**Agricultural Sci. J. 33 : 6 (Suppl.) : 11-15 (2002)** **ว. วิทย. กษ. 33 : 6 (พิเศษ) : 11-15 (2545)**

# การอบกล้วยด้วยเครื่องอบจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง

# Drying of Banana Fruits using a Model of Conveyor Microwave Drying Technique

**คำนึง วาทโยธา**[1]

**Cumnueng Watyotha**[1]

**Abstract**

Dried banana for snack food is one of the major products of Nam-wa variety processing that makes farmer's income. The banana fruits are commonly dried by open-sun drying and LPG convection dryer, which took time for completing one batch of bananas, is one the major factors causing time productivity problems. In order to improve the productivity, the microwave energy was applied to decrease the drying time. The peeled banana fruits were dried to the desired final moisture content, in microwave environment using a model of conveyor microwave drying technique, by 60 °C air temperature and three levels of microwave density (0.24, 0.40 and 0.56 W/g). Drying time and energy requirement reduced drastically when higher levels of microwave were used. However, a lower power level should be recommended to maintain the maximum core temperature at 70 °C for better product quality. At the microwave density of 0.24 W/g, the drying time and the energy requirement were about 60 and 74% of those of convective drying. The colour of final product was the same colour as product processed by a solar dryer.

**บทคัดย่อ**

กล้วยอบเป็นผลิตภัณฑ์การแปรรูปกล้วยน้ำว้าที่ทำรายได้แก่กลุ่มแม่บ้านและเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยได้ดีอย่างหนึ่ง ปัจจุบันการอบกล้วยนิยมใช้เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแก๊สหุงต้มจึงต้องใช้เวลาในการอบนานและทำให้ความสามารถในการผลิตต่ำ ดังนั้นโครงการนี้ได้มุ่งศึกษาเทคนิคการอบที่มีศักยภาพในการเพิ่มความสามารถในการผลิตโดยการใช้พลังงานไมโครเวฟเร่งให้เวลาการอบสั้นลง จากการทดลองอบกล้วยน้ำว้าในตู้ไมโครเวฟดัดแปลงซึ่งจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง ภายใต้อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้อบ 60 °ซ. และระดับพลังงานไมโครเวฟ 3 ระดับ (0.24, 0.40 และ 0.56 W/g) ป้อนพลังงานไมโครเวฟเข้าตู้อบเป็นเวลา 0.5 นาที แล้วหยุด 5 นาที สลับกันไปจนการอบเสร็จสิ้นลง พบว่าเวลาและพลังงานที่ใช้อบลดลงอย่างมากเมื่อใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟต่ำทำให้ได้คุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยอบที่ดีกว่า และการใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟที่ 0.24 W/g กล้วยอบมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยไม่เกิน 70 °ซ. เวลาและพลังงานในการอบเป็น 60 และ 74% ของการอบด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว พร้อมกันนี้สีของผลิตภัณฑ์กล้วยอบยังมีช่วงสีเดียวกันกับผลิตภัณฑ์กล้วยอบที่ได้จากการอบด้วยเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์อีกด้วย

## คำนำ

กล้วยน้ำว้าเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญต่อวิถีชีวิตของคนไทยมาแต่โบราณกาล เพราะใช้เป็นอาหารของคนได้ทุกวัยนับแต่ทารกถึงคนสูงอายุ ดังนั้นจึงมีการปลูกกล้วยกันทั่วไปแทบทุกหมู่บ้านของประเทศไทย และในปี 2534 มีปริมาณการผลิตสูงถึง 1.6 ล้านตัน (Hallam, 1995) กล้วยนอกจากใช้รับประทานทั้งผลดิบและผลสุกแล้ว ยังถนอมเป็นอาหารแห้งในรูปของกล้วยตากเพื่อเก็บไว้รับประทานได้นานนับเดือน นับว่าเป็นภูมิปัญญาของบรรพบุรุษของเราโดยแท้ ปัจจุบันกล้วยตากยังคงเป็นที่นิยมบริโภคกันทั่วไป จึงมีกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรทำการผลิตกล้วยตากเพื่อส่งจำหน่ายตามร้านค้า ร้านสะดวกซื้อ และห้างสรรพสินค้าทั่วไป นับว่าอุตสาหกรรมกล้วยตากเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อมที่สร้างรายได้ให้กับกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร และเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยได้ดีอย่างหนึ่ง ซึ่งสังเกตได้จากความยั่งยืนของกลุ่มฯ ในแต่ละภาค เช่น ภาคเหนือ ได้แก่กลุ่มแม่บ้านในเขตจังหวัดพิษณุโลก และ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ กลุ่มแม่บ้านในเขตจังหวัดหนองคาย เป็นต้น

ขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการผลิตกล้วยตากคือการทำแห้งในแหล่งผลิตกล้วยตากที่สำคัญๆ จะทำแห้งโดยใช้เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแก๊สหุงต้ม จึงได้มีนักวิจัยหลายท่าน (Nathakaranakule *et al.*, 1996; Rungjiwaruk *et al.*, 1996; Soponronnarit *et al.*, 1997) ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องอบเหล่านี้ และพบว่าเครื่องอบแก๊สหุงต้มแบบพาความร้อนตามธรรมชาติมีประสิทธิภาพสูงสุดและมีระยะเวลาคุ้มทุนเร็วที่สุด จุดทำงานที่เหมาะสมของเครื่องอบถูกแนะนำที่เวลาการอบกล้วยนาน 3 วัน (45 ชั่วโมงทำงาน) แต่ปัจจุบันนี้ตลาดมีความต้องการเพิ่มขึ้นจึงมีการแข่งขันในการผลิตสูงมากขึ้น และปัญหาหนึ่งที่ผู้ผลิตกำลังประสบอยู่คือความล่าช้าในการทำแห้ง หากมีเทคนิคการทำแห้งที่รวดเร็วกว่าย่อมเพิ่มขีดความสามารถใน

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การผลิตได้อย่างชัดเจน ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งนำเอาเทคนิคการทำแห้งด้วยไมโครเวฟซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทำแห้งได้รวดเร็ว มาประยุกต์ใช้ในการผลิตกล้วยตากให้มีเวลาการอบแห้งที่สั้นลง

## อุปกรณ์และวิธีการ

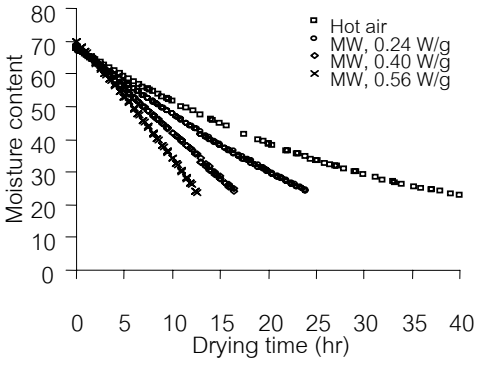
เตาอบไมโครเวฟแบบที่ใช้ในครัวเรือนมีขนาดกำลังสูงสุด 800 W ทำงานที่ความถี่ 2450 MHz และปรับช่วงการทำงานได้ 5 ระดับ คือ 80 240 400 560 และ 800 W ตามลำดับ ถูกดัดแปลงเป็นชุดทดลองโดยเจาะพื้นด้านล่างของเตาอบให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 เมตร แล้วปิดไว้ด้วยตะแกรงรูกลมขนาดเล็กเพื่อป้องกันการรั่วของคลื่นไมโครเวฟ และเป็นทางเข้าของลมร้อนซึ่งถูกทำให้ร้อนด้วยขดลวดไฟฟ้าและขับเคลื่อนด้วยพัดลมแบบหอยโข่ง ส่วนทางออกของลมร้อนเป็นรูขนาดเล็กจำนวนหนึ่งที่มีอยู่แล้วบนด้านข้างของเตาอบ อุณหภูมิของลมร้อนสามารถปรับและควบคุมโดยชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอลซึ่งมีความแม่นยำสูงถึง 0.50 °ซ. ดังนั้นเตาอบดัดแปลงนี้จึงสามารถใช้ทดลองการ อบแห้งด้วยลมร้อนเพียงลำพัง (เมื่อไมโครเวฟไม่ทำงาน) หรือใช้ทดลองการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (เมื่อไมโครเวฟทำงาน) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาการอบกล้วยทั้งแบบการอบด้วยลมร้อนเพียงลำพังและการอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนซึ่งจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง(Conveyor microwave drying)โดยอาศัยการเปิด-ปิดให้ไมโครเวฟทำงานเป็นระยะสลับกันไปเรื่อยๆ

ในการทดลองแต่ละซ้ำกล้วยน้ำว้าสุกปอกเปลือกแล้วจำนวน 1000 กรัม (ประมาณ13-14 ผล) ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 67 % (w.b.) ถูกอบจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้าย 24% (w.b.) ซึ่งเป็นระดับความชื้นของผลิตภัณฑ์กล้วยอบในเชิงพาณิชย์ (Phoungchandang and Wood, 2000) อุณหภูมิและอัตราการไหลจำเพาะของลมร้อนที่ใช้อบตลอดการทดลอง คือ 60 °ซ. และ 10 kg/h-kg dry banana ขณะอบทำการชั่งน้ำหนักของกล้วยทุกๆ ครึ่งชั่วโมง และวัดอุณหภูมิภายในเฉลี่ยของกล้วยจำนวน 5 ผล ด้วยเทอร์โมคัปเปิล การอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายลำเลียงนั้น ใช้ระดับความหนาแน่นของไมโครเวฟที่อัตรา 0.24 0.40 และ 0.56 W/g และเปิดไมโครเวฟให้ทำงานเป็นเวลา 0.5 นาที แล้วปิดไม่ให้ทำงานเป็นเวลานาน 5 นาที ทำสลับกันไปเรื่อยๆ จนเสร็จสิ้นการอบ คุณภาพสีของผลิตภัณฑ์กล้วยอบถูกทดสอบด้วยแผ่นสีมาตรฐานของ R.H.S.

## ผลและวิจารณ์

### การเปลี่ยนแปลงความชื้น

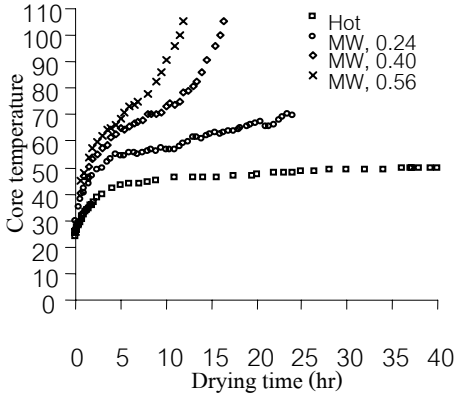
กราฟการลดลงของความชื้นในการอบกล้วยด้วยลมร้อนและการอบด้วยไมโครเวฟที่อัตราความความหนาแน่นต่างๆ ถูกแสดงเปรียบเทียบในภาพที่ 1 ซึ่งเห็นได้ว่าเส้นกราฟของการอบด้วยลมร้อนค่อยๆ ลดลงแบบเอ็กโปเนนเชียล เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากผิวนอกสู่ภายในวัสดุอบเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้เวลาในการอบแห้งนานถึง 40 ชั่วโมง ผลลัพธ์นี้ใกล้เคียงกันกับรายงานของ Rungjiwarak และพวก (Rungjiwarak *et al.*, 1996) เส้นกราฟของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟทุกเส้นมีความแตกต่างกับการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยมีความลาดชันมากกว่าและเส้นกราฟเกือบถือได้ว่าเป็นเส้นตรง เนื่องจากพลังงานไมโครเวฟทำให้เกิดขบวนการการให้ความร้อนเชิงปริมาตร (Sanga *et al.*, 2000) ความชื้นจึงลดลงได้เร็วกว่า ทำให้เวลาในการอบแห้งลดลงเป็น 24, 16.4 และ 12.5 ชั่วโมง ที่อัตราระดับความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟที่ 0.24, 0.40 และ 0.56 W/g ตามลำดับ




**ภาพที่ 1** การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลา

**การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใน**

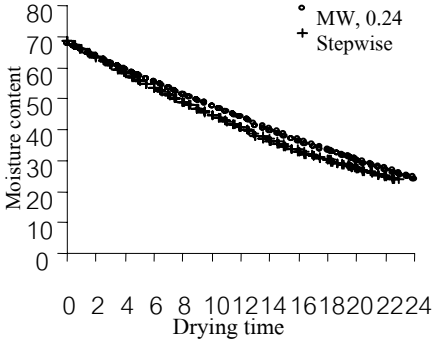
การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกับเวลาของกล้วยที่อบด้วยไมโครเวฟฯ และการอบด้วยลมร้อนถูกแสดงในภาพที่ 2 โดยอุณหภูมิภายในของกล้วยที่อบด้วยลมร้อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อม 25 °ซ. ถึง 45 °ซ. ภายใน 5 ชั่วโมงแรก และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ไปจนถึง 50 °ซ. ในชั่วโมงที่ 12 และหลังจากนั้นก็คงที่ไปจนถึงชั่วโมงที่ 40 ส่วนอุณหภูมิภายในของกล้วยที่อบด้วยไมโครเวฟนั้นยังคงแตกต่างไปจากอุณหภูมิภายในของกล้วยที่อบด้วยลมร้อน นับว่ายืนยันการลดลงของความชื้นในภาพที่ 1 ได้ดี โดยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการอบ ค่าและอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิจะสูงกว่าสำหรับระดับความหนาแน่นของไมโครเวฟที่สูงกว่า โดยที่ระดับความหนาแน่น 0.56 W/g อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและผ่านระดับอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้อบ (60 °ซ.) ภายใน 2.5 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นไปถึง 70 ใน 5.5 ชั่วโมง ณ จุดนี้กล้วยเริ่มโอเวอร์ฮีท หลังจากนั้นจะร้อนมากอย่างต่อเนื่องจนไหม้เนื่องจากพลังงานไมโครเวฟส่วนเกิน และส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนจบการทดลอง ปรากฏการณ์เช่นเดียวกันนี้ยังคงเกิดขึ้นที่ระดับความหนาแน่น 0.40 W/g อย่างไรก็ตามเวลาการเริ่มต้นในการเกิดโอเวอร์ฮีตใช้เวลานานกว่าคือชั่วโมงที่ 8 แต่นับว่าเคราะห์ดีที่ปรากฏการณ์นี้ไม่ได้เกิดขึ้นที่ระดับความหนาแน่น 0.24 W/g เพราะพลังงานไมโครเวฟที่ต่ำกว่า



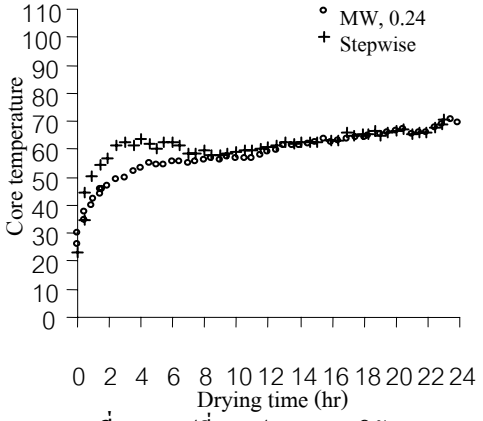

**ภาพที่ 2** การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลา

**อิทธิพลของการใช้พลังงาน 2 ระดับ**

ระดับพลังงานไมโครเวฟ 2 ระดับ ถูกทดสอบเพื่อเร่งขับไล่ความชื้นและเวลาการอบขณะที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังคงยอมรับได้ โดยใช้ความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟที่ระดับ 0.40 W/g ใน 3 ชั่วโมงแรก แล้วใช้ความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟที่ระดับ 0.24 W/g ไปตลอดเสร็จการทดลอง พบว่าการเปลี่ยนแปลงของความชื้นและอุณหภูมิภายในกับเวลาเป็นดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4 ในช่วงแรกใช้ความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟที่ระดับ 0.40 W/g อุณหภูมิของกล้วยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและถึงอุณหภูมิของลมร้อนในชั่วโมงที่ 2.5 และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนผ่านอุณหภูมิของลมร้อนเล็กน้อยเมื่อเสร็จสิ้นการใช้ระดับพลังงานนี้ ในระยะที่ 2 ใช้ความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟที่ระดับ 0.24 W/g อุณหภูมิจะลดลงทีละน้อยเนื่องจากพลังงานไมโครเวฟที่ลดลง และกลับเพิ่มขึ้นช้าๆ จนเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อนในชั่วโมงที่ 11 แต่ยังนับว่าเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟที่ระดับ 0.24 W/g เพียงระดับเดียว จึงเป็นการเร่งให้ความชื้นลดลงเร็วกว่าและทำให้เวลาอบแห้งลดลงเป็น 23 ชั่วโมง ขณะเดียวกันอุณหภูมิภายในของกล้วยยังคงถูกควบคุมให้อยู่ในเกณฑ์ 70 °ซ.



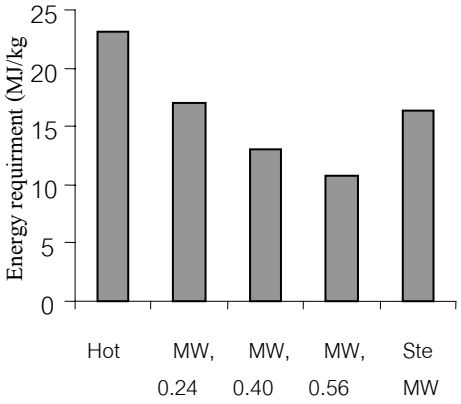

**ภาพที่ 3** การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลา




**ภาพที่ 4** การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับเวลา

**ความต้องการพลังงานในการระเหยน้ำ**

ค่าความต้องการพลังงานในการระเหยน้ำดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งได้แก่พลังงานที่จำเป็นในการทำให้อากาศแวดล้อมร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิที่ใช้อบ ภายใต้สมมุติฐานดังต่อไปนี้คือ อุณหภูมิแวดล้อม 25 °ซ. ค่าความร้อนจำเพาะ ความหนาแน่นและค่าความหนืดของอากาศคงที่ รวมกับพลังงานขณะเปิดให้ไมโครเวฟทำงาน จะเห็นว่าความต้องการพลังงานในการระเหยน้ำของการอบด้วยไมโครเวฟต่ำกว่าการอบด้วยลมร้อนเพราะว่าการให้ความร้อนเชิงปริมาตรและการกำเนิดความดันไอภายใน (Feng and Tang, 1998) โดยความต้องการพลังงานในการระเหยน้ำของการอบด้วยไมโครเวฟใช้ระดับพลังงานเดียวที่ 0.24 W/g และ การอบด้วยลมร้อน คือ 17.1 MJ/$kg_{น้ำระเหย}$ (ซึ่งประกอบด้วยพลังงานที่ทำให้อากาศร้อน 13.8 MJ พลังงานไมโครเวฟ 3.3 MJ) และ 23.1 MJ/$kg_{น้ำระเหย}$ ตามลำดับ ยิ่งกว่านั้นการอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ใช้ระดับพลังงาน 2 ระดับ ต้องการพลังงานเพียง 16.3 MJ/$kg_{น้ำระเหย}$ ซึ่งประกอบด้วยพลังงานที่ทำให้อากาศร้อน 13.0 MJ และพลังงานไมโครเวฟ 3.3 MJ ดังนั้นถ้าใช้แก๊สหุงต้มในการอุ่นอากาศและกำหนดราคาต่อหน่วยพลังงานเป็น 1 ใน 3 ของไฟฟ้าแล้ว การอบแห้งด้วยไมโครเวฟนับว่ามีศักยภาพความเป็นไปได้ทั้งทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์เพราะมีค่าใช้จ่ายความต้องการพลังงานในการระเหยน้ำใกล้เคียงกับการอบด้วยลมร้อนแต่ใช้เวลาอบน้อยกว่าถึง 16-17 ชั่วโมง




**ภาพที่ 5** พลังงานที่ต้องการในการระเหย

**คุณภาพของผลิตภัณฑ์**

สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบด้วยลมร้อน การอบด้วยไมโครเวฟระดับพลังงานเดียวที่ 0.24 W/g และการอบด้วยไมโครเวฟ 2 ระดับพลังงานที่ 0.40 และ 0.24 W/g ถูกวัดสีโดยใช้ R.H.S. Colour Chart พบว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีสีอยู่ในกลุ่ม Greyed-Yellow 162 group B ซึ่งเป็นสีเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

## สรุป

การใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสามารถอบกล้วยได้และมีเวลาการอบสั้นกว่าการอบด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว เวลาและความต้องการพลังงานในการระเหยน้ำลดลงอย่างรุนแรงเมื่อใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟที่สูง แต่การใช้ระดับ

พลังงานไมโครเวฟที่ต่ำสามารถรักษาอุณหภูมิภายในให้ต่ำกว่า 70 °ซ. ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงดีกว่า โดยสีของผลิตภัณฑ์เป็นสีเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

**คำขอบคุณ**

ผู้เขียนขอขอบคุณโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่ให้การอุดหนุนเงินเพื่อใช้ในการวิจัยนี้

**เอกสารอ้างอิง**

Hallam, D. 1995. The world banana economy. *In* Gowen, S. (ed.) Bananas and Plantains. Chapman and Hall. London.

Rinmookda, P. 1991. Development of Bangkratoom Dried Banana Production. Agricultural Extension Section. Thailand.

Soponronnarit, S., A. Nathakaranakule, W. Limtrakool, W. Rungjiwaruk, S. Nathakaranakule, W. Rakwichien. 1997. Banana fruit drying. REIC International Energy Journal. 19(2): 55-92.

Feng, H., J. Tang. 1998. Microwave finish drying of diced apples in a spouted bed. Journal of Food Science. 63(4): 679-683.

Phoungchandang, S., J. L. Woods. 2000. Moisture diffusion and desorption isotherms for banana. Journal of Food Science. 65(4): 651-657.

Peason, D. 1976. The Chemical Analysis of Food. Churchill Livingstone. London.

Rungjiwarak, W., S. Soponronnarit, W. Rakwichien, S. Nathakaranakule, J. O'Donoghue, S. Pengpad. 1996. Study of an industrial scale solar drying system for banana. International Conference on Food Industry Technology and Energy Applications. King Mongkut's Institute of Technology. Thonburi. Bangkok. Thailand. pp 276-283.

Sanga, E., A. S. Mujumdar, G. S. V. Raghavan. 2000. Microwave drying principle and applications. *In* Majumdar, A. S. (ed.) Advance in Drying. Kasetsart University Press. Thailand. Vol. 1.

Nathakaranakule, S., A. Nathakaranakule, S. Soponronnarit, W. Limtrakool. 1996. A comparative study of various methods. Proceeding 34th Annual Conference of the Australian and New Zealand Solar Energy Society. Darwin. Australia