

ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศในการอบแห้งสับปะรด
(กรณีศึกษา : กำลังไมโครเวฟ)

The Effect of Microwave Assisted Vacuum Drying of Pineapple
(Case Study : Microwave Power)

ดร.โสภิตา สังข์สุนทร^{1*}
دننسرณ ชาติเชยแดง²
วัชรพงศ์ บุญครอง³
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย⁴

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: sopida.sun@rmutr.ac.th

^{2,3}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: pay12624@hotmail.com

⁴ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)
E-mail: vsomsak@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการทดลองอบแห้งสับปะรดโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศในกระบวนการอบแห้ง โดยทำการศึกษาอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟที่ส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิ ความชื้นและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ ที่กำลังไมโครเวฟ 800 W และ 1,600 W ความดันสุญญากาศที่ 30 kPa วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ สับปะรดพันธุ์ ศรีราชา ที่นำแกนออก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 65 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 25 mm ความสูง 10 mm อบแห้งสับปะรดครั้งละ 1 kg ที่ความชื้นเริ่มต้นของสับปะรด 80%wb จนกระทั่งมีความชื้นสับปะรดที่ 20%wb กำหนดให้ควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบที่ 70°C จากผลการทดลองพบว่า กรณีกำลังไมโครเวฟ 1,600 W ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่า สามารถไล่ความชื้นเร็วกว่ากรณีกำลังไมโครเวฟ 800 W แต่ได้ด้านของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หลังผ่านกระบวนการอบแห้งพบว่ากรณีกำลังไมโครเวฟ 800 W ให้คุณภาพทางด้านลักษณะทางกายภาพที่ดีกว่ากรณีกำลังไมโครเวฟ 1,600 W

คำสำคัญ : การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ สับปะรดอบแห้ง กำลังไมโครเวฟ ความดันสุญญากาศ

ABSTRACT : In this research the drying process of pineapple using microwave assisted vacuum drying was investigated using experimental. The microwave assisted vacuum dryer was used to study the effects of different microwave power densities on the temperature distribution, moisture content and drying time of dried pineapple. The microwave assisted vacuum dryer was operated at microwave powers of 800 W and 1,600 W under absolute pressures of 30 kPa. The sample is Sriracha pineapple rings to the size of the pineapple slices-outside diameter 65 mm, inside diameter 25 mm and thickness 10 mm. The dryer has a capacity of 1 kg sliced pineapple fruits per batch. With drying air temperature in cavity set at 70°C, pineapple from an initial moisture content of 80% can be dried to a final moisture content of 20% wet basis. Experiments show that in the case of high power level (1,600 W) ensured the shortest drying time and causes greater damage to the structure of pineapple. The microwave assisted vacuum drying with operating mode at microwave powers of 800 W and absolute pressures of 30 kPa to the best overall quality of dried pineapple and thus was chosen as the most appropriate technique for pineapple drying.

Keywords : Microwave Assisted Vacuum Drying, Pineapple, Microwave Power, Vacuum Pressure

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารและอาหารแปรรูปถือเป็นรากฐานที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งมีมูลค่าภาคการผลิตอาหาร สินค้าการเกษตรอาหารและธุรกิจที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมอาหาร ประกอบกับตลาดโลกมีความต้องการอาหารเพิ่มสูงขึ้นจากการขยายตัวของประเทศเศรษฐกิจใหม่และตลาดอาเซียน โดยสับปะรดจัดเป็นผลไม้ที่อยู่ในกลุ่มสินค้าเป้าหมายที่มีศักยภาพในการส่งออกชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่ทางภาครัฐได้ให้การสนับสนุนและส่งเสริม เนื่องจากสับปะรดเป็นหนึ่งในผลไม้ที่มีประโยชน์หลากหลายและสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ต่างๆ ได้มากมาย โดยสับปะรด 1 ผล ให้น้ำและเนื้อประมาณ 52% ส่วน 48% คือ ใบและเปลือก ซึ่งในปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากสับปะรดในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ อาทิ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมผงหมักเนื้อ อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมสิ่งทอ ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสับปะรดที่ผู้บริโภคนิยม ได้แก่ สับปะรดอบแห้ง สับปะรดสไลด์แว่นชนิดบรรจุกระป๋อง น้ำสับปะรด เป็นต้น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมูลค่าการส่งออกให้กับประเทศอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการผลิตและแปรรูปนั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการในหลายขั้นตอน ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการลดลง

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ขึ้นเพื่อที่จะรักษาคุณค่าทางโภชนาการให้มากขึ้น

การพัฒนาเทคโนโลยีในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภทจำเป็นต้องอาศัยการสร้างองค์ความรู้ใหม่เพื่อเป็นรากฐานในการพัฒนาเทคนิคการอบแห้งหลากหลายรูปแบบจึงได้ถูกคิดค้นและนำเสนอเพื่อเป็นทางเลือกในการอบแห้งผลผลิตเกษตรเชิงอนุภาค (Particulate Agricultural Products) สำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรดมีหลากหลายรูปแบบ อาทิเช่น การทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์แบบสั่นสะเทือน (Vibro-fluidized Drying) การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) และการทำแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum Drying) เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า การอบแห้งโดยทั่วไปนั้น อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนและมวล ภายใต้สภาวะการพาความร้อนและมวลที่ผิวของวัสดุ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้มีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำ (ประมาณ 20-30%) แต่การประยุกต์ใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ สามารถช่วยประหยัดพลังงาน ลดระยะเวลาในการอบวัสดุและวัสดุได้รับความร้อนทั่วถึงพร้อมกันตลอดวัสดุ ส่งผลให้การกระจายของความชื้นในโครงสร้างเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความร้อนเชิงปริมาตร ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนจากภายในสู่ภายนอก ประกอบกับการที่นำระบบสุญญากาศมาประยุกต์ใช้ร่วมกับไมโครเวฟ จึงทำให้สามารถช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้อีกด้วย และจากหลักการของกระบวนการลดความดันในขณะอบแห้งเนื่องจากระบบ

สุญญากาศนั้น เพื่อช่วยให้น้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์ระเหยที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างสวยงาม ไม่เสียเยื่อ รวมทั้งรักษาคุณภาพได้ดีอีกด้วย ซึ่งวิธีการอบแห้งระบบนี้ยังสามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการอบแห้งในภาคอุตสาหกรรมต่อไป ดังนั้นการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟและระบบสุญญากาศ มาใช้จึงเป็นทางเลือกใหม่อีกทางหนึ่ง เนื่องจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานสะอาด มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง และมีการกระจายความร้อนอย่างสม่ำเสมอภายในวัสดุ ซึ่งที่ผ่านมา นั้นมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและเทคโนโลยีประเภทต่างๆ เช่น งานวิจัยของ Shivhare et al. (1991)[1] ศึกษาการนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในการอบแห้งข้าวโพด Tulasidas (1996)[2] ศึกษาการอบแห้งองุ่นโดยการใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ สุวิมล และคณะ (2009)[3] ได้ทำการศึกษาการทำความร้อนในชั้นวัสดุที่เป็นของเหลวโดยใช้คลื่นไมโครเวฟชนิดท่อคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (โหมด TE₁₀) โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสามมิติ ต่อมา มีผู้ทำการศึกษากระบวนการอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งสุญญากาศ เช่น งานของ Wadsworth และคณะ (1990)[4], Maskan (2000)[5], Soysal (2004)[6] และ Christine และคณะ (2014)[7] พบว่าการอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศนั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งได้ Drouzas และ Tsami (1999)[8] ทำการทดลองโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งสุญญากาศ และลมร้อนกับผลไม้ โดยพบการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอภายในตู้อบ และคุณภาพทางด้านสีของผลไม้ที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟระบบสุญญากาศดีกว่าผลไม้ที่ผ่าน

การอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน Kusturee และคณะ (2010)[9] ทำออกแบบและทดลองอบแห้งชาโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งสุญญากาศ สำหรับงานวิจัยที่ทำการอบแห้งหรือศึกษาคุณภาพของสับปะรดที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง เช่น Arnold และคณะ (2001)[10] ที่ทำการอบแห้งสับปะรดโดยใช้เครื่องแบบแห้งพลังงานชีวมวลร่วมกับแสงอาทิตย์ ในประเทศฟิลิปปินส์ Botha และคณะ (2012)[11] และ Pedro Amorim Berbert และคณะ (2016)[12] ได้ทำการศึกษาคุณภาพของสับปะรดที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งเห็นได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการทดลองเพื่อศึกษาการกระจายตัวของความชื้น แต่การศึกษาอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟที่ส่งผลต่ออุณหภูมิในกระบวนการอบแห้ง กรณีการใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ นั้นยังไม่มีการศึกษาอย่างเป็นระบบ ดังนั้นในงานนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟที่ส่งผลต่อการกระจายอุณหภูมิ ความชื้น และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรด โดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อการทำความเข้าใจกระบวนการอบแห้งวัสดุพรุณ (สับปะรด) หรือวัสดุใกล้เคียงอื่น ๆ โดยใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศได้ รวมทั้งใช้ในการพัฒนาไปยังภาคอุตสาหกรรมได้

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟเป็นสิ่ง

สำคัญในการศึกษาพฤติกรรมในการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ ทำให้สามารถวิเคราะห์การทำความร้อนจากพลังงานไมโครเวฟได้ พลังงานไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่ในช่วง 0.3 - 300 GHz หรือในช่วงความยาวคลื่น 30 cm ถึง 0.3 mm โดยในการศึกษาใช้ช่วงความถี่ 2.45 GHz หรือความยาวคลื่น 12.24 cm (เนื่องจากเป็นมาตรฐานในการผลิตเครื่องใช้ไมโครเวฟตามหลักสากลที่ใช้กันโดยทั่วไป) โดยทั่วไปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจากการรวมตัวของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะตั้งฉากกันและกันพร้อมเคลื่อนที่ไปยังทิศทางเดียวกันหรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กตามหลักทฤษฎีแมกซ์เวลล์ในการศึกษาความร้อนจากกระบวนการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟความรู้เกี่ยวกับสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุมีความจำเป็นเพราะสมบัตินี้ส่งผลต่อการเกิดความร้อน อาหารแต่ละชนิดมีองค์ประกอบของอาหารแตกต่างกัน ทำให้สมบัติไดอิเล็กตริกต่างกันส่งผลทำให้การดูดซับคลื่นไมโครเวฟแตกต่างกัน ปริมาณน้ำและเกลือแร่รวมถึงน้ำที่เป็นองค์ประกอบในอาหารมีความสำคัญในการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ น้ำที่อยู่ในรูปอิสระ (Free Water) สามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดีกว่าน้ำที่เกาะอยู่ในรูปสารประกอบอื่น เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และเกลือแร่ เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ ได้แก่ สมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น ความสามารถในการดูดซับพลังงานไมโครเวฟของวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งตัวแปรที่สำคัญอีกตัวแปรหนึ่งที่ใช้อธิบายความสามารถในการผลิตความร้อนของวัสดุไดอิเล็กตริกเมื่อถูกคลื่นพลังงานจาก

คลื่นไมโครเวฟ (Q) ได้แก่ ค่าประสิทธิภาพ
 ลอสแทนเจนท์ (Dielectric Loss Tangent Coef-
 ficient ($\tan \delta$)) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้
 ดังนี้ (Ratanadecho (2001)[13])

$$Q = \omega \varepsilon_r'' \varepsilon_0 E^2 = 2\pi f \varepsilon_r'' \varepsilon_0 (\tan \delta) E^2 \quad (1)$$

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} = \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_r'\varepsilon_0} \quad (2)$$

เมื่อ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ
 f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ
 E คือ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า
 σ คือ ความสามารถในการนำไฟฟ้า
 ϵ_0 คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของสุญญากาศ
 $(8.86 \times 10^{-12} \text{ F/m})$

ϵ_r' คือ ค่าเปอร์มิตติวิตีสัมพัทธ์

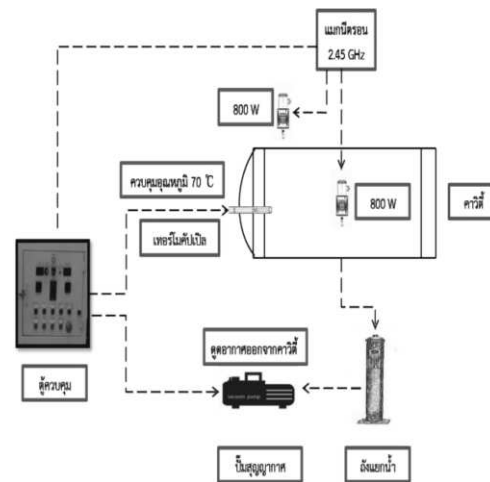
ϵ_r'' คือ ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กตริก

การคำนวณหาอัตราการอบแห้ง เพื่อหาประสิทธิภาพในการลดปริมาณความชื้นในแต่ละกระบวนการ โดยความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้งความชื้นมาตรฐานเปียก ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันด้านการค้า จะบอกอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์

$$M_w = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (3)$$

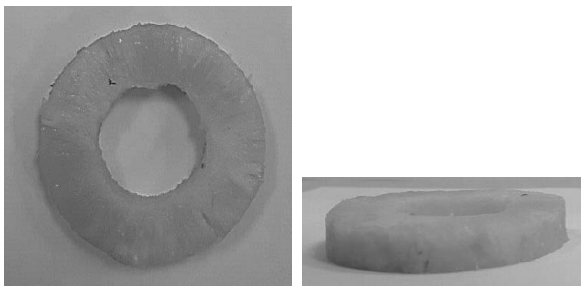
เมื่อ M_w คือความเข้มข้นมาตรฐานเปียก, w คือมวลของวัสดุ ; kg และ d คือ มวลของวัสดุแห้ง ; kg

2.2 อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ

ในการทดลองอบแห้งสับปะรดใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศดังแสดงในภาพที่ 1 โดยมีกระบวนการทำงานของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศดังนี้ คลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลอง มีความถี่ 2.45 GHz เป็นระบบ Multi-Mode มีแหล่ง กำหนดพลังงานไมโครเวฟ 800 W จำนวน 2 ตำแหน่ง บริเวณด้านบนและด้านข้างของเครื่องทำให้มีกำลังสูงสุด 1,600 W โดยการทดลองสามารถเลือกเปิดพลังงานไมโครเวฟ 800 W ได้โดยการเปิดใช้แมกนีตรอน 1 ตัว ได้และมีระบบสุญญากาศเพื่อลดความดันและสามารถปรับระดับความดันสุญญากาศได้



(ก) ภาพด้านบน (ข) ภาพด้านข้าง
ภาพที่ 2 วัสดุทดสอบ (สับประรดพันธุ์ศรีราชา)

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือสับประรดพันธุ์ศรีราชา ที่นำแกนออก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 65 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 25 mm ความสูง 10 mm แสดงดังภาพที่ 2 โดยทำการอบแห้งสับประรดครั้งละ 1 kg ความชื้นเริ่มต้นของสับประรด 80%wb ในการหาความชื้นของสับประรดนั้นหาโดยใช้เครื่องชั่งวิเคราะห์ความชื้น Moisture Analyzer รุ่น MX-50 และมีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศไว้ที่ 70°C ตลอดระยะเวลาในการทดลอง

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

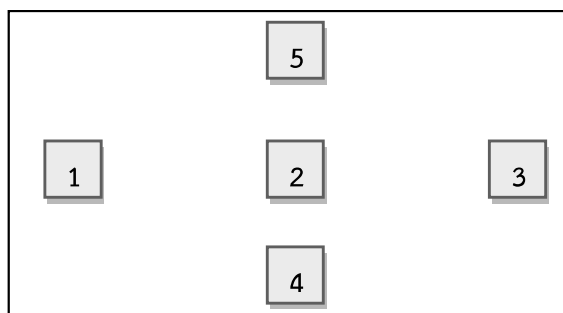
1. นำสับประรดวัสดุทดสอบในภาพที่ 2 ปริมาณ 1 kg วางในภาชนะทดสอบโดยไม่ให้ทับซ้อน

2. ทำการทดลองโดยใช้เงื่อนไขแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

2.1 กรณีทำการทดลองโดยปล่อยพลังงานไมโครเวฟกำลัง 800 W ความถี่ 2.45 GHz และความดันสุญญากาศ 30 kPa โดยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบที่ 70°C

2.2 กรณีทำการทดลองโดยปล่อยพลังงานไมโครเวฟกำลัง 1600 W ความถี่ 2.45 GHz และความดันสุญญากาศ 30 kPa ควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบที่ 70°C

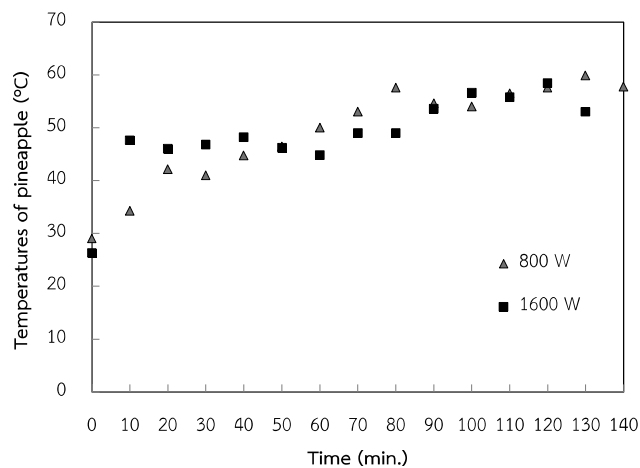
3. ทำการบันทึกค่าผลการทดลองทุก 10 นาที โดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล (Sunford ACS) และ วัดอุณหภูมิของสับประรด 5 ตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 3 ด้วยอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ (Fluke รุ่น 561 HVAC Pro) เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น จากนั้นทำการทดลองซ้ำในขั้นตอนข้อที่ 1 จนวัสดุทดสอบมีความชื้น 20%wb จึงหยุดการทดลอง



ภาพที่ 3 ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิของสับประรด

3. ผลวิจัยและอภิปรายผล

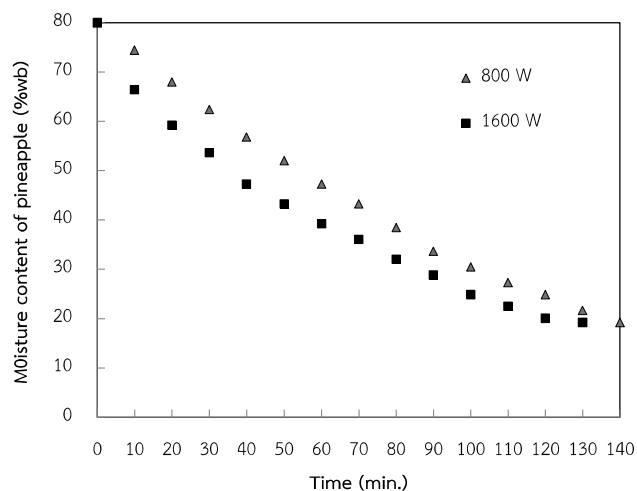
กรณีศึกษาอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟโดยทำการปรับเปลี่ยนกำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 800 W และ 1,600 W ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa จากภาพที่ 4 พบว่า



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้การอบแห้งสับปะรดที่สภาวะกำลังไมโครเวฟที่ 800 W และ 1,600 W ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa

จากภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาที่ใช้การอบแห้งสับปะรดที่สภาวะกำลังไมโครเวฟที่ 800 W และ 1,600 W ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa ความชื้นเริ่มต้นที่ 80%wb ควบคุมอุณหภูมิ 70°C ปริมาณสับปะรดที่ใช้ในการทดลอง 1 kg ทำการทดลองจนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 20%wb พบว่าในช่วงอุณหภูมิสูง (ช่วงให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ) ในช่วงเวลา 0-10 นาที ช่วงต้นของกระบวนการอบแห้งสับปะรดปริมาณความชื้นหรือน้ำมีเปอร์เซ็นต์สูงมาก 80%wb ดังนั้นพลังงานไมโครเวฟเมื่อผ่านสับปะรดจะถูกดูดซับพลังงานด้วยโครงสร้างของสับปะรดและน้ำในสับปะรดเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิในสับปะรดมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำในโครงสร้างของสับปะรดเกิดการระเหยออกจากวัสดุ เมื่อปริมาณน้ำลดลงความสามารถในการดูดซับพลังงานโดยรวมของสับปะรด

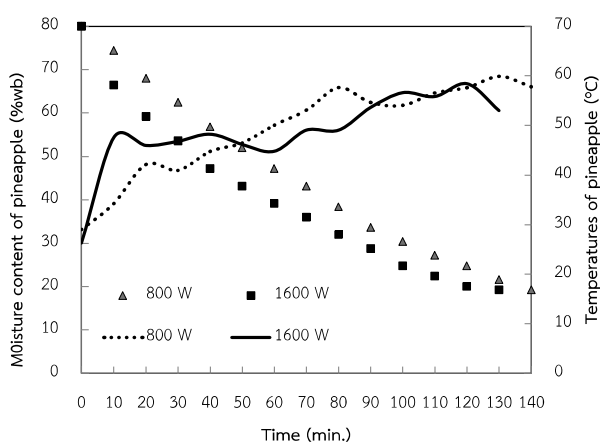
จึงลดลง และเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ความชื้นจะลดลงด้วยอัตราคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 5 เนื่องจากปริมาณน้ำในโครงสร้างของสับปะรดลดลง ปริมาณพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่วัสดุดูดซับเพื่อเปลี่ยนเป็นความร้อนลดลง โดยผลการทดลองกรณีกำลังไมโครเวฟที่ 800 W สามารถลดความชื้นได้ 20%wb น้ำหนักของสับปะรดลดลงเหลือ 0.24 kg ใช้เวลาในกระบวนการอบแห้ง 140 นาที ซึ่งใช้เวลานานกว่ากรณีคลื่นไมโครเวฟ 1,600 W สามารถลดความชื้นได้ 20%wb น้ำหนักลดลงเหลือ 0.24 kg ใช้เวลาในกระบวนการอบแห้ง 130 นาที สังเกตได้ว่าพฤติกรรมการลดความชื้นทั้งสองมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยหรือมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน เนื่องจากเมื่อความร้อนภายในห้องอบมีอุณหภูมิ 70°C ไมโครเวฟจะหยุดทำงาน โดยเกิดการเกิดความร้อนเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างวัสดุ (สับปะรด) กับคลื่นไมโครเวฟ เป็นการเกิดความร้อนเชิงปริมาณโดยจะเกิดความร้อนที่ภายในวัสดุและออกมาสู่ด้านนอก การให้กำลังไมโครเวฟสูงจะเกิดความร้อนได้สูงกว่าการให้กำลังไมโครเวฟต่ำ ดังเห็นได้ในช่วงต้นของกระบวนการ เวลาที่ 0-50 นาที (ภาพที่ 5) และหลังจากนั้นพฤติกรรมของอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟส่งผลน้อยลง เนื่องจากปริมาณความชื้นในวัสดุลดลง ประกอบกับมีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบให้มีอุณหภูมิ 70°C ตลอดการทดลอง จึงทำให้แมกนีตรอนหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิในห้องอบสูงเกิน 70°C และจะเริ่มทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบต่ำกว่า 70°C ประกอบกับการลดความดันในขณะอบแห้งเนื่องจากระบบสุญญากาศส่งผลให้น้ำในเนื้อผลิตภัณฑ์ (สับปะรด) ระเหยที่อุณหภูมิต่ำ



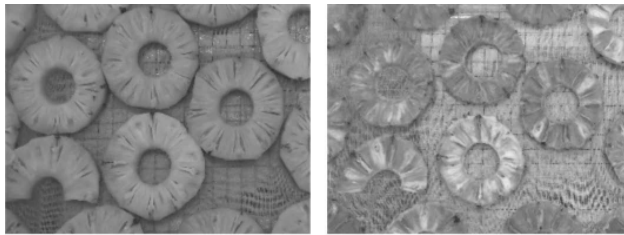
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา การอบแห้งสับปะรดที่สภาวะกำลังไมโครเวฟ ที่ 800 W และ 1,600 W ความดันสุญญากาศ 30 kPa

จากภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของสับปะรดกับเวลาการอบแห้งสับปะรดที่สภาวะกำลังไมโครเวฟที่ 800 W และ 1,600 W ที่ความดันสุญญากาศ 30 kPa ความชื้นเริ่มต้นที่ 80%wb ซึ่งผลที่ได้พบว่าการกระจายความชื้นในสับปะรดของกำลังไมโครเวฟ 1,600 W สามารถเคลื่อนย้ายความชื้นในสับปะรดได้มากกว่ากรณีของกำลังไมโครเวฟ 800 W เนื่องจากการให้กำลังไมโครเวฟสูงจึงทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้นที่ภายในสับปะรดดังแสดงในภาพที่ 5 แล้วส่งความร้อนออกด้านนอก โดยในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการภายในสับปะรดจะมีเฟสของเหลวอยู่ต่อเนื่อง ประกอบกับอิทธิพลของความดันสุญญากาศ ทำให้เคลื่อนย้ายความชื้นของสับปะรดสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความชื้นลดลง ทำให้อัตราการดูดกลืนพลังงานเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟลดลง ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความชื้น และ

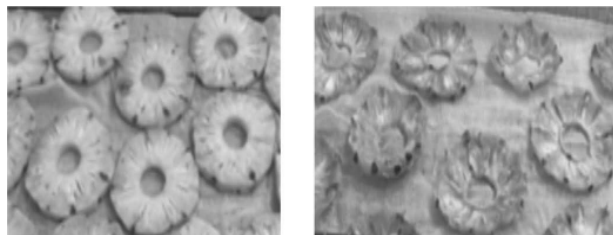
อุณหภูมิของสับปะรดที่สภาวะกำลังไมโครเวฟที่ 800 W และ 1,600 W ความดันสุญญากาศ 30 kPa ความชื้นเริ่มต้นที่ 80%wb ซึ่งผลที่ได้พบว่าการให้ 1,600 W สามารถดูดกลืนพลังงานได้มาก จึงเกิดอุณหภูมิสูงทำให้สามารถเคลื่อนย้ายความชื้นได้ดีกว่า กรณี 800 W แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความชื้นลดลง ส่งผลให้การเคลื่อนย้ายความชื้นออกสู่ผิวหน้านั้นลดลง เป็นอิทธิพลของความดันไอเป็นหลัก จึงทำให้ช่วงท้ายของกระบวนการมีความแตกต่างของการกระจายความชื้นของสับปะรดทั้งสองกรณีไม่มากนัก เนื่องจากกระบวนการอบแห้งเข้าใกล้สภาวะสมดุล อย่างไรก็ตามพบว่าการให้กำลังไมโครเวฟ 1,600 W สามารถเคลื่อนย้ายความชื้นได้สูงกว่ากรณีการให้กำลังไมโครเวฟ 800 W



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความชื้น และอุณหภูมิของสับปะรดที่สภาวะกำลังไมโครเวฟที่ 800 W และ 1,600 W ความดันสุญญากาศ 30 kPa



(ก) สับปะรดก่อนอบแห้ง (ข) สับปะรดหลังอบแห้ง
ภาพที่ 7 ลักษณะทางกายภาพของสับปะรดก่อน
และหลังอบแห้งที่สภาวะกำลังไมโครเวฟ
800 W ความดันสุญญากาศ 30 kPa



(ก) สับปะรดก่อนอบแห้ง (ข) สับปะรดหลังอบแห้ง
ภาพที่ 8 ลักษณะทางกายภาพของสับปะรดก่อนและ
หลังการอบแห้งที่สภาวะกำลังไมโครเวฟ
1,600 W ความดันสุญญากาศ 30 kPa

จากภาพที่ 7-8 ลักษณะทางกายภาพของ
สับปะรดก่อนและหลังการอบแห้งที่สภาวะของ
กำลังไมโครเวฟ 800 W และ 1,600 W ความ
ดันสุญญากาศ 30 kPa ระหว่างการทดลอง
ของกำลังไมโครเวฟ 800 W และ 1,600 W ที่
ความดันสุญญากาศ 30 kPa ความชื้นเริ่มต้น
ที่ 80%wb พบว่าลักษณะทางกายภาพของ
การอบแห้งโดยป้อนกำลังไมโครเวฟ 1,600 W
ความดันสุญญากาศ 30 kPa (ดังแสดงภาพที่
8) ลักษณะสับปะรดที่ผ่านการอบนั้นมึลักษณะ
ที่ค่อนข้างแตกต่างจากเดิมมากกว่ากรณีการ
ป้อนคลื่น 800 W ความดันสุญญากาศ 30
kPa (ดังแสดงภาพที่ 7) ซึ่งสับปะรดที่ได้นั้น
มีลักษณะใกล้เคียงสับปะรดก่อนอบแห้ง โดย

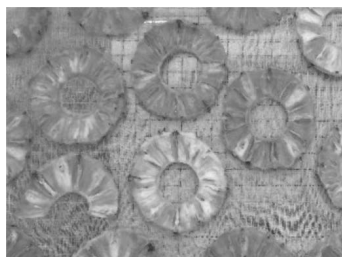
กรณีการป้อนไมโครเวฟ 1,600 W ที่ความดัน
สุญญากาศ 30 kPa เป็นการอบแห้งโดยใช้ระดับ
กำลังคลื่นไมโครเวฟสูง (1,600 W) จะทำให้
สับปะรดเกิดความร้อนสูง ส่งผลให้อัตราการอบ
แห้งสูง ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อ
สีสัมผัสและลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์
เมื่อได้รับพลังงานคลื่นไมโครเวฟปริมาณมาก
ทำให้สับปะรดเกิดความร้อนสูงมาก อิทธิพล
ของคลื่นไมโครเวฟส่งผลมากกว่าอิทธิพลของ
ความดันสุญญากาศ ความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นส่ง
ผลต่อโครงสร้าง และลักษณะทางกายภาพของ
สับปะรด ทำให้สับปะรดที่ผ่านการอบแห้งกรณี
การป้อนคลื่น 1,600 W ที่ความดันสุญญากาศ
30 kPa มีลักษณะทางกายภาพต่างจากสับปะรด
ก่อนอบแห้งค่อนข้างมาก



(ก) สับปะรดอบแห้งที่ใส่สารปรุงแต่ง (โซเดียมซัลไฟด์)



(ข) สับปะรดแห้งที่มีการเติมน้ำตาลเล็กน้อย



(ค) สับปะรดอบแห้งที่ได้จากการทดลองกรณีกำลัง
ไมโครเวฟ 800 W ความดันสุญญากาศ 30 kPa
(ไม่ใส่สารปรุงแต่ง)

ภาพที่ 9 ภาพแสดงการเปรียบเทียบสับปะรดอบแห้ง
ที่ใส่สารปรุงแต่ง (ก และ ข) และไม่ใส่สาร
ปรุงแต่ง (ค)

จากภาพที่ 9 การเปรียบเทียบสับปะรด
อบแห้งที่ใส่สารปรุงแต่งและไม่ใส่สารปรุงแต่ง
ลักษณะทางกายภาพของภาพที่ 9 (ก) โดยมีส่วน
ประกอบของการเติมน้ำตาลและสารโซเดียม ซึ่ง
สารโซเดียมซัลไฟด์ (มีวางขายตามท้องตลาด)
เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นด่างอ่อน ช่วยปรับ

สภาพให้น้ำภายในสับปะรดเป็นด่างมีหน้าที่ช่วย
รักษาสีให้คงความเหลืองสด ดังภาพที่ 9 (ก)
เมื่อวิเคราะห์ ภาพที่ 9 (ข) เป็นสับปะรดอบแห้งที่
ไม่ได้ใส่สารปรุงแต่งแต่มีการเติมน้ำตาลเล็กน้อย
(มีวางขายตามท้องตลาด) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้
นั้นมีความแตกต่างไปจาก สีเดิมของสับปะรด
อย่างเห็นได้ชัด และเมื่อวิเคราะห์ ภาพที่ 9 (ค)
เป็นภาพสับปะรดที่ได้จากการทดลองอบแห้ง
สับปะรดโดยเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับ
สุญญากาศที่ได้จากกรณีการป้อนกำลังไมโครเวฟ
800 W ความดันสุญญากาศ 30 kPa ไม่ใส่สาร
ปรุงแต่งในสับปะรด พบว่าสีและลักษณะทาง
กายภาพของสับปะรดที่ได้จากการทดลองนั้น
มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยเมื่อนำมาเปรียบ
เทียบกับสับปะรดก่อนผ่านกระบวนการ เนื่อง
มาจากอิทธิพลของการเกิดความร้อนเนื่องจาก
คลื่นไมโครเวฟ และอิทธิพลของความดัน
สุญญากาศทำให้น้ำในเนื้อวัสดุระเหยที่อุณหภูมิ
ต่ำ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วย
ระบบไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศสามารถเทียบ
เคียงกับสินค้าที่มีวางจำหน่ายตามตลาด

4. สรุปผล

จากการศึกษา พบว่าการใช้ไมโครเวฟ
ร่วมกับสุญญากาศในกระบวนการอบแห้ง
สับปะรดนั้น ในกรณีการใช้กำลังไมโครเวฟ
1,600 W จะสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้ง
ลงได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากมีอัตราการดูดกลืน
พลังงานสูงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสนาม
ไฟฟ้ามากกว่า กำลังของคลื่นไมโครเวฟที่ป้อน
เข้าไปมีค่าสูงจะมีอัตราการดูดกลืนพลังงานสูง
ทำให้เกิดความร้อนสูงจึงสามารถถ่ายเทมวลสาร
ได้มากกว่ากรณีกำลังของคลื่นไมโครเวฟที่มีค่า

ต่ำ (กำลังไมโครเวฟ 800 W) และพบว่ากรณีการอบแห้งที่สภาวะกำลังไมโครเวฟ 800 W ความดันสุญญากาศ 30 kPa ให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านลักษณะทางกายภาพดีกว่ากรณีกำลังไมโครเวฟ 1,600 W โดยอิทธิพลของคลื่นไมโครเวฟส่งผลมากกว่าอิทธิพลของความดันสุญญากาศในกรณีการใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศในกระบวนการอบแห้งสับปะรด อย่างไรก็ตามอิทธิพลของความดันสุญญากาศนั้นทำให้น้ำในเนื้อสับปะรดระเหยที่อุณหภูมิต่ำและเมื่อนำมาใช้ร่วมการเกิดความร้อนภายในวัสดุเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟทำให้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในวัสดุพูน (สับปะรด) ค่อนข้างสม่ำเสมอและการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศสามารถเทียบเคียงกับสินค้าที่มีวางจำหน่ายตามตลาด ประกอบกับการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบไว้ที่ 70°C ตลอดระยะเวลาในการทดลอง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

6. บรรณานุกรม

- (1) Shivhare, U.S., Raghavan, G.S.V., Kundra, T., Mujumdar, A.S. and Van De Voort, F.R.,1991. Through-circulation microwave drying of corn, Drying, 91:414-422.
- (2) Tulasidas, T.N., Raghavan, G.S.V., van de Voort, F. and Girard, R.,1996. Dielectric properties of grapes and sugar solutions at 2.45 GHz, Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 30 (2): 117-123.
- (3) สุวิมล เสนิงค์ ณ ออยุธยา,ธีรพจน์ เวชพันธุ์, ไชยณรงค์ จักรานนท์ และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2009).การศึกษากระบวนการทำความร้อนในชั้นวัสดุที่เป็นของเหลวโดยใช้คลื่นไมโครเวฟติดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (โหมด TE10) ให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสามมิติ. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. หน้าที่ 210-219.
- (4) Christine H. Scaman, Timothy D. Durance, Liana Drummond, Da-Wen Sun. 2014, Chapter 23 - Combined Microwave Vacuum Drying, Emerging Technologies for Food Processing (Second Edition), 427-445.
- (5) Maskan, M. 2000, Microwave/air and microwave finish drying of banana, Journal of Food Engineering, 44, 71-78.
- (6) Soysal,Y., 2004, Microwave drying characteristics of parsley, Biosystems Engineering, 89(2), 167-173.
- (7) J. I. Wadsworth, L. Velupillai, L. R. Verma, 1990, Microwave-vacuum drying of parboiled rice, Transactions of the ASAE. 33 (1): 199-210.
- (8) Drouzas, A.E., Tsami, E. and Saravacos, G.D.,1999. Microwave/Vacuum Drying of Model Fruit Gels, Journal of Food Engineering, Vol. 39:117-122.
- (9) Kusturee Jeni, Mudtapha Yapa, Phadungsak Rattanadecho, 2010. Design and analysis of the commercialized drier processing using a combined unsymmetrical double-feed microwave and vacuum system (case study: tea leaves), Chemical Engineering and Processing 49 :389-395.
- (10) Arnold R. Elepaño and Karen T. Satairapan, 2001. A SOLAR-BIOMASS DRYER FOR PINEAPPLE. Philippine Society of Agricultural Engineers, National Convention held in Cebu Plaza Hotel, Cebu City.

- (11) G.E. Botha, J.C. Oliveira, L. Ahn  , 2012, Microwave assisted air drying of osmotically treated pineapple with variable power programmes, Journal of Food Engineering, 108 (2) : 304-311.
- (12) Pedro Amorim Berbert, Marcia Terezinha Ramos de Oliveira, Ana Paula Martinazzo, 2016. Drying of pineapple slices in natura and pre-osmodehydrated in natura and osmodehydrated pineapple slices in inverted sugar. Bioscience Journal, 32(3): 597-610.
- (13) Ratanadecho.,P.,Aoki,K.and Akahori,M., 2001, Experimental and Numerical Study of Microwave Drying in Unsaturated Porous Material. Int. Commune, Heat Mass Transfer, Vol.28 :605-616.