

การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกาแฟและถั่วเหลือง
โดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ-สเปาเต็ดเบด
The Optimum Drying Conditions of Coffee Bean and Soy Bean Using
Microwave-Spouted Bed Dryer

กริช เจียมจิโรจน์^{*}, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, วัชร เกาะแก้ว, โสภิตา สังข์สุนทร
ศูนย์วิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์ จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (M.R.C.E)
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)
99 ถ.พหลโยธิน อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร 0-2564-3001 ต่อ 3151 โทรสาร 0-2564-3001 ต่อ 3049

Krit Jiamjiroch^{*}, Phadungsak Ratanadecho, Wachara Kohkaew, Sopida Sungsoontorn
Microwave Utilization Research Center in Engineering (M.R.C.E)

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Rungsit Campus,

99 Pahon-Yotin RD. Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand

Tel: 0-2564-3001-9 ext 3151 Fax 0-2564-3001-9 ext 3049

Corresponded Author ^{*}E-mail: jkrit@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการทดลองศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งของชีววัสดุเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับสเปาเต็ดเบดซึ่งใช้วิธีการประเมินประสิทธิภาพจากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ในการศึกษาที่กำหนดให้ความชื้นเริ่มต้นของชีววัสดุเท่ากับ 23%w.b. (wet basis) ซึ่งทำการอบแห้งจนความชื้นลดลง ภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในสเปาเต็ดเบดคือ 50°C 60°C และ 68°C โดยทำการศึกษาทั้งในกรณีที่มีคลื่นไมโครเวฟ และ ไม่มีคลื่นไมโครเวฟซึ่งกำเนิดจากแมกนีตรอนขนาด 800 W จากการศึกษาพบว่า ในกรณีที่พิจารณาที่ค่าความชื้นสุดท้ายที่เท่ากัน คลื่นไมโครเวฟสามารถช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ประมาณ 1.5 เท่า ซึ่งผลการทดลอง ในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับหลักการเบื้องต้นของการอบแห้งโดยไมโครเวฟในวัสดุพอร์ที่ไม่อิ่มตัว และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้

คำสำคัญ: จลนศาสตร์การอบแห้ง / สเปาเต็ดเบด / ไมโครเวฟ

Abstract: The objective of this study is to find the suitable conditions for drying coffee bean and soybean by combining microwave and spouted bed dryer. This technique was evaluated with experiments using a laboratory system in which evaporated biomaterial about 23%w.b. (wet basis) different hot air temperature: 50°C 60°C and 68°C at a one level of microwave power density (800 W). Drying characteristics from the combination of microwave and spouted bed technique were compared with those from the spouted bed drying method. The results showed that the drying rate in case of combining microwave and spouted bed was up to 1.5 times higher than that case of spouted bed alone under the same final moisture content. The results presented here provide a basis for fundamental understanding of microwave drying of unsaturated porous materials and applied as useful tool for exploring practical problems.

Keywords: Drying kinetics / Spouted Bed / Microwave

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมแปรรูปการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนและการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำเป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมซึ่งการอบแห้งโดยวิธีข้างต้นเป็นการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางไปสู่วัสดุซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่และระเหยของน้ำออกได้ค่อนข้างช้าและเนื่องจากมีการระเหยน้ำจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าก่อนทำให้การกระจายความร้อนไม่สม่ำเสมอจึงเกิดการหดตัวของโครงสร้างส่วนนอกของวัสดุทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำภายในสู่ผิวด้านนอกทำได้ลำบากขึ้นจากเหตุผลดังกล่าวทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งค่อนข้างนาน สำหรับการอบแห้งด้วยลมร้อนในสูญญากาศจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่ดี แต่ราคาค่าต้นทุนในการผลิตสูง ดังนั้นเทคนิคการอบแห้งหลากหลายรูปแบบจึงได้ถูกคิดค้นและนำเสนอเพื่อเป็นทางเลือกในการอบแห้งที่มีราคาค่าต้นทุนในการผลิตต่ำและให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สูง ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ 300 MHz – 300 GHz โดยคลื่นไมโครเวฟจะก่อให้เกิดแรงเสียดทานในเนื้อวัสดุ และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุ ทำให้การระเหยน้ำที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เมื่อใช้พลังงานไมโครเวฟร่วมกับกระบวนการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นโดยเฉพาะในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) และทำให้อัตราการอบแห้งสูง เป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สูง ช่วยลดเวลาในการอบแห้ง แต่มีราคาค่าต้นทุนในการผลิตสูง การอบแห้งโดยใช้ระบบไมโครเวฟนั้นทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุ ทำให้เกรเดียนต์ของความดันมีอิทธิพลในการลดเวลาในการอบแห้ง การถ่ายเทมวลอยู่ภายใต้อิทธิพลของเกรเดียนต์ของความดันรวมภายในซึ่งเป็นข้อแตกต่างของการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนโดยทั่วไป

เมื่อรวมเอาเทคนิคไมโครเวฟเข้าร่วมกับ สเปาเต็ดเบตจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งวัสดุได้เนื่องจากมีการผสมผสานการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วของไมโครเวฟ การปั่นป่วนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของ สเปาเต็ดเบต ทำให้ช่วยลดเวลาในการอบแห้งให้สั้นลง และเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูง และเหมาะสมที่นำมาประยุกต์ใช้เกี่ยวกับกระบวนการอบแห้ง ในผลิตภัณฑ์เกษตรกรรมของเกษตรกรในประเทศไทย

กลไกทางกายภาพที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟเข้าร่วมกับ สเปาเต็ดเบต นั้นมีความหลากหลาย เนื่องจากวัสดุประกอบด้วย อนุภาคของแข็งกับของเหลว (free water) bound water ไอน้ำ และอากาศ ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจึงอยู่ภายใต้อิทธิพลของการแพร่กระจายของไอ (vapor diffusion) หรือ แรงดันแคปิลลารี (capillary force) อิทธิพลของความชื้น อุณหภูมิและเกรเดียนต์ของความดัน โดยกลไกที่ควบคุมการถ่ายเทความร้อน ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุ สภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง และวิธีให้ความร้อน (external/volumetric) ในการวิเคราะห์การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟนั้นของเหลว (free water) พิจารณาภายใต้อิทธิพลการแพร่ของไอ หรือแรงดันแคปิลลารี หรือเกิดทั้งภายใต้อิทธิพลการแพร่ของไอและแรงดันแคปิลลารี ต่อมาทีมกลุ่มนักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับกลไกในการถ่ายเทมวลเชิงลึกพบว่า กลไกในการถ่ายเทมวลของเหลว และ น้ำที่ผิวอนุภาคนั้นมีความแตกต่างกันเช่นพิจารณาให้การถ่ายเทมวลของน้ำที่ผิวของอนุภาคอยู่ภายใต้อิทธิพลของการแพร่กระจายของไอหรือพิจารณาให้กลไกการถ่ายเทมวลของ น้ำที่ ผิวของอนุภาค

อยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงดันแคปิลลารี ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของนักวิจัยเอง

สำหรับการศึกษาการนำไมโครเวฟ มาใช้ร่วมกับการลดความชื้นนั้น มีการศึกษาโดยพยายามนำเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟไปใช้กับกระบวนการลดความชื้นที่มีอยู่เดิมของตน เช่น Upit and Misha [1] Fu et al. [2] ทำการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟเข้ากับเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ในงานวิจัย Clay et al.[3] Gunasekaran [4] และ Xu et al. [5] นั้นมุ่งเน้นศึกษาการประยุกต์ใช้กับวิธีการอบแห้งแบบสูญญากาศสำหรับการอบแห้งเมล็ดพืชนั้นพบว่าในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่มากนักงานวิจัยของ Feng & Tang [6] และ Feng et al.[7] เสนอการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับการใช้ สเปาเต็ดเบต Ratanadecho et al. [8] ทำการศึกษาทั้งทฤษฎีและการทดลองของกระบวนการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟในวัสดุพริกที่ไม่อิมมัตโดยศึกษาเน้นในเรื่องการถ่ายเทความร้อนและความชื้น การแพร่ของไอน้ำในระบบ 1 มิติพบว่า วัสดุพริกที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีแรงดันแคปิลลารีสูงกว่าทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าวัสดุพริกที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ตาม ไม่ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความถี่ไมโครเวฟและค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า Ratanadecho et al. [9] ทำการศึกษาระบบการอบแห้งวัสดุพริกชนิดแคปิลลารีที่มีหลายชั้นโดยใช้ไมโครเวฟโดยศึกษาถึง การกระจายของสนามไฟฟ้า ความชื้นและอุณหภูมิในระบบ 2 มิติพบว่า วัสดุพริกที่มีอนุภาคขนาดเล็กสามารถถ่ายเทความร้อนได้สูงกว่า วัสดุพริกที่มีอนุภาคขนาดใหญ่และรูปแบบของการจัดเรียงชั้นวัสดุตัวอย่างมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

สำหรับการศึกษาที่ผ่านมุ่งเน้นแต่อธิบายถึงกลไกการอบแห้งที่เกิดขึ้นเมื่อมีการป้อนคลื่นไมโครเวฟเพิ่มเข้าไปซึ่งเห็นชัดได้ว่า เมื่อใส่พลังงานเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและมวลก็ต้องเพิ่มขึ้น สำหรับงานวิจัยมุ่งเน้นที่จะนำเสนอถึง ความเหมาะสมสำหรับการป้อนคลื่นไมโครเวฟให้กับชีววัสดุ ซึ่งนอกจากช่วยลดการใช้พลังงานโดยรวมแล้ว ยังเป็นแนวคิดในการศึกษาถึงลำดับ หรือขั้นตอน และ กรรมวิธีในการลดความชื้นที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

2. สมการพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์

โดยอัตราการกำเนิดปริมาณความร้อนภายใน (Local volumetric Heat Generation) หรือ ค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับ (Microwave Power Absorbed) สามารถประมาณได้จากสมการต่อไปนี้ [9]

$$Q = 2 \pi f \epsilon (\tan \delta) E^2 \quad (1)$$

เมื่อ

Q = พลังงานดูดซับจากไมโครเวฟ

$\tan \delta$ = ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (loss tangent coefficient)

f = ความถี่ (frequency, Hz)

ϵ = ตัวแปรการสูญเสียไดอิเล็กตริก (dielectric loss factor)

E = ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า (electric field intensity)

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมาณผลจลนศาสตร์การอบแห้ง มีพารามิเตอร์ที่ควบคุมทั้งปัจจัยภายในต่าง ๆ ในการถ่ายเทมวลของไอน้ำที่มีแนวคิดมาจากกฎการเยื้องตัวของนิวตัน ซึ่งสามารถหาได้จากการใช้สมการทางเอ็มไพริคัล ซึ่งได้จากการนำผลการทดลองมาสร้างเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำการหา สมการที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของกลุ่มตัวอย่าง ในการศึกษาเลือกใช้สมการทางเอ็มไพริคัลของ Wang and Singh [9] โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Dincer and Hussains [10] ดังแสดงในสมการที่ 2

$$MR = G \exp (-St) \quad (2)$$

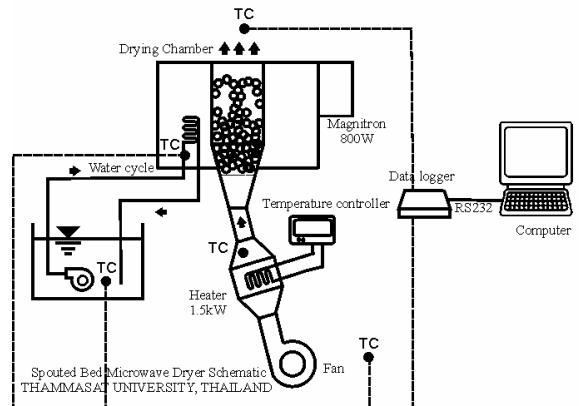
เมื่อค่า MR G S และ t คือค่าสัดส่วนความชื้น ค่าตัวแปรการอบแห้งค่าซ้ำ ค่าคงที่การอบแห้ง และเวลา ตามลำดับ สำหรับค่า MR เป็นค่าไรมิติของความชื้น หาได้จากความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$MR = \left(\frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \right) \quad (3)$$

เมื่อค่า M_t M_{in} และ M_{eq} คือ ความชื้น ณ เวลาใด ๆ ค่าความชื้นเริ่มต้น และ ค่าความชื้นสมดุล ตามลำดับ

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองศึกษาการลดความชื้นของกาแฟและถั่วเหลือง โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับสเปาเต็ดเบด ทำการศึกษาที่ศูนย์วิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (M.R.C.E) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมของชุดทดลองลดความชื้นของเมล็ดพืชโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับสเปาเต็ดเบดในระดับห้องปฏิบัติการ อากาศแวดล้อมจะไหลผ่านชุดลด ความร้อนขนาด 1000 W ซึ่งใช้กล่องควบคุมอุณหภูมิแบบ PID เมื่ออากาศมีอุณหภูมิเท่ากับที่ตั้งไว้ อากาศร้อนจะไหลเข้าทางด้านล่างของหอบ และพาสีล็ดพืชลอยขึ้นเป็นลำไหลวนอยู่ในหอบที่ทำจากทรงกระบอก แก้วมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 mm สูง 35 mm เนื่องจากแก้วเป็นวัสดุที่มีสมบัติ ไม่กักเก็บคลื่นไมโครเวฟทำให้คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุไปสู่ วัสดุที่บรรจุอยู่ในห้องอบสีเหลี่ยมที่มีการติดตั้งแมกนีตรอน เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น ขนาด 800 W ทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ไร้ทางด้านข้างของห้องอบ ในห้องอบมีการติดตั้งวงจรน้ำซึ่งมีอัตราไหล ของน้ำเท่ากับ 2 l/min เพื่อการดูดซับคลื่นที่หลงเหลือจากการดูดซับจากวัสดุ ทั้งนี้เพื่อป้องกันคลื่นไมโครเวฟย้อนกลับไปทำลายแมกนีตรอน อีกทั้งยังใช้ประเมิน สมรรถนะเชิงความร้อน สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิ ใช้การติดเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาพลังงานที่ถูกดูดซับ และการถ่ายเทความร้อนในระบบ

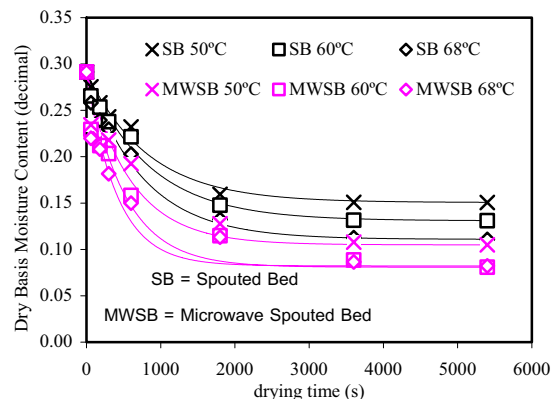


รูปที่ 1 ไดอะแกรมชุดทดลองลดความชื้นด้วยไมโครเวฟร่วมกับสเปาเต็ดเบด

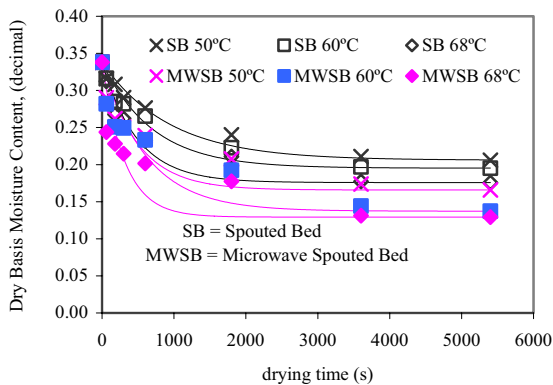
การทดลองจะใช้เมล็ดพืชที่ผ่านการสร้างความชื้นให้มีระดับความชื้นเริ่มต้นเท่ากับค่าที่กำหนด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 23% d.b. ต่อจากนั้นจึงเปิดลมร้อนพร้อมกับทำการอบแห้งเป็นเวลา 1 3 5 10 30 และ 60 นาทีตามลำดับ โดยในการทดลองแต่ละครั้งต้องทำการเปลี่ยนตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแล้ว จะถูกเก็บไปหาความชื้นโดยวิธีตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งสหรัฐอเมริกาตามอนุกรม ASAE-D245.5 OCT95 แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นกราฟ เพื่อประเมินผลต่อไป สำหรับข้อมูลของอุณหภูมิจะถูกบันทึกผลผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่จะใช้ในการประเมินประสิทธิภาพทางความร้อนนั้น จะถูกตรวจวัดจากเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ แล้วจึงส่งผ่านไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผลต่อไป

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

สำหรับผลจลนศาสตร์การลดความชื้นของกาแฟและถั่วเหลือง คลื่นไมโครเวฟมีส่วนช่วยเพิ่มการระเหยของน้ำในเมล็ดพืชทั้งสองชนิด ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 ความชื้นของเมล็ดกาแฟที่เวลาต่าง ๆ ความชื้นเริ่มต้น 22.6% w.b. ที่อุณหภูมิ 50°C 60°C และ 68°C

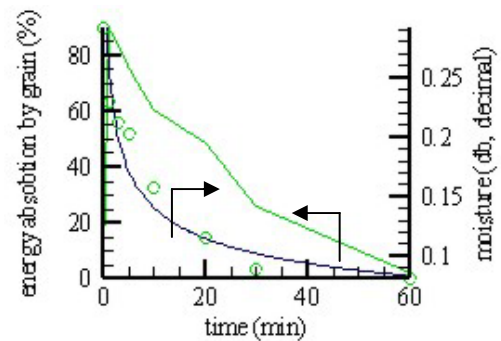


รูปที่ 3 ความชื้นของเมล็ดถั่วเหลืองที่เวลาต่าง ๆ ที่ความชื้นเริ่มต้น 25.3%w.b. ที่อุณหภูมิ 50°C 60°C และ 68°C

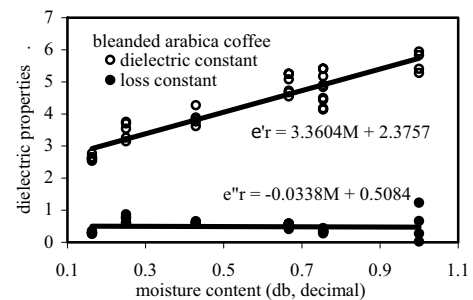
จากรูปที่ 2 และ รูปที่ 3 กรณีที่ใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับการใช้สเปาเต็ดเบด เทียบกับกรณีที่ใช้ลมร้อนในสเปาเต็ดเบดเพียงอย่างเดียว ในช่วงแรกของการอบแห้งพบว่า มีอัตราการลดลงของความชื้นสูง เนื่องจาก เหตุผลสองประการได้แก่ ในช่วงแรกของการอบแห้งวัสดุจะมีปริมาณของน้ำที่ผิวมาก เมื่อให้ความร้อนเข้าไปเพียงเล็กน้อย น้ำที่ผิวของวัสดุจะถูกระเหยออกไปจากการพาความร้อนที่ผิว ในขณะที่ตัวน้ำที่อยู่ในตำแหน่งที่ลึกกว่า จะถูกแรงแคปิลลารีผลักดันน้ำออกมาแทนที่น้ำที่ระเหยออกไป สำหรับในส่วนแรกนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับกระบวนการอบแห้งทั่วไป ประการที่สอง การสูญเสียความชื้นโดยใช้พลังงานไมโครเวฟ เกิดขึ้นโดยน้ำที่อยู่ในเมล็ดดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดี และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนจะมากขึ้นเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับค่าคงที่การสูญเสีย e'' , (loss constant) กล่าวคือ ถ้าชีววัสดุหรือวัสดุใดค่า e'' มีค่าต่ำแล้ว วัสดุนั้น ๆ จะสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานไมโครเวฟให้กลายเป็นพลังงานความร้อนได้ดี ซึ่งในกรณีของเมล็ดพืชพบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้ง ค่า e'' ของเมล็ดพืชมีค่าต่ำ ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ เป็นพลังงานความร้อนในเมล็ดได้ดี สำหรับการศึกษานี้ จากสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ สามารถทำให้เกิดการดูดซับพลังงานทั้งน้ำที่บริเวณผิวหน้าของเมล็ดและทางด้านในของเมล็ดได้พร้อมกัน ทำให้น้ำบริเวณที่อยู่ทางด้านนอกของเมล็ดสามารถระเหยได้เร็วขึ้น สำหรับน้ำที่อยู่ภายในเมล็ดนั้น พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นทางด้านในจะส่งผลต่อความดันแคปิลลารีภายในเมล็ดให้มีค่าสูงขึ้นจากรูปที่ 2 และ รูปที่ 3 แสดงผลการลดลงของความชื้นต่อเวลาอบแห้งในเมล็ดพืชทั้งสองชนิดพบว่า ในกรณีที่มีคลื่นไมโครเวฟ การลดลงของความชื้นมีค่าที่สูงกว่ากรณีที่ไม่ใช้คลื่นไมโครเวฟสำหรับทุก ๆ ค่าอุณหภูมิของอากาศร้อน เมื่อความชื้นในเมล็ดเริ่มลดลง สมบัติไดอิเล็กตริกก็จะมีค่าลดลงด้วย ทำให้ความสามารถในการอบแห้งในช่วงหลังลดลง

กรณีที่ค่าคงที่การอบแห้ง (s) ในกรณีที่มีไมโครเวฟให้ค่าสูงกว่า แสดงว่า คลื่นไมโครเวฟมีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้ ทั้งนี้จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีความคิดในการใช้ไมโครเวฟกล่าวคือ

การใช้คลื่นไมโครเวฟจะมีส่วนช่วยเพิ่มความสามารถในการลดความชื้นในช่วงการอบแห้งลดลง แต่จากการนำข้อมูลการทดลองมาใช้คำนวณเพื่อหาการดูดซับพลังงานไมโครเวฟที่ความชื้นต่าง ๆ ของเมล็ดกาแฟเทียบกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า การดูดซับพลังงานไมโครเวฟ สามารถดูดซับในเมล็ดกาแฟได้ดีในช่วงที่เมล็ดพืชมีความชื้นสูง (ความชื้นระหว่าง 29-25% d.b.) และการดูดซับพลังงานไมโครเวฟลดลงเมื่อความชื้นมีค่าลดลง ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับสมบัติไดอิเล็กตริก (dielectric properties) ที่ทำการตรวจวัดด้วย Network Analyzer ดังแสดงในรูปที่ (5) พบว่า ค่า e'' จะมีค่าต่ำเมื่อเมล็ดพืชมีความชื้นสูง เมื่อความชื้นลดลงพลังงานไมโครเวฟจะถูกดูดซับน้อยลงตามลำดับ พลังงานของไมโครเวฟส่วนที่ไม่ดูดซับก็จะสะท้อนกับผนังของห้องอบซึ่งอาจจะมีพลังงานบางส่วนย้อนกลับไปทำอันตรายให้กับตัวแมคคินทรอนิกส์ได้



รูปที่ 4 แสดงการดูดซับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ ในเมล็ดกาแฟ



รูปที่ 5 สมบัติไดอิเล็กตริก (dielectric properties) ในเมล็ดกาแฟ

ตารางที่ 1 ตารางที่ 2 แสดงค่าเปรียบเทียบ ค่าคงที่การอบแห้งที่ได้จากสมการที่ (2) ซึ่งในแสดงว่า ค่าคงที่การอบแห้งทั้งในกรณีที่มีและไม่มีคลื่นไมโครเวฟพบว่า การใช้คลื่นไมโครเวฟสามารถช่วยเพิ่มค่าคงที่การอบแห้งได้ประมาณ 1.5 เท่า

ตารางที่ 1 ค่าคงที่การอบแห้ง (1/sec) ในเมล็ดถั่วเหลือง

	50°C	60°C	68°C
SB	0.001063	0.001422	0.002065
MWSB	0.001620	0.002038	0.003228

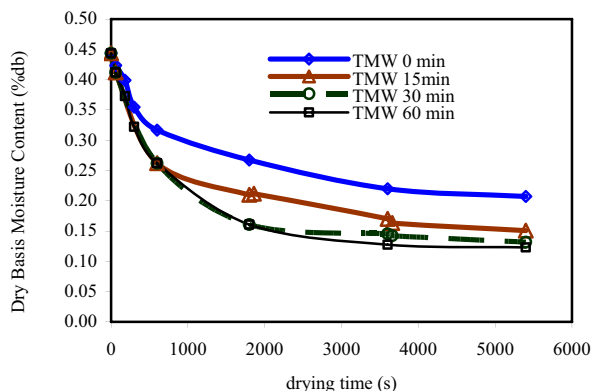
Remark: SB= Spouted Bed, MWSB =Microwave Spouted Bed

ตารางที่ 2 ค่าคงที่การอบแห้ง (1/sec) ในเมล็ดกาแฟ

	50°C	60°C	68°C
SB	0.001210	0.001191	0.001322
MWSB	0.001661	0.001923	0.002454

Remark: SB= Spouted Bed, MWSB =Microwave Spouted Bed

ในรูปที่ 6 แสดงผลการอบแห้งโดยทำการป้อนคลื่นไมโครเวฟเป็นช่วง โดยแสดงเงื่อนไขในการปล่อยคลื่นไมโครเวฟดังนี้ ปล่อยคลื่นตลอดเวลา (microwave time, TMW = 60min) ปล่อยคลื่น 30 นาทีแรก (microwave time, TMW = 30min) ปล่อยคลื่น 15 นาทีแรก (microwave time, TMW = 15min) และ ไม่มีการปล่อยคลื่นไมโครเวฟ (microwave time, TMW = 0min)



รูปที่ 6 การศึกษาผลของระยะเวลาคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อการลดความชื้นในเมล็ดกาแฟ

จากการศึกษาพบว่า การป้อนพลังงานไมโครเวฟในช่วงที่มีการอบแห้งคงที่อย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอต่อการปล่อยคลื่นไมโครเวฟ จนถึงช่วงการอบแห้งลดลง จากกราฟพบว่า ในกรณีที่ให้คลื่นไมโครเวฟจนถึงช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (TMW = 30 min) จะมีประสิทธิภาพในการอบแห้งไม่ต่างจากการอบแห้งที่ปล่อยพลังงานไมโครเวฟต่อเนื่องตลอดการทดลอง

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาลดความชื้นของกาแฟและ ถั่วเหลือง ที่มีความชื้นเริ่มต้น 25.3%w.b. และ 23%w.b. ตามลำดับ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับสเปาเต็ดเบด เทียบกับ การใช้ลมร้อนในเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่การอบแห้งเฉลี่ยที่ได้จากสมการทางเอมไพริคัล คลื่นไมโครเวฟมีส่วนช่วยลดความชื้นเมล็ดพืชประมาณ 1.5 เท่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงการอบแห้งคงที่ (constance rate period) การใช้คลื่นไมโครเวฟ จะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการลดความชื้นของ

เมล็ดพืชได้เนื่องจาก ในช่วงแรกเมล็ดพืชมีสมบัติการสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectrics loss) ต่ำ ทำให้สามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ดีและเกิดการระเหยน้ำภายในเมล็ดสูงในช่วงแรก ปริมาณน้ำในเมล็ดจะลดลง เมื่อเวลาผ่านไปจนกระทั่งถึงความชื้นวิกฤต ซึ่งพบว่า นอกจากเป็นจุดเปลี่ยนจากการอบแห้งแบบคงที่เป็นการอบแห้งแบบลดลงแล้วยังเป็นช่วงที่มีการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟต่ำ ซึ่งการปล่อยคลื่นไมโครเวฟหลังจากจุดความชื้นวิกฤต จะช่วยเพิ่มอัตราการระเหยน้ำได้เพียงเล็กน้อยแล้วทำให้คลื่นไมโครเวฟที่ไม่ถูกดูดกลืนกลับมาก่อให้เกิดความเสียหายกับแมกนีตรอน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต ที่ช่วยสนับสนุนเงินทุนและอุปกรณ์วิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Uprit, S., & Mishra, H. N. (2003). Microwave convective drying and storage of soy-fortified paneer. Food and Bioproducts Processing, 81(2), 89-96.
- [2] Fu, Y. C., Dai, L., & Yang, B. B. (2005). Microwave finish drying of (tapioca) starch pearls. International Journal of Food Science and Technology, 40, 119-132.
- [3] Clary, C. D., Wang, S. J., & Petrucci, V. E. (2005). Fixed and incremental levels of microwave power application on drying grapes under vacuum. Journal of Food Science, 70(5), 344-349
- [4] Gunasekaran, S. (1999). Pulsed microwave-vacuum drying of food materials. Drying Technology, 17(3), 395-412.
- [5] Xu, Y. Y., Zhang, M., & Tu, D. Y. (2005). A two-stage convective air and vacuum freeze-drying technique for bamboo shoots. International Journal of Food Science and Technology, 40(6), 589-595.
- [6] Feng, H., & Tang, J. (1998). Microwave finish drying of diced apples in spouted bed. Journal of Food Science, 63(4), 679-683.
- [7] Feng, H., Tang, J., Cavalieri, R. P., & Plumb, O. A. (2001). Heat and mass transport in microwave drying of hygroscopic porous materials in a spouted bed. AIChE Journal, 74(7), 1499-1511
- [8] 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, pp.605-616.
- [9] 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. Vol. 124, pp.151-161.
- [10] Wang, Y. and Singh, P., 1978. A Single Layer Drying Equation for rough rice. ASAE Paper No 78- 3001 St. Joseph, MI.
- [11] Dincer, I. and Hussian, M., 2004. Development of a new Biot number and Lag factor correlation for Drying Application. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 47, pp.653-658.