

จลนพลศาสตร์ในการอบแห้งกุ้งฝอยด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน Kinetic of Drying of Lanchester's Freshwater Prawn by Microwave- Hot air Combination

มงคลชัย คำปากดี^{1*}, ไมตรี พลสงคราม¹, วิรัตน์ หวังเชือกกลาง¹ และการิณย์ หอมชาติ¹
Mongkolchai Kampagdee^{1*}, Maitree Polsongkram¹, Virat Whangkuanklang¹ and
Karan Homchad¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา จลนพลศาสตร์, ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ และค่าสีในการอบแห้งกุ้งฝอยด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ และไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่เงื่อนไขการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 °C ความหนาแน่นไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ 3, 4.5 และ 6 Wg⁻¹ และความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่ความเร็วลมคงที่ 1 ms⁻¹ กุ้งฝอยมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 70 %w.b. ทำการทดลองอบแห้งกุ้งฝอยจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 20 %w.b. ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียวที่อุณหภูมิลมร้อน 70 °C ใช้เวลาอบแห้งสั้นที่สุด 60 min การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 Wg⁻¹ ที่ใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุด 28 min และการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 Wg⁻¹ ร่วมกับอุณหภูมิลมร้อน 70 °C ใช้เวลาอบแห้งน้อยที่สุด 16 min สำหรับค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะการอบแห้งกุ้งฝอยที่ดีที่สุด คือ การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 Wg⁻¹ เพียงอย่างเดียว มีอัตราการใช้พลังงานในการระเหยน้ำ เท่ากับ 4.4 kJg⁻¹ ค่าสีการอบแห้งด้วยลมร้อนมีค่าความสว่าง L* มากกว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟและไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน สำหรับค่าสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) จะมีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมจะมีค่าสูงขึ้นตามความหนาแน่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น สำหรับเงื่อนไขการอบแห้งกุ้งที่ดีที่สุดคือ การอบแห้งกุ้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวที่เงื่อนไขการทดลองความเข้มข้น 6 Wg⁻¹ ซึ่งใช้เวลาอบแห้ง 28 min และมีอัตราการใช้พลังงานในการระเหยน้ำ เท่ากับ 4.4 kJg⁻¹

คำสำคัญ : กุ้งฝอย, ไมโครเวฟ, การอบแห้ง, การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

*Corresponding author e-mail: mongkolchai.ka@gmail.com

Abstract

This research is study of kinetics, specific energy consumption and color of lanchester's freshwater prawn of drying by microwave-hot air combination. There different condition were hot air microwave 3 level are 50, 60 and 70 °C, density microwave 3 level are 3, 4.5 and 6 Wg⁻¹ and density microwave-hot air combination. The hot air velocity for all experiment was fixed at 1 ms⁻¹. The study drying of lanchester's freshwater prawn, The initial moisture content was about of 70 percent wet basis until the final moisture content to 20 °C wet basis. The results showed that hot air drying takes the shortest drying time about 60 min at hot air temperature 70 °C, density microwave drying takes the shortest time about 28 min at density microwave 6 Wg⁻¹ and microwave-hot air combination drying takes the minimum drying time about 16 min at microwave density 6 Wg⁻¹ with the hot air temperature 70 °C combination. For specific energy consumption, lobster drying showed that The best specific energy consumption is the drying condition by microwave density at 6 Wg⁻¹. The energy consumption rate in the water evaporator is 4.4 kJg⁻¹. Color value of hot air drying, L * brightness, rather than microwave and microwave-hot air combination. For the red color (a *) and the yellow color (b *) will be higher than hot air drying by will be higher as the microwave density increases. For shrimp drying conditions, the best is Microwave drying of shrimp by microwave alone at the 6 Wg⁻¹ concentration test condition. The drying time was 28 min and the energy consumption rate in the water evaporator was 4.4 kJg⁻¹.

Key word: lanchester's freshwater prawn, Microwave, Drying, drying of microwave-hot air combination

บทนำ

กุ้งฝอย (*Macrobrachium lanchesteri*) เป็นกุ้งน้ำจืดขนาดเล็กที่พบได้ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ซึ่งนิยมนำมาทำอาหารกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายรูปแบบ นอกจากนี้กุ้งฝอยยังนิยมนำมาแปรรูปทำเป็นกึ่งแห้งเพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน โดยที่กุ้งสามารถรักษารสชาติและสีของกุ้งไว้ได้โดยไม่ทำให้เกิดเน่าเสีย

การอบแห้งด้วยวิธีการพาความร้อนเป็นวิธีดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมและมีการใช้อบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมาตั้งแต่อดีต ซึ่งการอบแห้งด้วยการพาลมร้อนใช้หลักการถ่ายเทความร้อนจากลมร้อนสู่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จากนั้นจึงแพร่ความร้อนเข้าไปยังภายในของผลิตภัณฑ์ (Fu et al., 2017) ซึ่งการอบแห้งด้วยการพาลมร้อนนี้เป็นเทคนิคการอบแห้งที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในระดับโลก อย่างไรก็ตามนักวิจัยหลายคนชี้ให้เห็นว่าการที่ผลิตภัณฑ์สัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดความเสียหาย ต่อคุณสมบัติ รสชาติ กลิ่น และสี ของผลิตภัณฑ์ (Suwit et al., 2015) เพื่อป้องกันการสูญเสียของคุณภาพผลิตภัณฑ์ในการอบแห้งดังที่กล่าวมา ได้มีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เช่น อินฟราเรด ไมโครเวฟ ซึ่งนักวิจัยได้นำไปใช้ทำการทดลองอย่างแพร่หลาย (Das and Arora, 2018) การอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ เป็นการอบแห้งด้วยคลื่นความถี่ของสนามแม่เหล็ก เมื่อโมเลกุลที่มีขั้วอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีคลื่นความถี่ โมเลกุลภายในผลิตภัณฑ์จะเกิดการหมุนและเกิดการชนกระแทกกันระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดความร้อนอย่างรวดเร็ว ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์นี้สามารถส่งถ่ายมวลความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ออกมายังผิวหน้าอย่างรวดเร็วและสามารถประหยัดพลังงานมากกว่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน (Serowik et al., 2018) แต่การอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟมีข้อเสียคือการกระจายอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอซึ่งเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งซึ่งเป็นผลมาจากการกระจายพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ไม่สม่ำเสมอ (Song et al., 2016) จากข้อด้อยของแต่ละวิธีการอบแห้ง ได้มีการนำเทคนิคการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟและลมร้อนมาทำงานร่วมกัน เพื่อแก้ไขข้อเสียของแต่ละวิธีการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น (Aiquan et al., 2013)

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีต่ออุณหภูมิ ค่าพลังงานจำเพาะ และค่าสี ของการอบแห้งกุ้งฝอยด้วยลมร้อน, ไมโครเวฟ และไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยเป้าหมายของงานวิจัย คือ ได้กุ้งฝอยอบแห้งที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 20 %w.b. และมีสีเหลืองสวยงาม

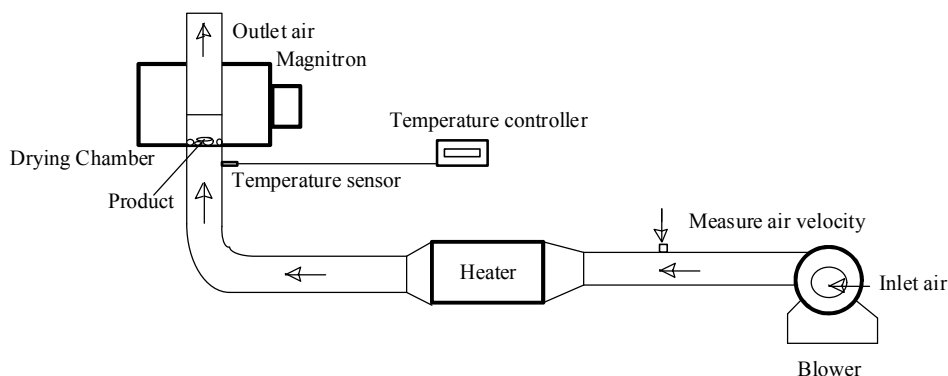
วิธีการทดลอง

1 การเตรียมตัวอย่างกุ้งฝอย

กุ้งฝอยที่ใช้ทดลองจัดซื้อจากตลาด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา นำมาล้างให้สะอาด แล้วนำมาลวกน้ำเดือดประมาณ 3 min จากนั้นตักขึ้นมาพักไว้ให้แห้ง 30 min และนำตัวอย่างที่ได้ไปหาความชื้น โดยนำกุ้งฝอยไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C นาน 24 h ตามมาตรฐานของ AOAC (AOAC, 1995)

2. เครื่องอบแห้งกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน

เครื่องอบแห้งกึ่งฝอย มีหลักการทำงาน คือ อากาศจากภายนอกจะถูกดูดด้วยพัดลมดูดอากาศของเข้ามาภายในเครื่องอบแห้ง จากนั้นอากาศจะถูกส่งผ่านไปยังห้องที่มีตัวทำความร้อนไฟฟ้าเพื่อให้อากาศเกิดการถ่ายเทความร้อนจากตัวทำความร้อนทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามเงื่อนไขทดลองอบแห้ง จากนั้นอากาศร้อนจะถูกส่งเข้าไปยังห้องอบแห้งเพื่อทดการอบแห้งกึ่งฝอย โดยการควบคุมอุณหภูมิอบแห้งจะถูกตรวจวัดค่าอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลที่ทางเข้าของห้องอบแห้ง เพื่อส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมให้อุณหภูมิในการอบแห้งคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3. การทดลองการอบแห้ง

3.1 การอบแห้งกึ่งฝอยด้วยลมร้อน

การทดลองอบแห้งกึ่งฝอยด้วยลมร้อน ทำการตั้งค่าอุณหภูมิอบแห้งตามเงื่อนไขทดลอง 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 °C ตามลำดับและเปิดเครื่องอบแห้งไว้ 15 min จากนั้นนำตัวอย่างกึ่งฝอยที่เตรียมไว้ 100 g เข้าห้องอบและทำการอบแห้งกึ่งฝอยนาน 15 min จากนั้นนำกึ่งฝอยที่อบแห้งออกมาชั่งและทำการจดบันทึกค่าน้ำหนัก เมื่อชั่งเสร็จแล้วนำกึ่งฝอยกลับเข้าเครื่องอบแห้งทำการอบแห้งต่อ 15 min ทำอย่างนี้จำนวน 4 ครั้ง จากนั้นทำการเพิ่มระยะเวลาในการอบแห้งกึ่งฝอยเป็น 30 min ทำเช่นนี้จนกระทั่งกึ่งฝอยอบแห้งมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 20 %w.b. ซึ่งเป็นค่าที่ได้นำค่ากึ่งแห้งตามท้องตลาดมาทดลองหาความชื้น

3.2 การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ และไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

การทดลองอบแห้งกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟและการอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ทำการตั้งค่าเครื่องอบแห้งโดยทำการตั้งค่าของความหนาแน่นไมโครเวฟ 3 ระดับ และอุณหภูมิของลมร้อน 3 ระดับ ตามเงื่อนไขการทดลอง เปิดเครื่องไว้ 15 min จากนั้นนำตัวอย่างกึ่งฝอยหนัก 10 g ใส่ในภาชนะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm นำมาวางในห้องอบแห้งและทำการอบแห้งกึ่งฝอยนาน 4 min จากนั้นนำออกมาจากห้องอบแห้งมาแล้วส่มตัวอย่างเพื่อนำไปอบหาความชื้นและบันทึกผลการอบแห้ง ทำการทดลองอบแห้งกึ่งแห้งอีกครั้งโดยใช้ตัวอย่างกึ่งฝอยใหม่โดยเพิ่มเวลาการอบแห้งขึ้นครั้งละ 4 min

นำออกมาสุ่มตัวอย่างและนำตัวอย่างไปอบหาความชื้น ทำการทดลองซ้ำจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายกึ่งฝอยเท่ากับ 20 %w.b.

4. การวิเคราะห์การอบแห้ง

4.1 ค่าความชื้น (Moisture content, M)

คือ ค่าที่บ่งบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เทียบกับมวลของผลิตภัณฑ์ ความชื้นในผลิตภัณฑ์เป็นความชื้นฐานเปียก (Wet basis, M_w) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$M_w = \frac{w-d}{w} \times 100$$

(1)

เมื่อ M_w คือ ความชื้นฐานเปียก (%w.b.) w คือ มวลเปียกของวัสดุ (kg) d คือ มวลแห้งของวัสดุ (kg)

4.2 อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR)

คือ ค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำภายในผลิตภัณฑ์เทียบกับปริมาณความชื้นเริ่มต้นเมื่อเวลาการอบแห้งที่เวลาใดๆ ดังสมการที่ 2 (Diamante et al., 1993)

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_o - M_{eq}}$$

(2)

เมื่อค่าความชื้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้น ($M_{eq} \ll M_o$) และความชื้นที่เวลาใดๆ ($M_{eq} \ll M_t$) จึงค่าความชื้นสมดุลในสมการข้างต้น ทำให้สามารถเขียนสมการได้ ดังสมการที่ 3 (Jalal et al., 2018)

$$MR = \frac{M_t}{M_o}$$

(3)

เมื่อ M_o คือ ความชื้นเริ่มต้น M_t คือ ความชื้น ที่เวลาใด ๆ และ M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล เป็นเปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง (%w.b.)

5. ค่าสีของกึ่งฝอยภายหลังการอบแห้ง

การทดสอบคุณภาพสี ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น color CFEZ 0939 ค่าสีที่วัดใช้ระบบการวัด CIE (L^* a^* b^*) โดยมีค่าความสว่าง (Lightness, L^*) ค่าความเป็นสีแดง (Redness, a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness, b^*) มีค่าบ่งชี้ถึงความสว่าง มีสีแดง และมีความเป็นสีเหลือง ตามลำดับ ขณะที่ค่า L^* a^* และ b^* มีค่าลบ หมายถึง ค่าความมืด มีความ

เป็นสีเขียวและมีความเป็นสีน้ำเงิน ตามลำดับ ซึ่งใช้วัดสี สำหรับการหาค่า L^* a^* และ b^* ของผักแต่ใหม่ภายหลังอบแห้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

6. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (Specific energy consumption)
สามารถหาได้จากสมการ (4) (Hassan et al., 2018)

$$SEC = \frac{E_{microwave} + E_{blower} + E_{heater}}{(M_i - M_f)}$$

(4)

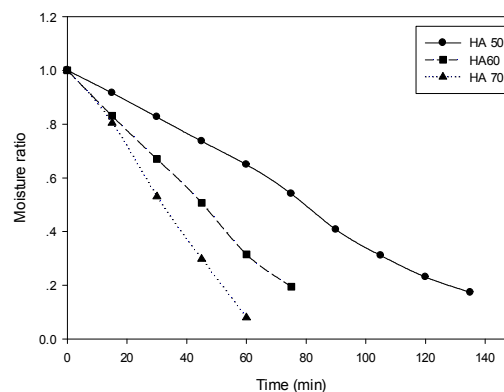
เมื่อ E คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW) M_i และ M_f คือ มวลความชื้นเริ่มต้นและมวลความชื้นสุดท้าย (g)

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

1.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้งกึ่งฝอยด้วยลมร้อน

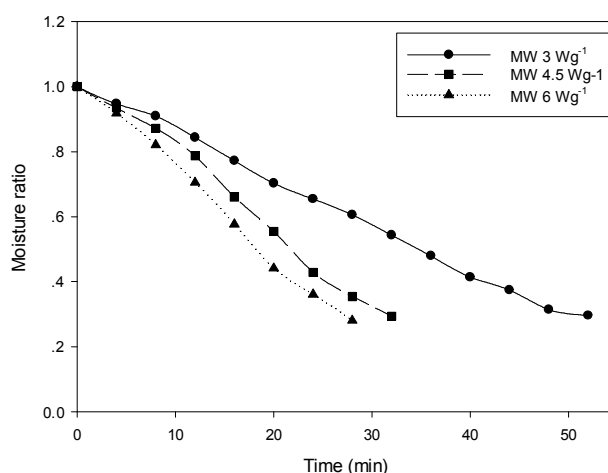
ผลทดลองอบแห้งกึ่งฝอยด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยทำการอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้น 70 %w.b. จับเวลาในการอบแห้งจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 20 % w.b. พบว่า ในระยะเริ่มต้นเป็นการอบแห้งเป็นแบบคงที่ โดยพลังงานความร้อนจะถูกใช้ระเหยน้ำออกจากกึ่งฝอยอย่างต่อเนื่อง และเมื่อความชื้นในกึ่งฝอยลดต่ำลงจนกระทั่งถึงจุดวิกฤต ทำให้ความชื้นภายในกึ่งฝอยถ่ายเทมายังผิวนอกได้ช้า ส่งผลให้อัตราการอบแห้งกึ่งฝอยมีค่าลดลง ทำให้การอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวใช้ระยะเวลาอบแห้งนาน ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่า การอบแห้งกึ่งฝอยที่อุณหภูมิลมร้อน 50, 60 และ 70 °C ใช้เวลาอบแห้ง 135, 75 และ 60 min ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิลมร้อนที่สูงจะมีอัตราการอบแห้งที่มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำ และการอบแห้งเริ่มต้นจะเป็นการอบแห้งแบบคงที่และจะเปลี่ยนเป็นการอบแห้งแบบลดลงเมื่อความชื้นลดลงจนกระทั่งต่ำกว่าจุดวิกฤต (Hemis et al., 2015)



รูปที่ 2 ผลการทดลองความสัมพันธ์อัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของกึ่งฝอยด้วยลมร้อน

1.2 จลนศาสตร์การอบแห้งกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟ

การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟ พบว่าที่ความหนาแน่นไมโครเวฟ 3 4.5 และ 6 Wg^{-1} ใช้เวลาอบแห้ง 55 32 และ 28 min แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นไมโครเวฟมีอิทธิพลต่อการอบแห้งกึ่งฝอย โดยความหนาแน่นไมโครเวฟที่สูงจะมีอัตราการอบแห้งที่มากกว่าการอบแห้งที่ความหนาแน่นไมโครเวฟที่ต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 วิธีอบแห้ง จะเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟมีอัตราการอบแห้งที่มากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว เพราะไมโครเวฟสามารถสร้างความร้อนจากภายในตัวกึ่งฝอย ทำให้ความชื้นภายในกึ่งฝอยถูกถ่ายเทมายังผิวภายนอกอย่างรวดเร็วทำให้น้ำที่ผิวบนกระเหยได้เร็วขึ้น (Maskan, 2000)

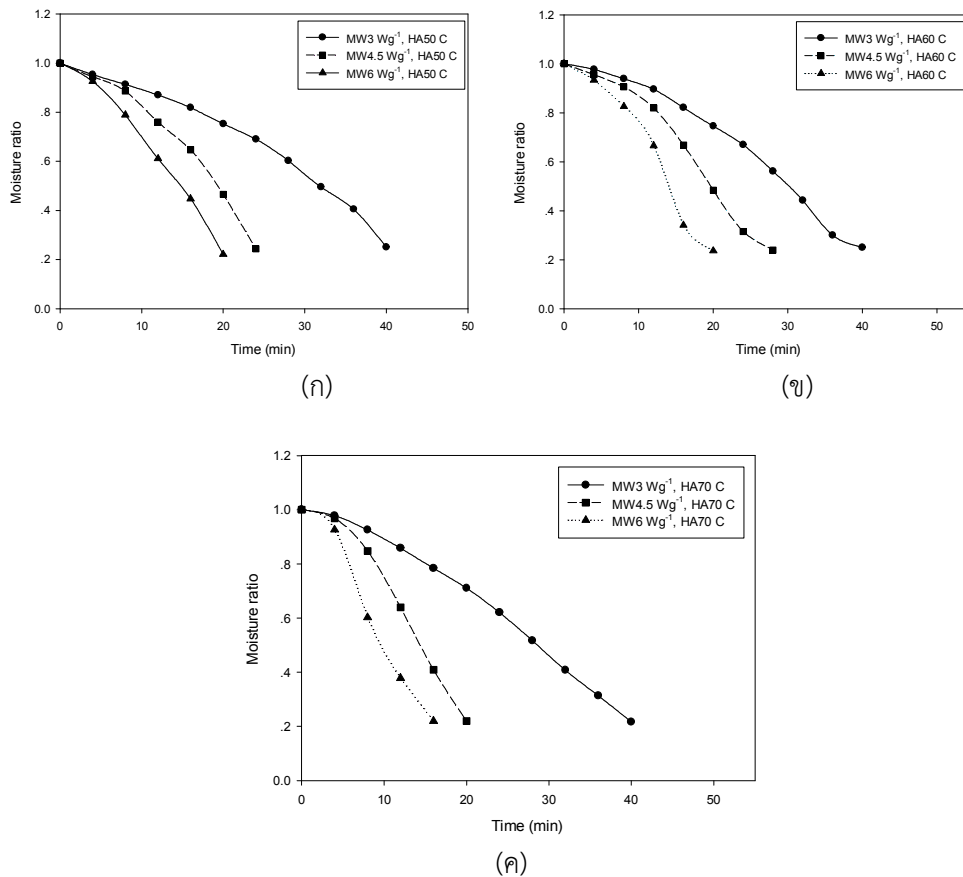


รูปที่ 3 ผลการทดลองความสัมพันธ์อัตราส่วนความชื้นกับเวลาอบแห้งของกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟ

1.3 จลนพลศาสตร์การอบแห้งกึ่งฝอยด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

จากรูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นในช่วงเวลาการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองอบแห้งกึ่งฝอย พบว่า การอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีระยะเวลาการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งกำลังไมโครเวฟและการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว สาเหตุเนื่องลมร้อนทำให้ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์จะถ่ายเทออกมายังผิวนอกได้ช้า ทำให้อัตราการอบแห้งด้วยลมร้อนมีค่าต่ำ สำหรับการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟ เนื่องจากไมโครเวฟสามารถสร้างความร้อนจากภายในของผลิตภัณฑ์ทำให้ความชื้นถูกถ่ายเทจากภายในผลิตภัณฑ์สู่ผิวนอกได้รวดเร็ว แต่อุณหภูมิลมร้อนที่ต่ำจะทำให้การระเหยของความชื้นที่ผิวนอกมีการระเหยได้ช้า ดังนั้นการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจึงเป็นการนำเทคนิคการอบแห้ง 2 วิธี มาทำงานร่วมกันเพื่อแก้ไขและชดเชยข้อเสียของแต่ละวิธีให้ดีขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าการอบแห้งความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีอัตราการอบแห้งที่สูงทำให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลง ซึ่งจากการเปรียบเทียบการอบแห้งที่ความหนาแน่นไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ 3 4.5 และ 6 Wg^{-1} ทำการอบแห้งร่วมกับลมร้อน 3 ระดับ คือ 50 60 และ 70 °C พบว่า การอบแห้งกึ่งฝอยที่ความหนาแน่นไมโครเวฟ 3 และ 4.5 Wg^{-1} ใช้เวลาอบแห้งเท่ากัน และการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 6 Wg^{-1} ที่อุณหภูมิลมร้อน 50 องศาเซลเซียส เวลาอบแห้ง 40 min เมื่ออุณหภูมิ

อบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 และ 70 °C เวลาอบแห้งจะมีระยะเวลาที่ลดลงเป็น 20 และ 16 min ตามลำดับ (Funebo and Ohlsson; 1998)



รูปที่ 4 ผลการทดลองความสัมพันธ์อัตราส่วนความชื้นกับเวลาของกึ่งฝอยไมโครเวฟ ร่วมกับอบร้อน

(ก) 50 °C (ข) 60 °C (ค) 70 °C

2. ค่าสีของกึ่งฝอยที่สภาวะการทดลองต่างๆ

ผลการทดลอง พบว่า การอบแห้งกึ่งฝอยด้วยลมร้อน มีค่า L^* มากกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ ของทุกการทดลองอบแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งโดยใช้ความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน จะได้กึ่งฝอยอบแห้งที่ค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยค่า L^* จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความสัมพันธ์ของค่าความเป็นสีน้ำตาลของอาหาร (Alibas, 2007)

การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว จะได้ค่า a^* ต่ำสุด แต่เมื่อใช้ความหนาแน่นไมโครเวฟสูงขึ้น มีผลทำให้ค่า a^* ของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากสีกึ่งฝอยมีค่าสีเข้มขึ้น

การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน จะให้ค่า b^* ของผลิตภัณฑ์สูงกว่าการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟหรือลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยค่า b^* จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความหนาแน่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น

โดยสีที่ดีของกุ้งจะมีค่าความเป็นที่แดง คือมีค่า a^* สูง เนื่องจากมีสีที่สวยงามและน่ารับประทาน แต่ในขณะเดียวกันค่าสี L^* จะมีค่าต่ำลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสีกุ้ง แต่ถ้าค่าสี a^* มากจนเกินไปก็จะทำให้กุ้งเกิดการไหม้ได้ ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสี

ไมโครเวฟ (W/g)	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	สีของกุ้งฝอย		
		L*	a*	b*
อบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว				
0	50	50.20±0.66b	21.08±1.40d	23.27±1.52e
0	60	52.95±1.06a	23.63±0.28c	25.17±0.34de
0	70	40.77±1.77e	16.32±1.61h	18.62±2.27f
อบแห้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว				
3	0	46.91±0.65cd	17.97±0.05g	23.25±0.09e
4.5	0	48.27±0.29c	19.94±0.09ef	25.05±0.11de
6	0	45.75±2.71d	17.74±0.85g	23.98±0.61de
อบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน				
3	50	37.70±1.76g	18.00±0.16g	23.80±0.11de
	60	40.74±0.27e	19.54±0.04f	24.13±0.07de
	70	30.43±0.58j	20.33±0.59def	26.43±1.36d
4.5	50	48.63±0.48bc	18.10±0.17g	24.13±0.24de
	60	39.74±0.99ef	20.46±0.27de	26.03±0.40de
	70	34.30±1.69h	28.05±0.36b	55.51±7.51a
6	50	32.97±5.05h	30.16±2.07a	49.16±4.90b
	60	38.06±0.67fg	21.19±0.27d	24.46±0.26de
	70	40.54±0.18e	27.29±0.26b	40.49±0.89c

3. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (SEC)

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานการอบแห้งกุ้งฝอยพิจารณาจากพลังงานที่ใช้ในการทดลองอบแห้งประกอบด้วย พัดลมดูดอากาศ (Blower) ขดลวดความร้อน (Heater) และไมโครเวฟ (Microwave) ใช้มัลติมิเตอร์รุ่น วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า และใช้นาฬิกาจับเวลาในช่วงเวลาการทำงานและหยุดทำงานของไมโครเวฟและขดลวดทำความร้อน จากผลการศึกษา พบว่า การอบแห้งกุ้งฝอยด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวมีค่าพลังงานจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 41.99 kJg^{-1} ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่ำที่สุด 4.4 kJ g^{-1} ที่ความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 W g^{-1} และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 21.08 kJg^{-1} ต่ำสุดที่ความ

หนาแน่นไมโครเวฟ 6 W g^{-1} ทำงานร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 70°C ซึ่งจะเห็นว่าการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟอย่างเดียวจะมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยสุด โดยความสิ้นเปลืองพลังงานจะมีค่าที่ลดลงเมื่ออบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟมีค่ามากขึ้น ทำให้ระยะเวลาอบแห้งกึ่งฝอยจะมีค่าน้อยลง สำหรับการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่า เนื่องจากมีพลังงานจากขดลวดทำความร้อนด้วย ทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่ามากกว่าการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟอย่างเดียว ดังแสดงในตารางที่ 2 (Das and Arora, 2018)

ตารางที่ 2 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (SEC)

ไมโครเวฟ (W/g)	อุณหภูมิ ร้อน	น้ำที่ระเหย (g)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ			SEC (kJ/g)
			ฮีตเตอร์ (kJ)	ไมโครเวฟ (kJ)	พัดลมเป่าอากาศ (kJ)	
0	50	113.29	12704	0	2701	135.98
0	60	113.48	10927	0	1964	113.60
0	70	114.48	4194	0	614	41.99
3	0	120.26	0	408	327	6.11
4.5	0	113.77	0	386	261	5.69
6	0	110.45	0	289	196	4.40
3	50	110.04	5069	408	327	52.74
	60	114.03	5167	408	326	51.03
	70	101.60	5259	408	326	59.00
4.5	50	103.67	4562	434	294	51.03
	60	114.73	4134	386	261	41.67
	70	97.68	2104	193	131	24.85
6	50	116.05	2534	241	163	25.33
	60	113.44	2584	241	163	26.34
	70	115.16	2104	193	131	21.08

สรุป

จากผลการทดลอง สรุปได้ดังนี้ การอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสามารถชดเชยแก้ไขข้อด้อยของวิธีการอบแห้งด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟหรือลมร้อนเพียงอย่างเดียว ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นและระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง โดยจะเห็นได้ว่าเวลาอบแห้งกึ่งฝอยด้วยความหนาแน่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีค่าน้อยที่สุดที่เงื่อนไขการทดลองความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 W g^{-1} ร่วมกับอุณหภูมิลมร้อน 70°C เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนและความหนาแน่นไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว และพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง การอบแห้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวมีค่าน้อยที่สุดที่เงื่อนไขการทดลองอบแห้งความหนาแน่นไมโครเวฟ 6 W g^{-1} มีค่าเท่ากับ 4.4 kJ g^{-1} เนื่องจากไมโครเวฟสามารถสามารถถ่ายเทน้ำจากภายในผลิตภัณฑ์ออกสู่ผิวหน้าได้รวดเร็วและไม่มีพลังงานจากตัวทำความร้อน สำหรับค่าที่ดีที่สุดคือการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน มีค่า a^* มีค่ามากขึ้นตามความหนาแน่นไมโครเวฟ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือเพื่อใช้ในการทำการทดลอง การทำงานวิจัย ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Aiquan, J., Xueming, X., Zhengyu, J. (2013). Modelling of dehydration-rehydration of instant rice in combined microwave-hot air drying. *Journal of Food and Bioproducts Processing* 92, 259-265.
- Alibas, I. (2007). Energy Consumption and Color Characteristics of Nettle Leaves during Microwave, Vacuum and Convective Drying. *Journal of Biosystems Engineering* 96, 495-502.
- AOAC, (1995). AOAC Official Methods of Analysis. (16th ed.), Association of official Agricultural Chemists, Washington DC.
- Das, I., Arora, A. (2018). Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. *Journal of Food Engineering* 223, 208-219.
- Diamante, L.M., Munro, P.A. (1993). Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Journal of Solar Energy* 51, 271-276.
- Fu, B.A., Chen, M.Q., Song, J.J. (2017). Investigation on the microwave drying kinetics and pumping phenomenon of lignite spheres. *Journal of Applied Thermal Engineering* 124, 371-380.
- Funebo, T., Ohlsson, T. (1998). Microwave-assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom. *Journal of Food Engineering* 38, 353-367.
- Hassan, J., Davood, K., Mohsen, A. (2018). Energy consumption and qualitative evaluation of a continuous band microwave dryer for rice paddy drying. *Journal of Energy* 142, 647-654.
- Hemis, M., Choudhary, R., Garipey, Y., Raghavan, G.S., (2015). Experiments and modelling of the microwave assisted convective drying of canola seeds. *Journal of Bioresource Engineering*, 139, 121-127.
- Jalal, D., Seyed-Hamed, H., (2018). Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying. *Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45, 132-151.
- Maskan, M., (2000). Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering* 44, 71-78.
- Serowik, M., Figiel, A., Nejman, M., Pudlo, A., Chorazyk D., Kopec W., Krokosz D., RychlickaRybska, J. (2018). Drying characteristics and properties of microwave assisted spouted bed dried semirefined carrageenan. *Journal of Food Engineering* 221, 20-28.

- Song, C., Wang, Y., Wang, S., Z. Cui, Z., Xu, Y., Zhu, H. (2016). Non-uniformity investigation in a combined thermal and microwave drying of silica gel. *Journal of Applied Thermal Engineering* 98, 872-879.
- Suwit, P., Somchart, S., Adisak, N. (2015). Application of microwaves for drying of durian chips. *Journal of Food and Bioproducts Processing* 96, 11-11.