

การพัฒนาระบบอบแห้งโดยเทคนิคลมร้อนไมโครเวฟ

อัสหิยะ สนิโซ* และ เชิดตระกูล หอมจำปา*

บทคัดย่อ

พื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยโดยเฉพาะจังหวัดยะลา ปัตตานี และ นราธิวาส มีกระบวนการดั้งเดิมในการถนอมผลผลิตทางการเกษตร คือ การทำแห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงแดดหรือเตาเผาที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนต่ำและเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบการให้ความร้อนแบบใหม่ที่อาศัยลมร้อนร่วมคลื่นไมโครเวฟ YRU-HAMW DRYER#1 (FR&E) โดยคลื่นไมโครเวฟจะเคลื่อนที่เข้าไปในผลผลิตทางการเกษตรแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อน โดยโมเลกุลของน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลชนิดมีขั้วเกิดการหมุนตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟแล้วชนกันเกิดเป็นความร้อน ทำให้โมเลกุลของน้ำมีพลังงานสูงขึ้นกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนที่ออกจากผลผลิตทางการเกษตร ทำให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรที่แห้งและมีคุณภาพดี จากการทดสอบระบบอบแห้งที่พัฒนาขึ้น เมื่อควบคุมอุณหภูมิของขดลวดความร้อนและความเร็วลมในช่วง $30-180^{\circ}\text{C}$ และ $1.0-7.0\text{ m/s}$ ตามลำดับ พบว่า เมื่ออุณหภูมิของขดลวดความร้อนเพิ่มสูงขึ้นอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ความเร็วลมจะมีผลต่ออุณหภูมิในห้องอบแห้งโดยเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะลดลง และเครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถใช้ในการอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรได้

คำสำคัญ: ระบบอบแห้ง ลมร้อน ไมโครเวฟ วัสดุอาหาร ผลผลิตทางการเกษตร

*ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
133 ถนนเทศบาล 3 อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000 E-mail: Saniso.E@hotmail.com



Development of Drying System Using Hot Air - Microwave Technique

Eleeyah Saniso* and Cherdtrakul Homjumpa*

ABSTRACT

In southern Thailand, consisting of Yala, Pattani and Narathiwat provinces; The agricultural products are conventionally dried using heat from the sun or heat from burning woods. These drying methods have problems such as low efficiency and environmental problems. Exploiting the strong electric dipole of the water molecules in the agricultural products, which allows the agricultural products to absorb microwave energy effectively, we have developed a novel hot air-microwave heating system for the efficient drying of agricultural products. The experimental results reveal that heat produced by the hot air-microwave system causes evaporation of moisture from the agricultural products making it possible to produce high quality dried agricultural products. The situations are tested; the temperature of heater and air velocity is supervised in range of 30-180°C and 1.0-7.0 m/s respectively. The result from this study indicates that the heater temperature increases according to the rising temperature in the dryer. The air velocity is affected by the temperature within the dryer chamber, and it was found that whenever the air velocity increases the temperature in the dryer chamber decreases accordingly. This designed and constructed dryer is, therefore, able to use for drying kinetic of food and agricultural products.

Keywords : Drying system Hot air Microwave Food material Agricultural products

*Department of Science, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, 133 Tesaban Road 3, Amphur Muang, Yala 95000, Thailand. e-mail: Saniso.E@hotmail.com

บทนำ

ประเทศไทยจัดเป็นแหล่งเกษตรกรรมและมีผลผลิตทางการเกษตรออกสู่ตลาดโลกเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก อาทิเช่น ข้าว ยางพารา อ้อย มันเทศ มันสำปะหลัง ลองกอง มังคุด และ ลำไย ผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าวจะออกสู่ตลาดตามฤดูกาลทำให้ล้นตลาดและเน่าเสียอย่างรวดเร็ว จึงต้องมีการแปรรูปที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้ให้นานที่สุดซึ่งส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมทำแห้งโดยการตากแดดและใช้ลมร้อนเป็นหลัก แต่การตากแดดจะมีปัญหาในเรื่องของผลผลิตตกหล่นปนเปื้อนฝุ่นละออง เชื้อรา และถูกแมลงและสัตว์กัดกิน รวมทั้งความไม่สม่ำเสมอของแสงแดดในแต่ละวัน

ในขณะที่การอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว ดังรายงานวิจัยของ สุภวรรณ และคณะ (1) ที่ได้ออบแห้งชั้นบางเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ในช่วงอุณหภูมิ 35-75°C ความเร็วลม 1.0-2.0 m/s Basunia and Abe (2) ได้ศึกษาการทำเปียกชั้นบางข้าวเปลือกเมล็ดกลาง (Japonica of nonponbare variety) ความชื้นเริ่มต้นในช่วง 12.26-12.71% d.b. ที่อุณหภูมิสูงและต่ำ ในช่วง 17.8-45.0°C และ Waigoon and Chairat (3) ได้ศึกษาการอบแห้งสับแชกสายพันธุ์ *Garcinia atroviridis* Griff. ด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 1.2 m/s อุณหภูมิ 55°C ความหนาของชั้นสับแชกเท่ากับ 2, 4 และ 6 mm ได้ให้ข้อสรุปไปในทิศทางเดียวกันว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนจะทำให้สมบัติทางกายภาพและคุณภาพของผลผลิตมีการเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้เพราะการอบแห้งด้วยลมร้อนใช้หลักการถ่ายโอนความร้อนจากผิวนอกเข้าสู่ผิวชั้นใน ทำให้สมบัติของผลผลิตทางการเกษตรเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการกระจายตัวของอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ (4) ส่งผลให้อุณหภูมิบางส่วนสูงมาก

จนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน เช่น สีเปลี่ยนไป เกิดรอยไหม้ และเกิดการแห้งที่ไม่สม่ำเสมอ (5) รวมทั้งต้องใช้พลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงจากน้ำมันหรือก๊าซเป็นจำนวนมาก และไม่สามารถควบคุมการใช้พลังงานให้คุ้มค่าและเต็มประสิทธิภาพได้เนื่องจากการสูญเสียพลังงานความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมระหว่างการอบแห้ง

จากปัญหาดังกล่าวจึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการอบแห้งให้เหมาะสมยิ่งขึ้น อาทิเช่น การอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟ หรือการอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วม อาทิเช่น เซวาร์ เอื้อเพื่อ (6) ได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำแบบพลังงานหมุนเวียน (Low temperature dryer with re-energy) โดยนำอากาศร้อนจากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (Solar collector) เข้าสู่ตู้อบด้วยพัดลมหมุนเวียนอากาศส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลง ทำนองเดียวกัน ชีระพล บุญธรรม (7) ได้สร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประยุกต์ซึ่งอาศัยแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับแผงรับความร้อนซึ่งสามารถเพิ่มความร้อนในห้องอบแห้งให้สูงขึ้น ในขณะที่ จงจิตร หิรัญลาก (8) ได้ใช้ท่อนำอากาศร้อนที่เชื่อมต่อกับพัดลมเป่าอากาศขนาด 746 W และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาโดยมหาวิทยาลัยนเรศวร (9) ซึ่งมีตัวรับรังสีดวงอาทิตย์เป็นแผ่นเหล็กทาสีดำขนาด 300 m² ทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านจะมีอุณหภูมิประมาณ 40-90°C ซึ่งสามารถทำให้ประสิทธิภาพการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น

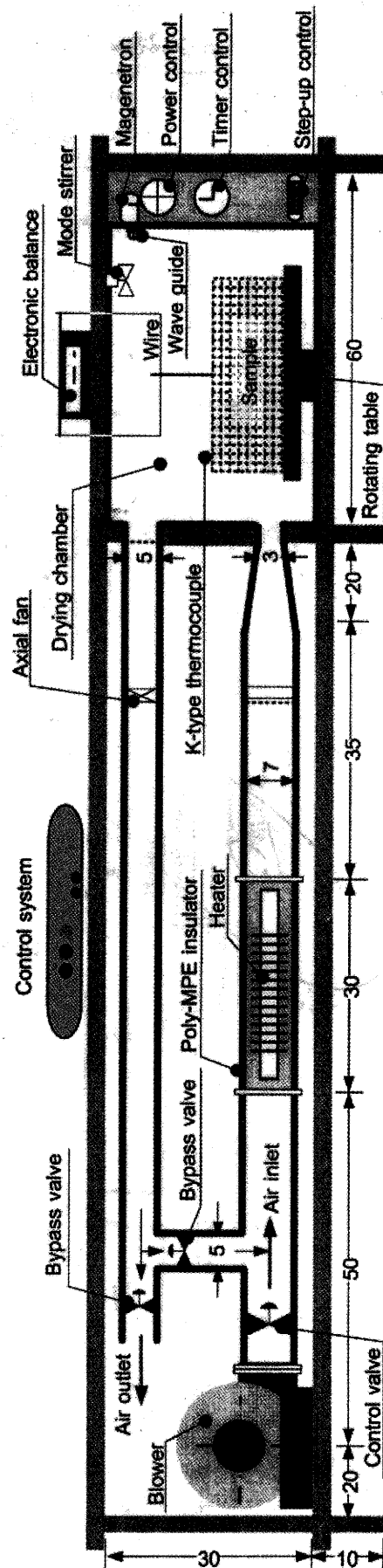
ในขณะที่การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟได้มีการศึกษาวิจัยอย่างแพร่หลายในระดับนานาชาติ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารและผลผลิตทางการเกษตร เช่น การอบแห้งเนื้อ อาหารทะเล ผัก ผลไม้ และเมล็ดพืช (10-12) ซึ่งพบว่า การอบแห้ง

ด้วยคลื่นไมโครเวฟสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งได้ค่อนข้างมากและที่สำคัญคลื่นไมโครเวฟไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างภายในของวัสดุเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากการอบแห้งที่ให้พลังงานความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะเกิดความร้อนจากภายในวัสดุสู่ภายนอก เรียกว่า การเกิดความร้อนเชิงปริมาตร (Volumetric heating) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะเป็นไปอย่างรวดเร็วแล้วกระจายไปทั่วทั้งวัสดุด้วยการทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟ (4, 13) ทำให้สามารถลดต้นทุนลดเวลาการอบแห้ง และลดพลังงานที่ต้องสูญเสียระหว่างการอบแห้ง ในทางกลับกันการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและปริมาณการผลิตให้สูงขึ้น เช่น การอบแห้งไม้สตรอเบอรี่ Norway spruce (*P. abies*) ด้วยลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 60, 100 และ 110°C กำลังคลื่นไมโครเวฟ 1.4 kW ความเร็วลม 2 m/s สามารถลดระยะเวลาและเพิ่มอัตราการอบแห้ง (14) และการอบแห้งท่อนไม้ (Carribean pine timber) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมด้วยอากาศแวดล้อมที่ความสูง 1.5 m จากพื้นในห้องปฏิบัติการ โดยลมร้อนมีอุณหภูมิ 50 และ 103°C และเตาไมโครเวฟที่มีแมกนีตรอน 2 ตัว ติดไว้ที่ด้านบนของตู้อบซึ่งสามารถให้กำลังได้สูงสุด 1.6 kW (15)

การหาแนวทางใหม่ที่เหมาะสมในการอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง การวิจัยนี้จึงมุ่งออกแบบและพัฒนาระบบอบแห้งที่อาศัยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟเพื่อลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรให้สามารถต่อยอดสู่อุตสาหกรรมในครัวเรือน และเป็นอุปกรณ์ต้นแบบในการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิชาฟิสิกส์

วิธีการ

การออกแบบและสร้างระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมลมร้อนไมโครเวฟ YRU-HA/MW DRYER#1 (FR&E) ได้ใช้พัดลมเป่าอากาศ (Blower) แบบแกนนอนกำลัง 1 HP ความเร็วรอบเท่ากับ 3,000 rpm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออากาศเท่ากับ 6.35 cm มีขดลวดความร้อนแบบครีปรุ่น CAL-P 1071 ขนาดแรงดันไฟฟ้า 230 V กำลัง 1,000 W ยาว 300 mm หนัก 0.27 kg เป็นแหล่งกำเนิดลมร้อน ส่วนแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟได้ประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น M1712N กำลัง 800 W ทำงานที่ความถี่ 2,450 MHz ที่สามารถปรับกำลังคลื่นไมโครเวฟได้ในช่วง 100-800 W ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของระบบแห้งพลังงานความร้อนไมโครเวฟ : YRU-HAMW DRYER#1 (FR&E)

การทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้ง พลังงานความร้อนร่วมลมร้อนไมโครเวฟ YRU-HA/MW DRYER#1 (FR&E) ทำได้โดยเปิดสวิสช์ให้พัดลมเป่าอากาศทำงานแล้ววัดความเร็วลม ณ ตำแหน่งก่อนเข้าห้องอบแห้งด้วยเครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-41 ความละเอียด ± 0.1 m/s เปิดสวิสช์ให้ขดลวดความร้อนทำงานแล้วนำเครื่องวัดอุณหภูมิ (Digital multimeter) ยี่ห้อ UNAOHM รุ่น 9400 ความละเอียด 0.1°C ต่อเข้ากับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด เค (K Type thermocouple) ที่ติดอยู่กับขดลวดความร้อนแล้วอ่านค่าอุณหภูมิ จากนั้นวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเมื่อกำหนดอุณหภูมิขดลวดความร้อนในช่วง $30.0-180.0^{\circ}\text{C}$ และความ

เร็วลม 1.0-7.0 m/s ตามลำดับ โดยนำเครื่องวัดอุณหภูมิต่อเข้ากับสายเทอร์โมคัปเปิลที่ติดอยู่ภายในห้องอบแห้ง ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วคำนวณค่าเฉลี่ย

การทดลองนี้ได้พิจารณาค่าทางสถิติ 3 ชนิด (16) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean, $\bar{X}$) ตามสมการ (1) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, S.D.) ตามสมการ (2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, R^2) ตามสมการ (3) โดยที่ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้เพื่อวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ใช้เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วลมที่เข้าห้องอบแห้ง ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

$$\text{S.D.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{\text{pre}} - MR_{\text{exp}})^2}{\sum_{i=1}^n (MR_{\text{exp}})^2 - (\sum_{i=1}^n (MR_{\text{exp}})^2 / (N - Z))} \quad (3)$$

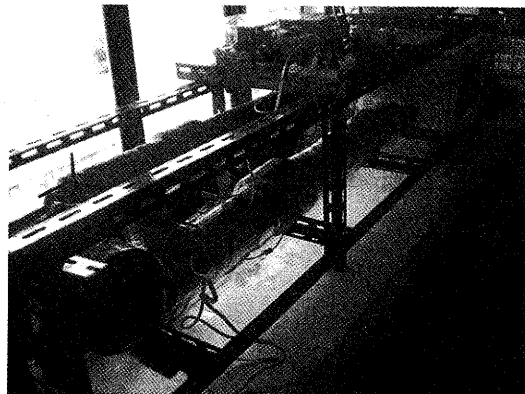
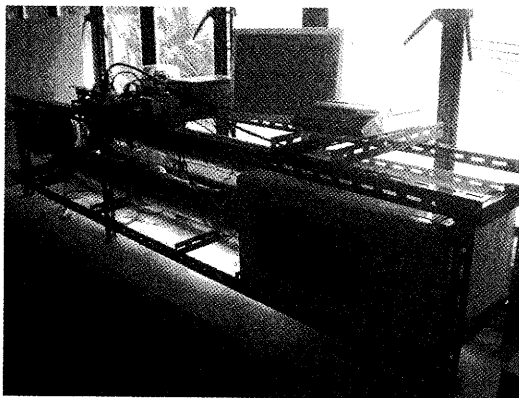
เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน R^2 คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $\bar{X}$ คือ ข้อมูลการทดลอง N คือ จำนวน

ครั้งของการทดลอง n คือ ครั้งที่ของการทดลอง i คือ จำนวนเต็มใด ๆ เท่ากับ 1, 2, 3, ...

ผล

การออกแบบและสร้างระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมลมร้อนไมโครเวฟ YRU-HA/MW DRYER#1 (FR&E) ต้นแบบในการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟ ยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น M1712N กำลังสูงสุด 800 W ความถี่ 2,450 MHz เป็นห้องอบแห้งที่ประกอบเข้ากับแผ่นสังกะสีหนา 0.25 mm ซึ่งถูกม้วนเป็นท่อยาวแล้วหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนโพลีเอทรีลีน (M-PE Alumax ; R-Value 20 hr.ft².°f/Btu) หนา 1.00 cm มีเหล็กฉากความหนา 1.20 mm เป็นคานยึด แล้วเชื่อมต่อเข้ากับพัดลมเป่าอากาศ (Blower) ยี่ห้อ Misury ขนาดแรงดันไฟฟ้า 220-230 V ความถี่ 50-60 Hz ขนาดท่อ 6.35 cm

กำลัง 1 HP มีความเร็วรอบเท่ากับ 3,000 rpm นอกจากนี้ได้ใช้พัดลมเป่าอากาศแบบแกนนอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 cm แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง (DCV) 12 V กระแสไฟฟ้า 0.47 A เพื่อนำอากาศเข้าและออกจากห้องอบแห้ง โดยมีขดลวดความร้อนแบบครีปรุ่น CAL-P 1071 กำลัง 1,000 W แรงเคลื่อนไฟฟ้า 230 V ความยาว 300 mm น้ำหนัก 0.27 kg เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่อากาศซึ่งต่อเข้ากับชุดควบคุมระบบอบแห้ง ได้แก่ สายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (K type thermocouple) ที่มีช่วงการวัดตั้งแต่ -180°C-1,350°C มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เครื่องมัลติมิเตอร์ เครื่องวัดความเร็วลม และเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมลมร้อนไมโครเวฟ : YRU-HA/MW DRYER#1 (FR&E)

ในขณะทำการทดสอบสมรรถนะของระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมลมร้อนไมโครเวฟ YRU-HA/MW DRYER#1 (FR&E) พบว่าขดลวดความร้อนให้อุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ $822 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ส่วนพัดลมเป่าอากาศสามารถให้ความเร็วลมสูงสุดเท่ากับ 9.3 ± 3 m/s และเมื่อทดสอบ

วัดอุณหภูมิในท่อลมก่อนเข้าห้องอบแห้งและอุณหภูมิในห้องอบแห้งที่ความเร็วลม 1.37, 4.47 และ 6.27 m/s โดยกำหนดอุณหภูมิของขดลวดความร้อนคงที่เท่ากับ 30.0, 60, 90, 120, 150 และ 180.0°C แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวัดอุณหภูมิในท่อลมก่อนเข้าห้องอบแห้งและในห้องอบแห้ง

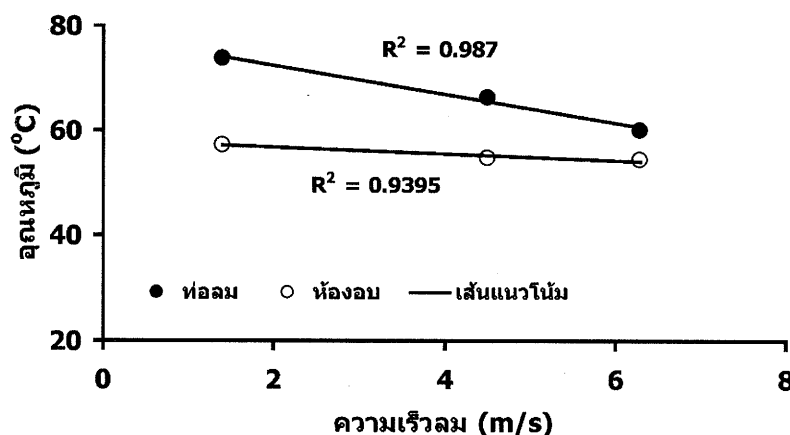
ความเร็วลม (m/s)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	
	ในท่อลมก่อนเข้าห้องอบแห้ง	ในห้องอบแห้ง
อุณหภูมิขดลวดความร้อน 30°C		
1.37	39.3 ± 4.5	39.0 ± 6.1
4.47	38.0 ± 4.4	39.0 ± 6.1
6.27	35.7 ± 6.0	39.3 ± 4.9
อุณหภูมิขดลวดความร้อน 60°C		
1.37	73.7 ± 2.5	57.3 ± 0.6
4.47	66.4 ± 3.2	54.7 ± 4.0
6.27	60.0 ± 1.0	54.3 ± 3.2
อุณหภูมิขดลวดความร้อน 90°C		
1.37	97.6 ± 3.1	77.0 ± 2.6
4.47	91.0 ± 6.0	74.6 ± 2.1
6.27	82.3 ± 1.8	74.3 ± 5.9
อุณหภูมิขดลวดความร้อน 120°C		
1.37	125.0 ± 5.6	92.3 ± 9.9
4.47	107.6 ± 9.5	91.0 ± 1.0
6.27	97.0 ± 2.6	88.0 ± 1.0
อุณหภูมิขดลวดความร้อน 150°C		
1.37	143.6 ± 22.4	110.3 ± 10.3
4.47	135.6 ± 17.4	110.3 ± 9.0
6.27	111.3 ± 7.5	102.6 ± 6.5
อุณหภูมิขดลวดความร้อน 180°C		
1.37	175.6 ± 10.5	136.6 ± 7.5
4.47	166.3 ± 4.7	134.0 ± 8.7
6.27	129.0 ± 8.5	120.6 ± 3.2

หมายเหตุ : ค่า S.D. คำนวณจากการทดลอง 3 ซ้ำ

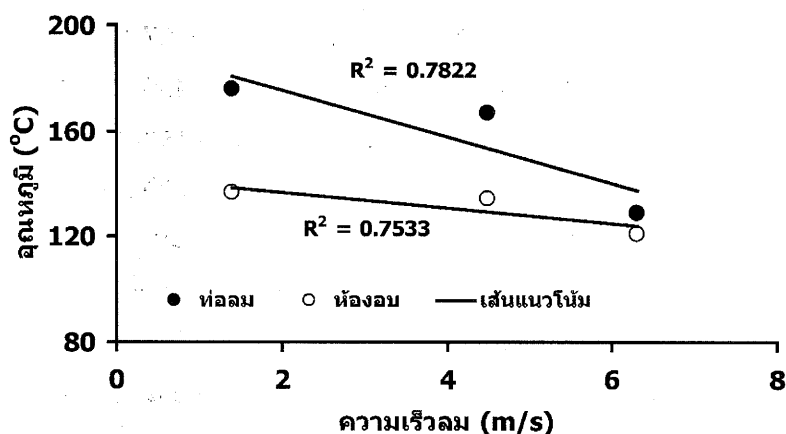
วิจารณ์

จากผลการทดสอบระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมลมร้อนไมโครเวฟ YRU-HA/MW DRYER#1 (FR&E) ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของขดลวดความร้อน อุณหภูมิลมร้อนในท่อลมก่อนเข้าอบแห้งและอุณหภูมิในห้องอบแห้ง ที่ความเร็วลมต่างกัน 3 ค่า คือ 1.37, 4.47 และ 6.27 m/s พบว่า อุณหภูมิในท่อลมก่อนเข้าห้องอบแห้งสูงกว่าอุณหภูมิในห้องอบแห้ง โดยอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของขดลวดความร้อนเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มสูงขึ้นทุกเงื่อนไขการทดลอง ดังภาพที่ 3 และ 4 เมื่ออุณหภูมิของขดลวดความร้อนเท่ากับ 90°C ความเร็วลม 1.37 m/s อุณหภูมิใน

ท่อลมก่อนเข้าห้องอบแห้งและอุณหภูมิในห้องอบแห้งเท่ากับ 97.7 และ 77.0°C ตามลำดับ ส่วนที่ความเร็วลม 4.47 m/s อุณหภูมิในท่อลมก่อนเข้าห้องอบแห้งและอุณหภูมิในห้องอบแห้งเท่ากับ 91.0 และ 74.7°C ตามลำดับ และที่ความเร็วลม 6.27 m/s อุณหภูมิในท่อลมก่อนเข้าห้องอบแห้งและอุณหภูมิในห้องอบแห้งเท่ากับ 82.3 และ 74.3°C ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิของขดลวดความร้อนเดียวกันอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ผลการทดลองดังกล่าวให้ผลเช่นเดียวกับรายงานของ สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (17) และ Brooker et al. (18) นอกจากนี้ยังพบอีกว่า อุณหภูมิในท่อลมก่อนเข้าห้องอบแห้งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิในห้องอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและอุณหภูมิในท่อลมและห้องอบแห้งเมื่อกำหนดอุณหภูมิขดลวดความร้อนเท่ากับ 60°C



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและอุณหภูมิในห้องลมและห้องอบแห้งเมื่อกำหนดอุณหภูมิขดลวดความร้อนเท่ากับ 180°C

ความแตกต่างของอุณหภูมิในห้องอบแห้งจะเห็นได้ชัดเจนที่อุณหภูมิของขดลวดความร้อนสูง ๆ เนื่องจากความเร็วลมเป็นตัวการหนึ่งที่ควบคุมความร้อนที่จะผ่านเข้าไปในห้องอบแห้ง กล่าวคือ เมื่อใช้ความเร็วลมที่สูงขึ้นจะทำให้ขดลวดความร้อนมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากช่วงเวลาที่อากาศแวดล้อมสัมผัสกับขดลวดความร้อนลดลงส่งผลให้อากาศร้อนที่ผ่านเข้าไปภายในห้องอบมีความชื้นสูงกว่าอากาศร้อนที่ผ่านเข้าไปเมื่อความเร็วลมต่ำกว่า และเครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในการอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรได้เพราะสามารถให้อุณหภูมิและความเร็วลมอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตร กล่าวคือ การอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรนั้นส่วนใหญ่จะใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 40-80°C ความเร็วลม 0.5-2.5 m/s (6, 8, 17, 19)

จากผลการวิจัยดังกล่าวพอที่จะเสนอแนะได้ว่า ระบบอบแห้งที่จะสร้างขึ้นควรมีช่องระบาย

อากาศเพื่อให้ไอน้ำสามารถถ่ายเทออกไปได้ ในขณะที่ตำแหน่งติดตั้งขดลวดความร้อนควรใช้ท่อและฉนวนกันเป็นอย่างดี รวมทั้งใช้สายไฟฟ้าที่ทนความร้อนสูงประมาณ 500-1,000°C เพื่อป้องกันไม่ให้อ่างขดลวดความร้อนไหม้และไฟฟาลัดวงจร นอกจากนี้ควรใช้อุปกรณ์ควบคุมความร้อนอัตโนมัติ (Thermostat) ที่มีความไวสูง ๆ เพื่อให้การควบคุมความร้อนในห้องอบแห้งมีประสิทธิภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินบำรุงการศึกษา ประจำปี 2552 คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา คณะผู้วิจัยขอขอบคุณนางสาวฟามีรา สะอูดี และ นางสาวรัชดาภรณ์ ฮานาฟี นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ช่วยประกอบและทดสอบระบบอบแห้งที่อาศัยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟ

เอกสารอ้างอิง

1. สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล ยุทธนา ฐิระวณิชกุล ไพโรจน์ ศิริรัตน์ สมคิด จินาพงษ์ และ วีระ ไทยสยาม : อุปกรณ์ศึกษาอัตราการอบแห้งเมล็ดพืชชั้นบาง. รายงานการวิจัย. สงขลา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 75 หน้า, 2536.
2. Basunia, M.A. and Abe, T. : Thin layer rewetting of rough rice at low and high temperatures. *Stored Products Research J.* 41 : 163-173, 2005.
3. Waigoon, R. and Chairat, S. : Drying characteristics of *garcinia atroviridis*. *Walailak J. Sci & Tech.* 3(1) : 13-32, 2006.
4. รัชดา โสภาคะยัง : การประยุกต์ใช้พลังงานไมโครเวฟในการทำความร้อนยาง. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, 11-13 พฤษภาคม 2548 โรงแรมแอมบาสเดอร์ซีดี จอมเทียน ชนบุรี. 5 หน้า.
5. สำนักประสานงานชุดโครงการวิจัย : การพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2(6) : 1-14, 2547.
6. เซาว์น เอื้อเฟื้อ : เครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำแบบพลังงานหมุนเวียน. *วารสารเทคโนโลยี* 23(2) : 3-4, 2545.
7. วีระพล บุญธรรม : เครื่องพลังงานแสงอาทิตย์ประยุกต์. *วารสารเทคโนโลยี* 21(4):1-2, 2543.
8. จงจิตร หิรัญลาภ : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบสำเร็จรูป. *จดหมายข่าว* 4(2) : 1-6, 2539.
9. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร [homepage on the Internet]. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, [cited 2010 January 9]. Available from : [http://www.eeit.or.th/articles/sun stove/stove.html](http://www.eeit.or.th/articles/sun%20stove/stove.html).
10. Litvin, S., Mannheim, C. H. and Miltz, J. : Dehydration of carrots by a combination of freeze drying, microwave heating and air or vacuum drying. *J. Food Engineering* 36 (1):103-111,1998.
11. Prabhanjan, D. G., Ramaswamyb, H. S. and Raghavan, G. S. V. : Microwave-assisted convective air drying of thin layer carrots. *J. Food Engineering* 25 : 283-293,1995.
12. Stuart, O. N. : Dielectric spectroscopy in agriculture. *J. Non-crystalline solids* 351 : 2940-2944,2005.
13. Rattanadecho, P., Aoki, K. and Akahori, M. : The characteristic of microwave melting of frozen packed bed using arectangular wave guide. *IEEE transactions of microwave theory and techniques* 50(6) : 1487-1494,2002.
14. Hansson, L. and Antti, A. L. : The effect of drying method and temperature level on the hardness of wood. *J. Materials Processing Technology* 171:467-470, 2006.
15. Oloyede, A. and Groombridge, P. : The influence of microwave heating on the mechanical properties of wood. *J. Materials Processing Technology* 100: 67-73,2000.

16. ทรงศิริ แท้สมบัติ : การพยากรณ์เชิงปริมาณ.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 487
หน้า, 2549.
17. สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ : การอบแห้งเมล็ด
พืชและอาหารบางประเภท, กรุงเทพฯ:
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 375
หน้า, 2540.
18. Brooker, D. B., Bakker-Arkema, F.W. and
Hall, C.W. : Drying cereal grains (3rd
edition), Westport, Connecticut: The AVI
publishing company, Inc. 265 p., 1981.
19. ____ Official methods of analysis (18th
edition), Washington, D. C., Association
of Official Analytical Chemists. 2005.