

ออกแบบ และพัฒนาเตาชีวมวลกำเนิดลมร้อนสำหรับเครื่องอบแห้งกาแฟอาราบิก้าแบบโรตารี

*ปรีชา อานันท์รัตนกุล¹ พิมล วุฒิสินธุ์¹ วิบูลย์ เทพเพนทร์¹ นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล¹

เวียง อากริณี² สอนง อมฤกษ์³ ยงยุทธ คงชาน¹

¹ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
50 ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

² ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
320 หมู่ที่ 12 ถนนมะลิวัลย์ ตำบลบ้านทุ่ม อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

³ ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
235 หมู่ 3 ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50000

ผู้เขียนติดต่อ: ปรีชา อานันท์รัตนกุล E-mail: sullus2005@yahoo.com

บทคัดย่อ

กาแฟอาราบิก้า ปลูกในพื้นที่สูงที่มีอากาศหนาวเย็นและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูง ในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องมีการลดความชื้นกาแฟกะลาให้ลดลงเหลือประมาณ 12% (w.b.) โดยทั่วไปใช้วิธี ตากแดดแต่ต้องใช้เวลาานาน กรมวิชาการเกษตร ได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งกาแฟแบบโรตารี ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงกำเนิดลมร้อน ใช้อบแห้งได้ทั้งกาแฟโรบัสต้าและกาแฟอาราบิก้า ในการลดความชื้นกาแฟอาราบิก้า บนพื้นที่สูงที่มีอากาศหนาวเย็น การใช้แก๊สหุงต้มไม่สะดวก จึงได้พัฒนาเตาชีวมวลกำเนิดลมร้อนสำหรับใช้กับเครื่องอบกาแฟอาราบิก้าแบบโรตารีขนาดบรรจุ 800 kg เตาต้นแบบที่ออกแบบพัฒนาขึ้นมีขนาด 292 kW เป็นเตาแบบตะกรับมีชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อไฟ มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 15.3 m² ผลการทดสอบอบแห้งกาแฟกะลาจากความชื้นเริ่มต้น 24.9% (w.b.) เหลือความชื้น 12.0% (w.b.) ใช้เวลาในการอบแห้ง 21hr ใช้ฟืน 300 kg คิดเป็นฟืนที่ใช้ 2.6 kg/kg น้ำที่ระเหย หรือเท่ากับปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ 38 MJ/kg น้ำระเหย

คำสำคัญ: เตาชีวมวล, กาแฟ, เครื่องอบแห้งกะลากาแฟ

1. บทนำ

กาแฟพันธุ์อาราบิก้า เจริญเติบโตได้ดีบนพื้นที่สูง พื้นที่ปลูกที่เหมาะสมคือ ภูเขาสูงทางภาคเหนือในจังหวัดเชียงราย แพร่ และน่าน กาแฟอาราบิก้า ใช้วิธีเปียกในการผลิตสารกาแฟอาราบิก้า โดยขั้นตอนการทำให้แห้ง (drying) มีความสำคัญมากในขั้นตอนการผลิต เพื่อให้ได้สารกาแฟที่มีคุณภาพ มีสี กลิ่น ที่เป็นธรรมชาติ ในเขตภาคเหนือมักใช้วิธีการตากแห้ง โดยใช้ลานตากขนาดใหญ่ โดยพบปัญหาที่สำคัญคือ กาแฟเก็บเกี่ยวในช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึง มีนาคม ทำให้มีผลผลิตจำนวนมาก ทำให้ลานตากไม่พอเพียง และมีปัญหาฝนตกในเวลาที่ตาก ต้องใช้แรงงานจำนวนมากในการเก็บคลุมกาแฟ หากไม่ทันทำให้เกิดการหมักของกาแฟเกิดการเน่าเสียหาย เชื้อราเข้าทำลาย เกิดสารพิษ สีกกลิ่น ของกาแฟเปลี่ยนไป อีกทั้งการตากบนลานทำให้ความชื้นกาแฟไม่สม่ำเสมอ ทำให้ยุ่งยากในการเก็บรักษา เพื่อเป็นการ

แก้ปัญหาการอบแห้งและพัฒนาคุณภาพการแปรรูปอาราบิก้าในระดับกลุ่มเกษตรกร โดยเฉพาะกลุ่มวิสาหกิจชุมชนสวนยาหลวง จ.น่าน สถาบันจึงได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยเวียง และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งกาแฟกะลาโรบัสต้าแบบโรตารี ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงกำเนิดลมร้อน ขนาด 400 และ 800 กก./ครั้งการอบ โดยออกแบบถึงเป็นทรงกระบอกแปดเหลี่ยมมีท่อลมร้อน สำหรับเป่าอัดลมร้อนผ่านเมล็ดกาแฟอยู่ตรงกลางถึง ติดตั้งระบบขับเคลื่อนการหมุนถึงอบ มีห้องเก็บความร้อนเพื่อหมุนเวียนความร้อนกลับมาใช้บางส่วนในช่วงที่เมล็ดกาแฟมีความชื้นต่ำลงเพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงความร้อน มีประสิทธิภาพในการอบแห้งดี ใช้เวลาในการลดความชื้น ตัวเครื่องประกอบด้วย 3 ส่วน หลัก ๆ คือ 1) ถังอบลดความชื้นรูปทรงกระบอกแปดเหลี่ยม ขับเคลื่อนการหมุนของถังอบด้วยมอเตอร์ขนาด 2.2 กิโลวัตต์ ถึงหมุนที่ความเร็วรอบ 2.5 รอบ/นาที 2) พัดลมเป็นแบบแรงเหวี่ยงหนี

ศูนย์กลางใบโค้งหน้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 457 มม. ความเร็วรอบใบพัดลม 973 รอบ/นาที มอเตอร์พัดลมขนาด 2.2 กิโลวัตต์ใช้ปริมาณลม 90 ม³/นาที 3) ชุดหัวพ่นแก๊สสูง ต้มกำเนิดลมร้อน พร้อมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

ผลการทดสอบอบแห้งกาแฟกะลาโรบัสต้า ที่อุณหภูมิสมร้อนเริ่มต้น 100°C และลดลงตามอุณหภูมิเมล็ดที่สูงขึ้น โดยอุณหภูมิเมล็ดไม่ควรเกิน 45°C ใช้เวลาอบแห้งแต่ละครั้ง ประมาณ 20-22 ชม. ที่ความชื้นเมล็ดกาแฟเริ่มต้น 65% มาตรฐานเปียกลดลงเหลือ 13% มาตรฐานเปียก ใช้แก๊สสูง ต้มเป็นเชื้อเพลิง 69 กก./ครั้ง หรือเฉลี่ย 2.88 กก./ชม. มีค่าประสิทธิภาพความร้อน 82% แต่เนื่องจากกลุ่มเกษตรกรดังกล่าว ตั้งอยู่ในพื้นที่ภูเขาสูง การคมนาคมไม่สะดวกในการขนส่งแก๊สสูงต้ม ประกอบกับในพื้นที่มีแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวนมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแหล่งกำเนิดความร้อนของเครื่องอบดังกล่าว เป็นแบบเตาชีวมวลเพื่อเป็นการใช้ชีวมวล และผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตรในพื้นที่จึงควรได้รับการวิจัยและพัฒนา

2. วิธีดำเนินงาน

2.1 การออกแบบและพัฒนาเตาชีวมวล และชุดแลกเปลี่ยนความร้อน

เพื่อพัฒนาเตาชีวมวลกำเนิดลมร้อนสำหรับใช้กับเครื่องอบแห้งกาแฟอาราบิก้าสำหรับใช้ในพื้นที่ภูเขา ซึ่งพบว่าอุณหภูมิแวดล้อมต่ำ และความชื้นสัมพัทธ์สูง มีวิธีดำเนินงานโดย

ทบทวนข้อมูล ศึกษาข้อมูลและตรวจเอกสารจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วดำเนินการออกแบบเตาชีวมวล เพื่อใช้กับเครื่องอบแห้งกะลากาแฟแบบโรตารี ขนาด 800 กก. โดยมีเงื่อนไขการออกแบบและการคำนวณ ดังนี้

- 1) ขนาดเตาชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบโรตารีขนาด 800 กิโลกรัม
- 2) ทำงานของเตาเผาต้องง่าย ใช้แรงงานในการทำงานน้อย
- 3) ต้องไม่มีสิ่งเจือปนจากการเผาไหม้วัสดุชีวมวล เช่น ควันไฟ เข้าไปปะปนกับกาแฟกะลา

2.2 การออกแบบและการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

- 1) การคำนวณหาขนาดเตาชีวมวลจากสมการ

$$q = mC_p\Delta T \quad \dots(1)$$

โดย

q = ปริมาณความร้อน, kJ/min

m = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/dry air/min

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ, kJ/kg °C

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิสมร้อนและอากาศแวดล้อม, °C

2) การคำนวณขนาดชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากสมการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของท่อไฟ

$$U A \Delta T_m = m C_p \Delta T \quad \dots(2)$$

โดย

U = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

A = พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน

ΔT_m = log mean ของผลต่างของอุณหภูมิอากาศในท่อและนอกท่อไฟ

$$= \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln \left[\frac{(T_{h1} - T_{c2})}{(T_{h2} - T_{c1})} \right]}$$

T_{h1} = อุณหภูมิอากาศร้อนจากเตาสมร้อนเข้า

T_{h2} = อุณหภูมิอากาศร้อนออกปล่องควัน

T_{c1} = อุณหภูมิอากาศแวดล้อมไหลเข้า

T_{c2} = อุณหภูมิอากาศอบแห้งไหลออก

m = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/dry air/min

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ, kJ/kg °C

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิสมร้อนและอากาศแวดล้อม, °C

ดำเนินการสร้างและนำไปทดสอบกับกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตกาแฟ เก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ หากความสามารถในการลดความชื้น พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ

การทดสอบเตาต้นแบบ ทำการทดสอบร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบโรตารี ทำการทดลอง ดังต่อไปนี้

- 1) ชั่งน้ำหนักกาแฟกะลาอาราบิก้าบรรจุลงถังอบ ทำการสูดกาแฟ เพื่อนำมาหาความชื้นเริ่มต้น
- 2) เปิดเครื่องหมุนถังอบลดความชื้น จุดเตาเปิดพัดลมควบคุมลมร้อนเข้าสู่ถังอบให้ไม่เกิน 100°C จากนั้นลดอุณหภูมิเรื่อย ๆ โดยควบคุมอุณหภูมิเมล็ดกาแฟให้ไม่เกิน 45°C
- 3) อบกาแฟต่อจนได้ความชื้นของกะลากาแฟที่ต้องการประมาณ 12% (w.b.) ในระหว่างการอบลดความชื้นมีการสูดเก็บตัวอย่างทุกๆ 2 ชั่วโมง เพื่อหาค่าความชื้นและอุณหภูมิเมล็ด

3. ผลและวิจารณ์ผล

จากความต้องการดังกล่าว การออกแบบเตาชีวมวลกำเนิดลมร้อน เลือกใช้วิธีการเผาวัสดุชีวมวลแบบตะกรับ มีชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อไฟ (Shell and tubes) ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่ดูดเข้าไปสู่ถังอบของ

เครื่องอบแห้ง เพื่อป้องกันฝุ่น คิว้นไฟ เข้าไปสู่ถังอบ อันจะทำให้คุณภาพของกาแฟกลดลง

3.1 การคำนวณหาขนาดเตาชีวมวล

เครื่องอบแห้งกะลากาแฟแบบโรตารีขนาด 800 กิโลกรัม กำหนดให้ ปริมาณลมร้อนที่ต้องการคือ 90 m³/min อุณหภูมิลมร้อนในห้องรวมลมที่ 100°C อุณหภูมิอากาศแวดล้อมเฉลี่ย 20°C ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมเฉลี่ยที่ 80%

$$q = mC_p\Delta T$$

$$q = \frac{90 \text{ m}^3/\text{min} \times 1.0051 \text{ kJ/kg Dry air} - 0.8453 \text{ m}^3/\text{kg Dry air} \times (100 - 20)}{0.8453 \text{ m}^3/\text{kg Dry air}} \dots(3)$$

จะได้ขนาดเตาชีวมวลที่ต้องการที่ 8561.12 kJ/min หรือ 142.69 kW หากชุดแลกเปลี่ยนความร้อน มีประสิทธิภาพ 50% ดังนั้นขนาดเตาเผาชีวมวลควรมีขนาด 285 kW

3.2 การออกแบบชุดแลกเปลี่ยนความร้อน

$$U A \Delta T_m = mC_p\Delta T$$

โดยกำหนดให้

$$T_{h1} = \text{อุณหภูมิอากาศร้อนจากเตาลมร้อนเข้า} = 1,000^\circ\text{C}$$

$$T_{h2} = \text{อุณหภูมิอากาศร้อนออกปล่องควัน} = 300^\circ\text{C}$$

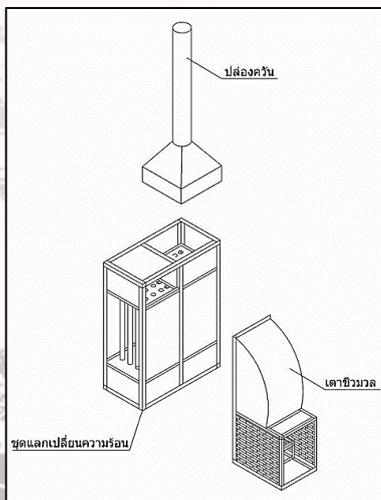
$$T_{c1} = \text{อุณหภูมิอากาศแวดล้อมไหลเข้า} = 20^\circ\text{C}$$

$$T_{c2} = \text{อุณหภูมิอากาศอบแห้งไหลออก} = 100^\circ\text{C}$$

$$U = 40 \text{ watt/m}^2\text{-}^\circ\text{C} = 2.4 \text{ kJ/min-m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

(Holman,1983)

เมื่อคำนวณ จะได้พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 13.76 ตารางเมตรและกำหนดเลือกใช้ท่อขนาด 2.5 นิ้ว ยาวต่อละ 1.5 เมตร จะต้องใช้ท่อ จำนวน 22 ท่อ ต่อ 1 กลีบ หรือใช้ท่อทั้งหมด 44 ท่อ ในการออกแบบสร้างชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเลือกใช้ท่อจำนวน 25 ท่อต่อ 1 กลีบ



รูปที่ 1 แบบเตาชีวมวล

เตาที่ออกแบบพัฒนาขึ้นมี ส่วนประกอบของเตาชีวมวล จะประกอบด้วย 2 ส่วน

1) ส่วนของเตาเผา ใช้วิธีการเผาบนตะแกรงไฟ ความร้อนและคิว้นไฟจะไหลผ่านท่อชุดแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนออกปล่องคิว้น

2) ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน (Shell and tubes) ออกแบบให้เป็นชุดแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด 2 กลีบ ใช้ท่อขนาด 2.5 นิ้ว ยาวต่อละ 1.5 เมตร จำนวน 25 ท่อ 1 กลีบ มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด 15.30 ตารางเมตร คิว้นไฟและความร้อนที่เผาไหม้ของวัสดุชีวมวลจะไหลเข้าสู่ชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อน แล้วไหลออกปล่องคิว้น พัดลมจากเครื่องอบแห้งกะลากาแฟจะดูดลมร้อนที่สะอาดจากชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่ถังอบ

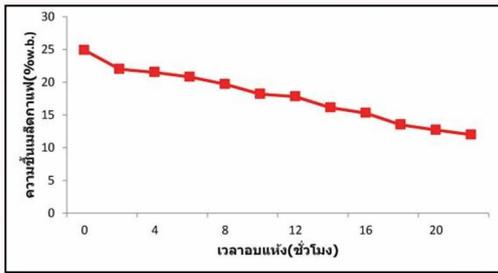


รูปที่ 2 เตาชีวมวลทดสอบอบแห้งกับเครื่องกาแฟขนาด 800 กิโลกรัม

3.3 ผลการทดสอบการอบ

ตารางที่ 1 ผลการอบกาแฟสดด้วยเครื่องอบแห้ง โดยใช้เตาชีวมวลน้ำหนักกาแฟเริ่มต้น 790.6 kg น้ำหนักกาแฟแห้ง 674.5 kg

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิแวดล้อม °C	ความชื้นสัมพัทธ์ %	อุณหภูมิลมร้อน °C	ความชื้นกาแฟ%	อุณหภูมิเมล็ด °C
เริ่มต้น				24.9	
2	20	63	84	22.0	38
4	17	65	73	21.5	34
6	11	86	80	20.8	37
8	13	94	85	19.7	37
10	11	96	73	18.2	35
12	10	96	80	17.8	30
14	10	98	70	16.1	29
16	9	99	87	15.3	36
18	20	62	70	13.5	38
20	25	50	80	12.7	34
21	27	34	82	12.0	44



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นแฉะและเวลาที่ใช้ในการอบ โดยใช้เตาชีวมวล

จากการทดลองพบว่า ใช้เวลาในการประมาณ 21 ชม. ในการลดความชื้น จาก 24.9% (w.b.) ให้เหลือ 12.0% (w.b.) ใช้ฟืนประมาณ 300 kg หรือประมาณ 14.3 kg/hr

3.4 คำนวณหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

จากการทดลอง พบว่า ใช้ไม้ฟืน 300 กก. คิดเป็นความร้อนปริมาณความร้อน 4,410 MJ

$$\begin{aligned} \text{น้ำที่ระเหย} &= \text{นน.กาแฟเริ่มต้น} - \text{น้ำกาแฟแห้ง} \\ &= 790.6 - 674.5 \\ &= 116.1 \text{ Kg} \end{aligned}$$

คิดเป็นปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ 38 MJ/kg น้ำระเหย หรือเท่ากับใช้ฟืน 2.6 kg/kg น้ำระเหย

4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

เตาชีวมวลกำเนิดลมร้อนที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นสำหรับใช้กับเครื่องอบกาแฟอาราบิก้าแบบโรตารีขนาดบรรจุ 800kg มีขนาด 292kW เป็นเตาแบบตะกรับมีชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อไฟ มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 15.3 m² ผลการทดสอบอบแห้งกาแฟจากความชื้นเริ่มต้น 24.9% (w.b.) เหลือความชื้น 12.0% (w.b.) ใช้เวลาในการอบแห้ง 21 hr ใช้ฟืน 300 kg คิดเป็นฟืนที่ใช้ 2.6 kg/kg น้ำที่ระเหย หรือเท่ากับปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ 38 MJ/kg น้ำระเหย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ในการสร้าง ประกอบต้นแบบกลุ่มวิสาหกิจชุมชนสวนยาหลวง ต.ผาทอง อ.ท่าวังผา จ.น่าน อนุเคราะห์สถานที่ทดลองและวัสดุกาแฟกะลา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547 เอกสารวิชาการ “กาแฟ” ลำดับที่ 17 ปี พ.ศ. 2547 80 หน้า

- [2] พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ และบัณฑิต วาฤทธิ 2542 การปลูกและผลิดกาแฟอาราบิก้าที่สูง ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 229 หน้า
- [3] เวียง อากรชิ พิมล วุฒิสินธุ์ และสุภัทร หนูสวัสดิ์ 2542 การพัฒนาเครื่องอบลดความชื้นกาแฟโรบัสต้าแบบถังกลมทรงกระบอกหมุนในแนวนอน เอกสารรายงานผลการวิจัยฉบับเต็ม, สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
- [4] เวียง อากรชิ และคณะ 2549 การพัฒนาเครื่องอบแห้งกาแฟกะลาโรบัสต้า เอกสารรายงานผลการวิจัยเรื่องเต็ม สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม.
- [5] Holman, J.P.,1983 Heat Transfer, McGraw Hill Book Company, New York. Pp.440.