วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 29 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2567
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 29 (No.2) May – August 2024 บทความวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วมจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและขยะกำพร้า

Production of the Co-pelletizing Fuel from Domestic Wastewater Sludge and Non-recyclable Waste

โกสินทร์ จิรนิรามัย และ วนิดา ชูอักษร*

Kosin Chiraniramai and Wanida Chooaksorn*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประเทศไทย

Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Thailand

Received : 29 January 2024, Received in revised form : 24 April 2024, Accepted : 1 May 2024

Available online : 31 May 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : ขยะกำพร้า ตกค้างไม่สามารถกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนต้องกำจัดโดยกระบวนการฝังกลบ เกิดกระบวนการย่อยสลายก่อให้ก๊าซเรือนกระจก ขยะกำพร้าสามารถนำมาเผาเพื่อผลิตเป็นพลังงานได้ โดยมีตัวประสานเพื่อขึ้นรูป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ด จากขยะกำพร้า โดยมีกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนเป็นตัวประสาน

วิธีดำเนินการวิจัย : ดำเนินการศึกษาหาปริมาณความชื้น อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม และความสามารถในการจุดติดไฟของเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วม โดยศึกษาที่ปริมาณความชื้น 0%, 20% และ 30% ในอัตราส่วนของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน : ขยะกำพร้า คือ 8:2 7:3 5:5 3:7 และ 2:8 ตามลำดับ โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ปริมาณความหนาแน่นรวม ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณความร้อน ตามมาตรฐานของสมาคมการทดสอบและวัสดุแห่งอเมริกา (American Society for Testing and Materials; ASTM)

ผลการวิจัย : เชื้อเพลิงร่วมสามารถอัดเม็ดได้ที่ปริมาณความชื้น 20% และที่อัตราส่วนของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน : ขยะกำพร้า คือ 5:5 3:7 และ 2:8 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง และบล็อกประสานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีปริมาณเถ้า คือ 19.10±0.44%, 16.07±0.21% และ 14.92±0.34% ตามลำดับ มีปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของตะกอนจากน้ำเสียชุมชนที่ลดลง คือ 4,518±159, 6,781±42 และ 7,532±346 kcal/kg ตามลำดับ การจุดติดไฟที่อัตราส่วนของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน : ขยะกำพร้า คือ 2:8 สามารถจุดติดไฟได้นานที่สุด คือ 205±5.3 วินาที

สรุปผลการวิจัย : ปริมาณความชื้น 20% เชื้อเพลิงร่วมสามารถอัดเม็ดที่อัตราส่วนของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน : ขยะกำพร้า คือ 2:8 มีความเหมาะสมมากที่สุด มีปริมาณความร้อน 7,532±346 kcal/kg และมีปริมาณเถ้า 14.92±0.34% สามารถจุดติดไฟได้นาน 205±5.3 วินาที

คำสำคัญ : กากตะกอนน้ำเสียชุมชน ; ขยะกำพร้า ; เชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วม

Abstract

Background and Objectives : Non-recyclable waste (N-RW) cannot be efficiently disposed of while sludge from domestic wastewater treatment (DWS) must be disposed of by landfill. Decomposition in the landfill site causes greenhouse gases. Non-recyclable waste can be burned to produce energy with a binder for forming. The objective of this research is to study the characteristics of co-pelletizing fuel from non-recyclable waste which DWS was used as binders.

Methodology : The moisture content, mixing ratio, and ignition ability of co-pelletizing fuels were conducted. The study was done at a moisture content of 0%, 20%, and 30% according to the ratio of DWS : N-RW including of 8:2, 7:3, 5:5, 3:7, and 2:8 respectively. The physical and chemical properties were analyzed including bulk density, moisture content, ash content, volatile matter, fixed carbon, and heat value according to the standards of the American Society for Testing and Materials (ASTM).

Main Results : The co-fuel can be pelletized at the moisture content of 20% and ratios of DWS : N-RW of 5:5, 3:7, and 2:8. The co-pelletizing fuel was suitable according to standards, guidelines, and waste qualification criteria for processing into fuel briquette and the interlocking block of the Department of Industrial Works. The ash content was 19.10$\pm$0.44%, 16.07$\pm$0.21%, and 14.92$\pm$0.34%, respectively. The heat value increased as the proportion of sludge from domestic wastewater sludge decreased, 4,518$\pm$159, 6,781$\pm$42, and 7,532$\pm$346 kcal/kg, respectively. For ignition, co-pelletizing fuel at a ratio of 2:8 could ignite for the longest time of 205$\pm$5.3 seconds.

Conclusions : The Moisture content is 20%, and co-fuel can be pelletized at a ratios of DWS : N-RW of 2:8 which is most appropriate. The co-pelletizing fuel has a heat value of 7,532+346 kcal/kg, ash content of 14.92+0.34%, and ignite time of 205 $\pm$5.3 seconds.

Keywords : domestic wastewater sludge ; non-recyclable waste ; co-pelletizing fuel

***Corresponding author. E-mail :** cwanida@tu.ac.th

บทนำ

ขยะกำพร้า เป็นขยะที่ไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ หรือไม่คุ้มค่ากับการรีไซเคิล ไม่ผ่านกระบวนการจัดเก็บ รวบรวม คัดแยก รวมทั้งปรับปรุงสภาพให้มีคุณลักษณะเหมาะสมต่อการจัดการ ทำให้ถูกตีตราว่าเป็นขยะที่ไร้ราคา ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดและเมื่อนำไปกำจัด เช่น การนำไปเผาก็อาจก่อให้เกิดปัญหาการปลดปล่อยก๊าซพิษอีกด้วย (Nipithwittaya, 2022) ขยะกำพร้าจึงเป็นปัญหาสำคัญ ซึ่งถูกทิ้งรวมเป็นขยะทั่วไป เช่น พลาสติกใช้ครั้งเดียวทิ้ง วัสดุกันกระแทก กล่องโฟมบรรจุภัณฑ์ เศษผ้า เศษกระดาษ ซองขนม เสื้อผ้าเก่า เป็นต้น ขยะกำพร้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะขยะกำพร้า

ประเภทพลาสติกจากธุรกิจส่งอาหาร (Food Delivery) ซึ่งจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้ขยะพลาสติกโดยเฉพาะขยะบรรจุภัณฑ์พลาสติกเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 15 จากปริมาณปกติ 5,500 เป็น 6,300 ตันต่อวัน ในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม พ.ศ.2563 (Pollution Control Department, 2021) ซึ่งในปี พ.ศ.2564 เฉพาะองค์ประกอบของขยะประเภทพลาสติก ณ สถานที่กำจัดขยะของประเทศมีร้อยละ 28.13 ของน้ำหนักขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด (Waste and Hazardous Substance Management Division, Pollution Control Department, 2022) ขยะกำพร้ากำจัดโดยกระบวนการฝังกลบ และการเผาซึ่งเป็นการจัดการขยะแบบปลายทาง และก่อให้เกิดปัญหามลพิษ ในขณะที่กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนต้องกำจัดโดยกระบวนการฝังกลบเนื่องจากมีความชื้นสูง (Sonklin, 2010) ก่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนทำให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งก๊าซมีเทนสามารถทำให้ติดไฟได้ และเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ เป็นสาเหตุหลักของวิกฤตโลกร้อน และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยก๊าซมีเทนมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน 25 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2016)

ปัจจุบันได้มีการนำเอาของเสียจากกากตะกอน และขยะชุมชนมาเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากการกำจัดด้วยการเผาสามารถลดกลิ่น ปริมาตร รวมทั้งกำจัดสารอินทรีย์ และสารพิษที่ปนเปื้อน (Kijo-Kleczkowska *et al*., 2016) เช่น การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนของเสียของโรงงานผลิตนม (Mahapram *et al*., 2012) การผลิตถ่านอัดแท่งจากกากตะกอนเปียกเหลือทิ้งจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้น กากตะกอนเปียกจากน้ำเสียของกระบวนการผลิตเอธานอลในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่งและเพิ่มคุณภาพโดยการนำไปผสมกับเปลือกมังคุดและเปลือกทุเรียน (Uttamaprakrom & Vitidsant, 2011; Kitipattaworn, 2013) การผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากกากตะกอนน้ำเสียในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง (Kijjanasiri, 2021) การดำเนินการนำขยะชุมชนมาแปลงเป็นเชื้อเพลิงแข็งในรูป RDF-5 การผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งจากมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาล (Pinate & Dungphonthong, 2016; Kampee *et al*., 2019) การศึกษาองค์ประกอบพื้นฐานและคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงจากกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนกับผงถ่านตามมาตรฐาน ASTM โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานในการขึ้นรูปของแท่งเชื้อเพลิง เพื่อเตรียมเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะย่อยสลายได้ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ (Mingmuang, 2017) รวมทั้งทำการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งร่วมจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน (Sangkhaphan, 2018)

การคัดแยกขยะนำมาแปรรูปเป็นพลังงาน (Waste to Energy) ในรูปของเชื้อเพลิงขยะมูลฝอยอัดแท่ง (Refuse Derived Fuel; RDF) ซึ่งกลายเป็นพลังงานทดแทน ที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นการลดการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิงจากธรรมชาติ ทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งมีอยู่จำกัด และใช้แล้วหมดไป เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากขยะกำพร้ามีค่าพลังงานความร้อนสูงกว่า 3,000 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณสมบัติขั้นต่ำทางเชื้อเพลิงของกรมโรงงานอุตสาหกรรม (Department of Industrial Works, 2012) และหากมีการดำเนินการปรับสภาพขยะ เช่น การล้างทำความสะอาด การทำให้แห้ง การคัดแยก และการตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ยิ่งมีค่าพลังงานความร้อนสูงมากขึ้น ดังนั้นการนำขยะกำพร้ามาเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน จะเป็นการแก้ปัญหาขยะตกค้าง ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน

วิธีดำเนินการวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและขยะกำพร้า ดำเนินการเตรียมตัวอย่างกากตะกอนซึ่งนำมาจากของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และขยะกำพร้า ศึกษาหาปริมาณความชื้น อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม และความสามารถในการจุดติดไฟของเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วมโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่าง

- นำกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน ดำเนินการลดความชื้น โดยเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ ให้เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 20 และร้อยละ 30

- ขยะกำพร้า ได้แก่ ถุงพลาสติก ถ้วยพลาสติก แก้วพลาสติก หลอดพลาสติก วัสดุกันกระแทก กล่องโฟม เศษผ้า เศษกระดาษ ซองขนม ดำเนินการย่อยให้มีขนาดเล็กประมาณ 5-10 มิลลิเมตร

2. การผสมกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนและขยะกำพร้า

การผสมกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนและขยะกำพร้าตามสัดส่วนของน้ำหนัก ที่กำหนด ได้แก่ 8:2 7:3 5:5 3:7 และ 2:8 ตามลำดับ นำไปอัดให้เป็นเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ด้วยเครื่อง Pelleting press ซึ่งการผสมกันกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนทำหน้าที่เป็นตัวประสาน

3. การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดในด้านกายภาพ ด้านเคมี และทดสอบการจุดติดไฟ ดำเนินการวิเคราะห์ 1 ชุดตัวอย่าง โดยวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติด้านกายภาพและเคมี

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติด้านกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม ส่วนลักษณะสมบัติด้านเคมีเป็นการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate Analysis) ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณความร้อน ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

(1) ปริมาณความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

ปริมาณความหนาแน่นรวม หมายถึง อัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของเชื้อเพลิงหรือเป็นปริมาณน้ำหนักของขยะต่อปริมาตรภาชนะที่บรรจุ โดยไม่มีการอัดหรือบีบให้ผิดไปจากธรรมดา (Chukan, 2011) วิเคราะห์ตามตามมาตรฐานของสมาคมการทดสอบและวัสดุแห่งอเมริกา (American Society for Testing and Materials; ASTM) โดยวิธี ASTM E 873-82 คำนวณความหนาแน่นรวมของตัวอย่าง ดังสมการที่ (1)

$$D = \left(\frac{W_1 - W_2}{V}\right) \quad (1)$$

โดยที่ D (Bulk Density) = ปริมาณความหนาแน่นรวม (Bulk Density)
W_1 = น้ำหนักวัสดุและน้ำหนักภาชนะตวง (กิโลกรัม)
W_2 = น้ำหนักภาชนะตวง (กิโลกรัม)
V = ปริมาตรภาชนะตวง (ลิตร)

(2) ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ปริมาณความชื้น เป็นปริมาณน้ำที่ยังคงอยู่หลังจากกระบวนการตากแห้งของเชื้อเพลิง เนื่องจากความชื้นมีผลต่อค่าความร้อนโดยตรง เชื้อเพลิงมีความชื้นมากจะทำให้ค่าความร้อนลดต่ำลง การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D3173-95 (Pukdee-asa & Pimpan, 2022) โดยตัวอย่างปริมาณ 1-2 กรัม วางบนภาชนะทนความร้อนและทำการชั่งน้ำหนักก่อนนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักจะคงที่ นำถ้วยที่ใส่ตัวอย่างทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง คำนวณน้ำหนักที่หายไปเป็นร้อยละของปริมาณความชื้น ดังสมการที่ (2)

$$MC = \left(\frac{A-B}{A}\right) \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ MC (Moisture Content) คือ ร้อยละของปริมาณความชื้น
A คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)
B คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

(3) ปริมาณเถ้า (Ash Content)

ปริมาณเถ้า หมายถึง ส่วนของสารอนินทรีย์ที่เหลือจากการสันดาป หากเชื้อเพลิงมีเถ้าปริมาณมาก จะเป็นปัญหาในการเผาไหม้และเพิ่มความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า เป็นการหาปริมาณสารอนินทรีย์ที่คงเหลือหลังจากการเผาตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM D 3174-95 (Pukdee-asa & Pimpan, 2022) โดยการเผาตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1-2 กรัม บนภาชนะทนความร้อนในเตาเผาอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 750 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง คำนวณน้ำหนักที่คงเหลืออยู่เป็นร้อยละของปริมาณเถ้า ดังสมการที่ (3)

$$AC = \left(\frac{A}{B}\right) \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ AC (Ash Content) คือ ร้อยละของปริมาณเถ้า
A คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
B คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

(4) ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)

ปริมาณสารระเหย หมายถึง องค์ประกอบในเชื้อเพลิงที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน หากสามารถระเหยได้ในปริมาณสูงจะมีแนวโน้มค่าความร้อนสูงตามไปด้วย การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย ตามมาตรฐาน ASTM D 3175-95 (Pukdee-asa & Pimpan, 2022) เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีสถานะเป็นก๊าซ โดยนำตัวอย่างประมาณ 1-2 กรัม วางบนถ้วยทนอุณหภูมิที่ทราบน้ำหนัก และเผาในเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 6 นาที คำนวณน้ำหนักที่หายไปลบด้วยความชื้น เป็นปริมาณสารระเหยที่ถูกปลดปล่อยออกมาโดยส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังสมการที่ (4) และสมการที่ (5)

$$WL = \left[\left(\frac{A}{B}\right) \times 100\right] \quad (4)$$

$$VM = WL - MC \quad (5)$$

โดยที่ WL (Weight Loss) คือ ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป
VM (Volatile Matter) คือ ร้อยละของปริมาณสารระเหย
MC (Moisture Content) คือ ร้อยละของปริมาณความชื้น
A คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
B คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

(5) ปริมาณคาร์บอนคง (Fixed Carbon)

ปริมาณคาร์บอนคงตัว หมายถึง ปริมาณสารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยากที่คงเหลืออยู่ หลังจากที่เผาสารระเหยออกไปแล้วที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ในสภาวะปิด โดยเชื้อเพลิงที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจะมีช่วงเวลาในการลุกไหม้ยาวนาน สามารถแสดงส่วนที่เผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิงหลังจากที่กำจัดความชื้น สารระเหย และเถ้าออกแล้ว ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพเชื้อเพลิง เนื่องจากถ้ามีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงขึ้นความเป็นเชื้อเพลิงก็มากขึ้นด้วย การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนคงตัวตามมาตรฐาน ASTM D 3172 (Pukdee-asa & Pimpan, 2022) เป็นการนำปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย ลบออกจาก 100 และทุกค่าต้องอยู่ในสภาวะความชื้นเดียวกัน ดังสมการที่ (6)

$$FC = 100 - (MC + AC + VM) \quad (6)$$

โดยที่ FC (Fixed Carbon) คือ ร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว
MC (Moisture Content) คือ ร้อยละของปริมาณความชื้น
AC (Ash Content) คือ ร้อยละของปริมาณเถ้า
VM (Volatile Matter) คือ ร้อยละของปริมาณสารระเหย

(6) ปริมาณความร้อน (Heat Value)

ปริมาณความร้อน หมายถึง ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อแท่งเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ในบางครั้งอาจเรียกว่าค่าความร้อนของการเผาไหม้ การหาปริมาณความร้อนดำเนินการโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ด้วยวิธี Isoperibol ตามมาตรฐาน ASTM D 5865-13 (Pukdee-asa & Pimpan, 2022) เป็นการเผาตัวอย่างให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ด้วยตัวจุดระเบิด (Bomb) ภายในเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ ที่มีก๊าซออกซิเจนอยู่ในปริมาณมากเกินพอ โดยกระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านฟิวส์ไปสัมผัสตัวอย่างเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการเผาไหม้ตัวอย่างเชื้อเพลิงจนหมด เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์จะอ่านค่าความร้อนที่เกิดขึ้น

3.2 การทดสอบการจุดติดไฟเบื้องต้น

การทดสอบการจุดติดไฟเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วมจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชน และขยะกำพร้า โดยดำเนินการนำเอาเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วมไปเผาไฟ ทำการจับเวลาเมื่อเชื้อเพลิงติดไฟ และหยุดจับเวลาเมื่อเชื้อเพลิงไม่มีการติดไฟแล้ว

ผลการวิจัย

1. ลักษณะสมบัติทางด้านกายภาพและด้านเคมีของส่วนประกอบเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วม

ลักษณะสมบัติทางด้านกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม ส่วนด้านเคมีเป็นการวิเคราะห์โดยประมาณ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และปริมาณความร้อน ซึ่งส่วนประกอบของเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วม ได้แก่ กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน และขยะกำพร้า พบว่า กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน มีปริมาณความหนาแน่นรวม 2.95±0.02 kg/l ปริมาณความชื้น 80.10±0.030% โดยเมื่อนำกากตะกอนที่ผ่านการกำจัดความชื้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนมีปริมาณความหนาแน่นรวม 1.65±0.03 kg/l ความชื้น 0.25+0.025% มีปริมาณเถ้า 47.43±0.099% มีปริมาณสารระเหย 46.14±0.067% มีปริมาณคาร์บอนคงตัว 6.15±0.198% และมีปริมาณความร้อน 2,552±14 kcal/kg ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงตามเกณฑ์มาตรฐานแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง และบล็อกประสาน (Department of Industrial Works, 2012) (Table 1)

ส่วนขยะกำพร้ามีความหนาแน่นรวม 0.05±0.002 kg/l มีปริมาณความชื้น 0.29±0.070% มีปริมาณเถ้า 2.34±0.088% มีปริมาณสารระเหย 2.06±0.118% มีปริมาณคาร์บอนคงตัว 95.31±0.175% และมีปริมาณความร้อน 9,633±233 kcal/kg (Table 1) ซึ่งขยะกำพร้ามีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง และบล็อกประสาน (Department of Industrial Works, 2012)

Table 1 The properties of domestic wastewater sludge (DWS) and non-recyclable waste (N-RW)

The properties	Unit	Domestic Wastewater Sludge (DWS)		Non-recyclable Waste (N-RW)	Department of Industrial Works, 2012
		Before moisture content reduced	After moisture content reduced		
Bulk Density	kg/l	2.95±0.02	1.65±0.03	0.05±0.002	-
Moisture Content	%	80.10±0.030	0.25±0.025	0.29±0.070	-
Ash Content	%	-	47.43±0.099	2.34±0.088	≤20%
Volatile Matter	%	-	46.14±0.067	2.06±0.118	
Fixed Carbon	%	-	6.15±0.198	95.31±0.175	≥15%
Heat Value	kcal/kg	-	2,552±14	9,633±233	≥3,000

2. ลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วม

จากการศึกษาลักษณะของเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วม ซึ่งผสมระหว่างกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน และขยะกำพร้า ในปริมาณความชื้น และอัตราส่วนต่างๆ พบว่าที่ปริมาณความชื้น 0% และ 30% ไม่สามารถอัดเม็ดได้ แต่ปริมาณความชื้น 20% สามารถอัดเม็ดได้ โดยมีรายละเอียดลักษณะสมบัติดังนี้ (Table 2)

- ปริมาณความชื้น 0% ที่อัตราส่วนของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน : ขยะกำพร้า 8:2, 7:3, 5:5, 3:7 และ 2:8 ตามลำดับ มีความหนาแน่นรวม 1.31±0.045, 1.12±0.089, 0.81±0.077, 0.50±0.069 และ 0.34±0.055 kg/l ตามลำดับ โดยความหนาแน่นรวมลดลงเมื่อมีสัดส่วนของขยะกำพร้าเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณเถ้ามีปริมาณลดลง 20.60±1.01%, 19.33±1.53%, 16.70±1.66%, 15.37±1.12% และ 15.01±0.85% ตามลำดับ ส่วนปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนที่ลดลง โดยมีปริมาณความร้อน 3,470±356, 4,443±316, 5,634±395, 6,819±371 และ 7,921±158 kcal/kg ตามลำดับ

- ปริมาณความชื้น 20% ที่อัตราส่วนของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน : ขยะกำพร้า 8:2 7:3 5:5 3:7 และ 2:8 ตามลำดับ มีความหนาแน่นรวม 1.55±0.038, 1.37±0.045, 1.07±0.101, 0.58±0.078 และ 0.43±0.085 kg/l ตามลำดับ โดยความหนาแน่นรวมลดลงเมื่อมีสัดส่วนของขยะกำพร้าเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณเถ้ามีปริมาณลดลง 23.17±1.07%,

21.43±0.59%, 19.10±0.44%, 16.07±0.21% และ 14.92±0.34% ตามลำดับ ส่วนปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนที่ลดลง โดยมีปริมาณความร้อน 2,858±150, 3,187±210, 4,518±159, 6,781±42 และ 7,532±346 kcal/kg ตามลำดับ

- ปริมาณความชื้น 30% ที่อัตราส่วนของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน : ขยะกำพร้า 8:2, 7:3, 5:5, 3:7, และ 2:8 ตามลำดับ มีความหนาแน่นรวม 1.73±0.098, 1.56±0.038, 1.07±0.044, 0.70±0.069 และ 0.48±0.048 kg/l ตามลำดับ โดยความหนาแน่นรวมลดลงเมื่อมีสัดส่วนของขยะกำพร้าเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับปริมาณเถ้ามีปริมาณลดลง 24.53±0.50%, 23.13±0.78%, 20.00±0.50%, 16.17±0.76% และ 15.64±0.87% ตามลำดับ โดยมีปริมาณความร้อน 2,880±257, 3,354±199, 4,121±73, 4,615±152 และ 5,324±148 kcal/kg ตามลำดับ

3. การทดสอบการจุดติดไฟเบื้องต้น

จากการทดสอบการจุดติดไฟเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วม ที่อัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Pelleting press ปริมาณความชื้น 20% พบว่าที่อัตราส่วนของกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน : ขยะกำพร้าที่ 2:8 สามารถจุดติดไฟได้นานที่สุด เป็นระยะเวลาเฉลี่ย 205±5.3 วินาที รองลงมาคืออัตราส่วน 3:7 5:5 7:3 และ 8:2 โดยมีระยะเวลาการติดไฟเฉลี่ย 90±6.1, 70±3.6 50±4.3 และ 5±1.2 วินาที ตามลำดับ (Figure 1)

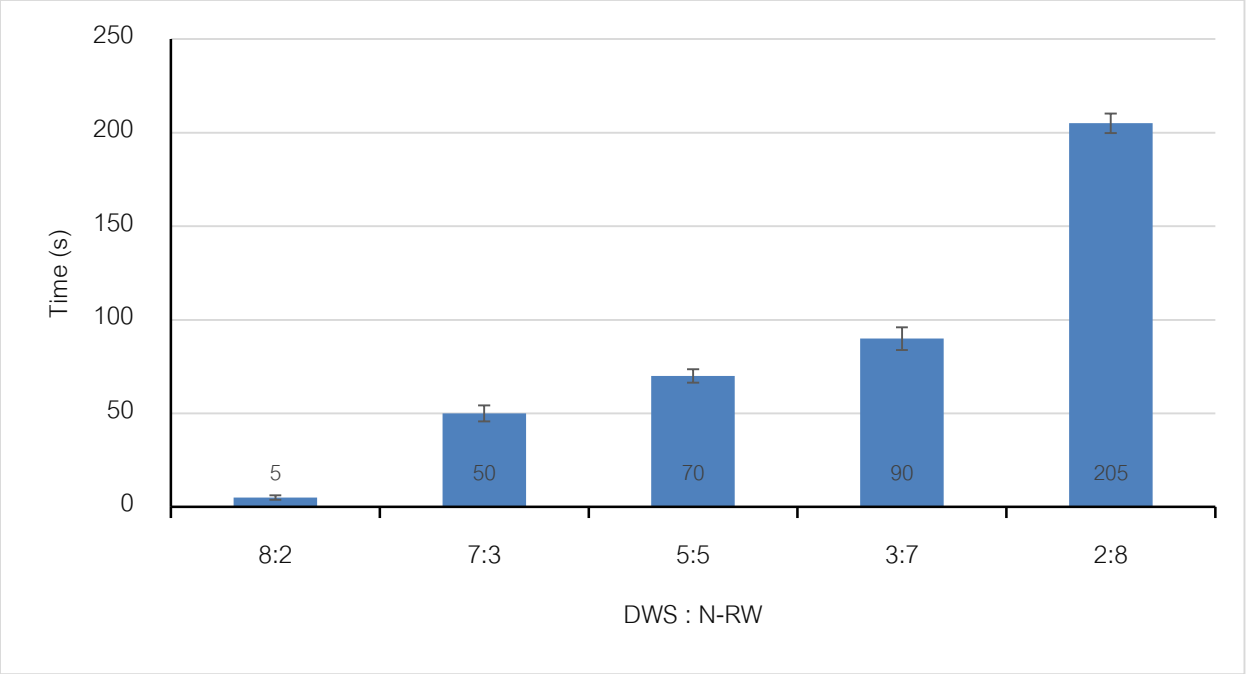

Figure 1 The ignition time of Co-pelletizing fuel from domestic wastewater sludge (DWS) and non-recyclable waste (N-RW)

Table 2 The properties of co-pelletizing fuel from domestic wastewater sludge (DWS) and non-recyclable waste (N-RW)

Ratio DWS : N-RW	Moisture Content (%)	Bulk Density (kg/l)	Ash Content (%)	Heat Value (kcal/kg)	Remark
8:2	0	1.31±0.045	20.60±1.01	3,470±356	Cannot pellet
7:3		1.12±0.089	19.33±1.53	4,443±316	
5:5		0.81±0.077	16.70±1.66	5,634±395	
3:7		0.50±0.069	15.37±1.12	6,819±371	
2:8		0.34±0.055	15.01±0.85	7,921±158	
8:2	20	1.55±0.038	23.17±1.07	2,858±150	Pellets
7:3		1.37±0.045	21.43±0.59	3,187±210	
5:5		1.07±0.101	19.10±0.44	4,518±159	
3:7		0.58±0.078	16.07±0.21	6,781±42	
2:8		0.43±0.085	14.92±0.34	7,532±346	
8:2	30	1.73±0.098	24.53±0.50	2,880±257	Cannot pellet
7:3		1.56±0.038	23.13±0.78	3,354±199	
5:5		1.07±0.044	20.00±0.50	4,121±73	
3:7		0.70±0.069	16.17±0.76	4,615±152	
2:8		0.48±0.048	15.64±0.87	5,324±148	

วิจารณ์ผลการวิจัย

กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน มีปริมาณความร้อน 2,552±14 kcal/kg ไม่เหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Department of Industrial Works, 2012) โดยสอดคล้องกับการศึกษาของธิลักษณ์ จันทรส่องศรี (Chansongsri, 2014) และอังสุมน สังขพันธ์ (Sangkhaphan, 2018) เนื่องจากกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนมีความชื้น และปริมาณความร้อนต่ำไม่เป็นไปตามคุณสมบัติพื้นฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ในขณะที่ขยะกำพร้ามีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานตามแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง และบล็อกประสาน ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณความร้อนสูงมากกว่า 3,000 kcal/kg และมีปริมาณเถ้าต่ำกว่า 20% (Department of Industrial Works, 2012)

ปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วมจากกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน และขยะกำพร้า ที่ปริมาณความชื้น 0% อัตราส่วน 2:8 ให้ค่าความร้อนสูงที่สุดที่ 7,921±158 kcal/kg แต่ไม่สามารถอัดเม็ดได้ เนื่องจากกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานมีความชื้นน้อย จึงไม่สามารถยึดติดกัน เช่นเดียวกับที่ปริมาณความชื้น 30% ไม่สามารถอัดเม็ดได้

เนื่องจากมีความชื้นมากเกินไป กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน และขยะกำพร้าไม่จับกันเป็นก้อน ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงอัดเม็ดร่วมจากกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนและขยะกำพร้า ได้แก่ ปริมาณความชื้น 20% โดยที่อัตราส่วน 2:8 มีปริมาณความร้อนมากที่สุด 7,532±346 kcal/kg เนื่องจากมีสัดส่วนของขยะกำพร้ามาก และมีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด 14.92±0.34% ซึ่งสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง และบล็อกประสาน ตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม (Department of Industrial Works, 2012) ได้แก่ อัตราส่วนกากตะกอนจากเสียชุมชนต่อขยะกำพร้าที่สัดส่วน 5:5 3:7 และ 2:8 ตามลำดับ เนื่องจากมีปริมาณความร้อน และเถ้าอยู่ในมาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนดไม่ควรต่ำกว่า 3,000 kcal/kg และ 20% ตามลำดับ การเพิ่มสัดส่วนของขยะกำพร้าทำให้ปริมาณความร้อนเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนทำให้ปริมาณความร้อนลดลง และปริมาณเถ้าเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนมีส่วนประกอบของสารอนินทรีย์ต่างๆ ซึ่งอาจประกอบด้วยซิลิกาแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ หรือเป็นส่วนที่เผาไม่ได้ (Sangkhaphan, 2018) โดยเกิดจากการปนเปื้อนในน้ำเสียเดิมและตกตะกอนในถังตกตะกอน (Painmanakul, 2014) ไม่สามารถบำบัดได้โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียของชุมชน นอกจากนี้การเติมสารเคมีตกตะกอน รวมทั้งสารเคมีเร่งการตกตะกอน ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ โดยหากเชื้อเพลิงมีปริมาณเถ้ามากจะเป็นปัญหาในการเผาไหม้ และเพิ่มความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าที่เกิดขึ้น (Tangmankongworakoon, 2014)

สรุปผลการวิจัย

กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน มีปริมาณความร้อนไม่เพียงพอต่อการนำไปแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เนื่องจากมีความชื้นมาก ทำให้ปริมาณความร้อนต่ำไม่เป็นไปตามคุณสมบัติพื้นฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ส่วนขยะกำพร้ามีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง และบล็อกประสาน เนื่องจากมีปริมาณความร้อนสูงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งกำหนดไว้ควรมากกว่า 3,000 kcal/kg รวมถึงมีปริมาณเถ้าต่ำกว่า 20% แต่ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้ เมื่อนำกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนผสมกับขยะกำพร้า ซึ่งกากตะกอนทำหน้าที่เป็นตัวประสาน เพื่อช่วยในการขึ้นรูปของเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้ดีขึ้น และขยะกำพร้าสามารถเพิ่มคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงโดยให้ความร้อนเพิ่มขึ้นกับกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนและขยะกำพร้า ได้แก่ 5:5 3:7 และ 2:8 ตามลำดับ ที่ปริมาณความชื้น 20% สามารถขึ้นรูปอัดเม็ดได้ เนื่องจากมีปริมาณความร้อน และเถ้าอยู่ในมาตรฐานตามเกณฑ์ โดยอัตราส่วน 2:8 เป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณความร้อนมากที่สุด 7,532±346 kcal/kg และมีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด 14.92±0.34% การนำกากตะกอนจากน้ำเสียชุมชน และขยะกำพร้ามาผลิตเป็นเชื้อเพลิง สามารถเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งแก้ปัญหาการกำจัดขยะ เป็นแนวทางในการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพ และมีประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาลักษณะสมบัติหรือองค์ประกอบทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงเพิ่มเติม เพื่อป้องกันการเกิดมลพิษจากการเผาไหม้

เอกสารอ้างอิง

Chansongsri, T. (2014). Potential of briquette fuel production using wastewater treatment sludge from cosmetic industry. [Master's Thesis, Thammasat University]. (in Thai)

Chukan, K. (2011). The study of solid waste management systems, Pakkret city Municipality, Nonthaburi province. [Master's Thesis, Silpakorn University]. (in Thai)

Department of Industrial Works. (2012). Standards, guidelines, and waste qualification criteria for processing into fuel briquette and the interlocking block. Bangkok: Industrial Waste Management Division, Department of Industrial Works, Ministry of Industry. (in Thai)

Kampee, P., Buochareon, S., & Chaichana, T. (2019). Feasibility study of RDF-5 production from infectious hospital waste. *Journal of renewable energy for community*, *2*(1), 17-23. (in Thai)

Kijjanasiri, T. (2021). A study on solid fuel production from sewage sludge of wastewater in tapioca starch industry using as an assisted feedstock in gasification process. [Master's Thesis, Suranaree University of Technology]. (in Thai)

Kijo-Kleczkowska, A., Środa, K., Kosowska-Golachowska,M., Musiał, & T., Wolski,K. (2016). Combustion of pelleted sewage sludge with reference to coal and biomass. *Fuel*, *170*, 141-160.

Kitipattaworn, A. (2013). Briquette fuel from co-production of ethanol industrial wet cake and biomass. *Journal of Southern Technology*, *6*(2), 9-17. (in Thai)

Mahapram, K., Mongkol, S., & Kreekongka, B. (2012). Conduct of sludge from wastewater treatment of milk production transform of fuel Case study : FrieslandCampina Fresh (Thailand) Co., Ltd. [Bachelor's Thesis, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon]. (in Thai)

Mingmuang, K. (2017). Fuel briquettes from biodegradable waste at Nakhon Sawan Rajabhat University. In *Proceedings of 2nd national and International "Localization"*. (pp.1-8). Nakhon Sawan : Nakhon Sawan Rajabhat University. (in Thai)

Nipithwittaya, S. (2022). Non-recyclable waste, plastic waste. Bangkok: Decemberry Co.,Ltd. (in Thai)

Painmanakul, P. (2014). Unit processes for environmental engineering. Bangkok: Chulalongkorn University Press. (in Thai)

Pinate, W., & Dungphonthong, D. (2016). Production of refuse-derived fuel-5 (RDF-5) from municipal waste: A case study involving Rajabhat Mahasakham University. *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, *9*(1), 2-86. (in Thai)

Pollution Control Department. (2021). Annual Report 2020 Waste and Hazardous Substance Management Division. Bangkok: Waste and Hazardous Substance Management Division, Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (in Thai)

Pukdee-asa, M., & Pimpan, P. (2022). Fuel briquettes from waste of lemon grass and banana peel. *Science and technology nakhon sawan rajabhat university journal, 14* (19), 107-121. (in Thai)

Sangkhaphan, A. (2018). Co-pelletized briquettes production from municipal wastewater sludge; Case study of pattaya municipal wastewater treatment plant. [Master's Thesis, Thammasat University]. (in Thai)

Sonklin, W. (2010). Biological methane removal in landfill cover soil. *Naresuan University Engineering Journal*, *5*(2), 37-45. (in Thai)

Tangmankongworakoon, N. (2014). The production of fuel briquettes from bio-agricultural wastes and household wastes. *Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology*, *6*(11), 66-77. (in Thai)

Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). (2016). Reducing greenhouse gas from solid waste management. (in Thai)

Uttamaprakrom, W. , & Vitidsant, T. (2011). Production of briquette charcoals from wet cake waste of ethanol industry from chipped cassava. *Journal of Energy Research*, *8*(2554/3), 1-19. (in Thai)

Waste and Hazardous Substance Management Division, Pollution Control Department. (2022). Study of solid waste composition 2021. Bangkok: Waste and Hazardous Substance Management Division, Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (in Thai)