

การพัฒนาการทำแห้งเมล็ดกาแฟโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลสำหรับการทำแห้งช่วงแรก

ณิชภัทร มุลรัตน์ อารีย์ อัจฉริยวิริยะ และ ศิวะ อัจฉริยวิริยะ*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน โทรศัพท์ 0 5394 4146 อีเมล: siva@dome.eng.cmu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.12.002

รับเมื่อ 1 เมษายน 2563 แก้ไขเมื่อ 27 เมษายน 2563 ตอรับเมื่อ 29 เมษายน 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 14 ธันวาคม 2563

© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การเก็บรักษาเมล็ดกาแฟ (เชอร์รี่) หลังการเก็บเกี่ยว ควรนำเมล็ดกาแฟสดมาลดความชื้นให้เร็วที่สุด การตากแดดเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในประเทศที่มีแสงแดดเป็นเวลานาน การทำแห้งด้วยการตากแดดทำให้มีการถ่ายโอนรสชาติจากเนื้อของผลเชอร์รี่ไปที่เมล็ดกาแฟด้านใน ทำให้ได้สารกาแฟที่มีรสชาติที่ดี ถ้าการทำแห้งไม่เร็วพอจะทำให้กาแฟมีคุณภาพต่ำลง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการอบแห้งช่วงแรกด้วยเครื่องอบแห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เพื่อรอกกระบวนการทำแห้งด้วยแสงอาทิตย์ต่อไป บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการอบแห้งเมล็ดกาแฟสดจนเหลือความชื้นที่ปลอดภัย เพื่อการเก็บรักษาจะนำไปตากแดดและหาสมรรถนะของการอบแห้ง จากการทดลองอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวล โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนเฉลี่ยในช่วง 50 ± 1 องศาเซลเซียส ถึง 70 ± 4 องศาเซลเซียส และใช้เวลาอบแห้งในช่วง 4 ถึง 6 ชั่วโมง ความชื้นเมล็ดกาแฟสดจะลดลงเหลือ 90% มาตรฐานแห้ง มีปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.95 ซึ่งจะมีอัตราการเติบโตของเชื้อราต่ำ ทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ในเวลาสั้นๆ ก่อนที่จะนำไปตากแดดเพื่อลดความชื้นให้เหลือ 13% มาตรฐานแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ในช่วง 25.1–47.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และประสิทธิภาพการอบแห้งอยู่ในช่วง 5.5–11.4%

คำสำคัญ: พลังงานชีวมวล เมล็ดกาแฟ การอบแห้ง อัตราการอบแห้งจำเพาะ ปริมาณน้ำอิสระ



Development of Coffee Beans Drying Using Biomass Energy Dryer for the First Period of Drying

Nichapat Moonrat, Aree Achariyaviriya and Siva Achariyaviriya*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiangmai University, Chiang Mai, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 5394 4146, E-mail: siva@dome.eng.cmu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.12.002

Received 1 April 2020; Revised 27 April 2020; Accepted 29 April 2020; Published online: 14 December 2020

© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

In the preservation of coffee beans (Cherries) after Harvest, drying should begin as quickly as possible to reduce the moisture content of cherries to prevent spoilage. When the sunlight is available, solar drying is often used. This process gives a greater transfer of flavor from flesh to pit of the cherries to achieve an excellent coffee flavor. If coffee beans cannot be dried on time, the quality degrades. Therefore, the first period of drying using a dryer is needed to extend the shelf life of fresh coffee beans while waiting for the solar drying process. The objectives of this research are to investigate the drying strategy of fresh coffee beans until it reaches the safe moisture content for preservation before sun-drying; and also to find the drying performance. From the drying experiment using a biomass dryer, the average drying air temperature in the range of $50\pm 1^{\circ}\text{C}$ to $70\pm 4^{\circ}\text{C}$ and the drying time in the range of 4 to 6 hours were used. The fresh coffee beans are dried until its process reaches an optimum moisture content of 90% dry-basis. It has a water activity of 0.95 in which fungi grow slowly while the beans can be kept for a short period before sun drying to reduce moisture content till 13% dry-basis. In addition, we found that the specific energy consumption was in the range of 25.1–47.4 MJ/kg and the drying efficiency was in the range of 5.5–11.4%.

Keywords: Biomass Energy, Coffee Bean, Drying, Specific Drying Rate, Water Activity

Please cite this article as: N. Moonrat, A. Achariyaviriya, and S. Achariyaviriya, "Development of coffee beans drying using biomass energy dryer for the first period of drying," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 2, pp. 191–200, Apr.–Jun. 2021 (in Thai).

1. บทนำ

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในช่วง พ.ศ. 2560-2562 ตลาดกาแฟมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการใช้กาแฟในประเทศเพิ่มขึ้นจาก 25,909 ตัน ใน พ.ศ. 2560 เป็น 29,237 ตัน ใน พ.ศ. 2562 [1] กาแฟมีการเพาะปลูกมากในเขตภาคเหนือ โดยผลผลิตส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน และตาก ฤดูเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม ในช่วงเวลานั้นภูมิอากาศในประเทศไทยมีแสงแดดน้อย และอาจมีฝนตกในบางช่วงซึ่งส่งผลทำให้ผลผลิตเกิดความเสียหายเนื่องจากไม่สามารถลดความชื้นในเมล็ดกาแฟได้ทัน ผลกาแฟสุกหลังจากการเก็บเกี่ยวจะมีความชื้นสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาการหมักของเปลือกทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์หรือเกิดสารพิษจากเชื้อราได้ [2] ดังนั้นควรลดความชื้นทันทีหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อลดโอกาสที่ทำให้เกิดเชื้อรา

วิธีการทำสารกาแฟสามารถแยกได้ 2 วิธี คือ วิธีแห้ง (Dry Method or Natural Method) และวิธีเปียก (Wet Method or Parchment Method) สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาการทำแห้งเมล็ดกาแฟเพื่อผลิตสารกาแฟด้วยวิธีแห้ง การทำสารกาแฟด้วยวิธีแห้งนั้น ใช้เวลาในการตากแดดในกรณีที่มีแสงแดดต่อเนื่องทั้งวันประมาณ 15 วัน ความชื้นเมล็ดกาแฟลดลงเหลือ 13% มาตรฐานแห้ง ซึ่งความชื้นนี้สามารถเก็บรักษาไว้ได้โดยไม่ทำให้เกิดเชื้อรา วิธีการทำให้แห้งด้วยการตากแดดนี้ จะทำให้สารกาแฟที่ได้มีสีสวยและคุณภาพดีรสชาติดี แต่มีข้อจำกัดคือ กรณีที่ไม่มีแสงแดดหรือมีแสงแดดน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการเก็บเกี่ยวซึ่งความชื้นมีค่าสูง อาจมีโอกาสดเกิดเชื้อราได้เร็วมาก ดังนั้นจำเป็นต้องลดความชื้นทันที โดยลดความชื้นลงให้ต่ำพอที่ไม่ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ในเวลาที่รอแสงแดด หลังจากนั้นจะทำแห้งเมล็ดกาแฟด้วยวิธีการตากแดดธรรมชาติต่อไป การทำแห้งเมล็ดกาแฟโดยใช้เครื่องอบแห้งจนกระทั่งเมล็ดกาแฟมีความชื้นที่ 13% มาตรฐานแห้ง นั้น เป็นการเร่งนำออกจากรสชาติกาแฟเร็วเกินไป ทำให้สูญเสียรสชาติที่ดีเนื่องจากเมล็ดกาแฟต้องการเวลาที่ให้ความหวานจากเนื้อกาแฟได้ซึมซับไปในเมล็ดกาแฟ

การศึกษาการทำสารกาแฟด้วยวิธีแห้งนั้น ได้มีนักวิจัยที่ใช้เครื่องอบแห้งดังนี้ รัฐพร [3] ได้ศึกษาอบแห้งเมล็ดกาแฟสดโดยใช้ปั๊มความร้อน ที่ความเร็วลมร้อน 0.8 และ 1.3 เมตรต่อวินาที โดยอบแห้งจนเหลือความชื้น 15-16% มาตรฐานแห้งพบว่า ความเร็วของอากาศไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้งและไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งในสารกาแฟที่ละลายน้ำได้ พงษ์ศักดิ์และคณะ [4] ได้ทดลองเปรียบเทียบการลดความชื้นเมล็ดกาแฟแห้งด้วยวิธีต่างๆ 3 วิธี คือ 1) ใช้การตากแดด 2) ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และ 3) ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อน พบว่า การใช้เครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าการตากแดด แต่คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟที่ได้จะแข็งและกรอบ ทำให้สารกาแฟเกิดความเสียหายในกระบวนการสีกาแฟ นอกจากรยังมึนักวิจัยอีกหลายท่านวิจัยเกี่ยวกับกาแฟ เช่น ปานหทัย และคณะ [5] ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพเมล็ดกาแฟโรบัสตาที่ได้จากการตากแดดผลสดด้วยวิธี Broissin และคณะ [6] ได้ศึกษาผลกระทบเงื่อนไขการเก็บรักษาเมล็ดกาแฟในกระสอบป่านในเวลา 1 ปีต่อการเกิดสายพันธุ์เชื้อราในสารกาแฟ และ Gislaine และคณะ [7] ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและปริมาณน้ำอิสระต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราที่เกิดในเมล็ดกาแฟ เป็นต้น

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งพืชผลทางการเกษตรนั้นมึนักวิจัยอยู่หลายท่าน เช่น ไพโรจน์ และคณะ [8] ได้สร้างเครื่องอบแห้งที่ใช้ความร้อนทั้งจากกระบวนการเผาถ่านในถังขนาด 200 ลิตร ทดลองอบแห้งกล้วยเปลือกเปลือกพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 51 เมกะจูลต่อกิโลกรัม จตุรพักตร์ และศิวะ [9] ศิวะ และคณะ [10] ศึกษาการประเมินการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งเนื้อลำไยที่ใช้พลังงานชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงพบว่า เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 5.9-7.4% ศิวะ และคณะ [11] ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลและไม่มีพัดลมช่วยในการกระจายอุณหภูมิพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 71.67 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาและปัญหากรณีที่ไม่มึแสงแดด ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาการทำสารกาแฟโดย

ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลลดความชื้นเมล็ดกาแฟในช่วงแรก โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือการพัฒนาการทำแห้งเมล็ดกาแฟโดยใช้เครื่องอบแห้งลดความชื้นเมล็ดกาแฟในช่วงแรก โดยออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งใช้พลังงานชีวมวลเพื่อให้เกษตรกรที่วิสาหกิจชุมชน หมู่บ้านเลอตอโกลด์ อำเภอน้ำหนาว จังหวัดตาก นำไปใช้ลดความชื้นเมล็ดกาแฟ และเพื่อหาความชื้นที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้เกิดเชื้อราในช่วงรอการตากเมล็ดกาแฟบนลาน

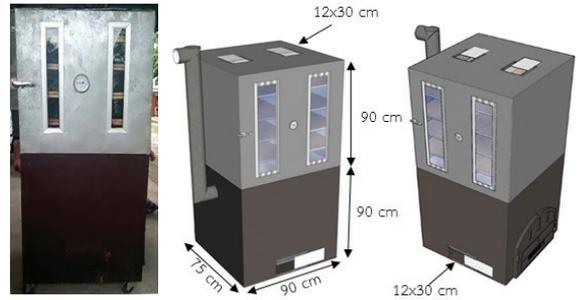
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวล

เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลนี้ออกแบบให้กับเกษตรกรวิสาหกิจชุมชน หมู่ที่ 9 กาแฟเลอตอโกลด์ ตำบลแม่อุสุ อำเภอน้ำหนาว จังหวัดตาก ที่ซึ่งหมู่บ้านนี้ไฟฟ้าสาธารณะเข้าไม่ถึงตัว โดยเครื่องอบแห้งสามารถบรรจุกาแฟได้ 8 กิโลกรัม เพื่อเป็นต้นแบบในการทดสอบการทำสารกาแฟ เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ห้องอบแห้งและห้องเตาเผาแลกเปลี่ยนความร้อน ดังรูปที่ 1 มีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 ห้องอบแห้ง (ส่วนบน) มีขนาด $0.9 \times 0.75 \times 0.9$ เมตร ภายในห้องอบแห้งมีชั้นวาง 8 ภาชนะสามารถบรรจุเมล็ดกาแฟได้ถาดละ 1 กิโลกรัม ด้านบนห้องอบแห้งจะมีช่องระบายลมร้อนขนาด 0.12×0.30 เมตร จำนวน 2 ช่อง ด้านหน้าเป็นประตูเปิด-ปิด

ส่วนที่ 2 ห้องแลกเปลี่ยนความร้อนและเตาเผา (ส่วนล่าง) ส่วนเตาเผาใช้ถ่านน้ำมันสองร้อยลิตรผ่าครึ่ง มีตะแกรงรองไม้พิน ด้านหน้ามีช่องเชื้อเพลิงและมีวาล์วเปิด-ปิด ควบคุมอากาศเข้าห้องเผาไหม้ ด้านหลังเป็นท่อไอเสียออกจากห้องเผาไหม้ ผนังเตาเผาเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนโดยที่ผนังรอบๆ เตาเผาใช้ฉนวนกันความร้อน อากาศภายนอกเคลื่อนที่ไหลแบบธรรมชาติเข้ามาทางช่องอากาศด้านข้างทั้งสองด้าน อากาศที่ไหลผ่านผนังกันความร้อนรอบๆ เตาเผา ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นอากาศร้อนไหลผ่านขึ้นไปยังห้องอบแห้งโดยผ่านรูตะแกรงและผ่านถาดที่วางเมล็ดกาแฟ และอากาศขึ้นระบายออกทางด้านบน



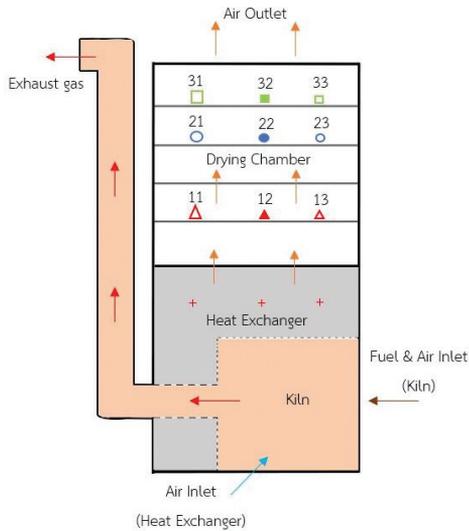
รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวล

2.2 การทดลองอบแห้งเมล็ดกาแฟ

เครื่องอบแห้งโดยใช้ไม้ลำไยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 7 เซนติเมตร และยาวเฉลี่ย 45 เซนติเมตร เป็นเชื้อเพลิง มีค่าความร้อนต่ำ (LHV) เท่ากับ 12 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [12] เมื่อไม้พินติดไฟทำให้ภายในเตามีอุณหภูมิสูง และผนังเตาซึ่งเป็นตัวให้พลังงานความร้อนกับอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง ร้อนกระทั่งอุณหภูมิอากาศร้อนในห้องอบแห้งเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ จึงนำเมล็ดกาแฟสุกที่บรรจุในถาดจำนวน 8 ถาด ทั้งหมดรวม 8 กิโลกรัม นำไปวางในห้องอบแห้ง กาแฟมีความชื้นเริ่มต้น 220–240% มาตรฐานแห้ง อบแห้งเมล็ดกาแฟจนเหลือความชื้น 90–133% มาตรฐานแห้ง ทดลองอบแห้งเมล็ดกาแฟ โดยกำหนดอุณหภูมิอากาศร้อนในช่วง 50–70 องศาเซลเซียส รวมการทดลองทั้งหมด 9 ครั้ง ทำการบันทึกค่าต่างๆ ดังนี้ 1) บันทึกค่าอุณหภูมิอากาศร้อนในเครื่องอบแห้งทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ถาดบน 3 ตำแหน่ง (31, 32, 33) ถาดที่สองจากด้าน 3 ตำแหน่ง (21, 22, 23) และถาดล่าง 3 ตำแหน่ง (11, 12, 13) โดยที่ตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศร้อนนั้นแสดงไว้ดังรูปที่ 2

2.3 การหาความชื้นเมล็ดกาแฟ

สุ่มตัวอย่างเมล็ดกาแฟที่ต้องการหาความชื้นไปชั่งน้ำหนัก (w) ปริมาณ 50 กรัม แล้วจึงนำไปเข้าในตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ทำการอบเป็นเวลานาน 72 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักแห้ง (d) ค่าความชื้นเมล็ดกาแฟ (M_d) สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (1) ค่าที่ได้เป็นค่าความชื้นเมล็ดกาแฟมีหน่วยเป็น



รูปที่ 2 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศร้อนในห้องอบแห้งและห้องแลกเปลี่ยนความร้อน

% มาตรฐานแห้ง (%db)

$$M_d = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (1)$$

2.4 อัตราการอบแห้งจำเพาะ

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate; DR) คือ สัดส่วนของปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง เขียนได้ดังสมการที่ (2) และ อัตราการอบแห้งจำเพาะ (Specific Drying Rate; SDR) คือ อัตราการอบแห้งต่อมวลแห้งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง-กิโลกรัมแห้ง เขียนได้ดังสมการที่ (3)

$$DR = \frac{m_f - m_i}{t} \quad (2)$$

$$SDR = \frac{DR}{m_p} \quad (3)$$

โดยที่ m_i คือ มวลวัสดุก่อนการอบแห้ง (kg)

m_f คือ มวลวัสดุหลังการอบแห้ง (kg)

t คือ เวลาการอบแห้ง (h)

m_p คือ มวลของเมล็ดกาแฟแห้ง (kg)

2.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) คือ สัดส่วนของการใช้พลังงานทั้งหมดของเครื่องอบแห้งกับปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเมล็ดกาแฟ มีหน่วยเป็นเมกะจูลต่อกิโลกรัม สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (4)

$$SEC = \frac{E_{total}}{m_f - m_i} \quad (4)$$

โดยที่ E_{total} คือ พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวล (MJ)

2.6 ประสิทธิภาพของการอบแห้ง

ประสิทธิภาพของการอบแห้ง (η) คือ สัดส่วนของการใช้พลังงานความร้อนในการระเหยน้ำกับพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงชีวมวล สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (5)

$$\eta = \frac{E_{use}}{E_{total}} \quad (5)$$

โดยที่ E_{use} คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในเมล็ดกาแฟมีหน่วยเป็นเมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งสามารถหาได้จากผลรวมของ 1) พลังงานความร้อนสัมผัสที่ทำให้อุณหภูมิของเมล็ดกาแฟสูงขึ้น 2) พลังงานความร้อนสัมผัสที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำในเมล็ดกาแฟสูงขึ้น และ 3) พลังงานความร้อนแฝงที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากน้ำในเมล็ดกาแฟกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (6)

$$E_{use} = m_p c_p \Delta T + m_p M_d c_w \Delta T + m_w h'_{fg} \quad (6)$$

โดยที่ c_p คือ ความร้อนจำเพาะเมล็ดกาแฟแห้ง (MJ/kg-°C)

c_w คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ (MJ/kg-°C)

M_d คือ ความชื้นของเมล็ดกาแฟ (%db)

ΔT คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ (°C)

h'_{fg} คือ ความร้อนแฝงระเหยน้ำในกาแฟ (MJ/kg)

ความร้อนจำเพาะของเมล็ดกาแฟแห้งสามารถหาได้จากสมการที่พัฒนาโดย [13] และความร้อนแฝงของการ



รูปที่ 3 เครื่องวัดหาค่าปริมาณน้ำอิสระ

ระเหยน้ำในวัสดุสามารถหาได้จากสมการที่พัฒนาโดย [14]

2.7 ปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟ

การหาปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟ (Water Activity; a_w) เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในเมล็ดกาแฟกับปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟ เตรียมตัวอย่างเมล็ดกาแฟที่ความชื้นต่างๆ โดยการใช้ตู้อบลมร้อนเพื่อลดความชื้นเมล็ดกาแฟเพื่อให้ได้ความชื้นอยู่ในช่วง 10% ถึง 90% มาตรฐานแห่ง การทดสอบหาปริมาณน้ำอิสระ โดยใช้เครื่องวัดหาค่าปริมาณน้ำอิสระ รุ่น Aw Center ยี่ห้อ Novasina ดังรูปที่ 3 โดยที่แต่ละความชื้นทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

ตารางที่ 1 ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์หาสมรรถนะของการอบแห้งเมล็ดกาแฟ

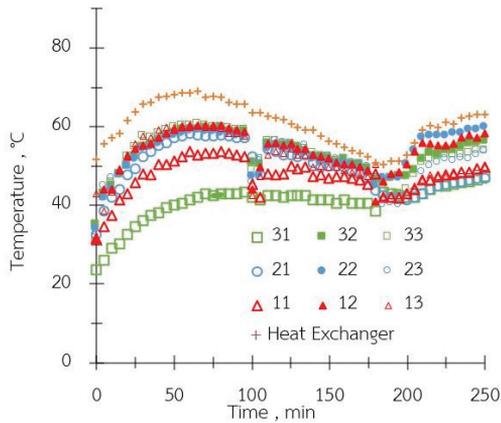
Experimental Order	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperature of drying chamber (°C)	52±2	50±1	51±1	58±2	55±1	55±2	70±4	67±3	70±4
Average temperature of drying chamber (°C)	52.36	50.32	51.07	58.41	55.34	55.62	70.06	67.31	70.93
Drying time (h)	6.0	6.0	6.0	5.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.0
Mass of coffee beans before drying (kg)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Mass of coffee beans after drying (kg)	5.57	5.43	5.87	5.18	5.41	5.58	4.51	4.88	4.34
Dry bone mass of coffee beans (kg)	2.42	2.35	2.45	2.43	2.43	2.50	2.43	2.40	2.41
Mass of biomass fuel (kg)	5.1	6.0	5.5	5.9	5.3	6.8	11.0	12.3	8.4
Biomass energy (MJ)	61.2	72.0	66.0	70.8	63.6	81.6	132.0	147.6	100.8
Thermal energy used for drying (MJ)	6.30	6.88	5.57	7.25	7.24	6.63	8.92	8.04	9.21
Drying rate (kg/h)	0.40	0.43	0.36	0.56	0.52	0.48	0.87	0.78	0.92
Specific drying rate (kg/h-kg)	0.17	0.18	0.15	0.23	0.21	0.19	0.36	0.33	0.38
Specific energy consumption (MJ/kg)	25.2	28.0	31.0	25.1	24.6	33.7	37.8	47.4	27.5
Efficiency of drying (%)	10.3	9.6	8.4	10.2	11.4	8.1	6.8	5.5	9.1

3. ผลการทดลอง

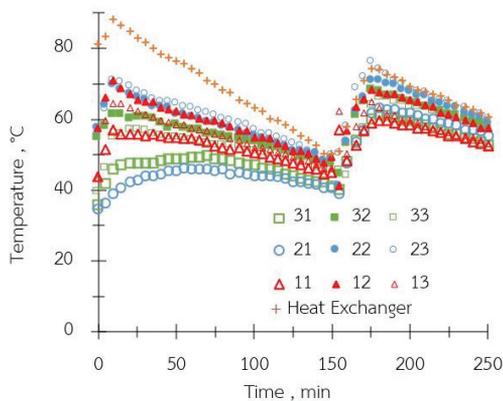
จากการทดลองอบแห้งเมล็ดกาแฟที่ความชื้นเริ่มต้น $230 \pm 10\%$ มาตรฐานแห้ง จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือ $110 \pm 30\%$ มาตรฐานแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้งชีวมวลโดยกำหนดอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบแห้งอยู่ในช่วง 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส ดำเนินการทดลองทั้งหมด 9 การทดลอง โดยมีผลการทดลองและการวิเคราะห์ดังตารางที่ 1

3.1 การกระจายอุณหภูมิในห้องอบแห้ง

จากการทดลองวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ โดยวัดในห้องอบแห้ง 9 จุด และในห้องแลกเปลี่ยนความร้อน 3 จุด ดังแสดงตำแหน่งในรูปที่ 2 จากผลการทดลองวัดการกระจายอุณหภูมิในห้องอบแห้งพบว่า การทดลองทั้ง 9 ครั้ง ให้ผลที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ อุณหภูมิทางด้านซ้าย (ตำแหน่ง 11, 21, 31) มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าทางด้านขวา (ตำแหน่ง 13, 23, 33) และแนวกลาง (ตำแหน่ง 12, 22, 32) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเตาเผามีความลึกเพียง 75 เซนติเมตร แต่ห้องอบแห้งกว้าง 90 เซนติเมตร (รูปที่ 2) ดังนั้นตำแหน่งที่อยู่เหนือเตาเผาจึงมีอุณหภูมิสูงกว่า

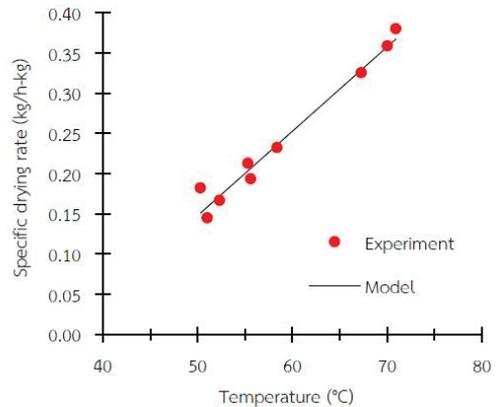


รูปที่ 4 อุณหภูมิห้องอบแห้งและอุณหภูมิเฉลี่ยห้องแลกเปลี่ยนความร้อนการทดลองครั้งที่ 3



รูปที่ 5 อุณหภูมิห้องอบแห้งและอุณหภูมิเฉลี่ยห้องแลกเปลี่ยนความร้อนการทดลองครั้งที่ 5

รูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงการกระจายอุณหภูมิในห้องอบแห้งและอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องแลกเปลี่ยนความร้อนของการทดลองครั้งที่ 3 และ 5 ตามลำดับ จากการพิจารณารูปที่ 4 และ 5 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบแห้งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากช่วงแรกของการเติมเชื้อเพลิงและเปิดช่องอากาศกว้างที่สุดเพื่อให้อากาศเข้าเตาเผา ทำให้เชื้อเพลิงติดไฟแรง ภายในเตาเผาจึงมีความร้อนสูง เมื่อค่าเฉลี่ยอุณหภูมิถึงค่าที่ต้องการจึงทำการปิดช่องอากาศเพื่อไม่ให้อุณหภูมิกายในห้องสูงเกินค่าที่ต้องการ จากนั้นอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งลดลง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งจำเพาะและอุณหภูมิในห้องอบแห้ง

อย่างช้าๆ เพราะการปิดช่องอากาศเข้าเตาเผาทำให้การเผาไหม้ในเตาเผาช้า เมื่ออุณหภูมิลดลงต่ำกว่าค่าที่ต้องการ จึงเติมเชื้อเพลิงและเปิดช่องอากาศเข้าเตาเผาอีกครั้ง

3.2 อัตราการอบแห้งจำเพาะ

นำข้อมูลจากตารางที่ 1 พบว่า อัตราการอบแห้งจำเพาะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งจำเพาะ (*SDR*) และอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบแห้ง (*T*) ได้ความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 6 สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (7) อัตราการอบแห้งจำเพาะแปรผันเชิงเส้นกับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (*Coefficient of Determination; R²*) เท่ากับ 0.97

$$SDR = 0.0107T - 0.3812 \quad (7)$$

3.3 สมรรถนะการอบแห้งเมล็ดกาแฟ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 25.1–47.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าผลงานวิจัยของ ไพโรจน์ และคณะ [8] เล็กน้อย ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลการเติมเชื้อเพลิงและความถี่ที่เติมเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของผู้ใช้เครื่องอบแห้ง



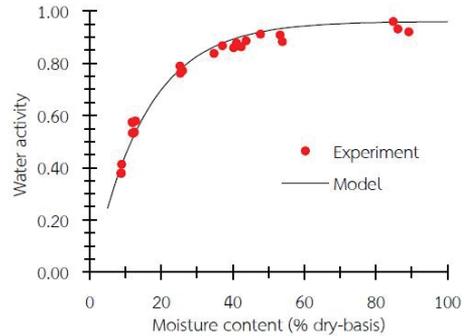
ในการควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้ง กล่าวคือการเติมเชื้อเพลิง และความถี่ของการเติมเชื้อเพลิงเข้าเตาเผา นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับการควบคุมการเปิด-ปิดช่องอากาศที่เข้าเตาเผา สำหรับประสิทธิภาพการอบแห้งเท่ากับ 5.5-11.4% ซึ่งพบว่า อุณหภูมิห้องอบแห้งที่สูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง เนื่องจากมีการสูญเสียพลังงานที่ไอเสียสูงขึ้นมากซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ จตุรพักตร์ และศิวะ [9]

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดลองการเติมเชื้อเพลิง

Experiment Order	Refuel (min)	Mass of Biomass Fuel (kg)	Temperature of Drying Chamber (°C)
1	The 1 st time	0	3.8
	The 2 nd time	130	
2	The 1 st time	0	4.0
	The 2 nd time	180	
3	The 1 st time	0	4.8
	The 2 nd time	175	
4	The 1 st time	0	4.9
	The 2 nd time	115	
5	The 1 st time	0	3.8
	The 2 nd time	140	
6	The 1 st time	0	4.0
	The 2 nd time	150	
7	The 1 st time	0	4.8
	The 2 nd time	110	
8	The 1 st time	0	4.9
	The 2 nd time	110	
9	The 1 st time	0	3.8
	The 2 nd time	120	

3.4 ปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟ

จากการทดสอบหาปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟ (Water Activity; a_w) ได้ผลดังรูปที่ 7 และจากการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำอิสระกับความชื้นของเมล็ดกาแฟได้ดังสมการที่ (8) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.95



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเมล็ดกาแฟกับปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟ

$$a_w = 0.96 - \exp(-0.067M) \tag{8}$$

พิจารณารูปที่ 7 พบว่า ถ้าความชื้นเมล็ดกาแฟมีค่าต่ำกว่า 13% มาตรฐานแห้ง ค่าปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟจะมีค่าน้อยกว่า 0.60 ดังนั้นที่ความชื้น 13% มาตรฐานแห้ง สามารถเก็บเมล็ดกาแฟไว้ได้นานโดยไม่ทำให้เกิดแบคทีเรียหรือเชื้อรา [15] ถ้าความชื้นเมล็ดกาแฟมีค่าสูงกว่า 90% มาตรฐานแห้ง ปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟจะมีค่ามากกว่า 0.95 ซึ่งมีโอกาสเกิดเชื้อราได้ง่าย [6], [7] ไม่สามารถเก็บรอแสงแดดได้ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องอบแห้งเพื่อลดความชื้นลงเหลือ 90% มาตรฐานแห้ง

4. อภิปรายผลและสรุป

การหาแนวทางการทำแห้งเมล็ดกาแฟ สามารถสรุปได้ว่า ในกรณีที่ไม่มีแสงแดดเพียงพอ สามารถใช้เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลลดความชื้นเมล็ดกาแฟ จากความชื้นเริ่มต้น 220-240% มาตรฐานแห้ง ซึ่งมีปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟสูงกว่า 0.98 ให้ลดลงเหลือความชื้น 90% มาตรฐานแห้ง โดยใช้อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส เวลาการอบแห้ง 6 ชั่วโมง เนื่องจากความชื้น 90% มาตรฐานแห้ง มีปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟต่ำกว่า 0.95 ซึ่งเชื้อราเจริญเติบโตได้ช้า ดังนั้นสามารถเก็บรักษาไว้เพื่อรอเวลาที่มีแสงแดด จากนั้นเมื่อมีแสงแดดจึงนำเมล็ดกาแฟออกตากแดดลดความชื้นต่อให้เหลือ 13% มาตรฐานแห้ง ซึ่งความชื้น

ค่านี้มีปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดกาแฟต่ำกว่า 0.60 ซึ่งเชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้ สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 5.5–11.4% และความชื้นเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะเท่ากับ 25.1–47.4 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท NHK-SPRING (ประเทศไทย) จำกัด ที่สนับสนุนทุนวิจัยและประธานวิสาหกิจชุมชนหมู่บ้านเลอตอโกลด์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่การทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics. (2018, March). Agricultural Statistics of Thailand 2018. [Online]. ISSN 0857-6610, pp. 84–87. Available: <http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/journal/2562/yearbook2561.pdf> (in Thai).
- [2] Department of Agriculture. (2017). Strategiccoffee 2017. Horticulture Research Institute. Bangkok, Thailand [Online]. Available: http://www.doa.go.th/hort/images/jsn_is_thumbs/images/hort/strategiccoffee.pdf (in Thai).
- [3] R. Buakhom, “Drying of coffee berries using heat pump and hot air,” M.S. thesis, Department of Energy Management Technology, Faculty of School of Energy and Materials King Mongkut’s University of Technology Thonburi, 2004 (in Thai).
- [4] P. Uman, N. Kuakantha, and P. Umnhatkitikron, “Construction of a coffee bean solar dryer for use by agriculturists in Ban Mai Pattana, Muangpan district, Lampang,” *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 35–48, 2012 (in Thai).
- [5] P. Nopchinwong, S. Panyatona, and S. Yousatit, “Effects of various delaying time prior to drying on Robusta bean quality,” Chumphon Horticultural Research Center Horticulture Institute, Sawi, Chumphon, 2014 (in Thai).
- [6] L. M. Broissin, R. Snell, J. J. Godon, O. González, and M. L. Suárez, “Impact of storage conditions on fungal community composition of green coffee beans *Coffea arabica* L. stored in jute sacks during 1 year,” *Journal of Applied Microbiology*, vol. 124, no. 2, pp. 547–558, 2017.
- [7] O. Gislaine, R. Suzana, R. Fabiana, D. Wilder, G. Maria, and R. Luis, “Influence of temperature and water activity on Ochratoxin A production by *Aspergillus* strain in coffee south of Minas Gerais/Brazil,” *LTW-Food Science and Technology*, vol. 102, pp. 1–7, 2019.
- [8] P. Chunkaew, A. Tavata, A. Khadwilard, and Y. Sryudom, “Banana drying performance with a developed hot air dryer using waste heat form charcoal production process,” *RMUTP Research Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 147–157, 2018 (in Thai).
- [9] J. Pannawalee and S. Achariyaviriya, “Energy utilization evaluation of longan flesh dryer using biomass as fuel,” presented at the 13th Heat and Mass Energy Transfer Conference, Chanthaburi, Thailand, March 13–14, 2014 (in Thai).
- [10] S. Achariyaviriya, J. Pannawalee, and A. Achariyaviriya, “Strategy for improving performance of longan flesh dryer using biomass as fuel,” presented at the 31st ME-NETT conference, Nakhonnayok, Thailand, July 4–7, 2017 (in Thai).
- [11] S. Achariyaviriya, P. Chunkaew, and A. Achariyaviriya, “Development of honey bananas dryer using



- biomass energy,” presented at the 15th Energy Network of Thailand Conference, Nakhon Ratchasima, Thailand, May 21–24, 2019 (in Thai).
- [12] N. Tippayawong, C. Tantakiti, S. Thavornun, and V. Peerawanikul, “Energy conservation in drying of peeled longan by forced convection and hot air recirculation,” *Biosystems Engineering*, vol. 104, no. 2, pp. 199–204, 2009.
- [13] B. Khamkhoutlavong, U. Tuntiwaranuruk, and Mani M, “A thin layer drying model of Catimor coffee cherry,” *Burapha Science Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 70–77, 2009 (in Thai).
- [14] P. A. Berbert, D. M. Queriros, J. S. Silva, and J. B. P. Filho, “Drying of coffee (*Coffea Arabica* L) in fixed bed with a simulated periodic airflow reversal,” *Journal of Agricultural Engineering*, vol. 59, no. 3, pp. 195–202, 1994.
- [15] N. Sarppanit. (2002). Water activity and control shelf life of food products. *Journal Charpa*. [Online]. 9(68), pp.48–51. Available: <http://www.phtnet.org/article/view-article.asp?aID=12> (in Thai).