การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเชิงพาณิชย์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่ง

Commercialized Paddy Dryer using Double Feed Microwave and Spouted Bed

มุสตาฟา ยะภา* กัสตูรี เจ๊ะนิ โศภิดา สังข์สุนทร ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช
หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.)
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
โทร 02 5643001-9 ต่อ 3153 *อีเมล์ dyapha@yahoo.com

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้เป็นที่ทราบกันว่าพืชเศรษฐกิจมีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศและข้าวเปลือกก็เป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ในการส่งออกให้แก่ประเทศเป็นอย่างมาก ปัจจุบันได้มีการกำหนดเกณฑ์ของข้าวเปลือกในการซื้อขายจะต้องมีความชื้นไม่เกิน 15% มาตรฐานเปียก จึงจะซื้อขายในราคาที่รัฐบาลรับประกัน ดังนั้นการสร้างความร้อนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับสเปาเต็ดเบดเป็นการพัฒนาเทคนิคการให้ความร้อนเพื่อระเหยความชื้นในข้าวเปลือก จากการทดลองวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเชิงพาณิชย์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่ง ซึ่งสามารถอบแห้งจากความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 30% มาตรฐานเปียก ให้เหลือความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 10% มาตรฐานเปียก โดยใช้อุณหภูมิของลมร้อน 70°C โดยใช้แมกนีตรอนจำนวน 2 หัว แบบไม่สมมาตร ซึ่งการออกแบบลักษณะเช่นนี้จะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในถังสเปาเตดมีความสม่ำเสมอได้ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนธรรมดาและสามารถไล่ความชื้นในข้าวเปลือกได้เร็วกว่าและได้ปริมาณข้าวต้นเพิ่มขึ้น โดยที่คุณภาพ สี ของข้าวเปลือกยังคงใกล้เคียงสภาพเดิม ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้านจุดคุ้มทุนจะมีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวเปลือกคิดเป็นเงิน 6852.48 บาทต่อตันข้าวเปลือก จะได้จุดคุ้มทุนเป็นระยะเวลา 1 ปี และในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าจะมีค่าใช้จ่ายคิดเป็นเงิน 16,850.88 บาทต่อปี

คำสำคัญ: ไมโครเวฟ, สเปาเต็ดเบด, การอบแห้งข้าวเปลือก

Abstract

The combination of a spouted bed with microwave heating to improve heating uniformity was evaluated. Experiments were performed on a Commercialized Paddy Dryer using Double Feed Microwave and Spouted Bed System which initially had moisture content at 30%wb and it had been dried to 10%wb at 70°C air using double magnetron of microwave power. With the combination method, temperature uniformity in Paddy was greatly improved as compared the stationary bed during microwave drying method. Products had less discoloration and higher rehydration rates as compared to conventional hot air drying or spouted bed drying. Furthermore, drying time could be reduced more than 80% compared to fluidized bed drying without microwave heating.

Key Words: Microwave, Spouted bed, Paddy drying

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีบทบาทสำคัญในการผลิตสินค้าอาหารหลายชนิดออกไปเลี้ยงคนทั่วโลก ประกอบกับนโยบายเศรษฐกิจของรัฐบาลที่ต้องการให้ประเทศไทยเป็นครัวของโลก ทั้งนี้หมายถึงการเป็นผู้ผลิตและส่งออกหลักของโลก รัฐบาลจึงเน้นให้ปรับปรุงระบบการผลิตเชิงเกษตรให้เป็นเกษตรเชิงอุตสาหกรรม ในที่นี้จะขอระบุและเน้นในเรื่องของข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศและการเพิ่มมูลค่าของข้าว

อดีตที่ผ่านมา เกษตรกรจะใช้วิธีการตากลานหลังจากเกี่ยวข้าวเพื่อไล่ความชื้นในเมล็ดข้าว แต่จะมีความสูญเสียเกิดขึ้นได้อีก อันเนื่องมาจากบางครั้งฝนตก นกลงมากิน แมลง ฝุ่น เข้ามาปนเปื้อน จึงได้มีการพัฒนามาใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบ Batch Type ต่อมาเพื่อให้การอบแห้งข้าวเปลือกดียิ่งขึ้นจึงได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งชนิด LSU (คิดค้นมาจาก Louisiana State University) มาเป็นแบบ Counter Flow Batch Type, Parallel Flow Batch Type, Cross Flow Batch Type และ Continuous Mix Flow เมื่อปี พ.ศ. 2536 ศ.ดร. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ ได้ทำการวิจัยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกระบบฟลูอิไดซ์เซชัน พบว่าการใช้เวลาในการอบข้าวเปลือกน้อยลง ตัวเครื่องจักรมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับชนิด LSU เปอร์เซ็นต์ข้าวเปลือกที่เป็น Head yield ได้เพิ่มมากกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องชนิด LSU แต่ระบบฟลูอิไดซ์เซชันก็ยังมีจุดด้อย คือสามารถทำให้ข้าวเปลือกแห้งได้ดีเฉพาะช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่เท่านั้นและ

ในช่วงของการอบแห้งลดลงก็จะต้องใช้กระบวนการอบแห้งชนิดอื่นมาเสริม

ต่อมาเริ่มมีการใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟในการทำความร้อนและการลดความชื้นในงานวิจัยมากขึ้น [Ratanadecho [1]] จึงได้มีนักวิจัยทำการศึกษาค้นคว้าโดยใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน ทำให้เวลาที่ใช้ในการทำให้แห้งสั้นลง โดยเฉพาะในช่วงของอัตราการอบแห้งลดลง [Garcia และคณะ [2], Prabhanjan และคณะ [3]และ Torringa และคณะ [4]] การอบแห้งที่ใช้ระบบไมโครเวฟนั้นจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุ ทำให้เกรเดียนของความดันมีอิทธิพลในการลดเวลาของกระบวนการอบแห้ง และในการถ่ายเทมวลก็จะอยู่ภายใต้อิทธิพลเกรเดียนของความดันแก๊ส [Turner & Jolly [5]] ในช่วงแรกของการศึกษาวิจัยจะเป็นการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและมวล การวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิ ความชื้น โดยไม่คำนึงถึงอิทธิพลของความดัน พบว่าสามารถลดเวลาการอบแห้งได้สูง เป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จะให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สูง ช่วยลดเวลาในการอบแห้ง มีค่าต้นทุนในการผลิตสูง [Mullin [6]] ต่อมาได้มีการศึกษาทฤษฎีและการทดลองของกระบวนการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟในวัสดุพรุนที่ไม่อิ่มตัวโดยศึกษาเน้นในเรื่องการถ่ายเทความร้อนและความชื้นพบว่าวัสดุพรุนที่มีขนาดเล็กมีแรงดันคาพิวลารีสูงกว่า ทำให้สามารถใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าวัสดุพรุนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ [Ratanadecho และคณะ [7]] ข้อจำกัดในเรื่องขนาดของอนุภาคของวัสดุที่ใช้ในการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟร่วมกับสเปาเตดเบด ได้นำแอปเปิลหั่นเป็นสี่เหลี่ยมลูกเต๋ามาทำการทดลอง มีความชื้นเริ่มต้น 22.4 % มาตรฐานเปียก พบว่าปริมาณความชื้น สี หลังจากทำการอบแห้งมีความสม่ำเสมอดี จากการทดลองข้างต้นทำให้ทราบข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการควบคุมการออกแบบระบบการอบแห้ง [Feng & Tang [8]] ในงานวิจัยครั้งนี้กลุ่มผู้วิจัยจากหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรมภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ได้ทำการพัฒนาระบบของการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นไปอีกโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่งมาทำการอบแห้งข้าวเปลือก โดยวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยครั้งนี้ คือ ศึกษาจลนพลศาสตร์ของระบบการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่งและศึกษาคุณภาพของข้าวเปลือกหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง

2. แนวคิดการใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับสเปาเต็ดเบด

วัสดุรูพรุนประกอบด้วยอนุภาคของแข็งกับของเหลว ไอน้ำและอากาศ ดังนั้นการถ่ายเทความชื้นจึงอยู่ภายใต้อิทธิพลของการแพร่กระจายของไอ (Vapor Diffusion) หรือแรงดันคาพิวลารี (Capillary Force) อิทธิพลของความชื้น อุณหภูมิและเกรเดียนของความดัน สภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง และวิธีการให้ความร้อน ในการวิเคราะห์การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟนั้น ของเหลว (Free Water) พิจารณาภายใต้อิทธิพลของแรงดันคาพิวลารีหรือเกิดทั้งภายใต้อิทธิพลการแพร่ไอน้ำและแรงดันคาพิวลารี การที่วัสดุร้อนขึ้นภายใต้คลื่นไมโครเวฟนั้น เกิดขึ้นจากกลไก 2 อย่างคือ กระบวนการโพลาไรเซชั่น (Polarization Process) กระบวนการโพลาไรเซชั่นเป็นกระบวนการจัดเรียงตัวของประจุใหม่ การสั่นหรือการหมุนตัวของไดโพลภายใต้สนามไฟฟ้าหรือแม่เหล็กซึ่งถือเป็นการเกิดการเคลื่อนที่ของประจุในระยะสั้นเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ของประจุซึ่งเกิดจากกระบวนการนำไฟฟ้า เมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้ามาในเนื้อวัสดุ คลื่นจะถูกดูดกลืนและจะไปเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นภายในและสนามไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุต่างๆ หรือเกิดกระบวนการโพลาไรเซชั่นขึ้นภายในวัสดุนั้น และแรงต้านทานการเคลื่อนที่รวมไปถึงแรงเฉื่อย แรงยืดหยุ่น และแรงเสียดทานจากการชนกันของประจุต่างๆ ทำให้เกิดความร้อนขึ้น หรือที่เรียกกันว่า Losses ขึ้นในวัสดุ โดยไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง มีย่านความถี่อยู่ในช่วง 100 MHz ไปจนถึง 10 GHz โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟมาทำให้โมเลกุลของน้ำในข้าวเปลือกกลับขั้วไปมาอย่างรวดเร็วเป็นจำนวนประมาณ 4,900 ล้านครั้งต่อวินาที จึงเป็นเหตุทำให้โมเลกุลของน้ำเสียดสีกันเกิดความร้อนขึ้นจากโมเลกุลภายในเนื้อเมล็ดข้าวเปลือกแล้วค่อยส่งความร้อนออกมาที่ผิวด้านนอก กล่าวคือโมเลกุลจะกลับตัวในช่วงคลื่นบวก 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที และช่วงคลื่นลบ 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที ดังนั้นการออกแบบกระบวนการอบแห้งที่ดีจะต้องคำนึงถึงประเด็นพื้นฐานที่สำคัญของการกระจายตัวของความร้อนภายในคาวิตี้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกตำแหน่งของการป้อนคลื่นให้การกระจายตัวของคลื่นภายในคาวิตี้ให้มีพฤติกรรมเป็นแบบมัลติโหมด ทั้งนี้ในงานวิจัยครั้งนี้การจำลองพฤติกรรมการแพร่กระจายของคลื่นภายในคาวิตี้ทำโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ในเชิงหลักการแล้ว การใช้แมกนีตรอนที่มีกำลังต่ำหลายตัวจะช่วยทำให้เกิดการกระตุ้นการเกิดโหมดใหม่ๆ ภายในคาวิตี้ง่ายขึ้น ทำให้รูปแบบและประสิทธิภาพการเกิดความร้อนดีกว่าแบบโหมดเดียว การใช้อุปกรณ์ควบคุมระบบการปิดเปิดของแมกนีตรอนแต่ละตัวสามารถแยกการควบคุมอย่างอิสระ แต่จะต้องระวังเรื่องการเกิดการหักล้างของคลื่นไมโครเวฟหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การเกิดคัปปลิ้งของคลื่นภายในคาวิตี้ โดยเฉพาะหากมีการติดตั้งแหล่งป้อนคลื่นของแต่ละตัวในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดการ ครอสคัปปลิ้งหรืออินเตอร์คัปปลิ้ง ซึ่งจะไม่เป็นผลดีเนื่องจากจะเอื้อให้เกิดปรากฏการณ์ การล็อคของคลื่นเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพการทำงานของแมกนีตรอนลดลง ลดการเกิดความถี่ที่แตกต่าง ลดการเกิดสภาพเรโซแนนซ์ของคลื่นมัลติโหมดภายในคาวิตี้

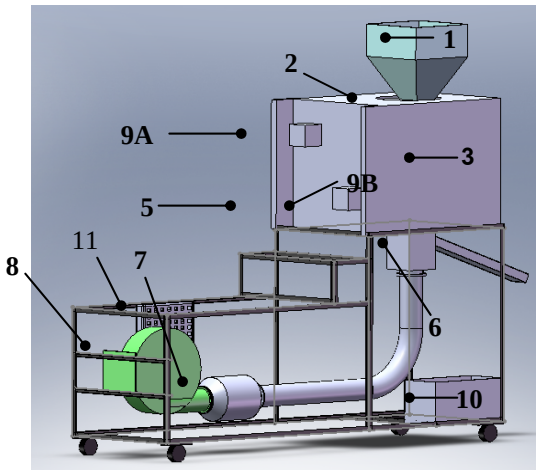
3 อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเชิงพาณิชย์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบด ผู้ประดิษฐ์ได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมจากเครื่อง MW_Dry1 ซึ่งเป็นงานวิจัยของ รศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช หัวหน้าหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยทำการสร้างตัวคาวิตี้ขนาด 95 cm x 65 cm x 80 cm ซึ่งทำจากสแตนเลสและติดตั้งตัวแมกนีตรอนและชุดควบคุมเพื่อจ่ายคลื่นไมโครเวฟเข้าในกล่องไมโครเวฟที่สองตำแหน่งพร้อมกัน (สิทธิบัตรเลขที่ 22549) ในทำนอง

เดียวกันสามารถที่จะเลือกปิดเปิดตำแหน่งใดก็ได้และสามารถตั้งเวลาให้ทำงานได้ โดยที่แมกนีตรอนแต่ละตัวมีกำลังสูงสุดขนาด 800 W ที่ความถี่ 2.45 GHZ

ในการนี้จะออกแบบให้การกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟเป็นลักษณะหลายโหมด (Multi-mode) ด้วยเหตุผลของการกระจายตัวของความร้อนในวัสดุที่นำมาอบที่ดี ภายในจะติดตั้งสเปาเต็ดเบด ซึ่งทำด้วยวัสดุที่ไม่ดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm และสูง 57 cm และสามารถบรรจุข้าวเปลือกได้ประมาณ 5 kg ในหนึ่งรอบการทำงาน โดยด้านล่างสเปาเต็ดเบด จะติดตั้ง Blower ขนาด 2.2 กิโลวัตต์ 5.3 แอมแปร์ 380 โวลต์ เพื่อสร้างปริมาณและแรงดันของลมโดยที่สามารถควบคุมให้ปรับความเร็วและแรงดันของลมได้ตามต้องการและบังคับให้ลมผ่าน Heater ซึ่งสามารถทำให้ลมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 70°C โดยมีความเร็วลมที่เหนือแผ่น Distributor เป็น 2.3 m/s เพื่อให้ข้าวเปลือกที่จะอบสามารถลอยตัวและหมุนวนภายในสเปาเต็ดเบดได้

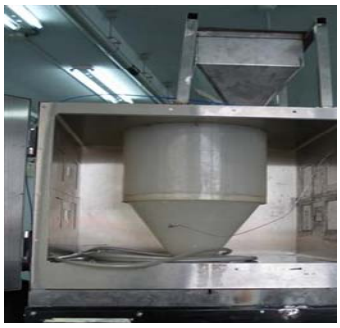
ด้านบนของระบบจะติดตั้งระบบป้อนวัสดุ (Hopper and Feed Valve) เข้าไปในสเปาเต็ดเบด ส่วนที่ผิวด้านบนของตู้ไมโครเวฟจะเจาะเป็นช่องไว้เพื่อให้ความชื้นผ่านออกไปสู่บรรยากาศได้โดยมีตะแกรงโลหะซึ่งออกแบบพิเศษให้สามารถตัดคลื่นที่จะทะลุผ่านได้ปิดเอาไว้ ส่วนด้านล่างของตู้ไมโครเวฟจะมีระบบกักเมล็ดข้าวเปลือก (Distributor Plate and Discharge Valve) ให้ขังอยู่ในห้องสเปาเต็ดเบดที่ต้องการอบแห้ง ในการทดลองนี้จะทำการวัดอุณหภูมิของลมร้อนที่ออกจาก Heater อุณหภูมิในห้องสเปาเต็ด อุณหภูมิที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ และอุณหภูมิรอบๆ เครื่องไมโครเวฟสเปาเต็ดเบดฯ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเชิงพาณิชย์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบด ชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่ง

ส่วนประกอบของเครื่องไมโครเวฟสเปาเต็ดเบดฯ ที่สร้างขึ้นแสดงได้ดังนี้

1. Hopper
2. Feed valve
3. Cavity
4. Spouted Chamber
5. Electric Control
6. Discharge valve
7. Heater
8. Blower
9. Microwave Generated
10. Water tank
11. Water cooler



รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งติดตั้งถังสเปาเต็ดเบดภายในคาวิตี้ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเชิงพาณิชย์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่ง

รูปที่ 3 ภาพถ่ายจริงของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเชิงพาณิชย์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่ง

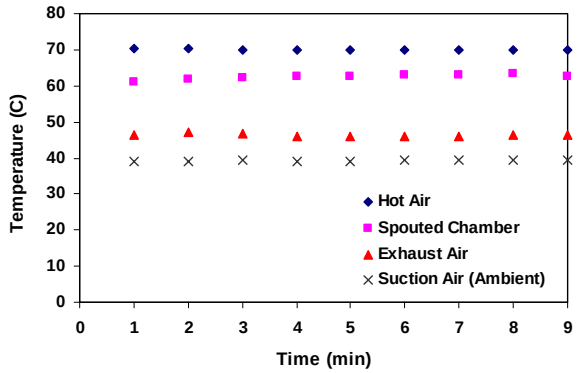
4 ผลการทดลอง

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นอุณหภูมิในข้าวเปลือกเมื่อทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเชิงพาณิชย์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่ง สามารถจำแนกผลของการศึกษาออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ ด้านจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งและด้านคุณภาพดังนี้

4.1 ด้านจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

จากผลการทดลองทำการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งฯ ที่สร้างขึ้น โดยทำการป้อนคลื่น 2 ตำแหน่ง กำลังแมกนีตรอนรวม 1600 W อุณหภูมิลมร้อนเฉลี่ย 70°C มีความเร็วลม 2.3 m/s โดยในแต่ละรอบของการอบแห้งใช้เวลา 9 นาที โดยพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้งฯ ดังรูปที่ 4 อุณหภูมิของ Exhaust air และอุณหภูมิใน Spouted Chamber จะ

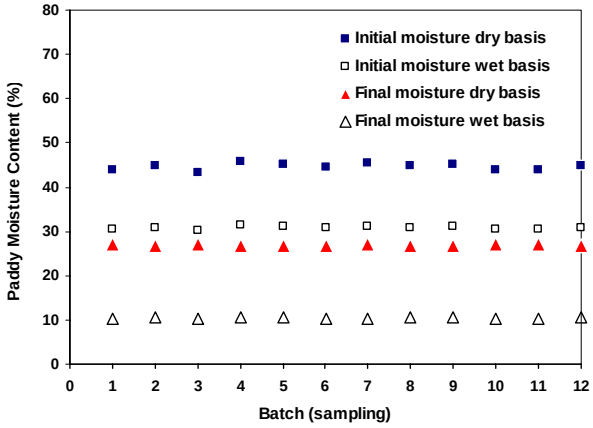
มีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในคาวิตี้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเมล็ดข้าวเปลือกจะเกิดจากคลื่นไมโครเวฟและอุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดข้าวเปลือกจะเกิดจากการถ่ายเทความร้อนด้วยลมร้อน ซึ่งทั้งสองกระบวนการถ่ายเทความร้อนนี้เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ จากตารางที่ 1 แสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ทำการทดลองโดยวัดค่าความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของแต่ละรอบการอบแห้ง วัดค่าเป็นมาตรฐานเปียกและมาตรฐานแห้ง จากนั้นนำมาวาดกราฟแสดงความชื้นของข้าวเปลือกก่อนและหลังการอบแห้ง พบว่าการไล่ความชื้นที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างรวดเร็วทั้ง 4 Batching และความชื้นสุดท้ายที่ได้ในแต่ละรอบมีค่าใกล้เคียงกันอย่างมาก (รูปที่ 5) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนั้น ความร้อนที่เกิดภายในวัสดุจะเป็นแบบการกำเนิดความร้อนในหน่วยปริมาตร (Volumetric Heating) ทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูง จึงสามารถไล่ความชื้นจากภายในออกสู่บริเวณผิวเป็นไปอย่างรวดเร็ว ประกอบกับมีอิทธิพลของการพาความร้อนจากสเปาเต็ดเบดทำให้การถ่ายเทความร้อนและมวลเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยในช่วงแรกของกระบวนการอิทธิพลของแรงดันคาพิลลารีจะมีอิทธิพลสูงในการไล่ความชื้นออกสู่ผิวหน้าแต่เมื่อเวลาผ่านไปความชื้นภายในวัสดุได้รับความร้อนเปลี่ยนเป็นไอ ดังนั้นการไล่ความชื้นจะมีอิทธิพลของความดันไอเป็นหลัก



รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งของเครื่องไมโครเวฟสเปาเต็ดเบดขณะทำการอบแห้ง

ตารางที่ 1 ความชื้นของข้าวเปลือกที่ทดลองอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสเปาเต็ดเบดฯ

Batching	Sample	Initial Moisture		Final Moisture	
		%db	%wb	%db	%wb
1	1	43.88	30.5	26.95	10.18
	2	44.71	30.9	26.84	10.53
	3	43.4	30.26	26.94	10.21
2	4	45.84	31.43	26.82	10.61
	5	44.99	31.03	26.81	10.64
	6	44.43	30.76	26.91	10.3
3	7	45.34	31.2	26.93	10.23
	8	44.71	30.9	26.84	10.53
	9	45.27	31.16	26.87	10.44
4	10	43.88	30.5	26.95	10.18
	11	43.74	30.43	26.95	10.16
	12	44.71	30.9	26.84	10.53



รูปที่ 5 แสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกก่อนและหลังอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสเปาเต็ดเบดฯ ที่สร้างขึ้น

4.2 ด้านคุณภาพ

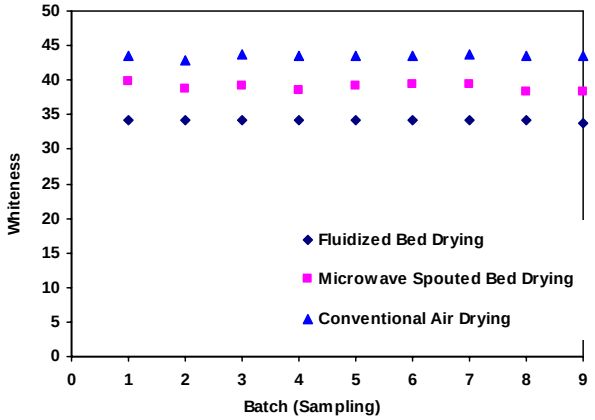
การตรวจสอบคุณภาพของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งดำเนินการตามมาตรฐานการส่งออกของ WING ON RICE Co., Ltd. โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การอบแห้งข้าวเปลือกให้ได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 10%wb
2. ทำการกะเทาะข้าวเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะแบบลูกยางกลมชั้นเดียว
3. ทำการขัดข้าวด้วยหินขัด เบอร์ 24
4. ทำการขัดข้าวด้วยหินขัด เบอร์ 30
5. ทำการขัดข้าวด้วยหินขัด เบอร์ 36

จากนั้นเอาไปทำการหาคุณภาพของข้าวสารด้วยเครื่อง Star Kett GR126 ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อนำไปเปรียบเทียบค่าความขาวของข้าวสาร ที่ผ่านการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยวิธีลมร้อนธรรมดาและฟลูอิไดซ์เบด ดังแสดงในรูปที่ 6 และตารางที่ 7 จะเห็นว่าค่าความขาวของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่ง จะให้ค่าความขาวดีกว่าการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดเนื่องจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟสเปาเต็ดเบดจะมีอัตราการอบแห้งสูงและสามารถไล่ความชื้นภายในวัสดุได้อย่างรวดเร็วจึงสามารถลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งลงได้มาก จึงยังคงรักษาคุณภาพทางด้านความขาวของข้าวได้ดีกว่าวิธีฟลูอิไดซ์เบด แต่จากการตรวจสอบพบว่าค่าความขาวของข้าวที่ได้จากตากแดดธรรมดาจะยังคงรักษาคุณภาพทางด้านสีได้ดีกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในวัสดุที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยตากแดดธรรมดานั้นจะทำให้อุณหภูมิข้าวสูงน้อยกว่าวิธีไมโครเวฟสเปาเต็ดเบดที่ความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้คุณภาพของข้าวที่ผ่านกระบวนการตากแดดตามธรรมดามีความขาวมากกว่า (เพียงเล็กน้อย)

ตารางที่ 2 คุณภาพข้าวที่อบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสเปาเต็ดเบด

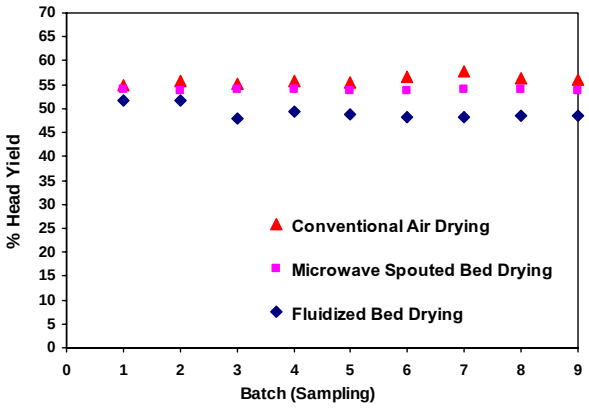
Sample	Paddy (g)	Brown Rice (g)	White Rice (g)	Whiteness	% Head Yield	% Broken Rice	% Bran
1	100	96.3	83.8	39.9	59.24	10.64	10.16
2	100	95.8	81.9	38.7	59.18	10.72	11.12
3	100	95.7	83.4	39.2	59.73	10.56	10.56
4	100	96.3	83.8	38.5	58.98	9.97	10.96
5	100	95.7	83.4	39.2	59.52	10.24	10.64
6	100	95.8	81.9	39.5	58.72	10.16	11.28
7	100	95.8	81.9	39.3	58.76	10.88	11.6
8	100	96.3	83.8	38.4	59.83	10.15	11.04



รูปที่ 6 แสดงค่าความขาวของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแต่ละวิธี

ตารางที่ 3 แสดงค่าความขาวของข้าวที่ผ่านการขัดขาว 3 ครั้ง

Sample	Natural air	Spouted bed	Fuidized bed
1	34.2	39.9	43.6
2	34.2	38.7	42.9
3	34.2	39.2	43.7
4	34.2	38.5	43.4
5	34.2	39.2	43.4
6	34.2	39.5	43.5
7	34.2	39.3	43.8
8	34.2	38.4	43.4
9	33.8	38.4	43.5
mean	34.15	39.01	43.47



รูปที่ 7 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 3 วิธี และผ่านกระบวนการสีข้าวขาว 3 ครั้ง

ตารางที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่ผ่านการอบแห้งข้าวเปลือกและผ่านการสีข้าวขาวด้วยการขัดขาว 3 ครั้ง

Sample	Natural air	Spouted bed	Fluidized bed
1	54.88	54.11	51.68
2	55.68	53.73	51.76
3	55.12	54.08	48.01
4	55.76	54.17	49.44
5	55.35	53.84	48.93
6	56.72	53.59	48.12
7	57.92	53.96	48.27
8	56.24	53.92	48.51
9	55.92	53.86	48.46
mean	55.95	53.92	49.24

ตารางที่ 4 และรูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้งแตกต่างกัน โดยในการศึกษาวิจัยนี้ใช้วิธีการพาความร้อนตามธรรมชาติ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสเปาเต็ดเบด และการอบแห้งด้วยวิธีฟลูอิไดซ์เซชั่นตามลำดับ พบว่าเปอร์เซ็นต์ของข้าวเต็มเมล็ดที่ได้จากการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดชนิดป้อนคลื่นสองตำแหน่งมีค่ามากกว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบด เนื่องจากความชื้นในเนื้อเมล็ดข้าวเปลือกถูกทำให้ร้อนด้วยไมโครเวฟ ความร้อนจะเกิดขึ้นตลอดทั่วทั้งเมล็ด (Volumetric Heating) เกิดเป็นความดันไอแล้วขับเคลื่อนความชื้นออกสู่ผิวเมล็ดข้าวเปลือกและระเหยออกสู่บรรยากาศได้อย่างสม่ำเสมอ การแตกหัก (Cracking) ภายในเนื้อเมล็ดข้าวเปลือกจึงเกิดน้อย

5 สรุปผลการทดลอง

การเกิดความร้อนเนื่องจากไมโครเวฟเป็นการเกิดตลอดทั่วทั้งเมล็ด (Volumetric Heating) ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเมล็ดข้าวเปลือกจะกระจายสม่ำเสมอ การไล่ความชื้นเป็นไปอย่างสม่ำเสมอด้วยเหตุนี้ทำให้ควบคุมคุณภาพได้ง่าย ดังนั้นเวลาที่ใช้ในกระบวนการ

อบแห้งข้าวเปลือกจะใช้ระยะเวลาสั้นประมาณหนึ่งในสิบของกระบวนการอบแห้งโดยวิธีการพาความร้อนแบบธรรมดา ด้วยเหตุนี้ทำให้ยังคงรักษาคุณภาพดั้งเดิมของผลิตภัณฑ์ (ข้าวเปลือก) ที่นำมาอบแห้งได้ดีกว่าวิธีดั้งเดิม เช่น รูปทรง สี กลิ่นและข้าวเต็มเมล็ด นอกจากนั้นยังมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง กล่าวคือประมาณ 70% ในขณะที่ใช้กระบวนการอบแห้งแบบวิธีธรรมดามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนแค่ประมาณ 30% และเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสเปาเตดมีขนาดเล็ก ทำให้ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบดั้งเดิมที่ใช้ลมร้อนธรรมดาที่มีกำลังการผลิตเท่ากัน ประกอบกับต้องการการบำรุงรักษาน้อย ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการได้มาก ซึ่งผลงานประดิษฐ์นี้จะเน้นการใช้วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศและใช้งบประมาณในการสร้างต่ำ แต่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีต้นทุนต่ำกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศ 8 เท่า และชุมชนระดับรากหญ้าสามารถนำเทคโนโลยีการอบแห้งนี้ไปดัดแปลงใช้ประโยชน์ได้ดี จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นๆ ได้หลายชนิด เช่น กาแฟ ถั่วและแป้ง เป็นต้น

5.1 เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถส่งผ่านทะลุเข้าไปในเมล็ดข้าวเปลือกที่นำมาอบแห้ง ดังนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อเมล็ดข้าวเปลือกจะกระจายสม่ำเสมอทำให้ความแห้งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอในทุกตำแหน่ง ด้วยเหตุนี้ทำให้การควบคุมคุณภาพทำได้ง่าย

5.2 เวลาที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกจะใช้ระยะเวลาสั้น คือประมาณหนึ่งในสิบของกระบวนการอบแห้งโดยวิธีการพาความร้อนแบบธรรมดา

5.3 สามารถรักษาคุณภาพของข้าวได้ดีและมี Head yield ของการสีข้าวสูงกว่าวิธีดั้งเดิม

5.4 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง กล่าวคือประมาณ 70% ในขณะที่ใช้กระบวนการอบแห้งแบบวิธีธรรมดามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนแค่ประมาณ 30%

5.5 ในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกแบบไมโครเวฟสเปาเต็ดเบดต้องการการบำรุงรักษาน้อย ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

5.6 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบไมโครเวฟสเปาเต็ดเบดมีขนาดเล็ก ทำให้ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบดั้งเดิมที่ใช้ลมร้อนธรรมดาที่กำลังการผลิตเท่ากัน

5.7 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสเปาเต็ดเบดใช้แหล่งความร้อนน้อยกว่าวิธีอบแห้งแบบดั้งเดิมเมื่อเปรียบเทียบที่กำลังการผลิตเท่ากัน

5.8 ผลงานประดิษฐ์นี้จะเน้นการใช้วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศและใช้งบประมาณในการสร้างต่ำ แต่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีต้นทุนต่ำกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศ 8 เท่า และชุมชนระดับรากหญ้าสามารถนำเทคโนโลยีการอบแห้งนี้ไปดัดแปลงใช้ประโยชน์ได้ดี

5.9 ประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นๆ ได้หลายชนิดเช่น กาแฟ ถั่ว และแป้ง เป็นต้น

5.10 รักษาคุณภาพดั้งเดิมของผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งได้ดี เช่น รูปทรง สี กลิ่น และ Head yield

5.11 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกสั้น เนื่องจากช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง สามารถเกิดในเวลาเดียวกันได้ ทำให้เวลาในการทำแห้งข้าวเปลือกในห้องอบแห้งน้อย

5.12 ความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์จะใช้ระยะเวลาคืนทุนภายใน 12 เดือน

5.13 ในการสร้างเครื่องให้เป็นเชิงพาณิชย์สามารถออกแบบสร้างเป็นระบบการผลิตอย่างต่อเนื่องได้

5.14 ด้านการอนุรักษ์พลังงาน การใช้ระบบไมโครเวฟเพื่อการอบแห้งจะมีประสิทธิภาพเป็น 90 % เมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ระบบการให้ความร้อนด้วยการเผาไหม้

6 เอกสารอ้างอิง

1. Ratanadecho, P., Aoki, K. and Akahori, M., 2001, A Numerical and Experimental Investigation of the Modeling of Microwave Drying Using a Rectangular Wave Guide., Drying Technology An International J., Vol. 19(9), pp.2209-2234.
2. Gacia, R., Leal, F. and Rolz, C., 1988, Drying of Bananas Using Microwave and Air Ovens., Int. J. Food Sci. & Technol., 23, pp.81-90.
3. Prabhanjan, D.G., Ramaswamy, H.S. and Raghavan, G.S.V., 1995, Microwave-assisted Convective Air Drying of Thin Layer Carrots., J. Food Eng., 25, pp.283-293.
4. Torringa, E. M., van Dijk, E. J. and Bertels, P.S., 1996, Microwave Puffing of Vegetable: Modeling and Measurements, Proceedings of 31st Microwave Power Symposium., Int. Microwave Power Inst.
5. Turner, I. W. and Jolly, P. G., 1991, Combined Microwave and Conventional Drying of A Porous Material, Drying Technol., 9, pp.1209-1269.
6. Mullin, J., 1995, Microwave Processing, In New Methodes of Food Preservation., G. W. Gould, ed., Blackie Academic & Professional, London, pp.112-134.
7. Ratanadecho, P., Aoki, K. and Akahori, M., 2002, Influence of Irradiation Time, Particle Sizes, and Initial Moisture Content During Microwave Drying of Multi-Layered Capillary Porous Materials., Journal of Heat Transfer., 124, pp.151-161.
8. Feng, H. and Tang, J., 1998, Microwave Finish Drying of Diced Apples in a Spouted Bed., J. Food Sci., 63, pp 679-683.