

การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์และอินฟราเรด ร่วมกับการฝังในซิลิกาทราย

WATER LILY DRYING USING PULSED VACUUM-INFRA-RED COMBINED WITH SILICA SAND EMBEDDING

วรวิทย์ มานะงาน¹ และ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิจ²

¹นักศึกษา, หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 43 ม.6 ต. บางพระ อ. ศรีราชา

จ. ชลบุรี 2110, worawut.mana@gmail.com

²อาจารย์, หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 43 ม.6 ต. บางพระ อ. ศรีราชา

จ. ชลบุรี 2110, k_yong28@hotmail.com

Worawut Manangan¹ and Kittisak Witinantakit²

¹Student, Master of Engineering Program (Energy Technology) School of Engineering and
Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, 43 Moo 6 Bangpra
Subdistrict, Sriracha District, Chonburi 2110, Thailand, worawut.mana@gmail.com

² Lecturer, Master of Engineering Program (Energy Technology) School of Engineering and
Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, 43 Moo 6 Bangpra
Subdistrict, Sriracha District, Chonburi 2110, Thailand, k_yong28@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการอบแห้งดอกบัวอุบลชาติยืนต้น (พื้ง บัวดี) ด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์และอินฟราเรดร่วมกับการฝังดอกบัวในซิลิกาทราย ที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 °C ความดันสัมบูรณ์ 5 และ 15 kPa และอัตราส่วนพัลส์ 12:2 และ 15:4 เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และความแตกต่างของสีดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง จากการศึกษาพบว่า เมื่อความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้งลดลงจาก 15 kPa เป็น 5 kPa และอัตราส่วนพัลส์ลดลงจาก 12:2 เป็น 15:4 ส่งผลให้ความชื้นของดอกบัวลดลงได้เร็วขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง และการลดความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้งจาก 15 kPa เป็น 5 kPa มีแนวโน้มทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความแตกต่างของสีดอกบัวก่อนและหลังอบแห้งลดลง นอกจากนี้การอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa อัตราส่วนพัลส์ 15:4 ใช้เวลาในการ

อบแห้งน้อยที่สุด 8 ชั่วโมง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด $0.74 \text{ MJ/g}_{\text{water evap.}}$ และมีความแตกต่างของสีดอกบัวก่อนและหลังอบแห้งน้อยที่สุด ($\Delta E=2.68$)

คำสำคัญ: ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, ดอกบัว, สุญญากาศแบบพัลส์, อินฟราเรด

ABSTRACT

This research was to study drying of hardy waterlily (Pink Beauty) by vacuum pulse and infrared combined with embed by silica sand. This research was conducted by drying temperature at 40°C , absolute pressure at 5 kPa and 15 kPa and vacuum pulse ratio at 12:2 and 15:4. Objectives of this research were to study of drying kinetic, specific energy consumption and change of color of Pink Beauty. The results revealed drying time was decreased and reduction rate of moisture of Pink Beauty was increased by reduce absolute pressure from 15 kPa to 5 kPa and decrease vacuum pulse ratio from 12:2 to 15:4. Moreover, reduction of absolute pressure from 15 kPa to 5 kPa affected to decrease of specific energy consumption and total color difference (ΔE) of Pink Beauty. However, drying of Pink Beauty by vacuum pulse ratio of 15:4 at absolute pressure 5 kPa effected to shortest drying time at 8 hour, lowest specific energy consumption at $0.74 \text{ MJ/g}_{\text{water evap.}}$ and minimal total color difference ($\Delta E=2.68$).

KEYWORDS: Specific energy consumption, Water lily, Pulsed vacuum, Infrared

1. บทนำ

ดอกบัวฝรั่ง (Pink beauty) เป็นบัวฝรั่งหรืออุบลชาติยืนต้น (Hardy waterlily) จัดอยู่ในวงศ์ *Nymphaeaceae* สกุล (*Nymphaea*) และสกุลย่อย *Nymphaea* มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่นและเขตร้อน เช่น ยุโรปและอเมริกา มีลักษณะปลายกลีบดอกแหลมกว้างและสีขาวอมชมพู มีจำนวนดอกต่อต้นสูงคือ 6 ดอก การปลูกพันธุ์บัวฝรั่งในประเทศไทยจะเป็นการทดแทนการนำเข้าพันธุ์มาจากต่างประเทศ และเพื่อนำมาประดับตกแต่งสวนหรืออาคารสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งมูลค่าของบัวฝรั่งในตลาดโลกจะขึ้นอยู่กับสีของกลีบดอกและรูปทรงดอก ซึ่งจัดเป็นสินค้าเพื่อส่งออกที่มีอนาคตดี ตลาดต่างประเทศต้องการสูง [1] แต่การเก็บรักษาดอกบัวโดยการนำโคนแช่น้ำในแจกันจะมีอายุในการบานของดอกไม่เกิน 3 วัน กลีบจะเกิดการเหี่ยวเฉาและก้านที่นิ่มอ่อน ดังนั้นการศึกษาวิธีการยืดอายุหรือคงสภาพสวยงามของดอกบัวได้ยาวนานขึ้นเหมือนดอกบัวสด ซึ่งวิธีการลดความชื้นหรือการอบแห้งดอกบัวเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรได้ยาวนานขึ้น การทำให้แห้งมีหลายวิธี เช่น การฝักรอบดอกไม้วัยทวายแห้ง [2] หรือการนำซิลิกา

ทรายซึ่งเป็นสารดูดความชื้นชนิดหนึ่งที่มีสารประกอบทางเคมีและมีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นออกจากดอกไม้ เช่น การฝักรับดอกบัวพันธุ์ลงชวัญพบว่าการใช้เวลาการทำแห้งภายในระยะเวลา 7 วัน [3] วิธีการนี้สามารถรักษารูปทรงและสีสดได้ใกล้เคียงกับดอกบัวสด และเป็นวิธีที่ง่ายและค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก [2, 3]

การใช้เทคนิคการอบแห้งสุญญากาศ (Vacuum drying, VD) เป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้มีอัตราการอบแห้งสูง เพราะในกระบวนอบแห้งที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ส่งผลให้ความดันไอน้ำในอากาศลดลง ผลต่างระหว่างความดันไอน้ำที่เกิดกับผลิตภัณฑ์และอากาศมีมากขึ้น จึงทำให้อัตราการถ่ายเทน้ำภายในมายังผิวของผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นได้ง่าย วิธีการทำแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์ (Pulsed vacuum drying, PVD) เป็นการเปลี่ยนแปลงสภาวะของความดันในห้องอบแห้งแบบเป็นจังหวะระหว่างความดันสุญญากาศ (Vacuum pressure, P_v) กับความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure, P_a) ทำให้ช่องว่างหรือรูพรุนขนาดเล็กในวัสดุ (Porous media) ขยายตัวส่งผลให้น้ำภายในวัสดุแพร่ออกไปยังผิวของวัสดุได้ง่ายขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นและเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งวัสดุที่มีความไวต่อความร้อนสูง [4] นอกจากนี้การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งรังสีอินฟราเรดสามารถทะลุทะลวงผ่านเข้าไปยังโครงสร้างภายในเนื้อของวัสดุ ทำให้โมเลกุลของวัสดุนั้นเกิดการสั่นสะเทือนมากกว่าปกติ ทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอน้ำและแพร่ออกไปยังผิวของวัสดุ [5] ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวของวัสดุ ทำให้ผิวนอกไม่ถูกทำลายจากความร้อน รังสีอินฟราเรดยังให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็วและแผ่รังสีกระจายอย่างสม่ำเสมอทำให้อัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้น [6-7] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์และอินฟราเรดร่วมกับการฝักรับดอกบัวในซิลิกาทราย คุณภาพด้านสี และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งดอกบัว

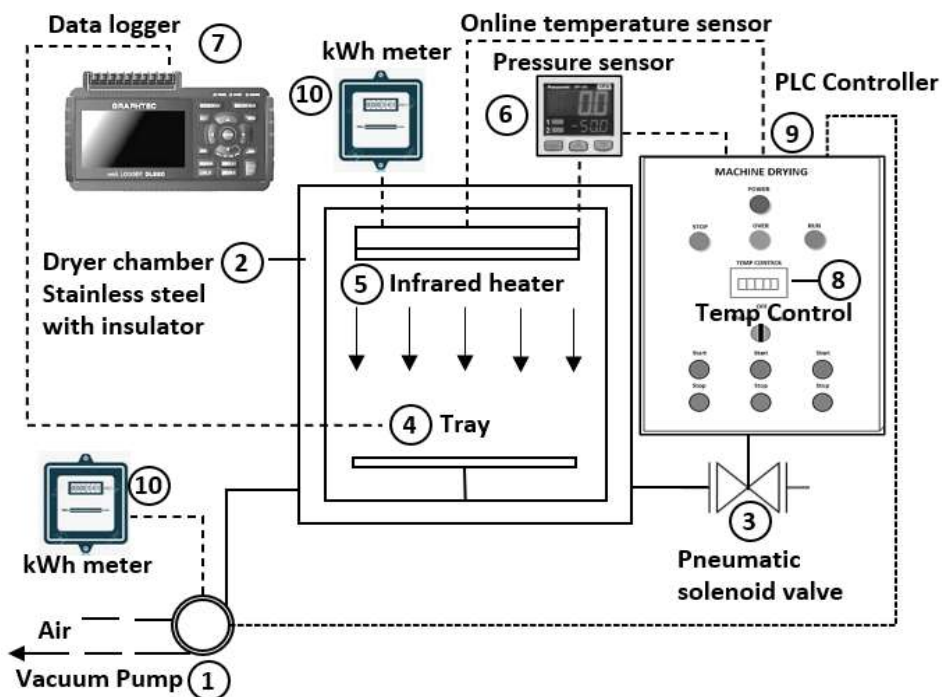
2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบพัลส์

เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดระดับห้องปฏิบัติการดังรูปที่ 1 การประกอบไปด้วย

- 1) บั๊มสุญญากาศ (Busch-PB 0008 B) ขนาดมอเตอร์ 0.35 kW ทำความดันสุญญากาศได้ถึง 0.2 kPa
- 2) ห้องอบแห้งทรงกระบอก วัสดุทำด้วย Stainless steel ขนาด 40 cm สูง 60 cm หุ้มด้วยฉนวนหนา 2 cm
- 3) วาล์วปรับความดัน Pneumatic pressure รุ่น ADK11-15A-02C-AC200V ทำงานความดันช่วง 0.02 ถึง 1.0 MPa
- 4) ถาดวางผลิตภัณฑ์ขนาด กว้าง x ยาว x สูง (30 x 30 x 2 cm)
- 5) หลอดอินฟราเรด Infrapara รุ่น A-1-220 ขนาด 250 W จำนวน 4 หลอด โดยกำหนดระยะห่างระหว่างอินฟราเรดกับผลิตภัณฑ์อบแห้ง ประมาณ 20 cm
- 6) มาตรวัดความดันสุญญากาศ

แบบ Digital ยี่ห้อ Panasonic รุ่น DP-100 อ่านค่าได้ละเอียด -100 ถึง 100 kPa และใช้ร่วมกันกับ บีมสัญญาณและชุดควบคุม PLC Controller เพื่อสร้างความดันแบบพัลส์ 7) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger, Graphtec midi logger รุ่น GL220) ซึ่งรับสัญญาณจากสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ช่วงอุณหภูมิ -200 ถึง 1250 °C 8) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (PID temperature controller, Omron รุ่น E5CC) สามารถตรวจจับอุณหภูมิของอินฟราเรดช่วง 10 ถึง 260 °C รองรับการแสดง 4 อินพุต 0 ถึง 20 mA เชื่อมต่อกับสายสัญญาณจากสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่มาจากหลอดอินฟราเรดและชุดอุปกรณ์ควบคุม PLC 9) ชุดอุปกรณ์ควบคุม PLC (Mitsubishi รุ่น FX1s-20MT) ความละเอียด ± 0.01 °C รับสัญญาณอนาล็อก 12 อินพุต สามารถเขียนคำสั่งผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นชุดควบคุมการทำงานหลักของความดันแบบพัลส์และอุณหภูมิในห้องอบแห้ง 10) Killowatt hour meter วัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งอ่านค่าละเอียด 0.01 kWh

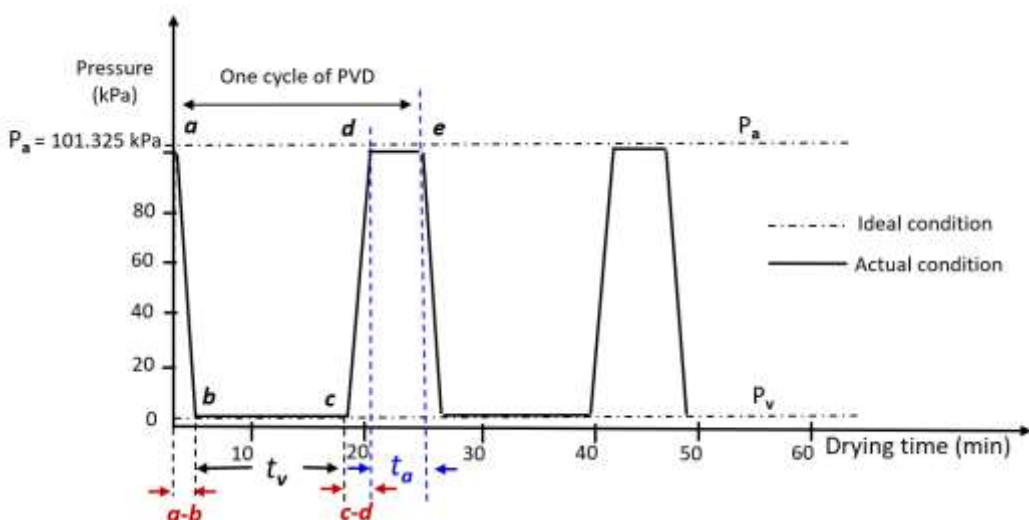


รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบพัลส์ร่วมกับอินฟราเรด

2.2 การทำงานของระบบสุญญากาศแบบพัลส์

กระบวนการทำงานของสุญญากาศแบบพัลส์ (PVD) แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) จุด a-b เป็นการสร้างความดันสุญญากาศในระหว่างนั้นความดันในห้องอบแห้งลดลงจากความดัน

บรรยากาศ ($P_a = 101.325$ kPa) ไปที่ความดันสัมบูรณ์ที่ต้องการ (P_v) โดยวาล์วปรับความดันอยู่ในตำแหน่งปิด 2) จุด $b-c$ เป็นการรักษาความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้งที่ P_v 3) จุด $c-d$ เป็นการเพิ่มความดันสัมบูรณ์จาก P_v เป็น 101.325 kPa อย่างรวดเร็วโดยการเปิดวาล์วความดันและปั๊มสุญญากาศหยุดทำงาน 4) จุด $d-e$ เป็นการรักษาความดันบรรยากาศที่ 101.325 kPa ซึ่งระบบ PVD จะทำงานจากจุด $a-e$ หลายรอบจนกว่าวัสดุจะได้รับความชื้นที่ต้องการ [8] โดย t_v คือ ช่วงเวลาที่เป็นความดันสุญญากาศเริ่มจากจุด $b-c$ และ t_a คือ ช่วงเวลาที่เป็นความดันบรรยากาศเริ่มจากจุด $d-e$ (min) และกำหนดให้สัดส่วนระหว่างช่วงเวลาที่เป็นความดันสุญญากาศและความดันบรรยากาศว่าอัตราส่วนพัลส์ ($t_v:t_a$) ดังรูปที่ 2

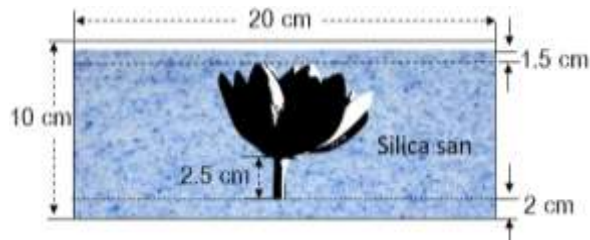


- จุด $a-b$ และ $c-d$ คือ ช่วงเวลาที่เปลี่ยนความดันจาก P_a เป็น P_v และ P_v เป็น P_a ตามลำดับ

รูปที่ 2 คาบเวลาความดันสุญญากาศและบรรยากาศจากจุด a ถึง e

2.3 วิธีการทดลอง

เตรียมซิลิกาทรายประมาณ 1 kg ใส่ภาชนะแล้วนำไปอบแห้งไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิประมาณ 33°C ส่วนดอกบัวที่จะนำมาอบแห้ง จะเก็บดอกบัวที่บานวันแรกในช่วงเวลา 9:00 น. โดยเลือกดอกบัวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 cm แล้วตัดก้านดอกบัวในแนวระนาบให้เหลือความยาวก้าน 2.5 cm นำดอกบัวไปซังน้ำหนักโดยใช้เครื่องซังแบบดิจิตอล (ความละเอียด 0.01 g) จากนั้นนำเทซิลิกาทรายใส่ในภาชนะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm ให้สูงประมาณ 2 cm นำดอกบัวมาวางหงายแล้วค่อยเทซิลิกาทรายกลบดอกบัวให้มิด แสดงดังรูปที่ 3 โดยมีการอบแห้ง 3 วิธี ดังนี้



รูปที่ 3 การฝังกลบดอกบัวในภาชนะ

1) การฝังกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายโดยปิดฝาภาชนะที่ฝังกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายให้สนิท เมื่อครบระยะเวลา 4 8 12 และ 18 ชั่วโมง และทุก ๆ 1 วัน จนครบ 7 วัน นำดอกบัวออกจากซิลิกาโดยใช้ฟุ้งกันชนอ่อนปัดซิลิกาทรายออกให้หมด แล้วชั่งน้ำหนักดอกบัว จากนั้นนำดอกบัวไปหาความชื้น

2) การอบแห้งด้วยเทคนิคสูญญากาศ (VD) ร่วมกับอินฟราเรดและซิลิกาทราย โดยวางภาชนะที่ฝังกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายในห้องอบแห้ง (ไม่ต้องปิดฝาภาชนะ) ตั้งค่าอุณหภูมิในห้องอบที่ 40 °C และความดันสัมบูรณ์ที่ต้องการ (5 และ 15 kPa) บันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เหนือระดับผิวทราย 1.5 cm และบันทึกน้ำหนักของดอกบัวทุก 1 ชั่วโมง โดยนำดอกบัวออกจากซิลิกาทรายแล้วใช้ฟุ้งกันชนอ่อนปัดซิลิกาทรายออกให้หมด จากนั้นนำดอกบัวไปหาความชื้น และบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งด้วย Killowatt hour meter และทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

3) การอบแห้งด้วยเทคนิคสูญญากาศแบบพัลส์ (PVD) ร่วมกับอินฟราเรดและซิลิกาทราย โดยตั้งค่าการควบคุมความดันในห้องอบแห้งเป็นแบบพัลส์ที่อัตราส่วนพัลส์ ($t_p:t_a$) 12:2 และ 15:4 [8] และทำการทดลอง บันทึกค่าน้ำหนักของดอกบัวและการใช้พลังงานไฟฟ้าเหมือนกับวิธีในข้อที่ 2

2.4 การหาความชื้นของดอกบัว

นำดอกบัวที่ต้องการหาความชื้นไปชั่งน้ำหนัก (w) แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนและที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [9] เพื่อหาน้ำหนักแห้ง (d) แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห้ง ดังสมการที่ (1)

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

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%d.b.) w คือ น้ำหนักของวัสดุสด (g) และ d คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง (g)

2.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ที่ใช้ในการอบแห้งดอกบัว สามารถหาได้โดยใช้ค่าน้ำหนักดอกบัวก่อนและหลังอบแห้งและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม มาคำนวณดังสมการที่ 2 [10]

$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_{in} - m_f} \quad (2)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/g_{water evap.}) E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง (kWh) และ m_{in} และ m_f คือ น้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังอบแห้ง (g) ตามลำดับ

2.6 การทดสอบคุณภาพสีของดอกบัว

การทดสอบคุณภาพด้านสีของดอกบัวด้วยเครื่อง 3HN รุ่น Portable colorimeter NH310 ระบบสีที่วัดได้ คือ CIE L*a*b* ใช้แสงสว่างที่ 6500 K ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดสีน้อยกว่า 0.04 (ΔE^*ab) ค่าความแม่นยำในการวัดซ้ำน้อยกว่า 0.07 (ΔE^*ab) ของค่าเฉลี่ย 30 ครั้งของการวัด ช่วงอุณหภูมิการวัด -10 ถึง 40 °C ช่วงความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 85% โดยจะวัดค่าสี L a b ที่กลีบดอกบัว ชั้นใน ชั้นกลาง และชั้นนอก ที่ตำแหน่งโคน กลาง และปลายกลีบดอกบัว ซึ่งแต่ละการทดลองใช้ 18 ตัวอย่าง แล้วนำค่าสีที่วัดได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ และคำนวณหาความแตกต่างโดยรวมระหว่างสีของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง (ΔE) ดังสมการที่ (3) [5] ซึ่งดอกบัวหลังอบแห้งที่มีค่า ΔE น้อยที่สุด คือ เงื่อนไขการอบแห้งนั้นให้ค่าสีดอกบัวใกล้เคียงกับสีดอกบัวสดมากที่สุด

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (3)$$

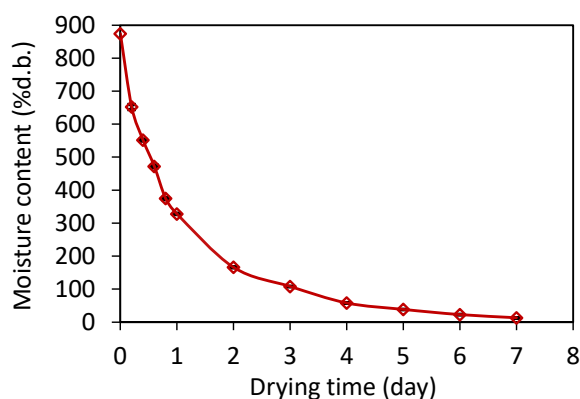
เมื่อ ΔE คือ ความแตกต่างโดยรวมของสี ΔL คือ ความแตกต่างของความสว่าง Δa คือ ความแตกต่างของความเป็นสีแดงถึงสีเขียว Δb คือ ความแตกต่างของความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน

3. ผลการวิจัย

3.1 การอบแห้งดอกบัวแบบการผึ่งกลบด้วยซิลิกาทราย

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่ถูกผึ่งกลบด้วยซิลิกาทราย แสดงดังรูปที่ 4 ผลการทดลองพบว่า ความชื้นเริ่มต้นของดอกบัวมีค่า 874.07 %d.b. หลังจากถูกผึ่งกลบด้วยซิลิกาทราย

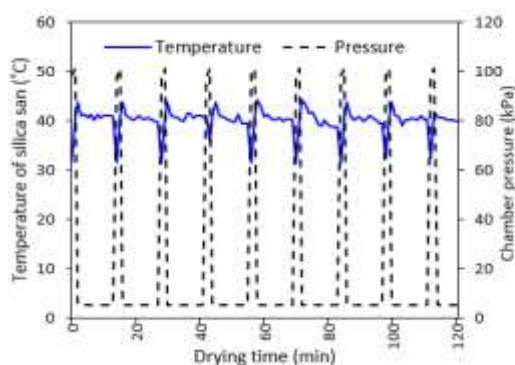
ความชื้นของดอกบัวลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1-2 วันแรก เนื่องจากแรงดันไอน้ำที่ผิวของดอกบัว และซิลิกาทรายมีค่าแตกต่างกันมาก [3] และซิลิกาทรายมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนทำให้สามารถดูดซับความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถกักน้ำได้มากกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนักตัวเอง แต่หลังจากวันที่ 2-6 ความชื้นของดอกบัวจะลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากซิลิกาทรายรอบๆ ดอกบัวเริ่มอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ทำให้การดูดซับความชื้นที่ระเหยออกจากดอกบัวช้าลง หลังจากการฝักรอบดอกบัวด้วยซิลิกาทรายถึงวันที่ 7 ซึ่งดอกบัวจะมีความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการ [2] ความชื้นของดอกบัวจะลดลงเหลือ 13.11 %d.b



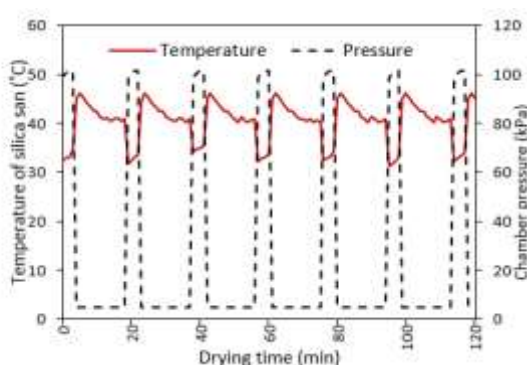
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่อบแห้งโดยการฝักรอบด้วยซิลิกาทราย

3.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันในห้องอบแห้งในการอบแห้งแบบ PVD ร่วมกับอินฟราเรดและซิลิกาทราย

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันในห้องอบแห้งที่การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์และอุณหภูมิอบแห้ง 40°C แสดงดังรูปที่ 5 ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งแบบ PVD ที่อัตราส่วนพัลส์ 12:2 ดังรูปที่ 5(ก) ใน 1 รอบการทำงาน อุณหภูมิในห้องอบแห้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและคงที่ที่ 40°C ขณะเดียวกันความดันในห้องอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วจนความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้งมีค่าคงที่ที่ 5 kPa เมื่อครบช่วงเวลา t_v (12 min) ความดันในห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเท่ากับความดันบรรยากาศ ขณะเดียวกันอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะลดลงใกล้เคียงกับสิ่งแวดล้อมที่ 33°C เนื่องจากอากาศแวดล้อมถ่ายเทเข้าสู่ห้องอบแห้ง และเมื่อครบช่วงเวลา t_a (2 min) ซึ่งครบ 1 รอบการทำงานสุญญากาศแบบพัลส์ ระบบ PVD จะทำงานซ้ำขั้นตอนเดิมจนกว่าจะสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง [8] ส่วนรูปที่ 5(ข) ที่อัตราส่วนพัลส์ 15:4 ก็มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันในห้องอบแห้งเหมือนกับรูปที่ 5(ก)



(ก) อัตราส่วนพัลส์ 12:2

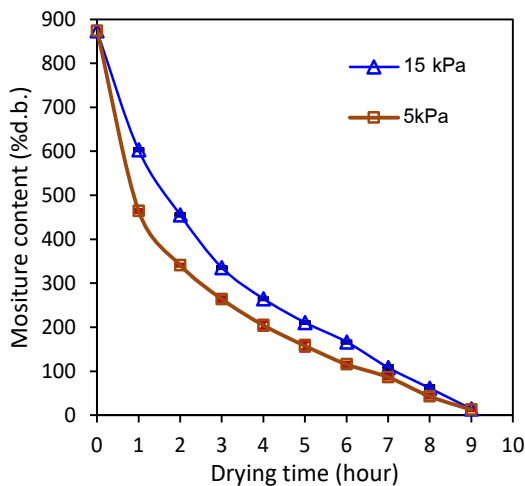


(ข) อัตราส่วนพัลส์ 15:4

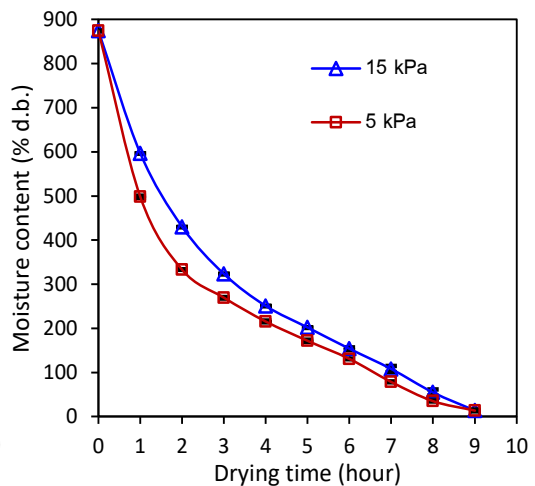
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันในห้องอบแห้ง ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa และอัตราส่วนพัลส์ 12:2 และ 15:4

3.3 การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศ (VD) และสุญญากาศแบบพัลส์ (PVD) ร่วมกับอินฟราเรดและซิลิกาทราย

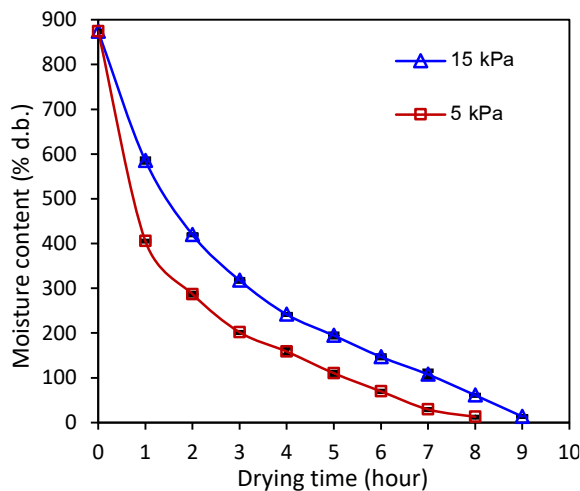
การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่อบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศ (VD) อุณหภูมิอบแห้ง 40 °C และความดันสัมบูรณ์ 5 และ 15 kPa ดังรูปที่ 6(ก) ซึ่งแสดงเป็นค่าความชื้นเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง ผลการทดลองพบว่า ช่วง 1-2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากภายในดอกบัวมีความชื้นที่สูง หลังจากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงความชื้นสุดท้ายประมาณ 13 %d.b. เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความดันสัมบูรณ์จาก 15 เป็น 5 kPa ความชื้นของดอกบัวจะลดลงได้อย่างรวดเร็วกว่าและใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง เนื่องจากความดันสุญญากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจุดเดือดของน้ำ ซึ่งที่ความดันสัมบูรณ์ 5 และ 15 kPa จุดเดือดของน้ำ คือ 32.88 และ 53.97 °C ตามลำดับ [5-7] นอกจากนี้การอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์ (PVD) ที่อัตราส่วนพัลส์ 12:2 และ 15:4 ดังรูปที่ 6(ข) และ 6(ค) ตามลำดับ ซึ่งแสดงเป็นค่าความชื้นเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้ง มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวเหมือนรูปที่ 6(ก) และยังพบว่า การอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa แบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 15:4 ใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุด 8 ชั่วโมง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของความดันในห้องอบแห้งแบบเป็นจังหวะระหว่างความดันสุญญากาศ (P_v) กับความดันบรรยากาศ (P_a) และการเพิ่มช่วงเวลา (t_v : t_a) ให้มากขึ้นเป็น 15:4 ทำให้ช่องว่างหรือรูพรุนขนาดเล็กในวัสดุขยายตัว ส่งผลให้น้ำภายในดอกบัวแพร่ออกไปยังผิวของวัสดุได้ง่ายขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น [8] และเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งดอกบัวแบบเดิม คือ การฝังกลบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย 7 วัน พบว่าการอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์ สามารถลดเวลาในการอบแห้งได้ถึงร้อยละ 95.24



(ก) แบบ VD



(ข) แบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 12:2

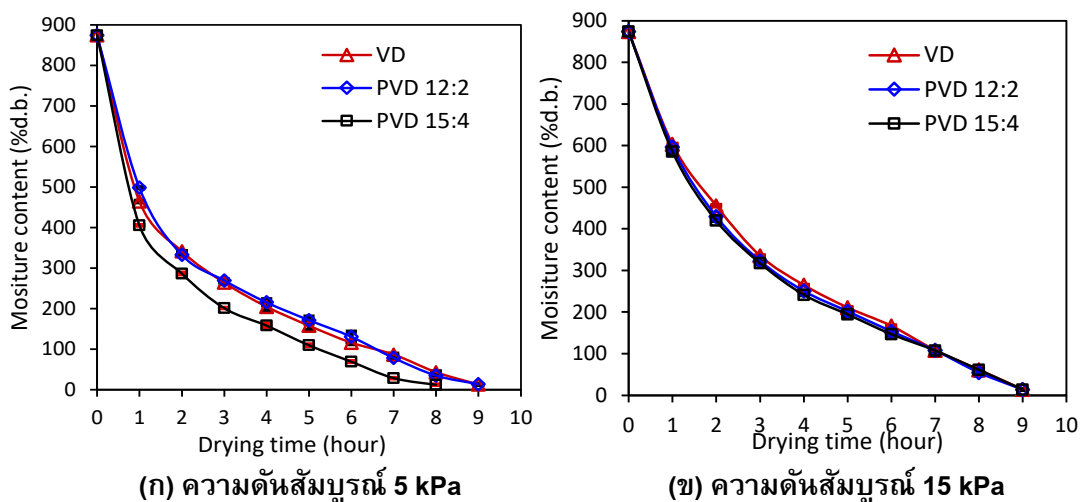


(ค) แบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 15:4

รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่อบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบ VD และ PVD อัตราส่วนพัลส์ 12:2 และ 15:4

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 °C และความดันสัมบูรณ์ 5 kPa แสดงดังรูปที่ 7(ก) ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งแบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 15:4 ปริมาณความชื้นของดอกบัวลดลงได้เร็วที่สุดและใช้เวลาอบแห้งสั้นที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบ VD และการอบแห้งแบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 12:2 เนื่องจากที่ความดันสุญญากาศจะเกิดการถ่ายเทความชื้นจากวัสดุสู่ห้องอบแห้งอย่างรวดเร็วและถูกดูดออกด้วยปั๊มสุญญากาศ และการเปลี่ยนสภาวะความดันในห้องอบแห้งเป็นความดันบรรยากาศทำให้

อากาศที่แห้งและเย็นกว่าจากภายนอกถูกดูดเข้ามาในห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำที่ผิวของดอกบัวระเหยสู่อากาศแห้งเนื่องจากความดันไอน้ำของดอกบัวต่ำกว่าอากาศแห้ง และที่อัตราส่วนพัลส์ 15:4 เป็นการเปลี่ยนแปลงสภาวะที่มีช่วงเวลา (t_d) มากพอจนอากาศจากภายนอกซึ่งแห้งกว่าเข้ามาแทนที่สภาวะภายในห้องอบแห้งซึ่งมีความชื้นมากกว่าส่งผลให้การขจัดน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้น [8] และจากรูปที่ 7(ข) ที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa พบว่าการอบแห้งทั้ง 3 วิธี มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดอกบัวภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 5 และ 15 kPa

3.4 ผลของคุณภาพด้านสีของดอกบัว

คุณภาพด้านสีของดอกบัวหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบ VD และ PVD แสดงดังตารางที่ 1 ผลการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสีของดอกบัวสด ค่าความสว่างของดอกบัวหลังอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa มีค่าความสว่าง (L) ในช่วง 79.08-79.64 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับค่าความสว่างของดอกบัวสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าความสว่างของดอกบัวหลังอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa และการฝังบลดอกบัวด้วยซิลิกาทราย 7 วัน มีค่าลดลง ส่วนค่าสีแดง (a) และสีน้ำเงิน (-b) ของดอกบัวหลังอบแห้งมีแนวโน้มลดลงทุกการทดลอง โดยเฉพาะสีน้ำเงินจะแตกต่างกับดอกบัวสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศทุกการทดลองมีค่าความแตกต่างโดยรวมของสีดอกบัวน้อยกว่าการฝังบลดอกบัวด้วยซิลิกาทราย 7 วัน และการอบแห้งดอกบัวที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa (น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 32.88°C) [5] แบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 15:4 ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด 8 ชั่วโมง ส่งผลให้ความแตกต่าง

โดยรวมของสีดอกบัวมีค่า 2.68 ซึ่งน้อยที่สุด แสดงว่าดอกบัวหลังอบแห้งด้วยเงื่อนไขนี้มีสีใกล้เคียงกับสีของดอกบัวสดมากที่สุด

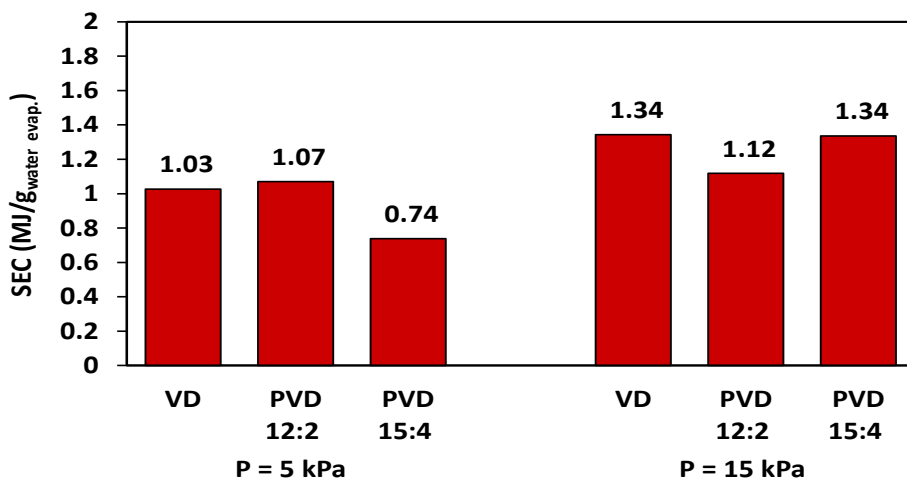
ตารางที่ 1 คุณภาพสีของดอกบัวก่อนและหลังอบแห้ง

วิธีการอบแห้ง		ความชื้นสุดท้าย (%d.b.)	L	a	b	ΔE
ดอกบัวสด		874.07	79.59±1.9 ^c	14.07±1.14 ^c	-6.47±0.40 ^a	N/A
ผงซิลิกาทราย 7 วัน		13.11	76.91±1.66 ^b	10.27±1.42 ^a	-3.03±0.61 ^f	5.77
5 kPa	VD	12.57	79.64±1.68 ^c	11.13±1.38 ^a	-3.23±1.29 ^{ef}	4.26
	PVD 12:2	13.65	75.17±3.27 ^a	14.56±5.22 ^c	-4.79±0.80 ^c	4.75
	PVD 15:4	12.67	79.08±1.31 ^c	12.94±1.50 ^{bc}	-4.10±0.75 ^d	2.68
15 kPa	VD	13.97	76.19±1.67 ^{ab}	11.63±1.32 ^{ab}	-5.52±0.62 ^b	4.28
	PVD 12:2	13.52	79.17±1.54 ^c	11.68±1.34 ^{ab}	-3.76±0.93 ^{de}	3.64
	PVD 15:4	13.71	78.61±1.44 ^c	11.58±1.06 ^{ab}	-3.64±0.13 ^{def}	3.89

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

3.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ของการอบแห้งดอกบัวที่อุณหภูมิ 40°C ภายใต้ความดันสูญญากาศและความดันสูญญากาศแบบพัลส์ ดังรูปที่ 8 ผลการทดลองพบว่า การลดความดันสัมบูรณ์ให้ต่ำลงจาก 15 เป็น 5 kPa ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลง เนื่องจากที่สภาวะความดันสัมบูรณ์ต่ำ น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำลงด้วย ส่งผลต่อความสามารถในการระเหยของน้ำของดอกบัวที่เพิ่มขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง [5-7] นอกจากนี้การอบแห้งดอกบัวที่ความดันสัมบูรณ์ 15 kPa ทั้งแบบ VD และ PVD มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะไม่แตกต่างกันมากนัก แต่การอบแห้งดอกบัวที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa อัตราส่วนพัลส์ 15:4 มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 0.74 MJ/g_{water evap.} ซึ่งต่ำที่สุดอย่างชัดเจน โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งแบบ VD และ PVD อัตราส่วนพัลส์ 12:2 ร้อยละ 30.84-32.04 เนื่องจากที่อัตราส่วนพัลส์ 15:4 ส่งผลต่อการระเหยน้ำของดอกบัวได้ดีกว่า ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยลงตามไปด้วย



รูปที่ 8 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งดอกบัว

4. สรุป

การอบแห้งดอกบัวสายพันธุ์พื้งบิวตี้โดยการฝั้กอบด้วยซิลิกาทรายแล้วนำไปอบแห้งด้วยเทคนิคสูญญากาศแบบพัลส์และอินฟราเรด ภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 5 และ 15 kPa และอุณหภูมิอบแห้ง 40 °C จากความชื้นเริ่มต้นของดอกบัวประมาณ 874.07 %d.b จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 12.57-13.97 %d.b. จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้งลดลงจาก 15 เป็น 5 kPa ทำให้สามารถลดความชื้นของดอกบัวได้เร็วขึ้นและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง การอบแห้งดอกบัวแบบ PVD ที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa และอัตราส่วนพัลส์ 15:4 สามารถอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งแบบ VD และการฝั้กอบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย 7 วัน ร้อยละ 11.11 และ 95.24 ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด 0.74 MJ/g_{water evap.} นอกจากนี้คุณภาพด้านสีของดอกบัวที่อบแห้งด้วย VD และ PVD มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของดอกบัวน้อยกว่าการฝั้กอบดอกบัวด้วยซิลิกาทราย 7 วัน โดยเฉพาะการอบแห้งดอกบัวที่ความดันสัมบูรณ์ 5 kPa แบบ PVD อัตราส่วนพัลส์ 15:4 มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของดอกบัวน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก และสถาบันบัวราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

References

- [1] Kitsanachandee R. Comparison of hardy waterlily cultivars and new hybrid lines in 3 seasons. *Agricultural Science Journal* 2016;47(2)(Suppl.):321-4. (In Thai)
- [2] Sriyong M, Buanong M, Chansilpa N, AkaraKhunthon P, Wongs-Aree C. Petal quality of Mangkala Ubon waterlily dried by microwave combined with silica gel embedding. *Academic Conference of the 9th Development of the Lotus into the Economic Crop; 2011 December 21-23; Chiangmai, Thailand; 2011. p. 28-33. (In Thai)*
- [3] Chantasang K, Sitranon J, Jaekhom S, Saeyang N, Witinantakit K. Kinetics of water lily drying using vacuum-infrared techniques and desiccant. *Proceeding of the 8th Conference National University Chombueng Research; 2020 March 01; Ratchaburi, Thailand; 2020. p. 1800-9. (In Thai)*
- [4] Luampon R, Supakarn S, Theerakulisut S. Heat and moisture transfer equations for a vacuum drying. *KKU Research Journal* 2016;16(2):1-14. (In Thai)
- [5] Jaekhom S, Witinantakit K. Mathematical modeling of combined infrared and vacuum drying of galangals. *Kasem Bundit Engineering Journal* 2019;9(3):29-43. (In Thai)
- [6] Keeratiyadathanapat N, Toomthong P. Hang-rice drying using infrared vacuum technique. *Proceeding of National Academic Conference Innovation and Technology; 2017 December 25-10; Surin, Thailand; 2017. p. 983-6. (In Thai)*
- [7] Rungsawang S, Jaekhom S, Uengkimbuan N, Witinantakit K. Shiitake mushroom drying using vacuum and infrared radiation technique. *Proceedings of the 12th Conference on Energy Network of Thailand; 2016 June 8-10; Phitsanulok, Thailand; 2016. p. 1591-6. (In Thai)*
- [8] Chang C, Hongwei X, Weipeng Z, Zhenjiang G, Zhian Z, Zhongli P. Pulsed vacuum drying (PVD) technology improves drying efficiency and quality of Poria cubes. *Drying Technology Journal* 2018;36(8):908-21.
- [9] AOAC (Association of Official Analytical Chemists). *Official Methods of Analysis*. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Maryland: Gaithersburg; 2000.
- [10] Tirawanichakul S, Chanchiew S, Tirawanichakul Y. Pennywort drying using infrared radiation drying kinetics, energy consumption and quality aspect. *KKU Research Journal* 2013;18(2):311-24. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ

วรวุฒิ มานะงาน ตำแหน่ง นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทรศัพท์ 080-074-7072 Email: worawut.mana@gmail.com



กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ ตำแหน่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทรศัพท์ 086-386-1885 Email: k_yong28@hotmail.com

Article History:

Received: October 26, 2020

Revised: December 16, 2020

Accepted: December 21, 2020