This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

642ce0ed132715bf5f6feeadcfc98437d4c5688d9de686bd038dca1e647b35f6

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

การเพิ่มค่าความร้อนของไบโอชาร์โดยการไพโรไลซิสฟางข้าว ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่าง

ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ[1*], ภาณุวัฒน์ อุส่าห์เพียร[1], ยุทธนา ศรีผา[2]

[1]วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
Email: prangtip.kae@rmutr.ac.th[1*]

Received: August 8, 2020
Revised: September 28, 2020
Accepted: October 22, 2020

บทคัดย่อ

ฟางข้าวเป็นของเสียจากการเกษตรที่มีอยู่จำนวนมากและมีศักยภาพในการผลิตไบโอชาร์โดยกระบวนการไพโรไลซิส การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างและสมบัติทางเคมีกายภาพของไบโอชาร์จากการไพโรไลซิสฟางข้าว ฟางข้าวผ่านการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 300-500 °C ในการปรับสภาพฟางข้าว จะทำการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1M และกวนผสมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลผลิตไบโอชาร์จากฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 68.41% โดยน้ำหนัก ได้จากการทดลองไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 300 °C ทำการวิเคราะห์แบบประมาณ ซึ่งประกอบด้วยความชื้น สารระเหย ปริมาณคาร์บอนและเถ้า ซึ่งมีค่า 0.85 24.68 60.2 และ 14.27 ตามลำดับ การศึกษาคุณสมบัติและหมู่ฟังก์ชั่นของไบโอชาร์วิเคราะห์โดยเครื่อง FTIR spectrophotometer พบหมู่ฟังก์ชั่นของสารอินทรีย์บริเวณเลขคลื่น 1100 cm^{-1}และสารประเภท Aromatic เลขคลื่นตั้งแต่ 1600-1450 cm^{-1} และเมื่อศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของในรูปของค่าความร้อนสูง ค่าความร้อนสูง (HHV) ของไบโอชาร์เพิ่มขึ้นจาก 12.16 MJ / kg เป็น 27.23 MJ / kg พบว่าไบโอชาร์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมีที่อุณหภูมิ 500 °C ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาของคาร์บอไนซ์สูงกว่า ส่งผลให้ค่าคาร์บอนคงที่สูงขึ้นและปริมาณเถ้าลดลง เนื่องจากพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงแข็งถูกเก็บไว้ในรูปคาร์บอนคงที่และสารระเหย ดังนั้นวิธีนี้จึงเหมาะสมในการแปรสภาพฟางข้าวเป็นเชื้อเพลิงแข็งทดแทน ทำให้สามารถลดของเสียจากฟางข้าวปริมาณมากและยังลดแก๊สเรือนกระจกจากการเผาฟางข้าวในที่โล่งได้

คำสำคัญ : ฟางข้าว, การปรับสภาพด้วยสารเคมี, ไบโอชาร์, ไพโรไลซิส

Increasing Heating value of Biochar using Pyrolysis of Alkaline Pretreated Rice Straw

Prangtip Rittichote Kaewpengkrow[1*], Parnuwat Usapein[1], Yutthana Sripha[2]

[1] Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

[2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Email: prangtip.kae@rmutr.ac.th[1*]

Received: August 8, 2020
Revised: September 28, 2020
Accepted: October 22, 2020

Abstract

Rice straw is a potential agriculture waste to produce biochar by pyrolysis process. The objective of this study is to investigate the physicochemical and energy properties of biochar from pyrolyzed rice straw. The rice straw was pyrolyzed at 300- 500 °C. In the pretreatment of rice straw, it was pre-treated with 1M sodium hydroxide and stirring for 1h. The highest bio char yield of 68.41 wt.% was obtained by pretreated rice straw at pyrolysis temperature of 300 °C. The proximate analysis was investigated including the moisture, volatile, fix carbon and ash content which were 0.85, 24.68, 60.2 and 14.27, respectively. The functional groups of biochar were characterized using FTIR spectrophotometer. The energy content in term of high heating value of biochar and pretreated biochar was also investigated the fuel properties. The high heating value of the biochar increased from 12.16 MJ/kg to 27.23 MJ/kg in the pretreated biochar at 500 °C. The results suggested that the pretreated rice straw has a higher reaction of carbonization and decrease the ash content. The chemical energies of solid fuels are stored in fixed carbon and volatile matter. Consequently, this method can convert a great amount of rice straw waste to biofuel, it can also reduce amount of GHG from rice straw open burning.

Keywords : Rice straw, pretreatment, bio-char, pyrolysis

บทนำ

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรหลักในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้เหลือฟางข้าวจากการเก็บเกี่ยวเป็นจำนวนมากถึง 740.95 - 1,111.42 ตันต่อปี โดยปกติแล้วฟางข้าวจะถูกกำจัดโดยการเผาในบรรยากาศทำให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม กระบวนการไพโรไลซิสคือการสลายตัวทางเคมีความร้อนของสารอินทรีย์ภายใต้บรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน อุณหภูมิไพโรไลซิสอยู่ในช่วง 300 ถึง 900 ℃ [1, 2] การไพโรไลซิสเป็นวิธีการที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการผลิตไบโอชาร์และน้ำมันชีวภาพจากฟางข้าว ไบโอชาร์คือผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งได้มาจากการไพโรไลซิส [3] ไบโอชาร์สามารถนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพของดินเพื่อใช้ในทางการเกษตร ชีวมวลเช่นเศษจากพืชและสัตว์ ชีวมวลประเภทไม้และขยะมูลฝอยสามารถใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไบโอชาร์ได้ [4] [5-7] ไบโอชาร์ยังนำมาใช้เป็นในตัวดูดซับ เนื่องจากสามารถผลิตโดยใช้วัตถุดิบตั้งต้นหลายประเภท ราคาถูก และมีสมบัติทางกายภาพทางเคมีที่ดี ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่ผิว โครงสร้างที่มีรูพรุนขนาดเล็ก หมู่เร่งปฏิกิริยา และมี pH ที่สูง [3, 5] นอกจากนี้ไบโอชาร์สามารถนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นสารตั้งต้นในผลิตตัวเร่งปฏิกิริยาในงานประเภททำความสะอาดแก๊สสังเคราะห์ ผลิตน้ำมันชีวภาพและน้ำมันดีเซลจากแก๊สสังเคราะห์ อีกทั้งไบโอชาร์ยังสามารถเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และเป็นส่วนผสมในการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน เพราะมีคุณสมบัติที่เป็นเชื้อเพลิงที่ดี ยกตัวอย่างเช่น มีความหนาแน่นทางพลังงานสูง และสามารถบดย่อยได้ดี [8]

โดยทั่วไปแล้วฟางข้าวประกอบไปด้วยสารประกอบคาร์โบไฮเดรตพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ดังนั้นฟางข้าวจำเป็นต้องผ่านกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยสารเคมี ความร้อน และสารเคมีร่วมกับความร้อนเพื่อทำลายโครงสร้างหรือสลายพันธะของสารประกอบลิกนิน [7] มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาว่าฟางข้าวจำเป็นต้องผ่านกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากฟางข้าวเป็นชีวมวลที่มีปริมาณโลหะกลุ่ม alkali สูงกว่าชนิดอื่น เมื่อนำไปแปรสภาพทางความร้อนจึงเป็นสาเหตุของการเกิดเถ้าสูงและทำให้ประสิทธิภาพในการสลายตัวทางความร้อนและเผาไหม้ลดลง [4, 9-12] Jindo และคณะ (2014) ได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของไบโอชาร์จากชีวมวลหลายชนิด พบว่าที่อุณหภูมิไพโรไลซิส 400-800 °C ไบโอชาร์จากฟางข้าวมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 400 °C และมีองค์ประกอบของ SiO_2 ในโครงสร้างของไบโอชาร์ Guzmán และคณะ 2015 ได้ศึกษาองค์ประกอบของฟางข้าวที่ผ่านการสลายตัวทางความร้อนแบบเปิดและกลายเป็นเถ้า พบว่ามีโครงสร้างของ SiO_2, alkaline และ alkaline earth ปริมาณสูง ซึ่งสามารนำไปเป็นวัสดุทดแทนกลุ่มเซรามิกส์ได้ Huang และคณะ (2017) ได้ทำการไพโรไลซิสตะกอนน้ำเสียร่วมกับฟางข้าวและขี้เลื่อยเพื่อผลิตไบโอชาร์ พบว่าการเติมชีวมวลลดปริมาณไบโอชาร์ และเมื่อนำไบโอชาร์ไปชะด้วยสารละลายกรด ปริมาณโลหะหนัก (Cu, Zn และ Ni) มีปริมาณลดลง[13] Rizwan และคณะ (2020) ปรับปรุงคุณภาพไบโอชาร์จากฟางข้าวเพื่อเป็นสารปรับปรุงดินโดยการปรับสภาพด้วยด่างและไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 500 °C พบว่าพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจาก 12.26 เป็น 581.13 m^2/g ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินหรือวัสดุดูดซับได้ [14] โดยปกติแล้วปริมาณ alkali metals ในฟางข้าวมีผลต่ออัตราปฏิกิริยา devolatilization และมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ของไบโอชาร์ การชะล้างอย่างง่ายด้วยสารละลายกรดหรือเบส ส่งผลทำให้ปริมาณเถ้าลดลงและเพิ่มค่าความร้อน (HHV) [4, 15]นอกจากนี้ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียม-ไฮดรอกไซด์ และโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ถูกใช้เป็นสารเคมีในกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้น

ลิกโนเซลลูโลส (lignocellulose) ด้วยด่าง[14] วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอชาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสและปรับสภาพเบื้องต้นของฟางข้าว ยกตัวเอย่างเช่น มวล ค่าพลังงาน และค่าความร้อน ทั้งนี้การนำฟางข้าวที่ผ่านการไพโรไลซิสเป็นไบโอชาร์สามารถนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในภาคอุตสาหกรรมได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไบโอชาร์จากฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยสารเคมีผ่านกระบวนการไพโรไลซิส

2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและความร้อนของฟางข้าวที่ปรับสภาพในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน

ระเบียบวิธีวิจัย

1. วัตถุดิบ

ฟางข้าว (RS) ที่ใช้ในการทดลองได้จากทุ่งนาในจังหวัดนครปฐม ประเทศไทย ตัวอย่างก่อนทำการทดลองจะผ่านการตากให้แห้งและบดให้มีขนาดอนุภาค 1 ถึง 3 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำฟางข้าวที่ผ่านการบดและตากแห้งมาอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาเก็บในภาชนะปิดที่อุณหภูมิห้อง ฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการข้างต้นแล้วมาทำการชะล้างด้วยการปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ในสัดส่วน 2 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก (โซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อ ฟางข้าว) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากผ่านกระบวนการข้างต้นแล้วจะได้ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น (PRS) หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปอบในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเก็บในตู้ดูดความชื้นเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

2. การทดลองไพโรไลซิส

อุณหภูมิที่ใช้กระบวนการไพโรไลซิสฟางข้าว (RS) และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้น (PRS) ได้แก่ 300 400 และ 500 °C การทดลองเริ่มจากการนำวัตถุดิบใส่ลงไปในถ้วยคลูซิเบิล (crucible) และปิดฝาเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนก่อนนำเข้าสู่เตาเผาโดยใช้อัตราการให้ความร้อนที่ 10 °C ต่อนาที เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดตัวอย่างจะถูกรักษาไว้ที่อุณหภูมิคงที่เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากครบเวลาแล้ว ไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการข้างต้นแล้วจะถูกนำออกจะเตาเผา ถูกลดอุณหภูมิลงในตู้ดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและเก็บในขวดพลาสติกสุญญากาศ โดยที่ผลผลิต (yield) ของไบโอชาร์จะคำนวนมาจากอัตราส่วนน้ำหนักของไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสต่อน้ำหนักของฟางข้าวดังแสดงในสมการที่ (1)

$$Y1(\%) = M1/M2 * 100 \quad (1)$$

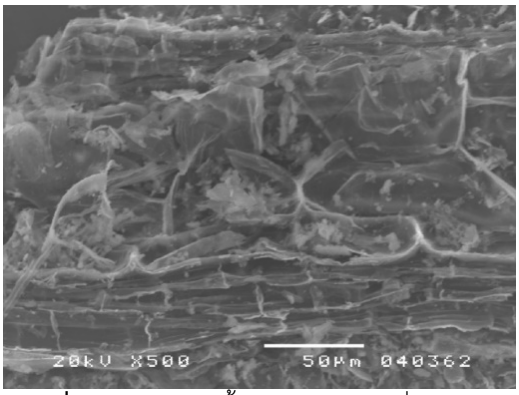
โดยที่ M1 คือ น้ำหนักของฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส; M2 คือ นำหนักของฟางข้าวก่านผ่านกระบวนการไพโรไลซิส

3. ลักษณะสมบัติของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์ปริมาณสารแบบประมาณ (proximate analysis) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM (ASTM) โดยที่การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ASTM E871) การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (ASTM E872) การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM E872) และการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ASTM D1102/D3174 -04) ผลการวิเคราะห์ฟางข้าวพบว่ามีความชื้น 8.7% สารระเหย 70.73% 8คาร์บอนคงตัว 7.49% และเถ้า 13.02% โดยน้ำหนัก และมีค่าความร้อน 12.16 MJ/kg วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นในตัวอย่างฟางข้าวและไบโอชาร์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (FTIR) โดยใช้เงื่อนไขในการวิเคราะห์

ดังนี้ การทดสอบใช้เครื่องมือยี่ห้อ Perkin Elmer Spectrum100 ในโหมด transmittance และสแกนที่ช่วงความถี่ 600-4000 cm^{-1} เพื่อตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่น

ขนาดรูปร่างอนุภาคของไบโอชาร์จะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 1 จากการวิเคราะห์พื้นผิวของฟางข้าวพบว่ามีลักษณะพื้นผิวเป็นรูพรุนที่สามารถประยุกต์ใช้กับงานดูดซับสารมลพิษ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Rizwan และคณะ (2020) [14] สำหรับขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิวของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพจะทำการศึกษาในงานวิจัยต่อไป

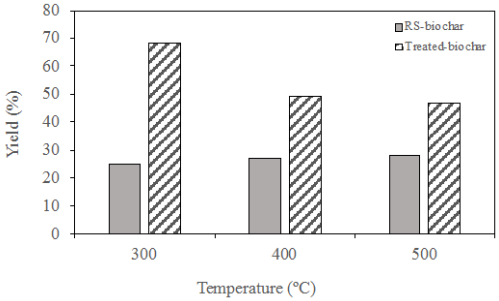


รูปที่ 1 SEM แสดงพื้นผิวของฟางข้าวที่มีขนาดอนุภาค 425 μm กำลังขยาย 500 เท่า

ผลการวิจัย

1. ผลผลิตไบโอชาร์

โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งของเหลวและแก๊สจากปฏิกิริยาไพโรไลซิสและแก๊สซิฟิเคชันจะมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไป [2, 16] ผลผลิตของไบโอชาร์ที่อุณหภูมิต่างๆแสดงรูปที่ 2 จากผลการทดลองพบว่าผลผลิตของไบโอชาร์จากการไพโรไลซิสฟางข้าวที่อุณหภูมิ 300 ถึง 500 °C มีค่าอยู่ในช่วง 22.79 -28.02% wt. โดยมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 500 °C ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 300 ถึง 500 °C ไม่มีผลต่อการลดลงของผลผลิตไบโอชาร์อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 2 ผลผลิตไบโอชาร์และไบโอชาร์ที่ปรับสภาพที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ในการปรับสภาพทางเคมีของฟางข้าวพบว่ามีปริมาณไบโอชาร์จากการไพโรไลซิส เพิ่มขึ้นถึง 46.88-68.42 %wt. และพบปริมาณไบโอชาร์ที่ปรับสภาพปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 300 °C ผลการปรับสภาพด้วยสารเคมีเพื่อชะสารอัลคาไลน์ในฟางข้าวส่งผลให้คุณสมบัติของฟางข้าวดีขึ้น ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำให้ปริมาณไบโอชาร์ที่สูงกว่า ซึ่งสามารถนำไปใช้สำหรับการเผาร่วมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวดูดซับในภาคอุตสาหกรรมได้

2. คุณสมบัติของไบโอชาร์

ค่าการวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารแบบประมาณ (proximate analysis) ของฟางข้าวและไบโอชาร์แสดงอยู่ในตารางที่ 1 และได้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM (ASTM) ตามที่ระบุไว้ได้แก่ วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ASTM E871) วิเคราะห์ปริมาณสารระเหย (ASTM E872) วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ASTM E872) และวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ASTM D1102) ปริมาณคาร์บอนคงตัวและปริมาณเถ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิงของแข็ง ส่วนปริมาณสารระเหยเป็นค่าที่ใช้บ่งบอกพลังงานในเชื้อเพลิงที่กลายเป็นแก๊ส นอกจากนี้ปริมาณ

คาร์บอนคงตัวและปริมาณเถ้าสามารถบ่งบอกถึงมูลค่าและสัดส่วนที่สามารถการเผาไหม้ได้ในเชื้อเพลิง เมื่อทำการไพโรไลซิสฟางข้าวที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 300 ถึง 500 °C ปริมาณสารระเหยในไบโอชาร์มีค่าลดลงแต่ปริมาณเถ้ามีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงขึ้นปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในฟางข้าวเกิดการสลายตัวมากขึ้น โดยธรรมชาติแล้ว ไบโอชาร์ที่ได้มาจากการไพโรไลซิสฟางข้าวจะมีปริมาณคาร์บอนสูง [12] เนื่องจากไบโอชาร์มีคุณสมบัติสามารถเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพมีความหนาแน่นทางพลังงานสูง และสามารถบดอัดได้จึงเหมาะสำหรับการนำไบโอชาร์เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้และเป็นส่วนผสมในการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหินหรือโรงไฟฟ้าชีวมวล [17]

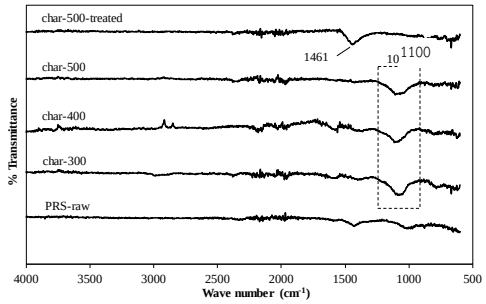
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของฟางข้าว ไบโอชาร์ และไบโอชาร์ที่ปรับสภาพ

ไบโอชาร์จากฟางข้าว			
วิเคราะห์แบบประมาณ (%wt)	**อุณหภูมิ (°C)**		
	300	**400**	**500**
ความชื้น	3.43	0.72	0.19
สารระเหย	28.58	29.44	22.75
คาร์บอนคงตัว	43.57	52.31	55.85
เถ้า	24.41	17.52	21.19
ค่าความร้อน (KJ/kg)	19.67	22.95	23.13
ไบโอชาร์จากฟางข้าวที่ปรับสภาพ			
วิเคราะห์แบบประมาณ (%wt)	**อุณหภูมิ (°C)**		
	300	**400**	**500**
ความชื้น	0.85	0.68	0.24
สารระเหย	24.68	23.45	22.40
คาร์บอนคงตัว	60.2	62.39	67.25
เถ้า	14.27	13.48	10.11
ค่าความร้อน (KJ/kg)	25.02	25.23	27.19

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 ปริมาณสารระเหยที่อยู่ในไบโอชาร์ที่อยู่ในช่วง 19.67% ถึง 29.44% โดยน้ำหนัก ซึ่งปริมาณสารระเหยสามารถเปลี่ยนไปเป็นผลิภัณฑ์ที่เป็นแก๊สในระหว่างกระบวนการไพโรไลซิสได้ และเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่เป็นไบโอชาร์ระหว่างไพโรไลซิสอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงพบว่า เมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสต่ำพบว่ามีปริมาณไบโอชาร์ที่มากกว่าและพบปริมาณสารระเหยมากกว่าอุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงเล็กน้อย และมีปริมาณสารระเหยลดลงเมื่อนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่างมาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางพลังงานระหว่างไบโอชาร์จากกระบวนการไพโรไลซิสฟางข้าว และไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากผลการทดลองค่าความร้อนของไบโอชาร์พบว่าไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงขึ้น ไบโอชาร์ที่ได้จะมีปริมาณค่าความร้อนที่สูงขึ้น จาก 12.16 MJ/kg เป็น 19.67-23.13 MJ/kg เมื่อเทียบกับวัตถุดิบฟางข้าวตั้งต้นที่ไม่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส นอกจากนี้ไบโอชาร์จากฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้นเป็น 25.02-27.19 MJ/kg ซึ่งมีค่าสูงกว่าชีวมวลทั่วไปและชีวมวลอัดเม็ดที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งชีวมวลอัดเม็ดที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 4810-5500 Kcal/Kg หรือ 20.13-23.02 MJ/kg [18] ทั้งนี้จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ไบโอชาร์จากกระบวนการข้างต้นเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิงได้จากผลการทดลองการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นโดยเครื่อง FTIR ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลการทดลองพบหมู่ฟังก์ชันหลักที่เลขคลื่นที่สูงกว่าและต่ำกว่า 1100 cm^{-1} ซึ่งหมู่ฟังก์ชั่นที่พบบริเวณเลขคลื่นสูงกว่า 1100 cm^{-1} จะแสดงเป็นหมู่ฟังก์ชั่นของสารอินทรีย์ และหมูฟังก์ชั่นที่พบบริเวณเลขคลื่นต่ำกว่า 1100 cm^{-1}เป็นหมู่ฟังก์ชั่นของสารอนินทรีย์ ผลการทดลองของ Guzmán และคณะ (2015) พบว่าสารอนินทรีย์จะพบบริเวณเลขคลื่นที่ต่ำกว่า 1100 cm^{-1} [19] ซึ่งสอดคลองกับงานวิจัยนี้ที่พบหมู่ฟังก์ชั่น SiO_2 ที่บริเวณเลขคลื่นที่ต่ำกว่า 1100 cm^{-1} เมื่อไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงขึ้น จะไม่ปรากฏหมู่ฟังก์ชั่นบริเวณเลข

คลื่นมากกว่า 1100 cm^{-1} หรือไม่พบสารประกอบประเภทสารอินทรีย์กลุ่มไฮโดรคาร์บอน แต่ยังพบสารอินทรีย์ประเภท Aromatic ได้บริเวณเลขคลื่นตั้งแต่ 1600-1450 cm^{-1} (bands at 1461 cm^{-1}) และพบการสั่นของหมู่ Carbonyl ที่เลขคลื่น 1644 cm^{-1} โดยที่สารประเภท Aromatic และ หมู่ carbonyl เป็นสารประเภทอินทรีย์สอดคล้องกับลักษณะองค์ประกอบของสารประกอบประเภท เซลลูโลส hemicellulos คาร์โบไฮเดรต และลิกนิน [19] โดยที่ฟางข้าวมีสารประเภทนี้เป็นองค์ประกอบหลักเช่นกัน

ไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพเบื้องต้นทางเคมีด้วยด่างเพื่อกำจัดโลหะอัลคาไลน์ออก พบหมู่ฟังก์ชั่นประเภท C-H มีปริมาณที่มากขึ้น เนื่องมาจากใช้สารละลายประเภทด่างในการปรับปรุงองค์ประกอบทางเคมี ในขณะเดียวกันพบหมู่ฟังก์ชั่นประเภท C=O มีปริมาณที่ลดน้อยลง หมู่ฟังก์ชั่นประเภท Aromatic มีปริมาณมากขึ้น เนื่องมาจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้สามารถสลายหมู่ฟังก์ชั่นประเภท C=O



รูปที่ 3 ผลวิเคราะห์ FTIR spectra ของไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสและการปรับสภาพ

จากงานวิจัยของ Guzmán รายงานว่าไบโอชาร์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 °C จะสามารถทำลายโครงสร้างของ hemicellulose cellulose และ lignin ได้ โดยสังเกตได้จากผลการทดสอบหมู่ฟังก์ชั่นอินทรีย์ประเภท Aldehyde Carbonyl และ Aromatic ที่หายไปที่ช่วงอุณหภูมิ 500 °C

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ผลิตไบโอชาร์จากกระบวนการไพโรไลซิสฟางข้าวที่อุณหภูมิ 300-500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณไบโอชาร์ที่ได้อยู่ในช่วง 22.79 ถึง 28.02 % โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนของไบโอชาร์มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับฟางข้าวมากกว่า 60% นอกจากนี้ปริมาณไบโอชาร์ที่ได้มาจากการผ่านกระบวนการปรับปรุงเบื้องต้นทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะมีปริมาณสูงขึ้นถึง 68.42 % โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 °C ไบโอชาร์ที่ได้มีค่าคาร์บอนคงตัวที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณค่าความร้อนของไบโอชาร์มีค่าที่สูงขึ้นถึง 27.23 MJ/kg การปรับสภาพเบื้องต้นด้วยสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเพิ่มปริมาณไบโอชาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสได้ ทั้งนี้เนื่องมากจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณโลหะอัลคาไลน์ที่เป็นองค์ประกอบของเถ้าได้ พลังงานเคมีของเชื้อเพลิงแข็งถูกเก็บไว้ในรูปคาร์บอนคงที่และสารระเหย ดังนั้นไบโอชาร์ที่ผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นด้วยสารเคมีด่างสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่อนุเคราะห์เครื่องบดชีวมวล

References

[1] P. Basu, Biomass gasification and pyrolysis : practical design and theory. Burlington, MA: Academic Press, 2010, pp. ix, 365 p.

[2] P. Kaewpengkrow, D. Atong, and V. Sricharoenchaikul, "Selective catalytic fast pyrolysis of Jatropha curcas residue with metal oxide impregnated activated carbon for upgrading bio-oil," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 42, no. 29, pp. 18397-18409, Jul. 2017.

[3] C. H. Chia, B. P. Singh, S. Joseph, E. R. Graber, and P. Munroe, "Characterization of an enriched biochar," Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, vol. 108, pp. 26-34, Jul. 2014.

[4] A. Abraham, A. K. Mathew, R. Sindhu, A. Pandey, and P. Binod, "Potential of rice straw for bio-refining: An overview," Bioresource Technology, vol. 215, pp. 29-36, Nov. 2016.

[5] Z. Liu, B. Dugan, C. A. Masiello, and H. M. Gonnermann, "Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties," PLOS ONE, vol. 12, no. 6, p. e0179079, 2017.

[6] J. Park, Y. Lee, C. Ryu, and Y.-K. Park, "Slow pyrolysis of rice straw: Analysis of products properties, carbon and energy yields," Bioresource Technology, vol. 155, pp. 63-70, Mar. 2014.

[7] H. Liu, L. Zhang, Z. Han, B. Xie, and S. Wu, "The effects of leaching methods on the combustion characteristics of rice straw," Biomass and Bioenergy, vol. 49, pp. 22-27, Feb. 2013.

[8] Y.-F. Huang, P.-T. Chiueh, W.-H. Kuan, and S.-L. Lo, "Microwave pyrolysis of rice straw: Products, mechanism, and kinetics," Bioresource Technology, vol. 142, pp. 620-624, Aug. 2013.

[9] A. Aho, T. Salmi, and D. Y. Murzin, "Chapter 5 - Catalytic Pyrolysis of Lignocellulosic Biomass A2 - Triantafyllidis, Kostas S," in The Role of Catalysis for the Sustainable Production of Bio-fuels and Bio-chemicals, A. A. Lappas and M. Stöcker, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2013, pp. 137-159.

[10] G. Kabir and B. H. Hameed, "Recent progress on catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass to high-grade bio-oil and bio-chemicals," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 70, pp. 945-967, Apr. 2017.

[11] A. Aho, T. Salmi, and D. Y. Murzin, "Chapter 5 - Catalytic Pyrolysis of Lignocellulosic Biomass," in The Role of Catalysis for the Sustainable Production of Bio-fuels and Bio-chemicals, K. S. T. A. L. Stöcker, Ed. Amsterdam: Elsevier, 2013, pp. 137-159.

[12] K. Jindo, H. Mizumoto, Y. Sawada, M. A. Sanchez-Monedero, and T. Sonoki, "Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues," Biogeosciences, vol. 11, no. 23, pp. 6613 - 6621, 2014.

[13] H.-j. Huang, T. Yang, F.-y. Lai, and G.-q. Wu, "Co-pyrolysis of sewage sludge and sawdust/rice straw for the production of biochar," Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, vol. 125, pp. 61-68, May. 2017.

[14] M. Rizwan et al., "Synthesis, characterization and application of magnetic and acid modified biochars following alkaline pretreatment of rice and cotton straws," Science of The Total Environment, vol. 714, p. 136532, Apr. 2020.

[15] R. Pode, "Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 53, pp. 1468-1485, Jan. 2016.

[16] P. Kaewpengkrow, D. Atong, and V. Sricharoenchaikul, "Pyrolysis and gasification of landfilled plastic wastes with Ni–Mg– La/Al2O3 catalyst," Environmental Technology, vol. 33, no. 22, pp. 2489-2495, Nov. 2012.

[17] Y.-F. Huang, C.-H. Shih, P.-T. Chiueh, and S.-L. Lo, "Microwave co-pyrolysis of sewage sludge and rice straw," Energy, vol. 87, pp. 638-644, Jan. 2015.

[18] S. Park et al., "Characteristic Analysis of Torrefied Pellets: Determining Optimal Torrefaction Conditions for Agri-Byproduct," Energies, vol. 13, no. 2, 2020.

[19] A. Guzmán aponte, S. Delvasto, and E. Sánchez V, Valorization of rice straw waste: An alternative ceramic raw material, pp. 126-136, 2015