

ผลกระทบของสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟต่อกระบวนการให้ความร้อน
ที่อุณหภูมิต่ำของขยะชุมชนอัดแท่งที่มีความชื้นสูง
**EFFECTS OF MICROWAVE ABSORBERS ON
THE TORREFACTION OF HIGHLY-MOIST MUNICIPAL
SOLID WASTE (MSW) PELLETS**

พิชญานันท์ ไวยเนตร* พงศ์ธร ธูปะเตมีย์ และโปรดปราน สิริธีรศาสน์
Phichayanon Waiyanate*, Pongtorn Dhupatemiya,
and Prodpran Siritheerasas

Faculty of Engineering, Thammasat University

*corresponding author e-mail: phichayanon.wai@dome.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำของขยะชุมชนอัดแท่งที่มีความชื้นสูง โดยศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ (ผงถ่านจากฟางข้าว ชังข้าวโพด กะลาปาล์ม และชานอ้อย) กำลังของคลื่นไมโครเวฟ (500-800 วัตต์) และระยะเวลาการให้ความร้อน (4-12 นาที) ที่มีต่อมวลที่เหลืออยู่และอุณหภูมิ ต่อผลการวิเคราะห์แบบประมาณต่อผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และต่อค่าความร้อนของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่เป็นผงถ่านจากชานอ้อยมีมวลที่เหลืออยู่ลดลงมากที่สุด โดยลดลงมากกว่าตัวอย่างที่เติมผงถ่านจากฟางข้าว กะลาปาล์ม และชังข้าวโพด ตามลำดับ รวมทั้งมีอุณหภูมิหลังการให้ความร้อนสูงที่สุด นอกจากนี้ ยังพบว่า การเพิ่มเวลาของการให้ความร้อนส่งผลให้มวลที่เหลืออยู่ของตัวอย่างมีค่าลดลง แต่อุณหภูมิของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น การเติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ การเพิ่มกำลังของคลื่นไมโครเวฟ และการเพิ่มเวลาการให้ความร้อนส่งผลให้ปริมาณความชื้นและสารระเหยได้ของตัวอย่างลดลง ขณะที่การเติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟและการเพิ่มเวลาการให้ความร้อนมีผลน้อยมากต่อปริมาณคาร์บอนคงตัวในตัวอย่างหลังการให้ความร้อน สำหรับผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ พบว่า สัดส่วนของคาร์บอนในตัวอย่างเพิ่มขึ้นหลังการให้ความร้อน แต่สัดส่วนของออกซิเจนลดลง ขณะที่สัดส่วนของไฮโดรเจนค่อนข้างคงที่ เมื่อเทียบกับสัดส่วนของธาตุเหล่านี้ตอนเริ่มต้น และพบว่าค่าความร้อนของตัวอย่างหลังการให้ความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้น

คำสำคัญ: การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ สารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ขยะชุมชนอัดแท่ง คลื่นไมโครเวฟ

Abstract

The purpose of this research was to study the effects of microwave absorbers on the torrefaction of highly-moist municipal solid waste (MSW) pellets. The effects of the type of agricultural residue used as the microwave absorber (char from rice straw,

from corncob, from palm shell, and from bagasse), the microwave power (500-800 W), and the torrefaction time (4-12 min) on the remaining mass, temperature, proximate and ultimate analyses, as well as the heating value of the torrefied MSW pellets were investigated. The results from the experiments revealed that the addition of char from bagasse yielded the lowest remaining mass and, the highest temperature of the torrefied MSW pellets. The addition of microwave absorber, also increases in microwave power and torrefaction time caused the remaining amounts of moisture and volatile matter in the torrefied MSW pellets to decrease. However, the addition of microwave absorber and an increase in torrefaction time had an insignificant effect on the remaining amount of fixed carbon in the torrefied MSW pellets. For the ultimate analysis, it was found that, after being heated by microwave irradiation, the amount of carbon in the torrefied MSW pellets increased, but the amount of oxygen decreased, while the amount of hydrogen was relatively constant, when comparing to their initial values. The heating values of the MSW pellets were found to increase after being torrefied.

Keywords: torrefaction, microwave absorber, municipal solid waste (MSW) pellets, microwave irradiation

บทนำ

ปัญหาขยะถือเป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งของประเทศไทย โดยปริมาณขยะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งมีสาเหตุมาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น การขยายตัวของเขตเมือง และพฤติกรรม การอุปโภคบริโภคของประชาชนที่เปลี่ยนไป รวมถึงเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ธงชัย, 2559) สาเหตุที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการมีสถานที่กำจัดขยะที่ไม่เพียงพอต่อปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้น จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) พบว่าในปี พ.ศ. 2558 มีปริมาณขยะ ทั้งหมดประมาณ 29 ล้านตัน โดยในจำนวนนี้เป็นขยะที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง 22 ล้านตัน อีกประมาณ 7 ล้านตัน ถูกกำจัดอย่างผิดวิธี เช่น เผากลางแจ้ง หรือลักลอบทิ้งในพื้นที่รกร้าง เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึง จำเป็นต้องหาวิธีการกำจัดขยะที่มีประสิทธิภาพ

ปัจจุบันเทคโนโลยีเตาเผาขยะ (waste incinerator) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถลดปริมาณขยะ ได้ถึงร้อยละ 70-80 สามารถกำจัดขยะที่มีองค์ประกอบที่หลากหลายได้ และใช้เวลาในการกำจัดที่ รวดเร็ว (เพชรดา และคณะ, 2557) นอกจากนี้ พลังงานที่ได้จากเตาเผาขยะยังสามารถนำไปใช้ผลิต ไฟฟ้าได้ อีกทั้งส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ขยะก็สามารถนำไปแปรรูปเป็นวัสดุก่อสร้างได้อีกด้วย (สุรงค์, 2557) อย่างไรก็ตามขยะชุมชนมักมีความชื้นสูง (ธเรศ, 2553) หากนำไปเผาไหม้ในเตาเผาทันที จะทำให้ ต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปกับการระเหยความชื้นหรือน้ำออกจากขยะชุมชน ทำให้อุณหภูมิ ในการเผาไหม้ไม่สูงมากนัก ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จนเกิดสารประกอบ dioxin ขึ้น ซึ่งสารประกอบ dioxin เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีพิษสูง สามารถตกค้างในสิ่งแวดล้อมได้นาน ทำให้ สะสมในร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ในปริมาณมาก ก่อให้เกิดโทษต่อร่างกาย อีกทั้งยังเป็นสารก่อมะเร็งหรือ เนื้องอกในอวัยวะต่าง ๆ อีกด้วย (Baird & Cann, 2008) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติของ

ขยะชุมชน โดยกำจัดความชื้นในขยะชุมชนเสียก่อน นอกจากนี้ก่อนที่จะนำขยะชุมชนไปเผาไหม้ในเตาเผาควรทำการอัดแท่งขยะชุมชนเสียก่อน เพื่อเพิ่มความหนาแน่นพลังงาน (energy density) ให้กับขยะชุมชน ซึ่งจะทำให้ขยะชุมชนสามารถจัดเก็บและขนส่งได้ง่าย ทั้งนี้เกณฑ์ที่จะนำขยะชุมชนมาทำเป็นขยะอัดแท่ง คือขยะชุมชนควรมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 6-7 MJ/kg และต้องไม่ต่ำกว่า 4 MJ/kg (Vesilind et al., 2002)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ากระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (torrefaction) สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของขยะชุมชน (ลดความชื้นและสารระเหยได้ (บางส่วน) ออกจากขยะชุมชน) ก่อนนำไปเผาไหม้ในเตาเผาได้ โดยกระบวนการนี้เป็นการให้ความร้อนแก่ขยะชุมชนที่อุณหภูมิประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจน (Van der Stelt et al., 2011) ทั้งนี้ โดยทั่วไปแล้วเทคนิคการให้ความร้อนของกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำเป็นการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม (conventional heating) โดยเป็นการให้ความร้อนโดยการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนด้วยการใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง (muffle furnace) หรือเตาอบลมร้อน (hot oven) ซึ่งวิธีการนี้ใช้เวลาในการให้ความร้อนที่นาน กว่าวัตถุจะได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการให้ความร้อน (เพชรดา และคณะ, 2557) ดังนั้น จึงมีความพยายามหาวิธีการให้ความร้อนที่ใช้พลังงานต่ำ ซึ่งหนึ่งในเทคนิคการให้ความร้อนที่ใช้พลังงานต่ำ คือ การให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (microwave irradiation) เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงสามารถทำให้โมเลกุลของน้ำภายในตัวอย่างเกิดการสั่นสะเทือน ก่อให้เกิดเป็นความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำออกจากตัวอย่างได้ (จินตนา และไชยวัฒน์, 2547) และเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมกับการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ พบว่าการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมใช้เวลาในการระเหยความชื้นออกจากตัวอย่างนานกว่าการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ดังแสดงในงานวิจัยของ Siritheerasas et al. (2015a) และ Arshanitsa et al. (2016)

อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ควรมีการเติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของระบบให้สูงขึ้น (Budarin et al., 2011) ทั้งนี้จากงานวิจัยของ Zuo et al. (2011) และ Liu et al. (2011) ซึ่งมีการใช้ silicon carbide (SiC) และ carbon black เป็นสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ตามลำดับ พบว่าการเติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟเข้าไปในระบบ ทำให้อุณหภูมิของระบบเพิ่มสูงขึ้น จนส่งผลให้ประสิทธิภาพการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพิ่มขึ้น อนึ่งสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์เช่นนี้มีราคาแพง ทำให้มีความพยายามในการหาวัสดุราคาถูกมาทำเป็นสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ โดยจากงานวิจัยของ Siritheerasas et al. (2015b) พบว่าผงถ่าน (char) สามารถใช้เป็นสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ ซึ่งผงถ่านที่ใช้ในงานวิจัยดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับผงถ่านที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งผลพลอยได้ที่สำคัญที่นอกเหนือไปจากผลผลิตทางการเกษตรคือวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ชี้เลี้ยง ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย กะลาปาล์ม และซังข้าวโพด เป็นต้น ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำผงถ่านจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรเหล่านี้มาใช้เป็นสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีงานวิจัยจำนวนน้อยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของขยะชุมชน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลกระทบของสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่มีต่อคุณสมบัติของขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยตัวแปร

ที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดของสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ (ผงถ่านของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร) กำลังของคลื่นไมโครเวฟ และระยะเวลาการให้ความร้อน ที่มีต่อมวลที่เหลืออยู่ อุณหภูมิ ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) และค่าความร้อน (heating value) ของขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ อนึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในเชิงเทคนิคเท่านั้น คือศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวข้างต้นที่มีต่อคุณสมบัติของขยะชุมชนอัดแท่งที่ได้ ส่วนการศึกษาในเชิงสิ่งแวดล้อมและในเชิงผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น การปล่อยก๊าซมลพิษหรือก๊าซเรือนกระจกในระหว่างการให้ความร้อนแก่ขยะชุมชนอัดแท่ง หรือเชิงเศรษฐศาสตร์ เช่น การศึกษาความคุ้มค่าของการใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อนแก่ขยะชุมชนไม่อยู่ในขอบเขตของงานวิจัยนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งจำลอง (model municipal solid waste; MSW) แทนการใช้ขยะชุมชนจริง เนื่องจากหากใช้ขยะชุมชนจริงจะไม่สามารถควบคุมองค์ประกอบต่าง ๆ ให้คงที่ได้ ซึ่งอาจส่งผลให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้ ทั้งนี้ขยะชุมชนอัดแท่งจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย กระจาดร้อยละ 40 เศษซีเมนต์ร้อยละ 30 เศษซังข้าวโพดร้อยละ 20 พลาสติกร้อยละ 10 (อัตราส่วนดังกล่าวมาจากอัตราส่วนของส่วนที่เผาไหม้ได้ในขยะชุมชนจริง) โดยตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 1.50-1.70 เซนติเมตร และมีน้ำหนักต่อแท่งประมาณ 1 กรัม ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อน ของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นไปตามตารางที่ 1

2. ขั้นตอนการทดลอง

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

2.1 วิเคราะห์ขยะชุมชนอัดแท่งก่อนการให้ความร้อน ซึ่งประกอบด้วย

2.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ อันได้แก่ การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (moisture) ตามมาตรฐาน ASTM D3173 (พิจารณาจากมวลที่สูญเสียไป เมื่อนำตัวอย่างไปอบในเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง) การวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหยได้ (volatile matter; VM) ตามมาตรฐาน ASTM D3175 (พิจารณาจากมวลที่สูญเสียไป เมื่อนำตัวอย่างไปให้ความร้อนโดยใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที) การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (ash) ตามมาตรฐาน ASTM D3174 (พิจารณามวลที่เหลืออยู่เมื่อนำตัวอย่างไปเผาไหม้โดยใช้เตาอุณหภูมิสูงที่ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง) และการคำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon; FC) ตามมาตรฐาน ASTM D3172 (คำนวณจากความแตกต่างระหว่าง 100 และร้อยละของความชื้น+สารระเหย+เถ้า) การวิเคราะห์แบบแยกธาตุตามมาตรฐาน ASTM D3176 โดยใช้ CHN elemental analyser

2.1.2 การวิเคราะห์ค่าความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D2105 โดยใช้ bomb calorimeter

2.2 เตรียมตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่ง โดยการตัดตัวอย่างให้มีขนาดใกล้เคียงกัน (ความยาวประมาณ 1.50-1.70 เซนติเมตร) และมีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม แล้วใส่ตัวอย่างขยะชุมชนใน porcelain crucible

2.3 เติมน้ำลงในตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่ง เพื่อปรับให้มีความชื้นเริ่มต้นเป็นร้อยละ 40 (โดยมวลของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่ง)

2.4 เติมน้ำสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ (ที่เป็นผงผ่านจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรอันได้แก่ ผงผ่านจากฟางข้าว ซึ่งข้าวโพด กะลาปาล์ม และชานอ้อย) ในปริมาณร้อยละ 40 (โดยมวลของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่ง) ลงใน crucible ที่บรรจุตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งในข้อ 2.3)

2.5 นำตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่มีความชื้น และปริมาณสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟตามที่กำหนด (ซึ่งปิดฝาแล้ว เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าไปใน crucible) ใส่ในเตาไมโครเวฟ และเปิดเตาไมโครเวฟให้ทำงาน โดยใช้กำลัง 500, 650 และ 800 วัตต์ และใช้เวลาของการให้ความร้อน 4, 8 และ 12 นาที

2.6 เมื่อถึงเวลาที่กำหนด (ในช่วง 4-12 นาที) ให้ปิดเตาไมโครเวฟ แล้ววัดอุณหภูมิของตัวอย่างใน crucible ทันที โดยใช้ infrared pyrometer

2.7 นำตัวอย่างออกจากเตาไมโครเวฟ และนำไปเก็บไว้ใน desiccator รอให้เย็นแล้วจึงชั่งน้ำหนักหลังการให้ความร้อน บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้

2.8 นำตัวอย่างไปวิเคราะห์แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และค่าความร้อน เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1-2.1.2

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่ง

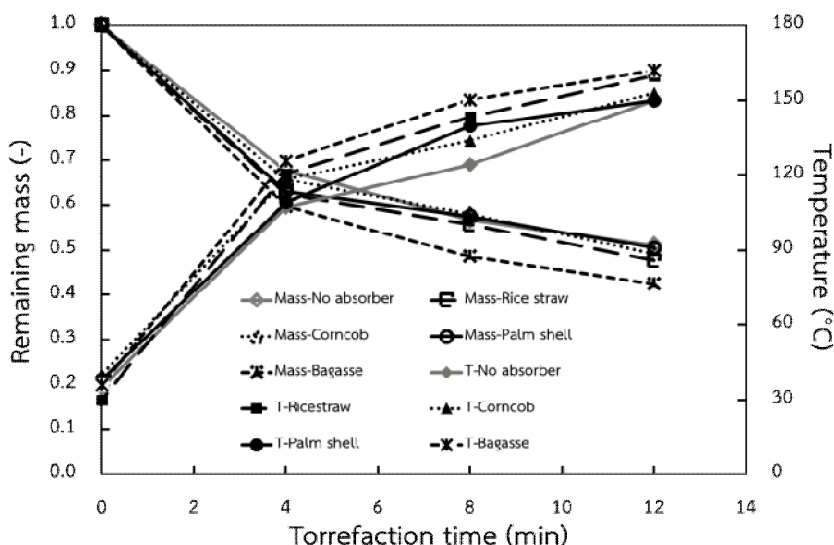
ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ ของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งก่อนการให้ความร้อนแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งมีส่วนที่เผาไหม้ได้ประมาณ ร้อยละ 90 โดยแบ่งเป็นสารระเหยได้ประมาณร้อยละ 75 และคาร์บอน คงตัวประมาณร้อยละ 15 มีส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ประมาณร้อยละ 10 โดยแบ่งเป็นความชื้น ประมาณร้อยละ 5-6 และเถ้าประมาณร้อยละ 3-4 และมีค่าความร้อนเท่ากับ 17.38 MJ/kg ซึ่งพบว่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของถ่านหินลิกไนต์ (Miller, 2011) ที่มีค่าความร้อนในช่วง 9-19 MJ/kg และใกล้เคียงกับค่าความร้อนของขยะชุมชนในงานวิจัยของ Patumsawad & Cliffe (2002) และงานวิจัยของสุภกนิษฐ์ (2545) ที่มีค่าความร้อนประมาณ 15-16 และ 19 MJ/kg ตามลำดับ รวมทั้งมีค่าความร้อนสูงมากพอที่จะนำมาทำเป็นขยะอัดแท่ง (เมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่ได้กล่าวถึงในบทนำ)

ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งก่อนการให้ความร้อนเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าตัวอย่างมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นธาตุออกซิเจน (O) ประมาณร้อยละ 49-50 รองลงมาคือ ธาตุคาร์บอน (C) ประมาณร้อยละ 44 และธาตุไฮโดรเจน (H) ประมาณร้อยละ 5-6

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่ใช้ในงานวิจัย (ก่อนการให้ความร้อน)

รายการวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์
การวิเคราะห์แบบประมาณ (wt.%)	
ความชื้น (moisture)	5.51
สารระเหยได้ (VM)	76.23
เถ้า (ash)	3.39
คาร์บอนคงตัว (FC)	14.87
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (wt.%)	
คาร์บอน (C)	44.48
ไฮโดรเจน (H)	5.67
ออกซิเจน (O)	49.83
ค่าความร้อน (MJ/kg)	17.38

2. มวลที่เหลืออยู่และอุณหภูมิของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟ



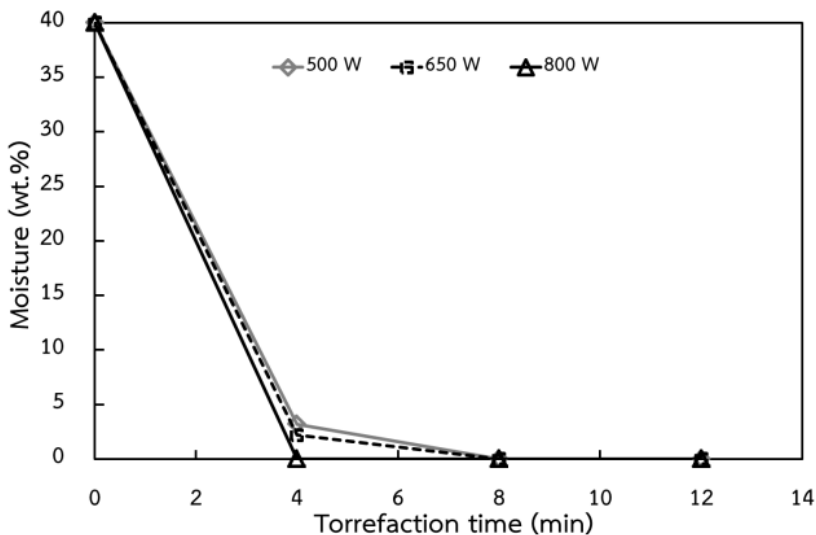
ภาพที่ 1 มวลที่เหลืออยู่และอุณหภูมิของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลัง 500 วัตต์ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ สำหรับตัวอย่างที่เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟชนิดต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ผลของชนิดของสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ได้แก่ ผงถ่านจากฟางข้าว ช้างข้าวโพด กะลาปาล์ม และชานอ้อย ที่มีต่อมวลที่เหลืออยู่และอุณหภูมิของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟ แสดงได้ดังภาพที่ 1 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีการเติมผงถ่าน (หรือสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ) มีมวลที่เหลืออยู่ต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมผงถ่าน และพบว่าตัวอย่างที่เติมผงถ่านที่ทำจากชานอ้อยมีแนวโน้มของการลดลงของมวลมากกว่าตัวอย่างที่เติมผงถ่าน

จากฟางข้าว กะลาปาล์ม และซังข้าวโพด ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลของอุณหภูมิ (ดังแสดงในภาพที่ 1 เช่นเดียวกัน) ที่แสดงว่าตัวอย่างที่เติมผงถ่านที่ทำจากขานอ้อยมีอุณหภูมิที่สูงกว่าตัวอย่างที่เติมผงถ่านจากฟางข้าว กะลาปาล์ม ซังข้าวโพด และตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารดูดกลิ่นกลิ่นไม้โครเวฟตามลำดับ

3. ผลการวิเคราะห์แบบประมาณของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยกลิ่นไม้โครเวฟ

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่ง (ที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40) หลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยกลิ่นไม้โครเวฟกำลัง 500-800 วัตต์ ที่เวลาต่าง ๆ ในช่วง 4-12 นาที พบว่าเป็นไปตามที่แสดงในภาพที่ 2 พบว่าที่กัลังไม้โครเวฟ 800 วัตต์ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างลดลงเป็น 0 หรือไม่มีความชื้นหลงเหลืออยู่ ตั้งแต่นาทีที่ 4 ขณะที่กัลังไม้โครเวฟ 650 และ 500 วัตต์ ความชื้นลดลงเป็น 0 ที่นาทีที่ 8

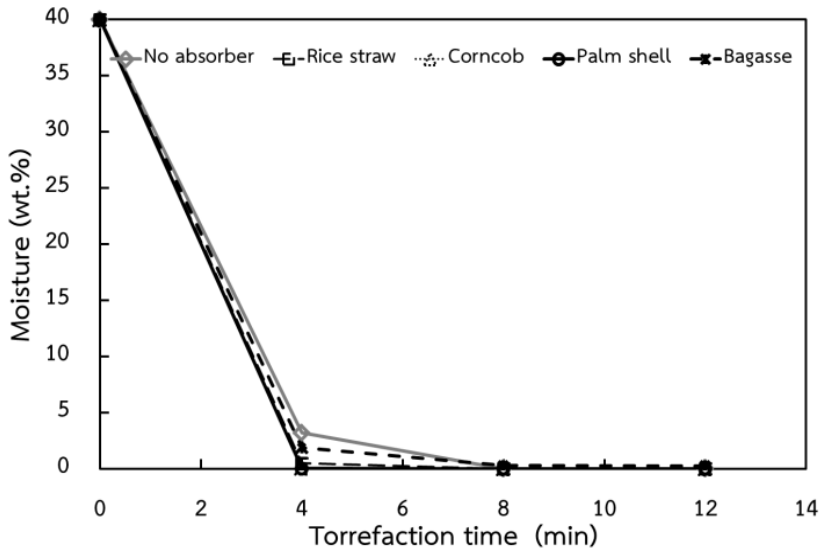


ภาพที่ 2 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยกลิ่นไม้โครเวฟกำลัง 500-800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 4-12 นาที

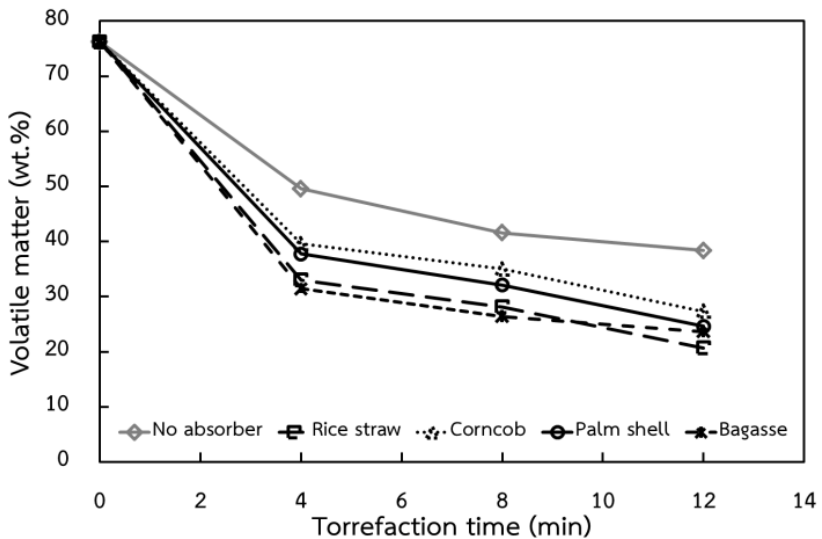
เมื่อพิจารณาผลของสารดูดกลิ่นกลิ่นไม้โครเวฟที่มีต่อปริมาณความชื้นในตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยกลิ่นไม้โครเวฟ พบว่าเป็นไป ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งพบว่าเมื่อมีการเติมสารดูดกลิ่นกลิ่นไม้โครเวฟ จะทำให้ความชื้น ในตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งลดลงได้เร็วกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารดูดกลิ่นกลิ่นไม้โครเวฟและเมื่อพิจารณาส่วนที่เผาไหม้ได้ของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่ง ซึ่งได้แก่ สารระเหยได้ และคาร์บอนคงตัว ของตัวอย่างขยะชุมชนหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยกลิ่นไม้โครเวฟกำลัง 500 วัตต์ ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 4-12 นาที พบว่าเป็นไปดังภาพที่ 4-6

ตัวอย่างที่เติมสารดูดกลิ่นกลิ่นไม้โครเวฟมีปริมาณสารระเหย ได้ลดลงมากกว่าและเร็วกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารดูดกลิ่นกลิ่นไม้โครเวฟ และการเติมสารดูดกลิ่นกลิ่นไม้โครเวฟที่เป็นผงถ่าน

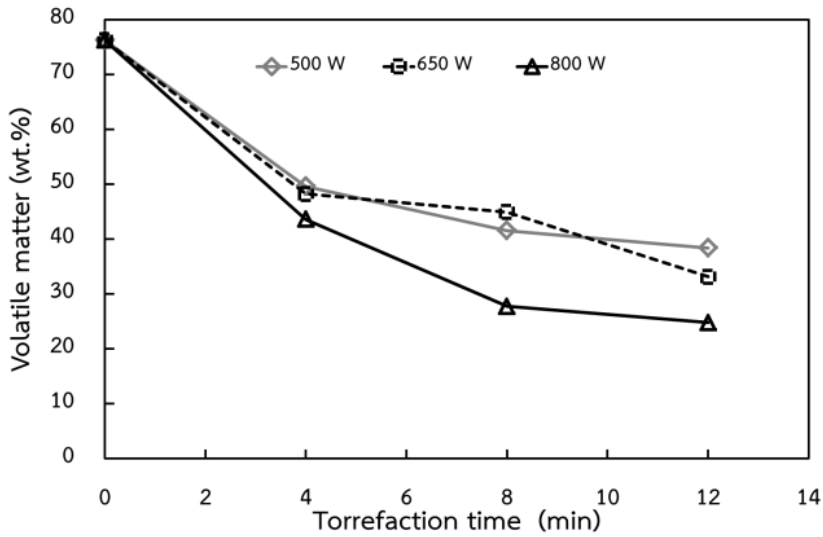
จากขานอ้อยส่งผลให้ปริมาณสารระเหยได้ลดลงมากและเร็วที่สุด รองลงมาคือ ผงถ่านจากฟางข้าว กะลาปาล์ม และซังข้าวโพด ตามลำดับดังภาพที่ 4 และจากภาพที่ 5 ซึ่งแสดงผลของกำลังของคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อปริมาณสารระเหยได้ที่เหลืออยู่หลังการให้ความร้อน พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไมโครเวฟส่งผลให้ปริมาณสารระเหยได้มีแนวโน้มลดลง



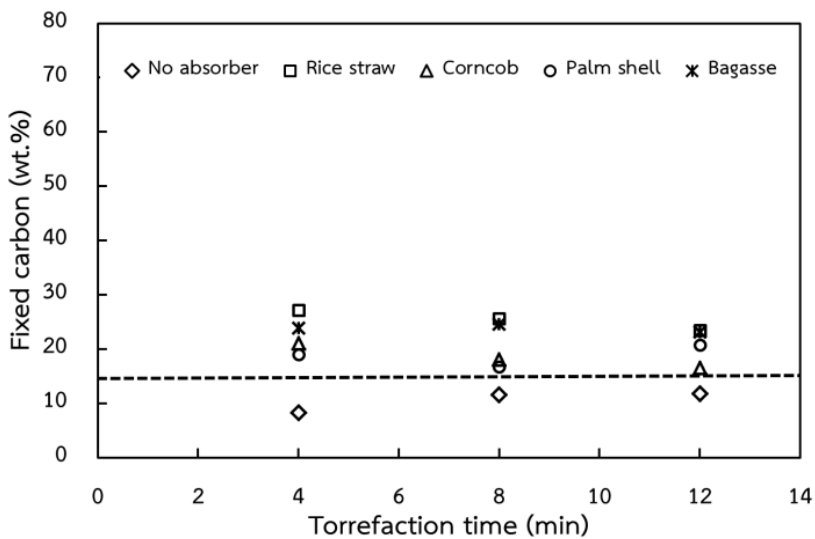
ภาพที่ 3 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลัง 500 วัตต์ที่ระยะเวลา 4-12 นาที สำหรับตัวอย่างที่เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4 ปริมาณสารระเหยได้ของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลัง 500 วัตต์ ที่ระยะเวลา 4-12 นาที สำหรับตัวอย่างที่เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 5 ปริมาณสารระเหยได้ของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลัง 500-800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 4-12 นาที



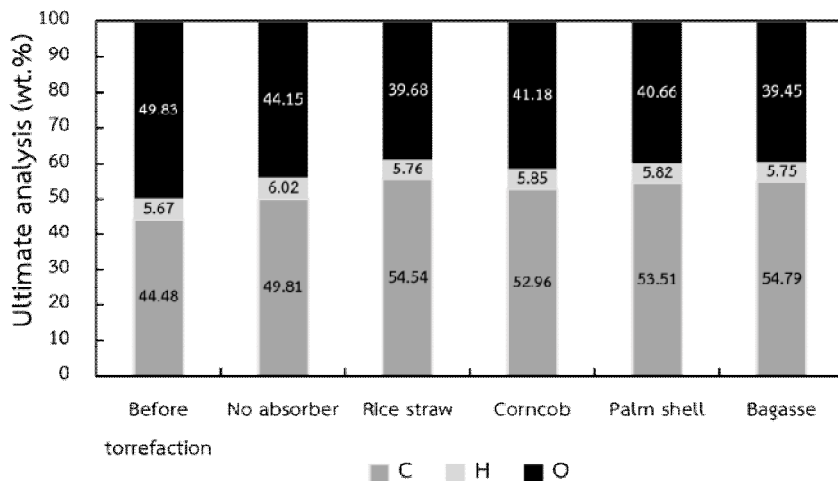
ภาพที่ 6 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลัง 500 วัตต์ ที่ระยะเวลา 4-12 นาที สำหรับตัวอย่างที่เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟชนิดต่าง ๆ

4. ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟ

เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลัง 500 วัตต์ ที่ระยะเวลา 12 นาที ของตัวอย่างที่เติมและไม่เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ

แบบแยกธาตุ ซึ่งประกอบด้วย คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เทียบกับตัวอย่างก่อนการให้ความร้อน พบว่าเป็นไปดังภาพที่ 7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างหลังการให้ความร้อนมีสัดส่วนของธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่เติมผงถ่านจากขานอ้อยมีสัดส่วนของธาตุคาร์บอนสูงที่สุด (ประมาณร้อยละ 54.80) รองลงมาคือ ตัวอย่างที่เติมผงถ่านจากฟางข้าว กะลาปาล์ม และขังข้าวโพด ซึ่งมีสัดส่วนของธาตุคาร์บอนประมาณร้อยละ 54.50, 53.50 และ 53.00 ตามลำดับ

ขณะที่สัดส่วนของธาตุออกซิเจนในตัวอย่างขณะอัดแท่งหลังการให้ความร้อนมีแนวโน้มลดลง เมื่อเทียบกับสัดส่วนของธาตุออกซิเจนในตัวอย่างก่อนการให้ความร้อน โดยพบว่าการเติมผงถ่านหรือสารดูดกลิ่นกลิ่นไมโครเวฟมีผลทำให้ตัวอย่างมีสัดส่วนของธาตุออกซิเจนลดลงมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมผงถ่าน นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมผงถ่านจากขานอ้อยส่งผลให้สัดส่วนของธาตุออกซิเจนลดลงมากที่สุด (เหลือปริมาณออกซิเจนน้อยที่สุด) รองลงมาคือ ตัวอย่างที่เติมผงถ่านจากฟางข้าว กะลาปาล์ม และขังข้าวโพด ตามลำดับ



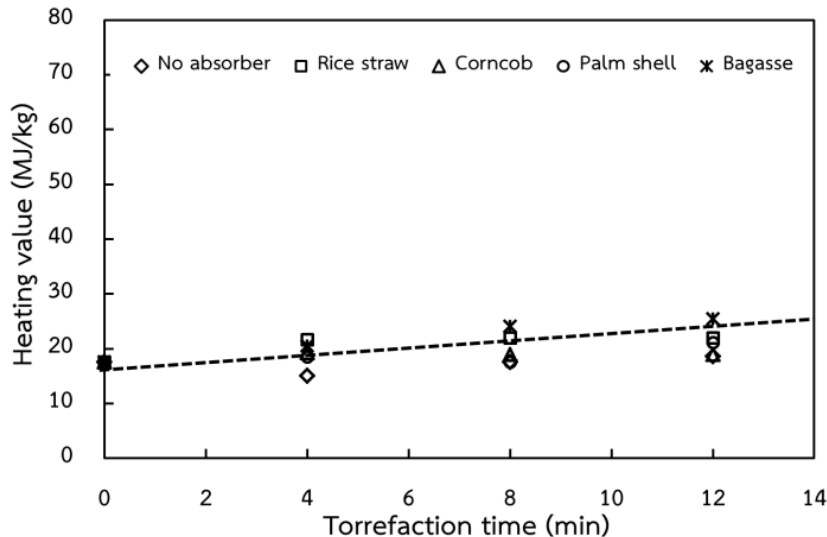
ภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของตัวอย่างขณะอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเต๋าคด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลัง 500 วัตต์ ที่ระยะเวลา 12 นาที สำหรับตัวอย่างที่เติมสารดูดกลิ่นกลิ่นไมโครเวฟชนิดต่าง ๆ

อนึ่งพบว่าสัดส่วนของธาตุไฮโดรเจนก่อนและหลังการให้ความร้อนมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และพบว่าการเติมหรือไม่เติมผงถ่านและชนิดของผงถ่านมีผลน้อยมากต่อสัดส่วนของธาตุไฮโดรเจนในตัวอย่างหลังการให้ความร้อน

5. ค่าความร้อนของตัวอย่างขณะอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเต๋าคด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ค่าความร้อนของตัวอย่างขณะอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิเต๋าคด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลัง 500 วัตต์ ที่ระยะเวลา 4-12 นาที ซึ่งพบว่าค่าความร้อนของตัวอย่างขณะอัดแท่งหลังการให้ความร้อนเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการให้ความร้อน ทำให้ค่าความร้อนของตัวอย่างขณะอัดแท่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความร้อนของตัวอย่างขณะอัดแท่งก่อน การให้ความ

ร้อน (ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 17.38 MJ/kg) โดยสามารถเพิ่มได้สูงสุดถึง 26.00 MJ/kg หรือประมาณ 1.50 เท่า ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของขยะชุมชนที่ผ่านการให้ความร้อน แล้วในงานวิจัยของ Arter (2008) ที่มีค่าประมาณ 23-28 MJ/kg และพบว่ามีความร้อนที่ใกล้เคียงกับค่าความร้อนของ ถ่านหินบิทูมินัส (bituminous) ที่มีค่าประมาณ 17-23 MJ/kg (Gaur, 1998) ทั้งนี้ถ่านหินบิทูมินัส มีคัลด์ (rank) สูงกว่า หรือมีคุณสมบัติที่ดีกว่าถ่านหินลิกไนต์ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ค่าความร้อนของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งชนหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟกำลัง 500 วัตต์ ที่ระยะเวลา 4-12 นาที สำหรับตัวอย่างที่เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟชนิดต่าง ๆ

อภิปรายผล

1. อภิปรายผลการวิจัยในภาพรวม

จากผลการทดลองทั้งหมดที่แสดงในส่วนของผลการวิจัย พบว่าการเติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่เป็นผงถ่านจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ส่งผลให้อุณหภูมิของการให้ความร้อนสูงขึ้น (เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ) (ดังภาพที่ 1) แสดงให้เห็นว่าผงถ่านที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมีคุณสมบัติเป็นสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ จึงทำให้อุณหภูมิของการให้ความร้อนมีค่าสูงขึ้น สามารถขับเคลื่อนประกอบต่าง ๆ อันได้แก่ ความชื้นและสารระเหยได้ (บางส่วน) ออกจากตัวอย่างขยะชุมชนได้มากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมผงถ่าน

เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของความชื้นที่เหลืออยู่หลังการให้ความร้อน พบว่าการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังของคลื่นไมโครเวฟในช่วง 500-800 วัตต์ สามารถขับเคลื่อนออกจากตัวอย่าง (ที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40) ได้ภายในระยะเวลา 8 นาที ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งรวดเร็วกว่าการให้ความร้อนด้วยวิธีการดั้งเดิมที่ใช้เตาอบลมร้อนแก่ตัวอย่างขยะชุมชนในลักษณะเดียวกันและมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน จากงานวิจัยของ Sirtheerasas et al. (2015a) ที่ต้องใช้เวลาในการขับเคลื่อนออกจากตัวอย่างนานถึง 25 นาที ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นการส่งคลื่นเข้าไปใน

ตัวอย่างเพื่อไปทำให้โมเลกุลของน้ำ (หรือความชื้น) ภายในตัวอย่างเกิดการสั่นจนเกิดเป็นพลังงานความร้อนที่ใช้ขับเคลื่อนออกจกตัวอย่าง ขณะที่การให้ความร้อนด้วยวิธีการดั้งเดิม (ที่ใช้เตาอบลมร้อน) เป็นการให้ความร้อนจากภายนอก (ด้วยกลไกการพาความร้อนเป็นหลัก) ทำให้ต้องใช้เวลานานกว่าความร้อนจากภายนอกจะเข้าไปทำให้อุณหภูมิของน้ำภายในตัวอย่างสูงขึ้นจนเกิดการระเหยออกจากตัวอย่าง (จินตนา และไชยวัฒน์, 2547) ทั้งนี้การเพิ่มกำลังของคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้สามารถขับเคลื่อนออกจกตัวอย่างได้รวดเร็วขึ้น (ดังภาพที่ 2 เช่นเดียวกัน) ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากการเพิ่มกำลังของคลื่นไมโครเวฟ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำภายในตัวอย่างขยับชนอัดแท่งเกิดการสั่นมากขึ้น จนทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น สามารถขับเคลื่อนออกมาในเวลาทีรวดเร็วขึ้น และเมื่อพิจารณาปริมาณสารระเหยได้ที่เหลืออยู่ ดังภาพที่ 5 ก็จะมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน นั่นคือการเพิ่มกำลังของคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้สามารถขับสารระเหยได้ออกจกตัวอย่างได้มากขึ้นและรวดเร็วขึ้น ซึ่งก็สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันกับที่ได้อธิบายไปแล้วในกรณีของการขับเคลื่อนออกจกตัวอย่าง

ในแง่ของผลของชนิดของสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่เป็นผงถ่านจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่มีต่อปริมาณความชื้นและสารระเหยได้ที่เหลืออยู่หลังการให้ความร้อน พบว่าตัวอย่างที่เติมผงถ่านจากขานอ้อยมีแนวโน้มของการลดลงของมวลโดยรวม ความชื้น และสารระเหยได้มากกว่าตัวอย่างที่เติมผงถ่านจากฟางข้าว กะลาปาล์ม และซังข้าวโพด ตามลำดับ ดังภาพที่ 1 (สำหรับมวลโดยรวม) ภาพที่ 3 (สำหรับความชื้น) และภาพที่ 4 (สำหรับสารระเหยได้) ซึ่งที่เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องมาจากการที่ผงถ่านของขานอ้อยมีปริมาณของ SiO_2 ซึ่งเป็นสารประกอบของ Si สูงที่สุด ขณะที่ปริมาณของ SiO_2 ในผงถ่านของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรอื่น ๆ ก็มีปริมาณ SiO_2 ที่ลดหลั่นกันไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2 (จากงานวิจัยของนิโรจน์ และสำเร้ง, 2555) ซึ่งสารประกอบของ Si ได้ถูกใช้เป็นสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ เช่น งานวิจัยของ Zuo et al. (2011) ซึ่งใช้ SiC เป็นสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ดังที่ได้กล่าวถึงในส่วนบทนำ เป็นต้น

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของถ่านที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร

สารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O
ขานอ้อย	76.80	4.40	8.04	5.44	0.94	3.28	0.50	5.06
ฟางข้าว	72.30	0.10	0.30	2.10	2.10	1.10	2.70	11.8
ซังข้าวโพด	66.41	5.97	3.97	11.53	2.02	1.01	0.36	5.64
กะลาปาล์ม	63.30	1.40	1.40	7.60	3.90	0.20	0.10	6.90

ที่มา นิโรจน์ และสำเร้ง, (2555)

ดังนั้นแนวทางในการเลือกวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาทำเป็นสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ นอกจากจะต้องมีราคาถูก หาได้ง่าย และมีสัดส่วนของถ่าน (คาร์บอนคงตัวและถ่าน) ในปริมาณสูง (เนื่องจากสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรใช้ในรูปของผงถ่าน) แล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณของสารประกอบ Si ที่มีอยู่ในวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรด้วย

อนึ่งเนื่องจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ มีอุณหภูมิที่ไม่สูงพอที่จะไปขับคาร์บอนคงตัวออกจากตัวอย่างได้ (ดังภาพที่ 6) และจากการที่คาร์บอนคงตัว ซึ่งเป็นส่วนที่ให้ความร้อนหลักของเชื้อเพลิงแข็ง (Miller, 2011) มีปริมาณคงที่ ขณะที่ความชื้นและสารระเหยได้ (บางส่วน) ถูกขับออกจากตัวอย่าง จึงทำให้สัดส่วนของคาร์บอนคงตัวเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความร้อนของตัวอย่างขยับชน

อัดแท่งที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ดังภาพที่ 8) นอกจากนี้เนื่องจากคาร์บอนคงตัวมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (Miller, 2011) ขณะที่สารระเหยได้มีธาตุออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก (Miller, 2011) ดังนั้นในเมื่อสารระเหยได้ (บางส่วน) ถูกขับออกจากตัวอย่าง ขณะที่คาร์บอนคงตัวมีปริมาณคงที่ สัดส่วนของธาตุออกซิเจนในตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำจึงมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ธาตุคาร์บอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่ 7)

2. แนวทางการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

จากผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำคลื่นไมโครเวฟที่มีการเติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร มาใช้ในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ หรือกระบวนการแก่ขยะชุมชน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของขยะชุมชนให้ดีขึ้น และมีความเหมาะสมที่จะนำไปเผาไหม้ในเตาเผาขยะต่อไปได้ โดยสิ่งที่พบจากงานวิจัยนี้ คือ ตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ มีความชื้นลดลง มีสัดส่วนของคาร์บอนตัว (และธาตุคาร์บอน) ซึ่งเป็นส่วนที่ให้ความร้อนหลักเพิ่มขึ้น และมีค่าความร้อนสูงขึ้น จนเทียบได้กับถ่านหินปิทูมินัส

อย่างไรก็ตาม จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นว่างานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟที่มีคุณสมบัติของขยะชุมชนอัดแท่งที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำในเชิงเทคนิคเท่านั้น นั่นคือ ศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อคุณสมบัติของของขยะชุมชนอัดแท่งก่อนการนำไปเผาไหม้ ยังขาดการศึกษาในขั้นตอนการเผาไหม้ขยะชุมชนอัดแท่งที่ได้จากการให้ความร้อน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการเผาไหม้ขยะชุมชนที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำแล้ว (ซึ่งมีการกำจัดความชื้นและสารระเหยได้ (บางส่วน) ออกจากตัวอย่าง) ในแง่ของการปล่อยสารมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม และในแง่ของปริมาณของสารมลพิษที่ปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้ที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์

อนึ่ง ในแง่ของการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของขยะชุมชนอัดแท่งด้วยกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำโดยใช้คลื่นไมโครเวฟในเชิงเศรษฐศาสตร์ หนึ่งในผู้วิจัยของงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเรื่องนี้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ (ร่วมกับการศึกษาในเชิงเทคนิคและเชิงสิ่งแวดล้อม) ไว้ (Puangniyom et al., 2016)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้ทั้งหมด สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. การเติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟลงไปในตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งส่งผลให้มวลที่เหลืออยู่ของตัวอย่างลดลงมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ
2. การเติมผงถ่าน (สารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ) ที่ทำจากขานอ้อยส่งผลให้มีการลดลงของมวลที่เหลืออยู่ของตัวอย่างมากกว่าการเติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟชนิดอื่น ๆ
3. มวลที่เหลืออยู่ของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งมีค่าลดลง ขณะที่อุณหภูมิของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาของการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น
4. การเติมผงถ่านหรือสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟลงไปในตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งการเพิ่มกำลังของคลื่นไมโครเวฟ และการเพิ่มเวลาการให้ความร้อน ส่งผลให้ปริมาณความชื้นและสารระเหยได้ในตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง

5. การเติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟลงไปในตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งและการเพิ่มเวลาการให้ความร้อนไม่ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวเปลี่ยนแปลงไปมากนัก โดยพบว่าปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อเทียบกับปริมาณของคาร์บอนคงตัวเริ่มต้น

6. สัดส่วนของธาตุคาร์บอนในตัวอย่างหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิตำมีค่าเพิ่มขึ้น สัดส่วนของธาตุออกซิเจนมีค่าลดลง ขณะที่สัดส่วนของธาตุไฮโดรเจนมีค่าค่อนข้างคงที่

7. การเติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้สัดส่วนของธาตุคาร์บอนหลังการให้ความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น แต่สัดส่วนของธาตุออกซิเจนมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ อนึ่ง การเติมหรือไม่เติมสารดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟมีผลน้อยมากต่อสัดส่วนของธาตุไฮโดรเจนหลังการให้ความร้อน

8. ค่าความร้อนของตัวอย่างขยะชุมชนอัดแท่งหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิตำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยสามารถเพิ่มขึ้น (จาก 17.38 MJ/kg) ได้สูงสุดถึงประมาณ 26 MJ/kg ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของถ่านหินบิทูมินัส

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2559). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2558. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- จินตนา อุบลวัฒน์ และไชยวัฒน์ ผลลาภ. (2547). เทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากขยะชุมชนในประเทศไทย.วารสารพลังงาน, 5, 36-58.
- รงค์ ทองทวี. (2559). สภาพปัญหาการจัดการขยะมูลฝอย องค์การบริหารส่วนตำบลหนองขาม อำเภोजักราชจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ธเรศ ศรีสถิตย์. (2553). วิศวกรรมการจัดการมูลฝอยชุมชน. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิโรจน์ เงินพรม และสำเริง รักซ้อน. (2555). พัฒนาดินซีเมนต์ลูกครึ่งผสมวัสดุเถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรม และเกษตรกรรมเป็นอิฐประสาน. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- เพชรดา เวณันท์, วารุณี ลิขิตสุภิน, และปมทอง มาลากุล ณ ออยุธยา. (2557). การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยชุมชน. วารสารสิ่งแวดล้อม ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 3, 27-34.
- สุรงค์ บุลกุล. (2557). โรงไฟฟ้าขยะ; ระยองโมเดล ทางออกของปัญหาขยะล้นเมือง. หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ. จาก <http://www.bangkokbiznews.com>. เข้าถึงวันที่ 8 กันยายน 2557.
- สุภิกิณห์ สมศรี. (2545). การศึกษาแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีด้วยเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Arshanita, A., Akishin, Y., Zile, E., Dizhbite, T., Solodovnik, Y. & Telysheva, G. (2016). Microwave treatment combined with conventional heating of plant biomass pellets in a rotated reactor as a high rate process for solid biofuel manufacture. *Renewable Energy*, 91, 386-396.
- Arter, D. (2008). **Torrefaction of Simulated Separated Municipal Solid Waste**. M.S. thesis. University of California, Davis.
- Baird, C. & Cann, M. (2008). **Environment Chemistry**. 5th ed. New York: W.H. Freeman & Company.
- Budarin, V.L., Milkowski, K.J., Shuttleworth, P., Lanigan, B., Clark, J.H. & Macquarrie, D.J. & Wilson, A. (2011). **Microwave Torrefaction of Biomass**. University of York: United States Patent and Trademark Office.

- Gaur, S. & Reed T. (1998). **Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels**. USA: Marcel Dekker.
- Liu, X., Zhang, Z. & Wu, Y. (2011). Absorber properties of carbon black/silicon carbide microwave absorbers. **Composites: Part B**, 42, 326-329.
- Miller, B.G. (2011). **Clean Coal Engineering Technology**. USA: Butterworth-Heinemann.
- Patumsawad, S. & Cliffe, K.R. (2002). Experimental study on fluidised bed combustion of high moisture municipal solid waste. **Energy Conversion and Management**, 43, 2329-2340.
- Puangniyom, P., Chawalit, S. & Siritheerasas, P. (2016). **Comprehensive Evaluation of the Torrefaction of Biomass in the Aspects of Energy, Environment, and Economics**. Proceedings of the 5th national conference on sustainable industrial innovation and management, Bangkok: Thailand, 4th October 2016.
- Siritheerasas, P., Kromtin, K., Thanmaneesin, Waiyanate, P. & Aroonratsamee, P. (2015a). **Comparison of Conventional and Microwave Heating of Municipal Solid Waste (MSW)**. Proceedings of the 4th international symposium on engineering, energy, and environments (ISEEE), Pattaya: Thailand, 8-10th November 2015, pp. 529-537.
- Siritheerasas, P., Waiyanate, P., Aroonratsamee, P., Sekiguchi, H. & Kodama, S. (2015b). **Thermal Treatment of Municipal Solid Waste (MSW) Using Microwave Irradiation with the Assistance of Agricultural Residue**. Proceedings of the 4th international symposium on engineering, energy, and environments (ISEEE), Pattaya: Thailand, 8-10th November 2015, pp. 522-528.
- Van der Stelt, M.J.C., Gerhauser, H., Kiel, J.H.A. & tasinski, K.J. (2011). Biomass upgrading by torrefaction for the production of biofuels: A review. **Biomass and Bioenergy**, 35, 3748-3762.
- Vesilind, P.A., Worrell, W. & Reinhart, D. (2002). **Solid Waste Engineering**. USA: Brooks/Cole, Thomson Learning Inc.
- Zuo, W., Tian, Y. & Ren, N. (2011). The important role of microwave receptors in bio-fuel production by microwave-induced pyrolysis of sewage sludge. **Waste Management**, 31, 1321-1326.