

# การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยลมร้อน และลมร้อนร่วมรังสีอินฟราเรด\*

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา<sup>1)</sup> และ ธนภัทร สุวรรณภูมิ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

Email: enaumpte@ubu.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาเปรียบเทียบจลนศาสตร์การอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงาน ของการอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิอบแห้ง ความเร็วลม และกำลังงานที่จ่ายให้กับแท่งอินฟราเรด โดยระยะห่างระหว่างแท่งอินฟราเรดกับผลิตภัณฑ์และขนาดของผลิตภัณฑ์คงที่ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้ง คือ ระยะเวลาการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลจากการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้น อัตราการอบแห้งสูงและมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่า การอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ควรใช้ความเร็วลมอย่างน้อย 0.3 m/s เพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

**คำสำคัญ :** การอบแห้ง, รังสีอินฟราเรด, ลมร้อน

---

\* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 22 กันยายน 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2550

# Comparative Study of Drying using Hot Air and Hot Air-Infrared Radiation \*

Umphisak Teeboonma <sup>1)</sup> and Tanapat Suwanakoot <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190

Email: enaumpte@ubu.ac.th

## ABSTRACT

The research aims to investigate and compare the drying kinetics and energy consumption of two drying configurations which are only hot air and combined hot air-infrared radiation. Parameters varied in this study are drying air temperature, air velocity, and input power of an infrared heater. The distance between an infrared source and the product is constant. The product size is also kept constant. To compare the drying performance, measured parameters are drying time, drying rate, and specific energy consumption. From experiments, the combined hot air-infrared radiation provides shorter drying time, higher drying rate, and lower specific energy consumption than those of the only hot air system. Moreover, in the hot air-infrared system, it is commended that the hot air velocity should be at least 0.3 m/s in order to control the product quality being in an acceptable range.

**Keywords** : Drying , Infrared radiation , Hot air

---

\* Original manuscript submitted: September 22, 2006 and Final manuscript received: January 8, 2006

## บทนำ

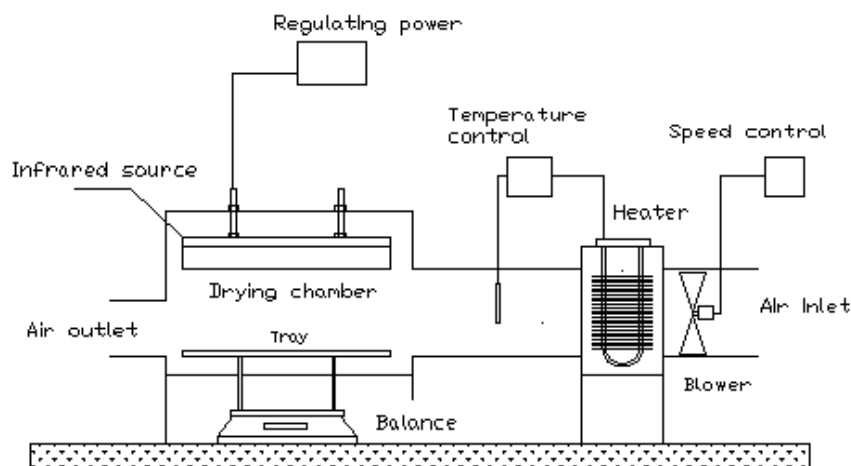
ปัญหาด้านพลังงาน เป็นปัญหาที่มีความสำคัญสำหรับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีปริมาณความต้องการใช้พลังงานในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทุกปี เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง หรือพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพลังงานเหล่านี้มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ และการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ ดังนั้นเพื่อป้องกันผลกระทบของปัญหาด้านพลังงาน การส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า จึงเป็นประเด็นที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนในอนาคต การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในกระบวนการจะมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง ดังนั้นการหาแนวทางการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในการอบแห้งจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ การลดความชื้นของผลิตภัณฑ์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยบีมความร้อน ซึ่งการอบแห้งในแต่ละวิธีก็จะมีทั้งข้อดีและข้อเสีย เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเทคนิคหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีต้นทุนในการสร้างเครื่องที่ต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ที่ได้กล่าว (Chu *et al.*,2003) นอกเหนือจากการอบแห้งด้วยลมร้อนแล้วยังมีอีกเทคนิคหนึ่งที่มีต้นทุนต่ำคือ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด (Chu *et al.*,2003; Isengard,1995) ซึ่งมีจุดเด่นที่น่าสนใจคือ ประการแรก พลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่น และเกิดความร้อนขึ้น ทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว(Glouannec *et al.*,2002; Sakai *et al.*,1994) ประการที่สอง แสงรังสีอินฟราเรดให้ heat flux สูง (Afzal *et al.*,1998; Sheridan *et al.*,1999; Hashimoto *et al.*,1999) ดังนั้นอุปกรณ์จึงมีขนาดเล็ก ทำให้สามารถออกแบบเครื่องอบแห้งที่มีขนาดกะทัดรัด ประการที่สาม การให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีจะทำให้อุณหภูมิกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอ (Afzal *et al.*,2000) และต้องการอากาศหมุนเวียนเพียงเล็กน้อย ทำให้สามารถใช้พัดลมขนาดเล็ก ซึ่งเป็นการลดทั้งต้นทุนอุปกรณ์ และค่าพลังงาน และประการสุดท้าย คือ รังสีอินฟราเรดสามารถนำไปใช้ควบคู่กับระบบอื่นได้ง่ายเนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่น้อย และไม่มีความซับซ้อนของระบบ (Chu *et al.*,2003) ข้อสรุปเบื้องต้นจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนและด้วยรังสีอินฟราเรดต่างก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่างกันไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะผสมผสานเทคนิคการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยเลือกใช้เนื้อวัวเป็นตัวอย่างในการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจาก ได้ร่วมมือกับผู้ประกอบการ เพื่อหาเทคนิคการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการทำเนื้อแดดเดียว

## อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

### ชุดทดลอง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษา เป็นเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ซึ่งออกแบบให้สามารถอบแห้งได้ทั้งลมร้อนเพียงอย่างเดียว และลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังแสดงในรูปที่ 1 และมีรายละเอียดดังนี้ ขนาดห้องอบแห้งเท่ากับ 30 x 50 x 25 cm (กว้าง x ยาว x สูง) อุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นแท่งรังสีอินฟราเรด 1 แท่งขนาด 650 W ระยะห่างระหว่างแท่งรังสีอินฟราเรดกับผลิตภัณฑ์เท่ากับ 15 cm ในแนวตั้งฉาก และขดลวดความร้อนขนาด

800 W พัดลมเป็นแบบไหลตามแนวแกน มอเตอร์ขนาด 30 W สามารถปรับความเร็วรอบได้



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด

### วิธีการทดลอง

ในการทดลอง ได้เลือกใช้เนื้อวัวเป็นตัวอย่างในการอบแห้ง ซึ่งมุ่งเน้นศึกษาและอบแห้งเนื้อวัว ให้เหลือความชื้นสุดท้าย ใกล้เคียงกับเนื้อแดดเดียวที่วางขายตามท้องตลาด เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ร่วมมือกับกลุ่มเกษตรกร เพื่อหาเทคนิคการอบแห้งเนื้อแดดเดียวที่เหมาะสม สำหรับกรณีที่มีปริมาณแสงแดดมีไม่เพียงพอต่อการตากแดด หรือการอบแห้งเนื้อแดดเดียวด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ การอบแห้งด้วยลมร้อน โดยมีเงื่อนไขการอบแห้ง คือ อุณหภูมิอบแห้ง 50-60°C ความเร็วลม 0.5-1.5 m/s ในส่วนที่ 2 คือ การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีเงื่อนไขการทดลอง คือ อุณหภูมิเข้าห้องอบแห้งเท่ากับ 40°C ส่วนแท่งรังสีอินฟราเรดจะป้อนพลังงานในช่วง 260-640 W และเปลี่ยนแปลงความเร็วลมอยู่ระหว่าง 0.1-1.0 m/s สำหรับการบันทึกข้อมูลต่างๆ ระหว่างทำการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้ อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ วัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับ data logger ความเร็วของอากาศวัดโดยใช้ hot wire anemometer การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์อ่านค่าจากเครื่องชั่งแบบดิจิทัล ที่มีค่าความละเอียด 0.1 กรัม สำหรับเงื่อนไขเริ่มต้นต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดลอง คือ เนื้อมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 300 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยจัดเตรียมให้มีขนาด 3 x 10 x 1 cm. ( กว้าง x ยาว x สูง ) และในการทดลองแต่ละครั้งใช้เนื้อเท่ากับ 300 กรัม

ในส่วนของเงื่อนไขที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง เป็นช่วงที่เนื้อมีความชื้นสอดคล้องกับคุณสมบัติเนื้อแดดเดียวที่วางขายตามท้องตลาด คือ ความชื้นสุดท้ายประมาณ 140 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง หรืออัตราส่วนความชื้นประมาณ 0.5 โดยที่อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR)

คำนวณจาก

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

เมื่อ	$M_{in}$	คือ ความชื้นเริ่มต้น, เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง
	$M_t$	คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ, เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง
	$M_{eq}$	คือ ความชื้นสมดุล, เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

การคำนวณอัตราส่วนความชื้นในงานวิจัยนี้ เป็นการคำนวณโดยประมาณค่า คือ ไม่คิดความชื้นสมดุล โดยตั้งสมมุติฐานว่ามีค่าน้อย เมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นและความชื้นที่เวลาใดๆ

#### การวิเคราะห์สมรรถนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยลมร้อน และลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ซึ่งได้กำหนดพารามิเตอร์เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาเปรียบเทียบดังนี้

อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$\text{อัตราการอบแห้ง (DR)} = \frac{m_w}{DT} \quad (2)$$

เมื่อ	$m_w$	คือ มวลของน้ำที่ระเหย (กิโลกรัม, kg)
	DT	คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (ชั่วโมง, hr)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อน คำนวณได้จาก

$$SEC_{HA} = \frac{E_{fan} + E_{heater}}{m_w} \quad (3)$$

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ กรณีอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$SEC_{HA+IR} = \frac{E_{fan} + E_{heater} + E_{IR}}{m_w} \quad (4)$$

เมื่อ	$E_{fan}$	คือ พลังงานที่ให้กับพัดลม (MJ)
-------	-----------	--------------------------------

$E_{\text{heater}}$  คือ พลังงานที่ให้กับขดลวดความร้อน (MJ)

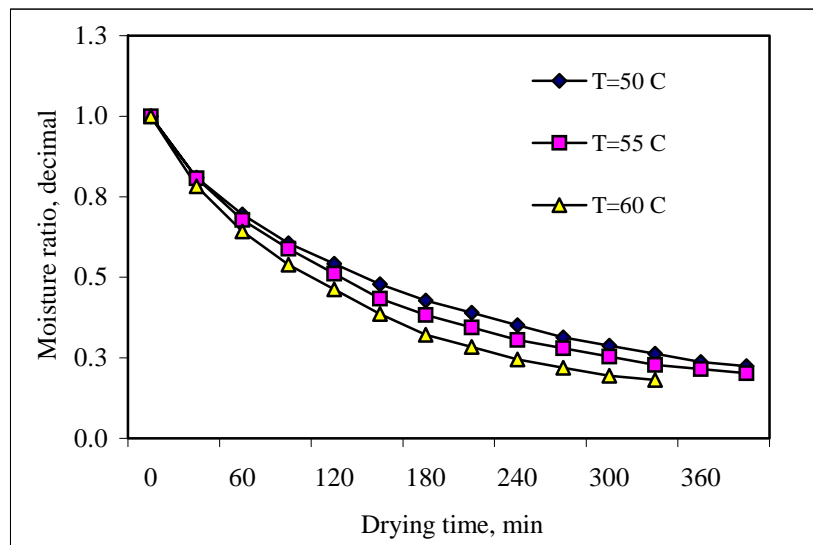
$E_{\text{IR}}$  คือ พลังงานที่ให้กับแท่งอินฟราเรด (MJ)

## ผลการทดลองและวิจารณ์

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองและวิเคราะห์การอบแห้งเนื้อแดดเดียวด้วยลมร้อน และกรณีลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ซึ่งผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

### การอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อน

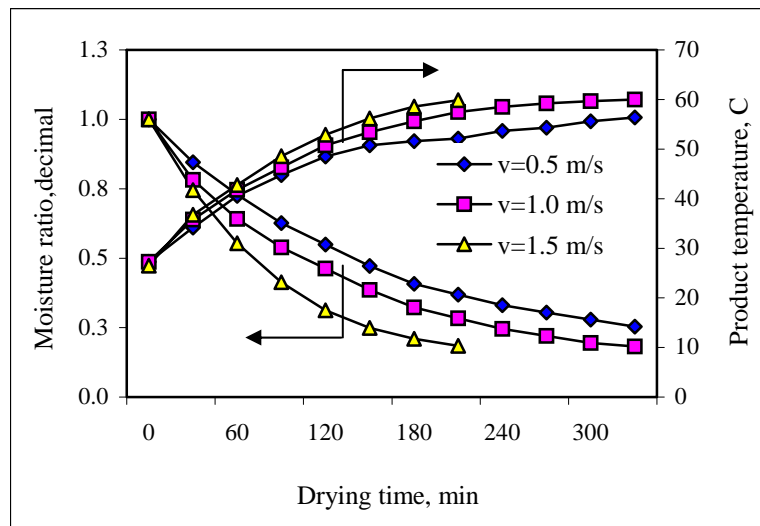
การศึกษาในส่วนนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้ง และความเร็วลม ที่มีต่อพฤติกรรมการอบแห้งเนื้อ รวมทั้งความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังนี้



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความเร็วลม 1.0 m/s

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งเนื้อวัวด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ โดยใช้ความเร็วลม 1.0 m/s จากรูปสรุปได้ว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงเร็วที่สุด ทั้งนี้เนื่องจาก เนื้อแดดเดียวได้รับพลังงานความร้อนมากที่สุด ทำให้อัตราการระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์สูงตามด้วย ดังจะเห็นได้จากอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเนื้อ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3 และหากใช้อัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.5 เป็นเกณฑ์ในการ

พิจารณา พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  จะใช้เวลาสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $55^{\circ}\text{C}$  และ  $50^{\circ}\text{C}$  เท่ากับ 17 และ 42 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้น อุณหภูมิผลิตภัณฑ์กับเวลา ที่อุณหภูมิอบแห้ง  $60^{\circ}\text{C}$

รูปที่ 3 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้น อุณหภูมิเนื้อกับเวลา ที่ความเร็วลมต่างๆ โดยควบคุมอุณหภูมิอบแห้งให้คงที่เท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$  จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าอัตราการลดลงของอัตราส่วนความชื้นในกรณีที่ใช้ความเร็วลมสูง จะลดลงเร็วกว่ากรณีที่ใช้ความเร็วลมต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า กรณีที่ใช้ความเร็วลมสูง ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทให้กับเนื้อก็มีปริมาณมาก ซึ่งจะสอดคล้องกับลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเนื้อ ส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำภายในเนื้อสูงตาม ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมา เนื้อจึงสามารถลดความชื้นได้เร็วขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วลม

ตารางที่ 1 แสดงผลการศึกษาถึงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับอุณหภูมิอบแห้ง กรณีอบแห้งด้วยลมร้อน จะมีการใช้พลังงาน 2 ส่วน คือ พลังงานที่จ่ายให้พัดลมและพลังงานที่จ่ายให้หลอดความร้อน ผลจากการศึกษาสรุปได้ดังนี้

#### 1. พิจารณาที่ความเร็วลมคงที่

จากการศึกษาพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะสั้น

#### 2. พิจารณาที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการศึกษาพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง เมื่อเพิ่มความเร็วลม ทั้งนี้เพราะการอบแห้งด้วยลมร้อน ความเร็วลมจะมีผลต่อการนำพาความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถลดระยะเวลาการอบแห้ง

Drying temperature (°C)	Velocity (m/s)	Drying time (min)	Drying rate (kg/hr)	Specific energy consumption (MJ/kg-H <sub>2</sub> O evap)
50	0.5	195	0.015	63.3
	1.0	170	0.018	104.2
55	0.5	160	0.019	614.0
	1.0	140	0.021	102.4
60	0.5	135	0.022	59.5
	1.0	120	0.025	101.4

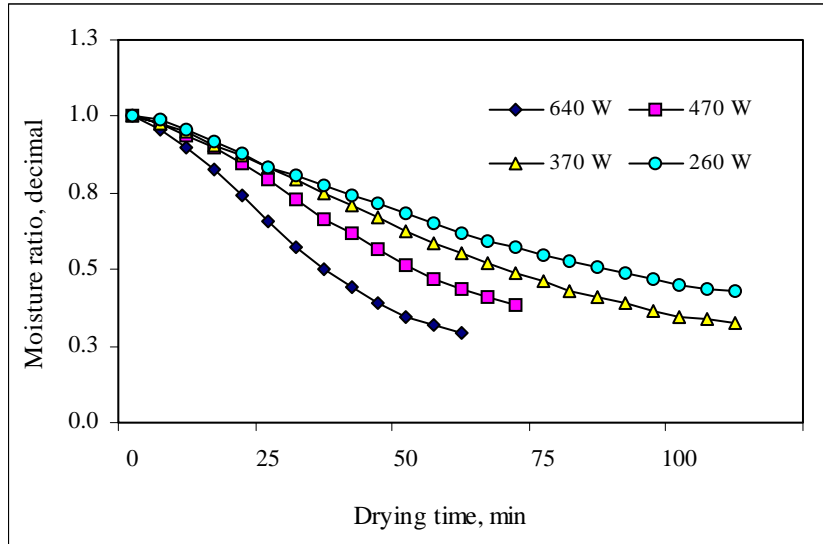
ตารางที่ 1 ผลการทดลองการอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อนเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.5

#### การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด

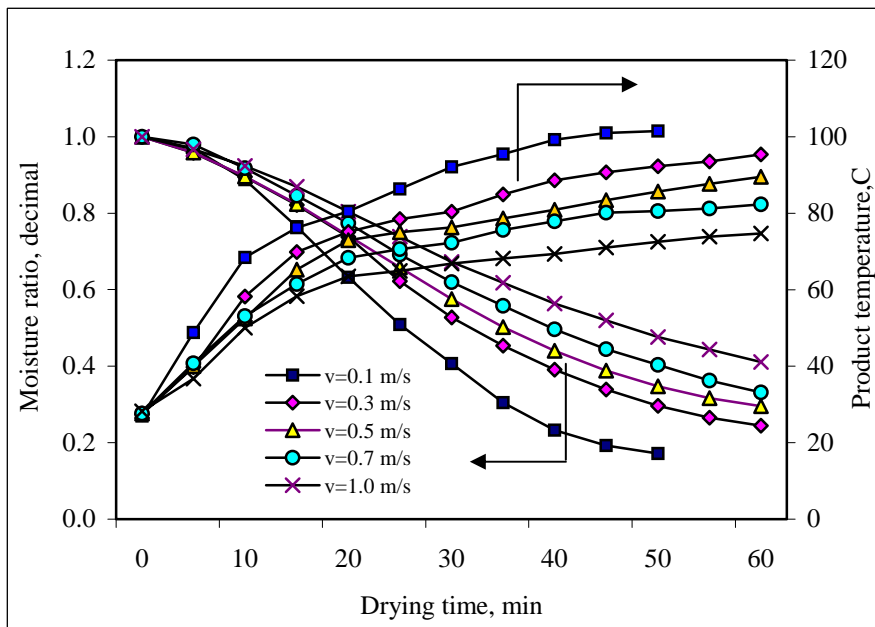
การศึกษาในส่วนการอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด ได้ศึกษาถึงผลของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแท่งอินฟราเรด และความเร็วลมที่มีผลต่อพฤติกรรมการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลจากการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 และ 5

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่กำลังไฟฟ้าต่างๆ โดยกำหนดความเร็วลมให้คงที่เท่ากับ 0.5 m/s จากการทดลองสรุปได้ว่า อัตราส่วนความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้กับแท่งอินฟราเรด โดยที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 640 W จะมีอัตราการลดลงของความชื้นเร็วที่สุด ในขณะที่อัตราการลดลงของความชื้นจะช้าที่สุด เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 260 W หากพิจารณาที่อัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.5 พบว่า การป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับแท่งอินฟราเรดเท่ากับ 640 W จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่ากรณีป้อนกำลังไฟฟ้า 470 W, 370 W และ 260 W เท่ากับ 43%, 94% และ 143 % ตามลำดับ ซึ่งสามารถให้เหตุผลได้ว่า การเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแท่งอินฟราเรดสูงขึ้น ส่งผลให้ความเข้มของรังสีที่แผ่จากแท่งอินฟราเรดเพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อได้รับพลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ทำให้น้ำภายในเนื้อสามารถระเหยได้เร็วขึ้น





รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่ความเร็วลม 0.5 m/s



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่  $P = 640\text{ W}$

ในรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ที่ความเร็วลมต่าง ๆ โดยควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่อินฟราเรดเท่ากับ 640 W จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนความชื้นจะลดลงตามระยะเวลา และที่ความเร็วลม 0.1 m/s จะมีอัตราส่วนความชื้นลดลงเร็วที่สุด เมื่อเทียบกับที่ความเร็วลมต่าง ๆ เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.5 ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องกับความชื้นของเนื้อแดดเดียว พบว่า การอบแห้งโดยใช้ความเร็วเท่ากับ 0.1 m/s จะใช้เวลาสั้นกว่ากรณีใช้ความเร็วลม 0.3 m/s, 0.5 m/s, 0.7 m/s และ 0.9 m/s เท่ากับ 25%, 43%, 54% และ 79% ตามลำดับ ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ว่า การอบแห้งเนื้อแดดเดียวด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่ความเร็วต่ำ จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่ากรณีใช้ความเร็วลมสูง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ เนื่องจากพฤติกรรมการให้ความร้อนของการแผ่รังสี จะมีข้อแตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยลมร้อน คือ ความร้อนจากแก๊สอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังเนื้อโดยตรง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางการถ่ายเทความร้อนใดๆ ดังนั้นจึงส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวของเนื้อสูงกว่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ไหลผ่าน ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากเนื้อไปสู่อากาศหรือลมที่พัดผ่านเนื้อ ดังนั้นหากเพิ่มความเร็วลม ก็จะทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทจากเนื้อมีประสิทธิภาพที่มากขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเนื้อที่แสดงในรูปที่ 5

Infrared power (W)	Velocity (m/s)	Drying time (min)	Drying rate (kg/hr)	Specific energy consumption (MJ/kg-H <sub>2</sub> O evap)
260	0	95	0.032	29.6
	0.5	85	0.035	43.0
	1.0	185	0.016	122.7
370	0	70	0.043	31.1
	0.5	65	0.044	41.4
	1.0	105	0.029	83.5
470	0	50	0.060	28.2
	0.5	50	0.060	37.9
	1.0	70	0.043	64.1
640	0	35	0.086	26.9
	0.5	35	0.086	33.7
	1.0	48	0.063	53.7

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด

หมายเหตุ พิจารณาที่อัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.5

ตารางที่ 2 แสดงพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งโดยใช้ขดลวดความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดซึ่งประกอบด้วยพลังงาน 3 ส่วน คือ พลังงานที่จ่ายให้พัดลม ขดลวดความร้อน และแก๊สอินฟราเรด จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 1. พิจารณาที่ความเร็วลมคงที่

จากการศึกษาพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแก๊สอินฟราเรด ทั้งนี้เนื่องจาก เปรอร์เซ็นต์การลดลงของระยะเวลาการอบแห้ง มากกว่าเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพลังงานที่ใช้

## 2. พิจารณาที่กำลังไฟฟ้าของแท่งอินฟราเรดคงที่

จากการศึกษาพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วลม ทั้งนี้เกิดจากอากาศจะเป็นตัวกลางที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์ลดลง ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ที่ทำความเร็วลมสูงกว่ากรณีที่ใช้ความเร็วลมต่ำ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5 ซึ่งส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้น

## การเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยลมร้อนและการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด

จากการศึกษาสามารถสรุปข้อแตกต่างของการอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อน และการอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดได้ดังนี้

### 1. กลไกการถ่ายเทความร้อน

กลไกของการอบแห้งด้วยลมร้อน กระบวนการจะเริ่มจากความร้อนถ่ายเทจากลมร้อนด้วยการพาความร้อนไปยังผิวของเนื้อ หลังจากนั้นจะเกิดการนำความร้อนจากผิวไปสู่เนื้อด้านใน ด้วยเหตุนี้ อุณหภูมิของเนื้อจะต่ำกว่าลมร้อนซึ่งเป็นตัวกลางการถ่ายเทความร้อนเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3 สำหรับลมร้อนที่พัดผ่านเนื้อ นอกจากจะเป็นตัวกลางการถ่ายเทความร้อนแล้ว ยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางการถ่ายเทมวลด้วย โดยจะทำหน้าที่ลดความชื้นที่ผิวของเนื้อ

กลไกของการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด การถ่ายเทความร้อนในการอบแห้งด้วยเทคนิคแบบผสมผสานนี้ สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้ ช่วงแรก คือ อุณหภูมิที่ผิวของเนื้อต่ำกว่าลมร้อน ซึ่งเนื้อจะได้รับความร้อนจาก 2 แหล่ง คือ จากลมร้อนและแท่งอินฟราเรด โดยกลไกการถ่ายเทความร้อนในส่วนของลมร้อน และมวลจะเกิดขึ้นในลักษณะเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในกรณีการอบแห้งด้วยลมร้อน สำหรับในส่วนของแท่งอินฟราเรด การถ่ายเทความร้อนจะอาศัยหลักการแผ่รังสี ซึ่งไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อน ดังนั้นรังสีหรือคลื่นความร้อนจึงถูกส่งไปยังผิวของเนื้อโดยตรง ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมากล่าวไว้ว่า คลื่นความร้อนบางส่วนสามารถทะลุผ่านเข้าไปผิวในของวัสดุได้ ทำให้มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง สำหรับในช่วงที่ 2 คือ ช่วงอุณหภูมิที่ผิวของเนื้อสูงกว่าลมร้อน ในช่วงนี้ เนื้อจะรับความร้อนจากแท่งอินฟราเรดเพียงแหล่งเดียว ในขณะที่ผิวของเนื้อจะสูญเสียความร้อนให้กับลมร้อนที่พัดผ่าน ซึ่งในช่วงนี้ ลมร้อนจะทำหน้าที่ระบายความชื้นที่ผิวของเนื้อ ดังนั้นหากใช้ความเร็วลมที่สูง ก็จะมีผลทำให้เนื้อสูญเสียความร้อนมากขึ้น ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5

### 2. ระยะเวลาการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ผลจากการศึกษาพบว่า การอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด จะใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่สั้น หรืออัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว นอกจากนั้นยังพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกรณีอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เป็นผลมาจากจุดเด่นของแท่งอินฟราเรด ในส่วนของประสิทธิภาพการให้ความร้อน โดยมีลมร้อนเป็นส่วนที่ช่วยในการระบายความชื้นที่ผิวของเนื้อ ในทางตรงกันข้าม หากพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยลมร้อน พบว่า มีค่า

ค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนี้จะไม่ดีเท่าที่ควร โดยสามารถสังเกตเห็นได้จาก อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ ที่นำเสนอในรูปแบบที่ 3 ซึ่งจะมีลักษณะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผลิตภัณฑ์อย่างช้าๆ

3. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ในส่วนของ การพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้ตรวจสอบ โดยการเปรียบเทียบกับคุณภาพของเนื้อแดดเดียวที่วางขายตามท้องตลาด ซึ่งได้ให้กลุ่มเกษตรกรเป็นผู้พิจารณาคุณภาพในด้านสี และการหดตัว พบว่าคุณภาพของเนื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนในทุกเงื่อนไขอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติควรเลือกเงื่อนไขที่มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด ในส่วนของคุณภาพเนื้อที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด พบว่าคุณภาพของเนื้อแดดเดียวจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อใช้ความเร็วลมตั้งแต่ 0.3 m/s ขึ้นไป จากการทดลองพบว่า ที่ความเร็วลมต่ำกว่า 0.3 m/s เนื้อจะเกิดการหดตัวค่อนข้างมาก ในขณะที่สีผิวก็จะเข้ม และมีรอยไหม้เป็นจุดๆ ดูคล้ายคลึงกับเนื้อย่าง ซึ่งจะเกิดขึ้นกับทุกค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแก๊งอินฟราเรด

### สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งเนื้อแดดเดียวด้วยลมร้อน และลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด จากการศึกษาพบว่า คุณภาพของเนื้อที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองเทคนิคอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยมีข้อแนะนำสำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด คือ ควรใช้ความเร็วลมอย่างน้อย 0.3 m/s สำหรับสมรรถนะโดยรวมของการอบแห้งทั้งสองเทคนิค พบว่า การอบแห้งเนื้อด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดให้ผลที่ดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว คือ ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้น อัตราการอบแห้งสูง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.)

### เอกสารอ้างอิง

- Afzal, T.M. and Abe, T. 1998. "Diffusion in potato during far infrared radiation drying". **Journal of Food Engineering**. 37: 353-365.
- Afzal, T.M. and Abe, T. 2000. "Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying". **Computers and Electronics in Agriculture**. 26: 137-145.
- Chu, K.J. and Chou, S.K. 2003. "Low-cost drying methods for developing countries". **Trends in Food Science & Technology**. 14: 519-528.
- Glouannec, P., Lecharpentier, D., and Noel, H. 2002. "Experimental survey on the combination of radiating infrared and microwave sources for the drying of porous material". **Applied Thermal Engineering**. 22:1689-1703.
- Hashimoto, A. and Kameoka, T. 1999. "Effect of infrared irradiation on drying characteristics of wet porous materials." **Drying Technology-An International Journal**. 17: 1613 – 1626.

- Isengard, H.D. 1995. "Rapid water determination in foodstuffs". **Trends in Food Science & Technology**. 6: 155-162.
- Sakai, N. and Hanzawa, T. 1994. "Applications and advances in far-infrared heating in Japan". **Trends in Food Science & Technology**. 5: 357-362.
- Sheridan, P. and Shilton, N. 1999. "Application of for infrared radiation to cooking of meat Products". **Journal of Food Engineering**. 41: 203-208.