

การใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากวัชพืชและวัสดุที่เหลือใช้จากการทำนา
เป็นพลังงานทดแทนในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้าน

THE UTILIZATION OF FUEL BRIQUETTES FROM WEEDS AND RICE-FARM
WASTE FOR POTTERY PRODUCTION

วรพจน์ งามชมภู, ศิวดล กัญญาคำ, นนทพงษ์ พลพวง และนรภัทร น้อยหลุบเลา
Worapot Ngamchompoo, Siwadol Kunyakhum, Nontapong Polpong and Norapat Noilublao

อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
worapot_1@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัชพืช และวัสดุเหลือใช้จากการทำนา (แกลบและฟางข้าว) เพื่อนำมาใช้ทดลองเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทดแทนฟืนไม้ และทำการศึกษาต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ผลการศึกษา พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้งและแบบอัดเปียกที่อัตราส่วนผสมระหว่างวัชพืชและวัสดุเหลือใช้จากการทำนา 50 : 50 โดยน้ำหนัก มีค่าความร้อนสูงที่สุดคือ 3,245 แคลอรีต่อกรัม และ 3,012 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ และผลการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 2 แบบนี้มาทดลองใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทั้งแบบกลางแจ้งและเผาในเตาเผา เปรียบเทียบกับการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งซึ่งใช้เป็นตัวแทนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด พบว่า ในกรณีเผาแบบกลางแจ้ง การใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงที่สุด คือ 4.13 กิโลกรัมต่อชิ้น มีเปอร์เซ็นต์การเสียหายของผลิตภัณฑ์ 20% รองลงมาเป็นการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้งซึ่งมีอัตราการใช้เชื้อเพลิง 3.53 กิโลกรัมต่อชิ้น เปอร์เซ็นต์การเสียหายของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 6.66% และการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงพบว่ามีอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำที่สุดคือ 2.92 กิโลกรัมต่อชิ้น โดยผลิตภัณฑ์ไม่มีการเสียหายเลย ส่วนการเผาในเตาเผา พบว่า อัตราการใช้เชื้อเพลิงและเปอร์เซ็นต์การเสียหายของการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 แบบนี้มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการเผาแบบกลางแจ้ง ผลการศึกษาด้านต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้งพบว่ามีต้นทุนการผลิต 2.14 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าราคาถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งและไม้ฟืน

คำสำคัญ

เชื้อเพลิงอัดแท่ง, วัชพืช, วัสดุเหลือใช้จากการทำนา, เครื่องปั้นดินเผา

ABSTRACT

This research is to study the utilization of fuel briquettes made from the weed and rice-farm waste (rice husk and straw) for apply to fire pottery wares instead of using firewood, and also production cost assess of briquettes. The result of the study reveals that the dry densification fuel briquettes and wet densification fuel briquettes at the mixed ratio between the weed and rice-farm waste 50 : 50 by the weight, give the highest heating value at 3,245 and 3,012 cal/g respectively. Both types of fuel briquettes were used to fire pottery wares both open-air firing and firing in the pottery kiln compared with using the coconut shell charcoal briquettes, used as agent of fuel briquettes sold in the market. The finding is that; for open-air firing using the wet densification fuel briquettes has the most fuel consumption rate; 4.13 kg/piece and the damaged pottery wares is 20%. For using the dry densification fuel briquettes, the fuel consumption rate is 3.53 kg/piece while the damaged pottery ware is 6.66%. Another finding is that using the coconut shell charcoal briquettes has the least fuel consumption rate, 2.92 kg/piece with no ware damages. For firing in the pottery kiln, the fuel consumption rate and the damaged pottery wares for using the three types of the fuel briquettes was decreased compared to open-air firing. The result of economical investment study found that the production cost of dry densification fuel briquettes was 2.14 kg/baht. This production cost was lower than the cost of coconut shell charcoal briquettes and firewood.

Keywords

fuel briquettes, weed, rice-farm waste, pottery

บทนำ

เครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้านมีการผลิตกันอย่างแพร่หลายกระจายกันไปทั่วประเทศ เครื่องปั้นดินเผาที่ผลิตส่วนใหญ่จะเป็นประเภทไฟต่ำ การผลิตส่วนใหญ่ใช้ภูมิปัญญาชาวบ้านที่สืบทอดกันมาจากบรรพบุรุษ ซึ่งทำการผลิตเป็นอาชีพเสริมรายได้จากการทำเกษตรกรรม โดยเฉพาะการทำนาที่มีรายได้เพียงแค่นี้ปีละครั้ง โดยมีการจำหน่ายในท้องถิ่น หรือมีผู้มารับนำไปจำหน่ายต่อสถานที่ต่างๆ ขั้นตอนการผลิตภัณฑ์เป็นขั้นตอนที่สำคัญ

และใช้พลังงานมากที่สุด โดยมีทั้งการเผาในเตาเผาและในบางแห่งนั้นยังมีการใช้วิธีการเผา กลางแจ้ง เชื้อเพลิงที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นฟืนไม้ที่หาได้ในท้องถิ่น ซึ่งใช้ในปริมาณมาก ในการเผาแต่ละครั้ง และในปัจจุบันไม้ฟืนก็เริ่มลดน้อยลงและหายากยิ่งขึ้น โดยปัจจุบันเริ่ม มีการซื้อขายไม้ฟืนเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาแล้ว ทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งยังเป็นปัญหาในเรื่องการลักลอบตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่ทำให้ในปัจจุบันพื้นที่ป่า ไม้ของประเทศไทยลดลงเหลือเพียง 33% ในปี 2555 (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม, 2556)

จากสายพระเนตรที่ยาวไกลในเรื่องพลังงานทดแทนในปี พ.ศ. 2518 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงมีพระราชดำริให้นำกลับมาใช้จากการสี ข้าวของโรงสีตัวอย่างจากสวนจิตรลดามาใช้ประโยชน์ เช่น นำมาปรับปรุงดิน นำมาใช้ทำ เชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในโรงสีข้าว ต่อมาได้มีการพัฒนาและทดลอง อัดแท่งกับผักตบชวาและวัชพืชอื่นๆ ซึ่งพบว่าให้ค่าพลังงานความร้อนดีกว่าไม้ฟืนและ สามารถใช้ทดแทนกันได้ อีกทั้งยังเกิดควันน้อยกว่า ปัจจุบันได้มีนักวิจัยหลายคนได้นำแนว พระราชดำรินี้ไปขยายผลและพัฒนาต่อ อย่างเช่น ประลอง ดำรงไทย (2542) ได้ศึกษาการ ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขานอ้อยและขุยมะพร้าวเพื่อใช้ในการหุงต้มประกอบอาหาร ซึ่ง พบว่าสามารถใช้ทดแทนไม้ฟืนได้เป็นอย่างดี ประทีป ปิ่นท้วม (2538) ใช้เชื้อเพลิงที่เหลือทิ้ง หลังจากการเพาะเห็ดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ผลการศึกษาพบว่า มีค่าความร้อน ไกล่เคียงกับไม้ยูคาลิปตัส นอกจากนั้นยังมีอีกหลายงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการนำวัสดุ เหลือใช้จากการเกษตรหลากหลายชนิดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น เปลือกทุเรียน (ทองทิพย์ พูลเกษม, 2542) กะลามะพร้าว (ประสาน สถิตเรืองศักดิ์, 2546) กากชาเขียว (วนิดา จาดดำ, 2548) และกากกาแฟ (นพพร สุดใจธรรม, 2546) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีผู้ศึกษาการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นพลังงานทดแทนในการเผา ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาพื้นบ้าน

งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์ประสงค์ในการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ จากวัชพืชและวัสดุเหลือใช้จากการทำนา เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตเครื่องปั้นดินเผา พื้นบ้าน โดยผลการศึกษาที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการผลิต เครื่องปั้นดินเผาโดยใช้ประโยชน์จากวัชพืชและวัสดุเหลือใช้จากการทำนามีมากในท้องถิ่น รวมถึงการลดการตัดไม้ทำลายป่าได้อีกทางหนึ่ง

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ดำเนินการโดยมี 3 ขั้นตอนหลักๆ คือ 1) การหาอัตราส่วนผสมของ เชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมที่สุด 2) ศึกษาการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้มาทดลองใช้เผา

ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา 3) เปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1. การหาอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อวิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองเผาเครื่องปั้นดินเผา โดยพิจารณาจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

1.1 วัสดุในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) ประเภทวัชพืช ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนผสมของผักตบชวา หญ้า ใบไม้ โสน (ที่ผ่านการย่อยแล้วทั้งหมด) นำมาผสมเข้าด้วยกันในสัดส่วนที่เท่าๆกัน และ 2) วัสดุเหลือใช้จากการทำนา ซึ่งประกอบไปด้วยแกลบและฟางข้าวผสมเข้าด้วยกันในสัดส่วนที่เท่าๆกันเช่นกัน โดยในการศึกษานี้ใช้แบ่งเป็ยกเป็นตัวประสาน

1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

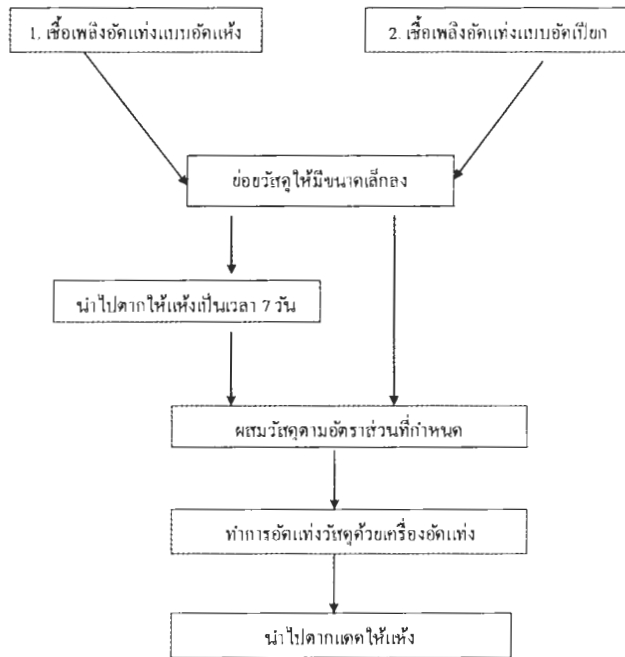
1) เครื่องย่อยวัชพืช เป็นเครื่องย่อยแบบใบมีดตัดโดยใส่วัสดุด้านบนและใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 เฟส 5 แรงม้า

2) เครื่องอัดแท่ง เป็นเครื่องอัดแท่งชนิดใช้เกลียวอัดและไม่ใช้ความร้อนช่วย โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 เฟส 5 แรงม้า

1.3 การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ในการทดลองผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจะทำการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่ง 2 แบบ คือ เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้งและเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียก

โดยในการอัดแท่งแบบเปียกนั้นวัสดุจะถูกอัดโดยไม่มีการตากแดดเพื่อลดความชื้น ส่วนการอัดแท่งแบบแห้งจะมีการตากวัสดุก่อนการอัดเป็นเวลา 7 วัน และในการอัดแท่งทั้งสองแบบนี้จะใช้แบ่งมันเป็นตัวประสานซึ่งทำการต้มให้สุกใสกลายเป็นแบ่งเปียกก่อนนำไปใช้งาน ขั้นตอนการผลิตแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตเชือกเพลิงอัดแท่ง

ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองอัดแท่งโดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างวัชพืชต่อวัสดุเหลือใช้จากการทำนาทั้งหมด 5 อัตราส่วนโดยน้ำหนักคือ 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 และ 50 : 50 โดยกำหนดสัดส่วนของตัวประสานคงที่ไว้ที่ 10% โดยน้ำหนักของวัสดุรวมทั้งหมด (วัชพืชรวมกับวัสดุเหลือใช้จากการทำนา) หลังจากนั้นนำเชือกเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้ไปลดความชื้นโดยการตากแดดเป็นเวลาทั้งหมด 7 วัน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนตามมาตรฐานของ ASTM E711-87

2. การศึกษาการใช้เชือกเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้มาทดลองใช้เผาเครื่องปั้นดินเผา ในขั้นตอนนี้ทำการทดลองใช้เชือกเพลิงอัดแท่งทั้งแบบอัดแห้งและแบบอัดเปียก ซึ่งมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนที่แล้ว เป็นเชือกเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา 3 ชนิด คือ แจก้น หม้อ และที่เขี่ยบุหรี่ อย่างละ 5 ใบ โดยทดลองเผา 2 แบบคือ เผาแบบกลางแจ้งและเผาในเตาเผา เปรียบเทียบกับถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งซึ่งเป็นตัวแทนของเชือกเพลิงอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

2.1 วัสดุในการทดลอง

ผลิตภัณฑ์หม้อ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยวิธีการตีขึ้นรูป โดยดินที่ใช้ในการขึ้นรูปมีการผสมดินหั่วเชื้อเพื่อให้เนื้อดินขยายตัวได้ดีในการรับความร้อนขณะเผาและยังทำ

ให้ผลิตภัณฑ์สุกเร็วขึ้นอีกด้วย ส่วนผลิตภัณฑ์แจกันและที่เขี่ยบุหรีเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดที่ทำการผลิตด้วยวิธีหล่อน้ำดิน โดยทำการหล่อนดินด้วยน้ำให้เหลวแล้วทำการเทลงไปในแม่พิมพ์ ซึ่งการผลิตจะแตกต่างกับผลิตภัณฑ์หม้อเพราะไม่มีการผสมดินหัวเชื้อช่วยในการเผา ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองเผาแสดงได้ดังภาพที่ 2



ก)



ข)



ค)

ภาพที่ 2 ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองเผา ก) หม้อ ข) แจกัน ค) ที่เขี่ยบุหรี

2.2 วิธีการทดลอง

การทดลองเผาเครื่องปั้นดินเผาจะทำการเผา 2 แบบ คือ เผาแบบกลางแจ้ง และเผาในเตาเผา โดยทำการเก็บข้อมูลผลการทดลองในส่วนของอัตราการใช้เชื้อเพลิงและอัตราการเสียหายของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการทดลองเผาแบบกลางแจ้งเป็นการเผาในที่โล่งอากาศถ่ายเทได้ดี โดยทำการเรียงเชื้อเพลิงอัดแท่งไว้ด้านล่างที่มีเสาหินรองรับ เพื่อให้อากาศเข้าได้โดยวางผลิตภัณฑ์ไว้บนเชื้อเพลิงอัดแท่ง และทำการเผาโดยอาศัยซี่เหล็กของฟางช่วยอบให้ความร้อนด้านข้างมีอุณหภูมิสูงอยู่เสมอ การเผาแบบนี้สามารถเผาได้ในปริมาณที่มากต่อครั้ง ส่วนการเผาในเตาเผา เตาที่ใช้ในการทดลองเป็นเตาเผาอย่างง่ายที่ชาวบ้านทำขึ้นเอง ซึ่งทำจาก อิฐแดงก่อแล้วใช้ดินโคลนปั้นให้เป็นรูปเตามีลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 1 x 1.5 เมตร และมีช่องอากาศอยู่ด้านหน้า ซึ่งลักษณะการเผาแบบกลางแจ้งและเตาเผาแสดงได้ดังภาพที่ 3 โดยการทดลองนี้ได้ดำเนินการที่กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาบ้านหม้อ ต.เขวา อ.เมือง จ.มหาสารคาม



ก)



ข)

ภาพที่ 3 ก) ลักษณะการเผาแบบกลางแจ้ง ข) ลักษณะของเตาเผาที่ใช้ทดลอง

3. การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนของการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาเครื่องปั้นดินเผา โดยพิจารณาจากต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเปรียบเทียบกับราคาเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. ผลการหาอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมที่สุด

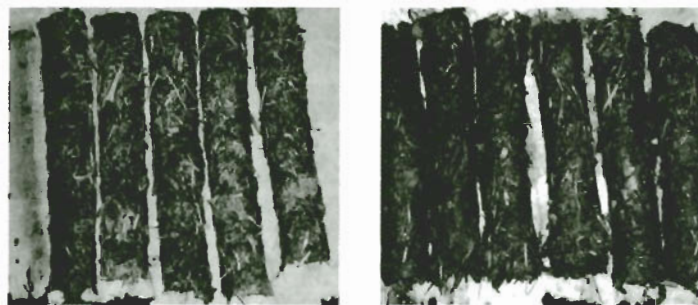
ผลการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ระหว่างวัชพืชต่อวัสดุเหลือใช้จากการทำนาซึ่งได้ทำการตากแห้งเป็นเวลา 7 วัน มาทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนตามมาตรฐานของ ASTM E711-87 แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบต่างๆ

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (วัชพืช : วัสดุเหลือใช้จากการทำนา)	ค่าความร้อน (cal/g)	
	เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้ง	เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียก
90 : 10	2,982	2,901
80 : 20	2,954	2,964
70 : 30	3,011	2,834
60 : 40	3,232	2,945
50 : 50	3,245	3,012

จากตารางนี้จะเห็นได้ว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้งจะมีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 2,982-3,245 cal/g โดยอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด คือ 50 : 50 โดยน้ำหนักซึ่งมี

ปริมาณค่าความร้อนเท่ากับ 3,245 cal/g รองลงมาได้แก่ 60 : 40, 70 : 30, 90 : 10, และ 80 : 20 ซึ่งมีค่าความร้อน 3,232 3,011 2,982 และ 2,954 cal/g ตามลำดับ ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุเหลือใช้จากการทำนา (แกลบและฟางข้าว) มีค่าความร้อนสูงกว่าวัชพืช เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนของวัสดุเหลือใช้จากการทำนาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ต้องการเน้นการใช้วัชพืชเป็นวัสดุ เนื่องจากหาได้ง่ายในท้องถิ่นและมีมูลค่าน้อยกว่าแกลบและฟางข้าวเมื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น ในส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกผลการทดลองพบว่ามีความร้อนอยู่ระหว่าง 2,901 – 3,012 cal/g โดยอัตราส่วนที่ให้ค่าความร้อนสูงสุด คือ 50 : 50 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณค่าความร้อนเท่ากับ 3,012 cal/g รองลงมาได้แก่ 80 : 20, 60 : 40, 90 : 10, และ 70 : 30 ซึ่งมีค่าความร้อน 2,964 2,945 2,901 และ 2,834 cal/g ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้งให้ปริมาณความร้อนมากกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกเกือบทุกอัตราส่วน ยกเว้นอัตราส่วนที่ 80 : 20 ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกจะให้ค่าปริมาณความร้อนที่มากกว่า เนื่องจากในงานวิจัยนี้พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกมีปริมาณความชื้นสูงกว่าแบบอัดแห้ง ซึ่งความชื้นมีผลต่อการลดลงของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากผลการศึกษาดังที่กล่าวมานี้ ได้เลือกอัตราส่วนผสมระหว่างวัชพืชต่อวัสดุเหลือใช้จากการทำนาที่อัตราส่วน 50 : 50 โดยน้ำหนัก ทั้งแบบอัดแห้งและแบบอัดเปียกในการใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อใช้ในการทดลองเผาเครื่องปั้นดินเผา เนื่องจากว่ามีค่าความร้อนสูงสุดในแต่ละอัตราส่วนคือ 3,245 cal/g และ 3,012 cal/g ตามลำดับ โดยลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนการตากแดด แสดงได้ดังภาพที่ 4 และจากผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ศึกษานี้กับเชื้อเพลิงอัดแท่งของผู้วิจัยท่านอื่นๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่าสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้เช่นเดียวกัน



ก)

ข)

ภาพที่ 4 ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนการตากแดด ก) แบบอัดแห้ง ข) แบบอัดเปียก

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ศึกษากับงานวิจัยอื่นๆ

เชื้อเพลิงอัดแท่ง	ค่าความร้อน (cal/g)
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแท่ง (50 : 50 โดยน้ำหนัก)	3,245
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียก (50 : 50 โดยน้ำหนัก)	3,012
ถ่านหุงต้มทั่วไป ^(a)	5,333
เชื้อเพลิงอัดแท่งเศษกระดาษผสมเศษใบไม้ (50 : 50 โดยน้ำหนัก) ^(a)	3,518
เชื้อเพลิงอัดแท่งรูปฤาษี (อัตราส่วน 1 : 3.2) ^(b)	4,073
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านกะลาปาล์มที่คัดขนาด ^(a)	5,211
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านกะลาปาล์มที่ไม่คัดขนาด ^(a)	5,710
ขี้เลื่อยอัดแท่งผสมผักตบชวา ^(a)	3,364
สวะอัดแท่ง ^(a)	3,571

ที่มา: อรรถกร ฤกษ์วีรี (2549)^(a) ; สุวิมล กฤษณะสุวรรณ (2543)^(b)

2. ผลการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้มาทดลองใช้เผาเครื่องปั้นดินเผา

2.1 ผลการทดลองใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแบบกลางแจ้ง

ผลการทดลองใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนผสม 50 : 50 โดยน้ำหนัก (อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดจากผลการศึกษาในหัวข้อ 1) ทั้งแบบอัดเปียกและแบบอัดแท่ง มาทดลองเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแบบกลางแจ้ง เปรียบเทียบกับการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งแสดงได้ดังตารางที่ 3 จากตารางนี้ พบว่า การใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงมากที่สุดคือ 4.13 กิโลกรัมต่อชิ้น รองลงมาคือการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแท่งและการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง ซึ่งมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 3.53 กิโลกรัมต่อชิ้น และ 2.23 กิโลกรัมต่อชิ้น ตามลำดับ เนื่องจากว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกมีค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแท่งและถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง (จากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อ 1) จึงมีผลทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงที่สุด ส่วนการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำที่สุด เนื่องจากถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งมีค่าความร้อนสูงที่สุดในจำนวนเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมดที่ทดลอง แต่อย่างไรก็ตาม ราคาถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งมีราคา

อยู่ที่ 15 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับราคาไม้พืนที่อยู่ 3 บาทต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาที่ได้หลังการทดลองเผา พบว่า การใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกเป็นเชื้อเพลิงมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่เสียหายมากที่สุด ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเสียหายเท่ากับ 20% รองลงมาคือการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้งซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การเสียหายเท่ากับ 6.66% ส่วนการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งพบว่าไม่มีผลิตภัณฑ์ที่เสียหาย

ตารางที่ 3 ผลการทดลองเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาแบบกลางแจ้ง

ชนิดเชื้อเพลิง	ผลการทดลอง						เปอร์เซ็นต์การเสียหาย (%)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อชิ้น)
	เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (กิโลกรัม)	จำนวนผลิตภัณฑ์ (ชิ้น)	ผลิตภัณฑ์ที่เสียหาย (ชิ้น)				
				แจกัน	ที่เขี่ยบุหรี่	หม้อ		
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้ง	210	53	15	1	-	-	6.66	3.53
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียก	258	62	15	2	1	-	20	4.13
ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง	156	33.5	15	-	-	-	-	2.23

2.2 ผลการทดลองใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาในเตาเผา

ผลการเก็บข้อมูลการทดลองใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งมาทดลองเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาในเตาเผาแสดงได้ดังตารางที่ 4 พบว่า ลักษณะการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบต่างๆ คล้ายกันกับการเผาแบบกลางแจ้ง กล่าวคือ การใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงที่สุด (3.66 กิโลกรัมต่อชิ้น) รองลงมาคือเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้ง (3.06 กิโลกรัมต่อชิ้น) และถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง (1.90 กิโลกรัมต่อชิ้น) เมื่อเปรียบเทียบกับ การเผาแบบกลางแจ้ง พบว่า อัตราการใช้เชื้อเพลิงของการเผาในเตาเผานี้มีค่าต่ำกว่า เนื่องจากว่าลักษณะการเผาในเตาเผามีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่า การเผาแบบกลางแจ้ง รวมถึงอุณหภูมิในการเผามีความสม่ำเสมอว่า ดังนั้น จึงทำให้ใช้ปริมาณเชื้อเพลิงน้อยกว่าการเผาแบบกลางแจ้ง แต่ข้อจำกัดของการเผาในเตาเผาคือเผาผลิตภัณฑ์ต่อครั้งได้ในปริมาณที่น้อยกว่าการเผาแบบกลางแจ้ง



ผลการเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์หลังการเผาโดยใช้เตาเผาพบว่า ยังเป็นการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกเป็นเชื้อเพลิงที่มีเปอร์เซ็นต์การเสียหายสูงที่สุดคือ 13.33% แต่จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเสียหายมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาแบบกลางแจ้ง และผลการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้งเป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลิตภัณฑ์พบว่าไม่มีผลิตภัณฑ์ที่เสียหาย ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลที่ได้นี้แตกต่างกับการเผาแบบกลางแจ้งซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การเสียหายอยู่ที่ 6.66% ส่วนการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งพบว่าไม่มีผลิตภัณฑ์ที่เสียหาย

ตารางที่ 4 ผลการทดลองเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาในเตาเผา

ชนิดเชื้อเพลิง	ผลการทดลอง						เปอร์เซ็นต์การเสียหาย (%)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อชิ้น)
	เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (กิโลกรัม)	จำนวนผลิตภัณฑ์ (ชิ้น)	ผลิตภัณฑ์ที่เสียหาย (ชิ้น)				
				แตก	ที่เขี้ยวบุหรี	หม้อ		
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้ง	186	46	15	-	-	-	-	3.06
เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียก	240	55	15	1	1	-	13.33	3.66
ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง	126	28.5	15	-	-	-	-	1.90

3. ผลการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

การศึกษาต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจะพิจารณาเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้ง (ที่อัตราส่วน 50 : 50) เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงกว่าแบบอัดเปียก และจากการทดลองนำไปใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การเสียหายและอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียก ผลการศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

3.1 เงื่อนไขเบื้องต้นในการศึกษา

- 1) ดำเนินการผลิต 300 วันต่อปี
- 2) ดำเนินการผลิต 7 ชั่วโมงต่อวัน
- 3) กำลังการผลิต 442.75 กิโลกรัมต่อวัน
- 4) กำลังการผลิตต่อปี = 300 วัน × 442.75 กิโลกรัมต่อวัน = 132,825

กิโลกรัมต่อปี

- 5) จ้างคนงาน 1 คน ค่าแรงขั้นต่ำวันละ 300 บาท
- 6) เงินลงทุนกู้ยืมจากธนาคารโดยมีดอกเบี้ย MRR 7.45% ต่อปี

(ธ.กรุงไทย) อายุโครงการ 5 ปี

7) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือ แกลบ ฟางข้าว ได้จากผลผลิตที่เหลือจากการทำนา ส่วนวัชพืชหาได้จากแหล่งธรรมชาติไม่ต้องจัดซื้อ

8) เงินลงทุนในการจัดซื้อเครื่องอัดแท่ง เครื่องย่อยวัชพืช ค่าสร้างโรงเรือนในการผลิต คิดเป็นเงิน 241,500 บาท

3.2 ต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

โครงการนี้พิจารณาในกรณีกู้ยืมเงินลงทุนมาจากธนาคาร ดังนั้น ต้นทุนคงที่ประกอบไปด้วยดอกเบี้ยพร้อมเงินต้นกู้ยืมที่จะต้องผ่อนคืนให้ธนาคารต่อปีและค่าเสื่อมราคาต่อปี โดยรายละเอียดของต้นทุนคงที่ ต้นทุนผันแปร ต้นทุนการผลิตรวมต่อปี และต้นทุนต่อกิโลกรัมในการผลิตของเชื้อเพลิงอัดแท่งแสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

รายการ	จำนวนเงิน (บาท/ปี)	หมายเหตุ
ต้นทุนคงที่		
1. ดอกเบี้ยพร้อมเงินต้นกู้ยืมที่จะต้องผ่อนคืนให้ธนาคาร (MRR 7.45%ต่อปี)	51,865	$A = P (CRF, 7.45\%, 5 \text{ ปี})$ $= 241,500 \text{ บาท} \times 0.214763$
2. ค่าเสื่อมราคา	24,150	คิด 10% ของค่าเครื่องจักรและโรงเรือน
รวมต้นทุนคงที่	76,015	
ต้นทุนผันแปร		
1. ค่าแบ่งมันสำปะหลัง	19,921	$[(442.7 \text{ กิโลกรัมต่อวัน} \times 10\% \times 300 \text{ วัน}) / 8 \text{ กิโลกรัม}] \times 12 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}$
2. ค่าไฟฟ้าเครื่องอัดแท่ง	23,160	$(442.7 \text{ กิโลกรัมต่อวัน} \times 300 \text{ วัน} \times 0.072 \text{ KWhต่อกิโลกรัม}) \times 2 \text{ บาทต่อKWh}$
3. ค่าไฟฟ้าเครื่องย่อยวัชพืช	11,258	$(442.7 \text{ กิโลกรัมต่อวัน} \times 300 \text{ วัน} \times 0.035 \text{ KWhต่อกิโลกรัม}) \times 2.422 \text{ บาทต่อKWh}$
4. ค่าแรงงาน	90,000	$300 \text{ วัน} \times 300 \text{ บาทต่อวัน} \times 1 \text{ คน}$
5. ค่าบำรุงรักษา	2,415	คิด 10% ของค่าเสื่อมราคา
6. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	8,500	
รวมต้นทุนผันแปร	179,254	
ต้นทุนการผลิตรวมต่อปี	255,269	รวมต้นทุนคงที่ + รวมต้นทุนแปรผัน
ต้นทุนต่อกิโลกรัม	2.14 บาท/ กิโลกรัม	ต้นทุนการผลิตรวมต่อปี/กำลังการผลิตต่อปี



เมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งกับราคาถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งและฟืนไม้ ซึ่งแสดงในตารางที่ 6 จะเห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ศึกษานี้มีราคาต่ำกว่าทั้งถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งและฟืนไม้ โดยยังเป็นการใช้วัสดุให้เกิดประโยชน์ นอกเหนือจากการเผาทำลายและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดการใช้ไม้ฟืนลงได้

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ศึกษากับราคาถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งและฟืนไม้

เชื้อเพลิง	ราคา	ค่าความร้อน (cal./g)
เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ศึกษา	2.14 บาท/kg	3,245
ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่ง ^(a)	15 บาท/kg	6,720
ฟืนไม้ (ยูคาลิปตัส) ^(b)	3 บาท/kg	4,232

ที่มา: วิสาหกิจชุมชนแม่กลองถ่านอัดแท่งไทย^(a) กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาบ้านหม้อ ต.เขวา อ.เมือง จ.มหาสารคาม^(b)

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุฟืนและวัสดุที่เหลือใช้จากการทำนาทั้งหมด 5 อัตราส่วน คือ 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 และ 50 : 50 โดยน้ำหนัก และใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของวัสดุรวมทั้งหมด พบว่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งแบบอัดแท่งและแบบอัดเปียก ที่อัตราส่วน 50 : 50 มีค่าความร้อนสูงที่สุด คือ 3,245 cal/g และ 3,012 cal/g ตามลำดับ ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในการทดลองเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา

จากการทดลองเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาทั้งแบบกลางแจ้งและเผาในเตาเผาโดยใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งแบบอัดแท่งและแบบอัดเปียกที่อัตราส่วน 50 : 50 เปรียบเทียบกับการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งซึ่งเป็นตัวแทนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด พบว่า ในกรณีเผาแบบกลางแจ้ง การใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงที่สุด คือ 4.13 กิโลกรัมต่อชิ้น มีเปอร์เซ็นต์การเสียหายของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 20% รองลงมาเป็นการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแท่งซึ่งมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 3.53 กิโลกรัมต่อชิ้น เปอร์เซ็นต์การเสียหายของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 6.66% และการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงพบว่ามีอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำที่สุด คือ 2.923 กิโลกรัม

ต่อขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ไม่มีการแตกร้าวเสียหายเลย ส่วนกรณีเผาในเตาเผา พบว่า อัตราการใช้เชื้อเพลิงและเปอร์เซ็นต์การเสียหายของผลิตภัณฑ์ของการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 3 แบบนี้มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การเผาแบบกลางแจ้ง โดยการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดเปียกมีอัตราการการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 3.66 กิโลกรัมต่อขึ้น มีเปอร์เซ็นต์การเสียหายของผลิตภัณฑ์ 13.33% และการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบอัดแห้งมีอัตราการการใช้เชื้อเพลิงอยู่ที่ 3.06 กิโลกรัมต่อขึ้น และไม่พบผลิตภัณฑ์ที่เสียหาย ส่วนการใช้ถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงมีอัตราการการใช้เชื้อเพลิงเท่ากับ 1.90 กิโลกรัมต่อขึ้น โดยไม่พบผลิตภัณฑ์ที่เสียหายเช่นกัน

จากการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งกับราคาเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ศึกษามีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 2.14 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าราคาของถ่านกะลามะพร้าวอัดแท่งและฟืนไม้ นอกจากนี้การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งยังเป็นการใช้วัชพืชและวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตรให้เกิดประโยชน์นอกเหนือจากการเผาทำลาย และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการลดการใช้ไม้ฟืนลงได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (ทุนวิจัยนวัตกรรมด้านพลังงานทดแทน ประจำปี 2552) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณ กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาบ้านหม้อ ต.เขาว อ.เมือง จ.มหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ในการทดลองเผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา และขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือในการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2556). รายงานการสำรวจพื้นที่ป่าไม้ ปี 2555. กรุงเทพฯ: ศูนย์สารสนเทศ กรมป่าไม้.
- ทองทิพย์ พูลเกษม. (2542). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นพพร สุดใจธรรม. (2546). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อการพัฒนาทรัพยากร มหาวิทยาลัยมหิดล



- ประลอง ดำรงค์ไทย, (2542). แท่งเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อทดแทนฟืนและถ่าน. วารสารวนสาร, 57(1), 53-60.
- ประสาน สถิตเรืองศักดิ์. (2546). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากชีวมวลโดยกระบวนการเอ็กซ์ทรูชัน. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วนิดา จาดดำ. (2548). การศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกากชาเขียวที่ผลิตโดยเครื่องอัดแบบเกลียว. ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประทีป ปิ่นท้วม, (2538). การศึกษาการนำซีลีเยอที่เหลือทิ้งหลังจากการเพาะเห็ดมาใช้ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สุวิมล กฤษณะสุวรรณ. (2543). รายงานสัมมนาปัญหาพิเศษ เรื่อง การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากต้นธูปฤาษี. ปทุมธานี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- อรรถกร ฤกษ์วีรี. (2549). เชื้อเพลิงแข็งจากขยะมูลฝอยชุมชนอัดแท่ง. ปรินญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย