

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน

Properties of Fuel Briquettes from Offices Paper Waste

นันทนา ฤกษ์เกษม* สิริณารี เงินเจริญ** และ ชัยฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ***

Nuntana Rerkkasem* Sirinaree Ngencharoen** and Chailoek Tanghengjaroen***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน ซึ่งดำเนินการตามขั้นตอนได้แก่ ย่อยกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานด้วยเครื่องย่อยกระดาษเป็นเส้นยาว ขนาดกว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 29.5 เซนติเมตร แล้วนำมาผสมกับวัสดุประสาน ได้แก่ กาวแป้งเปียก ขึ้นรูปด้วยมือโดยใช้แม่พิมพ์พลาสติกทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง 4.0 เซนติเมตร หลังขึ้นรูปพบว่าอัตราส่วนของวัสดุหลักต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมเท่ากับ 10 : 1 ระยะเวลาแห้ง 8 วัน เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานมีน้ำหนักเฉลี่ย 28.36 ± 0.42 กรัม ความชื้นร้อยละ 4.58 ± 0.27 ความต้านทานแรงอัด 43.8 ± 0.89 เมกะปาสกาล ความหนาแน่น 0.56 ± 0.02 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ระยะเวลาคงตัวเมื่อแช่น้ำ 666 นาที ค่าความร้อนแบบกรอสตามสภาพตัวอย่างที่ได้รับ 3,277 แคลอรีต่อกรัม สูงกว่าเกณฑ์คุณสมบัติค่าความร้อนจากของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (3,000 แคลอรีต่อกรัม) ปริมาณไฮโดรเจนที่สถานะแห้งร้อยละ 5.27 ทั้งนี้เมื่อนำไปใช้งานจริงพบว่า ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น 6.93 ± 0.82 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการมอดดับของเชื้อเพลิงแท่งเท่ากับ 32 ± 2.55 นาที พบเถ้าจากการเผาไหม้ 5.71 ± 0.66 กรัม หรือประมาณร้อยละ 20.13 สูงกว่าเกณฑ์คุณสมบัติค่าความร้อนจากของเสียอุตสาหกรรมเล็กน้อย (ร้อยละ 20) แต่ไม่พบของแข็งที่เหลือจากการเผาไหม้ จากผลวิจัยข้างต้นจึงสรุปได้ว่า กระดาษเหลือใช้ในสำนักงานสามารถนำมาทำเป็นเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้แต่ควรพัฒนาต่อไปเพื่อให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและปริมาณเถ้าจากการเผาไหม้ลดลง

คำสำคัญ : เชื้อเพลิงอัดแท่ง, กระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน, กระดาษ

* นิสิตระดับปริญญาตรี สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว

** อาจารย์ประจำ สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว

Corresponding author e-mail: sirinaree.th@gmail.com

*** อาจารย์ประจำ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

Abstract

This research aimed to study the properties of fuel briquette made of office waste paper. The paper briquette was processed as follows: office waste paper was shred in strips of 0.5 x 29.5 cm by a paper shredder. Next, it was thoroughly mixed with binder material, glue. Then it was hand-molded by a cylindrical plastic with diameter and height of 4 cm. It was shown in the hand-molding process that the appropriate ratio of waste paper to glue was 10:1. Dry period equaled 8 days. Furthermore, analysis of physical properties and combustion efficiency revealed that dried weight, moisture content, density and compressive strength value equaled 28.36 ± 0.42 g, $4.58 \pm 0.27\%$, 0.56 ± 0.02 g/cm³ and 43.8 ± 0.89 MPa, respectively. When soaked in water, the paper briquette's stability time was 666 min. Gross heat of combustion as received equaled 3,277 cal/g, which was higher than the properties criteria of fuel briquette's heating value from industrial waste (3,000 cal/g). Hydrogen content on a dry basis equaled 5.27%. According to the home use test, the rising of water temperature was statistically significant ($P < 0.05$) or equaled $6.93 \pm 0.82^{\circ}\text{C}$. Extinguishing time equaled 32 ± 2.55 min. When thoroughly combusted, the remaining ash equaled 5.71 ± 0.66 g, or approximately 20.13%, which was slightly higher than the properties criteria of fuel briquette's heating value from industrial waste (20%) but none of residual solid waste was found. In conclusion, office waste paper can be used as fuel briquette, but increasing the heating value and reducing ash should be considered for improvement.

Keywords: Fuel briquette, Offices paper waste, Paper

1. บทนำ

กระดาษเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวันที่คนไทยใช้สอยเป็นปริมาณมาก ข้อมูลระบุว่าคนไทยใช้กระดาษโดยเฉลี่ย 60 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ทั้งยังมีแนวโน้มการใช้เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15 (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) การใช้กระดาษที่สูงมากดังกล่าวมีผลทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มขึ้น โดยพบว่า ในแต่ละปีประเทศไทยมีขยะจากกระดาษถึง 3.9 ล้านตัน (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ, 2556) แต่ขยะกระดาษส่วนหนึ่งไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศนำกลับมาใช้ประโยชน์เพียงร้อยละ 21 เท่านั้น (สำนักงานจัดการกากของเสียและสารอันตราย, 2559) ที่เหลือถูกทิ้งโดยไม่ได้ผ่านการคัดแยกร่วมกับขยะมูลฝอยประเภทอื่นซึ่งจากการสำรวจและจำแนกประเภทขยะมูลฝอยในกองขยะ พบขยะรีไซเคิลหรือมูลฝอยที่ยังใช้ได้ทั้งหมดรวมถึงกระดาษด้วยเป็นลำดับที่ 2 ในกองขยะ หรือมากถึงประมาณร้อยละ 30 ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ (สำนักงานจัดการกากของเสียและสารอันตราย, 2558)

ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นเป็นประเด็นที่ภาครัฐให้ความสำคัญและได้บูรณาการแนวทางเพื่อการจัดการ โดยกำหนดมาตรการรณรงค์การใช้กระดาษด้วยแนวทาง 3Rs-ประชารัฐ ประกอบด้วย การใช้น้อยหรือลดการใช้ (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) และการแปรรูปใช้ใหม่ (Recycle) ส่งเสริมการจัดการขยะที่ต้นทาง โดยคำนึงถึงการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน มุ่งขับเคลื่อนประเทศไทยไปสู่การเป็นสังคมปลอดขยะ หรือ Zero waste society (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) เป็นเครื่องมือปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้กระดาษและลดปริมาณกระดาษที่เหลือทิ้งเป็นขยะในสิ่งแวดล้อมซึ่งพบว่าได้ผลดีในระดับหนึ่ง ยังคงมีกระดาษเหลือใช้อีกไม่น้อยที่ไม่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ แม้ว่าจะมีความพยายามพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากกระดาษเหลือใช้อย่างหลากหลาย อาทิ การนำมาผลิตเอทานอล (Nishimura *et al.*, 2017) การนำมาสกัดเซลลูโลสเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ (Joshi *et al.*, 2015) การนำมาผลิตคาปาซิเตอร์ (Su *et al.*, 2017) และการนำมาผลิตเป็นวัสดุดูดซับเสียง (ธนวัฒน์ รักกมล และคนอื่น ๆ, 2557; ศิริประภา กะนิโก และคนอื่น ๆ, 2559) เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ แต่ส่วนมากจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงและมีต้นทุนดำเนินการค่อนข้างสูงซึ่งอาจเป็นปัญหาต่อการนำกระดาษเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ตามแนวทางข้างต้น

ผู้วิจัยเล็งเห็นปัญหาและความสำคัญของการนำกระดาษเหลือใช้ไปใช้ประโยชน์ จึงมีความประสงค์พัฒนาผลิตภัณฑ์จากกระดาษเหลือใช้ มุ่งดำเนินการโดยใช้กระดาษเหลือใช้ในสำนักงานซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดกระดาษเหลือใช้หรือขยะมูลฝอยประเภทกระดาษที่สำคัญ แปรสภาพเพื่อการใช้ประโยชน์ด้วยกระบวนการต้นทุนต่ำ ดำเนินการได้ง่าย ทั้งนี้ได้กำหนดการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกระดาษเหลือใช้จากสำนักงานมาพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากกระดาษผลิตจากเยื่อไม้หรือเซลลูโลส (Pang *et al.*, 2015) ซึ่งเผาไหม้ได้ดี (Sullivan & Ball, 2012) วิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการดำเนินการจากข้อมูลประเภทและขั้นตอนการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนี้

1) ถ่านอัดแท่ง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติมาเผาเป็นถ่าน อาจนำมาบดเป็นผงหรือเม็ดแล้วอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการ หรือนำวัตถุดิบธรรมชาติมาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการแล้วนำมาเผาเป็นถ่าน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

2) ถ่านอัดใบโอริก หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติมาเผาจนเป็นถ่านแล้วนำมาบดเป็นผงถ่าน นำผงถ่านนั้นผสมแป้งและน้ำตามอัตราส่วนที่เหมาะสม นำมาอัดขึ้นรูปเป็นรูปทรงตามต้องการด้วยเครื่องจักร จากนั้นตัดตามขนาดความยาวที่ต้องการแล้วนำมาผึ่งลมให้แห้ง หรือนำวัตถุดิบธรรมชาติหลายชนิดผสมกับวัสดุยึดธรรมชาติ จากนั้นนำมาอัดเป็นแท่งตามรูปทรงที่ต้องการแล้วนำมาเผาเป็นถ่าน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548)

3) แท่งเชื้อเพลิงเขียว หมายถึง การนำชีวมวลมาอัดแท่งแล้วนำไปใช้งานได้โดยตรงไม่ต้องมีขั้นตอนการเผาเหมือนเช่นถ่านอัดแท่ง (นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล, 2557)

สำหรับขั้นตอนการอัดเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อขึ้นรูป สามารถจำแนกกระบวนการขึ้นรูปได้ 2 ลักษณะ ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

1) กระบวนการอัดร้อน (Hot press process) คือ การอัดวัสดุโดยให้ความร้อนตลอดการอัดโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 350 องศาเซลเซียส

2) กระบวนการอัดเย็น (Cold press process) คือ การอัดวัสดุที่ไม่ต้องใช้ความร้อน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสานและการอัดเย็นด้วยแรงอัดสูง การอัดเย็นชนิดเติมตัวประสานนั้นต้องนำวัสดุมาผสมกับตัวประสาน หากวัสดุมีขนาดใหญ่ต้องมีการบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงนำมาผสมกับตัวประสาน ส่วนการอัดเย็นด้วยแรงอัดสูงไม่ต้องใช้ตัวประสานแต่ใช้แรงดันในการอัดสูงกว่าปกติอย่างมากเพื่อให้โมเลกุลของวัสดุเกิดการอัดตัวแน่นจนจับเป็นก้อนได้

เมื่อวิเคราะห์สมบัติของกระดาษเหลือใช้จากสำนักงานตลอดจนข้อมูลประเภทและกระบวนการอัดเชื้อเพลิงอัดแท่งข้างต้นแล้ว พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะดำเนินการพัฒนากระดาษเหลือใช้ในสำนักงานเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งประเภทเชื้อเพลิงเขียว เนื่องจากกระดาษเผาไหม้แล้วจะยังคงสภาพเป็นถ่านแต่กลายเป็นถ่านจึงไม่เหมาะต่อการทำถ่านอัดแท่งหรือถ่านไบโอเนก สำหรับกระบวนการอัดเพื่อขึ้นรูปนั้น เนื่องจากกระดาษเหลือใช้สำนักงานเป็นวัสดุร่วนไม่จับตัวกัน จึงดำเนินการผสมวัสดุกับตัวประสานเพื่อให้กระดาษเหลือใช้สำนักงานมีการจับตัวได้ดีขึ้นจากนั้นจึงขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดแบบเย็นที่ไม่ใช้เครื่องจักร

สำหรับวัสดุประสานนั้น จำเป็นต้องนำมาผสมกับกระดาษเหลือใช้สำนักงาน เนื่องจากช่วยเพิ่มการจับตัวและทำให้แท่งเชื้อเพลิงแข็งที่ได้มีความแข็งแรงขึ้นไม่เปราะหรือแตกได้ง่าย จากการสำรวจข้อมูลพบว่าวัสดุประสานมีหลายชนิด ส่วนมากนิยมใช้กากจากแป้งเป็นวัสดุประสาน เพราะมีสมบัติทางกายภาพและเคมีเหมาะสมสำหรับเป็นวัสดุประสานในเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Muazu & Stegemann, 2015) ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้กากจากแป้งมันสำปะหลังหรือกากแป้งเปียกเป็นวัสดุประสาน เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีกำลังการผลิตมากที่สุดในประเทศไทย ให้ความหนืดสูงและคืนตัวต่ำ (กล้าณรงค์ ศรีروت, 2548) ต้นทุนต่ำและมีจำหน่ายทั่วไป เมื่อผสมกระดาษเหลือใช้สำนักงานกับวัสดุประสานแล้ว นำมาขึ้นรูปด้วยมือด้วยแม่พิมพ์ที่ทำจากพลาสติกชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ ได้ผลผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้สำนักงาน แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นเปรียบเทียบกับเกณฑ์

อนึ่งเนื่องจากกระดาษเหลือใช้สำนักงานจัดเป็นของเสียอุตสาหกรรมที่ไม่ได้เกิดจากกระบวนการผลิตหลัก (Common waste) หรือของเสียทั่วไป (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2558) งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เกณฑ์คุณสมบัติของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555; นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล, 2557) ที่ระบุไว้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นควรมีค่าความร้อน ไม่ควรต่ำกว่า 3,000 แคลอรีต่อกรัม และเกิดเถ้าจากการเผาไหม้ ไม่ควรเกินร้อยละ 20 ส่วนค่าความชื้นซึ่งเป็นคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นมิได้ถูกระบุไว้ในเกณฑ์ดังกล่าว อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากทั้งมาตรฐานชุมชนของถ่านอัดไบโอเนกและถ่านอัดแท่งต่างก็กำหนดไว้ว่าความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก จึงเลือกใช้ค่าความชื้นดังกล่าวสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้สำนักงานประกอบกันด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนากระดาษเหลือใช้สำนักงานเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งสร้างทางเลือกการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดำเนินการได้อย่างแพร่หลายต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัสดุหลักและวัสดุประสาน

เตรียมวัสดุหลัก ได้แก่ กระดาษเหลือใช้ในสำนักงานโดยนำมาย่อยด้วยเครื่องย่อยกระดาษเป็นเส้น ความกว้าง 0.5 เซนติเมตร หลังจากนั้นเตรียมวัสดุประสานหรือกาวแป้งเปียกด้วยการผสมแป้งมันสำปะหลังกับน้ำ อัตราส่วน 1:10 โดยมวลต่อปริมาตร เนื่องจากได้ทดสอบแล้วว่า เป็นอัตราส่วนที่ใช้แป้งมันสำปะหลังน้อยที่สุดและมีความหนืดเพียงพอสำหรับการทำให้กระดาษเหลือใช้ในสำนักงานที่นำมาใช้จับตัวเป็นชิ้นงานแห้งเชื่อเพลิงได้

2.2 การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยมือและศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม

ผสมวัสดุหลักกับกาวแป้งเปียก อัตราส่วนระหว่างกระดาษเหลือใช้จากสำนักงานต่อกาวแป้งเปียก เท่ากับ 10:1, 10:2, 10:3, 10:4, 10:5, 10:6, 10:7, 10:8, 10:9 และ 10:10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร แล้วนำวัสดุที่ผสมไว้ในแต่ละอัตราส่วนมาขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์พลาสติก เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 เซนติเมตร สูง 4.0 เซนติเมตร

การขึ้นรูปดำเนินการโดยวางแม่พิมพ์พลาสติกบนพื้นระนาบ นำวัสดุที่เตรียมไว้ในแม่พิมพ์ที่ละน้อย อัดด้วยมือ ไม่ให้มีช่องว่างเกิดขึ้นจนเต็มแม่พิมพ์แล้วดึงแม่พิมพ์ขึ้น ใช้เกรียงตกแต่งชิ้นงานให้เรียบร้อย ตากแดดจนแห้งสนิท หลังจากนั้น สังเกตลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ ความคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังการขึ้นรูปที่เป็นไปตามลักษณะแม่พิมพ์หรือชิ้นงานนั้นจับตัวกันได้ดี กาวแป้งเปียกไม่มากเกินไปและไหลออกมาจนทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งเสียรูปทรงตามที่ขึ้นรูปไว้

2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

นำผลอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขั้นตอนที่ระบุไว้ในข้อ 2.2 มาขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยวิธีเดียวกันกับข้อ 2.2 จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1 ระยะเวลาการตากแห้ง

ตากเชื้อเพลิงอัดแท่งในพื้นที่ที่มีแสงแดดส่องถึงและอากาศถ่ายเทได้ดีจนกระทั่งชิ้นงานแห้งสนิทและเมื่อชั่งน้ำหนักชิ้นงานแล้วน้ำหนักคงที่ บันทึกผลจำนวนวันของระยะเวลาที่ตากชิ้นงานเชื้อเพลิงอัดแท่งจนแห้ง

2.3.2 ความชื้น

ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งแล้วนำไปอบ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นตั้งไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccators) เป็นเวลา 30 นาที ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง คำนวณหาความชื้นตามสมการ (ดัดแปลงจาก จุติพร อินทะนิน, 2552)

$$\% \text{ Moisture} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

% Moisture คือ ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

W_1 คือ น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังอบ (กรัม)

2.3.3 ค่าความหนาแน่น

คำนวณจากอัตราส่วนมวลต่อปริมาตร ตามสมการ ดังต่อไปนี้

$$D = \frac{m}{v}$$

D คือ ค่าความหนาแน่นของวัตถุ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m คือ มวลของวัตถุ (กรัม)

v คือ ปริมาตรของวัตถุ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

2.3.4 ความคงตัว

แช่เชื้อเพลิงอัดแท่งในน้ำปริมาตร 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ท่วมชิ้นงาน สังเกตการเสถียรภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง คือ มีชิ้นส่วนของกระดาษาที่เป็นวัสดุหลักในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งหลุดออกมา บันทึกเวลาที่เชื้อเพลิงอัดแท่งเริ่มเสถียรภาพ

2.3.5 ความต้านทานแรงอัด

ใช้เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (Universal testing machine) ทดสอบแบบทำลาย โดยวางชิ้นงานเชื้อเพลิงอัดแท่งไว้บนจุดวางตัวอย่าง ระหว่างแท่งกดบนและแท่งกดล่าง ค่อยๆ เพิ่มแรงอัดจนกระทั่งเชื้อเพลิงอัดแท่งเสถียรภาพ บันทึกผลของแรงอัดสูงสุดจากเกจแสดงผลแรงที่กดอัด

2.3.6 ดัชนีการแตกร่วน

ใช้วิธี Drop shatter test ทดสอบ โดยชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนทดสอบ บันทึกผลเป็นน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนปล่อย (กรัม) จากนั้นจึงนำเชื้อเพลิงอัดแท่งใส่ถุงพลาสติก ปิดปากถุงในสนิท นำถุงบรรจุเชื้อเพลิงอัดแท่งไปปล่อยจากตำแหน่งที่สูงกว่าพื้นซีเมนต์ในแนวตั้ง 180 เซนติเมตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง สังเกตการแตกร่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง หากมีการแตกร่วนให้นำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตร นำส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหลือจากการร่อนแล้วไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผลเป็นน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังปล่อย (กรัม) คำนวณดัชนีการแตกร่วนตามสมการ (ดัดแปลงจาก จุติพร อินทะนิน, 2552)

$$R = \frac{W_2}{W_1}$$

R คือ ดัชนีการแตกร่วน

W_1 คือ น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งก่อนปล่อย (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งหลังปล่อย (กรัม)

2.3.7 ประสิทธิภาพในการใช้งานจริง

แบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาแนวโน้มของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของเชื้อเพลิงแต่ละแบบจากกราฟแสดงผลระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ($\Delta\text{Temp}/\Delta\text{Time}$: องศาเซลเซียส และการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นหรืออุณหภูมิของน้ำหลังการให้ความร้อนจากเชื้อเพลิงอัดแท่งสิ้นสุด ทั้ง 2 แบบดังกล่าวเป็นการให้ความร้อนกับน้ำสะอาดในภาชนะอลูมิเนียมบนเตาอั้งโล่ดินเผา

ส่วนที่ 1 ดำเนินการโดยนำเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนต่างๆ 1 ชิ้น มาติดไฟบนเตาแก๊สเป็นเวลา 3 นาทีด้วยระดับความแรงของไฟเท่ากัน จากนั้นนำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปให้ความร้อนกับน้ำสะอาด ปริมาตร 1 ลิตรพร้อมกัน บันทึกอุณหภูมิของน้ำทุกๆ 5 นาที เป็นระยะเวลา 30 นาที (ดัดแปลงจาก พรเทพ หอมผกา, 2552)

ส่วนที่ 2 ดำเนินการโดยติดไฟเชื้อเพลิงอัดแท่งแต่ละแบบ แบบละ 1 ชิ้น นำไปให้ความร้อนกับน้ำสะอาดเป็นเวลา 30 นาที ทำซ้ำ 4 ครั้ง บันทึกผลอุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส)

2.3.8 ระยะเวลาการมอดดับ

ศึกษาระยะเวลาในการมอดดับในการใช้งานจริงด้วยเตาปิ้งย่างโดยควบคุมปริมาณและสภาวะแวดล้อม (เอกลักษณ์ กิตติภักดิ์ถาวร และคนอื่น ๆ, 2556) ซึ่งการทดสอบนี้ใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งครั้งละ 1 ชิ้นงาน ทำซ้ำ 4 ซ้ำ

2.3.9 ปริมาณเถ้าและของแข็งที่เหลือ

หลังทดสอบการประสิทธิภาพการใช้งานจริง ในข้อ 2.3.7 นำเถ้าและของแข็งที่เหลือจากการเผาไหม้มาชั่งน้ำหนักเครื่องชั่งเพื่อหาปริมาณเถ้าและของแข็งที่เหลือ (กรัม)

2.3.10 ค่าความร้อนแบบกrossตามสภาพตัวอย่างที่ได้รับ

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D5865 (American Society for Testing and Materials, 2010) โดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

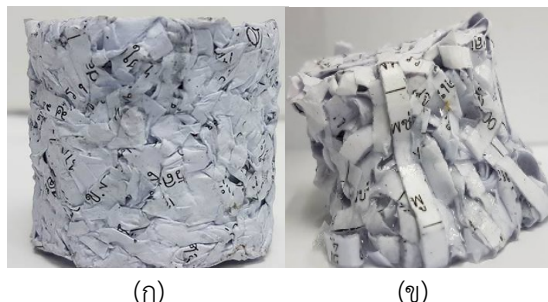
2.3.11 ปริมาณไฮโดรเจนที่สถานะแห้ง

วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM C458/ C458M-98 (American Society for Testing and Materials, 2011) โดยสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังนี้

3. ผลการวิจัย

กระดาษเหลือใช้ในสำนักงานที่ย่อยแล้วเมื่อนำมาผสมกับกาวแปงเปียกสามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ง่ายด้วยแม่พิมพ์พลาสติก อัตราส่วนระหว่างกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานดังกล่าวต่อกาวแปงเปียกที่สามารถขึ้นรูปได้ซึ่งวิเคราะห์ผลจากลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งตามวิธีการที่ระบุไว้ในข้อ 2.2 คือ 10:1 และ 10:2 สำหรับอัตราส่วนอื่นนอกเหนือจากนี้หรืออัตราส่วนที่ใช้กาวแปงเปียกมากขึ้นนั้นไม่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป ลักษณะที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมกับการขึ้นรูปดังกล่าวแสดงได้ดังภาพที่ 1

อย่างไรก็ตามเพื่อให้ต้นทุนการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งน้อยที่สุดจึงเลือกใช้อัตราส่วนกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานต่อกาวแปงเปียกที่เท่ากับ 10:1 ซึ่งจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนดังกล่าวพบว่าระยะเวลาการตากแห้งเท่ากับ 8 วัน เมื่อแห้งสนิทแล้วมีความแข็งและคงสภาพตามรูปทรงที่ขึ้นรูปไว้ เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติตามวิธีการที่กำหนดไว้ ได้ผลแสดงได้ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน

(ก) ลักษณะที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป อัตราส่วนระหว่างกระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน

ต่อกาวแป้ง เปียก เท่ากับ 10:1

(ข) ลักษณะที่ไม่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป อัตราส่วนระหว่างกระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน

ต่อกาวแป้งเปียก เท่ากับ 10:3

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน	ผลการวิเคราะห์
น้ำหนัก (กรัม)	28.36 ± 0.42
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.56 ± 0.02
ความชื้น (ร้อยละ)	4.58 ± 0.27
ความคงตัว (นาท)	666
ความต้านทานแรงอัด (เมกะปาสคาล)	43.8 ± 0.89
ดัชนีการแตกร่วน	1.00
ค่าความร้อนแบบกรอสตามสภาพตัวอย่างที่ได้รับ (แคลอรีต่อกรัม)	3,277
ปริมาณไฮโดรเจนที่สภาวะแห้ง (ร้อยละ)	5.27
ประสิทธิภาพการใช้งานจริง	
- แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ($\Delta\text{Temp.}/\Delta\text{Time}$: องศาเซลเซียส)	1.53
- อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มสูงขึ้น (องศาเซลเซียส)	6.93 ± 0.82
ระยะเวลาการมอดดับ (นาท)	32 ± 2.55
เถ้าหลังการเผาไหม้ (ร้อยละ)	20.13
ของแข็งที่เหลือหลังการเผาไหม้ (กรัม)	ไม่มี

ระยะเวลาการตากแห้งของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานต่อกาวแป้งเปียกในอัตราส่วน 10:1 ณ สภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ เท่ากับ 8 วัน เมื่อตากเชื้อเพลิงอัดแท่งจนแห้งสนิทและมีน้ำหนักคงที่แล้ว พบว่าน้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งแปรผันตามความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง สำหรับค่าความชื้นที่เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่งรวมทั้งถ่านไบโอเนก ที่กำหนดไว้ว่าความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) นั้นได้ทดสอบทางสถิติ (t-test) พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานและกาบแปงเปียกมีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ผลทดสอบความต้านทานแรงอัดของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าเท่ากับ 43.8 ± 0.89 เมกะปาสคาล การเสียสภาพมีลักษณะโป่งพองออกทางด้านข้างเหมือนรูปถัง (Barrel) ดัชนีการแตกร่วนมีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากชิ้นงานเชื้อเพลิงอัดแท่งไม่แตกร่วนเมื่อปล่อยจากที่สูงกว่าพื้นระนาบ 180 เซนติเมตร และเมื่อทดสอบความคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยการแช่น้ำ พบว่าความคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานกับกาบแปงเปียกเท่ากับ 666 นาที่หรือประมาณ 11 ชั่วโมง ซึ่งเป็นระยะเวลายาวนาน เพียงพอสำหรับสภาวะการใช้งานจริงที่เชื้อเพลิงอัดแท่งอาจได้รับความชื้นหรือเปียกน้ำ การวิเคราะห์ผลค่าความร้อนแบบกรอสตามสภาพตัวอย่างที่ได้รับและปริมาณไฮโดรเจนที่สภาวะแห้ง พบว่ามีค่า 3,277 แคลอรีต่อกรัม และร้อยละ 5.27 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพในการใช้งานจริง พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 6.93 ± 0.82 องศาเซลเซียส เผาไหม้ได้นาน 32 ± 2.55 นาทีก่อนมอดดับ การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นนั้นทั่วถึงชิ้นงาน หลังการเผาไหม้สิ้นสุด พบเถ้าจากการเผาไหม้ร้อยละ 20.13 และไม่พบของแข็งเหลือหลังการเผาไหม้

4. การอภิปรายผลและสรุป

กระดาษเหลือใช้ในสำนักงานสามารถขึ้นรูปด้วยกาบแปงเปียกเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพและต้นทุนค่าใช้จ่ายแล้ว พบว่าอัตราส่วนระหว่างกระดาษเหลือใช้สำนักงานต่อกาบแปงเปียกที่เหมาะสม เท่ากับ 10 : 1 สอดคล้องกับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะกระดาษผสมชีวมวลจากวัชพืชด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบปริตเย็น ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของขยะกระดาษผสมเศษวัชพืชต่อแปงเปียก เท่ากับ 10 : 1 เช่นกัน (อิกริกซ์ สวิสดีกิจ และคนอื่นๆ, 2556) หลังจากขึ้นรูปและแห้งสนิท เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้สำนักงานมีความหนาแน่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงอัดแท่งชนิดอื่นที่ขึ้นรูปด้วยกาบแปงเปียก ค่าต้านทานแรงอัด เท่ากับ 43.8 ± 0.89 เมกะปาสคาล สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้เชิงพาณิชย์ที่ 0.375 เมกะปาสคาล (Richards, 1990) หลังทดสอบเชื้อเพลิงอัดแท่งโป่งพองทางด้านข้างไม่แตกหัก แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้มีความเหนียว นอกจากนี้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้สำนักงานยังมีความคงทนไม่แตกร่วน ด้วยค่าดัชนีการแตกร่วนอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 บ่งชี้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นมีการจับตัวกันอย่างดี มีการแตกร่วนน้อย (นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล และธรรพร บุศย์น้ำเพชร, 2559) เมื่อบรรจุจนแล้วไม่แตกเป็นชิ้นเล็กซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ศิรินุช จินดารักษ์ และคนอื่นๆ, 2548) ผลการวิจัยเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้ให้ผลค่าดัชนีการแตกร่วนเท่ากับ 1.00 จึงแสดงให้เห็นว่าการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งด้วยมือให้ผลดีกว่าการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุหลักที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงและวัสดุประสาน

ณ อุณหภูมิห้อง เชื้อเพลิงอัดแท่งนี้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 ต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งกับฟืนไม้ทั่วไปที่มีค่าความชื้นร้อยละ 8 อีกทั้งยังต่ำกว่าถ่านไม้ทั่วไปที่มีค่าความชื้นร้อยละ 9.4 อีกด้วย (อัจฉรา อัสวรจุฑกุลชัย และคนอื่นๆ, 2555) เมื่อทดสอบความคงตัวเมื่อสัมผัสน้ำพบว่าทนต่อ

ความชื้นหรือการเปียกน้ำได้ยาวนาน คือ ประมาณ 11 ชั่วโมง แต่เนื่องจากความชื้นมีผลต่อความร้อน (Mkini & Bakari, 2015) จึงควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสน้ำหรือความชื้น ผลทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริง แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยให้ค่าความร้อนเท่ากับ 3,277 แคลอรีต่อกรัม สูงกว่าเกณฑ์คุณสมบัติของเสียอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ดังกล่าวข้างต้น ทั้งยังสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฟางข้าวและแ่งเปียกที่ขึ้นรูปด้วยแรงอัดต่ำที่ให้ค่าความร้อน $3,189.39 \pm 24.1$ แคลอรีต่อกรัม (ลดาวัลย์ วัฒนะจิระ และคนอื่น ๆ, 2559) แต่ค่าความร้อนจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานดังกล่าวต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์ (ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์ และคนอื่น ๆ, 2558) ผักตบชวา (นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล และธรรพร บุศย์น้ำเพชร, 2559) เปลือกทุเรียนและมังคุด (อัจฉรา อัครจุฑิษฐ์ และคนอื่น ๆ, 2555) และขยะกระดาษผสมชีวมวล (อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ และ คนอื่น ๆ, 2556) อนึ่งค่าความร้อนนี้สามารถพัฒนาให้เพิ่มขึ้นได้ด้วยการผสม (Blending) วัสดุอื่นที่ให้ค่าความร้อนสูงกว่า 3,500 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

หลังการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงาน พบเถ้า 5.71 ± 0.66 กรัม ต่อเชื้อเพลิงจำนวน 1 ชิ้นงาน หรือร้อยละ 20.13 ปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นผกผันกันกับของแข็งที่เหลือ กล่าวคือ ไม่พบของแข็งเหลือจากเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานกับ กาวแปงเปียกแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งนี้เผาไหม้ได้ดี ได้ค่าความร้อนในระดับที่เพียงพอสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในชุมชน (ธนาพล ต้นดิษฐ์กุล และคนอื่น ๆ, 2558) อย่างไรก็ตามควรศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มเติม เช่น ศึกษาอัตราส่วนระหว่างกระดาษเหลือใช้ในสำนักงานต่อกาวแปงเปียกที่น้อยกว่า 10:1 วิเคราะห์ค่าความแข็งของชิ้นงาน ศึกษาระยะเวลาในการจุดติดไฟและระยะเวลาการติดไฟ สารที่ระเหยได้หรือศึกษาพัฒนาคุณสมบัติอื่น ๆ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีคุณภาพยิ่งขึ้นต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว ที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัย และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือทดสอบความต้านทานแรงอัด

6. เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2547). การลดปริมาณการใช้กระดาษและการใช้ประโยชน์ขยะกระดาษจากสำนักงาน. ค้นเมื่อ สิงหาคม 24, 2560, จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_paper.html
- _____. (2558). แผนยุทธศาสตร์ และแผนปฏิบัติราชการ 4 ปี กรมควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2559-2562. ค้นเมื่อ สิงหาคม 24, 2560, จาก <http://infofile.pcd.go.th/pcd/plan4y58S.pdf?CFID=1459267&CFTOKEN=98801532>

- _____. (2560). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2559. กรุงเทพมหานคร: หั่วใหญ่.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). **คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน**. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็มเอส เอ็นจิเนียริง แอนด์ แมเนจเม้นท์.
- _____. (2558). **คู่มือการจัดการกากอุตสาหกรรม**. ค้นเมื่อ สิงหาคม 1, 2560, จาก <http://iei.or.th/media/file/คู่มือการจัดการกากอุตสาหกรรม.pdf>
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. (2548). **คุณสมบัติของแ่งมันสำปะหลังและการปรับปรุงเพื่อพัฒนาการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร**. ค้นเมื่อ สิงหาคม 26, 2560, จาก <http://www1a.biotech.or.th/rdreport/prjbiotec.asp?Id=1332>
- จุติพร อินทะนิน. (2552). **การศึกษาสมบัติของเถ้าลอยจากกระบวนการแปรรูปแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นปูนขาวเพื่อนำไปทำเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ธนาพล ตันติสัตยกุล กะชามาศ สายดำ สุจิตรา ภูสงสี และศิวพร เงินเรืองโรจน์. (2558). **การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากเปลือกสับปะรด**. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 23(5 ฉบับพิเศษ), 754-773.
- ธนาวัฒน์ รักกมล ทิพวรรณ มณีสิงห์ และจิตติมา ณ สงขลา. (2557). **ความเป็นไปได้ในการประดิษฐ์วัสดุดูดซับเสียงจากถังกระดาผสมกับถังกระดาเหลือใช้ของโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง**. **วิศวกรรมลาดกระบัง**, 31(1), 25-30.
- นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล. (2557). **การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและครัวเรือน**. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**, 6(11), 66-77.
- นิพนธ์ ตันไพบุลย์กุล และธรรพร บุศย์น้ำเพชร. (2559). **ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา**. **วารสารวิชาการ Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University**, 3(6), 86-100.
- พรเทพ หอมผกา. (2552). **การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกระดาสำนักงานและมวลชีวภาพ**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีอาคาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- ลดาวลัย วัฒนะวีระ ณรงค์ศักดิ์ ลาปิ่น วิภาวดี ชัชวาลย์ และอานันท์ ธัญญเจริญ. (2559). **การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง**. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.**, 39(2), 239-255.
- ศิริประภา กะนิโก สิรินารี เงินเจริญ และชัยฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ. (2559). **การพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากกระดาเหลือใช้และกลบ**. **ในรายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 13 วันที่ 8-9 ธันวาคม พ.ศ. 2559 (หน้า 1580-1586)**. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ศิริสุข จินดารักษ์ พร หมอนแพร ลอย ใจจูน และไพฑูรย์ ถาวรวงศ์. (2548). แท่งเชื้อเพลิง
เขี้ยวจากฟางข้าวและขี้ข้าวโพด. *วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ*, 2(2), 78-90.
- ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์ และภูมิพัฒน์ ภาชนะ. (2558). การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจาก
หญ้าเนเปียร์. ใน *รายงานการประชุมวิชาการและนำเสนอผลการวิจัยระดับชาติและ
นานาชาติ กลุ่มวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 6 วันที่ 28-29 เมษายน พ.ศ.2558 (หน้า 502-
512)*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการส่งเสริมสุขภาพ. (2556). *รู้หรือไม่ เราใช้กระดาษปืละเท่าไร*.
ค้นเมื่อ สิงหาคม 4, 2560, จาก [http://www.thaihealth.or.th/Content/20091-
...%A3.html](http://www.thaihealth.or.th/Content/20091-...%A3.html)
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: ถ่านอัดแท่ง*.
ค้นเมื่อ สิงหาคม 4, 2560, จาก http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238_47.pdf
- _____. (2548). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: ถ่านอัดไบนอนิก*. ค้นเมื่อ สิงหาคม 4, 2560,
จาก http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps946_48.pdf
- สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย. (2558). *การดำเนินงานลดคัดแยกขยะมูลฝอย
ภายในอาคารสำนักงาน*. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพมหานคร: อีชี.
- _____. (2559). *แนวทางการดำเนินงานตัวชี้วัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ใน เอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการตัวชี้วัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ
สิ่งแวดล้อม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2560 ด้านการบริหารจัดการขยะมูลฝอย
วันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ.2559 (หน้า 38)*. กรุงเทพมหานคร: ม.ป.ท.
- อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์ พิสุทธิ รัตนแสนวงษ์ จักรพันธ์ ถิ่นหา และวราพจน์
พันธุ์คง. (2551). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมขี้ข้าวโพดและ
กะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน. ใน *รายงาน
การประชุมวิชาการเครือข่ายการวิจัยของสถาบันอุดมศึกษา วันที่ 17-19 มกราคม
พ.ศ.2551*. ขอนแก่น: เครือข่ายบริหารการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือและมหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์ และพรเทพ หอมผกา. (2556). การผลิตเชื้อเพลิงอัด
แท่งจากขยะกระดาษผสมขี้มูลจากวัวพืชด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันแบบรีดเย็น.
ใน *รายงานการประชุมวิชาการการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 3 วันที่ 9-12
พฤษภาคม พ.ศ.2556 (หน้า 599-603)*. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อัจฉรา อัครจุฑิกลชัย ชลันดา เสมสายัณห์ นัฐพร ประภักดี ญัฐธิดา เปี่ยมสุวรรณศิริ และ
นิภาวรรณ ชูชาติ. (2555). *การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูป
เชื้อเพลิงอัดแท่ง*. ค้นเมื่อ สิงหาคม 25, 2560, จาก [http://www.lib.ku.ac.th/
KUCONF/2555/KC4905022.pdf](http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/2555/KC4905022.pdf)
- เอกลักษณ์ กิตติภัทรถาวร ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และวลัยรัตน์ อดตมะปรางกรม. (2556).
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมของตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล.
วารสารวิจัยพลังงาน, 10(3), 43-56.

- American Society for Testing and Materials. (2010). Standard test method for gross calorific value of coal and coke: D5865-10a. In **ASTM. Annual book of American Standard Testing Methods**.
- American Society for Testing and Materials. (2011). Standard test method for Organic fiber content of asbestos-cement products: D458/C458M-98 (Reapproved 2011). In **ASTM. Annual book of American Standard Testing Methods**.
- Joshi, G., Naithani, S., Varshney, V.K., Bisht, S.S., Rana, V., & Gupta, P.K. (2015). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from office waste paper: A greener approach towards waste management. **Waste Management**, 38, 33-40.
- Lubwama, M. & Yiga, V.A. (2017). Development of groundnut shells and bagasse briquettes as sustainable fuel sources for domestic cooking applications in Uganda. **Renewable Energy**, 111, 532-542.
- Mkini, R.I. & Bakari, Z. (2015). Effect of moisture content on combustion and friability characteristics of biomass waste briquettes made by small scale producers in Tanzania. **International journal of engineering research and reviews**, 3(1), 66-72.
- Muazu, R.I. & Stegemann, J.A. (2015). Biosolids and microalgae as alternative binders for biomass fuel briquetting. **Fuel**, 194, 339-347.
- Muazu, R.I. & Stegemann, J.A. (2015). Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs. **Fuel Processing Technology**, 133, 137-145.
- Nishimura, H., Tan, L., Kira, N., Tomiyama, S., Yamada, K., Sun, Z.Y., Tang, Y.Q., Morimura, S., & Kida, K. (2017). Production of ethanol from a mixture of waste paper and kitchen waste via a process of successive liquefaction, presaccharification, and simultaneous saccharification and fermentation. **Waste Management**, 67, 86-94.
- Pang, Z., Sun, X., Wu, X., Nie, Y., & Liu, Z. (2015). Fabrication and application of carbon nanotubes/cellulose composite paper. **Vacuum**, 122, 135-140.
- Richards, S.R. (1990). Physical testing of fuel briquettes. **Fuel Processing Technology**, 25, 89-100.
- Su, H., Zhu, P., Zhang, L., Zhou, F., Li, G., Li, T., Wang, Q., Sun, R., & Wong, C. (2017). Waste to wealth: A sustainable and flexible supercapacitor based on office waste paper electrodes. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, 786, 28-34.

Sullivan, A.L., & Ball, R. (2012). Thermal decomposition and combustion chemistry of cellulosic biomass. *Atmospheric Environment*, 47, 133-141.