใส่ฟืนหน้าเตา และช่องอากาศเข้า ต้องแยกจากกัน เพื่อความสะดวกและปลอดภัย
3. ควรมีกำแพงกัน (buffer) ระหว่างไม้ฟืนกับห้องเผาไหม้ เพื่อป้องกันการสูญเสียไม้ที่อาจลุกไหม้ก่อนเวลาที่เหมาะสม
4. ต้องมีหลังคาคลุมป้องกันฝน
5. ต้องมีท่อระบายน้ำจากพื้นเตาและควรรองพื้น โครงสร้างหินหรืออิฐหัก ป้องกันไม่ให้ความชื้นซึมเข้าพื้นเตา เพื่อเป็นการประหยัดฟืนหน้าเตา และป้องกันการเกิดสนิมถ่าน
6. ต้องมีรูปร่างที่สามารถกระจายความร้อนได้ทั่วถึงทุกจุดของเตา

7. ต้องมีความสูงไม่มากนัก เพื่อไม่ให้อุณหภูมิด้านบนของเตาสูงกว่าอุณหภูมิที่พื้นเตามากนัก ป้องกันการเกิดจี้ไถ้ที่ส่วนบนของเตา และสันถ่านที่พื้นเตา

8. ช่องควันออกต้องอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นเตา และมีสัดส่วนเหมาะสมกับขนาดเตา หากใหญ่หรือเล็กเกินไป จะเปลืองพื้นที่หน้าเตาและเกิดสันถ่านได้ง่าย

9. ปล่องควันด้านล่างต้องใหญ่กว่าด้านบน เพื่อป้องกันควันย้อนกลับและต้องมีความสูงที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดแรงดูดทำให้ควันไหลออกเร็วเกินไป จนไม่สามารถควบคุมคุณภาพถ่านให้ดีได้

10. ควรมีขนาดที่เหมาะสม มีรอบการเผาไม่นานนัก สามารถนำถ่านออกและใส่ไม้ฟืนเข้าได้เสร็จในเวลาสั้น เพื่อรักษาอุณหภูมิเตาให้อยู่สม่ำเสมอ ซึ่งจะลดการยืดหดตัวของเตาและประหยัดไม้ฟืนหน้าเตา เตาชนิดนี้แบ่งออกเป็น 3 แบบ

แบบที่ 1 เตาแบบตะวันออกกลาง มีใช้ในอิรัก อิหร่าน อัฟกานิสถาน ปากีสถาน ฯลฯ เป็นเตาทรงกลม ก่อด้วยหิน โดยมีดินเหนียวเป็นตัวประสาน

แบบที่ 2 เตาแบบยุโรป มีใช้ในยุโรปและอาณานิคม เป็นเตาทรงโดมมีช่องลมเข้าโดยรอบ จึงเรียกว่าเตารังผึ้ง (beehive kiln) มีจุดเด่นคือค่าก่อสร้างถูก ระยะเวลาในการผลิตสั้น ผลผลิตและคุณภาพถ่านอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมาก ถ่านที่ได้เหมาะสำหรับเป็นเชื้อเพลิง หากต้องการนำมาประกอบอาหารปิ้ง-ย่าง ต้องคัดเฉพาะถ่านที่อยู่ส่วนบนของเตา เตารังผึ้งมีจุดด้อยคือ มีทรงกลมและสูง มีช่องลมเชื้อเพลิงอยู่ด้านข้าง ทำให้การกระจายความร้อนไม่ดีเท่าที่ควร ผู้ควบคุมการผลิตมักยอมให้เกิดสันถ่านเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดจี้ไถ้ที่ส่วนบนของเตา รวมทั้งการมีอากาศเข้าและปล่องควันหลายจุด ทำให้ยากต่อการควบคุม ไม้ฟืนที่เป็นวัตถุดิบควรมีความยาวเท่ากับความสูงของเตา หากใช้เศษไม้สั้นจะเรียงฟืนลำบากมาก ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเตารังผึ้งต่อเนื่องอย่างหลากหลาย เช่น กรมป่าไม้ของไทยพัฒนาให้เหลือช่องอากาศเข้าเพียงจุดเดียวทางด้านข้าง เอกชนของไทยที่ จ. สระแก้วพัฒนาช่องลมร้อนให้เข้าที่ศูนย์กลางของพื้นเตา (ประลอง, 2540)

แบบที่ 3 เตาแบบจีน มีใช้ในจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี เป็นเตารูปไข่หลังคาโค้ง เพื่อให้การกระจายความร้อนจากด้านหน้าไปด้านหลัง และจากหลังคาไปยังพื้นเป็นไปอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ไม่มีจุดอับที่ทำให้ได้รับความร้อนน้อยกว่าหรือมากกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดสันถ่านหรือเกิดจี้ไถ้ ญี่ปุ่นได้พัฒนาเตานี้มาอย่างต่อเนื่อง จนได้เตาผลิตถ่านที่มีลักษณะที่ดีครบทุกประการดังที่ได้อธิบายไว้แล้วเบื้องต้นและเรียกเตาชนิดนี้ว่า เตาอิวาเตะ (iwate kiln) ซึ่งมี 2 ชนิดคือ เตาเผาถ่าน

ดำหรือถ่านอ่อน (black or soft charcoal) และเตาเผาถ่านขาวหรือถ่านแข็ง (white or hard charcoal) ซึ่งเตาทั้ง 2 ชนิดมีรูปร่างคล้ายกัน แตกต่างกันที่วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง เพราะถ่านขาวต้องใช้อุณหภูมิในการผลิตสูงถึง $1,100^{\circ}\text{C}$

เตาอิวาเตะมีจุดเด่นคือ สามารถผลิตถ่านได้ตามวัตถุประสงค์ทุกชนิด แต่มีจุดด้อยคือ ค่าก่อสร้างจะสูงกว่าเตาแบบรังผึ้ง ถ้าเทียบกันกับปริมาณต่อปริมาณ

เตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะตามแบบของชมรมสวนป่า ผลิตภัณฑ์และพลังงานจากไม้ ซึ่งพัฒนาจากแบบดั้งเดิม โดยคุณพุดินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ รองประธานชมรมสวนป่าฯ จะออกแบบปล่องดักควันสแตนเลสที่สามารถใช้ประโยชน์จากควันไม้จำนวนมากที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเผาถ่านมาถ่วง เป็นน้ำส้มไม้ดังกล่าวได้ โดยของเหลวจากการควบแน่นควันนี้ จะมีอัตราส่วนประมาณร้อยละ 8 ของน้ำหนักไม้ หรือหากมีระบบการหล่อเย็นต่อกับปล่องสแตนเลสที่ใช้ดักควันไม้ ก็จะทำให้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น อาจได้มากถึงร้อยละ 15 ซึ่งขณะนี้เตาเผาถ่านอิวาเตะปริมาตร 12 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งใช้อากาศจากภายนอกปล่องเก็บควันเพื่อถ่วงเก็บของเหลวจะให้น้ำส้มควันไม้ประมาณ 400 ลิตร โดยใช้ไม้ประมาณ 5 ตัน

กระบวนการผลิตถ่านไม้

กระบวนการผลิตถ่านไม้ มี 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การไล่ความชื้น (dehydration) ขั้นตอนการไล่ความชื้นนี้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ $20-270^{\circ}\text{C}$ จำเป็นต้องใช้ความร้อนจากภายนอก เพื่อให้ไม้พ่นเกิดปฏิกิริยาดูดความร้อน (endothermic reaction) สะสมไว้ให้ได้มากพอที่จะระเหยน้ำในไม้และเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) โดยการไล่ความชื้นกระทำได้ 2 วิธีคือ

1.1 การให้ความร้อนโดยตรง โดยการจุดไม้พ่นบางส่วนในเตาเพื่อทำให้ไม้บางส่วนที่จะทำถ่านลุกไหม้ และเกิดความร้อนเพียงพอที่จะไล่ความชื้นออกจากไม้ในส่วนที่เหลือ วิธีนี้ประสิทธิภาพต่ำและหากควบคุมอากาศไม่ดีจะทำให้เกิดเชื้อเถ้ามาก เป็นเหตุให้ผลผลิต (yield) ต่ำ

1.2 การให้ความร้อนทางอ้อม โดยการจุดเชื้อเพลิงหน้าเตา และนำเพียงลมร้อนเข้าไปไล่ความชื้นออกจากไม้ในเตา หากไม้ในเตามีความชื้นมากก็จะต้องใช้เชื้อเพลิงและเวลามากขึ้นด้วย

ดังนั้นควรต้องผึ่งไม้สด ซึ่งมีความชื้น (น้ำ) ประมาณร้อยละ 50 - 60 ให้เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 20 - 30 เสียก่อน เพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงและเวลา

2. การเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่าน (carbonization) ขั้นตอนนี้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 270-400 °C โดยการเปลี่ยนจากไม้เป็นถ่านนี้ คว้นที่ออกมาจะประกอบด้วยสารต่างๆ ที่เกิดใหม่มากมายหลายชนิดจากการสลายตัวของไม้ด้วยความร้อน (pyrolysis) และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงคือ

2.1 ช่วงที่ 1 อุณหภูมิ 270-300 °C ช่วงนี้ไม้ในเตาสะสมความร้อนไว้มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) โดยไม่ต้องเติมพืนหน้าเตาอีก ไม้พืนจะถูกไหม้และสลายตัวด้วยความร้อนที่สะสมไว้ในตัวเอง เซลลูโลส (cellulose) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 275 °C และจะสลายไปอย่างรวดเร็ว คว้นที่ออกมาจากปล่องจะเป็นสีขาวอมเหลือง มีกลิ่นฉุนจัด ผู้ผลิตถ่านในประเทศไทยจะเรียกคว้นนี้ว่า คว้นบ้ำ หลังจากคว้นบ้ำมีปริมาณน้อยลงและเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเทาแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมอุณหภูมิไว้ให้คงที่ตลอดเป็นเวลานานพอสมควร เพื่อให้ขั้นตอนนี้เป็นไปอย่างช้าๆและสม่ำเสมอ ความร้อนจากไม้ด้านบนหน้าเตาจะค่อยๆ ถ่ายความร้อนไปยังจุดต่างๆ ทั่วทั้งเตาอย่างช้าๆ หากปล่อยให้อุณหภูมิขึ้นสูงเร็วเกินไป จะทำให้ไม้ที่สะสมความร้อนไว้มากกว่ากลายเป็นเถ้า ก่อนที่จะถ่ายความร้อน ไปยังไม้ที่สะสมความร้อนไว้น้อยกว่า และอาจมีเปลวไฟแลบออกทางหน้าเตาได้ หากเกิดกรณีดังกล่าว ไม้ส่วนบนของเตาจะกลายเป็นขี้เถ้าและไม้ส่วนล่างของเตาจะกลายเป็นสันถ่าน ทำให้ผลผลิต (yield) ต่ำ การควบคุมอุณหภูมิสามารถทำได้โดยการควบคุมอากาศที่หน้าเตา ควบคู่กับการใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (thermometer)

2.2 ช่วงที่ 2 อุณหภูมิ 300-400 °C ช่วงนี้เซลลูโลส (cellulose) ยังสลายตัวอย่างต่อเนื่อง และลิกนิน (lignin) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 310 °C การสลายตัวทั้งหมดจะเสร็จสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 400 °C

3. การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ (refinement) ถึงแม้ว่าขั้นตอนการเปลี่ยนไม้เป็นถ่าน จะเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้วที่อุณหภูมิ 400 °C แต่ยังมีปริมาณคาร์บอนเสถียร (fixed carbon) ต่ำ และยังคงมีน้ำมันดิน (tar) เป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูงมาก หากนำไปใช้ประโยชน์จะได้ถ่านคุณภาพต่ำ และถ่านนำไปประกอบอาหารปิ้ง-ย่าง น้ำมันดินที่ยังคงค้างอยู่ในถ่านเมื่อถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 425

$^{\circ}\text{C}$ (โดยปกติเตาหุงต้มจะมีอุณหภูมิประมาณ $500-600^{\circ}\text{C}$) จะเกิดเป็นสารประกอบใหม่ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ 3,4-benzopyrene และ 1,2,5,6-dibenzanthracene ดังนั้นจึงต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นโดยการปรับให้อากาศไหลเข้ามากขึ้น อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 400°C เป็น 500°C แต่เนื่องจากอุณหภูมิด้านบนของเตาจะสูงกว่าอุณหภูมิที่พื้นเตาโดยใช้เวลานานพอสมควร ดังนั้นหากเร่งให้อากาศเข้าเร็วเกินไปเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ กว่าอุณหภูมิที่พื้นเตาสูงถึง 500°C เพื่อให้ไอน้ำมันดินออกไปจากถ่าน อุณหภูมิด้านบนของเตาที่สูงถึง 700°C ในเวลาที่เร็วเกินไปจะทำให้ไม้ด้านบนกลายเป็นเถ้าเสียก่อน ดังนั้นจึงควรควบคุมอุณหภูมิด้วยความระมัดระวัง ในทางปฏิบัติเมื่ออุณหภูมิด้านบนของเตาสูงถึง 700°C อาจสังเกตได้จากสีของควันที่เริ่มใส ผู้ควบคุมการผลิตถ่านจะปิดช่องอากาศเข้า แล้วรอให้ความร้อนถ่ายเทจากด้านบนของเตาลงมาที่พื้นเตา อุณหภูมิในเตาจะใกล้เคียงกันทุกจุดประมาณ 500°C ซึ่งในขณะนั้นจะไม่มีควันเหลืออยู่อีกแล้ว จึงปิดปล่องควัน

ขั้นตอนการทำให้ถ่านบริสุทธิ์นี้ ควันที่ออกมาจะมีสารก่อมะเร็งปนออกมาด้วยเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 425°C ดังนั้นจึงไม่ควรเก็บควันในช่วงนี้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ควรนำไปบำบัดก่อนทิ้งหรือนำไปเป็นเชื้อเพลิงเท่านั้น

4. การทำให้เย็น (cooling) หลังจากปิดปล่องเตาทุกปล่องแล้ว ต้องปล่อยให้ไอน้ำให้เตาเย็นจึงจะนำถ่านไม้มาใช้ประโยชน์ได้ ก่อนจะเปิดเตาต้องให้อุณหภูมิในเตาดำกว่า 50°C เพราะถ่านไม้ อุณหภูมิ $60-70^{\circ}\text{C}$ สามารถลุกติดไฟเองได้ (spontaneous combustion) ถ้าได้รับออกซิเจนจากอากาศ ดังนั้นการเปิดเตาต้องเริ่มเปิดที่ปล่องควันก่อนเพื่อระบายความร้อนและแก๊สที่ยังคงค้างอยู่ในเตาให้หมด หลังจากนั้นจึงเปิดหน้าเตา

การเก็บน้ำส้มไม้

น้ำส้มไม้เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่าน ซึ่งเก็บได้ด้วยวิธีทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำในควันร้อนที่ระเหยออกมาจากไม้ ขณะที่กำลังทำการเผาถ่าน องค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำส้มไม้คือ กรดอะซิติก น้ำส้มไม้ถูกนำไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ใช้ป้องกันและกำจัดแมลงและโรคในผัก ใช้เป็นสบู่น้ำยาซักล้างทำความสะอาด ผสมในอาหารเพราะมีสารต้านอนุมูลอิสระ ใช้ในการรักษาโรค ประเทศที่มีการผลิตน้ำส้มไม้อยู่ในขณะนี้ คือ จีน ญี่ปุ่น อินโดนีเซีย บราซิล และประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และอเมริกาใต้

โดยหลักการคือ ทำป้ดองค้กวันร้อนจากเตาเผาถ่าน และทำให้เย็นตัวลงจนกลั่นตัวเป็นของเหลว เก็บรวบรวมไว้ในภาชนะ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บน้ำส้มไม้้นั้น สังเกตได้จากสีของควันไฟที่มีสีขาวปนเหลืองอ่อน ผู้ผลิตถ่านเรียกว่า ควันบ้ำ การเก็บน้ำส้มไม้้ควรเริ่มกระทำเมื่ออุณหภูมิปล้ดองควันเตาถ่าน โดยเฉพาะเตาที่สร้างด้วยดิน มีอุณหภูมิ 80 - 84 องศาเซลเซียส และหยุดเก็บเมื่ออุณหภูมิสูง 110-120 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 สมบัติของน้ำส้มไม้้ที่มีคุณภาพดี

รายการ	น้ำส้มไม้้	น้ำส้มไม้้กลั่น
ค่า pH	1.5 – 3.7	1.5 – 3.7
ค่าความถ่วงจำเพาะ	> 1.005	> 1.001
สี	เหลือง น้ำตาลแดงจาง หรือน้ำตาลแดง	ไม่มีสี เหลืองจาง หรือ น้ำตาลแดงจาง
ความใส	ใส	ใส
สารแขวนลอย	ไม่มี	ไม่มี

ที่มา : สมาคมน้ำส้มไม้้แห่งประเทศไทย (2544)

การทำให้น้ำส้มไม้้บริสุทธิ์

น้ำส้มไม้้ที่ดีควรมีลักษณะ ใส ไม่ขุ่น มีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาล หรือสีแดงอมน้ำตาล หรือสีที่มีลักษณะคล้ายชาดำ เบียร์หรือไวน์ น้ำส้มไม้้ที่มีลักษณะขุ่น มีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่ แสดงว่ามีคุณภาพต่ำ ไม่เหมาะต่อการนำไปใช้ จึงมีวิธีการทำให้น้ำส้มไม้้บริสุทธิ์ขึ้นคือ

1. การตกตะกอน น้ำส้มไม้้ที่เก็บมาได้้นั้น จะเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในน้ำส้มไม้้ตลอดเวลา ดังนั้นควรพักทิ้งไว้ 3-6 เดือน จนกระทั่งองค์ประกอบทั้งหมดตกตะกอน หากรีบนำมาใช้ประโยชน์เร็วเกินไป จะได้น้ำส้มไม้้คุณภาพต่ำ ซึ่งอาจก่อผลเสียในภายหลังได้

2. การกรอง หลังจากตกตะกอนแล้วนำน้ำส้มไม้้กรองผ่านผ้า หรือสำลีเพื่อกรองเศษตะกอนที่อาจมีอยู่ออก เมื่อผ่านการกรองแล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

3. การกลั่น ใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง เช่น อาหาร เครื่องสำอาง เป็นต้น

การใช้ประโยชน์และสมบัติของถ่าน

ถ่านไม้คือผลผลิตที่ได้หลังจากไม้ถูกสลายตัวด้วยความร้อน และมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติเฉพาะตัวของไม้แต่ละชนิดและกระบวนการผลิตถ่าน ถ่านไม้สามารถจำแนกชนิดออกได้ตามวิธีการผลิต ชนิดของวัตถุดิบและการใช้ประโยชน์ดังนี้
จำแนกตามวิธีการผลิตได้ 2 ชนิดคือ

1. ถ่านขาวหรือถ่านแข็ง (white or hard charcoal) ผลิตโดยใช้ความร้อนที่ประมาณ 1,000-1,100 °C แล้วนำถ่านที่กำลังลุกไหม้อยู่ออกมาดับบนนอกเตา โดยใช้ขี้เถ้าผสมดินและน้ำประมาณร้อยละ 10-20 ขี้เถ้าดังกล่าวจะติดแน่นอยู่ที่ผิวถ่านเป็นสีขาวปนเทา จึงเรียกว่า ถ่านขาว มีคุณสมบัติแข็งกว่าถ่านดำ เนื้อถ่านสุกเท่ากันและมีปริมาณถ่านคงตัว (fixed carbon) เท่ากันทั้งแท่งจุดติดไฟยากแต่ลุกไหม้ได้นาน มีการผลิตถ่านขาวอยู่เพียง 3 ประเทศ คือ จีน เกาหลี และญี่ปุ่นและมีการใช้ประโยชน์พิเศษเฉพาะตัว (unique utilization) แตกต่างจากที่อื่นทั่วโลก

2. ถ่านดำหรือถ่านอ่อน (black or soft charcoal) ผลิตโดยใช้ความร้อนที่ประมาณ 400 -700 °C แล้วปิดเตาไม่ให้อากาศเข้า ปล่อยให้ถ่านไหม้ในเตาจนกว่าจะเย็นเอง ถ่านที่ได้จะมีสีดำ จึงเรียกว่า ถ่านดำ มีความแข็งน้อยกว่าถ่านขาว และถ้าไม่เปลี่ยนเป็นถ่านอย่างรวดเร็ว (rapid carbonization) จะได้ถ่านดำที่มีความแข็งน้อยกว่าถ่านดำที่ได้จากการให้ไม้เปลี่ยนเป็นถ่านช้าๆ (slow carbonization) ถ่านดำจะสุกไม่เท่ากันทั้งแท่ง ปริมาณถ่านคงตัวของถ่านที่ได้รับความร้อนสูงกว่าจะมีมากกว่าถ่านที่ได้รับความร้อนต่ำกว่า

ถ่านส่วนบนเตา	มีปริมาณถ่านคงตัว	ร้อยละ 85
ถ่านส่วนกลางเตา	มีปริมาณถ่านคงตัว	ร้อยละ 80
ถ่านส่วนพื้นเตา	มีปริมาณถ่านคงตัว	ร้อยละ 75-78

ถ่านดำเป็นวัตถุดิบที่สำคัญสำหรับผลิตถ่านกัมมันต์ (activated carbon) โดยนำถ่านดำไปกระตุ้นด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 1,100 -1,200 °C และสามารถนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย

ตารางที่ 2 ถ่านขาวและถ่านดำจากไม้ชนิดเดียวกันมีคุณสมบัติแตกต่างกัน

	ปริมาณถ่านคงตัว (ร้อยละ)	สารระเหย (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	ความแข็ง	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)
ถ่านดำ	68.6	24.5	0.9	ระดับ 8	6,983
ถ่านขาว	77.6	9.8	2.4	ระดับ 10	7,023

ที่มา : สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม (2547)

ตารางที่ 3 เมื่อไม้สลายตัวด้วยความร้อนเปลี่ยนเป็นถ่าน จะมีสมบัติเปลี่ยนไปจากไม้

สมบัติ	ไม้พื้สด	ถ่านไม้
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	1	0.25
ปริมาตร (ลบ.ม.)	1	0.5
ปริมาณความร้อน (ร้อยละ)	100	50
ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	3,600	7,400
ความสูญเสียขณะเก็บ	สูญเสียจากเชื้อราและแมลง	ไม่มีการสูญเสีย
ระยะเวลาเผาไหม้	สูงมาก	ต่ำมาก
ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	15-20%	25-30%

ที่มา : สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม (2547)

จะเห็นได้ว่าการใช้ถ่านไม้สะดวกและประหยัดกว่า ไม้พื้สดมาก เมื่อรวมค่าขนส่ง ค่าเก็บรักษาและประสิทธิภาพการใช้งาน

ถ่านไม้ที่ดีควรมีสมบัติดังนี้

ปริมาณถ่านคงตัว (fixed carbon)	ไม่น้อยกว่า	ร้อยละ 75
สารระเหย (volatile)	ไม่เกิน	ร้อยละ 25
เถ้า (ash)	ไม่เกิน	ร้อยละ 4

ถ่านป่น (fine)	ไม่เกิน	ร้อยละ 10
ความชื้น (moisture)	ไม่เกิน	ร้อยละ 10
ค่าความร้อน (heating value)	ไม่น้อยกว่า 7,000 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม	
ค่าความแข็ง (hardness)	ไม่น้อยกว่าระดับ 5	
ความพรุน (porosity) สูง	มีพื้นที่ผิวไม่น้อยกว่า 200 ตารางเมตร/กรัม	
ความต้านทานไฟฟ้าต่ำ		
มีความเป็นด่างสูง	ค่า pH ประมาณ 8-9	

ถ่านไม้เมื่อนำออกจากเตาใหม่ ๆ มีความชื้นต่ำมาก (อาจต่ำกว่าร้อยละ 1) แต่เมื่อสัมผัสกับอากาศนอกเตา ถ่านไม้จะดูดซับความชื้นจากอากาศเข้าไปในตัวถ่าน อาจทำให้ความชื้นในถ่านไม้เพิ่มสูงถึงร้อยละ 10 ขึ้นอยู่กับความชื้นในอากาศในขณะนั้น หากผลิตถ่านไม้ด้วยเตาหลุมหรือเตาดินกลบและใช้น้ำดับถ่าน ถ่านไม้ที่ได้จะมีความชื้นสูงมากและไม่เป็นที่ต้องการของผู้ซื้อ เนื่องจากติดไฟยาก มีควันมาก และมีค่าความร้อนต่ำ เนื่องจากต้องสูญเสียความร้อนไปใช้ในการระเหยน้ำจากถ่านด้วย

ถ่านไม้ที่ปริมาณถ่านคงตัวสูง จะมีความแข็งสูง แต่จะแตกหักหรือเป็นถ่านป่นได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าต้องขนส่งหลายครั้ง

ตารางที่ 4 ถ่านไม้ชนิดเดียวกันที่ผลิตด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะมีสมบัติที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต (°C)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	ผลผลิต (ร้อยละ)	ปริมาณถ่านคงตัว (ร้อยละ)
105	4,630	100	48.86
300	5,390	66.5	55.79
400	6,650	34.0	71.81
500	7,510	29.5	80.66
600	8,010	27.7	89.12
700	7,890	25.8	92.06
800	7,770	25.6	93.51
900	7,600	25.1	94.39

ตารางที่ 4 ถ่านไม้ชนิดเดียวกันที่ผลิตด้วยอุณหภูมิที่ต่างกันจะมีสมบัติที่ต่างกัน (ต่อ)

อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต (°C)	ค่าความร้อน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	ผลผลิต (ร้อยละ)	ปริมาณถ่านคงตัว (ร้อยละ)
1,000	7,640	25.1	94.77
1,100	7,630	24.7	96.18

ที่มา : สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม (2547)

นอกจากนี้ถ่านไม้ที่ได้จากเนื้อไม้และเปลือกไม้ยังมีสมบัติแตกต่างกันด้วยเช่นกัน ดังตัวอย่างของถ่านไม้ยูคาลิปตัสคามาเลนซิส

ตารางที่ 5 สมบัติถ่านไม้ที่ได้จากเนื้อไม้และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสคามาเลนซิส

	ถ่าน	Si	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Zn	Cl
	(%)	(%)	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)
เปลือกไม้	9.65	1.768	385	32,150	2,765	4,185	1,060	130	70	415	15	2,455
เนื้อไม้	0.356	0.004	169	910	320	1,911	336	28	56	90	9	910

ที่มา : พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ (2546)

ชนิดของไม้มีผลต่อสมบัติของถ่าน เมื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่าง ได้แก่ ความหนาแน่น ปริมาณถ่านคงตัว ปริมาณสารระเหย ถ่าน และค่าความร้อน

ตารางที่ 6 ถ่านไม้แต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกันไป

ชนิดไม้	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ปริมาณถ่านคงตัว (%)	ปริมาณสารระเหย (%)	เถ้า (%)	ค่าความร้อน (Kcal/Kg)
<i>Acacia catechu</i>	0.48	75.2	20.8	4.0	7,240
<i>Acacia auriculiformis</i>	0.41	71.1	24.0	4.9	7,240
<i>Casuarina equisetifolia</i>	0.70	83.3	13.8	2.9	7,890
<i>Casuarina junghuniana</i>	0.45	77.8	18.9	3.3	7,590
<i>Combretum quadrangulare</i>	0.40	79.9	16.2	3.9	6,900
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0.42	79.8	16.7	3.5	7,350
<i>Leuceana leucocephala</i>	0.44	78.3	18.9	2.7	7,430
<i>Melia azedarach</i>	0.34	78.2	24.1	2.8	7,430
<i>Peltopherum dasyrachis</i>	0.33	75.8	20.5	3.7	7,030
<i>Rhizophora apiculata</i>	0.49	79.9	17.2	2.9	7,500
<i>Spondias pinnata</i>	0.30	73.8	21.6	4.6	7,190

ที่มา : พุดินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ (2546)

การใช้ประโยชน์จากถ่านดำ (black charcoal)

ถ่านดำ คือถ่านที่ได้จากกระบวนการผลิตถ่านไม้เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม หรือปิ้งย่างอาหาร สามารถหาซื้อได้ตามร้านค้าทั่วไป การใช้ประโยชน์จากถ่านดำนั้น สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

1. อุตสาหกรรมเคมี เพื่อเป็นวัตถุดิบผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น คาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbon disulphide) โซเดียมไซยาไนด์ (sodium cyanide) เมทัลลิก คาร์ไบด์ (metallic carbide) ซิลิคอนคาร์

ไบค์ (silicon carbide) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ฯลฯ ถ่านไม้ที่ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทนี้ ต้องมีคาร์บอนเสถียรสูงกว่าร้อยละ 82 สารระเหยง่ายน้อยกว่าร้อยละ 10

1.1 ใช้ในระบบกรองของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ถ่านไม้ที่ใช้ในการกรองนี้ต้องเป็น ถ่านกัมมันต์เท่านั้น เพราะถ่านกัมมันต์มีรูพรุนและพื้นที่ผิวมากกว่าถ่านไม้ธรรมดา ซึ่งมีพื้นที่ผิว ประมาณ 200–400 ม.²/กรัม แต่ถ่านกัมมันต์บางชนิดอาจมีพื้นที่ผิวสูงถึง 1,000 ม.²/กรัม

1.2 ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยา กันกรองบุหรี่

1.3 ใช้ผลิตชิ้นส่วนของแบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย ส่วนผสมของยางรถยนต์ และผสมใน กระดาษที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ของผักและผลไม้

1.4 ใช้เป็นตั้งเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการเคมี

1.5 บรรจุในหอกลิ้นแบบลำดับส่วนในอุตสาหกรรมเคมี

2. อุตสาหกรรมโลหะ เพื่อเป็นตัวลดสนิมของโลหะ กำจัดสิ่งเจือปนในโลหะ เพิ่มปริมาณ คาร์บอนเพื่อผลิตโลหะหล่อ เคลือบผิวแบบหล่อ โลหะ ถ่านไม้ที่ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทนี้ ต้องการความแข็งของถ่านสูง จึงยอมให้มีคาร์บอนเสถียรได้เพียงร้อยละ 75-80 ปริมาณสารระเหย สูงได้ถึงร้อยละ 20-25

3. อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมและนำเถ้าที่ได้ไปเป็นส่วนผสม ของปูนซีเมนต์เพื่อให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าลง และเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีตด้วย

4. ใช้ผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (producer gas) เพื่อเป็นต้นกำเนิดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม จะได้แก๊สที่สะอาดมีน้ำมันดินน้อย

5. อุตสาหกรรมผลิตฉนวน เช่น ฉนวนป้องกันความร้อน รั้งสี กลิ่นไฟฟ้า และเสียง

การใช้ประโยชน์ในครัวเรือน

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหารและสร้างความอบอุ่นในฤดูหนาว
2. ใช้ประกอบอาหาร ปิ้ง-ย่าง แต่จะเลือกเฉพาะถ่าน ไม้ที่ผลิตด้วยอุณหภูมิสูงเท่านั้น
3. ใช้ดูดกลิ่นและความชื้นในบ้าน เช่น ในห้องนั่งเล่น ห้องรับแขก ห้องครัว ตู้กับข้าว ตู้เย็น ลิ้นชักเก็บของ ตู้รองเท้า เป็นต้น โดยถ่านไม้จะดูดซับกลิ่นต่างๆที่เกิดขึ้นไว้ในรูพรุนของถ่าน หากหมดประสิทธิภาพการดูดซับแล้ว สามารถนำมาล้างผึ่งแดดให้แห้งแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ได้
4. ใช้ทำเครื่องประดับบ้านเพื่อความสวยงามและประโยชน์ในการดูดซับกลิ่นและความชื้น
5. สำหรับห้องปรับอากาศ เช่น ที่ทำงานและรถยนต์ โดยเฉพาะที่ที่มีผู้สูบบุหรี่ รับประทานอาหารหรือขนม มักมีกลิ่นรุนแรง และอาจมีเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์อาศัยอยู่ด้วย ควร

นำถ่าน ไม้ไปวางตัดไว้ที่ช่องคู่อากาศกลับของเครื่องปรับอากาศ ถ่าน ไม้จะดูดซับกลิ่น รวมทั้ง จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ที่อาศัยอยู่ในถ่าน ไม้จะช่วยกำจัดจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้อีกด้วย

สำหรับห้องนอนควรมีการดูดซับความชื้นในที่นอนโดยการนำผ่านวมที่บรรจุถ่าน ไม้แทน ฝ้ายมารองใต้ที่นอนเพื่อทำให้ไรฝุ่น ไม่สามารถอาศัยได้

6. ใส่ถ่านลงในภาชนะเก็บข้าวสารจะดูดความชื้นจากข้าวและป้องกันการทำลายจากมอด ข้าว

7. ใช้บำบัดน้ำเสียจากครัวเรือน โดยการนำถ่าน ไม้ใส่กระสอบตาข่ายมารองรับน้ำเสียก่อน ปล่อยสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ

8. ใช้บำบัดสิ่งปฏิกูลจากน้ำเสีย โดยนำถ่าน ไม้ใส่ในบ่อเกรอะ

การใช้ประโยชน์ของถ่าน ไม้ในการเกษตร

1. ใช้เป็นสารปรับปรุงดินเนื่องจากถ่าน ไม้มีรพูนมากเมื่อใส่ถ่าน ไม้ลงในดินจะทำให้ดิน ร่วนซุย อุ้มน้ำและอากาศได้มากขึ้น ทำให้รากพืชขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทั้งยังดูดซับปุ๋ยใน โตรเจน ไม้ให้ระเหยสู่อากาศในรูปแก๊ซแอม โมเนียทำให้ประหยัดปุ๋ยรวมทั้งแร่ธาตุต่างๆที่มีอยู่ในถ่าน ไม้จะ เป็นแหล่งจุลธาตุ (trace element) สำหรับพืชได้เป็นอย่างดี ถ่าน ไม้สามารถช่วยปรับปรุงดินที่เสื่อม โทรมเนื่องจากการทำการเกษตรที่ไม่ถูกวิธี เช่น การปลูกพืชเชิงเดี่ยวเป็นระยะเวลาานทำให้เป็น แหล่งสะสมโรคและแมลงรวมทั้งสารเคมีที่ตกค้างเป็นผลให้ดินเป็นกรดจัดส่งผลให้ประสิทธิภาพ ของปุ๋ยที่ใส่ลดลง ถ่าน ไม้จะช่วยปรับสภาพความเป็นกรดให้ลดน้อยลงเนื่องจากถ่าน ไม้มีฤทธิ์เป็น ด่างช่วยเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับดินซึ่งพืชสามารถใช้ปรุงอาหารจากการสังเคราะห์แสงได้ดี ขึ้น

ดังนั้นถ่าน ไม้แม้จะไม่ใช่อปุ๋ยหรือสารเคมีทางการเกษตรแต่ถ่าน ไม้สามารถสร้างสภาวะ แวดล้อมที่เหมาะสมให้กับพืช เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย ลดโรคและแมลง ประเทศญี่ปุ่นจึงได้ รับรองอย่างเป็นทางการให้ถ่าน ไม้เป็นวัสดุปรับปรุงดินตั้งแต่ปี 1986 ตามกฤษฎีกาเลขที่ 534 ปัจจุบันในประเทศญี่ปุ่นใช้ถ่าน ไม้เพื่อการเกษตรมากกว่าปีละ 50,000 ตัน

2. ช่วยรักษาผลผลิตไว้ให้สดนานขึ้น เนื่องจากผักและผลไม้จะผลิตแก๊ซเอทิลีน (ethylene) เพื่อเร่งให้เกิดการสุก หากต้องการถนอมไม่ให้ผักผลไม้สุกเร็วเพื่อรักษาความสดให้ได้นานขึ้น สามารถทำได้โดยใส่ผงถ่าน ไม้ลงในกล่องบรรจุเพื่อดูดซับแก๊ซเอทิลีนไม่ให้ออกฤทธิ์โดยผักและ ผลไม้จะคงความสดได้นานถึง 17 วัน โดยไม่เกิดความเสียหาย ปัจจุบันได้มีการนำผงถ่าน ไม้กัมมันต์ ผสมลงในกระดาษที่ใช้ทำกล่องบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะเพื่อบรรจุผักและผลไม้

การใช้ประโยชน์ของถ่านไม้ในการปศุสัตว์

1. ใช้รองพื้นคอกปศุสัตว์ โดยปกติเกษตรกรมักจะใช้แกลบรองพื้นคอกปศุสัตว์เนื่องจากแกลบสามารถหาได้ง่ายและราคาถูก ทั้งยังย่อยสลายยากเนื่องจากมีปริมาณซิลิกาสูงจึงใช้ได้หลายครั้งแต่แกลบยังเป็นอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้และมักย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศจึงทำให้เกิดความร้อน แก๊สแอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และมีเทน ซึ่งจะทำให้สัตว์เกิดความเครียดและส่งผลกระทบต่อสุขภาพและผลผลิตในที่สุด หากเกษตรกรเปลี่ยนวัสดุรองพื้นคอกเป็นถ่านซึ่งสามารถดูดซับกลิ่นและความชื้นได้ดีกว่าและไม่ย่อยสลายจึงไม่เกิดความร้อนและแก๊สต่างๆ และจะได้ผลดียิ่งขึ้นหากใช้ร่วมกับน้ำส้มไม้

2. ใช้ผสมอาหารสัตว์ หากนำผงถ่านผสมในอาหารสัตว์เพียงร้อยละ 1 ถ่านจะช่วยดูดซับแก๊สในกระเพาะและลำไส้ ทำให้สัตว์ไม่มีอาการท้องอืดโดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว ควาย ในต้นฤดูฝนมักจะเกิดอาการท้องอืด (bloat) เนื่องจากกินหญ้าที่มีปริมาณน้ำสูงมากเกินไปและถ่านยังช่วยในการย่อยอาหารให้ดีขึ้นอีกด้วยและจะได้ผลดียิ่งขึ้นหากใช้ร่วมกับน้ำส้มไม้ (พุดินันท์, 2546)

ไม้ยูคาลิปตัส

ยูคาลิปตัสเป็นไม้ต่างประเทศ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปออสเตรเลียเป็นส่วนใหญ่ ประเทศไทยได้เริ่มนำยูคาลิปตัสชนิดต่างๆ มาทดลองปลูกประมาณปี พ.ศ. 2493 แต่ได้มีการทดลองกันจริงจัง เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2507 จากการศึกษาปรากฏว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis*) สามารถตั้งตัวได้ดีในทุกสภาพอากาศ เจริญเติบโตได้ในทุกสภาพของดิน และมีอัตราการเจริญเติบโตสูง จึงได้รับนิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิสแล้วในปัจจุบันยังได้มีการนำไม้ยูคาลิปตัสพันธุ์อื่นๆ เข้ามาปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ไม้ยูคาลิปตัส ยูโรฟีลลา (*Eucalyptus urophylla*) ยูคาลิปตัส ดิกลูปต้า (*Eucalyptus deglupta*) และยูคาลิปตัส เทเรติกอนิส (*Eucalyptus tereticornis*) รวมทั้งภาครัฐและเอกชนยังได้ดำเนินการผลิตลูกผสมไม้ยูคาลิปตัสสายพันธุ์ต่างๆ ขึ้นมามากมายเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงการค้าซึ่งลูกผสมที่ได้จะมีลักษณะและคุณสมบัติตามแต่ผู้ผลิตต้องการ (นิคม และคณะ, 2550)

ประโยชน์และข้อดีของการปลูกไม้ยูคาลิปตัส

1. เป็นไม้โตเร็ว เมื่อปลูกและจัดการอย่างเหมาะสมแล้วสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ภายในระยะเวลาอันสั้น ประมาณ 3-5 ปี โดยการลงทุนค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับไม้โตเร็วชนิดอื่น
2. เป็นต้นไม้ที่ปลูกง่าย สามารถเจริญเติบโตได้ แม้ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ รวมถึงการมีจุลินทรีย์ที่รากฝอย ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารจากดินเพื่อการเจริญเติบโต
3. ยูคาลิปตัสมีประสิทธิภาพสูงในการใช้น้ำและธาตุอาหารสำหรับการเจริญเติบโต มีความสามารถในการผลิตเนื้อไม้โดยใช้ธาตุอาหารในปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับไม้โตเร็วชนิดอื่นๆ และน้อยกว่าพืชไร่ทั่วไป
4. ต้นยูคาลิปตัสช่วยปรับปรุงระบบนิเวศที่เสื่อมโทรมให้ดีขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ดินเลว รกร้างว่างเปล่าซึ่งไม่สามารถปลูกไม้ชนิดอื่นได้ โดยการปลูกเป็นไม้เบิกนำและปลูกต้นไม้ชนิดอื่นเสริมในภายหลัง เพื่อเพิ่มความหลากหลายของพันธุ์พืชได้
5. มีความสามารถในการแตกหน่อได้ดี จึงสามารถตัดฟันมาใช้ประโยชน์ได้หลายครั้งในการปลูกแต่ละครั้ง
6. เป็นต้นไม้ที่มีเนื้อแข็ง ลำต้นเปลาตรง กิ่งก้านน้อย ลำต้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางกว่าไม้โตเร็วชนิดอื่นๆ (กรมป่าไม้, 2548)

การประเมินผลผลิต และวิเคราะห์คุณภาพถ่าน

วิธีการประเมินผลผลิต และวิเคราะห์คุณภาพของถ่าน สามารถทดสอบได้ตามวิธีของมาตรฐาน ASTM เรื่อง Gaseous Fuels; Coal and Coke (ASTM, 2008) ซึ่งการวิเคราะห์ทดสอบดังนี้

1.1 การประเมินผลผลิต

$$\text{ร้อยละของผลผลิตถ่าน} = \frac{\text{น้ำหนักถ่าน}}{\text{น้ำหนักไม้อบแห้ง} - \text{น้ำหนักส่นถ่าน}} \times 100$$

1.2 การวิเคราะห์คุณภาพ คุณภาพของถ่านที่วิเคราะห์มีดังนี้

1.2.1 ความแน่น

เอาถ่านตัวอย่างที่สุ่มไว้เตาละ 6 ก้อน แต่ละก้อนนำมาตัดเป็นแว่นหนา 1”/1 ½” ก้อนละ 1 แว่น ซึ่งจะได้แว่นถ่านเตาละ 6 แว่น

วิธีการหาความหนาแน่นโดยการแทนที่น้ำ ไม่ต้องชูปาราฟิน เนื่องจากการทดลองเปรียบเทียบความแน่นระหว่างวิธีการชูปและไม่ชูปพาราฟิน ปรากฏว่าแตกต่างกันเพียงร้อยละ 2.35 ซึ่งถือว่าน้อยมาก

$$\text{สูตร} \quad \text{Density} = \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}}$$

1.2.2 การวิเคราะห์โดยประมาณของถ่าน (proximate analysis of charcoal)

ใช้ถ่านตัวอย่างที่เหลือจากการหาความแน่นของแต่ละเตาในการเผาแต่ละครั้ง โดยใช้เตาละ 20 g นำไปบดด้วย Laboratory mill จะได้ผงถ่านตัวอย่าง ตัวอย่างละประมาณ 60 g จำนวน 9 ตัวอย่าง

วิธีการหาปริมาณสารระเหย (volatile matter) ปริมาณคาร์บอนเสถียร (fixed carbon) และปริมาณขี้เถ้า (ash content) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM 1762-64 สรุปได้ดังนี้

1. หาน้ำหนักคงที่ของ Crucible ด้วยการอบใน Furnace ที่อุณหภูมิ 750±5 °C นาน 10 นาที ปล่อยให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักให้ได้เป็น 1/10 mg (A)

2. หาความชื้นถ่าน โดยชั่งน้ำหนักถ่านบดประมาณ 1 g ให้ได้เป็น 1/10 mg เข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105±2 °C นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนักของ crucible รวมกับถ่าน

$$\text{ความชื้นถ่าน} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำ}}{\text{น้ำหนักของถ่านอบแห้ง (B)}} \times 100$$

3. หาปริมาณสารระเหย โดยนำถ่านอบแห้งจาก 2) มาอบใน Furnace ที่ตั้งอุณหภูมิ 950±5 °C ไว้ โดยทำตามลำดับดังนี้

3.1 นำ Crucible ใส่ถ่านดังกล่าว ปิดฝาวางไว้หน้า Furnace (300°C) นาน 2 นาที

3.2 เลื่อนขึ้นไว้ที่ปาก Furnace (500 °C) นาน 3 นาที

3.3 เลื่อนเข้าสู่ด้านใน Furnace ปิดฝา Furnace ทิ้งไว้ 6 นาที นำ Crucible ออกข้างนอกประมาณ 10 นาที ทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก ให้ได้เป็น 1/10 mg (C)

4. หาปริมาณคาร์บอนเสถียรและจีเอ็ม โดยนำ Crucible บวกผงถ่าน ที่ผ่านข้อ 3) เปิดฝาเข้าอบใน Furnace ที่ตั้งอุณหภูมิ 750 ± 5 °C นาน 6 ชม. แล้วนำออกวางข้างนอกราว 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator บวกจีเอ็ม เป็น 1/10 mg (D)

สูตร

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของปริมาณสารระเหย} &= \frac{B - (C - A)}{B} \times 100 \\ \text{ร้อยละของปริมาณถ่านคงตัว} &= \frac{(C - D)}{B} \times 100 \\ \text{ร้อยละของปริมาณถ่าน} &= \frac{B - (C - A)}{B} \times 100 \end{aligned}$$

โดยที่ A: น้ำหนักของ Crucible อบอุ่นแห้ง, 1/10 mg (C)

B: น้ำหนักของถ่านอบแห้งประมาณ 1 กรัม (ไม่อบ), 1/10 mg (C)

C: น้ำหนัก Crucible รวมกับ น้ำหนักผงถ่านหลังอบหาสารระเหย, 1/10 mg (C)

D: น้ำหนัก Crucible รวมกับ น้ำหนักจีเอ็ม, 1/10 mg (C)

1.2.3 ค่าความร้อนของการสันดาปของถ่าน (heat of combustion)

ใช้ผงถ่านตัวอย่างที่เหลือจากข้อ 1.2.2 จำนวน 9 ตัวอย่าง

วิธีการ หาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 3286-77 สรุปได้ดังนี้

ก่อนทำการทดลองทุกครั้ง จะต้องทำ standardize ก่อน โดยใช้ Benzoic acid เป็น standard มีวิธีการทำดังนี้

1. ชั่งน้ำหนัก Crucible ให้ได้ 1/10 mg และ Benzoic acid เป็น 1.3 g พร้อมอัดให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องอัด นำใส่ใน Crucible แล้วชั่งน้ำหนัก ที่แน่นอนเป็น 1/10 mg

2. นำ Crucible ใส่ลงในช่องที่ฝา Bomb

3. ตัด free wire ยาว 10 cm ผูก โดยระวังอย่าให้ลวดแตะกับ Crucible หรือสัมผัสกันเอง ให้เฉพาะเม็ด Benzoic acid เท่านั้น

4. นำฝา Bomb ไปปิดเข้ากับตัวกระบอก Bomb ให้แน่นสนิท และปิดวาล์วบนฝา Bomb ด้วย แล้วนำไปอัดแก๊ซออกซิเจนประมาณ 20-25 atm

5. นำ Bomb ใส่ลงใน Calorimeter vassel ซึ่งบรรจุน้ำกลั่น 200 ml แล้วใส่ลงใน jacket พร้อมปิดฝา เปิด motor ให้ stirrer ทำงาน และต่อสายไฟของ ignition unit พร้อมกับเสียบเทอร์โมมิเตอร์

6. วัดอุณหภูมิจนกระทั่งคงที่ จึงทำการจุดระเบิดจากนั้นก็บันทึกอุณหภูมิทุกๆ 30 วินาทีให้ได้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่

7. นำ Bomb ออกจาก jacket เปิดฝาดู นำ fuse wire ที่เหลือจากการสันดาปมาวัดหาพลังงานที่ใช้

8. นำข้อมูลที่ได้ไปพล็อตกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เพื่อหาค่า ΔT

9. กรณีสารตัวอย่างก็ทำเช่นเดียวกัน จาก 1-8

$$\text{สูตร } Q = W \cdot \Delta T$$

โดยที่ Q: พลังงานความร้อน, cal/g

W: ค่าคงที่ (หาได้จากการทำ standardize โดยใช้ Benzoic acid ซึ่งมีค่าความร้อน 6318 cal/g และ fuse wire มีค่าความร้อน 2.3 cal/cm)

ΔT : ความแตกต่างของอุณหภูมิเมื่อเริ่มทดลองจนถึงสุดการทดลอง (หาได้จากการ plot graph ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา)

มาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์ มก. – ช.ก.ส.

ผลิตภัณฑ์ถ่านและน้ำส้มไม้ในปัจจุบันมีมาตรฐานในการทดสอบโดยความร่วมมือกันระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (มก.-ช.ก.ส.) โดยได้จัดการเผยแพร่ความรู้ เทคนิค ของการผลิตถ่านแก่เกษตรกรผู้เป็นสมาชิกของ ช.ก.ส. และมอบตรามาตรฐานผลิตภัณฑ์แก่เกษตรกรผู้ผลิตสินค้าที่ผ่านเกณฑ์ตามที่กำหนดไว้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก. – ช.ก.ส. ถ่านไม้หุงต้ม

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก. – ช.ก.ส. นี้ครอบคลุมเฉพาะถ่านที่ได้จากการเผาไม้ใช้สำหรับหุงต้มอาหาร

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์นี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ถ่านไม้หุงต้ม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำไม้มาผ่านกระบวนการเผาจนกลายเป็นถ่าน เพื่อนำมาใช้ในการหุงต้มอาหาร

2.2 ค่าความร้อน (calorific value) หมายถึง พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหนัก 1 กิโลกรัม มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

2.3 เถ้า (ash) หมายถึง ร้อยละปริมาณสารที่เหลือจากการเผาถ่านจนมีน้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสถึง 750 องศาเซลเซียส

2.4 สารระเหย (volatile matter) หมายถึง ร้อยละของปริมาณสารระเหยที่ได้จากการเผาถ่านที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 7 นาที

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องมีสีดำสม่ำเสมอ ไม่มีเศษดินและไม้ที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ปนอยู่

3.2 ความชื้น

ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

3.3 ค่าความร้อน

ต้องไม่น้อยกว่า 6,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

3.4 เถ้า

ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

3.5 สารระเหย

ต้องไม่เกินร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

3.6 การใช้งาน

เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น มีควันได้เล็กน้อย

4. การบรรจุ

4.1 ให้บรรจุถ่านไม้หุงต้มในภาชนะบรรจุที่สะอาด แข็ง และสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับถ่านไม้หุงต้มได้

4.2 น้ำหนักสุทธิของถ่านไม้หุงต้มในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

5. เครื่องหมายและฉลาก

5.1 ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุถ่านไม้หุงต้มทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- (1) ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น ถ่านไม้หุงต้ม ถ่านไม้สำหรับหุงต้ม
- (2) น้ำหนักสุทธิ
- (3) เดือน ปีที่ผลิต
- (4) ข้อเสนอแนะในการใช้และการเก็บรักษา
- (5) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนในกรณีใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

6.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ถ่านไม้หุงต้มที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

6.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

6.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการตรวจสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุ เครื่องหมาย และฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ข้อ 4. และข้อ 5. จึงถือว่าถ่านไม้หุงต้มรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความชื้น ค่าความร้อน เถ้า สารระเหย และการใช้งาน ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านมาทดสอบตามข้อ 6.2.1 แล้วจำนวน 3 หน่วยภาชนะที่บรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.2 ถึงข้อ 3.6 จึงจะถือว่าถ่านไม้หุงต้มรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างถ่านไม้หุงต้มต้องเป็นไปตามข้อ 6.2.1 และข้อ 6.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่า ถ่านไม้หุงต้มรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์นี้

7. การทดสอบ

- 7.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป ภาชนะที่บรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ตรวจพินิจ
- 7.2 การทดสอบความชื้น ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 3173
- 7.3 การทดสอบค่าความร้อน ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 5865
- 7.4 การทดสอบเถ้า ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 3174
- 7.5 การทดสอบสารระเหย ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 3175
- 7.6 การทดสอบการใช้งาน ทำให้ตัวอย่างถ่านไม้หุงต้มติดไฟด้วยแก๊สหุงต้ม แล้วตรวจพินิจ
- 7.7 การทดสอบน้ำหนักสุทธิ ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก. – ธ.ก.ส. ถ่านไม้ปิ้งย่าง

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก. – ธ.ก.ส. นี้ ครอบคลุมเฉพาะถ่านที่ได้จากการเผาไม้ ใช้สำหรับปิ้งและย่างอาหาร

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์นี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ถ่านไม้ปิ้งย่าง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำไม้มาผ่านกระบวนการเผาจนกลายเป็นถ่าน เพื่อนำมาใช้ในการปิ้งและย่างอาหาร

2.2 ค่าความร้อน (calorific value) หมายถึง พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหนัก 1 กิโลกรัม มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)

2.3 เถ้า (ash) หมายถึง ร้อยละปริมาณสารที่เหลือจากการเผาถ่านจนมีน้ำหนักคงที่ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสถึง 750 องศาเซลเซียส

2.4 สารระเหย (volatile matter) หมายถึง ร้อยละของปริมาณสารระเหยที่ได้จากการเผา ถ่านที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 7 นาที

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องมีสีดำสม่ำเสมอ ไม่มีเศษดินและไม้ที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ปนอยู่

3.2 ความชื้น

ต้องไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก

3.3 ค่าความร้อน

ต้องไม่น้อยกว่า 7,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

3.4 เถ้า

ต้องไม่เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

3.5 สารระเหย

ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

3.6 การใช้งาน

เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น มีควันได้เล็กน้อย

4. การบรรจุ

4.1 ให้บรรจุถ่านไม้ปิ้งย่าง ในภาชนะบรรจุที่สะอาด แห้ง และสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับถ่านไม้ปิ้งย่างได้

4.2 น้ำหนักสุทธิของถ่านไม้ปิ้งย่าง ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

5. เครื่องหมายและฉลาก

5.1 ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุถ่านไม้ปิ้งย่างทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- (1) ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น ถ่านไม้ปิ้งย่าง ถ่านไม้สำหรับปิ้งย่าง
- (2) น้ำหนักสุทธิ
- (3) เดือน ปีที่ผลิต
- (4) ข้อเสนอแนะในการใช้และการเก็บรักษา

(5) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

6.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง ถ่านไม้ปิ้งย่างที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

6.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

6.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการตรวจสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุ เครื่องหมาย และฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มจากรุ่นเดียวกัน

จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ข้อ 4. และข้อ 5. จึงถือว่าถ่านไม้หุงต้มรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความชื้น ค่าความร้อน เถ้า สารระเหย และการใช้งาน ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านมาทดสอบตามข้อ 6.2.1 แล้วจำนวน 3 หน่วยภาชนะที่บรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.2 ถึงข้อ 3.6 จึงจะถือว่าถ่านไม้ปิ้งย่างรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างถ่านไม้ปิ้งย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6.2.1 และข้อ 6.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าถ่านไม้ปิ้งย่างรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์นี้

7. การทดสอบ

7.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป ภาชนะที่บรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ตรวจพินิจ

7.2 การทดสอบความชื้น ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 3173

7.3 การทดสอบค่าความร้อน ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 5865

7.4 การทดสอบเถ้า ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 3174

7.5 การทดสอบสารระเหย

ให้ใช้วิธีทดสอบตาม ASTM D 3175

7.6 การทดสอบการใช้งาน

ทำให้ตัวอย่างถ่านไม้ปิ้งย่าง ติดไฟด้วยแก๊สหุงต้ม แล้วตรวจพินิจ

7.7 การทดสอบน้ำหนักสุทธิ

ให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก. - ธ.ก.ส. น้ำส้มควันไม้ดิบ

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก. — ธ.ก.ส. นี้ ครอบคลุมเฉพาะน้ำส้มควันไม้ดิบที่ใช้ในการเกษตร ปศุ-สัตว์ อุตสาหกรรมและครัวเรือน

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก. — ธ.ก.ส. มีดังต่อไปนี้

น้ำส้มควันไม้ดิบ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของเหลวใส สีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล ได้จากการควบแน่นของควันไฟที่เกิดจากการเผาถ่านในช่วงอุณหภูมิเผา 300 องศาเซลเซียส ถึง 400 องศาเซลเซียส โดยใช้อุปกรณ์ควบแน่นที่ทำจากสแตนเลสหรือไม้ เพื่อป้องกันการละลายของแคลเซียม เหล็ก หรือสังกะสี นำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์โดยตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนอย่างน้อย 90 วัน แล้วนำมากรอง นำไปใช้ประโยชน์ในการเกษตร ปศุ-สัตว์ อุตสาหกรรม และในครัวเรือน

3. คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องเป็นของเหลวใส สีน้ำตาลแดงหรือสีเหลืองอมน้ำตาล เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้น ไม่ตกตะกอน ไม่มีสิ่งแปลกปลอม และไม่มีสารแขวนลอย

3.2 กลิ่น

ต้องมีกลิ่นเหมือนควันไฟ

3.3 การเปลี่ยนสี

ต้องไม่เปลี่ยนเป็นสีดำ

3.4 ความเป็นกรด — ค่า

ต้องอยู่ระหว่าง 2.8 – 3.7

3.5 ความถ่วงจำเพาะ

ต้องไม่น้อยกว่า 1.005 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

3.6 การเจือจาง

เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด – ด่างและอัตราการเจือจางต้องไม่เป็นเส้นตรง

4. การบรรจุ

4.1 ให้บรรจุน้ำส้มควันไม้ดิบในภาชนะบรรจุที่สะอาดแห้ง ทึบแสง ปิดได้สนิท และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกภายนอกได้

4.2 น้ำหนักสุทธิของน้ำส้มควันไม้ดิบในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ในฉลาก

5. เครื่องหมายและฉลาก

5.1 ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุน้ำส้มควันไม้ดิบทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้อย่างชัดเจน

- (1) ชื่อผลิตภัณฑ์
- (2) น้ำหนักสุทธิ
- (3) เดือน ปีที่ผลิต
- (4) ข้อแนะนำในการใช้และการเก็บรักษา
- (5) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนในกรณีใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

6.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง น้ำส้มควันไม้ดิบที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

6.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

- 6.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการตรวจสอบลักษณะทั่วไป กลิ่น การบรรจุ เครื่องหมาย และฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.1 ข้อ 4 และข้อ 5 จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ความถ่วงจำเพาะ และการเจือจาง ให้ใช้ตัวอย่างที่ผ่านมาทดสอบตามข้อ 6.2.1 แล้วจำนวน 3 หน่วยภาชนะที่บรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.2 ถึงข้อ 3.6 จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการเปลี่ยนสี ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 หน่วยภาชนะบรรจุ เมื่อตรวจสอบแล้วทุกอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.3 จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

6.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ดิบต้องเป็นไปตามข้อ 6.2.1 ข้อ 6.2.2 และข้อ 6.2.3 ทุกข้อ จึงจะถือว่าน้ำส้มควันไม้ดิบรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์นี้

7. การทดสอบ

7.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป กลิ่น ภาชนะที่บรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพิจารณา

7.2 การทดสอบการเปลี่ยนสี

เปิดฝาตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ดิบที่ไม่เคยเปิดฝามาก่อน ตั้งทิ้งไว้ให้สัมผัสแสงแดดและอากาศไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วตรวจพินิจ

7.3 การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง

ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

7.4 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ

ให้ใช้เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ

7.5 การทดสอบการเจือจาง

ผสมตัวอย่างน้ำส้มควันไม้ดิบกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 100 1 : 200 1 : 300 1 : 400 และ 1 : 500 วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างแต่ละอัตราการเจือจาง เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างและอัตราการเจือจาง แล้วพิจารณาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น

7.6 การทดสอบปริมาตรสุทธิ

ให้ใช้เครื่องวัดปริมาตรที่เหมาะสม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เต้าผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ
2. ไม้ยูคาลิปตัสความลาดคูณซิส
3. เลื่อย
4. ถังเก็บน้ำส้มไม้ทึบแสงขนาด 30 ลิตร
5. สายยางสำหรับดูดน้ำส้มไม้
6. กระบอกตวง
7. บีกเกอร์
8. เครื่องวัดค่าความถ่วงจำเพาะ
9. เครื่องวัดค่า pH
10. เครื่องวัดอุณหภูมิ

สถานที่ทดลอง

ห้องหุ่นส่วนจำกัดเอ็มเคไบโอเมสแอนด์ชาร์โคลล์ ตำบลคอนกาม อำเภอขามเฒ่า จังหวัดศรีสะเกษ โดยใช้เต้าผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ขนาด 12 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 เต้า

ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายสิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยา และพลังงาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ

ระยะเวลา

1 ปี

วิธีการ

วิธีการศึกษาการผลิตถ่าน

นำไม้ยูคาลิปตัสความลาดชันที่มีอายุ 3-5 ปี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5-4 นิ้ว ตัดความยาวประมาณ 1.5 เมตร ผึ่งในกระแสดอากาศประมาณ 4 สัปดาห์ ตรวจสอบความชื้นของไม้ไม่ให้เกินร้อยละ 40 แล้วนำเข้าเรียงในเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ โดยเรียงไม้ในแนวตั้งซึ่งมีปริมาตรภายในของเตาประมาณ 12 ลูกบาศก์เมตร ทำการก่อกำแพงเป็นแนวกันระหว่างไม้กับห้องใส่ฟืน โดยมีระยะห่างจากหน้าเตาเล็กเข้าไปในเตา 0.5 เมตร สูง 0.5 เมตร เสร็จแล้วก่อปิดหน้าเตา โดยมีช่องว่าง 2 ช่องอยู่ด้านหน้าเพื่อเป็นช่องใส่ฟืน และเป็นช่องควบคุมอากาศไหลเข้า จากนั้นทำการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา โดยการจดบันทึกอุณหภูมิทุกๆ ชั่วโมง จนกว่าจะทำการปิดเตา
2. ศึกษาปริมาณฟืนหน้าเตาที่ใช้ในการให้ความร้อน ปริมาณสัณถ่าน ปริมาณเถ้า และปริมาณถ่านที่ได้จากการผลิตที่อุณหภูมิต่างกัน
3. ศึกษาสมบัติของถ่านโดยการเก็บตัวอย่างไปทำการวิเคราะห์ โดยเก็บตัวอย่างถ่านในหนึ่งเตาเป็นถ่านชั้นบนและถ่านชั้นล่าง ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณถ่านคงตัว ปริมาณเถ้า ค่าความร้อน และความหนาแน่น



ภาพที่ 1 การผึ่งไม้ในกระแสดอากาศ



ภาพที่ 2 การเรียงไม้เข้าเตา



ภาพที่ 3 การก่อกำแพงชั้นใน



ภาพที่ 4 การก่อกำแพงชั้นนอก



ภาพที่ 5 ตำแหน่งที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ

วิธีการวิเคราะห์

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) ฟังการทดลองมี 3 ทรีทเมนต์ (A, B, C) โดยใช้ 5 บล็อก (5 ซ้ำ)

A = อุณหภูมิการปิดเตาผลิตที่ 500 องศาเซลเซียส

B = อุณหภูมิการปิดเตาผลิตที่ 600 องศาเซลเซียส

C = อุณหภูมิการปิดเตาผลิตที่ 700 องศาเซลเซียส

นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และใช้การเปรียบเทียบโดยวิธีของดันแคน (Duncan's Multiple Range Test , DMRT)



ภาพที่ 6 เตาผลิตถ่านไทย-อิวาตะ ห้างหุ้นส่วนจำกัดเอ็มเคไบโอแมสแอนด์ชาร์โคล

วิธีการศึกษาการผลิตน้ำส้มไม้

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของเตากับอุณหภูมิของควันที่ใช้เก็บน้ำส้มไม้
2. ศึกษาปริมาณน้ำส้มไม้ที่สามารถเก็บไปใช้ประโยชน์ได้ โดยเก็บน้ำส้มไม้ที่อุณหภูมิควัน

80-150 องศาเซลเซียส

3. เก็บตัวอย่างน้ำส้มไม้ที่ได้จากการเผาถ่านใส่ไว้ในถังที่บ่มแสงขนาด 30 ลิตร ที่เงาไว้อย่างน้อยเป็นเวลา 3 เดือน
4. หลังจาก 3 เดือนที่ปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอน ใช้สายยางดูดน้ำส้มไม้มา 3 ตัวอย่าง ที่ระดับต่างกัน
5. นำตัวอย่างที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาสมบัติของน้ำส้มไม้



ภาพที่ 7 ปล่องเก็บน้ำส้มไม้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ

ผลและวิจารณ์

ผล

หลังจากตัดไม้ยูคาลิปตัสตามลาดชันขึ้นมาจากแปลงปลูกแล้ว นำไม้มาผึ่งไว้ในกระแสดอากาศ โดยใช้เวลาประมาณ 4 สัปดาห์ ได้ไม้ที่มีความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 40 จากนั้นจึงนำมาเรียงเข้าในเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ขนาด 12 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้ไม้รองพื้นเตา และเรียงไม้เข้าเตาในแนวตั้ง โดยหันส่วนโคนของไม้ขึ้นข้างบน จากการศึกษาพบว่า ปริมาณของไม้ที่นำเข้าเตาใช้ไม้โดยเฉลี่ย 5,607 กิโลกรัม ปริมาณของการใช้พื้นที่เตาโดยเฉลี่ย 514 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเผา รวม 107 ชั่วโมง/รอบ โดยแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 อุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 102 ชั่วโมง และช่วงที่ 2 อุณหภูมิตั้งแต่ 401 ถึงอุณหภูมิ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส ของอุณหภูมิที่ปิดเตาตามลำดับ ใช้เวลา 5 ชั่วโมง (ภาคผนวก ก)

ตารางที่ 7 ปริมาณไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้ในการผลิตถ่าน

อุณหภูมิ (°C)	Block 1 (kg)	Block 2 (kg)	Block 3 (kg)	Block 4 (kg)	Block 5 (kg)	ค่าเฉลี่ย (kg)
500	5,608	5,603	5,601	5,608	5,610	5,606
600	5,610	5,604	5,610	5,603	5,608	5,607
700	5,612	5,607	5,607	5,607	5,602	5,607

ตารางที่ 8 ปริมาณไม้พืนหน้าเตาที่ใช้ในการผลิตถ่าน

อุณหภูมิ (°C)	Block 1 (kg)	Block 2 (kg)	Block 3 (kg)	Block 4 (kg)	Block 5 (kg)	ค่าเฉลี่ย (kg)
500	510	505	522	515	521	515
600	507	527	497	503	520	511
700	540	504	508	498	532	516



ภาพที่ 8 ลักษณะของถ่านที่ผลิตภายในเตาผลิตถ่านไทย-อิวาตะ

หลังจากได้อุณหภูมิที่ต้องการ ทำการปิดเตาและรอให้เตาและถ่านเย็นตัวจนอุณหภูมิภายในเตาน้อยกว่า 40 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการลุกติดไฟของถ่านได้ โดยการเผา 1 รอบ ใช้เวลาเฉลี่ย 15 วัน จากการกระบวนการผลิตถ่านทำให้ได้ผลผลิต ได้แก่ ถ่านและน้ำส้มไม้ดิบ ซึ่งมีปริมาณดังนี้

ตารางที่ 9 ผลผลิตของถ่านที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	Block 1 (%)	Block 2 (%)	Block 3 (%)	Block 4 (%)	Block 5 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
500	23.90	22.53	24.46	25.90	24.98	24.35
600	22.50	23.61	24.69	25.32	24.39	24.10
700	22.25	22.87	24.17	24.15	25.33	23.75

ตารางที่ 10 ผลผลิตของน้ำส้มไม้ที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	Block 1 (%)	Block 2 (%)	Block 3 (%)	Block 4 (%)	Block 5 (%)	ค่าเฉลี่ย (%)
500	5.54	5.54	6.27	5.78	6.02	5.83
600	5.78	6.26	5.29	6.02	6.26	5.92
700	5.53	6.02	6.02	6.26	6.27	6.02

ในการเก็บน้ำส้มไม้ดิบนั้น ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บน้ำส้มไม้ นั้น สังเกตได้จากสีของควันไฟที่มีสีขาวปนเหลืองอ่อน ผู้ผลิตถ่านเรียกว่า ควันบ้ำ (สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, 2547) การเก็บน้ำส้มไม้จะเก็บเมื่ออุณหภูมิของควัน อยู่ระหว่างอุณหภูมิ 80 - 150 องศาเซลเซียส เมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างที่ปากปล่องควันออกของเตากับอุณหภูมิภายในเตา พบว่า อุณหภูมิภายในเตาที่เก็บน้ำส้มไม้ดิบ อยู่ระหว่าง 280-400 องศาเซลเซียส ไม่มีผลของความแตกต่างในกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิต่างกัน เนื่องจากการเก็บผลผลิตน้ำส้มไม้ในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเดียวกัน ซึ่งได้ผลการทดสอบสมบัติของน้ำส้มไม้ดังนี้

ตารางที่ 11 สมบัติของน้ำส้มไม้ที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ

อุณหภูมิ	ความถ่วงจำเพาะ	ค่า pH	สี	กลิ่น	ความใส
การปิดเตา (°C)					
500	1.012	3.42	น้ำตาล-ส้ม	ควันไฟ	ใส
600	1.012	3.51	น้ำตาล-ส้ม	ควันไฟ	ใส
700	1.013	3.58	น้ำตาล-ส้ม	ควันไฟ	ใส

สุ่มตัวอย่างถ่าน โดยการเก็บตัวอย่างบริเวณตรงกลางเตา แยกเป็น 2 ชั้นคือ ถ่านชั้นบน วัดลึกลงไปจากกองถ่าน 10 ซม. แล้วทำการเก็บตัวอย่าง 1 กก. ถ่านชั้นล่าง วัดจากพื้นล่างของกองถ่าน 10 ซม. แล้วทำการเก็บตัวอย่าง 1 กก. จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติของถ่าน (ASTM, 2008) ซึ่งได้ผลการทดสอบตามสภาพนำส่งทดสอบที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายสิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยา และพลังงาน และภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยสมบัติของถ่านดังนี้

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยสมบัติของถ่านชั้นบน

สมบัติของถ่าน	อุณหภูมิ (°C)		
	500	600	700
ปริมาณความชื้น (%)	5.52	5.50	5.84
ปริมาณถ่านคงตัว (%)	79.81	79.14	79.66
ปริมาณสารระเหย (%)	12.46	12.56	11.74
ปริมาณเถ้า (%)	2.84	2.80	2.76
ค่าความร้อน (kcal/kg)	7,286	7,297.6	7,314
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.51	0.51	0.52

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ยสมบัติของถ่านชั้นล่าง

สมบัติของถ่าน	อุณหภูมิ (°C)		
	500	600	700
ปริมาณความชื้น (%)	5.14	5.04	5.50
ปริมาณถ่านคงตัว (%)	73.82	74.94	77.52
ปริมาณสารระเหย (%)	18.12	16.98	14.32
ปริมาณเถ้า (%)	2.92	3.04	2.66
ค่าความร้อน (kcal/kg)	7,038	7,116	7,248
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.51	0.52	0.52

นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และใช้การเปรียบเทียบโดยวิธีของดันแคน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ในถ่านชั้นบน อุณหภูมิที่ปิดเตา 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติของถ่าน แต่พบว่าเมื่อการปิดเตา อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความร้อน ปริมาณถ่านคงตัวจะสูงขึ้น ปริมาณสารระเหยจะน้อยลง ในถ่านชั้นล่าง อุณหภูมิที่ปิดเตา 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส มีผลต่อปริมาณถ่านคงตัว $Pr > F = 0.0469$ และค่าความร้อน $Pr > F = 0.0186$ มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มอย่างน้อย 1 คู่ ที่แตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบทีละคู่วิธี DMRT พบว่า อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อยู่กลุ่มเดียวกับ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อยู่กลุ่มเดียวกับ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส แต่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อยู่คนละกลุ่มกับอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่วนสมบัติอื่นๆของถ่านชั้นล่างไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสมบัติของถ่าน

	Pr > F (ถ่านชั้นบน)	Pr > F (ถ่านชั้นล่าง)
ปริมาณความชื้น	0.7079	0.3101
ปริมาณถ่านคงตัว	0.9136	0.0469
ปริมาณสารระเหย	0.8695	0.0741
ปริมาณเถ้า	0.9450	0.5396
ค่าความร้อน	0.9061	0.0186
ความหนาแน่น	0.5470	0.4096



ภาพที่ 9 ลักษณะของถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่ได้จากการผลิตโดยเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ

วิจารณ์

การศึกษากระบวนการผลิตถ่านนั้น มีการศึกษาจากเตาเผาถ่านที่หลากหลายแบบ เตาแต่ละแบบก็มีเทคนิคในการผลิตถ่านที่แตกต่างกัน ดังนั้นผลจากการทดลองนั้นจะเป็นเครื่องพิสูจน์ได้ว่า เตาแบบใดที่มีความสามารถในการผลิตถ่านให้มีคุณภาพดี คุ่มค่ากับการลงทุน โดยสมบัติของถ่านที่ได้จากการผลิตทั้ง 3 อุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสมบัติของถ่านไม้ที่ดี พบว่า ถ่านที่ได้จากการผลิตอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าที่กำหนดไว้ ในเทคนิคการผลิตถ่านวิธีนี้ เป็นเทคนิคการผลิตถ่านที่ได้จากการผลิตถ่านออกจำหน่ายแก่ผู้บริโภค ทั้งภายใน และต่างประเทศ ซึ่งในขณะนี้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคสูง แต่กำลังการผลิตยังไม่สามารถทำได้ตามปริมาณที่ต้องการควรที่รัฐบาลจะให้การสนับสนุนการสร้างเตาผลิตถ่าน หรือเกิดการรวมกลุ่มกันของชุมชน เพื่อผลิตถ่านให้เกิดรายได้

น้ำส้มไม้ที่ได้จากการผลิตถ่านนั้นมีประโยชน์มากมาย ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้น จำเป็นต้องมีการควบคุมการผลิตให้ถูกวิธี จึงจะได้น้ำส้มไม้ที่มีคุณภาพ เหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนน้ำมันดินที่เหลือจากการตกตะกอนแล้วนั้น ยังสามารถนำไปใช้ในการรักษาเนื้อไม้จากปลวก มอด และแมลงทำลายไม้ นอกจากนี้ยังมีน้ำมันเบา ซึ่งยังไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จึงควรมีการศึกษาด้านการใช้ต่อไป

การผลิตถ่านโดยใช้เตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ เพื่อที่จะทำถ่านคุณภาพสูงนั้น ต้องใช้ทุนในการลงทุนสูงเนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านนั้นเป็นชนิดพิเศษ สามารถทนความร้อนได้สูง แต่เมื่อคำนวณถึงการใช้งานในระยะยาวนั้น มีความคุ้มค่า

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของการปิดเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกันต่อสมบัติของถ่าน โดยใช้ไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งเป็นไม้ที่ได้จากการปลูกของชุมชน และเกษตรกร พบว่า ที่อุณหภูมิการผลิต 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส ถ่านที่ได้จากเตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ มีสมบัติของถ่านแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ถ่านชั้นบน และถ่านชั้นล่าง สมบัติของถ่านชั้นบนกับถ่านชั้นล่างมีความต่างกันเชิงปริมาณ แต่ถ่านชั้นบนนั้น สมบัติของถ่านไม่มีความต่างในเชิงสถิติ ส่วนสมบัติของถ่านชั้นล่าง ปริมาณถ่านคงตัว และค่าความร้อน มีค่าเฉลี่ยของกลุ่มอย่างน้อย 1 คู่ ที่แตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบทีละคู่พบว่า อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อยู่กลุ่มเดียวกับ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อยู่กลุ่มเดียวกับ อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อยู่คนละกลุ่มกับอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ส่วนสมบัติอื่นๆของถ่านชั้นล่างไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก.-ร.ก.ส. พบว่า ถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่เผาที่อุณหภูมิ 500 600 และ 700 องศาเซลเซียสนั้น ผ่านมาตรฐานการเป็นถ่านหุงต้ม คือมีค่าความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 8 ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 6,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้าไม่เกิน ร้อยละ 8 ปริมาณสารระเหยไม่เกิน ร้อยละ 25 ซึ่งมีเพียงถ่านชั้นบนที่อุณหภูมิการผลิตที่ 700 องศาเซลเซียสเท่านั้น ที่ผ่านมาตรฐานการเป็นถ่านบั้งย่าง คือมีค่าความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 7 ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 7,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ปริมาณเถ้าไม่เกินร้อยละ 3 ปริมาณสารระเหยไม่เกิน ร้อยละ 8 ดังนั้นในการผลิตถ่านในวิธีการทดลองนี้ควรเลือกการปิดเตาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เพราะให้ค่าความร้อนสูง ปริมาณถ่านคงตัวสูง และมีปริมาณสารระเหยน้อย

น้ำส้มไม้ที่ได้จากการผลิตที่อุณหภูมิการผลิตที่ต่างกันนั้น ไม่มีผลต่างกันเชิงสถิติ เพราะช่วงอุณหภูมิที่ใช้เก็บน้ำส้มไม้นั้นเป็นช่วงอุณหภูมิเดียวกัน คือ ที่อุณหภูมิภายในเตาอยู่ระหว่าง 280-400 องศาเซลเซียส สมบัติของน้ำส้มไม้ไม่มีความถ่วงจำเพาะ 1.012-1.013 ค่า pH 3.51-3.58 มีสีน้ำตาล-ส้ม มีกลิ่นควันไฟ และมีความใส เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มก.-ร.ก.ส. พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.005 ค่า pH 1.5-3.7 มีความใส

ข้อเสนอแนะ

ไม้ยูคาลิปตัสเป็นไม้ที่ซื้อขายกันโดยน้ำหนักสด ไม้จึงมีความชื้นอยู่มาก การฝั่งในกระแสมอากาศนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อการลดปริมาณไม้พินหน้าเตา ต้องใช้เวลานานและสิ้นเปลืองพื้นที่กองไม้ จากกระบวนการผลิตถ่าน บริเวณเตา และปล่องควันท้องมีความร้อนแผ่ออกมา ดังนั้นสามารถนำความร้อนเหล่านี้มาอบไม้ได้ โดยอาจทำเป็นห้องอบไม้ หรือนำไม้มาเรียงไว้ข้างเตา จะสามารถลดระยะเวลาในการฝั่งไม้ให้แห้งได้

ในการเรียงไม้เข้าเตานั้นต้องนำไม้เรียงเข้าเตาในแนวตั้ง นำส่วนโคนขึ้นด้านบน และใช้ไม้รองพื้นด้านล่างก่อน เพื่อให้อากาศสามารถไหลเวียนได้อย่างสม่ำเสมอ เทคนิคการผลิตนี้จุดสำคัญอยู่ที่การกำหนดการไหลเข้าของการอากาศที่หน้าเตา เมื่ออุณหภูมิเกิน 130 องศาเซลเซียส ไม้จำเป็นต้องใช้พินหน้าเตาแล้ว ต้องระวังการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เพิ่มขึ้นเร็วเกินไป เพราะจะทำให้เกิดสันถ่านมาก ระหว่างการทำให้ถ่านเย็นตัวนั้น ควรมีการอาบน้ำเตา (ใช้ผ้าชุบน้ำโคลนบิดให้หมาดเช็ดทั่วไป) เพื่อเป็นการรักษาและยืดอายุการใช้งานของเตา และยังทำให้ถ่านเย็นตัวได้เร็วขึ้นอีกด้วย

ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มเวลาในการปิดเตาให้มีระยะเวลาในช่วงการทำถ่านให้บริสุทธิ์มากขึ้น หรือศึกษาวิธีการเรียงไม้เข้าเตา มีผลต่อสมบัติของถ่านอย่างไร เพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพการผลิตถ่านไม้

อย่างไรก็ตามการผลิตถ่านนั้นยังเป็นอาชีพที่ทุกคนในสังคมยังมองข้าม แต่ถ้าสามารถอธิบายให้เห็นถึงความสำคัญในการใช้เชื้อเพลิงจากไม้ โดยมีการจัดการที่ดีจะสามารถใช้เป็นพลังงานอย่างยั่งยืนได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2542. **ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส**. ส่วนปลูกป่าภาคเอกชน สำนักส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. **ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส**. สำนักส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

เกียรติศักดิ์ สุตะพรหม. 2548. **อุปสงค์น้ำส้มควันไม้ในฟาร์มเกษตรอินทรีย์ของจังหวัดยโสธร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชาญชัย งามเจริญ. 2544. **ไฟ พืชสารพัดประโยชน์**. สวนป่าชุมชน สำนักส่งเสริมการปลูกป่า. กรุงเทพฯ.

ครุณี โชติขจรูญ, จิระศักดิ์ สุขมุลตรี, สุปราณี ทับสกุล และ สุชาดา อินทศรี. 2548. **การศึกษาการใช้ประโยชน์จากน้ำส้มควันไม้สำหรับการเกษตรอินทรีย์**. สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม.

ธีระชัย จันทรเสนา. 2528. **การผลิตถ่าน และคุณภาพของถ่านจากไม้ป่าชายเลน โดยใช้เตาอิฐขนาดเล็ก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิคม แหลมศักดิ์. 2551. **การใช้ประโยชน์จากไม้โตเร็วเพื่อการผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้เพื่อใช้ในครัวเรือน**. เอกสารประกอบการฝึกอบรม. ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิคม แหลมศักดิ์, วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัดน์, จงรัก วัชรินทร์รัตน์, สкар ทีจันติก,
 สาทิศ ดิลกสัมพันธ์, สุณิส ยอดงาม และมนัสสุดา นันทสิริพร. 2550.
คู่มือการปลูกไม้ยูคาลิปตัสสำหรับเกษตรกร. ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิคม แหลมศักดิ์ และอลงกรณ์ นุ่มน่วม. 2545. **สมบัติและการใช้ประโยชน์จากไม้ตัดสาขายาระยะ
 สวนป่าที่อ่างขาง.** รายงานผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวง ประจำปี 2545. 12 น.

นิคม แหลมศักดิ์ และอัจฉริยะ โชติจันทร์. 2550. การผลิตและสมบัติของน้ำส้มไม้และถ่านจากไม้
 และไม้ตัดขยาระยะที่อ่างขางโดยใช้เตาเผาถ่านไทย-อิวาเตะ. วารสารวนศาสตร์. ปีที่ 26
 ฉบับพิเศษ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 8 น.

ประลอง คำรงค์ไทย. 2540. **การผลิตถ่านจากสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส ความทนอุณหภูมิและผลตอบ
 แทนทางเศรษฐกิจ.** กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนัก
 วิชาการ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ประพันธ์ วัฒนวินิน. 2547. **เทคโนโลยีการเกษตร เทคโนโลยีชาวบ้าน.** แหล่งที่มา:
www.matichon.co.th/techno, 15 มีนาคม 2547.

ปรีชา เกียรติกระจาย. 2528. **การผลิตถ่านด้วยเตาถอบ.** สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2529. **เทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานจากไม้.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
 กรุงเทพฯ.

พูนินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546. **ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้.** กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
 สิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

วินัย ปัญญาธัญญะ. 2541. **เทคโนโลยีการผลิตถ่านสำหรับชนบท.** ส่วนปลูกป่าภาคเอกชนสำนัก
 การส่งเสริมการปลูกป่า. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

วิรัช ชื่นวาริน. 2533. **สมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อไม้**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชาย โพธิ์ตระกูล. 2546. **การผลิตและการตลาดถ่านไม้ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา**.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม. 2547. **การผลิตและการใช้ประโยชน์น้ำส้มควันไม้**. อำเภอปากช่อง,
นครราชสีมา.

สำนักวิชาการป่าไม้และสำนักส่งเสริมการปลูกป่า. 2544. **กิจการชุมชนกับการใช้ประโยชน์ไม้และ
ของป่า**. กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

Ackerman, F and Fernandes de Almeida, P.E. 1990. **Iron and Charcoal: The industrial fuel
wood crisis in Minas Gerais**. Energy policy, New York.

ASTM. 2008. ASTM Volume 05.06, September 2008. **Gaseous Fuels; Coal and Coke**. ASTM
International, West Conshohocken, United States.

FAO. 1987. Forestry paper 41. **Simple technologies for charcoal making**. Food and Agriculture
Organization of The United Nations, Rome.

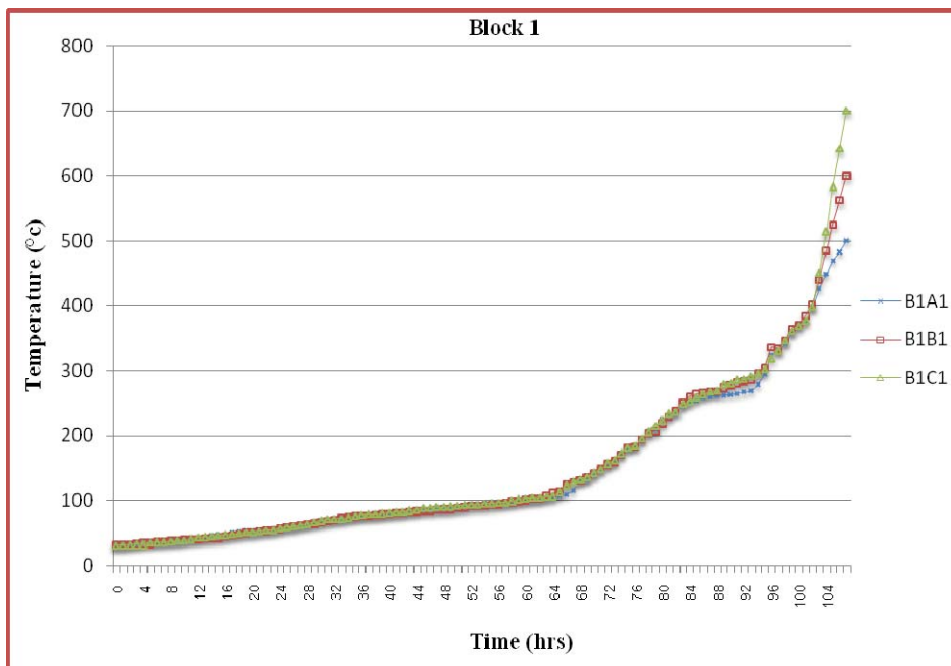
_____. 1985. Forestry paper 63. **Industrial charcoal making**. Food and Agriculture
Organization of The United Nations, Rome.

Kichimoto, S. and Sugiura, G. 1982. **Wood Fuels in Japan**. Academic Press, New York. Cited
W.R. Smith. 1980. Energy from Forest Biomass. Academic Press, New York.

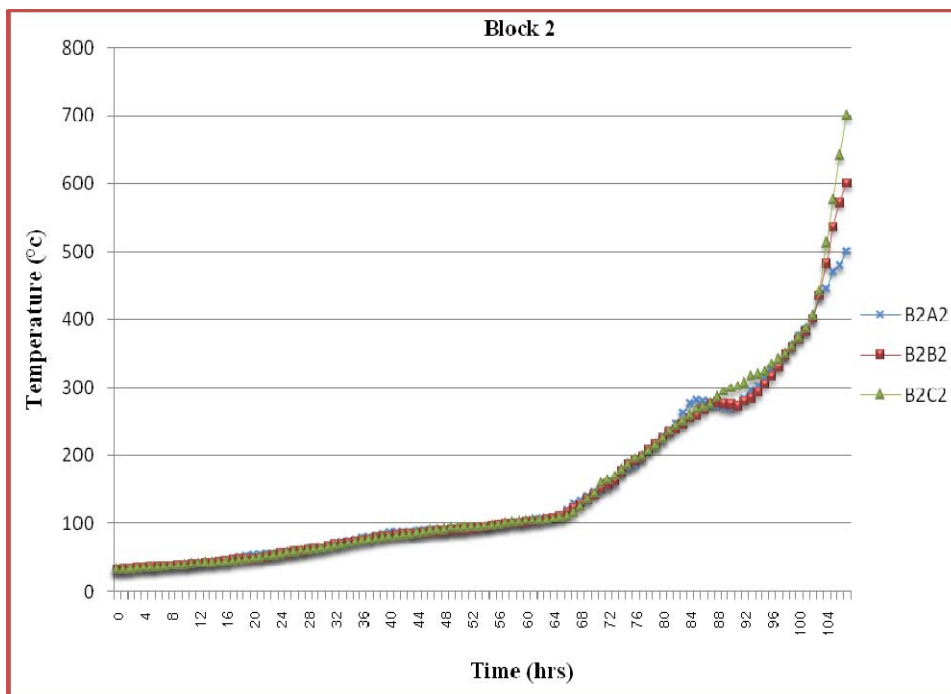
Punyathunya, W. 1998. **Charcoal Production Technology for Rural Area**. Royal Forest
Department. Bangkok. (in Thai) Cited Schubert H.R. 1957. **British Iron and
Steel Industry**. Routledge and Keagan Paul, London.

- Strehlke, B. 1985. **Fuel Wood and charcoal preparation**. International Labour Office, Switzerland.
- Sudjarwo, A. 1991. **Iwate Kiln Handbook**. Asia regional cookstove program. Food and Agriculture Organization of The United Nations. Japan.
- Thoresen, P. 1991. **Charcoal Production and Pyrolysis Technologies**. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome.
- Tsuyoshi, H. 1994. **Kiln design and construction the uses of wood vinegar and charcoal in agriculture**. ICCA, Japan.
- Xinxi, J. 2004. **Wood charcoal and pyroligneous liquor technology**. <http://www.cn/dz/en/charcoal-tech.htm>.

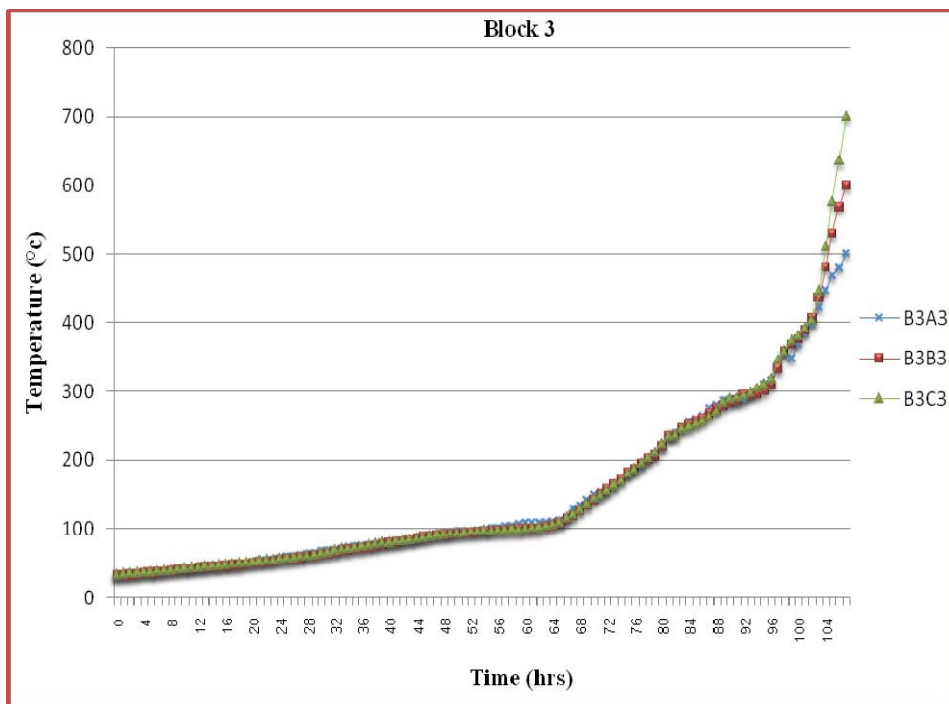
ภาคผนวก



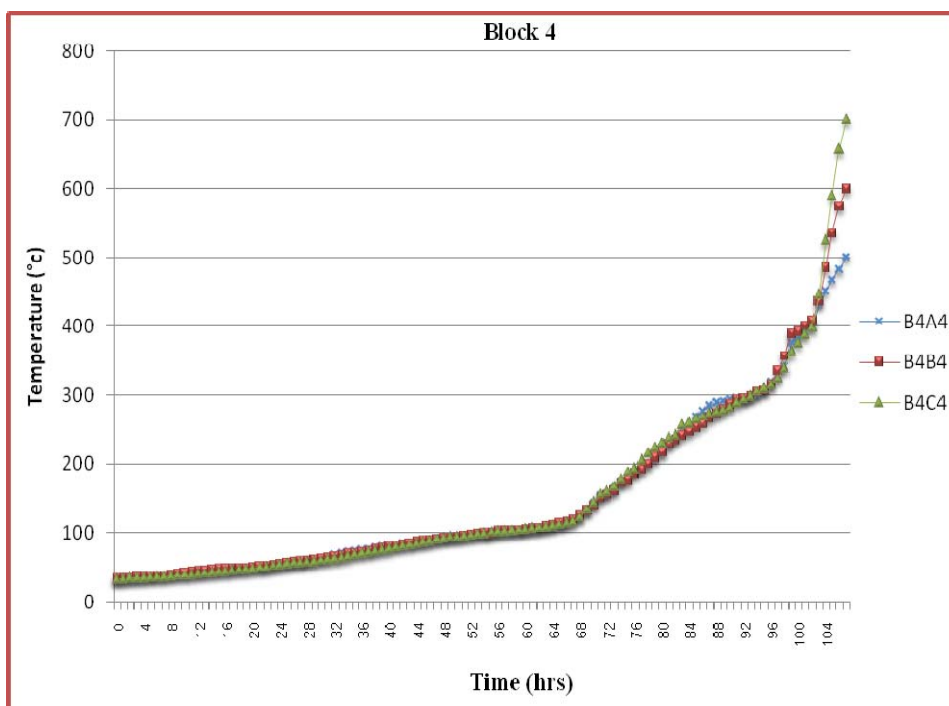
ภาพผนวคที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกระบวนการผลิตถ่านไม้ยูคาลิปตัสจากเตาเผาถ่านไทยอิวาเตะ ใน Block 1



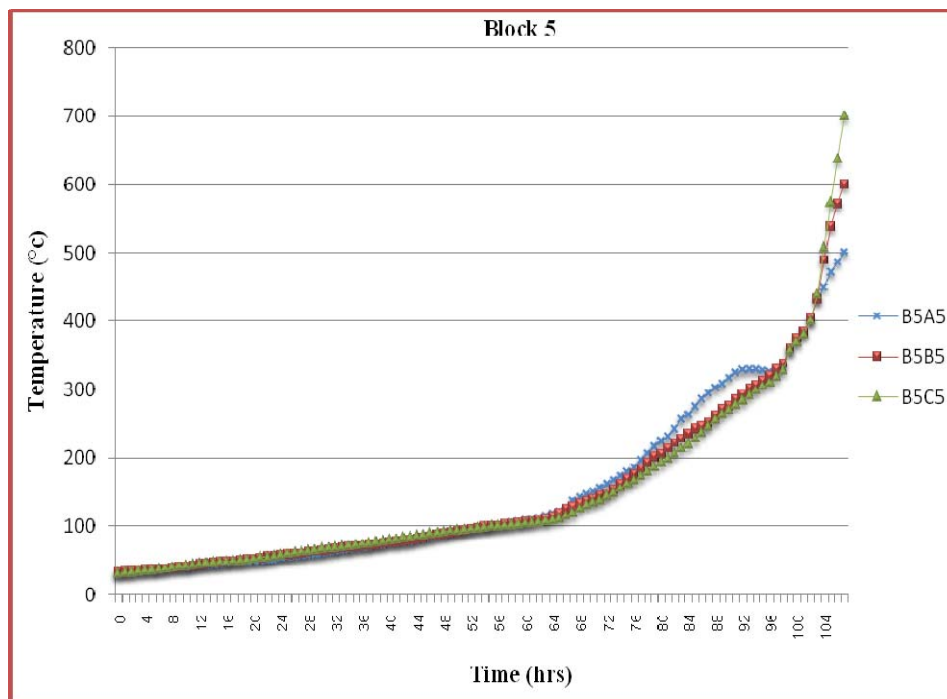
ภาพผนวคที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกระบวนการผลิตถ่านไม้ยูคาลิปตัสจากเตาเผาถ่านไทยอิวาเตะ ใน Block 2



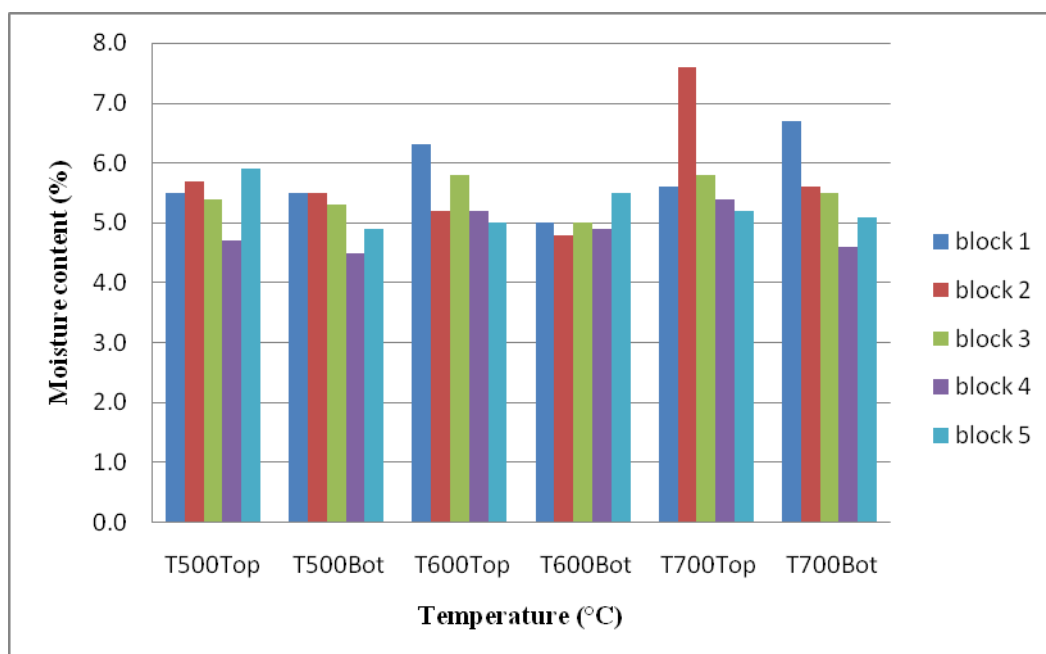
ภาพผนวคที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกระบวนการผลิตถ่านไม้ยูคาลิปตัสจากเตาเผาถ่านไทยอิวาเตะ ใน Block 3



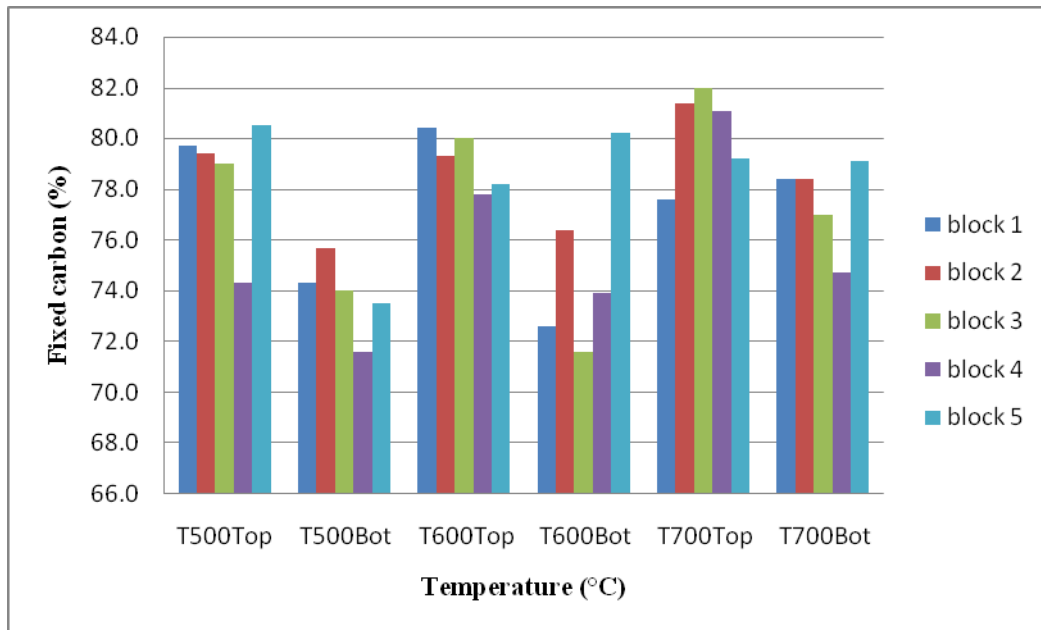
ภาพผนวคที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกระบวนการผลิตถ่านไม้ยูคาลิปตัสจากเตาเผาถ่านไทยอิวาเตะ ใน Block 4



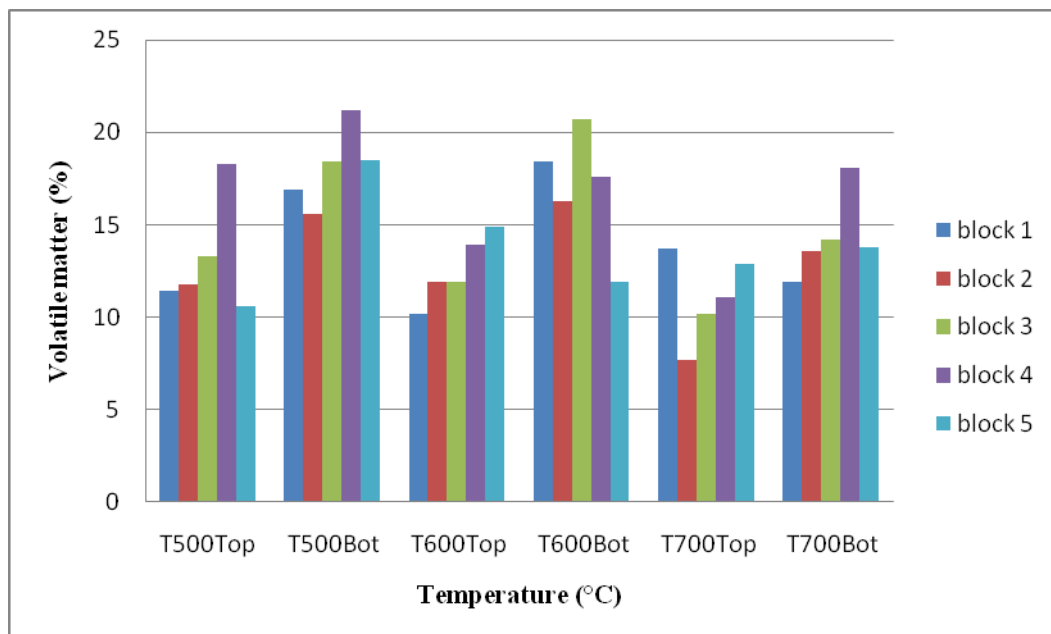
ภาพผนวกที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาในกระบวนการผลิตถ่านไม้ยูคาลิปตัสจากเตาเผาถ่านไทยอิวาเตะ ใน Block 4



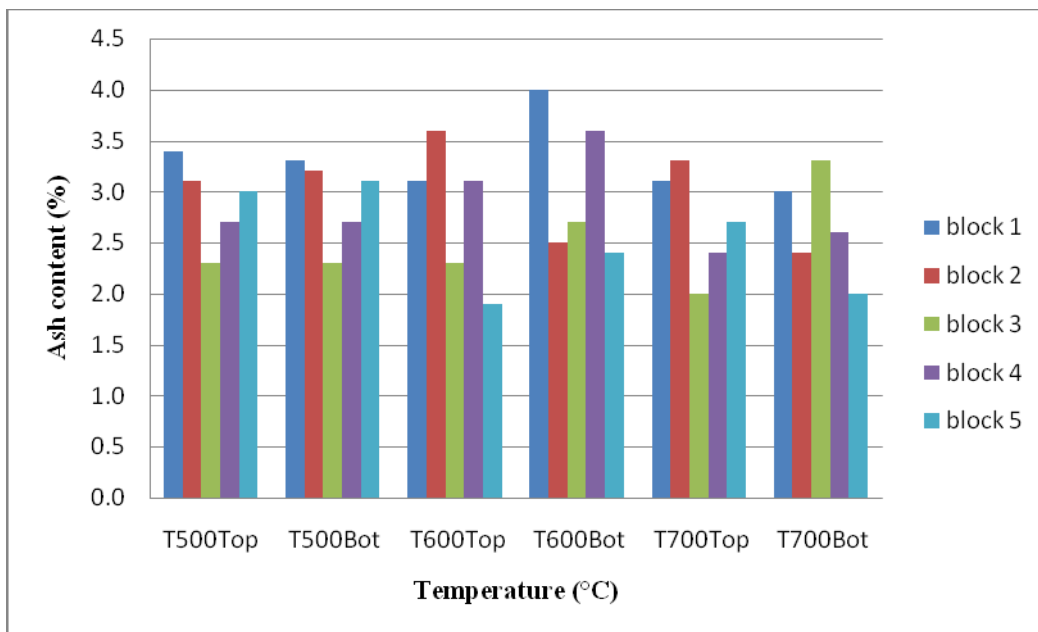
ภาพผนวกที่ 6 ปริมาณความชื้นที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน



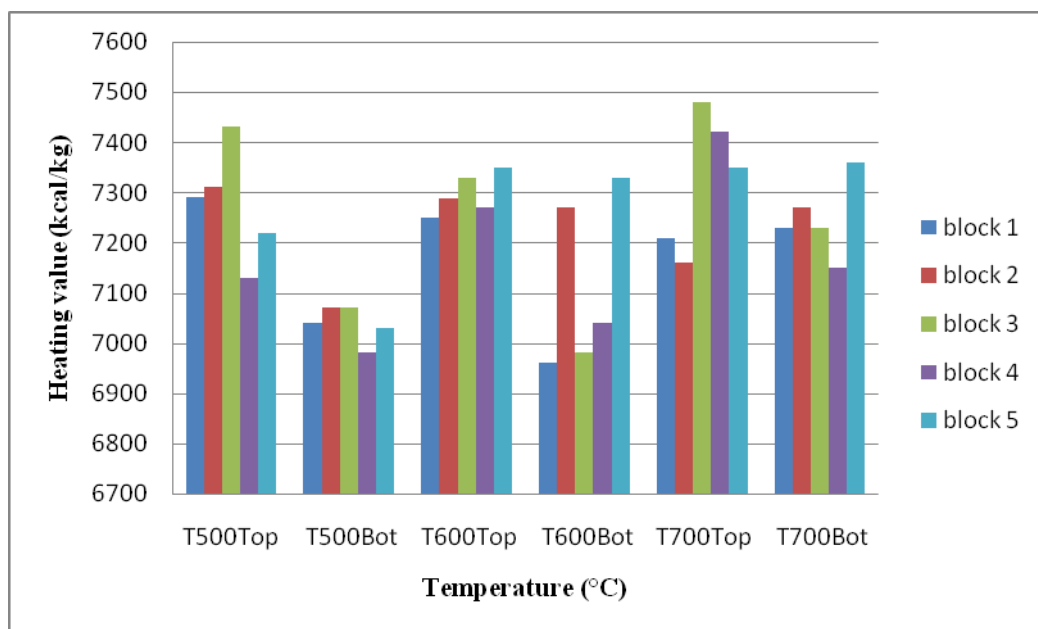
ภาพผนวกที่ 7 ปริมาณถ่านคงตัวที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน



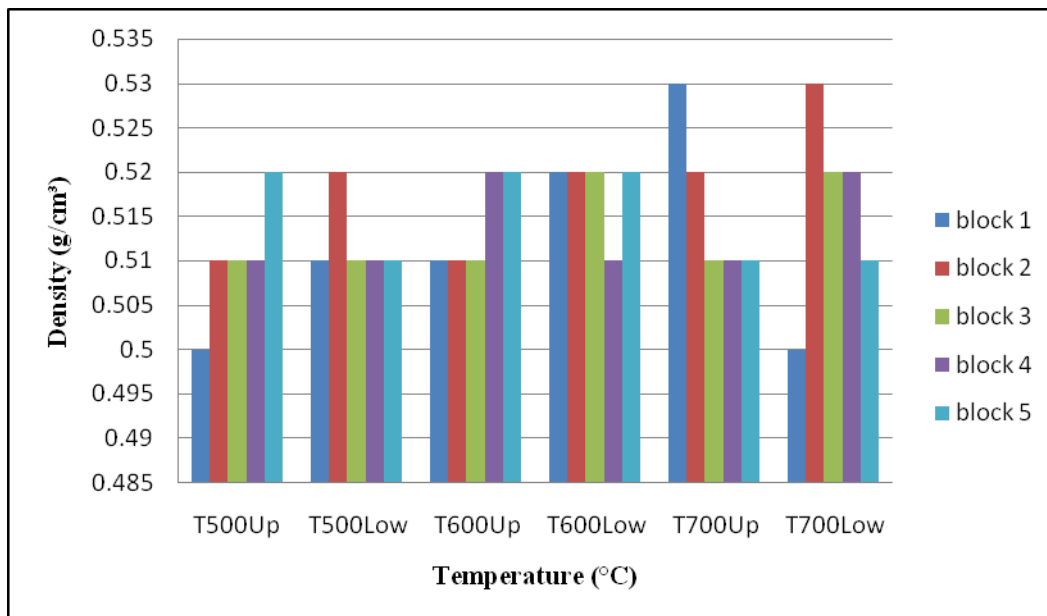
ภาพผนวกที่ 8 ปริมาณสารระเหยที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน



ภาพผนวคที่ 9 ปริมาณเถ้าที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน



ภาพผนวคที่ 10 ปริมาณค่าความร้อนที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน



ภาพผนวคที่ 11 ความหนาแน่นที่ได้จากเตาผลิตถ่านไทย-อิวาเตะ ที่อุณหภูมิการผลิตต่างกัน

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายอัจฉริยะ โชติจันทร์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 19 พฤศจิกายน 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดศรีสะเกษ
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี คณะวนศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางไม้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน