

สมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้ข้าวโพดและกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพลาสติก

Properties of Fuel Briquette from Corn Cob and Plastic Industry Sludge

ศุภกร เชื้ออำ (Supakorn Chua-am)* ศิริินทร์ ทองแสง (Sirinthorn Thongsang)**

แววบุญ แยมแสงสังข์ (Weawboon Yamsangsung) ***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากตะกอนน้ำเสียกับขี้ข้าวโพดในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างขี้ข้าวโพด กากขี้ข้าวโพดและกากตะกอนจากอุตสาหกรรมพลาสติก เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตต่อหน่วยในการผลิต และศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้งานต่อสมรรถนะของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ผลการวิจัยพบว่า การทดสอบทางด้านสมบัติทางกายภาพ คือ กรณีแบบเติมผงถ่านร้อยละ 10 ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนของกากตะกอนต่อขี้ข้าวโพด 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6 สามารถอัดเป็นแท่ง และ กรณีแบบไม่เติมผงถ่าน การศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนของกากตะกอนต่อขี้ข้าวโพด 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 สามารถอัดเป็นแท่ง การทดสอบสมบัติของถ่านอัดแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ประสิทธิภาพของค่าความร้อนสูงสุดที่ 3770 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ในอัตราส่วนที่ 4:6 ขนาดผ่านศูนย์กลางที่ 25 มิลลิเมตรต่อความยาว 70 มิลลิเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของขี้ข้าวโพดบนต้นทุนต่อหน่วยการผลิตจะเพิ่มขึ้นตามโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 9.393-9.408 บาทต่อกิโลกรัม ผลจากการประเมินความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ใช้งานด้านผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ให้ความร้อนได้ดีอยู่ในระดับมากที่สุด คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.80 และด้านราคาเหมาะสมกับรูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ในระดับมากที่สุดคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.20 จากคะแนนเต็ม 5.00

ABSTRACT

The purpose of this study was to study the properties of fuel briquette between the sludge and the corn cob in forming as a stoker fuel. To determine the optimal ratio between the corn cob and sludge from the plastics industry for the production of fuel briquette. To study the cost of production per unit of rod production. To study the opinions of experts and users on the performance of fuel briquettes. The results of this research are as follows: For charcoal formulation, the results showed that the ratio 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6 can be pressed into bars of fuel briquette. For non-charcoal formulation the ration 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 can be pressed into bars of fuel briquette. Testing the properties of the fuel briquettes the highest thermal efficiency was 3770 kilocalories per kilogram. The ratio of the fuel briquette was 4:6, 25 mm. in diameter and 70 mm. in length. (3) When increasing the amount of corn cobs, the cost per unit of production will increase by 9.393-9.408 baht / kg on average. The results of the evaluation of user's opinions and suggestions on the products are at the highest level. The average price was 4.80 and the price was very high with the average of 4.20 from the total score of 5.00.

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง ขี้ข้าวโพด กากขี้ข้าวโพด

Keywords: Fuel rods, Corn cobs, Fuel briquette

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*** อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

บทนำ

ปัจจุบันกากตะกอนในโรงงานอุตสาหกรรมยังเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายในประเทศไทยอย่างต่อเนื่องจากข้อมูลกากอุตสาหกรรม ปี 2549-2551 พบว่าการนำกากตะกอนของเสียไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบประมาณ 7-10 % ในขณะที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ส่งเสริมการนำของเสียจากกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆอย่างต่อเนื่อง แต่พบว่ายังมีปริมาณกากตะกอนของเสียกว่าล้านตันที่ยังมีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ ประกอบกับภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรในประเทศไทย จะมีเศษวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่เพาะปลูกเป็นจำนวนมาก เช่น ต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการเผาทำลาย ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพอากาศที่ไม่ได้มาตรฐาน อีกทั้งประเทศไทยกำลังได้รับผลกระทบจากปัญหาการขาดแคลนพลังงานภายในประเทศอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการขาดแคลนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้มแทนการใช้ฟืนจากไม้แทนถ่านและกาซหุงต้ม ส่งผลให้มีการนำเข้าเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศซึ่งมีสูงถึงร้อยละ 30 ของปริมาณความต้องการใช้กาซหุงต้มทั้งหมดของประเทศไทย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำกากตะกอนน้ำเสียมาผสมกับชังข้าวโพดและผงถ่านจากชังข้าวโพดเพื่อขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียอีกทางหนึ่ง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงแท่งระหว่างกากตะกอนน้ำเสียกับชังข้าวโพด
2. เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างชังข้าวโพด ถ่านชังข้าวโพดและกากตะกอนในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงแท่ง
3. เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตต่อหน่วยในการผลิตเชื้อเพลิงแท่ง
4. เพื่อศึกษาประเมินความคิดเห็นของผู้ใช้งานต่อสมรรถนะของเชื้อเพลิงแท่งที่เหมาะสม

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ นำกากตะกอนน้ำเสียชีวภาพของโรงงานผลิตพลาสติกมาผสมกับชีวมวล ชังข้าวโพด ที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 เติมน้ำหนัก (กรัม) โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ตอนที่ 1 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่น การทดสอบความหนาแน่น ทดสอบความทนแรงอัด ทดสอบดัชนีการแตกร่วน ทดสอบความต้านทานการดูดซึมน้ำ ของสมบัติกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบไม่เติมผงถ่านและสมบัติกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเติมผงถ่าน โดยเติมผงถ่านร้อยละ 10 เท่ากันในทุกสัดส่วน

ตอนที่ 2 ทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง คือ การหาค่าความร้อน การหาค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว การหาค่าปริมาณเถ้า การหาค่าปริมาณสารระเหย การหาค่าปริมาณความชื้น ของเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเติมผงถ่าน

ตอนที่ 3 การศึกษาต้นทุนการผลิตต่อหน่วย ดังนี้ คือ การวิเคราะห์ต้นทุนคงที่ เช่น ค่าเครื่องจักรในการผลิต การวิเคราะห์ต้นทุนแปรผันของสาธารณูปโภคต่างๆ เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ การวิเคราะห์หาต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วยการผลิตของกากตะกอนและชังข้าวโพดรวมถึงการวิเคราะห์ค่าแรงต่อกำลังการผลิตต่อวัน/ปีตามแต่ละอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ตอนที่ 4 การศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้งาน ซึ่งแบ่งแยกระดับความพึงพอใจออกเป็น 5 ระดับ โดยจะประเมิน 2 ด้าน คือ ความพึงพอใจด้านผลิตภัณฑ์และด้านราคาของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1. ชั่งข้าวโพด วิธีการเตรียมชั่งข้าวโพด โดยการนำชั่งข้าวโพดมาเข้าเครื่องบดละเอียดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ ซึ่งจะได้อะไหล่ข้าวโพดที่เป็นผงละเอียดขนาดเล็กละเอียดเหมาะกับการนำไปผสมกับกากตะกอนน้ำเสีย
2. ถ่านชั่งข้าวโพด นำชั่งข้าวโพดมาเผาเป็นเวลาประมาณ 5-8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 120 องศาเซลเซียส ปิดฝาด้วยดินเหนียวทิ้งไว้ 4-5 ชั่วโมงจนเตาเย็นลงแล้วจึงนำถ่านชั่งข้าวโพดออกมาได้จากนั้นนำมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดมอเตอร์ไฟฟ้า นำมาร่อนด้วยตะแกรงลวดอีกครั้งได้ขนาดเท่ากับ 0.9 มิลลิเมตร
3. กากตะกอน ทำหน้าที่เป็นตัวประสานกับชีวมวล ทำโดยการนำกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานพลาสติก ที่ผ่านการบำบัดแบบชีวภาพ โดยนำมาจากลานตากตะกอนหลังจากผ่านการบำบัดโดยเครื่องรีดตะกอน (Filter Press) มาตากแห้ง 2-3 วันเพื่อให้ความชื้นและสารระเหยออกไปโดยเกลี่ยตะกอนให้กระจายทั่วพื้นลานตากแดด และนำมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดมอเตอร์ไฟฟ้าให้เป็นผงละเอียดขนาดเล็กละเอียดเท่ากับ 0.297 มิลลิเมตร

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบลูกสูบแบบอัดเย็น (Piston press) อัดเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้แรงกดดันไฮดรอลิกที่ 1.5 ตัน ที่น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 35 กรัมต่อแท่ง ก้อนเชื้อเพลิงที่ได้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ 25 มิลลิเมตร สูง 70 มิลลิเมตร
2. เครื่องบดไฟฟ้า เป็นเครื่องบดชนิดมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก เป็นเครื่องชั่งละเอียดสเกลระหว่าง 0 - 0.5 กิโลกรัม
4. เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter Gross Calorimeter ASTM D 5865 ใช้หาค่าความร้อน โดยนำตัวอย่างของสารมาทำการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในเครื่อง Bomb ที่มีออกซิเจนอยู่ปริมาณมากเกินพอ
5. เครื่อง Macro Thermo gravimetric Analyzer ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน Proximate Analysis ตามมาตรฐาน ASTM D 7582-15 ใช้หาค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว หาค่าปริมาณเถ้า หาค่าปริมาณสารระเหย และ หาค่าปริมาณความชื้น
6. การทดสอบความหนาแน่น ทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดเชื้อเพลิงอัดแท่ง แล้วคำนวณตามสูตรความหนาแน่นของวัตถุ = มวล ÷ ปริมาตร
7. การทดสอบดัชนีการแตกร่วน ทำการปล่อยเชื้อเพลิงอัดแท่งตกลงมากระทบพื้นในระบะความสูง 1 เมตร แล้วคำนวณตามสูตร ดัชนีการแตกร่วน = การชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อน - ชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลัง
8. การทดสอบความต้านทานการดูดซึมน้ำ น้ำในเวลา 0.5 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนักก่อนและหลังของเชื้อเพลิงอัดแท่งแล้วคำนวณตามสูตร เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ $W-W_s \times 100$

Ws

เมื่อ Ws = น้ำหนักอบแห้ง(กรัม)

เมื่อ W = น้ำหนักแท่งถ่านหลังจากแช่น้ำ ½ ชั่วโมง

9. ความทนแรงอัดใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกเพื่อใช้ในการกดอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง แล้วคำนวณตามสูตรน้ำหนักที่ตกลงแท่งถ่าน (kg) หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของเชื้อเพลิงอัดแท่งถ่านทั้ง 2 ด้าน

ผลการวิจัย

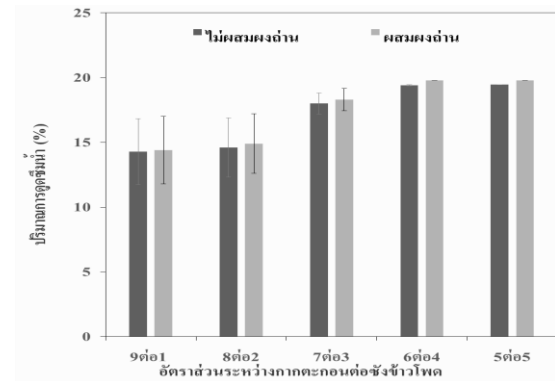
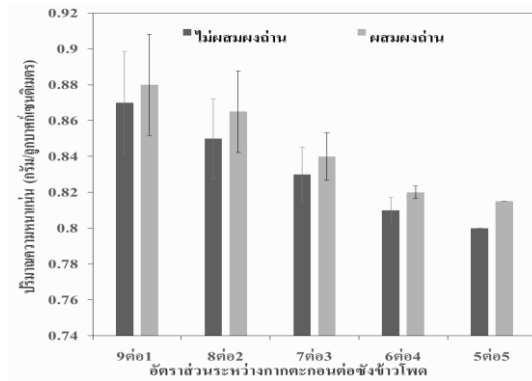
ตอนที่ 1 ทดสอบสมบัติกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ผลการศึกษาการขึ้นรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนต่อขี้ข้าวโพดบด ของเชื้อเพลิงอัดแท่ง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สัดส่วน	เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบไม่เติมผงถ่าน	สัดส่วน	เชื้อเพลิงอัดแท่งแบบเติมผงถ่าน
	ลักษณะที่ปรากฏ		ลักษณะที่ปรากฏ
9:1	ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี	9:1	ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี
8:2	ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี	8:2	ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี
7:3	ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี	7:3	ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี
6:4	ผิวเริ่มขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี	6:4	ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี
5:5	ผิวเริ่มขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี	5:5	ผิวเริ่มขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี
4:6	ไม่สามารถอัดแท่งได้	4:6	ผิวเริ่มขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี

จากผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนของกากตะกอนต่อขี้ข้าวโพดส่งผลต่อสมบัติกายภาพและลักษณะรูปร่างของเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ สัดส่วนของกากตะกอนมากกว่าขี้ข้าวโพดจะมีลักษณะที่มีความหนาแน่น ดัชนีการแตกร่วน ความต้านทานการดูดซึมของน้ำ จะมีค่าเฉลี่ยที่ดีกว่า โดยข้อมูลจากการทดสอบความหนาแน่น วัดค่าได้อยู่ระหว่าง 0.87-0.88 (g/cm³) ทุกๆอัตราส่วน ค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.5-1.0 (g/cm³) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.238/2557) การทดสอบความต้านทานการดูดซึมน้ำ วัดค่าได้อยู่ระหว่าง 10-17 % ค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 10-17 % ตามมอก. 77-2531 และ มอก 77-2554 การทดสอบดัชนีการแตกร่วน วัดค่าได้อยู่ระหว่าง 0.50-1.0 ค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.20-1.0 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.238/2557) ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าตัวประสานที่เป็นกากตะกอนมีอนุภาคความหนาแน่นที่ดีกว่าขี้ข้าวโพดและลักษณะการคงรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่งในอัตราส่วนของกากตะกอนที่มีมากกว่าขี้ข้าวโพดเมื่ออัดแท่งแล้วผิวจะเรียบอัดแท่งได้ดีกว่า

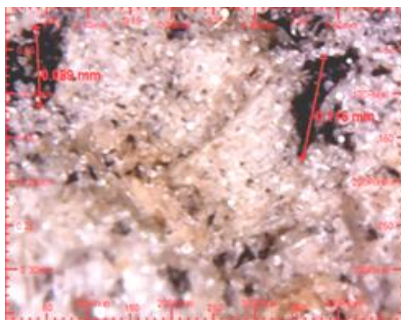
ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนต่อขี้ข้าวโพดบด ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 แสดงในภาพที่ 1 จากผลการทดสอบพบว่า ปริมาณความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ระหว่าง 0.87-0.88 (g/cm³) โดยใช้การอัดเย็นแรงกดของกระบอกอัดไฮดรอลิกที่ 1.5 ตัน ซึ่งเป็นสภาวะที่พอเพียงในการอัดแท่งเชื้อเพลิงซึ่งสามารถประสานกันได้ดี เพราะการอัดเชื้อเพลิงชนิดอัดเย็นโดยความชื้นที่ 50-60 % เนื่องจากกากตะกอนผสมกับน้ำจะมีความหนืดค่อนข้างสูงจึงทำให้ขี้ข้าวโพดเกาะตัวได้ดี



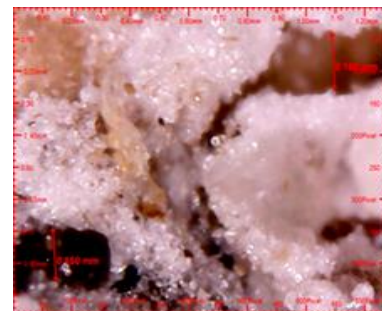
ภาพที่ 1 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัด
แท่งกากตะกอนน้ำเสียผสมขี้ขาวโอบด

ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของเชื้อเพลิง
อัดแท่งกากตะกอนน้ำเสียผสมขี้ขาวโอบด

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดซึมน้ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนต่อขี้ขาวโอบด ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนที่ 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 แสดงในภาพที่ 2 จากการทดสอบพบว่าเมื่อสัดส่วนของกากตะกอนที่เป็นตัวประสานที่ลดลงจะมีค่าการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงแสดงว่าโครงสร้างของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีรูพรุนมากในขณะที่เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีการอัดตัวแน่นจะมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำและจะมีความแข็งแรงสูง โดยรูพรุนในเชื้อเพลิงอัดแท่งแสดงในภาพที่ 3



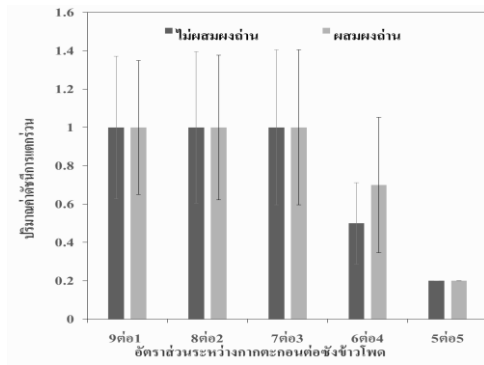
ก) รูพรุนในก้อนเชื้อเพลิงที่มีปริมาณกากตะกอนมาก
เฉลี่ยที่ 0.089-0.0116 mm.



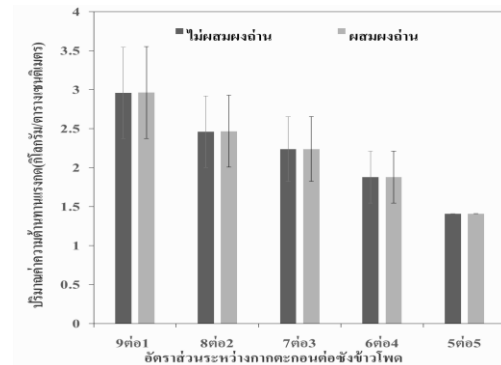
ข) รูพรุนในก้อนเชื้อเพลิงที่มีปริมาณกากตะกอนน้อย
เฉลี่ยที่ 0.15-0.16 mm

ภาพที่ 3 แสดงรูพรุนในก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากตะกอนต่อขี้ขาวโอบดของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 แสดงในภาพที่ 4 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อสัดส่วนในการใช้กากตะกอนที่เป็นตัวประสานเพิ่มขึ้นส่งผลให้ดัชนีการแตกร่วนจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 1, 1, 1, 0.5 และ 0.2 ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีอัตราส่วนที่ 9:1, 8:2, 7:3 และ 6:4 คุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานเนื่องจากค่าดัชนีการแตกร่วนมีค่าอยู่ในระหว่าง 0.5- 1 ค่าดัชนีการแตกร่วนจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของกากตะกอนที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานทำให้ ช่วยยึดเกาะขี้ขาวโอบดของแท่งเชื้อเพลิงไม่ให้แตกร่วนได้ง่าย



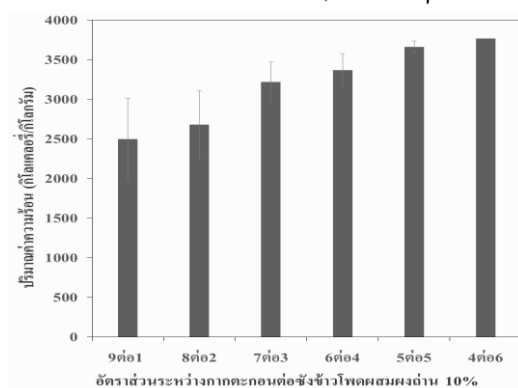
ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าดัชนีการแตกร่วนของ
เชื้อเพลิงอัดแท่งกากตะกอนน้ำเสีย
ผสมขังข้าวโพดบด



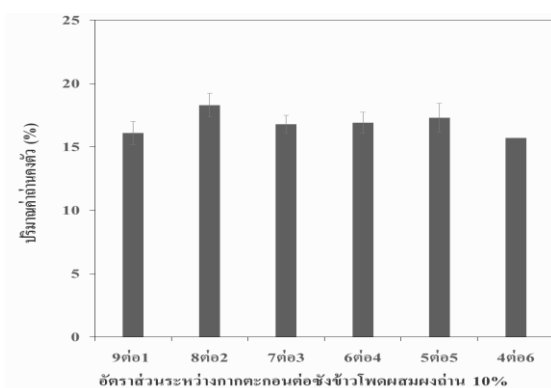
ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกดของ
เชื้อเพลิงอัดแท่งกากตะกอนน้ำเสียผสมขังข้าวโพด

ผลการวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากตะกอนต่อขังข้าวโพดบด ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 แสดงในภาพที่ 5 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อสัดส่วนในการใช้กากตะกอนที่เพิ่มขึ้นความต้านทานแรงกดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 2.96, 2.46, 2.24, 1.88, และ 1.41 ตามลำดับ ซึ่งแท่งเชื้อเพลิงมีความแข็งแรง ยืดต่อการขนส่งและการเก็บรักษาที่สะดวก ที่เป็นเช่นนั้นเพราะกากตะกอนมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.88 (g/cm³) มากกว่าขังข้าวโพดบดซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.3 (g/cm³) จึงรวมตัวกันได้ดี

ตอนที่ 2 ทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากตะกอนต่อขังข้าวโพดบดแบบเต็มผงถ่านของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 แสดงในภาพที่ 6 พบว่าในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 4:6 มีค่าความร้อนเฉลี่ยที่ 2500 kcal/kg, 2680 kcal/kg, 3220 kcal/kg, 3370 kcal/kg, 3660 kcal/kg และ 3770 kcal/kg ตามลำดับ โดยสัดส่วนของขังข้าวโพดเพิ่มขึ้นค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้นโดยมีส่วนผสมผงถ่านคงที่ในทุกๆอัตราส่วน เพราะปริมาณขังข้าวโพดที่เพิ่มขึ้น หมายถึงปริมาณของเซลลูโลสซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นนั่นเอง (อรรถกร ฤกษ์วีร์, 2549)



ภาพที่ 6 กราฟแสดงค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งกาก
ตะกอนน้ำเสียต่อขังข้าวโพดบดผสมผงถ่าน

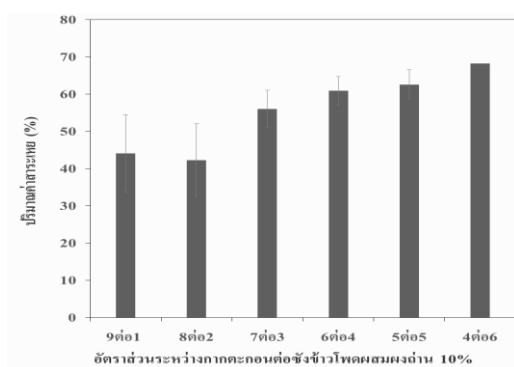


ภาพที่ 7 กราฟแสดงค่าถ่วงน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่ง
กากตะกอนน้ำเสียต่อขังข้าวโพดบดผสมผงถ่าน

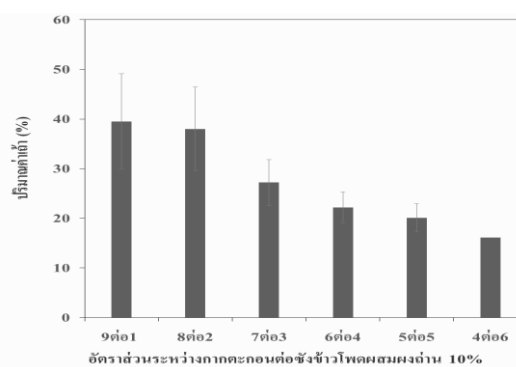
ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณถ่านคองตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากตะกอนต่อซังข้าวโพดแบบเดิม ผงถ่าน ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 แสดงในภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณถ่านคองตัวค่าเฉลี่ยที่ 15.7-18.3 % โดยอัตราส่วนที่ 8:2 มีค่าถ่านคองตัวที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน เพื่อให้มีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน ซึ่งในตัวอย่างที่ 4:6 มีผลการทดลองที่ไม่ตรงกับที่คาดการณ์ไว้ว่าจะเกิดจากการอบและอุณหภูมิเผาไหม้ที่ไม่เพียงพอ ที่เป็นเช่นนั้นเพราะปริมาณสารคาร์บอนที่ระเหยได้ยากโดยจะคงเหลืออยู่ในเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังจากที่เผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส จึงไม่เพียงพอ เพราะเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณถ่านคองตัวสูงจึงมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน (สดาวัลย์ วัฒนะจิระและคณะ. 2559)

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณสารระเหย ของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากตะกอนต่อซังข้าวโพดแบบเดิม ผงถ่านของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 แสดงในภาพที่ 8 พบว่า ปริมาณซังข้าวโพดบดในสัดส่วนเพิ่มขึ้นปริมาณสารระเหยจะสูงขึ้นตามสัดส่วนที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่าองค์ประกอบของการสันดาปที่เกิดจากการเผาไหม้ของซังข้าวโพดเมื่อได้รับความร้อน เมื่อซังข้าวโพดที่มีปริมาณมากขึ้นค่าสารระเหยจะมีแนวโน้มที่มีค่าความร้อนสูงด้วย (นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล. 2557)

ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณเถ้า ของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากตะกอนต่อซังข้าวโพดแบบเดิม ผงถ่านของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 แสดงในภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณปริมาณเถ้าพบว่าปริมาณในอัตราส่วน 4:6 และ 5:5 เถ้าจะลดลงที่ 16.1 % และ 20.1% (ไม่ควรเกินร้อยละ 20) ซึ่งในของกากตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ที่เผาไหม้อยู่ในรูปของดินตะกอนก็จะเกิดปริมาณของเถ้ามากขึ้นตามสัดส่วน ที่เป็นเช่นนั้นเพราะการอัดเชื้อเพลิงแท่ง เป็นส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาปภายในเตาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยสารที่เผาไหม้ไม่ได้มันเอง (เอกสารคู่มือกรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553)

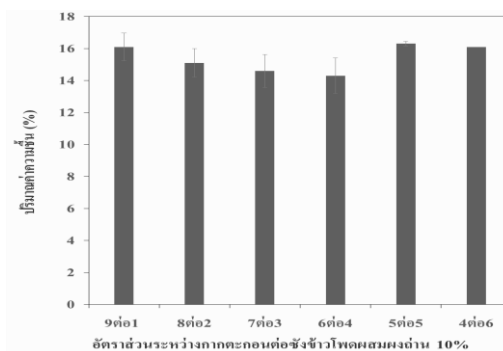


ภาพที่ 8 กราฟแสดงค่าสารระเหยเชื้อเพลิงอัดแท่งกากตะกอนน้ำเสียต่อซังข้าวโพดผสมผงถ่าน



ภาพที่ 9 กราฟแสดงค่าเถ้าเชื้อเพลิงอัดแท่งกากตะกอนน้ำเสียต่อซังข้าวโพดผสมผงถ่าน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างภาคตะกอนต่อช่วงข้าวโพดแบบเดิมผง ถ่านของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 แสดงในภาพที่ 10 พบว่า ปริมาณความชื้นโดยเฉลี่ย อยู่ที่ 14.3%-16.3 % ซึ่งความชื้นมากจะมีผลกระทบในขณะที่เริ่มต้นจุดติดไฟจะมีควันบ้างเล็กน้อยซึ่งเกิดจากเวลา ในการอบหรือตากแดดที่ไม่พอเพียง ที่เป็นเช่นนั้นเพราะการอัดเชื้อเพลิงแท่ง โดยเฉพาะการอัดเปียกแบบชนิดอัด เย็นโดยไม่ใช้ความร้อนจะทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีความชื้นสูง มีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ลดลง (พุทธิธร แสงรุ่งเรืองและคณะ. 2549) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพข.238/2557 กำหนดไม่เกิน ร้อยละ10)



ภาพที่ 10 กราฟแสดงค่าความชื้นเชื้อเพลิงอัดแท่งภาคตะกอนน้ำเสียต่อช่วงข้าวโพดผสมผสงถ่าน
ตอนที่ 3 การศึกษาต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนคงที่ที่เกิดจากค่าเครื่องจักรในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยจำนวนเงินรวม เท่ากับ 7,300 บาท ต้นทุนต่อปีเท่ากับ 1,460 บาท ต้นทุนต่อวันเท่ากับ 4.0 บาท ผลการวิเคราะห์ต้นทุนแปรผันของ ในการผลิตเฉลี่ยหน่วย ต่อวัน (44 ชิ้นต่อวัน) ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยต่อชิ้นได้ราคาเท่ากับชิ้นละ 9.36 บาทต่อชิ้นและในการผลิตต่อวันเท่ากับ 44 ชิ้น รวมค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 412 บาทต่อจำนวน 44 ชิ้น ผลการวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วยอัตราส่วนการผลิต ในตัวอย่างของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าต้นทุนวัตถุดิบต่อ หน่วยการผลิต(ชิ้น)/วัน ในการผลิตทั้งหมดโดยเฉลี่ยของตัวอย่างที่ 1 ถึง 6 จะเท่ากับ 9.393 บาทต่อชิ้น ถึง 9.408 บาทต่อชิ้น ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วยการผลิต(ชิ้น)/ปี กำลังการผลิต/ปี 16,060 ชิ้นกำลัง การผลิต/ปี 11,440 ชิ้น

ตอนที่ 4 การศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้งาน

การประเมินความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ใช้งาน การประเมินความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของ ผู้ใช้งานด้านคุณลักษณะและสมรรถนะทางความร้อนสำหรับอัตราส่วนผสมถ่านอัดแท่ง พบว่าเพศชายมีจำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 40 และเพศหญิงมีจำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 60 ค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจของ ผู้บริโภค พบว่าระดับความเห็นสูงสุด คือ ผลิตภัณฑ์ให้ความร้อนได้ดีอยู่ในระดับมากที่สุด คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.80 ค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจของผู้บริโภค จำแนกตามราคา พบว่า ระดับความเห็นด้านราคาเหมาะสมกับ รูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.20 ระดับมาก จากคะแนนเต็ม 5.00

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ลักษณะสมบัติของกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียที่นำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากอุตสาหกรรมพลาสติก มีดังต่อไปนี้ กากตะกอนน้ำเสียบำบัดแบบชีวภาพ (Bio-Sludge) เป็นอินทรีย์สารซึ่งมีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบซึ่งในกากตะกอนที่แห้งจะมีสารโพลีเมอร์ 0.2 พีพีเอ็ม ต่อตะกอน 200 กิโลกรัม ใช้เป็นตัวเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนในการแยกน้ำออกจากตะกอนผ่านเครื่องรีดตะกอนแห้ง (Cake) ขนาดของตะกอนเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร โดยกากตะกอนที่นำมาแปรรูปเป็นก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งปราศจากสารอันตรายดังนี้ เช่น สารออกซิไดเซอร์ สารที่ก่อให้เกิดการระเบิดเมื่อถูกทำให้ร้อน (สารประกอบแอมโมเนีย) สารกัดกร่อนที่เป็น Strong Oxidizing Agent

ตอนที่ 1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพทางด้านเชิงกล การทดสอบความหนาแน่นวัดค่าได้อ้อยระหว่าง 0.87-0.88 (g/cm³) ทุกๆอัตราส่วน ค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.5-1.0 g/cm³ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.238/2557) การทดสอบปริมาณการดูดซึมน้ำ วัดค่าได้อ้อยระหว่าง 10-17 % ค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 10-17 % ตามมอก. 77-2531 และ มอก 77-2545 การทดสอบความต้านทานแรงกดวัดค่าได้อ้อยระหว่าง 1.41-2.96 kg/cm² โดยค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 3.569 kg/cm² การทดสอบดัชนีการแตกร่วน วัดค่าได้อ้อยระหว่าง 0.50 – 1.0 ค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 0.20-1.0 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.238/2557) ผลการทดสอบสมบัติที่ผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนด คือ การทดสอบดัชนีการแตกร่วน การทดสอบปริมาณการดูดซึมน้ำ การทดสอบดัชนีการแตกร่วน สมบัติที่ไม่ผ่านมาตรฐานที่กำหนด คือ การทดสอบความต้านทานแรงกด เพราะกากตะกอนที่เป็นตัวประสานที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพราะกากตะกอนมีความหนาแน่นมากกว่าขี้ขี้โพดบดจึงรวมตัวกันได้ดีด้วยควมชื้นของกากตะกอนดังนั้นมีความต้านทานแรงกดที่มีแนวโน้มมากขึ้นด้วย

ตอนที่ 2 ทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง สรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของขี้ขี้โพดจะมีค่าความร้อนสูงขึ้นตามอัตราส่วนซึ่งค่าความร้อนไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวเชื่อมประสานคือกากตะกอนน้ำเสียแต่ตัวแปรที่มีผลกับค่าความร้อนคือขี้ขี้โพดผสมผงถ่านโดยอัตราส่วนที่ 4:6 ค่าความร้อนสูงได้เท่ากับ 3,770 กิโลแคลอรี/กก.เป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง ผลการทดสอบสารระเหยจะมีค่าน้อยเนื่องจากการสันดาปของขี้ขี้โพดที่มีปริมาณที่น้อยกว่าและ ค่าเถ้าจะมีมากกว่าเนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีอัตราส่วนของกากตะกอนที่มากกว่าจะหลงเหลือในรูปของเถ้า ส่วนการคงรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถอัดแท่งได้ดีในอัตราส่วนผสมของกากตะกอนที่มีมากกว่าขี้ขี้โพด

ตอนที่ 3 การศึกษาด้านทุนการผลิตต่อหน่วย พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนของขี้ขี้โพดต้นทุนต่อหน่วยการผลิตจะเพิ่มขึ้นตามโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 9.393-9.408 บาทต่อกิโลกรัม

ตอนที่ 4 การศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้งาน พบว่าระดับความเห็นสูงสุด คือ ผลิตภัณฑ์ให้ความร้อนได้ดีอยู่ในระดับมากที่สุด คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.80 ค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจของผู้บริโภค จำแนกตามราคา พบว่า ระดับความเห็นด้านราคาเหมาะสมกับรูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.20 ระดับมาก

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สามารถดำเนินการได้สำเร็จด้วยดี โดยได้รับความกรุณาช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.แววนุญ แฉ่มแสงสังข์ ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ และกรรมการสอบ ผศ.ดร.สิรินทร์ ทองแสง ที่กรุณา สละเวลาอันมีค่า ให้การช่วยเหลือและแนะนำในการทำสารนิพนธ์ จนการศึกษานี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ โรงงานผลิตพลาสติก จำกัด (มหาชน) คุณโสรัจธร วงษ์ดี หัวหน้าส่วนฝ่ายปฏิบัติการโรงงาน รวมทั้งบริษัท น่านเพริช ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดลอง และ ผู้อำนวยการ ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย สถานที่ทดสอบสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่ง ที่มีส่วนได้ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือในการทำการศึกษานี้เป็นอย่างดี จนเสร็จสิ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม.คู่มือแนวทางและหลักเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่เหมาะสม. กรุงเทพฯ.หน้า19
 กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.2553 [อ้างเมื่อ 13 มกราคม 2560]
 จาก <http://www.pcd.go.th/>
- กลยุทธ ดิษเจริญ และ เนตรรัตน์ เนตรประเสริฐ. การนำกากอ้อยจากโรงงานน้ำตาลมาใช้ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต], มหาวิทยาลัยนเรศวร.2541.
- ชมธิดา ชื่นนิยม. การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษขี้ข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.[วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.2553.
- เดชณรงค์ ยะแสง. การออกแบบและสร้างเครื่องอัดก้อน. เชื้อเพลิงแข็งชนิดสกรูอัดจากวัสดุเหลือทิ้งทาง การเกษตร. [ออนไลน์] 2556. จาก <http://hrd.rmutl.ac.th>
- ทองทิพย์ พูลเกษม.การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนเพื่อทดแทนฟืนและ ถ่านในการหุงต้มในครัวเรือน. [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี ที่เหมาะสม เพื่อการพัฒนาทรัพยากร] มหาวิทยาลัยมหิดล.2542.
- นคร ทิพวงค์.เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล.สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. กรุงเทพมหานคร.2553.
- นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล.การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและครัวเรือน [สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี] มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.2557.
- ลดาวัลย์ วัฒนะจิระ, ณรงค์ศักดิ์ ลาปิ่น, วิภาวดี ชัชวาลย์, อานันท์ ธัญญเจริญ.การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาวารสารวิจัยและพัฒนา มจร 2559.39 (2) เมษายน-มิถุนายน 2559 หน้า 245-246.