



การอบแห้งดอกบัวด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับ
เทคนิคสุญญากาศและไมโครเวฟ
WATERLILY DRYING USING DESICCANT COMBINED WITH
VACUUM AND MICROWAVE TECHNIQUE

ชาลิณี เพ็ชรนิล^{1*}, ณัฐหทัย แซ่ย่าง², กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์¹

Chalinee Petchnin^{1*}, Nathathai Seayang², Kittisak Witinantakit¹

¹สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 2110

²สถาบันบวรราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 2110

¹School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,
Sriracha, Chonburi, Thailand, 2110

²Waterlily Institute of Rajamangala Tawan-ok, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,
Sriracha, Chonburi, Thailand, 2110

*Corresponding author e-mail: chalinee.pet@mutto.ac.th

วันที่เข้าระบบ 26 ธันวาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 16 มีนาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 21 มีนาคม 2566

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งดอกบัวและสมบัติของดอกบัวก่อนและหลังการอบแห้ง โดยทำการศึกษาการอบแห้งดอกบัวสายพันธุ์โคโลราด้า ด้วยเทคนิคการฝังกลบด้วยซิลิกาทรายร่วมกับเทคนิคสุญญากาศและไมโครเวฟ ดอกบัวที่ใช้ในการอบแห้งคือ ดอกบัวโคโลราด้า โดยมีเงื่อนไขในการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 500 และ 600 วัตต์ และความดันสัมบูรณ์ภายในห้องอบแห้งที่ 5 กิโลปาสกาล จากการทดลองพบว่า กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นมีผลต่อความชื้นที่ลดลงของดอกบัวโดยใช้เวลาในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงแต่ความแตกต่างของสีดอกบัวโดยรวมจะเพิ่มขึ้น โดยการอบแห้งดอกบัวที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 756.06 มาตรฐานแห้ง ที่กำลังไมโครเวฟที่ 600 วัตต์ ใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุด 80 นาที จนมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 5.88 มาตรฐานแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด 0.203 เมกะจูลต่อกรัมน้ำระเหย การอบแห้งด้วยการฝังกลบด้วยซิลิกาทรายอย่างเดียวให้ค่าความแตกต่างของสีดอกบัวโดยรวมน้อยที่สุด 5.22 และเมื่อพิจารณาเฉพาะการอบแห้งด้วยไมโครเวฟพบว่า การอบแห้งดอกบัวที่กำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ ให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมน้อยที่สุด 6.13 นอกจากนี้การอบแห้งดอกบัวทุกวิธีให้ค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

คำสำคัญ: การอบแห้ง, ดอกบัว, ไมโครเวฟ, สุญญากาศ

Abstract

The objective of this research was to study on drying kinetic of waterlily and their properties before and after drying. A study was conducted on the drying of Colorata waterlily by silica sand landfill combined with vacuum and microwave technique. Waterlily were dried with microwave power of 400, 500 and 600 watts and absolute pressure inside the drying chamber at 5 kPa. The study found that higher microwave power results in lower moisture content of waterlily, reduced drying time and specific energy consumption. Whereas, the total color difference of waterlily is increased. Waterlily were dried at an average initial moisture content of 756.06% d.b. (dry basis) until reaching a final moisture content of 5.88% d.b. at a microwave power of 600 watts had the least drying time of 80 minutes and lowest specific waste energy was 0.203 MJ/g_{evaporated water}. Only the desiccant drying techniques gave the lowest total color difference of waterlily of 5.22. Anyway, considering only the microwave drying found that waterlily drying by microwave power at 400 watts gave the lowest total color difference of 6.13. Moreover, all techniques of waterlily drying gave the water activity less than 0.6, which was within the standard.

Keywords: Drying, Waterlily, Microwave, Vacuum

1. บทนำ

ดอกบัวโคโลราต้า (Colorata) ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Nymphaea colorata* ถิ่นกำเนิดเป็นบัวพื้นเมืองทวีปแอฟริกา ลักษณะทั่วไปของบัวโคโลราต้า ใบรูปไข่ ขอบใบหยักไม่เป็นระเบียบ ปลายใบมน ดอกบานจะบานแผ่รูปครึ่งวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางดอก 8-10 เซนติเมตร ดอกซ้อน กลีบเลี้ยงโคนกว้างปลายเรียว กลีบดอกเรียวยาว กลีบดอก สีฟ้าคราม เกสรเพศเมียสีเหลือง ก้านเกสรเพศผู้สีม่วงน้ำเงิน อับเรณูสีม่วง ทอยออกตามกัน บาน 3 วัน บานช่วงเช้าถึงช่วงเย็น หรือช่วงที่มีแสงแดด การบานวันแรกสีจะเข้ม และวันต่อๆ มาสีของดอกบัวโคโลราต้าจะค่อยๆ จางลง (พัชรี, 2564) ทำให้ดอกบัวลดความสวยงามลงไป

บัวเป็นดอกไม้ที่เกี่ยวข้องกับพุทธศาสนา ตั้งแต่สมัยพุทธกาล ชาวพุทธนิยมใช้ดอกบัวในพิธีกรรมทางศาสนา และการประดับตกแต่งเพื่อความสวยงามในงานพิธีต่างๆ สำหรับประเทศไทยและต่างประเทศดอกบัวเป็นดอกไม้ที่ตลาดมีความต้องการสม่ำเสมอและในปริมาณที่มาก แต่ความคงทนของดอกบัวอยู่ได้ไม่นานจะต้องเหี่ยวแห้งลงไป ดังนั้นการเก็บรักษาให้ดอกบัวให้มีความสวยงามคงทนและชื่นชมความงามได้นานๆ เป็นสิ่งที่น่าสนใจ การอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดความชื้น

ของผลิตภัณฑ์ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น การทำให้ดอกไม้แห้งมีหลายวิธี อาทิเช่น การฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายซึ่งเป็นสารดูดความชื้นชนิดหนึ่งที่มีสารประกอบทางเคมีและมีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นออกจากดอกบัว (MacDermot, 1974) โดยใช้เวลาในการฝักรอบดอกบัวประมาณ 7 วัน จึงทำให้ดอกบัวแห้ง สภาพคงเดิม รูปทรงสวยงาม และยังคงความเป็นธรรมชาติของดอกบัวเอาไว้ได้ วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำแต่ใช้ระยะเวลาที่นาน จึงต้องใช้เทคนิคการอบแห้งต่างๆ เพื่อจะลดระยะเวลาในการอบแห้งให้เร็วขึ้นและยังคงสภาพความสวยงามของดอกบัวให้คงความเป็นธรรมชาติ วิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่ำกว่าการอบแห้งด้วยวิธีอื่นๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดีคงความสด และการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและซิลิกาทราย เมื่อความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้งลดลง สามารถลดความชื้นของดอกบัวได้เร็วขึ้นและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง นอกจากนี้ความแตกต่างของสีโดยรวมของดอกบัว มีค่าน้อยกว่าการฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย 7 วัน (วรวิทย์ และกิตติศักดิ์, 2563) ส่วนการฝักรอบดอกบัวด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับการให้ความร้อนจากไมโครเวฟของดอกบัวทำให้รูปร่างและสีของดอกบัวเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (สุภา, 2552) ใช้เวลาในการอบแห้งน้อย และสามารถลดการสูญเสียพลังงานระหว่างการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การนำระบบสุญญากาศมาใช้ร่วมกับไมโครเวฟ (Microwave vacuum drying) เพื่อทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลงเกิดความร้อนในอัตราที่รวดเร็วและใช้เวลาในการอบแห้งเพียงสั้นๆ ทำให้วิธีนี้ช่วยพัฒนาทั้งในด้านการผลิตและคุณภาพของวัตถุดิบได้อย่างดี (ระวิน, 2556)

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

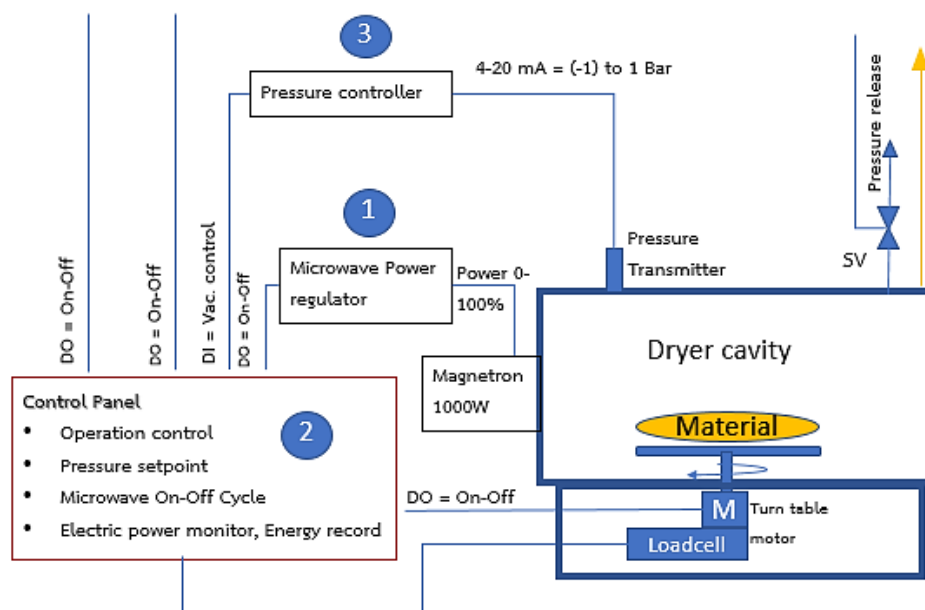
- 2.1 เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ
- 2.2 เพื่อศึกษาสมบัติของดอกบัวก่อนและหลังการอบแห้ง

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟและสารดูดความชื้น โดยมีเงื่อนไขในการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ภายในห้องอบแห้ง 5 กิโลปาสกาล และกำลังไมโครเวฟที่ 400 500 และ 600 วัตต์ (มานะบุตร และคณะ, 2554) โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

3.1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ

เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟมีไดอะแกรมดังภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ

(1) ให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ 0-1000 วัตต์ พร้อมชุดมอเตอร์หมุนถาดอบแห้งและระบบการวัดและควบคุม

(2) ควบคุมอุณหภูมิแบบ PID (Proportional integral derivative control) ความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส ความแม่นยำในการควบคุม ± 2 องศาเซลเซียส เซ็นเซอร์แบบ Thermocouple type k

(3) ควบคุมแรงดันในห้องอบแห้งด้วย Analog real-time pressure transmitter (1) -1 บาร์ สัญญาณ Output 4-20 มิลลิแอมแปร์ อุปกรณ์ควบคุมแรงดันแบบ On-off setpoint ความคลาดเคลื่อน 0.5 กิโลปาสกาล

3.2 วิธีวิจัย

3.2.1 เตรียมซิลิกาทรายประมาณ 500 กรัม แล้วนำไปอบแห้งไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จัดเก็บในกล่องสุญญากาศและทิ้งไว้ให้ซิลิกาทรายเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้อง ดอกบัวที่ใช้ในการทดลองนำมาจากสถาบันบัวราชมงคลตะวันออก โดยจะเก็บดอกบัวที่บานวันแรกในช่วงเช้า เวลา 9.00 น. ของวันที่ทำการทดลอง โดยเลือกดอกบัวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร และมีวิธีการทดลองดังนี้

3.2.2 การอบแห้งด้วยวิธีการฝังกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย การจัดเตรียมวัตถุดิบที่จะทำการทดลองมีขั้นตอนดังนี้



- (1) นำดอกบัวโคโลราด้าตัดก้านในแนวระนาบชิดกับดอกบัว แล้วทำการชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก Digital balance ยี่ห้อ AND รุ่น GF-3000 ความละเอียด 0.01 กรัม
- (2) เตรียมซิลิกาทรายพร้อมใช้งาน 500 กรัม แล้วเทซิลิกาทรายลงในภาชนะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ให้ซิลิกาทรายสูงประมาณ 1.5 เซนติเมตร
- (3) นำดอกบัววางหงายบนซิลิกาทราย จากนั้นค่อยๆ เทซิลิกาทรายลงฝึกลบดอกบัวให้ซิลิกาทรายสูงกว่ายอดดอกบัวประมาณ 1.5 เซนติเมตร แล้วปิดฝาให้สนิทไม่ให้อากาศเข้า
- (4) ครอบกำหนดเวลา 4 ชั่วโมง นำเอาดอกบัวออกจากซิลิกาทรายและใช้แปรงขนอ่อนปัดซิลิกาทรายออกจากดอกบัวแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงความชื้น
- (5) ทำการทดลองด้วยวิธีเดิมโดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของดอกบัวที่เวลา 4 8 12 และ 18 ชั่วโมง และ 1 2 3 4 5 6 และ 7 วัน

3.2.3 การฝึกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายแล้วนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟมีขั้นตอนดังนี้

- (1) เตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง ตั้งค่ากำลังไมโครเวฟที่ 400 วัตต์ โดยตั้งค่าการทำงานของไมโครเวฟเป็นแบบจังหวะ คือ ไมโครเวฟทำงาน 10 วินาที และหยุดทำงาน 40 วินาที (Yangyang *et al.*, 2019)
- (2) เตรียมซิลิกาทรายพร้อมใช้งาน 500 กรัม เทซิลิกาทรายลงในภาชนะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร ให้ซิลิกาทรายสูงประมาณ 1.5 เซนติเมตร
- (3) นำดอกบัววางหงายขึ้นลงบนซิลิกาทราย จากนั้นค่อยๆ เทซิลิกาทรายลงฝึกลบดอกบัวให้ซิลิกาทรายสูงกว่ายอดดอกบัวประมาณ 1.5 เซนติเมตร
- (4) นำภาชนะที่ฝึกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายวางลงบนถาดในห้องอบแห้ง (ไม่ต้องปิดฝาภาชนะ)
- (5) เดินปั๊มสุญญากาศเพื่อทำความดันสุญญากาศในห้องอบแห้งให้ได้ความดันสัมบูรณ์ที่ 5 กิโลปาสกาล และทำการเปิดระบบไมโครเวฟที่ตั้งค่าไว้
- (6) บันทึกน้ำหนักของดอกบัวทุก 10 นาที โดยนำดอกบัวออกจากซิลิกาทรายและใช้แปรงขนอ่อนปัดซิลิกาทรายออกจากดอกบัวแล้วชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัว อบแห้งดอกบัวให้ได้ความชื้นประมาณร้อยละ 5-7 มาตรฐานแห้ง และบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งทำการทดลองด้วยเงื่อนไขเดิมจำนวน 3 ซ้ำ
- (7) ทำการทดลองตามข้อ 1-6 ให้ครบตามขอบเขตการวิจัย คือ ความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้ง 5 กิโลปาสกาล และกำลังไมโครเวฟ 500 และ 600 วัตต์ จำนวน 3 ซ้ำ

3.3 การหาความชื้นของดอกบัวโดยหามวลแห้งตามมาตรฐานของ AOAC (2000) และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของความชื้นร้อยละมาตรฐานแห้งโดยใช้สมการที่ (1)

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

เมื่อ M_d คือ ความชื้น (ร้อยละมาตรฐานแห้ง)
 w คือ มวลสดของดอกบัว (กรัม)
 d คือ มวลแห้งของดอกบัว (กรัม)

และสามารถวิเคราะห์หาอัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) ได้ดังสมการที่ 2

$$DR = \frac{\Delta w}{\Delta t} \quad (2)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (กรัมต่อนาที)
 Δw คือ มวลน้ำที่ระเหย (กรัม)
 Δt คือ เวลาที่เปลี่ยนแปลง (นาที)

3.4 การหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ที่ใช้ในการอบแห้งดอกบัว นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง คือ ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย และปริมาณการใช้พลังงานตลอดกระบวนการทดลองเพื่อนำมาคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งดอกบัว ได้จากสมการที่ (3) (สุภวรรณ และคณะ, 2556)

$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_{in}-m_f} \quad (3)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (เมกะจูลต่อกรัมน้ำระเหย)
 m_{in} คือ มวลของวัสดุก่อนอบแห้ง (กรัม)

m_f คือ มวลของวัสดุหลังอบแห้ง (กรัม)

E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

3.5 การทดสอบคุณภาพสี

การทดสอบคุณภาพสีของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง ใช้เครื่องมือวัดสี 3HN รุ่น Portable colorimeter NH310 ระบบสีที่วัดได้คือ CIE $L^*a^*b^*$ ช่วงการวัดค่าความสว่างของเครื่องมืออยู่ที่ 0-100 อุณหภูมิในการทำงานได้ที่ 0-40 องศาเซลเซียส ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดสีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.04 ค่าความแม่นยำในการวัดซ้ำน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.06 การวัดรูรับแสงใช้ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร โดยจะวัดค่าสี $L^*a^*b^*$ ที่กลีบดอกบัวชั้นกลางและชั้นในของดอกบัวโดยจะวัดที่ตำแหน่งกลางกลีบดอกบัว 2 จุด และนำค่าสีที่วัดได้มาคำนวณค่าความแตกต่างของสีของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้งดังสมการที่ 4 (กิตติศักดิ์ และศรีมา, 2562) รวมทั้งนำค่าสีที่วัดได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (4)$$

เมื่อ ΔE คือ ความแตกต่างของสีโดยรวม

ΔL^* คือ ความแตกต่างของความสว่าง

Δa^* คือ ความแตกต่างของความเป็นสีแดงถึงสีเขียว

Δb^* คือ ความแตกต่างของความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน

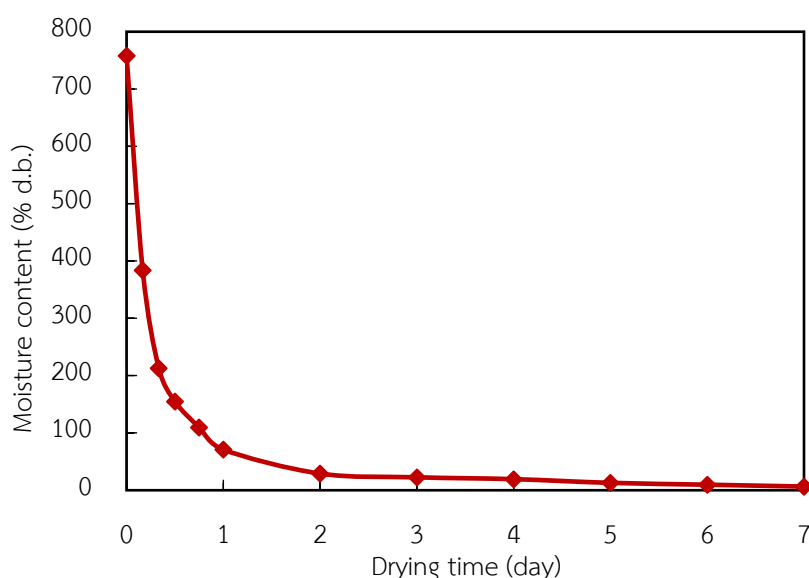
3.6 การทดสอบค่าปริมาณน้ำอิสระ

นำตัวอย่างกลีบของดอกบัวจากการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างกันมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระรุ่น AQUALAB PRE มีช่วงการวัดปริมาณน้ำอิสระ 0.05-1.00 ความละเอียดการแสดงผล ± 0.001 ความแม่นยำ ± 0.01 ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส โดยปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือต่ำกว่า 0.6 แสดงว่าผลิตภัณฑ์จะไม่เกิดราจากการที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตภายใต้ปริมาณน้ำอิสระที่ต่ำ (กิตติศักดิ์ และศรีมา, 2562) ซึ่งมีผลต่ออายุการเก็บรักษาดอกบัวหลังอบแห้ง โดยจะนำตัวอย่างกลีบดอกบัวหลังอบแห้งในแต่ละชั้น คือ นอก กลาง ใน จำนวน 3 กลีบ วางที่ละกลีบลงในภาชนะพลาสติกแล้วใส่ในเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระเพื่อทดสอบและบันทึกค่าที่ได้จากจอแสดงผล และทำการวิเคราะห์ทางสถิติ

4. ผลการวิจัย

4.1 การฝังบลดอกบัวด้วยซิลิกาทราย

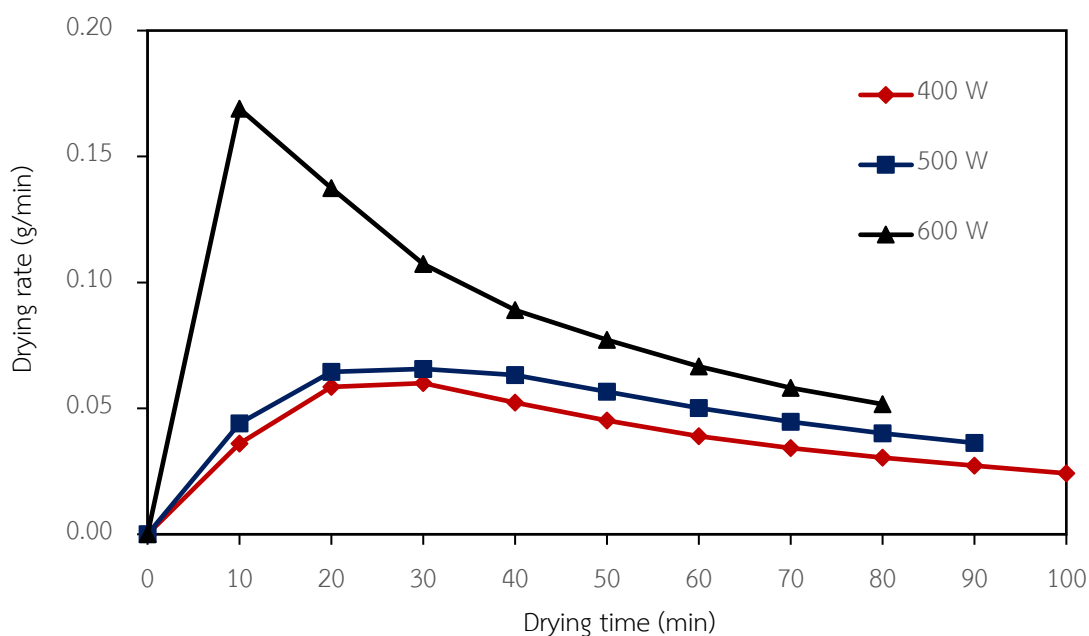
การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่อบแห้งโดยการฝังบลดอกบัวด้วยซิลิกาทรายดังภาพที่ 2 พบว่าความชื้นของดอกบัวจะลดลงอย่างรวดเร็วในวันแรกจากความชื้นเริ่มต้นของดอกบัวร้อยละ 758.06 มาตรฐานแห้ง ลดลงเหลือร้อยละ 70.97 มาตรฐานแห้ง การถ่ายเทความชื้นออกจากผิวดอกบัวจากความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำที่ผิวของดอกบัวกับอากาศโดยรอบ เมื่อความดันไอน้ำบริเวณผิวของสารดูดความชื้นต่ำกว่าอากาศโดยรอบ สารดูดความชื้นจะดูดซับความชื้นจากอากาศไว้ภายในอนุภาคของสารดูดความชื้น หลังจากวันที่ 2 ความชื้นของดอกบัวจะลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากดอกบัวมีความชื้นลดลงมากและซิลิกาทรายส่วนที่อยู่กับดอกบัวเริ่มอิ่มตัวทำให้มีแรงดันไอใกล้เคียงกับดอกบัวและความชื้นดอกบัวเริ่มคงที่จนถึงความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 6.45 มาตรฐานแห้ง ในวันที่ 7 ของการฝังบลดอกบัวด้วยซิลิกาทรายเช่นเดียวกับงานวิจัยของ วรวิทย์ และกิตติศักดิ์ (2563) หลังจากดอกบัวพึ่งบัตั้ถูกฝังบลดอกบัวด้วยซิลิกาทรายความชื้นของดอกบัวลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1-2 วันแรก ซิลิกาทรายมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนทำให้สามารถดูดซับความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถกักน้ำได้มากกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนักซิลิกาทรายแต่หลังจากวันที่ 2-6 ความชื้นของดอกบัวจะลดลงอย่างช้าๆ จนถึงความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ



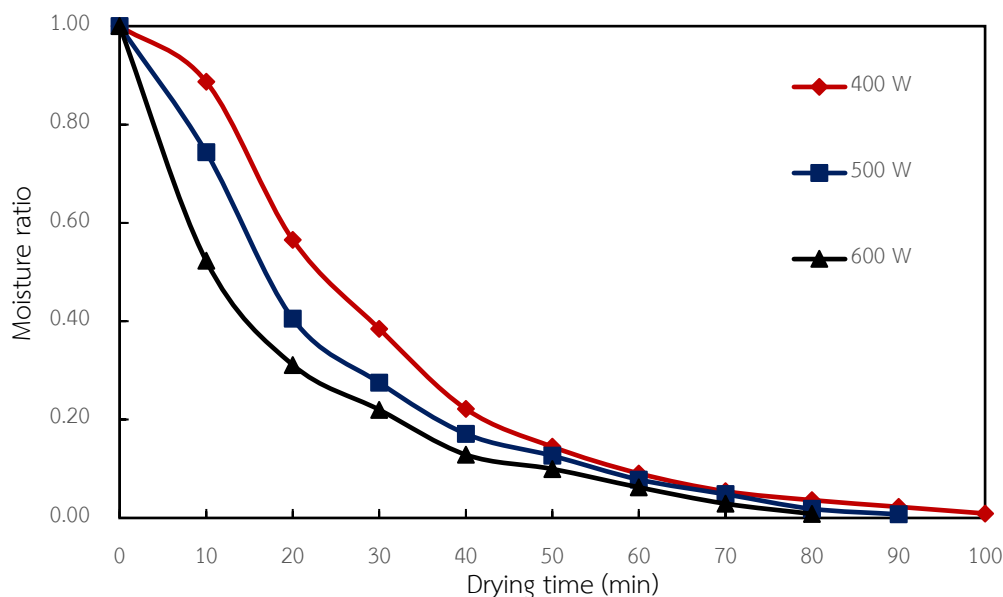
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่อบแห้งโดยการฝังบลดอกบัวด้วยซิลิกาทราย

4.2 การฝังบลดอกบัวด้วยซิลิกาทรายแล้วนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ

การฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายแล้วนำไปอบแห้งในเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟที่กำลังไมโครเวฟ 400 500 และ 600 วัตต์ และความดันสมบูรณ์คงที่ 5 กิโลปาสกาล พบว่า กำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงดังภาพที่ 3 และผลการทดลองพบว่า สภาวะในการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาของการอบแห้งลดลง (Angel *et al.*, 2011) โดยกำลังไมโครเวฟที่ 600 วัตต์ ความชื้นของดอกบัวลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากการอบแห้งที่ระดับพลังงานไมโครเวฟสูงจะทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุระหว่างการอบแห้งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำในวัสดุที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจะเคลื่อนที่ออกจากวัสดุได้อย่างรวดเร็วและใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง (ปานฤทัย และสุจินดา, 2563) รวมถึงอิทธิพลของความดันสุญญากาศจะทำให้ความชื้นของดอกบัวระเหยที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับไมโครเวฟทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในวัสดุพรุณ (ดอกบัว) ค่อนข้างสม่ำเสมอและการถ่ายเทความชื้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (โสภิตา และคณะ, 2559) จากความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของดอกบัวอยู่ที่ร้อยละ 756.06 มาตรฐานแห้งจนความชื้นสุดท้ายลดลงเหลือร้อยละ 5.88 มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด 80 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังไมโครเวฟที่ 400 และ 500 วัตต์ ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้ง 100 และ 90 นาที ตามลำดับ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 อัตราการอบแห้งของดอกบัวที่ฝักรอบด้วยซิลิกาทรายและอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่ฝังบดด้วยซิลิกาทรายและอบแห้งด้วยเทคนิค
สุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟ

4.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของดอกบัวที่ฝังบดด้วยซิลิกาทรายและอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟดังตารางที่ 1 จากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มขึ้นของกำลังไมโครเวฟจาก 400 เป็น 500 วัตต์ และจาก 500 เป็น 600 วัตต์ ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟที่สูงจนถึง 1000 วัตต์ (ค่าสูงสุดของเครื่องอบแห้ง)อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพด้านสีของวัสดุหลังอบแห้ง จึงควรเลือกใช้กำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมต่อวัสดุนั้นๆ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป การใช้กำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามกำลังไมโครเวฟ เวลาในการอบแห้งจึงลดลงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง (Tien & Sirichai, 2022) กำลังไมโครเวฟต่ำส่งผลทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงขึ้น (รัฐศักดิ์ และคณะ, 2560) ส่วนการเพิ่มกำลังไมโครเวฟให้สูงขึ้นทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง (Varith *et al.*, 2007) เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟไปเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของน้ำภายในดอกบัวเกิดการหมุนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วฟ้าอย่างรวดเร็ว ผลของการหมุนนี้ทำให้เกิดการเสียดสีของโมเลกุลของน้ำภายในดอกบัว ก่อให้เกิดความร้อนในดอกบัวได้อย่างรวดเร็ว (ระวิน, 2556) น้ำในดอกบัวระเหยได้ง่ายขึ้นจึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง และการอบแห้งดอกบัวในสถานะความดันสมบูรณ์คงที่ที่ 5 กิโลปาสกาล ส่งผลให้น้ำระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง (วรวิทย์ และกิตติศักดิ์, 2563) ดังนั้นการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ ใช้เวลาในการอบแห้ง 80 นาที โดยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดที่ 0.203 เมกะจูลต่อกรัมน้ำระเหย

ตารางที่ 1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งดอกบัว

กำลังไมโครเวฟ (วัตต์)	เวลาที่ใช้ (นาท)	พลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์ชั่วโมง)	ความชื้น(ร้อยละมาตรฐาน แห้ง)	ความสิ้นเปลืองพลังงาน จำเพาะ(เมกะจูลต่อกรัมน้ำ ระเหย)
400	100	0.506	6.670	0.255
500	90	0.492	5.880	0.225
600	80	0.403	5.880	0.203
การฝักรอบด้วย ซิลิกาทราย	7 วัน	-	6.450	-

4.4 ผลของคุณภาพด้านสีของดอกบัว

คุณภาพด้านสีของดอกบัวหลังการอบแห้งแสดงดังตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบสีของดอกบัวสดกับดอกบัวหลังการอบแห้งแสดงได้ดังภาพที่ 4 ถึงภาพที่ 7 ค่าความสว่างของดอกบัวที่ฝักรอบด้วยซิลิกาทรายและอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 500 และ 600 วัตต์ มีค่าความสว่าง (L) ในช่วง 60.37-67.22 และความเป็นสีแดง (a) และความเป็นสีน้ำเงิน (-b) มีค่าลดลง ส่วนดอกบัวที่ฝักรอบด้วยซิลิกาทรายมีค่าความสว่าง 64.91 และดอกบัวที่อบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ มีค่าความสว่าง 67.22 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความสว่างของดอกบัวสดมากที่สุดแสดงได้ดังภาพที่ 4 และ 5 และการอบแห้งดอกบัวด้วยกำลังไมโครเวฟที่ 500 วัตต์ ค่าความเป็นสีน้ำเงินมีค่าใกล้เคียงกับดอกบัวสดมากที่สุดแสดงได้ดังภาพที่ 6

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของสีโดยรวมพบว่าการฝักรอบด้วยซิลิกาทราย 7 วัน ให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมน้อยที่สุด 5.22 แสดงว่าสีดอกบัวหลังการอบแห้งใกล้เคียงกับดอกบัวสดมากที่สุดแสดงดังภาพที่ 4 ส่วนการอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศและกำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ ให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมใกล้เคียงกับวิธีการฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย โดยมีค่าน้อยที่สุด 6.13 เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งดอกบัวที่ กำลังไมโครเวฟ 500 และ 600 วัตต์ กำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นจาก 400 500 และ 600 วัตต์ ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมเพิ่มขึ้นตามลำดับที่ 6.13 6.90 และ 7.63 ซึ่งค่าความแตกต่างของสีโดยรวมที่มากขึ้นจากกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นจะส่งผลให้สีของดอกบัวหลังอบแห้งมีความแตกต่างกับสีของดอกบัวสดมากขึ้นตามไปด้วยและไม่ใช่ที่ต้องการของตลาด ส่วนการใช้กำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมจะส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสีโดยรวมน้อย ซึ่งจะมีค่าความใกล้เคียงกับสีของดอกบัวสด นอกจากนี้ยังพบว่าสีของดอกบัวหลังอบแห้งด้วย

ไมโครเวฟมีความสม่ำเสมอ (Ricardo *et al.*, 2020) และไม่เกิดการไหม้ที่ผิวของดอกบัว (Ricardo *et al.*, 2015)

ตารางที่ 2 คุณภาพสีของดอกบัวก่อนและหลังการอบแห้ง

วิธีการอบแห้ง	ความชื้น(ร้อยละมาตรฐานแห้ง)	L	a	b	ΔE
ดอกบัวสด	756.06	66.74 $\pm$ 0.64 ^{ab}	11.44 $\pm$ 0.34 ^{ab}	-22.33 $\pm$ 0.57 ^b	N/A
การฝัากลบด้วย ซิลิกาทราย	6.45	64.91 $\pm$ 0.46 ^{bc}	9.38 $\pm$ 0.16 ^b	-17.89 $\pm$ 0.38 ^a	5.22
ไมโครเวฟ 400 วัตต์	6.67	67.22 $\pm$ 0.32 ^a	7.49 $\pm$ 0.26 ^c	-17.67 $\pm$ 0.35 ^a	6.13
ไมโครเวฟ 500 วัตต์	5.88	60.37 $\pm$ 0.30 ^d	9.08 $\pm$ 0.33 ^b	-21.10 $\pm$ 0.20 ^b	6.90
ไมโครเวฟ 600 วัตต์	5.88	63.32 $\pm$ 0.42 ^c	8.32 $\pm$ 0.18 ^{bc}	-16.26 $\pm$ 0.59 ^a	7.63

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



ก่อนอบแห้ง



หลังอบแห้ง

ภาพที่ 4 สีของดอกบัวหลังอบแห้งโดยการฝัากลบด้วยซิลิกาทราย 7 วัน



ก่อนอบแห้ง



หลังอบแห้ง

จ

ภาพที่ 5 สีของดอกบัวที่อบแห้งกำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ ความดันสมบูรณ์ 5 กิโลปาสกาล



ก่อนอบแห้ง



หลังอบแห้ง

ภาพที่ 6 สีของดอกบัวที่อบแห้งกำลังไมโครเวฟ 500 วัตต์ ความดันสมบูรณ์ 5 กิโลปาสกาล



ก่อนอบแห้ง



หลังอบแห้ง

ภาพที่ 7 สีของดอกบัวที่อบแห้งกำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ ความดันสมบูรณ์ 5 กิโลปาสกาล

4.5 ปริมาณน้ำอิสระของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง

การวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำอิสระของดอกบัวหลังอบแห้งทั้ง 2 วิธีการ คือ การทำแห้งดอกบัวด้วยวิธีการฝักรอบซิลิกาทราย 7 วัน และการฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายและอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟที่กำลัง 400 500 และ 600 วัตต์ พบว่าปริมาณน้ำอิสระของดอกบัวหลังอบแห้งอยู่ในช่วง 0.416-0.468 ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 3 โดยมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ มีค่าไม่เกิน 0.6 จุลินทรีย์ประเภทเชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ทำให้สามารถเก็บรักษาดอกบัวอบแห้งไว้ได้นานโดยไม่เกิดความเสียหายจากเชื้อรา (กิตติศักดิ์ และ ศรีมา, 2562)

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำอิสระของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง

วิธีการ อบแห้ง	ความชื้น (ร้อยละมาตรฐานแห้ง)	ปริมาณน้ำอิสระ
ดอกบัวสด	756.06	0.970 ± 0.0051^a
การฝักรอบด้วยซิลิกาทราย	6.45	0.468 ± 0.0067^b
ไมโครเวฟ 400 วัตต์	6.67	0.432 ± 0.0068^{bc}
ไมโครเวฟ 500 วัตต์	5.88	0.416 ± 0.0083^{bc}
ไมโครเวฟ 600 วัตต์	5.88	0.445 ± 0.0119^{bc}

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

5. สรุปผล

การอบแห้งดอกบัวสายพันธุ์โคโลราดาโดยการฝักรอบด้วยซิลิกาทรายแล้วอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟภายใต้สภาวะความดันสมบูรณ์ที่ 5 กิโลปาสกาล และกำลังไมโครเวฟที่ 400 500 และ 600 วัตต์ จากความชื้นเริ่มต้นของดอกบัวประมาณร้อยละ 756.06 มาตรฐานแห้ง จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 5.88-6.67 มาตรฐานแห้ง จากผลการทดลองพบว่า กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาของการอบแห้งลดลง ทำให้ลดความชื้นของดอกบัวได้เร็วขึ้นสามารถอบแห้งได้เร็วกว่าการฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย 7 วัน ซึ่งลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ร้อยละ 79.36-99.20 โดยใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด 80 นาที ที่กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดที่ 0.203 เมกะจูลต่อกรัมน้ำระเหย แต่เมื่อพิจารณาในด้านคุณภาพของดอกบัว พบว่า กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นจะทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าน้อยลงแต่จะทำให้ความแตกต่างของสีโดยรวมมากขึ้น ดังนั้นการอบแห้งดอกบัวที่กำลังไมโครเวฟต่ำ

(400 วัตต์) จะมีคุณภาพสีใกล้เคียงกับดอกบัวสดมากที่สุดซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาด คือ มีความแตกต่างของสีโดยรวมน้อยที่สุดที่ 6.13 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการฝังบสดดอกบัวด้วยซิลิกาทราย 7 วัน มากที่สุด และมีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกและสถาบันบวรราชมงคลตะวันออก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ วิจิณนทกิตต์, และศรีมา แจ้คำ. (2562). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งข้าด้วย
สุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด. **วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**, 9(3), 29-43.
- ปานฤทัย เมฆะ, และสุจินดา ศรีวัฒนะ. (2563). สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟและ
การสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกสมบัติทางเคมีกายภาพของดอกอัญชัน (*Clitoria ternatea* L.).
วารสารวิทยาศาสตร์ มศว., 36(2), 197-215.
- พัชรี ญาณสาร. (2564). **ดอกบัวโคโรลาต้า**. พิพิธภัณฑ์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ค้นหาจาก <http://www.lotus.rmutt.ac.th/?p=10473>
- มานะบุตร ศรีรงค์, มณฑนา บัวหนอง, ณ นพชัย ชาญศิลป์, ภูรินทร์ อัครกุลธร, และเฉลิมชัย วงอารี.
(2554, ธันวาคม). **คุณภาพของกลีบดอกบัวมั่งกลีบอบที่ทำแห้งด้วยวิธีการอบแห้งไมโครเวฟ
ร่วมกับการฝังบสดในซิลิกาเจล**. เอกสารนำเสนอในที่ประชุมสัมมนาวิชาการการพัฒนาบัวให้เป็น
พืชเศรษฐกิจ ครั้งที่ 9 ในงานมหกรรมพืชสวนโลกเฉลิมพระเกียรติราชพฤกษ์ 2554, ณ โรงแรม
เซ็นทารา ดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่.
- ระวิน สืบคำ. (2556). เทคโนโลยีความชื้น. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**, 23(2),
500-512.
- รัฐศักดิ์ พรหมมาศ, โศภิตา สังข์สุนทร, และณิชาภา มินาบูลย์. (2560). การอบข้าวสารชุบสีสมุนไพร
ด้วยคลื่นไมโครเวฟ. **วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยจุลจอมเกล้า**, 15(15), 79-89.
- วรวิมล มานะงาน, และกิตติศักดิ์ วิจิณนทกิตต์. (2563). การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบ
พัลส์และอินฟราเรดร่วมกับการฝังบสดในซิลิกาทราย. **วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**, 10(3),
86-98.

- โศภิตา สังข์สุนทร, ดนุสรณ์ ขาติเชยแดง, และวัชรพงศ์ บุญครอง. (2559). ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศในการอบแห้งสับประรด. **วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยจุลจอมเกล้า**, 14(14), 159-170.
- สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล, สลิลลา ชาญเขียว, และยุพธนา ฐิระวณิชกุล. (2556). การอบแห้งใบบัวบกเพื่อผลิตใบบัวบกแห้งซึ่งดื่มด้วยการแพร่รังสีอินฟราเรด: จลนพลศาสตร์ความชื้นเปลี่ยนแปลงพลังงานและคุณภาพ. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 18(2), 311-324.
- สุภา จุฬคุปต์. (2552). **การพัฒนาคอกบัวสดอบแห้ง**. รายงานการวิจัย สาขาคหกรรมศาสตร์คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- Angel, C., Antoni, S., Adam, F., Klaudiusz. J., Maciej, A., Angel, A., & Carbonell, B. (2011). Effects of vacuum level and microwave power on rosemary volatile composition during vacuum-microwave drying. **Journal of Food Engineering**, 103, 219-227.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Maryland: Gaithersburg; 2000.
- MacDermot, E. (1974). Preserving flower with silica gel, In dried flower design, **Botanic garden record plant and gardens**, 30, 7-11.
- Ricardo, M., Aline, G., Jade, L., Bruno, C., & Joao, L. (2020). Microwave vacuum drying of foods with temperature control by power modulation. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 65, 1-11.
- Ricardo, M., Bruno, C., Antonio, J., & Joao L. (2015). How to make a microwave vacuum dryer with turntable. **Journal of Food Engineering**, 166, 276-284.
- Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A., & Achariyaviriya, S. (2007). Combined microwave-hot air drying of peeled longan. **Journal of Food Engineering**, 81, 459-468.
- Yangyang, J., Ibrahim, K., Lanlan, H., Wei, Z., Jin, L., Kaikai, L., & Chunmei, L. (2019). Influence of three different drying techniques on persimmon chips' characteristics: A comparison study among hot-air, combined hot-air-microwave, and vacuum-freeze drying techniques. **Food and Bioprocess Processing**, 118, 67-76.