ผลของการทอริแฟคชันต่อคุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากกากตะกอนพลาสติกผสมชีวมวล

Effect of Torrefaction on Quality of Pellets Produced from Mixture of Sludge of Crushed Plastics and Biomass

รัตนาภรณ์ พันธุรัตน์[1], ศิรินุช จินดารักษ์[2], ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล[1] และ อุกฤต สมัครสมาน[1*]

Rattanaporn Punturat[1], Sirinuch Chindaraksa[2], Chanyud Kritsunankul[1] and Ukrit Samaksaman[1*]

[1]ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[2]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

[1]Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

[2]Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

*Corresponding author: ukrits@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การบดย่อยพลาสติกเป็นขั้นตอนสำคัญของการเตรียมพลาสติกก่อนการรีไซเคิล อย่างไรก็ตามขั้นตอนการบดย่อยทำให้เกิดของเสียและกากตะกอนพลาสติกขนาดเล็กที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ งานวิจัยนี้นำกากตะกอนพลาสติกมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดและมีส่วนผสมของชีวมวล ได้แก่ ขี้เลื่อยไม้สัก ขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัส และแกนข้าวโพด โดยนำมาอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิคและเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยการทอริแฟคชันที่อุณหภูมิ 170, 190 และ 225 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนอากาศ 1, 4 และ 6 ลิตร/นาที และเวลา 5, 10 และ 15 นาที จากนั้นศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ค่าดัชนีความคงทนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการทอริแฟคชัน และวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อน จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดของการทอริแฟคชันเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีส่วนผสมของกากตะกอนพลาสติกและขี้เลื่อยไม้สัก SP/TS, กากตะกอนพลาสติกและขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัส SP/ES และกากตะกอนพลาสติกและแกนข้าวโพด SP/CC เท่ากับ 170, 190 และ 225 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้อัตราการป้อนอากาศที่ 1 ลิตร/นาที สำหรับเชื้อเพลิง SP/TS และ SP/ES, และ 6 ลิตร/นาที สำหรับเชื้อเพลิง SP/CC และใช้เวลา 10 นาที ค่าดัชนีความคงทนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดก่อนการทอริแฟคชันเท่ากับ 0.9972-0.9986 และเมื่อผ่านการทอริแฟคชันค่าดัชนีความคงทนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.9994-0.9999 การทอริแฟคชันเชื้อเพลิงอัดเม็ดส่งผลให้พลาสติกหลอมและยึดตัวกับชีวมวลได้ดีขึ้นทำให้ค่าดัชนีความคงทนเพิ่มขึ้น และยังพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านการทอริแฟคชันเพิ่มขึ้น SP/TS เท่ากับ 20.79 SP/CC เท่ากับ 19.70 และ SP/ES เท่ากับ 35.98 เมกะจูล/กิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าชีวมวลและกากตะกอนพลาสติกตั้งต้น การทอริแฟคชันทำให้ปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนลดลงเท่ากับ 23.64-37.25 ppb ซึ่งคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้

คำสำคัญ: กากตะกอนพลาสติก, ชีวมวล, เชื้อเพลิงอัดเม็ด, ทอริแฟคชัน, อัดแบบไฮดรอลิค

ABSTRACT

The crushing process is an important process for plastics preparation prior feed into the recycling cycle. However, the crushing process generated waste and sludge of plastics that were useless. In this study, hydraulic press machine used for pellets production. The mixtures of the sludge of crushed plastics (SP)

and biomass such as teak sawdust (TS), eucalyptus sawdust (ES), and corncob (CC) were used as raw materials. The quality improvement of pellets was employed using torrefaction process. The conditions were studied at 170, 190, and 225°C of temperature with 1, 4, and 6 l/min of air flow rate, and time of 5, 10, and 15 min for torrefaction. Characteristics of raw materials and pellets such as proximate analysis, thermal properties, drop shatter index (DSI), and chloride content were investigated. The experimental results indicated that a suitable temperature for torrefaction of SP/TS, SP/ES, and SP/CC pellets were at 170, 190, and 225°C, respectively. Air flow rate used at 1 l/min for SP/TS and SP/ES pellets and 6 l/min for SP/CC pellets, and time of 10 min for each test. DSI values of non-torrefied pellets showed in the range of 0.9972-0.9986 and DSI values of torrefied pellets showed in the range of 0.9994 to 0.9999, which were increased after torrefaction. Increasing of DSI due to effects of heat and melt of plastics on the pellets and carbon fibers adhesive. In addition, torrefaction of SP/TS, SP/ES, and SP/CC pellets increased the high heating value. The results showed that high heating value of SP/TS was 20.79, SP/CC was 19.70 and SP/ES was 35.98 MJ/kg, which were higher than non-torrefied pellets and raw materials. The reduction of chloride content in all torrefied pellets also occurred and equal to 23.64-37.25 ppb, which were in accordance with the standards and suggested to use as a feedstock of renewable fuels.

Keywords: Biomass, hydraulic press, pellets, sludge of crushed plastics, torrefaction

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ขวดพลาสติกเพิ่มขึ้นถึง 4 พันล้านขวดต่อปี คิดเป็น 6 เท่าของปริมาณพลาสติกที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี แนวทางหนึ่งในการลดปริมาณขวดพลาสติกลงคือการนำขวดพลาสติกไปรีไซเคิล ซึ่งกระบวนการดังกล่าวต้องมีขั้นตอนการคัดเลือก (Selection) การแยก (Sorting) การตัด (Cutting) การบดย่อย (Crushing) การล้าง (Washing) และการผึ่งแห้ง (Drying) ทำให้เกิดของเสียเป็นกากตะกอนพลาสติกที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หากมีการกำจัดกากตะกอนพลาสติกแบบผิดวิธี จะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพได้ เนื่องจากกากตะกอนพลาสติกมีการปนเปื้อนของพลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride; PVC) หากมีการเผาจะทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น ก๊าซไฮโดรคลอลิค (Hydrochloric acid) ไดออกซิน (Dioxin) และฟิวแรน (Furan) ที่ส่งผลโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงสารไวนิลคลอไรด์ที่เป็นสารประกอบในพลาสติกชนิด PVC สามารถก่อให้เกิดมะเร็งที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ (Sangrajrang et al., 2013)

การนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเชิงอุตสาหกรรม โดยทั่วไปจะนำขยะพลาสติกมาผลิตโดยการผสมกับชีวมวลในสัดส่วนพลาสติกร้อยละ 80 ชีวมวลร้อยละ 20 ซึ่งสัดส่วนเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตต้องมีปริมาณพลาสติกมากกว่าชีวมวล เนื่องจากสามารถให้ค่าความร้อนสูงถึง 32.5-34.9 เมกะจูล/กิโลกรัม (Arena and Gregorio, 2016) เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน ควรมีค่าดัชนีความคงทน (Drop shutter index; DSI) มากกว่า 0.95 (Tembe et al., 2014) ค่าคลอไรด์ปนเปื้อน (Chloride content) น้อยกว่าร้อยละโดยน้ำหนัก 0.6 และมีค่าความร้อน (Net calorific value; NCV) มากกว่า 15 เมกะจูล/กิโลกรัม (Grallardo et al., 2014) มีค่าความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 25 และปริมาณเถ้าน้อยกว่าร้อยละ 20 (Critina and Andreottola, 2012)

กระบวนการทอริแฟคชัน (Torrefaction) เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ดโดยทั่วไปใช้อุณหภูมิในช่วง 200-300 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการป้อนอากาศเข้าระบบร้อยละ 0-20 และใช้เวลาในการทอริแฟคชัน 20-60 นาที

(Mamvura et al., 2018) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีผลทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีปริมาณคลอไรด์ลดลง, มีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น, มีค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดลดลงจากร้อยละ 22.9 เหลือร้อยละ 1.4 และทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 19.6 เมกะจูล/กิโลกรัม เป็น 25.3 เมกะจูล/กิโลกรัม (Bialowiec et al., 2017) จากกระบวนการดังกล่าวทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีคุณภาพที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการทอริแฟคชันต่อคุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากกากตะกอนพลาสติก (SP) ผสมชีวมวล ได้แก่ ขี้เลื่อยไม้สัก (TS) ขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัส (ES) และแกนข้าวโพด (CC) จากนั้นนำไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิคและปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการทอริแฟคชัน เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงจากนั้นศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ค่าดัชนีความคงทนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทอริแฟคชันและวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อน รวมถึงศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการจัดการกากตะกอนพลาสติกโดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนและสามารถใช้ปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงที่ใช้ในปัจจุบัน

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ใช้กากตะกอนพลาสติกที่เกิดจากกระบวนการบดย่อยในโรงงานขนาดเล็ก แสดงดังรูป Figure1 มีขนาด 0.5-1 มิลลิเมตร ก่อนการทดลองกากตะกอนพลาสติกที่รวบรวมได้จะถูกทำให้แห้งโดยการผึ่งตากแดดเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นคัดแยกวัสดุที่ไม่ใช่พลาสติกออกและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จนได้กากตะกอนพลาสติกที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.5-1 มิลลิเมตร และเก็บไว้ในถุงซิปก่อนการนำมาทดลอง ชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ ขี้เลื่อยไม้สัก (TS) ขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัส (ES) และแกนข้าวโพด (CC) เป็นต้น โดยชีวมวลทั้งสามชนิดได้จากกิจกรรมทางการเกษตรโดยรอบมหาวิทยาลัย โดยชีวมวลที่ได้จะนำมาตากจนแห้งและบด จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้มีขนาดเท่ากับกากตะกอนพลาสติก งานวิจัยนี้จะใช้ส่วนผสมระหว่างกากตะกอนพลาสติกผสมชีวมวลทั้งสามชนิดในสัดส่วน 85:15 90:10 และ 95:5

การอัดเม็ดเชื้อเพลิง

การอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของกากตะกอนพลาสติกและชีวมวลจะใช้เครื่องอัดเม็ดแบบไฮดรอลิค ทำการอัดเม็ดที่อุณหภูมิ 85,100 และ125 องศาเซลเซียส ใช้แรงดันในการอัด 100,110 และ120 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ใช้เวลาในการอัด 0.5,1 และ2 นาที โดยเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ความยาว 4.5 เซนติเมตร และมีน้ำหนักโดยประมาณ 1-2 กรัม/เม็ด ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้แสดงดังรูป Figure 2 จากนั้นนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้ไปทดสอบค่าดัชนีความคงทน และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อน และวิเคราะห์ค่าคลอไรด์ปนเปื้อน

การทอริแฟคชันเชื้อเพลิงอัดเม็ด

การปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ดด้วยการทอริแฟคชันแสดงดังรูป Figure3 ในงานวิจัยนี้ใช้สภาวะในการทอริแฟคชันที่อุณหภูมิ 170,190 และ 225 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนอากาศที่ 1,4 และ6 ลิตร/นาที และเวลา 5,10 และ15 นาที เมื่อได้เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านกระบวนการทอริแฟคชันแล้ว จากนั้นนำไปทดสอบค่าดัชนีความคงทน และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อน และวิเคราะห์ค่าคลอไรด์ปนเปื้อนต่อไป

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหยและปริมาณคาร์บอนคงตัว โดยใช้วิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ซึ่งอ้างอิงจาก (Aller et al., 2017) และการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะใช้เครื่อง Bomb calorimeter และการวิเคราะห์หาค่าคลอไรด์ปนเปื้อนโดยการนำตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ดมาทำการชะด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (Deionized water) ในอัตราส่วน 1 กรัมต่อ10 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ที่อุณหภูมิห้อง นำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรองและนำสารละลายที่ได้ไปทดสอบปริมาณคลอไรด์โดยใช้เทคนิค Ionic Chromatography

การทดสอบดัชนีความคงทน (DSI) โดยทั่วไปค่า DSI ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดต้องมีค่ามากกว่า 0.95 (Tembe et al., 2014) งานวิจัยนี้นำตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านการอัดแบบไฮดรอลิคและที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการทอริแฟคชันโดยการนำมาเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่าความคงทนดังสมการที่ 1

$$\text{Drop shatter index} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังทำ Shattering}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนทำ Shattering}} \quad (1)$$

ผลการทดลองและวิจารณ์

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดแสดงดังตาราง Table 1 พบว่า SP มีปริมาณความชื้นร้อยละ 0.53 ปริมาณเถ้าร้อยละ 3.82 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 93.94 ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cui et al. (2018) พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 0 ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.1 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 83.3 ตัวอย่าง SP ของงานวิจัยนี้มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างเล็กน้อยเนื่องจากมีการปนเปื้อนของฝุ่นผงและดินจึงทำให้มีปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้าและปริมาณสารระเหยสูงกว่า ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลทั้งสามชนิด (TS, ES, CC) พบว่ามีปริมาณความชื้นร้อยละ 6.31-8.30 ปริมาณเถ้าร้อยละ 0.34-2.02 และปริมาณสารระเหยร้อยละ 6.23-5.09 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Arena and Gregorio (2016) พบว่าชีวมวลมีปริมาณความชื้นร้อยละ 29.6 ปริมาณเถ้าร้อยละ 3.77 ตัวอย่างชีวมวลที่เก็บจากพื้นที่การเกษตรมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด

คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้มีค่า DSI อยู่ในช่วง 0.9972-0.9986 แสดงดังTable2 สภาวะที่เหมาะสมในการอัดเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจาก SP/TS ในสัดส่วน 85:15 ที่อุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส แรงดันในการอัด 100 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เวลา 2 นาที สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการอัดเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากSP/ES ในสัดส่วน 95:5 ที่อุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส แรงดันในการอัด 100 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เวลา 1 นาที และสำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการอัดเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจาก SP/CC ในสัดส่วน 85:15 ที่อุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส แรงดันในการอัด 100 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เวลา 2 นาที ทั้งนี้สภาวะการอัดเม็ดมีผลต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงในการเพิ่มอุณหภูมิของแรงอัดจาก 125 -150 องศาเซลเซียส สามารถทำให้ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 7-10 เนื่องจากมีการระเหยของความชื้นออกจากตัวอย่างในระหว่างการอัด (Gug et al., 2015) ส่วนสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจาก SP/TS เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทอริแฟคชันโดยมีอุณหภูมิเท่ากับ 225 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการป้อนอากาศที่ 1 ลิตร/นาที เวลา 10 นาที สำหรับสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจาก SP/ES เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทอริแฟคชันโดยมีอุณหภูมิเท่ากับ 190 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการป้อนอากาศที่ 6 ลิตร/นาที เวลา 10 นาที สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจาก SP/CC เมื่อนำไปผ่านกระบวนการทอริแฟคชันโดยมีอุณหภูมิเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการป้อนอากาศที่ 1 ลิตร/นาที เวลา 10 นาที มีค่า DSI เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.9994-0.9999 แสดงดังตารางTable 3 ซึ่งค่า DSI ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านและไม่ผ่านการทอริแฟคชันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Tembe et al., 2014) รูปที่ Figure 2 แสดงลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากกากตะกอนพลาสติกผสมชีวมวลทั้งสามชนิดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทอริแฟคชัน การทอริแฟคชันเชื้อเพลิงอัดเม็ดส่งผลให้พลาสติกมีการหลอมและยึดติดกับชีวมวลได้ดีขึ้นทำให้มีค่า DSI เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Ansha et al., (2016) พบว่าที่อุณหภูมิ 200-240 องศาเซลเซียส พลาสติกเกิดการหลอมและรวมตัวกับชีวมวลทำให้เชื้อเพลิงมีความแข็งและเกาะตัวกันดีขึ้น นอกจากนี้การทอริแฟคชันที่อุณหภูมิ 225-300 องศาเซลเซียส มีผลต่อการสลายตัวของพันธะ

ไฮโดรเจนและคาร์บอน ในเส้นใยเฮมิเซลลูโลสและเส้นใยลิกนิน ทำให้เส้นใยเฮมิเซลลูโลสเกิดการหดตัวเนื่องจากมีการสลายตัวของพันธะออกซิเจนและ ไฮโดรเจน ทำให้มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นส่งผลให้เส้นใยในชีวมวลมีความหนาแน่นและยึดเกาะกันได้ดี (Wang et al., 2017)

การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อน

จากผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านกระบวนการทอริแฟคชันแสดงดัง Table 4 พบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่เกิดจากกากตะกอนพลาสติกผสมชีวมวลทั้งสามชนิดมีค่าความร้อน SP/TS SP/CC และSP/ES เท่ากับ20.79 19.70 และ 35.98 เมกะจูล/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบตั้งต้นกากตะกอนพลาสติกมีค่าความร้อนเท่ากับ 13.47 เมกะจูล/กิโลกรัม ขี้เลื่อยไม้สักเท่ากับ 15.92 เมกะจูล/กิโลกรัม (Punturat and Samaksaman, 2017) ขี้เลื่อยไม้ยูคาลิปตัสเท่ากับ 18.48 เมกะจูล/กิโลกรัม และแกนข้าวโพดเท่ากับ 15.84 เมกะจูล/กิโลกรัม (Unpinit et al., 2015) ซึ่งเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตได้มีค่าความร้อนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (Grallardo et al., 2014) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bialowiec et al. (2017) พบว่าอุณหภูมิการทอริแฟคชัน 200-300 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจาก 19.6 เพิ่มขึ้น 25.3 เมกะจูล/กิโลกรัม เนื่องจากอุณหภูมิในช่วงนี้สามารถทำให้ค่าความชื้นลดลงส่งผลให้เชื้อเพลิงมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์คลอไรด์ปนเปื้อน

จากรูป Figure 4 (A) ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ปนเปื้อนในเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการทอริแฟคชันมีค่าปริมาณคลอไรด์อยู่ในช่วง 46.51-92.41 เมื่อผ่านการทอริแฟคชันแล้วอยู่ในช่วง14.71-33.28 และรูป Figure 4 (B) แสดงร้อยละการกำจัดคลอไรด์ปนเปื้อนจากเชื้อเพลิงอัดเม็ดด้วยการทอริแฟคชัน จากผลการทดลองพบว่าคลอไรด์ที่ปนเปื้อนในเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีส่วนผสมระหว่าง SP/CC มีค่าร้อยละ 68.77 ซึ่งมีค่าสูงสุดเนื่องจากปริมาณคลอไรด์ในแกนข้าวโพดมีปริมาณสูง ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิในการทอริแฟคชัน 450 องศาเซลเซียส สามารถระเหยคลอไรด์ออกจากเชื้อเพลิงจึงทำให้ปริมาณคลอไรด์ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านการทอริแฟคชันจากร้อยละ 5.92 ลดเหลือร้อยละ 3.39 (Yuan et al., 2015)

สรุป

เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากกากตะกอนพลาสติกผสมชีวมวลทั้งสามชนิดสามารถผลิตด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิคและนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการทอริแฟคชัน จากการทดลองพบว่ากากตะกอนพลาสติกและชีวมวลทั้งสามชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด สภาวะที่เหมาะสมของการอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตจาก SP/TS และ SP/CC ในสัดส่วน 85:15 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แรงดัน 100 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เวลา 2 นาที และสภาวะที่เหมาะสมของการอัดเม็ดเชื้อเพลิงที่ผลิตจาก SP/ES ในสัดส่วน 95:5 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แรงดัน 100 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เวลา 1 นาที และมีค่า DSI เท่ากับ 0.9972-0.9986 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของการทอริแฟคชันเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจาก SP/TS ที่อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการป้อนอากาศ 1 ลิตร/นาที เวลา 10 นาที เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจาก SP/ES ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการป้อนอากาศ 6 ลิตร/นาที เวลา 10 นาที เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจาก SP/CC ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการป้อนอากาศ 1 ลิตร/นาที เวลา 10 นาที และมีค่า DSI 0.9994-0.9999 ซึ่งค่า DSI ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการทอริแฟคชันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านการทอริแฟคชันมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น SP/TS เท่ากับ 20.79 SP/CC เท่ากับ 19.70 และ SP/ES เท่ากับ 35.98 เมกะจูล/กิโลกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าชีวมวลและกากตะกอนพลาสติกตั้งต้น ทั้งนี้ในการทอริแฟคชันเชื้อเพลิงอัดเม็ดพบว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดมีค่าคลอไรด์ปนเปื้อนลดลงเท่า 23.64-37.25 ppb ซึ่งคุณภาพเชื้อเพลิงอัดเม็ดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการอัดเม็ดเชื้อเพลิงและงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณการวิจัยทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561 และได้รับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2561

เอกสารอ้างอิง

Ansah E, Wang L and Shahbazi A.2016. Thermogravimetric and calorimetric characteristics during co-pyrolysis of municipal solid waste components. Waste Management.56:196–206.

Arena U and Di Gregorio F.2016. Fluidized bed gasification of industrial solid recovered fuels.Waste Management.50:86-92.

Cristina Aller D, Bakshi S and A. Laird D.2017. Modified method for proximate analysis of biochars. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.124:335–342.

Cui H and Turn S.2018. Fuel properties and steam reactivity of solid waste streams from contingency bases. Waste Management.78:16–30.

Gallardo A,Carlos M,Bovea M.D.,J.Colomer F and Albarrán F.2014. Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards. Journal of Cleaner Production.83:118-125.

Gug J, Cacciola D and J. Sobkowicz M.2015.Processing and properties of a solid energy fuel from municipal solid waste (MSW) and recycled plastics. Waste Management.35:283-292.

Mamvura T.A., Pahla G.,Muzenda E.2018. Torrefaction of waste biomass for application in energy production in South Africa. south african journal of chemical engineering.25:(2018) 1-12.

Punturat R and Samaksaman U.2017. Study of characteristics of pellet produced from mixed the residue of polyethylene terephthalate plastic and teak sawdust.Naresurn Research Conference 13.(in Thai)

Rada E and Andreottola G.2012. RDF/SRF: Which perspective for its future in the EU. Waste Management.32:1059–1060.

Sangrajrang S,Ploysawang P and Promhithatron P.2013.Impact of Plastic on Human Health and Enviroment.Thai J Toxicology.28(1).(in Thai)

Tembe, E.T., Otache, P.O. and Ekhuemelo, D.O.2014. Density, Shatter index, and Combustion properties of briquettes produced from groundnut shells, rice husks and saw dust of Daniellia oliveri.J.Appl.Biosci.82:7372-7378.

Unpinit T, Poblarp T, Sailoon N, Wongwicha P and Thabuot M.2015. Fuel Properties of Bio-Pellets Produced from Selected Materials under Various Compacting Pressure. Energy Procedia.79:657-662.(in Thai)

Wang L, Barta-Rajnai E, Skreiberg Ø, Khalil R, Czégény Z, Jakab E, Barta Z and Grønli M.2017. Impact of Torrefaction on Woody Biomass Properties. Energy Procedia.105:1149 – 1154.

Yuan H, Wang Y, Kobayashi N, Zhao D and Xing S.2015. Study of Fuel Properties of Torrefied Municipal Solid Waste. Energy Fuels.29:4976-4980.

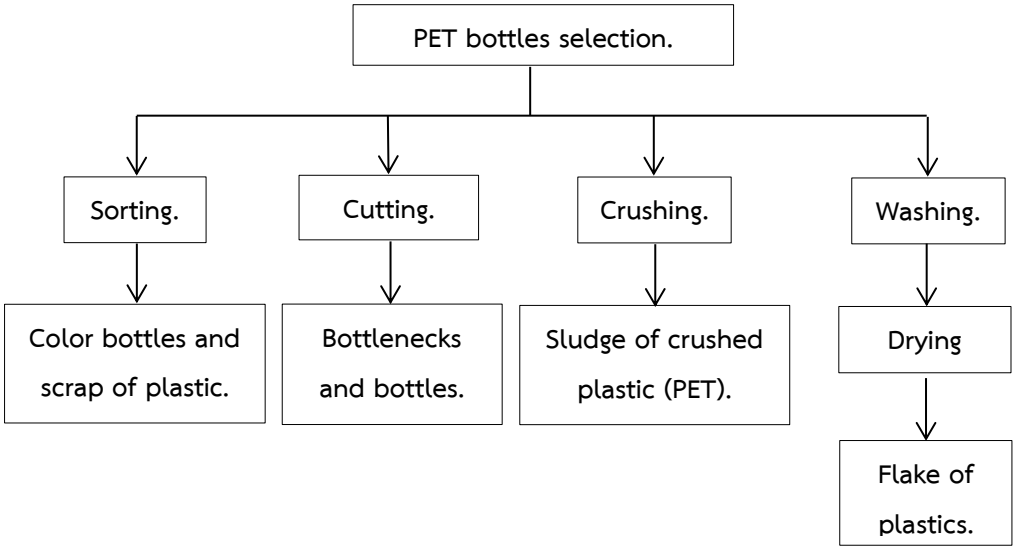

Figure 1 Sludge of crushed plastic (PET) from crushing process.

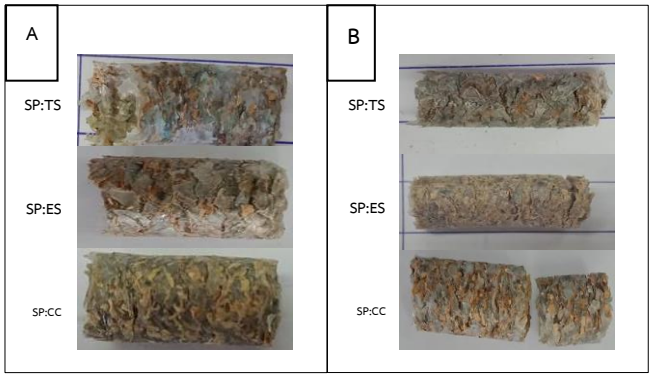

Figure 2 (A) Non torrefied pellets and (B) torrefaied pellets.

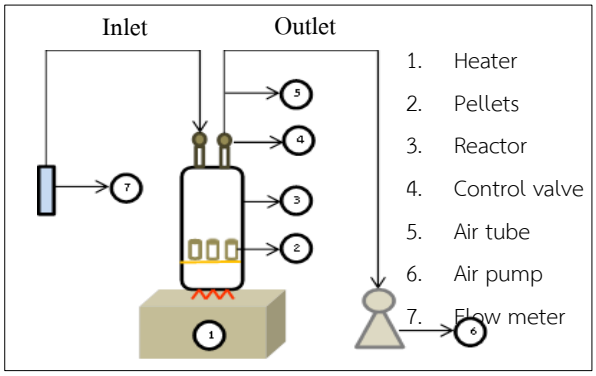

Figure 3 Diagram of torrefaction process.

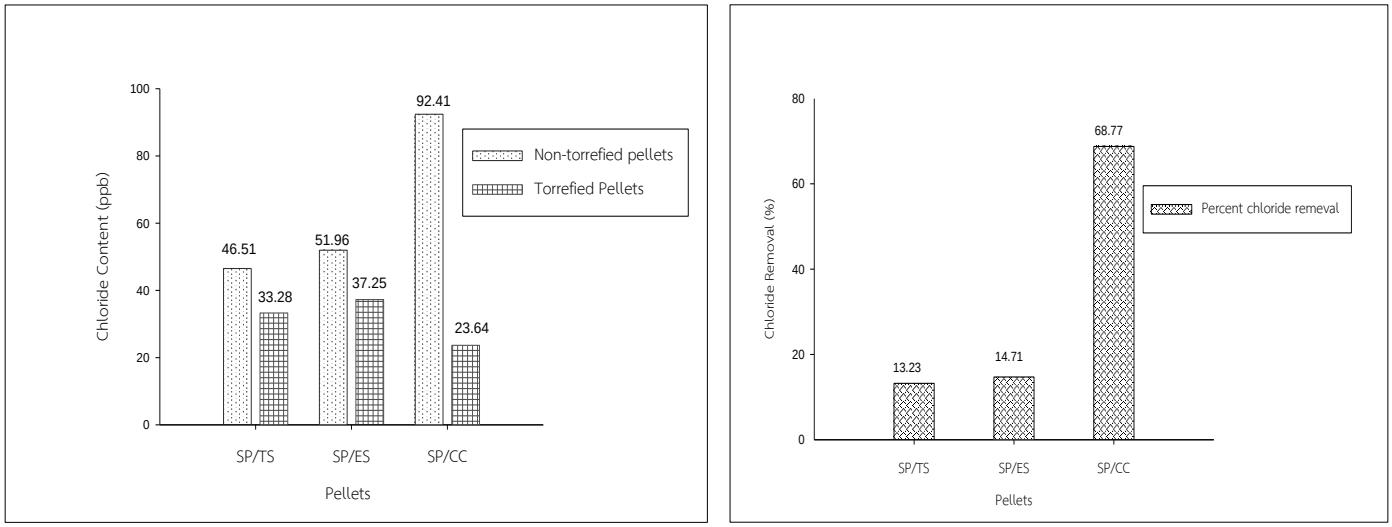

Figure 4 (A) Chloride content in non-torrefied and torrefied samples and (B) percentage of chloride removal from SP/TS SP/ES and SP/CC pellets after torrefaction process.

Table 1 Result of Proximate analysis of raw materials.

Properties	SP	TS	ES	CC
Moisture content (%)	0.53	7.25	8.70	6.31
Ash content (%)	3.82	2.02	0.34	3.01
Volatile matter (%)	93.94	84.50	78.17	40.59
Fixed carbon (%)	1.72	6.23	12.79	50.09

Table 2 Suitable condition for pellets production and drop shatter index.

Ratio		Temperature (°C)	Pressure (kg/cm^2)	Time (min)	DSI
SP: TS	(85:15)	100	100	2	0.9986
SP: ES	(95:5)	100	100	1	0.9973
SP: CC	(85:15)	100	100	2	0.9972

Table 3 Suitable condition for pellets torrefaction and drop shatter index.

Ratio		Temperature (oC)	Air flow rate (l/min)	Time (min)	DSI
SP: TS	(85:15)	225	1	10	0.9999
SP: ES	(95:5)	190	6	10	0.9994
SP: CC	(85:15)	170	1	10	0.9997

Table 4 High heating value of torrefied pellets.

Ratio		High heating value (MJ/kg)
SP: TS	(85:15)	20.79
SP: ES	(95:5)	35.98
SP: CC	(85:15)	19.70