

การศึกษาเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างการอบแห้ง ด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

Comparative Study of Specific Energy Consumption Between Infrared-Vacuum and Heater-Vacuum Drying

ศักดิ์ชัย จงจำ ันันทวัฒน์ วีระยุทธ และ อัมไพศกดิ์ ทีบุญมา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190 โทร 0-4535-3309 โทรสาร 0-4535-3308 E-mail: sakchai.jong@gmail.com

Sakchai Jongjam¹, Nantawatana Weerayuth and Umphisak Teeboonma

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

Warinchumrab, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand Tel: 0-4535-3309 Fax: 0-4535-3308 E-mail: sakchai.jong@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งพืชสมุนไพรด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ โดยมีสมุนไพรที่ใช้ในการทดลอง คือ บอระเพ็ด ซึ่งทำการอบแห้งที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิอบแห้ง 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างผลิตภัณฑ์กับแหล่งความร้อนกำหนดคงที่เท่ากับ 15 เซนติเมตร ผลจากการศึกษาพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งมีค่าลดลง เมื่อลดความดันสัมบูรณ์และเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง และยังพบว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

Abstract

The objective of this research was to comparative study on specific energy consumption (SEC) of herb drying using infrared-vacuum technique and heater-vacuum technique. In this work, heart-leaved moonseed (*Tinospora crispa*) was selected as testing product. The experiments were performed at the following conditions: absolute pressures in drying chamber ranging from 5, 10, 15 kPa and drying temperatures of 40, 50, 60°C. The distance between heat source and the product was fixed at 15 cm. From experimental results, it was revealed that SEC of herb drying decreases with decreasing absolute pressure of drying chamber or increasing drying temperature. Additionally, it was

also found that SEC of herb drying using infrared-vacuum technique is lower than that using heater-vacuum technique.

1. บทนำ

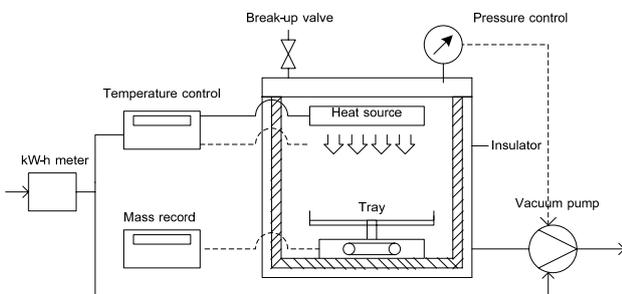
สมุนไพรไทย ถูกใช้เป็นยารักษาโรคมามากตั้งแต่สมัยโบราณ ซึ่งถือได้ว่าเป็นมรดกทางภูมิปัญญาที่ทรงคุณค่ายิ่งของไทย สมุนไพรส่วนใหญ่ถูกนำมาแปรรูปโดยผ่านกระบวนการที่เหมาะสมเพื่อการเก็บรักษาและง่ายต่อการใช้ประโยชน์ การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นเพื่อแปรรูปยาสมุนไพรที่มีความสำคัญ ซึ่งเทคโนโลยีการอบแห้งมีหลากหลาย ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาการอบแห้ง คุณภาพของผลิตภัณฑ์ และพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวแปรสำคัญด้านต้นทุนการผลิต การอบแห้งด้วยสุญญากาศเป็นกระบวนการลดความดันในขณะอบแห้ง เพื่อช่วยให้น้ำในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยที่อุณหภูมิต่ำ [1] การอบแห้งด้วยสุญญากาศถึงแม้ว่าในผลิตภัณฑ์จะสามารถระเหยที่อุณหภูมิต่ำ แต่ในทางปฏิบัติเพื่อลดระยะเวลาการอบแห้งก็ยังจำเป็นต้องใช้แหล่งผลิตความร้อนเช่นเดิม ซึ่งที่ผ่านมาแผ่นความร้อนหรือฮีตเตอร์ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งผลิตความร้อนเสริมให้กับระบบ อย่างไรก็ตามปัจจุบันรังสีอินฟราเรดกำลังได้รับความนิยมในการนำมาประยุกต์ใช้แทนฮีตเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถแผ่ทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสั่นและเกิดความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิในเนื้อวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว ทำให้ผิวภายนอกวัสดุอบแห้งไม่เหี่ยวแห้ง และยังคงสมบัติของผลิตภัณฑ์ไว้ใกล้เคียงกับวัตถุดิบที่นำมาอบแห้ง [2, 3] นอกจากนี้ รังสีอินฟราเรดยังสามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว มีการกระจายของรังสีความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ติดตั้งง่าย [4, 5] จากข้อ

องศาเซลเซียส และกำหนดระยะห่างระหว่างแหล่งความร้อนถึงผลิตภัณฑ์เท่ากับ 15 เซนติเมตร ทำการบันทึกข้อมูลน้ำหนัก และอุณหภูมิอบแห้งทุกๆ 1 นาที โดยใช้ Data logger

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงรายละเอียดชุดทดลอง ประกอบด้วย ห้องอบแห้งทรงกระบอก ขนาดระดับห้องปฏิบัติการ เส้นผ่านศูนย์กลาง 32 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ระบบติดอยู่ด้านบนของห้องอบแห้งโดยสลับเปลี่ยนระหว่างหลอดรังสีอินฟราเรด (Infrapara, รุ่น D1-500 ขนาด 500 วัตต์) และฮีตเตอร์ (Strip heater ขนาด 500 วัตต์) โดยอุปกรณ์ให้ความร้อนทั้ง 2 ชนิด ใช้หัววัดอุณหภูมิชนิด K และอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ในการควบคุมอุณหภูมิอบแห้ง หัววัดอุณหภูมิถูกติดตั้งบริเวณใต้ถาดอบแห้ง เพื่อหลีกเลี่ยงการรับรังสีโดยตรงซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ การควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้ง และส่งสัญญาณมายังอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิให้ เปิด-ปิด อุปกรณ์ให้ความร้อน โดยตั้งค่าอุณหภูมิในช่วง $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ในส่วนของภาควางผลิตภัณฑ์ ถูกวางไว้ด้านล่างของห้องอบแห้ง ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ให้ความร้อนและถาดเท่ากับ 15 เซนติเมตร ซึ่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งโดยใช้โพลีเอทิลีน (TRANSCELL รุ่น FAD-5) พร้อมชุดบันทึกข้อมูล ทำภาวะสุญญากาศในห้องอบแห้งด้วยปั๊มสุญญากาศ (VACVA, double stage pump, 150 ลิตร/นาที, ขนาด 550 วัตต์) โดยใช้อุปกรณ์วัดและควบคุมความดัน (COPAL ELECTRONICS รุ่น PG-30) วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยใช้กิโลวัตต์เออร์ มิเตอร์ (Mitsubishi Electric, ความละเอียด 0.01 kWh)



รูปที่ 1 ชุดทดลอง

2.2 วิธีการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ออบแห้งในงานวิจัยนี้คือ บอระเพ็ด (heart-leaved moonseed) โดยคัดเลือกเฉพาะส่วนกลางเถาที่มีสีเขียวอมน้ำตาล เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด และหั่นตามขวาง ให้มีความหนา 3 มิลลิเมตร นำมาวางเรียงบนถาดอบแห้งโดยไม่ให้ซ้อนทับกัน ในส่วนของการทดลอง ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ โดยทั้ง 2 ส่วน ทำการอบแห้งบอระเพ็ดที่น้ำหนักเริ่มต้น 50 กรัม มีความชื้นเริ่มต้น 450-500 % d.b. อบจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายที่ 10 % d.b. หรืออัตราส่วนความชื้นประมาณ 0.025 ซึ่งมีเงื่อนไขในการทดลอง คือ อบแห้งที่ภาวะความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสกาล อุณหภูมิอบแห้ง 40, 50 และ 60

2.3 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์การอบแห้งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในช่วงความชื้นเริ่มต้น 450-500 % d.b. จนถึงความชื้นสุดท้ายที่ 10 % d.b. หรือที่อัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 1 จนถึงอัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.025 โดยอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) คำนวณจากสมการที่ (1)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (1)$$

เมื่อ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, % d.b.

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ, % d.b.

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, % d.b.

การคำนวณอัตราส่วนความชื้นในงานวิจัยนี้ เป็นการคำนวณค่าโดยประมาณ คือ ไม่คิดค่าความชื้นสมดุล โดยตั้งสมมติฐานว่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้น

ในส่วนของ การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบอบแห้ง ได้กำหนดพารามิเตอร์เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาเปรียบเทียบดังนี้

อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นต่อเวลา สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) [6]

$$DR = \frac{M_0 - M_T}{T} \quad (2)$$

เมื่อ M_0 คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น, g water/g dry solid

M_T คือ ปริมาณความชื้นที่เวลา T, g water/g dry solid

T คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, min

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง ต่อปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสำหรับการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$SEC = \frac{E_{Infrared} + E_{Vacuum}}{M_w} \quad (3)$$

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ สำหรับการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$SEC = \frac{E_{Heater} + E_{Vacuum}}{M_w} \quad (4)$$

เมื่อ $E_{Infrared}$ คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้สำหรับหลอดอินฟราเรด, kWh

E_{Heater} คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้สำหรับฮีตเตอร์, kWh

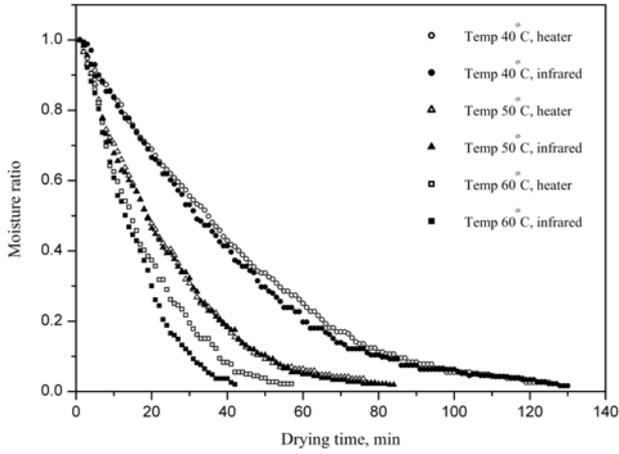
E_{Vacuum} คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้สำหรับปั๊มสุญญากาศ, kWh

M_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากเนื้อวัสดุ, kg

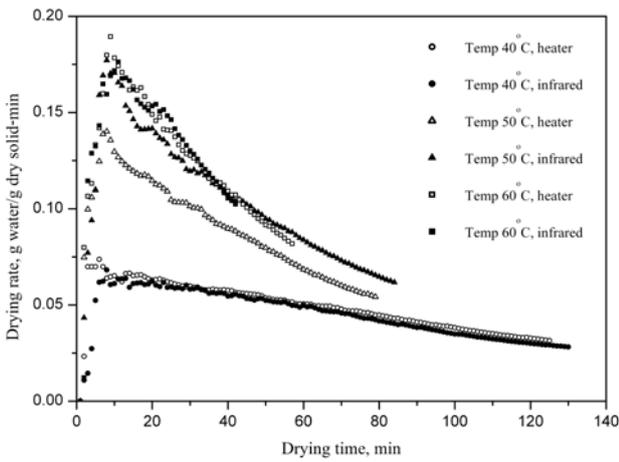
3. ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งบอระเพ็ด ด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ได้ผลการทดลองดังนี้

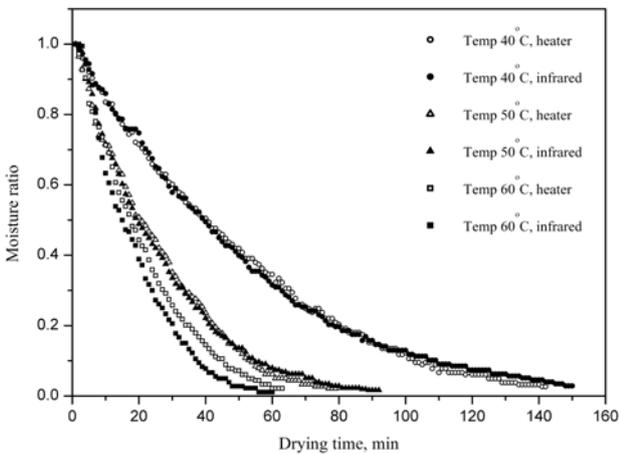
3.1 ผลของอุณหภูมิอบแห้ง



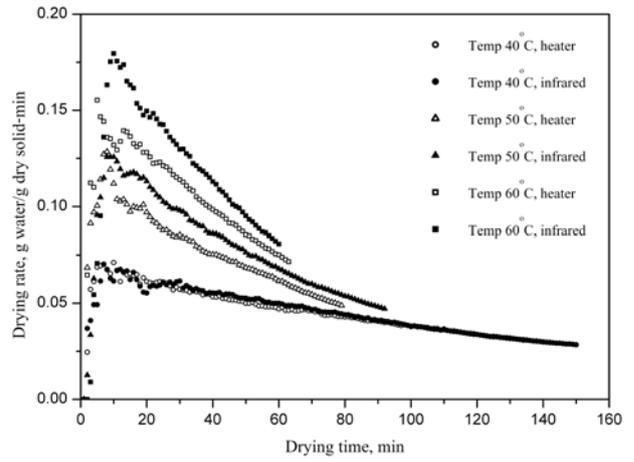
รูปที่ 2 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa



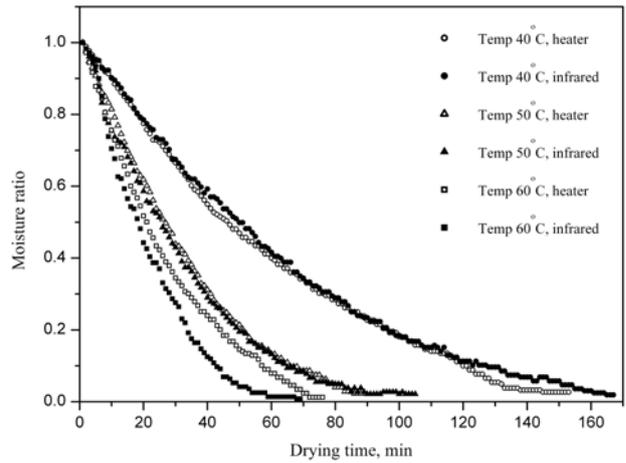
รูปที่ 3 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa



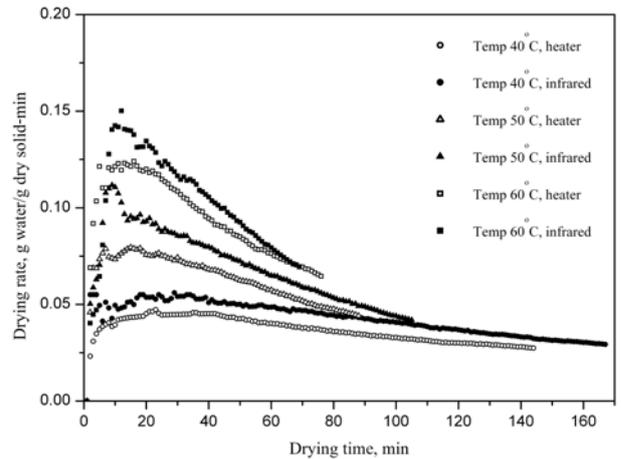
รูปที่ 4 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa



รูปที่ 5 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa



รูปที่ 6 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa



รูปที่ 7 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa

รูปที่ 2-7 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้งบอระเพ็ด ที่เงื่อนไขความดันสัมบูรณ์ต่างๆ จากการทดลองพบว่า ที่ความดันเดียวกัน อัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง พลังงานที่ผลิตภัณฑ์ได้รับจะสูงตามไปด้วย ทำให้อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงได้เร็วกว่า โดยช่วงแรกของการอบแห้ง ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานและยังมี

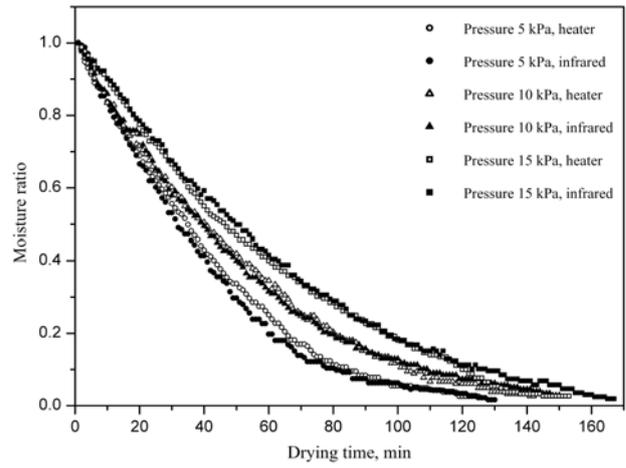
ความชื้นสูง ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทความชื้นจากเนื้อผลิตภัณฑ์สู่ห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว และถูกดูดออกจากห้องอบแห้งโดยปั๊มสุญญากาศ หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยๆ ลดลงจนคงที่ในที่สุด และเมื่อเทียบอัตราส่วนความชื้นที่เวลา และเงื่อนไขการทดลองเดียวกันพบว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด มีอัตราส่วนความชื้นน้อยกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ หรือกล่าวได้ว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดสามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการอบแห้ง พบว่า ที่ภาวะความดันเดียวกัน อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยอัตราการอบแห้งจะสูงขึ้นในช่วง 10 นาทีแรก และเมื่อเทียบที่เวลาและเงื่อนไขการทดลองเดียวกัน พบว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด มีอัตราการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรด ไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งแตกต่างจากฮีตเตอร์ที่ต้องถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลาง ดังนั้น จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่ากรณีใช้หลอดรังสีอินฟราเรด

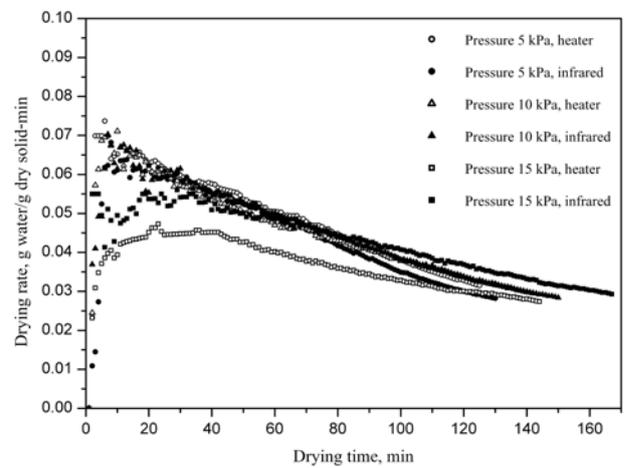
3.2 ผลของความดันสุญญากาศ

รูปที่ 8-13 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น และอัตราการอบแห้งบอระเพ็ด ที่เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้งต่างๆ โดยผลจากการทดลองพบว่า ที่เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน อัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลง เมื่อลดความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้ง โดยภาวะความดันสุญญากาศ มีอิทธิพลต่อจุดเดือดของน้ำ ส่งผลให้ความแตกต่างของความดันไอในห้องอบแห้งและผลิตภัณฑ์ที่แต่ละความดันต่างกัน ทำให้ความสามารถในการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่างกัน โดยน้ำที่ความดันสัมบูรณ์ 5, 10 และ 15 กิโลปาสกาล มีจุดเดือดที่ 32.88, 45.81 และ 53.97°C ตามลำดับ และเมื่อเทียบอัตราส่วนความชื้นที่เวลา และเงื่อนไขการทดลองเดียวกันพบว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด มีอัตราส่วนความชื้นน้อยกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

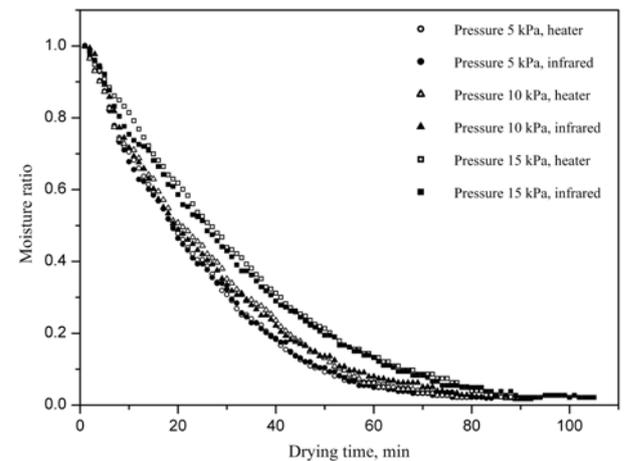
เมื่อพิจารณาถึงอัตราการอบแห้ง พบว่า ที่เงื่อนไขอุณหภูมิเดียวกัน อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อลดความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้ง และเมื่อเทียบอัตราการอบแห้ง ระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ที่เวลาและที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน พบว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด มีอัตราการอบแห้งมากกว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์



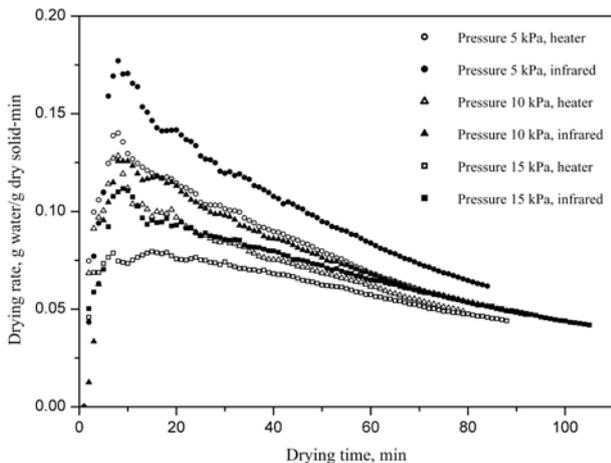
รูปที่ 8 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น ที่อุณหภูมิ 40°C



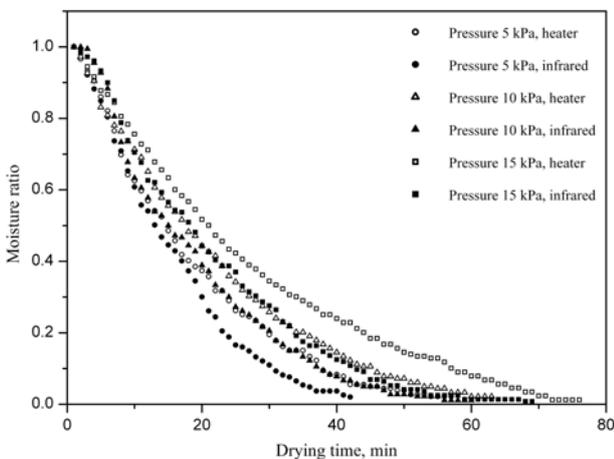
รูปที่ 9 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 40°C



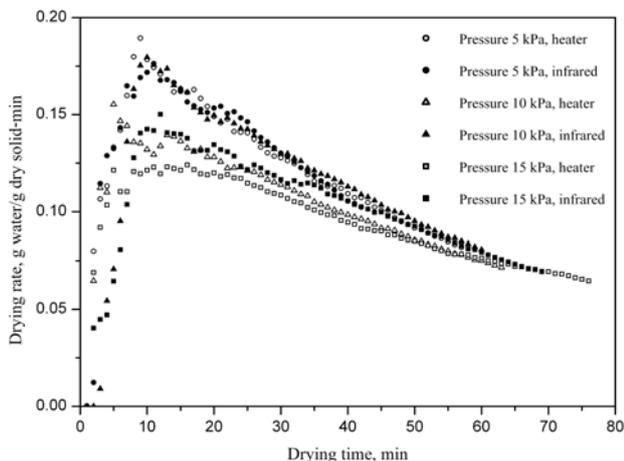
รูปที่ 10 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น ที่อุณหภูมิ 50°C



รูปที่ 11 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50°C



รูปที่ 12 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น ที่อุณหภูมิ 60°C



รูปที่ 13 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60°C

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ตารางที่ 1-2 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ผลการศึกษาทั้ง 2 ส่วน พบว่า ที่เงื่อนไขความดันเดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง โดยการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งช่วยเพิ่มความสามารถใน

การระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยลง ทำให้ใช้พลังงานในส่วนของปั๊มสุญญากาศน้อยลง และยิ่งพบอีกว่า ที่เงื่อนไขอุณหภูมิเดียวกัน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลงเมื่อลดความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ พบว่า ที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดมีค่าน้อยกว่าการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

ตารางที่ 1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด

Drying condition		Extracted water (kg)	Drying time (min)	Energy consumption (kWh)	SEC (kWh/kg)
Pressure (kPa)	Temperature (°C)				
5	40	0.0395	130	0.77	19.49
	50	0.0423	84	0.48	11.34
	60	0.0412	46	0.33	8.01
10	40	0.0412	150	0.85	20.64
	50	0.0407	92	0.65	15.97
	60	0.0416	60	0.48	11.53
15	40	0.0420	167	1.05	25.02
	50	0.0414	105	0.84	20.31
	60	0.0415	69	0.60	14.46

ตารางที่ 2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์

Drying condition		Extracted water (kg)	Drying time (min)	Energy consumption (kWh)	SEC (kWh/kg)
Pressure (kPa)	Temperature (°C)				
5	40	0.0402	125	0.89	22.14
	50	0.0409	79	0.61	14.93
	60	0.0415	57	0.49	11.82
10	40	0.0407	142	0.92	22.60
	50	0.0400	79	0.68	17.00
	60	0.0412	63	0.51	12.38
15	40	0.0402	144	1.19	29.63
	50	0.0401	110	0.89	22.22
	60	0.0418	76	0.61	14.61

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งพืชสมุนไพรด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ จากการศึกษาพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งมีค่าลดลง เมื่อลดความดันสัมบูรณ์และเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง โดยการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดันสัมบูรณ์ 5 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด เท่ากับ 8.01 kWh/kg และยิ่งพบว่า ที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่า

การอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับฮีตเตอร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้หลอดรังสีอินฟราเรดมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนมากกว่าการใช้ฮีตเตอร์ สำหรับการอบแห้งด้วยสุญญากาศ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

1. Jaya, S. and Das, H. "A vacuum drying model for mango pulp", *Drying Technology*, Vol. 21 (7), pp. 1215-1234, 2003.
2. Glouanec, P., Lecharpentier, D. and Noel, H., "Experimental survey on the combination of radiating infrared and microwave sources for the drying of porous material", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 22, pp. 1689-1703, 2002.
3. Nourhene, B., Neila, B., Imen B. S., and Nabil, K., "Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves", *Industrial Crops and Products*, Vol. 29, pp. 412-419, 2009.
4. Vogt M., "Infrared drying lowers energy costs and drying times", *Plastics, Additives and Compounding*, Vol. 9, pp. 58-61, 2007.
5. Chua, K. J. and Chou, S. K., "Low-cost drying methods for developing countries", *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 14, pp. 519-528, 2003.
6. Junling, S., Zhongli, P., Tara, H.M., Delilah, W., Edward, H. and Don, O., "Drying and quality characteristics of fresh and suar-infused blueberries dried with infrared radiation heating", *LWT-Food science and Technology* , Vol. 41, pp. 1962-1972, 2008.