การออกแบบเตาคาร์บอไนซ์วัสดุชีวมวลอย่างต่อเนื่อง

(Design of Biomass Carbonizer for Continuously Carbonization System)

ศุภวิทย์ ลวณะสกล[1] พิสิษฏ์ มณีโชติ [2] และ สมบัติ ทีฆทรัพย์ [3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ต. คลองหก อ. ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: +66(2)-549-3430 โทรสาร :+66(2)-549-3432
E-mail: suppawit_me@rmutt.ac.th
[2]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
99 หมู่ 9 อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000 โทรศัพท์ : +66(55)-963-185 โทรสาร : +66(55)-963-185 E-mail: pisitm@nu.ac.th
[3]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
200 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ : +66(2)-577-1028 โทรสาร : +66(2)-577-1023
E-mail: teekasap@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบเตาคาร์บอไนซ์วัสดุชีวมวลอย่างต่อเนื่อง เพื่อผลิตถ่าน 50 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีผลพลอยได้เป็นน้ำส้มควันไม้และแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มคุณค่าของเตา แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้นำไปใช้เดินเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าขนาด 6.5 กิโลวัตต์เพื่อใช้ในระบบ ในการทดสอบจะใช้วัสดุชีวมวลขนาด 2 – 5 เซนติเมตร ทำการวิเคราะห์แบบ Approximate จากนั้นทำการคาร์บอไนซ์อย่างต่อเนื่อง ที่ความดันบรรยากาศ ปรับอุณหภูมิและความเร็วในการคาร์บอไนซ์ บันทึกปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์อย่างต่อเนื่องที่สภาวะต่าง ๆ คาดว่าการผลิตถ่านจากเตาที่ออกแบบนี้เมื่อเทียบกับการผลิตแบบวิถีชาวบ้านจะได้ผลิตภัณฑ์ถ่าน และน้ำส้มควันไม้ที่มีปริมาณมากกว่า คุณภาพสูงกว่า ใช้เวลาน้อย เมื่อนำผลิตภัณฑ์ถ่านไปวิเคราะห์คาดว่าจะมีค่าคาร์บอนเสถียรที่สูง วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์น้ำส้มควันไม้คาดว่ามีความเป็นกรดและมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกรดอะซีติคและวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สที่ได้ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี คาดว่าจะประกอบไปด้วย ไฮโดรเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์, มีเทน, คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งผลงานวิจัยจะสรุปได้เมื่องานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

คำสำคัญ: ชีวมวล (Biomass), ถ่าน (Charcoal), คาร์บอไนเซชั่น (Carbonization), น้ำส้มควันไม้ (Wood vinegar)

1. บทนำ

การคาร์บอไนซ์ถ่านแบบวิถีชาวบ้านหรือแบบดั้งเดิมด้วยเตาหลุม เตาแกลบและเตาหลุมผี นอกจากจะทำให้ได้ผลผลิตต่ำและใช้เวลานานแล้วยังก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นหากสามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการคาร์บอไนซ์ได้จะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ถ่านสูง ใช้เวลาน้อยกว่า มีปริมาณเถ้าน้อยและไม่ปล่อยควันเป็นมลภาวะ อีกทั้งยังสามารถจัดเก็บน้ำส้มควันไม้และแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อใช้ผลิตกำลังงานใช้ในระบบได้

การทำถ่านมีมานานแล้ว ซึ่งมีการพัฒนาเป็นช่วงๆ ตามสภาพแบบดั้งเดิมหรือวิธีชาวบ้าน การนำเทคโนโลยีคาร์บอไนเซชั่นมาใช้จะมีการควบคุมเวลา อุณหภูมิและอากาศที่ป้อนอย่างถูกต้องและเหมาะสม จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพ สามารถกำหนดคุณภาพของถ่าน และการเก็บน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพตามความต้องการของตลาดสามารถใช้วัสดุชีวมวลที่มีคุณภาพต่ำได้ทุกชนิดเพื่อผลิตถ่านอัดแท่งและการเก็บน้ำส้มควันไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้แล้วยังได้

แก๊สเชื้อเพลิงใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในผลิตไฟฟ้าหรือนำไปคาร์บอไนซ์ให้ความร้อนในขบวนการอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เครื่องคาร์บอไนเซอร์ชีวมวล เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคาร์บอไนเซชั่น หรือกระบวนการสลายตัวของชีวมวลด้วยความร้อน (Themochemical conversion process) ซึ่งกระบวนดังกล่าวสามารถเปลี่ยนรูปชีวมวลให้อยู่ในสถานะของแข็ง (ถ่าน) ของเหลว (น้ำส้มควันไม้) และแก๊สเชื้อเพลิง เป็นกระบวนการเดียวกับที่ชาวบ้านนิยมนำไม้มาคาร์บอไนซ์เป็นถ่านในเตาอุโมงค์ดินหรือถังน้ำมัน 200 ลิตร เพื่อผลิตถ่านไม้และเก็บน้ำส้มควันไม้ขายในปัจจุบัน แต่ก็พบว่าไม่สามารถควบคุมคุณภาพของถ่านและน้ำส้มควันไม้ได้อย่างสม่ำเสมออีกทั้งพลังงานในรูปแก๊สหลังจากการกลั่นตัวของน้ำส้มควันไม้ก็ปล่อยทิ้ง หากใช้เครื่องคาร์บอไนเซ่อร์ชีวมวลก็สามารถนำมาใช้แก้ไขปัญหาของคุณภาพถ่านและน้ำส้มควันไม้ให้มีคุณภาพสม่ำเสมอ อีกทั้งยังสามารถเก็บแก๊สเชื้อเพลิงหลังการกลั่นน้ำส้มควันไม้มาผ่านกระบวนการกรองทำความสะอาดและนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าใช้งานต่อไป ถือได้ว่าเป็นกระบวนการใช้ทรัพยากรชีวมวลได้อย่างเต็มคุณค่า

คาร์บอไนซ์ชีวมวลอย่างต่อเนื่องเป็นระบบที่มีความเสถียร สามารถควบคุมอุณหภูมิ อัตราการไหลของอากาศและความเร็วของการคาร์บอไนซ์ (Carbonized velocity) ที่ต้องการได้อีกด้วยถ้าวัสดุชีวมวลมีคุณภาพ เช่น กะลาปาล์ม กะลามะพร้าวและเศษไม้ไผ่เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อนำเศษวัสดุชีวมวลในชุมชนและวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรมาแปรรูปเป็นถ่านเพื่อเป็นวัตถุดิบในการทำถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงทดแทนและลดการนำเข้าเชื้อเพลิงถ่านหินและน้ำมัน
2. ผลิตน้ำส้มควันไม้ (Wood vinegar)
3. ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงใช้กับเครื่องยนต์เพื่อทดแทนและลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ
4. เพื่อสร้างเครื่องคาร์บอไนเซ่อร์ชีวมวล (Biomass carbonizer) ให้เป็นต้นแบบของการแปรรูปวัสดุชีวมวลให้เป็นถ่านอัดแท่งและน้ำส้มควันไม้ทำงานแบบต่อเนื่องอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในประเทศไทย การผลิตถ่าน เก็บน้ำส้มควัน ผลิตไฟฟ้าและความร้อนด้วยเครื่องคาร์บอไนเซ่อร์อย่างต่อเนื่องยังไม่เคยมีมาก่อน
5. เพิ่มรายได้ให้กับชุมชน ทำให้ชุมชนเข้มแข็งและสามารถพึ่งพาตนเองได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง เก็บน้ำส้มควันไม้และเครื่องต้นกำลังขนาดเล็กที่ใช้วัสดุชีวมวลจากภาคเกษตร
2. ชุมชนมีรายได้จากการขายถ่านอัดแท่งและน้ำส้มควันไม้ ทำให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นและชุมชนเข้มแข็ง
3. ทำให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้น ลดภาวะโลกร้อน
4. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีเป็นของตนเอง

2. วิธีการวิจัย

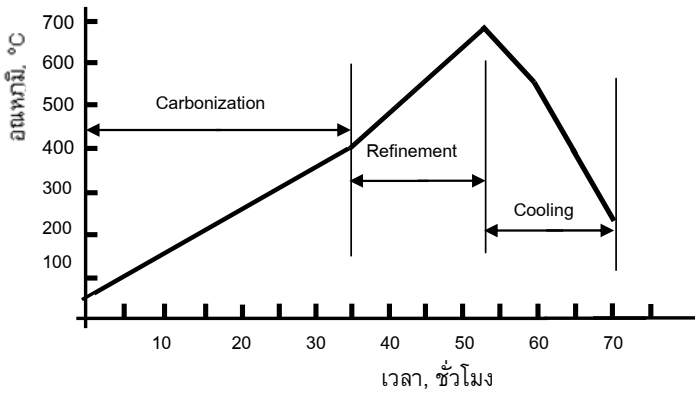
2.1 ศึกษาการคาร์บอไนซ์ถ่านแบบวิถีชาวบ้าน

ผลจากการคาร์บอไนซ์กะลาปาล์ม 120 กิโลกรัมที่ความชื้นประมาณ 35 % ในถัง 200 ลิตร เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งจะใช้เวลา 2–3 วัน (รวมเวลาที่รอให้เย็นตัว)จะได้ผลผลิตถ่าน 20–25%

จากการศึกษาการคาร์บอไนซ์ถ่านแบบวิถีชาวบ้านนั้นได้ผลตามกราฟดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบกับข้อมูลการศึกษาวิจัยของพุฒินันท์ [1] พบว่าการคาร์บอไนซ์ไม้ให้เป็นถ่านเร็วเกินไปจะทำให้เกิดขี้เถ้ามาก

คาร์บอไนเซชั่น เป็นกระบวนการสลายตัวของชีวมวลด้วยความร้อนในสภาพใกล้อับอากาศ แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. การไล่ความชื้น เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิบรรยากาศจนถึง 180 $^{\circ}$C ช่วงนี้ชีวมวลจะคายน้ำที่ดูดซับอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (Free water) และน้ำที่อยู่ในผนังเซลล์ (Bound water) ควันที่ออกมาจะมีสีขาวปนน้ำเงินอ่อนซึ่งจะมีแต่ไอน้ำ ไม่มีกลิ่นฉุน ไม่แสบตาและจมูก



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการทำถ่านจากกะลาปาล์มในถัง 200 ลิตรแบบวิถีชาวบ้าน

ตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์กะลาปาล์ม
มวล 120 กิโลกรัม ในถัง 200 ลิตรแบบวิถี

ลำดับ	ผลิตภัณฑ์	% wt	ผลผลิต
1.	ผงถ่าน	25 – 30	36 กิโลกรัม
2.	น้ำส้มควันไม้, ทาร์	25 – 30	32 กิโลกรัม
3.	แก๊ส	30 – 35	40 ลูกบาศก์เมตร
4.	ขี้เถ้า	5 – 10	12 กิโลกรัม

2. การไล่สารระเหิด เป็นการให้ความร้อนแก่ชีวมวลที่อุณหภูมิประมาณ 180 – 270 $^{\circ}$C ช่วงนี้เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) จะสลายตัวออกมาจนไปหมดที่อุณหภูมิประมาณ 270°C เตาคาร์บอไนซ์ที่ดีจะรักษาอุณหภูมิระดับนี้ไว้นานและใกล้เคียงกันทั่วทุกจุดของเตา ควันที่ออกมาในช่วงนี้จะเริ่มมีสีจางๆ เจือปนอยู่ด้วยและจะมีก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กรดน้ำส้ม (Acetic acid) และเมธานอล (Methanol) เจือปนออกมากับควันด้วย แต่มีปริมาณต่ำมาก นำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้

3. การเปลี่ยนชีวมวลเป็นถ่าน อุณหภูมิจะอยู่ประมาณ 270 - 400°C ช่วงนี้ชีวมวลสลายตัวด้วยตัวเองจากปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) อันเกิดจากความร้อนที่สะสมไว้ เซลลูโลสจะเริ่มสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 275°C ควันที่ออกมาจะมีสีขาวปนเหลือง มีกลิ่นฉุนจัดสามารถติดไฟได้ การดักเก็บน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพจะทำได้ในช่วงนี้ ลิกนิน (Lignin) จะเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 310 $^{\circ}$C จนถึงอุณหภูมิประมาณ 400 $^{\circ}$C หลังจากกระบวนการนี้ชีวมวลจะกลายเป็นถ่านหมดแล้ว

4. การทำให้ถ่านบริสุทธิ์ แม้ว่าชีวมวลจะกลายเป็นถ่านแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 400 $^{\circ}$C แต่ยังคงมีน้ำมันดิน (Tar) ในปริมาณที่สูง เมื่อนำไปใช้ปิ้งย่างน้ำมันดินที่ถูกเผาไหม้ในเตาถ่านจะเกิดเป็นสารประกอบ เบนโซไพเรน (Benzopyrene) และไดเบนซานทราเซน (Dibenzanthracene) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จึงยังเป็นถ่านที่มีคุณภาพต่ำ ควรอบถ่านต่อไปที่อุณหภูมิในช่วง 500 - 650°C ต่อไปอีกระยะหนึ่งเพื่อไล่น้ำมันดินให้หมดไป

2.2 การออกแบบและสร้างเตาคาร์บอไนซ์ชีวมวลแบบทำงานอย่างต่อเนื่อง

ลักษณะเตาคาร์บอไนเซ่อร์ชีวมวลอย่างต่อเนื่องเป็นถังทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร ความสูงช่วงคาร์บอไนเซชั่น 110 เซนติเมตร มีความสูงรวม 230 เซนติเมตร ส่วนบนมีชุดปิด-เปิดรับชีวมวล ตัวเตาเป็นเหล็กทนความร้อนหนา 1 เซนติเมตร ภายในผนังเตาก่อด้วยปูนซิเมนต์ทนไฟหนา 10 เซนติเมตร วางในแนวดิ่ง มีชุดท่อร่วมจำนวน 4 ชุด เพื่อควบคุมและจ่ายอากาศเข้าเตาจำนวน 24 รู ส่วนบนยึดกับส่วนล่างด้วยหน้าแปลน มี ส่วนล่างเตาก่อด้วยอิฐทนไฟหนา 4 นิ้ว ปลายล่างสุดของเตาจะมีชุดตะกรับหมุน (Rotary grate) ขับโดยมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้โดยอาศัยสัญญาณจากอุณหภูมิในเตา เพื่อระบายถ่านออกจากเตา

โครงสร้างระบบเตาคาร์บอไนเซ่อร์ชีวมวลนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้ ดูรูปที่ 3 ประกอบ

2.2.1 ชุดเตรียมวัสดุชีวมวล (เครื่องย่อยและอบแห้ง)

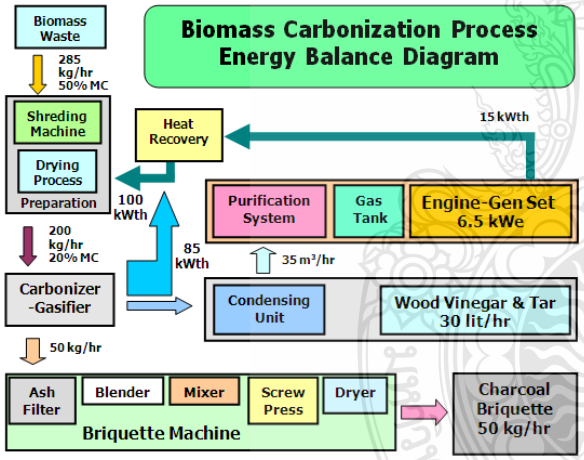
2.2.2 เตาคาร์บอไนเซ่อร์

2.2.3 ชุดเก็บน้ำส้มควันไม้ ประกอบไปด้วยคอนเดนเซอร์และชิลเล่อร์

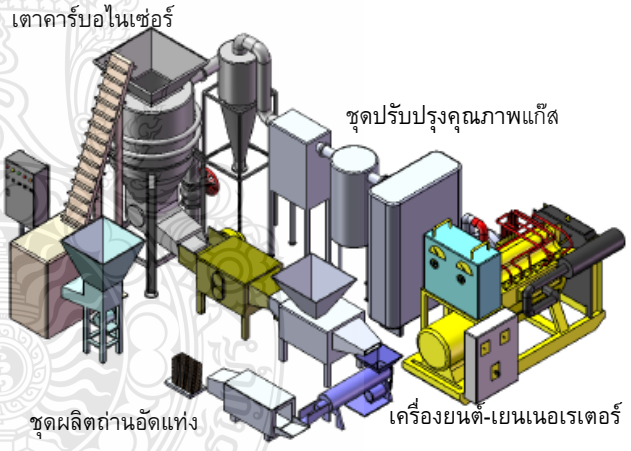
2.2.4 เครื่องผลิตถ่านอัดแท่ง (ประกอบด้วยชุดแยกขี้เถ้า, ชุดบด-ผสมถ่าน, สกรูอัดและเครื่องอบไล่ความชื้นถ่านอัดแท่ง)

2.2.5 หน่วยผลิตไฟฟ้าประกอบไปด้วย ชุดทำความสะอาดแก๊สเพื่อป้อนให้กับเครื่องยนต์

2.2.6 ชุดควบคุมการทำงานของระบบ (ระบบ PLC และมอนิเตอร์แสดงสถานะการทำงาน)



รูปที่ 2 แสดงการทำพลังงานสมดุลของระบบ



รูปที่ 3 ต้นแบบเครื่องคาร์บอไนเซ่อร์ชีวมวลอย่างต่อเนื่อง

3. การทดลอง

ชีวมวลปริมาณ 285 กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่ความชื้น 50% จะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องย่อยให้มีขนาด 2 – 5 เซนติเมตร แล้วป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งและไหลออกจากเครื่องอบแห้งในอัตรา 200 กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่ความชื้น 20% จากนั้นถูกลำเลียงเข้าเตาคาร์บอไนเซ่อร์ เมื่อจุดให้ลุกติดไฟแล้วควบคุมปริมาณอากาศที่ไหลเข้าสู่เตาและรักษาระดับอุณหภูมิของเตาให้สม่ำเสมอจนกระทั่งไม้กลายเป็นถ่านก็ปล่อยให้ถ่านไหลลงมาสู่ถังเก็บที่ไร้อากาศและดับในที่สุด จากนั้นลดอุณหภูมิลง ทำการบดและผสมกับวัสดุประสานจนเป็นเนื้อเดียวกันก่อนแล้วจึงป้อนเข้าสู่เครื่องอัดแท่ง หลังจากนั้นทำการตัดขนาดตามที่ต้องและเข้าเครื่องอบไล่ความชื้นอีกครั้งหนึ่ง จนกระทั่งได้ถ่านอัดแท่งตามที่ต้องการ ระบบทำงานโดยอาศัยพีแอลซี ซึ่งจะทำงานตามโปรแกรมที่กำหนด (ระบบสามารถเพิ่มอุณหภูมิการคาร์บอไนซ์ถ่านให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกลายเป็นถ่านคุณภาพได้)

ในการทดลองจะทำการคาร์บอไนซ์ที่อุณหภูมิ 400°C, 500°C, 600°C และ 700°C เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของถ่านและปริมาณผลผลิต หลังจากนั้นนำถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้ไปทดสอบหาคุณสมบัติ เช่น ความชื้น, คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) ขี้เถ้า (Ash) ความหนาแน่น (Density) ค่าความร้อน (Heating value) และสารระเหย (Volatile matter) เป็นต้น

4. ผลการวิจัย

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการคาร์บอไนซ์ชีวมวล พิจารณาการทำพลังงานสมดุลตามรูปที่ 2 จะพบว่าเมื่อทำการป้อนชีวมวลในอัตรา 285 กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่ความชื้น 50% จะสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ 50 กิโลกรัม/ชั่วโมง น้ำส้มควันไม้ 30 ลิตร/ชั่วโมง และแก๊สเชื้อเพลิงที่ประกอบไปด้วยไฮโดรเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์ สามารถนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าได้ 6.5 กิโลวัตต์ ซึ่งหลังจากทำการวิจัยเสร็จสมบูรณ์ก็จะได้นำเสนอผลการวิจัยในครั้งต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (สนช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปี 2552

เอกสารอ้างอิง

[1] พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ, ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้ , โครงการส่งเสริมการปลูกป่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือระยะที่ 2 กรมป่าไม้และองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศแห่งญี่ปุ่น (JICA) , 2001.

[2] ศุภวิทย์ ลวณะสกล, การผลิตถ่านชีวมวล (Biomass Carbonization System), ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี, 2551.

[3] Robinson, W. D., The Solid Waste Handbook, John Wiley & Sons, New York, 1986.

[4] Vesilind, P. A., Solid Waste Engineering, Brooks/Cole Thomson Learning, USA., 2002.

[5] Sunggyu Lee, Alternative Fuels, Taylor & Francis, 1996.

[6] Ferrero, G.L., Pyrolysis and Gasification, Elsevier Applied Science, London and New York, 1989.

[7] http://www.bioenergylists.org/stovesdoc/Adam/ContinuousCarbonizationSystem%20CCS_INTT_2.pdf

[8] http://www.igu.org/html/wgc2009/papers/docs/wgcFinal00123.pdf

[9] http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/5305/1/JSIR%2068(8)%20719-723.pdf

[10] http://www.indg.in/rural-energy/technologies-under-rural-energy/energy-efficiency/biomass-charcoal-briquetting