



การประเมินสมรรถนะของระบบอบแห้งแบบพาหะลมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล

Performance Evaluation of Flash Drying System for Biomass Fuel Production

ธนัท มุขขันธ¹, วีรชัย ออาจหาญ¹, พรชชา ลิปลับ^{1*}Thanathat Mookkan¹, Weerachai Arjharn¹, Pansa Liplap^{1*}¹สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา 30000¹School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

*Corresponding author: Tel +66-44-225-007, Fax: +66-44-224-610, E-mail: pansa@g.sut.ac.th

บทคัดย่อ

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีศักยภาพมากสำหรับใช้เป็นพลังงานทดแทน อย่างไรก็ตาม วัสดุดังกล่าวมักยังไม่ได้รับความสนใจมากนักในการนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ เนื่องจาก ขนาดไม่เหมาะสม ความชื้นสูง เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นพลังงานโดยวิธีการอบแห้งแบบพาหะลม โดยเลือกใช้วัตถุดิบชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ทะลายปาล์ม และขุยมะพร้าว มาศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนที่ 130 และ 160 °C และอัตราการป้อนชีวมวลที่ 300 480 และ 600 kg h⁻¹ ต่อการลดลงของความชื้น อัตราการอบแห้ง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ประสิทธิภาพทางความร้อนในการอบแห้ง รวมไปถึงประเมินต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล ผลการศึกษา พบว่า อุณหภูมิลมร้อน 130 °C และอัตราการป้อนวัตถุดิบชีวมวล 300 kg h⁻¹ เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการลดความชื้นของชีวมวลที่เลือกมาทดสอบ โดยการเพิ่มอุณหภูมิ (160 °C) ไม่ส่งผลต่อการลดความชื้น และอัตราการอบแห้งชัดเจน นอกจากนี้ การเพิ่มอัตราการป้อนมากกว่านี้ (480 และ 600 kg h⁻¹) ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง โดยที่สภาวะเหมาะสมนี้มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง แต่มากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอัตราการป้อนที่สูงกว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนของการอบแห้งโดยรวมอยู่ระหว่าง 64 และ 76% และเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนในการเตรียมเชื้อเพลิง พบว่า มีต้นทุนใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้น เศษเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผ่านการเตรียมด้วยกระบวนการอบแห้งแบบพาหะลมจึงมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน

คำสำคัญ: การอบแห้งแบบพาหะลม, เชื้อเพลิงชีวมวล, สมรรถนะในการอบแห้ง, พลังงานทดแทน

Abstract

Agricultural residues are highly potential for use as alternative energy sources. However, they are less attractive to apply as commercial fuels because of their inferior properties, i.e. unexpectable size, high moisture content, etc. In this research, the study of biomass preparation with agricultural residues as feedstocks was conducted using a flash drying process. Three different types of biomass comprised of Eucalyptus bark, empty fruit bunch (EFB) and coconut coir dust were selected to investigate the effects of hot air temperatures of 130 and 160 °C and biomass feed rates of 300, 480 and 600 kg h⁻¹ on moisture reduction, drying rate, specific energy consumption (SEC), thermal efficiency of drying and cost covered by biomass preparing process. The results showed that the hot air temperature of 130 °C and the biomass feed rate of 300 kg h⁻¹ were the optimum condition for drying all biomass tested. The increase in the hot air temperature (160 °C) did not have significant effect on moisture reduction and drying rate. In addition, the higher feed rates (480 and 600 kg h⁻¹) tended to decrease drying rate. At the optimum condition, the SEC value was lower than that obtained by the higher hot air temperature and it was slightly higher with respect to the result of the higher feed rate. The drying thermal efficiency varied between 64 and 76%. Comparing the cost of biomass preparation, it was found to be competitive with fossil fuels. Consequently, agricultural residues prepared through the flash drying process are potential for use as alternative energy sources.

Keywords: Flash drying, Biomass fuel, Drying performance, Alternative energy

1 บทนำ

ประเทศไทยมีการนำชีวมวลจำพวกเศษวัสดุเหลือใช้ในภาคอุตสาหกรรมเกษตรมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกันอย่างแพร่หลาย เช่น แกลบ กะลาปาล์ม ชานอ้อย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังมีเศษวัสดุเหลือใช้จากหลายประเภทที่ยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น เปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่เหลือจากโรงงานสับไม้ ทะลายปาล์มที่เหลือจากโรงงานหีบน้ำมันปาล์ม และขุยมะพร้าวที่เหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว เนื่องจากวัสดุดังกล่าว ยังมีสภาพไม่พร้อมใช้ เช่น มีความชื้นสูง ความหนาแน่นต่ำ ขนาดไม่เหมาะสม ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องมีการแปรรูปเศษวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรส่วนใหญ่แล้วจะมีความชื้นสูง เช่น ทางปาล์มมีความชื้นประมาณ 70% w.b. เหน้มน้ำสำหรับหลังมีความชื้นประมาณ 50-60% w.b. (สุภัทร, 2551) ชังข้าวโพดมีความชื้นประมาณ 20-55% w.b. (Morey and Thimsen, 1980) ทะลายปาล์มมีความชื้นประมาณ 60% w.b. (Abdullah et al., 2011) และขุยมะพร้าวมีความชื้นประมาณ 40-70% w.b. (Islam et al., 2014) เป็นต้น ที่ความชื้นสูงนี้จะส่งผลทำให้เชื้อเพลิงนั้นมีค่าความร้อนต่ำ จากการศึกษาการนำเชื้อเพลิงชีวมวลหลายชนิดในประเทศไทยมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน พบว่า วัสดุใดควรมีค่าความชื้นไม่เกิน 15% w.b. (Arjham et al., 2012) นอกจากนี้ยังพบว่า เชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงจะมีแนวโน้มเสื่อมคุณภาพเนื่องจากถูกย่อยสลายโดยเชื้อราและเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย ทำให้ระยะเวลาการเก็บรักษาเชื้อเพลิงชีวมวลสั้นลง (Alakoski et al., 2016) ส่งผลต่อการวางแผนการจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลของโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้าเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้น การลดความชื้นจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล

การอบแห้งแบบพาหะลมเป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นเมื่อเทียบกับการอบโดยวิธีอื่น (ฉัตรชัย, 2555) อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบพาหะลมมีข้อจำกัดคือ วัสดุที่ใช้อบแห้งต้องมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาหรือความหนาแน่นต่ำ สามารถลอยตัวในอากาศได้ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุเพื่อให้เหมาะสมก่อนทำการอบแห้งแบบพาหะลม

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักในการอบแห้งของวัสดุ โดยทั่วไป ยิ่งอุณหภูมิสูง ยิ่งทำให้อบแห้งได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม หากอุณหภูมิสูงเกินไป (260-280°C) จะมีโอกาสทำให้วัสดุเกิดการลุกไหม้เองได้ (auto-ignition) สำหรับการอบแห้งชีวมวลควรใช้อุณหภูมิไม่เกิน 150°C แต่หากเป็นการอบแห้งโดยใช้เวลาสั้น เช่น การอบแห้งแบบพาหะลม สามารถใช้อุณหภูมิในการอบแห้งได้ถึง 200°C (Haque and Somerville, 2013) อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่ใช้การอบแห้งชีวมวลนี้ยังขึ้นปัจจัยอื่น อาทิ ประเภท ความชื้นเริ่มต้น ขนาด อัตราการป้อนของชีวมวล เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการลดความชื้นชีวมวล 3 ชนิด คือ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ทะลายปาล์ม และขุยมะพร้าว โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมร่วมกับกระบวนการลดขนาดเพื่อให้ได้

คุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปแปรรูปต่อไป โดยทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และอัตราการป้อนวัตถุดิบ ต่อสมรรถนะประสิทธิภาพ รวมไปถึงประเมินต้นทุนในการอบแห้งของชีวมวล

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

จากในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวแทนชีวมวลที่มีความชื้นสูง ได้แก่ เปลือกไม้ยูคาลิปตัสที่เหลือจากกระบวนการผลิตไม้สับ ทะลายปาล์มที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม และ ขุยมะพร้าวที่ได้จากกระบวนการแยกใยออกกะลา ลักษณะของวัตถุดิบชีวมวลที่ใช้ในการทดลองแสดงใน Figure 1

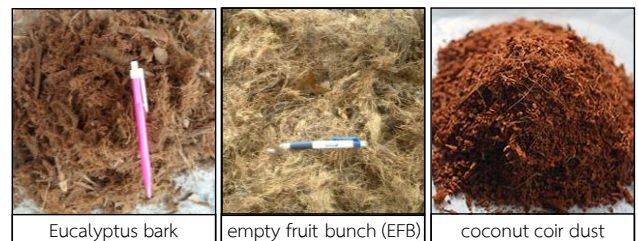


Figure 1 Biomass raw materials.

2.2 การเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

สำหรับชุดการทดลองการอบแห้งแบบพาหะลมในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก คือ (1) เครื่องสับย่อย (chipper) ขนาดกำลังการผลิต 1,400 kg h⁻¹ (2) ถังอบแห้งแบบพาหะลมตัวที่ 1 และ 2 โดยแต่ละถังมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 m สูง 4.6 m (3) เครื่องเป่า (blower) มีต้นกำลัง 3 hp และมีอัตราการไหล 0.43 m³ s⁻¹ (4) ถังพัก และ (5) เครื่องบดย่อยด้วยเครื่องแฮมเมอร์ มิลล์ที่มีขนาดตะแกรง 10 mm ดังแสดงใน Figure 2

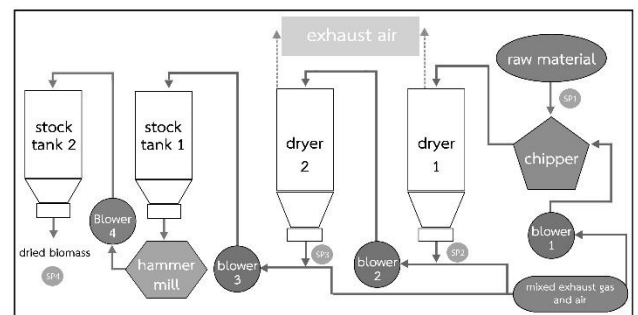


Figure 2 Schematic process of flash dryer for biomass preparation.

ระบบมีการทำงานโดยเริ่มจากการนำเอาลมร้อนจากแก๊ส ไอเสียของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบท่อ ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 160-250°C มาผสมกับอากาศในถังผสมจนได้อุณหภูมิตามที่กำหนด ลมร้อนนี้จะถูกแบ่งเข้าสู่เครื่องเป่า 3 ตัว ดังแสดงใน Figure 2 เมื่อวัตถุดิบชีวมวลถูกสับในเครื่องสับย่อย (chipper) แล้วชีวมวลที่มีขนาดเล็กลงนี้จะถูกลำเลียงโดยใช้ลมร้อนเข้าสู่ถังอบแห้งที่ 1 และถังที่ 2 ตามลำดับ เมื่อชีวมวลผ่านถังอบแห้งทั้ง 2 ถังแล้วชีวมวลจะถูกส่งเข้าไปในถังพัก

เพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องบดย่อย (hammer mill) อีกครั้ง และถูกลำเลียงไปสู่ถังพักเพื่อรอป้อนเข้าสู่เครื่องอัดเม็ดสำหรับผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดต่อไป

2.3 สภาพการอบแห้งแบบพาหะลมร้อน

การทดลองอบแห้งแบบพาหะลมร้อนในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนที่ $130 \pm 10^{\circ}\text{C}$ และ $160 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ร่วมกับอัตราการป้อนวัตถุดิบชีวมวลที่ 300, 480 และ 600 kg h^{-1} ต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น รวมไปถึงอัตราการอบแห้ง โดยมีตัวแปรควบคุม คือ อัตราการไหลของลมร้อน และความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ สำหรับการเก็บข้อมูล ตัวอย่างจะถูกเก็บที่ตำแหน่งต่างๆ (sampling point: SP) ของชุดการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วย (1) ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง (2) ความชื้นหลังผ่านเครื่องอบแห้งตัวที่ 1 (3) ความชื้นหลังผ่านเครื่องอบแห้งตัวที่ 2 และ (4) ความชื้นหลังผ่านเครื่องบดละเอียด (hammer mill) ดังแสดงใน Figure 2 โดยจะเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความชื้นทุก 5 min เป็นเวลา 3 h และนำเสนอโดยใช้ค่าเฉลี่ย

2.4 การหาคุณสมบัติของชีวมวล

คุณสมบัติของชีวมวลที่สนใจในการทดลองนี้คือ ค่าความชื้น โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 1 และ สมการที่ 2 ใช้สำหรับหาค่าหนาแน่นปรากฏ

$$MC = \frac{m_w - m_d}{m_w} \quad (1)$$

เมื่อ MC คือ ความชื้นวัสดุชีวมวลมาตรฐานเปียก (%w.b.)

m_d คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

m_w คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)

$$\rho_b = \frac{m}{V} \quad (2)$$

เมื่อ ρ_b คือ ความหนาแน่นปรากฏ (kg m^{-3})

m คือ มวลของชีวมวลในภาชนะ (kg)

V คือ ปริมาตรของภาชนะ (m^3)

2.5 การประเมินสมรรถนะการอบแห้ง

การประเมินสมรรถนะของกระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงด้วยวิธีการอบแห้งแบบพาหะลมร้อน ประกอบไปด้วย การหาอัตราการอบแห้ง (drying rate) (สมการที่ 3) พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (Specific Energy Consumption, SEC) (สมการที่ 4) ประสิทธิภาพรวมของการอบแห้ง (สมการที่ 5) รวมถึงการประเมินต้นทุนในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

$$DR = \frac{MC_i - MC_f}{t} \quad (3)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (% d.b. h^{-1})

MC_i คือ ความชื้นวัสดุชีวมวลก่อนการอบแห้ง (% d.b.)

MC_f คือ ความชื้นวัสดุชีวมวลหลังการอบแห้ง (% d.b.)

$$SEC = \frac{E_{\text{electric}} + E_{\text{exhaust}}}{m_w} \quad (4)$$

เมื่อ SEC คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ($\text{MJ kg}_{\text{water}}^{-1}$)

E_{electric} คือ พลังงานจากไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ (MJ)

E_{exhaust} คือ พลังงานความร้อนจากไอเสีย (MJ)

m_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg)

$$\eta_{th} = \frac{m_w h_{fg}}{E_{\text{electric}} + E_{\text{exhaust}}} \quad (5)$$

เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพรวมการอบแห้ง (%)

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (MJ kg^{-1})

3 ผลและวิจารณ์

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เบื้องต้นพบว่ายังไม่เหมาะแก่การนำไปแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากมีความชื้นที่สูงและขนาดใหญ่ โดยเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ทะลายปาล์ม และขุยมะพร้าว มีความชื้น 52.9 ± 2.4 54.8 ± 3.3 และ $50.4 \pm 1.0\%$ w.b. ตามลำดับ มีความหนาแน่น 122, 145 และ 120 kg m^{-3} ตามลำดับ และมีลักษณะเป็นชิ้น ความยาวประมาณ 50-100 mm หนาประมาณ 5 mm สำหรับเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและทะลายปาล์ม ส่วนขุยมะพร้าวมีลักษณะเป็นผงปนกับเส้นใย ดังกล่าว ในการอบแห้งวัตถุดิบชีวมวลด้วยวิธีพาหะลมจำเป็นต้องมีการลดขนาดเพื่อให้มีน้ำหนักเบา และสามารถถูกพาไปในระหว่างการอบแห้งได้ โดยในงานวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องสับ (chipper) ที่มีขนาดของรูตะแกรง 25 mm

3.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้น

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของชีวมวลเนื่องจากผลของอุณหภูมิและอัตราการป้อน ที่ตำแหน่งต่างๆ ในกระบวนการอบแห้งแบบพาหะลมแสดงดัง Figure 3 โดยพบว่า อุณหภูมิและอัตราการป้อนชีวมวลส่งผลต่อการลดลงของความชื้น โดยยิ่งเพิ่มอัตราการป้อนชีวมวลมากขึ้น ยิ่งทำให้ความชื้นลดลงช้าลง อย่างไรก็ตาม ในกรณีของเปลือกไม้ยูคาลิปตัส และทะลายปาล์มที่อัตราการป้อนสูง (480 และ 600 kg h^{-1}) แทบจะไม่มี ความแตกต่างของความชื้น ซึ่งแตกต่างจากขุยมะพร้าว ทั้งนี้ สาเหตุดังกล่าวบางส่วนอาจเกิดมาจากความสามารถในการรับน้ำของอากาศที่น้อยลงเมื่อมีอัตราการป้อนสูงขึ้น แต่สาเหตุหลักน่าจะเกิดมาจากลักษณะของวัตถุดิบที่ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน กล่าวคือ ทั้งเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและทะลายปาล์มยังมีลักษณะเป็นเส้นใยแม้จะผ่านเครื่องสับ (chipper)

แล้วก็ตาม ทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้าไปในอนุภาคของวัสดุได้ไม่ทัน และสุดท้ายส่งผลให้ความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน นอกจากนี้ Borde and Levy (2006) ได้รายงานว่า ขนาดของวัตถุดิบจะส่งผลโดยตรงต่อการถ่ายเทความร้อนแล้ว ยังส่งผลต่อการถ่ายเทมวลอีกด้วย โดยในการอบแห้งแบบพาหะลมวัสดุควรมีขนาดประมาณ 10-500 μm อย่างไรก็ตาม ขนาดของวัตถุดิบที่ใช้สามารถมีขนาดใหญ่ขึ้นได้ หากมีการปรับความเร็วลมที่เหมาะสมทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ลักษณะรูปร่างของวัตถุดิบ และความชื้นที่ต้องการด้วย

สำหรับผลของอุณหภูมิต่อการลดลงของความชื้น พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิจาก 130 ไป 160 °C มีแนวโน้มจะทำให้ความชื้นลดลง แต่ไม่ส่งผลต่อการลดลงของความชื้นอย่างชัดเจน โดยมีความแตกต่างมากที่สุดของการลดลงของความชื้นที่ตำแหน่งต่างๆ ไม่เกิน 5% นอกจากนี้กราฟความชื้นยังแสดงให้เห็นว่า อัตราการลดความชื้นจะสูงในระยะแรกช่วงที่มีความชื้นสูง และค่อยๆ ลดลงเมื่อความชื้นต่ำลง สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Nair et al., 2011, 2012) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของน้ำอิสระ (free water) และน้ำในรูปของพันธะเคมี (bound water) ที่มีอยู่ในชีวมวล สำหรับในงานวิจัยนี้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการอยู่ระหว่าง 25-30% w.b. ซึ่งเพียงพอสำหรับการนำไปผสมกับตัวประสาน (binder) เพื่อแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงสำเร็จรูป (เชื้อเพลิงอัดเม็ด/อัดแท่ง) เพราะหากมีความชื้นน้อยเกินไปจะทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ขณะที่ความชื้นสูงเกินไปจะมีผลให้เชื้อเพลิงสำเร็จรูปนี้คลายตัวและแตกหลังการแปรรูป (Tumuluru et al., 2016)

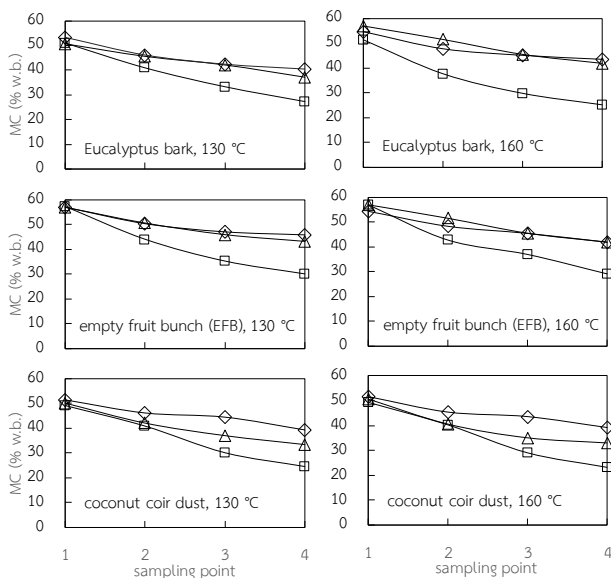


Figure 3 Effects of temperature and biomass feed rate on moisture reduction; 600 kg h⁻¹ (◇), 480 kg h⁻¹ (Δ), 300 kg h⁻¹ (□).

3.3 อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR)

Figure 4 แสดงอัตราการอบแห้งรวมของชีวมวลแต่ละชนิดโดยพิจารณาจากความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายหลังผ่านระบบ พบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในการทดลองนี้มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

เล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อน โดยภาพรวมที่อัตราการป้อน 300 kg h⁻¹ มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุด ส่วนอัตราการป้อนที่ 480 และ 600 kg h⁻¹ มีอัตราการอบแห้งส่วนใหญ่ใกล้เคียงกัน ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ 130 °C เพียงพอสำหรับการอบแห้งชีวมวลทั้ง 3 ชนิด และอัตราการป้อนชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งในครั้งนี้ควรอยู่ที่ 300 kg h⁻¹ จึงจะทำให้มีความชื้นตามที่ต้องการได้

3.4 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC)

ค่า SEC ในการอบแห้งชีวมวลด้วยพาหะลมในงานวิจัยนี้พิจารณาพลังงานจากอากาศร้อนผสมและพลังงานจากไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ (Figure 5) พบว่า เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 130 เป็น 160 °C ค่า SEC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเฉลี่ยทุกวัตถุดิบชีวมวลอยู่ในช่วง 7-11% ขณะที่การเพิ่มอัตราการป้อนมีแนวโน้มทำให้ค่า SEC ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ฉัตรชัย (2555) ที่ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลมร้อน อย่างไรก็ตาม ที่อัตราการป้อนสูง (480 และ 600 kg h⁻¹) ค่า SEC ของวัตถุดิบชีวมวลทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกันประมาณ 2-10% โดยสาเหตุที่ค่า SEC ลดลงเป็นผลมาจากปริมาณน้ำที่ระเหยมากขึ้นเมื่ออัตราการป้อนสูงขึ้น แต่หากมีอัตราการป้อนมากเกินไปจะทำให้ชีวมวลที่อยู่ในวัตถุดิบระเหยไม่ทัน ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่แสดงก่อนหน้านี้

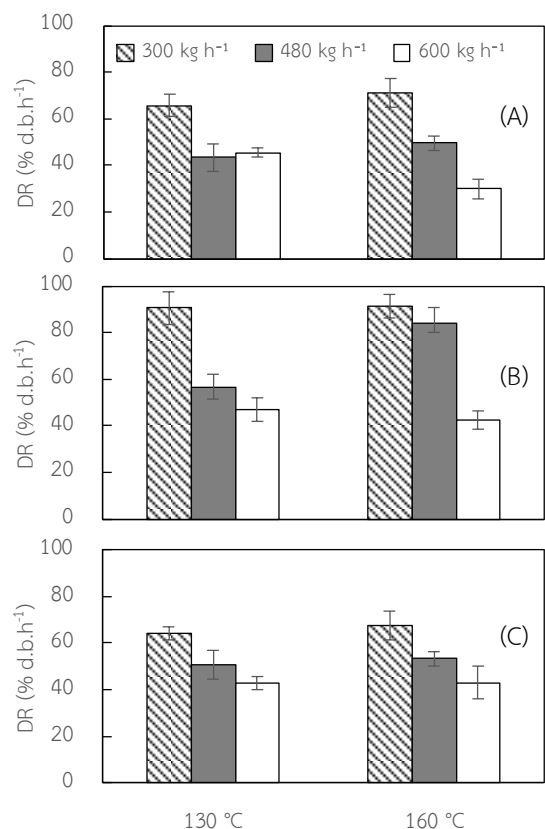


Figure 4 Effects of temperature and biomass feed rate on drying rate; Eucalyptus bark (A), EFB (B), coconut coir dust (C). Values represent an average and standard deviation (S.D.) of data collected for three hours.

3.5 ประสิทธิภาพทางความร้อนในการอบแห้ง (Thermal efficiency of drying)

จากผลการทดลองการอบแห้งที่อุณหภูมิและอัตราการป้อนต่างๆ แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิร้อน 130°C และอัตราการป้อน 300 kg h^{-1} เป็นสภาวะที่เหมาะสมทำให้ได้ความชื้นที่ต้องการแม้ว่าจะมีค่า SEC สูงกว่าที่อัตราการป้อนอื่นเล็กน้อย ดังนั้น เมื่อพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับหาประสิทธิภาพทางความร้อนในการอบแห้ง พบว่า ชีวมวลทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพการอบแห้งค่อนข้างสูง โดยที่ ทะลายปาล์มมีประสิทธิภาพสูงที่สุด (76.4%) รองลงมาเป็นขุยมะพร้าวและเปลือกไม้ยูคาลิปตัส (~ 64%) ดังแสดงใน Figure 6

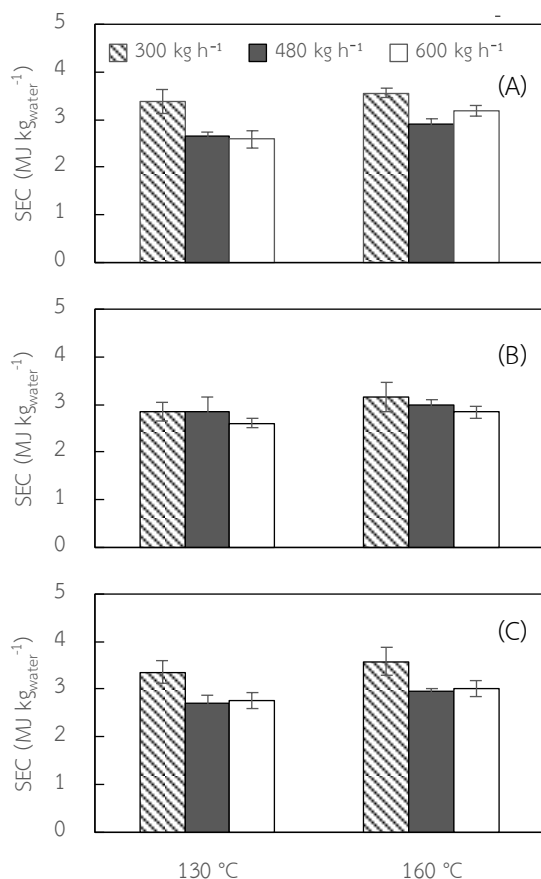


Figure 5 Effects of temperature and biomass feed rate on specific energy consumption (SEC); Eucalyptus bark (A), EFB (B), coconut coir dust (C). Values represent an average and standard deviation (S.D.) of data collected for three hours.

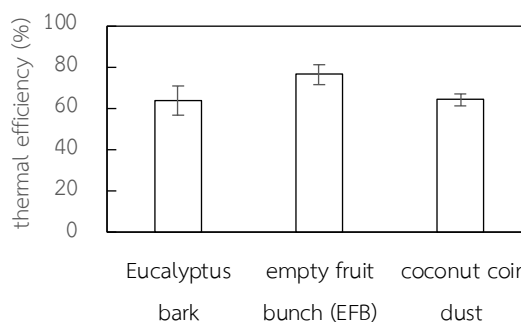


Figure 6 Thermal efficiency of biomass drying at hot air temperature of 130°C and biomass feed rate of 300 kg h^{-1} . Values represent an average and standard deviation (S.D.) of data collected for three hours.

3.6 การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลตอบแทน

ต้นทุนการอบแห้งวัสดุชีวมวลทั้ง 3 ประเภท ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ อาทิ ต้นทุนค่าเครื่องอบแห้งและเครื่องจักร ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนการจัดหาพลังงาน และต้นทุนจากแรงงานในขั้นตอนการผลิต แต่ในประเมินครั้งนี้เบื้องต้นจะไม่คำนึงถึงต้นทุนของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม โดยทำการวิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้ง ที่ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด ในปริมาณ 1 ton กำหนดให้วัตถุดิบแต่ละชนิดมีราคา 100 Baht ton^{-1} แรงงานในการทำงาน 2 คน พลังงานไฟฟ้าในการลำเลียงและสับย่อย 165 kWh แต่ไม่คิดพลังงานจากความร้อนเนื่องจากเป็นความร้อนเหลือทิ้งจากหม้อไอน้ำ และใช้ระยะเวลาทั้งหมดจนเสร็จสิ้นกระบวนการ 3.3 h ดังแสดงใน Table 1-2

Table 1 Cost of biomass drying

Description	Cost (Baht)
raw material 1,000 kg x 0.1 Baht kg ⁻¹	100
heat source (exhaust gas)	-
labor 2 people x 40 Baht h ⁻¹ x 3.3 h	264
electricity 50 kWh x 3.3 h x 3 Baht kWh ⁻¹	495
Total	859

Table 2 Cost of water evaporation

Item	Eucalyptus	EFB	Coconut
production cost (Baht)	859	859	859
mass of evaporated water (kg)	346	389	340
mass of dried product (kg)	654	611	660
cost of evaporation (Baht kg ⁻¹)	2.48	2.21	2.53
biomass drying cost (Baht kg ⁻¹)	1.31	1.4	1.3

ผลวิเคราะห์ต้นทุนการแปรรูปชีวมวลแสดงใน Table 3 โดยคิดที่ความชื้น 30% w.b. และอัตราการป้อน 300 kg h⁻¹ พบว่า เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ทะลายปาล์ม และขุยมะพร้าว มีราคาเทียบกับค่าความร้อนเท่ากับ 0.43 0.39 และ 0.43 Baht Mcal⁻¹ ซึ่งใกล้เคียงกับถ่านหิน ที่มีราคา 0.48 Baht Mcal⁻¹ ดังนั้น วัสดุชีวมวลทั้ง 3 ชนิดนี้ จึงมีศักยภาพในการนำมาแปรรูปสำหรับใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้ โดยที่ทะลายปาล์มมีศักยภาพสูงสุด

Table 3 Cost of biomass with respect to its calorific value

biomass	calorific value (Mcal kg ⁻¹) *	biomass cost (Baht Mcal ⁻¹)
Eucalyptus bark	3.010	0.43
EFB	3.580	0.39
coconut coir dust	3.027	0.43

* calorific values were referenced from Arjarn et. al. (2012)

4 สรุป

ในงานวิจัยนี้ วัตถุดิบชีวมวลที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ เปลือกไม้ยูคาลิปตัส ทะลายปาล์ม และขุยมะพร้าว ถูกนำมาลดความชื้นด้วยกระบวนการอบแห้งแบบพาหะลมควบคู่ไปกับกระบวนการเตรียมเพื่อนำไปแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงสำเร็จรูป โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้ง ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ (130 และ 160 °C) และอัตราการป้อนวัตถุดิบ (300 480 และ 600 kg h⁻¹) พร้อม

ทั้งวิเคราะห์หาสมรรถนะ ประสิทธิภาพ และต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิลมร้อน 130 °C เพียงพอสำหรับการอบแห้งชีวมวลทั้ง 3 ชนิด โดยผลที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับอุณหภูมิลมร้อนที่ 160 °C นอกจากนี้ การเพิ่มอัตราการป้อนยังทำให้อัตราการลดความชื้นลดลง โดยอัตราการป้อนที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้คือ 300 kg h⁻¹ ซึ่งทำให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการ (25-30% w.b.) ที่สภาวะเหมาะสมดังกล่าวมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเเนาะน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า แต่มากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับอัตราการป้อนที่สูงกว่า โดยระบบการอบแห้งแบบพาหะลมมีประสิทธิภาพทางความร้อนค่อนข้างสูง (64-76%) และเมื่อพิจารณาต้นทุนในการเตรียมเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดนี้พบว่า มีศักยภาพในการนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้ โดยมีราคาเทียบเคียงกับเชื้อเพลิงฟอสซิล

5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับการสนับสนุนงบประมาณในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

6 เอกสารอ้างอิง

- ฉัตรชัย นิยมล. 2555. ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้หอบแห้งชนิดท่อเกลียว. วารสารวิจัย มข 17(1), 97-109.
- สุภัทร หนูแย้ม วีรชัย อาจหาญ. 2551. การศึกษาลักษณะการอบแห้งของเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบโรตารี. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตร ครั้งที่ 9 ประจำปี 2551. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- Abdullah, N., Sulaiman, F., Gerhauser, H. 2011. Characterisation of oil palm empty fruit bunches for fuel application. Journal of Physical Science 22(1), 1–24.
- Alakoski, E., Jamsen, M., Agar, D., Tampio, E., Wihersaari, M. 2016. From wood pellets to wood chips, risks of degradation and emissions from the storage of woody biomass – A short review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 54, 376–383.
- Arjarn, W., Hinsui, T., Liplap, P., Raghavan, G. S. V. 2012. Evaluation of electricity production from different biomass feedstocks using a pilot-scale downdraft gasifier. Journal of Biobased Materials and Bioenergy 6, 1-11.
- Borde, I., Levy, A. 2006. Pneumatic and Flash Drying. Handbook of Industrial Drying, Third Edition, Ed. A. S. Mujumdar, CRC Press, UK.

- Haque, N., Somerville, M. 2013. Techno-economic and environmental evaluation of biomass dryer. *Procedia Engineering* 56, 650-655.
- Islam, M. H., Hossain, M. M., Momin, M. A. 2014. Development of briquette from coir dust and rice husk blend: an alternative energy source. *International Journal of Renewable Energy Development (IJRED)* 3(2), 119-123.
- Morey, R.V., Thimsen, D.P. 1980. Combustion of crop residues to dry corn. *Proceedings of the ASAE Energy Symposium, Kansas City, Missouri, Sept. 29 - Oct. 1, 1980*, 6.
- Nair, G. R., Liplap, P., Gariepy, Y., Raghavan, G. S. V. 2011. Microwave drying of flax fibre at controlled temperatures. *Journal of Agricultural Science and Technology B1*, 1103-1115.
- Nair, G. R., Liplap, P., Gariepy, Y., Raghavan, G. S. V. 2012. Effect of microwave and hot air drying on flax straw at controlled temperatures. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation* 2(4), 355-369.
- Tumuluru, J.S., Conner, C.C., Hoover, A.N. 2016. Method to produce durable pellets at lower energy consumption using high moisture corn stover and a corn starch binder in a flat die pellet mill. *Journal of Visualized Experiments* (112):54092 doi:10.3791/54092.