

การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง A STUDY ON HOW TO UTILIZE COFFEE RESIDUE AND TEA RESIDUE FOR THE PRODUCTION OF BRIQUETTES

นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล* พัชรี ปรีดาสुरิยะชัย

Naruephat Tangmankongworakoon, Patcharee Preedasuriyachai*

สำนักนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
Innovative Learning Center, Srinakharinwirot University.

**Corresponding author, E-mail: naruephat@g.swu.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัญหากากกาแฟและกากชาที่เหลือทิ้งจำนวนมากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากของเสียเหล่านี้มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมากจึงไม่สามารถทิ้งได้ โดยต้องผ่านการบำบัดก่อน งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการนำกากกาแฟและกากชามาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าความร้อน คุณสมบัติด้านเชื้อเพลิง (Proximate Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ได้แก่ ความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงที่ และเถ้า การกำหนดสภาวะอุณหภูมิในการคาร์บอนไนเซชัน ผลของการคาร์บอนไนเซชัน กากกาแฟและกากชาและการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Ultimate Analysis) ที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิง รวมถึงการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ การติดไฟ ปริมาณควันไฟ ซึ่งพบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันกากกาแฟและกากชา มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5,517 แคลอรี/กรัม ไปเป็น 7,460 แคลอรี/กรัม และกากชาเพิ่มขึ้นจาก 4,482 แคลอรี/กรัม ไปเป็น 5,600 แคลอรี/กรัม ตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาค่าความชื้น ปริมาณเถ้าและปริมาณธาตุที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานชีวมวลที่กำหนด และสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากกาแฟ สามารถขึ้นรูปง่ายไม่แตกร่วน ไม่เปื้อนมือ ติดไฟง่าย ในขณะที่เผาไหม้ไม่พบการแตกปะทุ และไม่มีควัน ส่วนแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากชาเมื่อหยิบใช้ไม่เปื้อนติดมือเช่นกัน ติดไฟได้ดี ไม่มีการแตกปะทุ แต่ยังมีควัน เนื่องจากยังมีสารระเหยอยู่ในปริมาณสูงกว่ากากกาแฟ

คำสำคัญ: แท่งเชื้อเพลิง ถ่านอัดแท่ง วัสดุเหลือใช้ กากกาแฟ กากชา

Abstract

Considerable amounts of coffee residue and tea residue accumulated in Thailand over the years have caused growing environmental problems, as those wastes contain substantial levels of organic substances which require costly treatment upon their disposal. This study aimed to determine whether coffee residue and tea residue could be practically used to produce fuel briquettes by using starch as a binder. Then, the briquettes were evaluated by examining their calorific values, fuel properties (proximate analysis, based on ASTM standards:

moisture, volatility, fixed carbon, and ash), optimal temperatures for carbonization, the results of carbonization, the quantities of their elements (ultimate analysis), and their physical properties (flammability and the amount of smoke). The study found that carbonization caused rises in calorific values of briquettes produced from both coffee residue and tea residue. For those made from coffee residue, the calorific value increased from 5,517 calories/gram (without carbonization) to 7,460 calories/gram (with carbonization). For those produced from tea residue, the number rose from 4,482 calories/gram (without carbonization) to 5,600 calories/gram (with carbonization). The study also discovered that the briquettes had moisture contents, the amounts of ash, and the amounts of fuel elements in the levels acceptable under biomass standards. In addition, the briquettes produced from coffee residue were readily molded, not easily shattered, leaving no stains on hands, easy to ignite, and having neither cracks nor smoke during combustion. The same desirable qualities did apply to the briquettes created from tea residue. However, the latter emitted a fair amount of smoke as tea residue had higher volatility than did coffee residue.

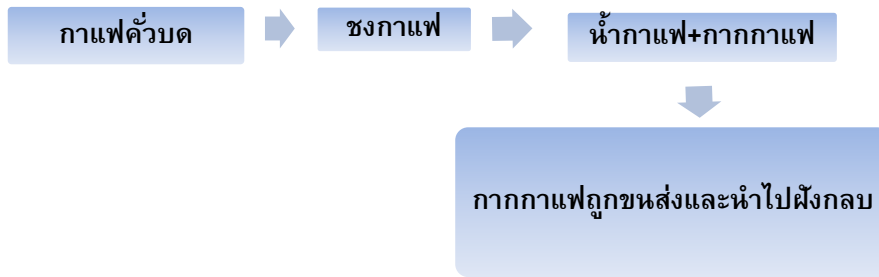
Keywords: Briquettes, Charcoal, Unused Wastes, Biomass, Coffee Residue, Tea Residue

บทนำ

กาแฟเป็นพืชยืนต้น มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ **Coffea Arabica L.** กาแฟนั้นมียอด 60 สายพันธุ์ แต่มีสายพันธุ์ที่ใหญ่ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ พันธุ์อะราบิกา (Arabica) พันธุ์โรบัสตา (Robusta) และพันธุ์เอกซ์เซลซ่า (Excelsa) (จารุภรณ์, 2540) [1] เมล็ดของกากกาแฟนั้นเป็นส่วนที่อยู่ในกะลาโดยจะมีเยื่อบางๆ ห่อหุ้มอยู่อีกชั้นหนึ่ง เมื่อสุกเต็มที่จะมีลักษณะเป็นยางเหนียวๆ เมื่อปอกเปลือกและเนื้อทิ้งไปแล้วนำเมล็ดกาแฟทั้งกะลาไปตากแห้งจะเสียน้ำหนักไปประมาณ 7% และเมื่อกะเทาะเอาเปลือกและเนื้อทิ้งแล้วนำเมล็ดกาแฟทั้งกะลาไปตากแห้งอีกครั้ง โดยองค์ประกอบของสารในเมล็ดกาแฟที่สำคัญ คือ คาเฟอีน 0.3-3.5% กรดคลอโรเจนิก 3-10% และกรดแทนนิก เป็นต้น (มาลัยพร, 2552) [2]

นอกจากนี้กาแฟ เป็นหนึ่งในสินค้าทางการเกษตรซึ่งมีการซื้อขายกันมากที่สุดในโลกโดยในปี ค.ศ. 2001 ผลผลิตกาแฟโลกมีประมาณ 7.01 ล้านตัน จากเนื้อที่เก็บเกี่ยว

67.01 ล้านไร่ และบราซิลเป็นประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ของโลก 14.39 ล้านไร่ ผลผลิต 1.78 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 124 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาเป็นเวียดนาม ส่วนผลผลิตของไทย คิดเป็นร้อยละ 1.12 ของผลผลิตโลก [1] ดังนั้นเมื่อมีการบริโภคที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดของเสียที่เป็นกากกาแฟในภาคอุตสาหกรรมและร้านค้าที่มีการทำเครื่องดื่มกาแฟจะเกิดกากกาแฟเป็นจำนวนมากดังแผนภาพกลไกของผลิตภัณฑ์กาแฟคั่ว ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กลไกของผลิตภัณฑ์กาแฟคั่ว

ในปี ค.ศ. 1970 ประเทศบราซิลได้กลายเป็นผู้ผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปรายใหญ่ที่สำคัญซึ่งสามารถผลิตกาแฟได้ถึง 36 ล้านกิโลกรัมต่อปี ทำให้มีผงกาแฟที่ผ่านการใช้แล้วซึ่งเป็นของเสียเกิดขึ้น 0.91 กิโลกรัมต่อผงกาแฟสำเร็จรูป 1 กิโลกรัม (Silva; et al., 1997) [3] และในปัจจุบันมีอัตราการผลิตกาแฟเหล่านี้สูงขึ้นเป็นผลทำให้ของเสียจากกระบวนการผลิตกาแฟเหล่านี้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในของเสียเหล่านี้มีอยู่มากจึงไม่สามารถทิ้งได้โดยไม่ผ่านการบำบัดก่อน

จากการศึกษา พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการผลิตจากกากกาแฟ ที่สอดคล้องกับงานวิจัยดังนี้

นพพร สุดใจธรรม (2546) [4] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากกากกาแฟโดยใช้เครื่องอัดเย็นโดยใช้ตัวประสานเป็นผักตบชวาหมัก เศษมันสำปะหลัง และแป้งเปียกพบว่ากากกาแฟมีค่าความร้อน 6038 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม เมื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยผสมผักตบชวาหมักเศษมันสำปะหลัง หรือแป้งเปียกจะมีค่าความร้อนลดลงเหลือ 4,700-5,700 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสานและมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.5-0.99 F. Boudrahem และคณะ [5] ได้ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยใช้วิธีกระตุ้นทางเคมีด้วย $ZnCl_2$ เพื่อใช้ในการดูดซับ $Pb(II)$ ในสารละลายในการศึกษานี้ได้ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ เช่น เวลา ความเข้มข้นของ $Pb(II)$ และอุณหภูมิ

พบว่าที่ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ 75 % และ 100 % ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับที่ใกล้เคียงกันซึ่งได้ค่าพื้นที่ผิวประมาณ 890 ตารางเมตร/กรัม และปริมาตรรูพรุนรวม 0.772 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม จึงสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นของ $ZnCl_2$ ที่ 75% เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้เตรียมถ่านกัมมันต์ จากนั้นนำถ่านที่เตรียมได้ไปทดสอบการดูดซับ $Pb(II)$ พบว่าที่ความเข้มข้นของ $Pb(II)$ 10 มิลลิกรัม/ลิตร จะได้ค่าการดูดซับสูงสุด เท่ากับ 63 มิลลิกรัม/กรัม นอกจากนี้ Virote Boonamnuayvitaya และคณะ [6] ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยการเปลี่ยนแปลงวิธีที่ใช้ในการกระตุ้น คือ $ZnCl_2$, N_2 , CO_2 และ ไออน้ำ ถ่านที่เตรียมได้จะนำไปทดสอบการดูดซับ Formaldehyde เทียบกับถ่านทางการค้า (CH-I1000) จากการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ร่วมกับ N_2 ($CZn-N_2$) จะให้ประสิทธิภาพในการดูดซับ Formaldehyde สูงที่สุด และถ่านที่เตรียมขึ้นจากการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ ร่วมกับ N_2 และ CO_2 ($CZn-N_2-CO_2$) จะได้ถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงที่สุดเท่ากับ 914.21 ตารางเมตร/กรัม และปริมาตรรูพรุนรวมเท่ากับ 1.010-0.003 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม

ชาเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่ได้รับคามนิยมอย่างต่อเนื่องในหมู่คนไทย ซึ่งมีแนวโน้มการบริโภคที่เพิ่มขึ้น จัดเป็นกระแสการตื่นตัวทางการบริโภคเพื่อสุขภาพ และมีการพัฒนารูปแบบของการบริโภค ตั้งแต่ซื้อใบชามาชง

ดื่มเอง หรือซื้อในรูปของน้ำชาเขียวสำเร็จรูปที่บรรจุขวด กระป๋อง กล่องยูเอชที นอกจากนี้ยังมีการนำมาผสมในอาหารและขนมอื่นๆ และยังมีการพัฒนาเพื่อนำมาผสมลงในเครื่องสำอางค์ต่างๆ อีกด้วย ดังตารางที่ 1 แสดงข้อมูลสถิติในการผลิตชาของไทย ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้นำเสนอ จะเห็นได้ว่ากระแสนิยมในประเทศไทยในการดื่มกาแฟสดและชาของคนไทยนั้นยังเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก สังเกตได้จากจำนวนร้านกาแฟ

และชาทั้งแบรนด์ไทยและต่างประเทศที่เพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ทั้งในกรุงเทพและจังหวัดอื่นๆ กากกาและกากกาแฟเป็นส่วนที่เหลือจากภาคอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มชาและจากร้านค้าที่ขายชาและกาแฟที่มีจำนวนมากในแต่ละวันซึ่งไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อแต่ มักจะนำไปทิ้งเป็นขยะจำนวนมากที่รัฐต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพื่อนำไปทำลายโดยการฝังกลบ

ตารางที่ 1 ข้อมูลสถิติการผลิตชาของประเทศไทย

รายการ	การผลิต				
	2548	2549	2550	2551	2552
จำนวนครัวเรือน	21,455	21,728	21,980	22,251	n.a.
เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	95,555	100,152	105,989	113,364	116,466
ผลผลิตชาสด (ตัน)	51,570	53,782	57,362	61,557	63,707

n.a. หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำแนวคิดนี้มาแก้ปัญหากากกาแฟและกากชาที่เหลือทิ้งมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงจากชุมชนที่มีอยู่จำนวนมากและบางส่วนไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทำให้รัฐบาลและประเทศไทยต้องเสียงบประมาณในการกำจัดขยะเหล่านี้ ผู้วิจัยได้เล็งเห็นการนำขยะที่ไม่ใช้แล้วเหลือทิ้งซึ่งจะนำขยะเหล่านี้มาแปรรูปในกระบวนการต่างๆ ทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถผลิตได้เองในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือน ซึ่งน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทดแทนก๊าซหุงต้มและเชื้อเพลิงให้ความร้อนได้เป็นอย่างดี เพราะมีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากและประชาชนในครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมสามารถศึกษาและลงมือทำได้เองอย่างถูกวิธี อีกทั้งยังลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและสามารถลดปริมาณขยะ อีกทั้งยังช่วยลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและยังสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากกากกาแฟและกากชา
2. เพื่อพัฒนาระบวนการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากกากกาแฟและกากชา
3. เพื่อหาสมรรถนะการใช้งานของแท่งเชื้อเพลิงกากกาแฟและกากชา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมกากกาแฟ กากชาและการอัดเย็น

นำกากกาแฟและกากชาที่เก็บจากร้านเครื่องดื่มภายในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒนำมาทำให้แห้งด้วยการตากแดดหรืออบที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำมาผสมกับตัวประสานโดยใช้กาวแป้งเปียกในอัตราส่วนโดยน้ำหนักวัสดุเหลือใช้ต่อแป้งเปียก 9:1 นำมาอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบง่าย

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ลึก 3 เซนติเมตร และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ดังแสดงขั้นตอนกระบวนการผลิตตามภาพที่ 2

2. การกำหนดสภาวะอุณหภูมิในการคาร์บอนไนเซชัน

ทำการตรวจสอบความสามารถในการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) ของวัสดุเหลือใช้คือกากกาแฟ และกากชาที่อบแห้งแล้วโดยใช้เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) ภายใต้การวัดในช่วงอุณหภูมิ 25-950 องศาเซลเซียส ที่อัตราการร้อน 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที ภายใต้การเผาของแก๊สไนโตรเจนหลังจากนั้นจะได้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคาร์บอนไนซ์ กากกาแฟและกากชา

3. การคาร์บอนไนซ์ กากกาแฟและกากชา

นำกากกาแฟและกากชามาทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ในเตาเผาไฟฟ้า ยี่ห้อ Carbolite Furnace โดยให้ความร้อนที่อัตราของการไพโรไลซิส 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาผสมกับตัวประสานโดยใช้กาวแป้งเปียกในอัตราส่วนโดยน้ำหนักวัสดุเหลือใช้ต่อแป้งเปียก 9:1 นำมาอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบง่ายขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ลึก 3 เซนติเมตร และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

4. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง

เมื่อได้แท่งเชื้อเพลิงที่แห้งแล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงดังนี้คือ วิเคราะห์หาค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ยี่ห้อ LECO รุ่น AC-350 วิเคราะห์ตาม ASTM D5865-12 [7] ส่วนการวิเคราะห์ค่าร้อยละความชื้น ค่าร้อยละเถ้า ร้อยละสารระเหย และคาร์บอนคงตัวใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E1131-86 ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) ยี่ห้อ Mettler Toledo [8] และการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Ultimate Analysis) คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ด้วยเครื่อง Elemental Analyzer (EA) (CHNS/O Analyzer) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น PE 2400 series II และ X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) แบบ Wavelength Dispersive ยี่ห้อ Philips รุ่น PW2400



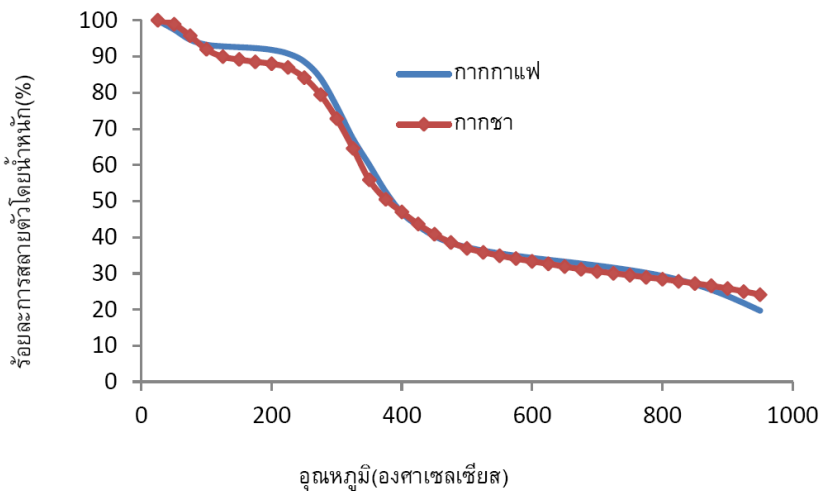
ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำแท่งเชื้อเพลิงจากกากกาแฟและกากชา

ผลการวิจัย

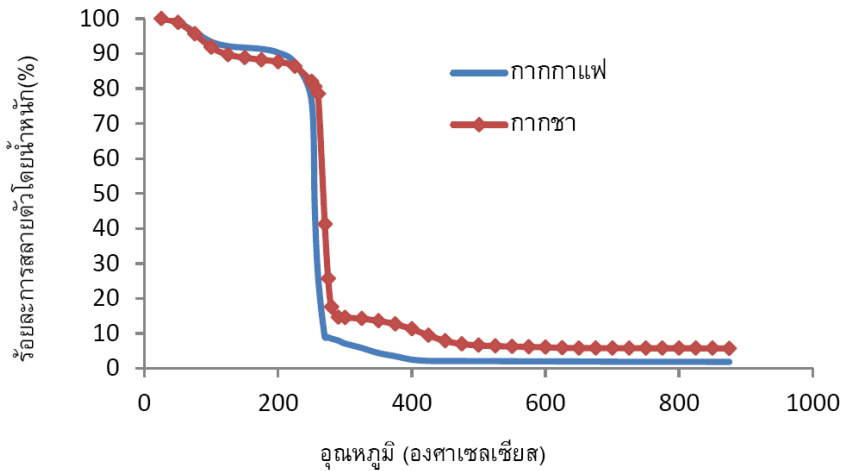
การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงและการศึกษาการคาร์บอนไอเซชันของกากกาแฟโดยวิธี Thermogravimetric Analysis (TGA)

กากกาแฟและกากชาที่เก็บมาจากร้านเครื่องดื่ม เมื่อดตากแห้งจะมีลักษณะร่วนไม่เกาะกันจึงต้องนำมาผสมกับตัวประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลังที่นำมาทำเป็นกาวแป้งเปียก โดยปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ประมาณ 10% โดยน้ำหนักของวัสดุเหลือใช้ เมื่อนำมาอัดขึ้นรูปและนำไปอบแห้ง พบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากกาแฟและกากชา มีรอยแตกในบางส่วน ส่วนการติดไฟ ติดไฟง่ายแต่มีปริมาณควันมาก และเมื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิง พิจารณาภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) กับร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกากกาแฟและกากชา จากกราฟในภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าช่วงอุณหภูมิในการสูญเสียความชื้น คือในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 25-200 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำหนักทั้งกากกาแฟและกากชาลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นช่วงที่สารระเหยมีการสลาย

ตัวออกมาทำให้ทราบว่าช่วงอุณหภูมิที่สารระเหยมีการสลายตัวคือช่วงอุณหภูมิประมาณ 200-500 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส พบว่าค่าน้ำหนักมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก หลังจากนั้นได้ใช้ตัวอย่างเดียวกันของกากกาแฟและกากชาเข้าเครื่อง TGA อีกครั้งโดยเปลี่ยนก๊าซที่ป้อนเข้าไปจากก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซออกซิเจน ที่อัตราน้ำหนักอัตราความร้อน 10 องศาเซลเซียส ต่อหน้าที่ทำให้สารตัวอย่างเกิดการเผาไหม้เป็นขั้นๆ ในช่วงนี้ของการทดลองทำให้ได้ค่าโดยประมาณของร้อยละคาร์บอนคงตัวออกมา และหลังจากอุณหภูมิเพิ่มถึงประมาณ 550 องศาเซลเซียส พบว่าค่าน้ำหนักของสารไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงดังภาพที่ 3 ดังนั้นในการศึกษาช่วงอุณหภูมิในการคาร์บอนไอเซชันของสารตัวอย่างทั้งสอง (กากกาแฟและกากชา) ควรทำในช่วงอุณหภูมิประมาณ 250-500 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาจากกราฟภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และร้อยละการสลายตัวโดยน้ำหนัก (%) จะสามารถแบ่งช่วงอุณหภูมิและผลิตภัณฑ์ที่ได้ของกากกาแฟและกากชา แสดงดังตารางที่ 2



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 25-950°C ที่อัตราให้ความร้อน 10 °C ภายใต้ความดันไนโตรเจน 100 ml/min กับร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกากกาแฟและกากชา



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 25-950 °C ที่อัตราให้ความร้อน 10 °C ภายใต้ความดันออกซิเจน 100 ml/min กับร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกากกาแพและกากชา

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพ (Proximate Analysis) และค่าความร้อนของกากกาแพและกากชา

วัสดุเหลือใช้	คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	ปริมาณความชื้น (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	เถ้า (%)
กากกาแพ	5517	6.64	72.15	19.43	1.78
กากชา	4482	10.84	63.9	18.43	5.67

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำจากกากกาแพและกากชาในตารางที่ 2 พบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากกาแพ มีค่าความร้อน 5,517 แคลอรี/กรัม และกากชา มีค่าความร้อน 4,482 แคลอรี/กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนกับฟืนไม้ทั่วไปมีค่าความร้อนใกล้เคียงกันคือประมาณ 4,390 แคลอรี/กรัม [9-10] แต่มีค่าต่ำกว่าถ่านไม้ทั่วไปที่มีค่าความร้อน 7,034 แคลอรี/กรัม เนื่องจากถ่านไม้มีค่าคาร์บอนคงตัวสูงกว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้เพราะได้ผ่านการแปรสภาพเป็นถ่าน กล่าวคือได้ผ่านกระบวนการเผาในสภาพอับอากาศหรือจำกัดอากาศทำให้ออกซิเจนมีน้อย

ไม่จึงไม่สามารถลุกไหม้ได้จนถึงขั้นตอนสุดท้ายไม่จึงเปลี่ยนสภาพกลายเป็นถ่านสีดำซึ่งกระบวนการเช่นนี้เรียกว่า คาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) นอกจากนี้ทำให้ถ่านที่ได้มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น และปริมาณสารระเหยลดลงจากตารางที่ 2 พบว่าร้อยละสารระเหยของกากกาแพอยู่ที่ 72.15 และกากชา 63.9 ซึ่งอยู่ในปริมาณสูงจึงทำให้เมื่อนำแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากกากกาแพและกากชาไปใช้งาน จึงมีปริมาณควันที่มาก ส่วนค่าร้อยละความชื้นและร้อยละเถ้าอยู่ในปริมาณที่เกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงตามที่กำหนด [10-11]

ปริมาณธาตุองค์ประกอบ

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิง (Ultimate Analysis) ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถัน พบว่า [11-12] ธาตุองค์ประกอบเหล่านี้ในชีวมวล ส่งผลกระทบต่อสมบัติของการเผาไหม้ โดยมวลรวมของเชื้อเพลิงจะลดลงในขณะที่การเผาไหม้เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งสามารถอธิบายได้จากทั้งอัตราส่วนของไฮโดรเจนต่อคาร์บอน และอัตราส่วนของออกซิเจนต่อคาร์บอน (ในสัดส่วนที่น้อยกว่า)

ของเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณไนโตรเจน ซัลเฟอร์และคลอรีนมีผลต่อการปล่อยก๊าซที่เป็นอันตรายซึ่งถ้ามีปริมาณมากเกินไปที่กำหนดจะส่งผลต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ และปริมาณของก๊าซที่เป็นมลพิษทางอากาศ [13] จากการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงพบว่ามีปริมาณ คาร์บอนและซัลเฟอร์เท่านั้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานชีวมวลที่กำหนด ดังแสดงผลการเปรียบเทียบแท่งเชื้อเพลิงที่ได้จากกาแฟและกากชากับชีวมวล ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Ultimate Analysis) ของกากกาแฟและกากชา

การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (Ultimate Analysis)	กากกาแฟ	กากชา	ชีวมวล [14-15]
คาร์บอน(C)	49.24	47.17	30-60
ไฮโดรเจน(H)	6.98	6.05	5-6
ออกซิเจน(O)	41.38	43.8	30-40
ไนโตรเจน(N)	2.39	2.98	<1
ซัลเฟอร์ (S)/อื่นๆ	0.01	0.16	<1

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาทั้งการวิเคราะห์แบบ Proximate Analysis และแบบ Ultimate Analysis แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากกาแฟและกากชาที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน มีบางคุณสมบัติที่ขาดและเกินมาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้ในขั้นตอนต่อไปผู้วิจัยได้เพิ่มกระบวนการคาร์บอนไนเซชันกับวัสดุเหลือใช้ก่อนการขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแท่งเชื้อเพลิงบางประการเพื่อปรับเปลี่ยนไปในทิศทางที่เหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น

การคาร์บอนไนซ์ กากกาแฟและกากชา

นำกากกาแฟและกากชามาทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ในเตาเผาไฟฟ้ายี่ห้อ Carbolite Furnace โดยให้ความร้อนที่อัตราของการไพโรไลซิส 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำกากกาแฟที่เผา

แล้วมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) ได้ผลดังตารางที่ 4 โดยเปรียบเทียบผลข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 2

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของกากกาแฟและกากชา

วัสดุเหลือใช้	%ความชื้น	% สารระเหย	%คาร์บอนคงตัว	%เถ้า	ค่าความร้อน
กากกาแฟ (ไม่เผา)	6.64	72.15	19.43	1.78	5,517
กากชา (ไม่เผา)	10.84	63.9	18.43	5.67	4,482
กากกาแฟ (เผา)	4.16	11.89	77.77	6.18	7,360
กากชา (เผา)	5.5	17.73	65.29	11.48	5,600

จากตารางที่ 4 พบว่าทั้งกากกาแฟและกากชาที่เผาแล้ว (Carbonization) มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5,517 แคลอรีต่อกรัม ไปเป็น 7,360 แคลอรีต่อกรัม สำหรับกากกาแฟ ส่วนกากชา มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 4,482 แคลอรีต่อกรัม ไปเป็น 5,600 แคลอรีต่อกรัม และร้อยละคาร์บอนคงตัวของกากกาแฟและกากชา เพิ่มขึ้นจาก 19.43 ไปเป็น 77.77 และ 18.43 ไปเป็น 65.29 ตามลำดับ เนื่องจากการคาร์บอนไนซ์กากกาแฟและกากชาเป็นการ

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็น อุณหภูมิที่ สารระเหยในกากกาแฟและกากชาออกมา จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความร้อนของกากกาแฟและกากชาที่เผาได้เพิ่มสูงขึ้นด้วย

โดยผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากกาแฟและกากชา กับฟืนไม้ ถ่านไม้ และชีวมวล ได้แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากกาแฟและกากชา กับฟืนไม้ ถ่านไม้ และชีวมวล

คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง	กากกาแฟ (เผา)	กากชา (เผา)	ฟืนไม้ (ไม่เผา)	ถ่านไม้ (เผา)	ชีวมวล (ไม่เผา)
ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)	7,360	5,600	4,390	7,430	>3,000
ปริมาณความชื้น (%)	4.16	5.5	8	9.4	<10
เถ้า (%)	6.18	11.48	3.9	5.4	<20
สารระเหย (%)	11.89	17.73	65	2	70-86
คาร์บอนคงตัว (%)	77.77	65.29	22.8	84.6	>15

การนำไปแท่งเชื้อเพลิงจากกากกาแฟและกากชาไปใช้ประโยชน์

นำกากกาแฟและกากชาที่ผ่านการเผา (Carbonization) มาผสมกับตัวประสานโดยใช้ กาว แป้งเปียก ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก

วัสดุเหลือใช้ต่อแป้งเปียก 9:1 นำมาอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบง่ายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ลึก 3 เซนติเมตร และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการศึกษเปรียบเทียบกับการ

ติดไฟกับถ่านที่จำหน่ายตามร้านค้าทั่วไป พบว่า
แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากกาแฟ เมื่อหีบใช้
ไม่เป็อนติดมือ ติดไฟได้ดีและไม่มีควัน
ไม่มีการแตกปะทุ เมื่อเผาไประยะหนึ่ง
แท่งเชื้อเพลิงยังคงรูปอยู่เป็นแท่ง การเผาไหม้
จะใช้เวลาประมาณ 45 นาที

ส่วนแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากชาเมื่อหีบใช้
ไม่เป็อนติดมือเช่นกัน ติดไฟได้ดี แต่ยังมีควัน
เนื่องจากยังมีสารระเหยอยู่ในปริมาณสูงกว่า
กากกาแฟ ไม่มีการแตกปะทุ เมื่อเผาไหม้ไประยะหนึ่ง
แท่งเชื้อเพลิงยังคงรูปเป็นแท่ง และการเผาไหม้
จะใช้เวลาประมาณ 35 นาที ดังแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเผาไหม้แท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากกาแฟ

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้
ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นการใช้พลังงาน
ทางเลือกอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งสามารถนำวัสดุเหลือใช้
ในครัวเรือนมาเป็นวัตถุดิบ พบว่าคุณสมบัติ
การเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากกากกาแฟและกาก
ชาสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในครัวเรือน
ได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แท่งเชื้อเพลิงจากกาก
กาแฟ สามารถขึ้นรูปและติดไฟง่ายไม่มีควันและ
การเผาไหม้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน
และให้ค่าความร้อนที่ได้เท่ากับ 7,360 กิโลแคลอรี
ต่อกิโลกรัม ซึ่งใกล้เคียงกับถ่านไม้ และสูงกว่า
ถ่านอัดแท่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนด
ไว้ที่ 5,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และค่า
ความชื้น ประมาณ 4.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ซึ่งค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน กำหนดไว้ไม่เกิน
8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งแข็ง
ดังนั้น การนำแท่งเชื้อเพลิงจากกากกาแฟ
จากการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์แทน

ถ่านไม้ได้ และเหมาะสมเป็นเชื้อเพลิงสำหรับ
การปิ้งย่าง ส่วนแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากชา
สามารถขึ้นรูปและติดไฟง่าย อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์ชุมชนและให้ค่าความร้อนที่ได้เท่ากับ
5,600 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม แต่ยังมีควัน
ขณะการเผาไหม้จึงไม่เหมาะกับการประกอบ
อาหารสำหรับการปิ้งย่าง ดังนั้น ความเหมาะสม
ในการนำกากกาแฟและกากชาที่เหลือทิ้งจาก
การอุปโภคและบริโภคมาใช้ในรูปเชื้อเพลิงอัด
แท่งทดแทนฟืนและถ่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง
สามารถทำได้ในเตาเผาถ่านทั่วไปโดยอาจจะต้อง
เพิ่มรายละเอียดที่เป็นภาชนะรองรับกากกาแฟ
และกากชาเนื่องจากมีลักษณะเป็นผง หรือปรับปรุง
กระบวนการในการขึ้นรูปก่อนนำไปเผาเพื่อให้
วัสดุคงตัวอยู่ได้ในขั้นตอนคาร์บอนไนซ์ให้เป็น
ถ่าน ดังนั้นผลงานวิจัยนี้จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่ง
ในการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์และมีก่อให้เกิด
เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สามารถแก้ปัญหาขยะ
ที่เพิ่มขึ้น และช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้ง

ในการอุปโภคบริโภคที่ต้องกำจัดและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญา และวิจัย ที่ได้สนับสนุนงบประมาณเงินแผ่นดิน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี 2558 ในโครงการวิจัยเรื่อง “การศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิง

จากกากไขมันและกากชา” และงบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี 2557 ในโครงการวิจัยเรื่อง “การศึกษากระบวนการไพโรไลซิสและแบบจำลองทางจลนพลศาสตร์ของวัสดุเหลือใช้ในชุมชน” ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและช่วยวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] จารุภรณ์ ศรีประเสริฐ. (2540). การวิเคราะห์หาปริมาณคาเฟอีนในกาแฟสำเร็จรูป (ชนิดน้ำ) บรรจุกระป๋อง. ใน *โครงการฝึกหัดการวิจัย*. เพชรบุรี: สถาบันราชภัฏเพชรบุรี.
- [2] มัลลย์พร ดวงบาล. (2552). การผลิตสารต้านอนุมูลอิสระกรดกลูคลิกจากกากกาแฟสดที่เหลือใช้โดยเอนไซม์แทนเนส. ใน *รายงานวิจัย*. นครสวรรค์: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.
- [3] Silva, M.A., S.A. Nebra, M.J. Machado Silva; and C.G. Sanchez. (1997). The use of biomass residue in the Brazilian soluble coffee industry. *Biomass and Bioenergy*. 14: 457-467.
- [4] นพพร สุดใจธรรม. (2546). *เชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟ*. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [5] Boudrahem, F., A. Soualah.; et al. (2011). Pb(II) and Cd(II) Removal from Aqueous Solutions Using Activated Carbon Developed from Coffee Residue Activated with Phosphoric Acid and Zinc Chloride. *Journal of Chemical & Engineering Data*. 56(5): 1946-1955.
- [6] Boonamnuayvitaya, V., C. Chaiya.; et al. (2004). Removal of heavy metals by adsorbent prepared from pyrolyzed coffee residues and clay. *Separation and Purification Technology*. 35(1): 11-22.
- [7] *ASTM D5865-07, Petroleum products, Lubricants, and Fossil Fuels*. (2013). Annual book of ASTM Standards.
- [8] *ASTM E1131, Standard Test Method for Composition Analysis by Thermogravimetry*. (1996). American Society for Testing and Materials.
- [9] วัฒนา เสถียรสวัสดิ์. (2529). *รายงานวิจัยเรื่องเชื้อเพลิงชีว (โครงการเชื้อเพลิงแข็ง)*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [10] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). *คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน*. หน้า 13.
- [11] นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล. (2557). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและครัวเรือน. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*. 6(11): 70.

- [12] Musa, NA. (2007). Comparative fuel characterization of rice husk and groundnut shell briquettes. *NJREDI* 6(4): 23–27.
- [13] Grover, PD, Mishra, SK, Clancy, JS. (1994). Development of an appropriate biomass briquetting technology suitable for production and use in developing countries. *Energy Sustain. Dev.* 1(1): 45–48.
- [14] Enweremadu, CC, Ojediran, JO, Oladeji, JT, Afolabi, LO. (2004). Evaluation of energy potential in husks from soy-bean and cowpea. *Sci. Focus* 8: 18–23.
- [15] Chaney, J. (2010). *Combustion Characteristics of Biomass Briquettes*. University of Nottingham, Dissertation.