อิทธิพลของตำแหน่งการป้อนคลื่นไมโครเวฟที่มีผลต่อจนพลศาสตร์ภายในวัสดุชีวภาพในเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดที่มีการป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง

วิฑูรย์ อบรม, วัชระ เกาะแก้ว, มุสตาฟา ยะภา, และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช*
หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12121หมายเลขโทรศัพท์ 02 5643001-9 ต่อ –3153
E-mail ratphadu@engr.tu.ac.th

(TSF 019)

Witoon obrom, watchara kohkaew, Mustafa yapha, and Phadungsak Ratanadecho*
Microwave Utilization Research Center for Engineering(M.R.C.E)
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,
Rangsit Campus 99 Moo 18, KlongLuang, Pathumthani 12120 Thailand
Tel: 02-5643001 Ext. 3153 Fax: 02-5643001 Ext. 3049 E-mail: ratphadu@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ จะทำการศึกษาอิทธิพลของการวางตำแหน่งการป้อนคลื่นไมโครเวฟ2.45 GHz ในเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดเพื่อศึกษาการกระจายตัวของความร้อน และจนพลศาสตร์ของวัสดุชีวภาพ โดยตำแหน่งการป้อนเป็นแบบสมมาตรและอสมมาตร วัสดุที่ใช้ในกรณีศึกษานี้คือ เมล็ดกาแฟที่มีความชื้นเริ่มต้น 45% มาตรฐานแห้ง งานวิจัยเริ่มต้นจากการสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับระบบสเปาเต็ดเบดและลมร้อนขนาด 60X80X60 เซนติเมตรทำการวางตำแหน่งการป้อนคลื่นแบบสมมาตรและอสมมาตร โดยใช้แมกนีตรอนกำลัง 800 W ที่สามารถปรับกำลังได้จำนวน 2 ตัว เพื่อให้เกิด Multi-mode (หลายโหมด) ภายในเครื่องอบแห้งและมีกรวยที่ทำจากวัสดุ PP เพื่อใส่เมล็ดกาแฟ น้ำหนัก 5 กิโลกรัม โดยจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุภายในสเปาเต็ดเบดที่เกิดจากตำแหน่งการป้อนคลื่นในลักษณะสมมาตร และอสมมาตรภายในเครื่องอบ และอิทธิพลของการปรับปริมาณลมร้อนในการอบแห้ง

จากผลการทดลองพบว่า การวางตำแหน่งการป้อนคลื่นแบบอสมมาตรจะทำให้ความร้อนเฉลี่ยของวัสดุเพิ่มขึ้น และลดความชื้นในวัสดุได้ดีกว่าการวางตำแหน่งแบบสมมาตร นอกจากนี้การใช้ลมร้อนร่วมกับเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสเปาเต็ดเบดจะทำให้การลดลงของความชื้นในวัสดุดีกว่าการอบด้วย เครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสเปาเต็ดเบดเพียงอย่างเดียว

Abstract

This research studies on the heat profile, dynamic of bio-material, temperature Profile, and material moisture in the microwave-Spouted bed-hot air dry stem that has the size 60 Cm.×80 Cm.×60 Cm. the effect of the Symmetry and asymmetry microware Source Positioning, the Powel of magnetron and the hot air flow rate are Considered

Coffee been that has the initial moisture content 40% of dry basis is use for drying. From the experimental results show that the asymmetry microwave Source positing gives the average in creasing heat rate of material and the moisture content better than symmetry microwave Soiree Positioning, furthermore, the hot air operating with the microwave give the moisture Content decreasing better than Using only the microwave.

1. บทนำ

ไมโครเวฟได้ถูกนำมาใช้งานในหลายรูปแบบ เช่น งานด้านการสื่อสาร งานด้านการให้ความร้อน เป็นต้น ในอุตสาหกรรมการแปรรูปโดยการอบแห้งซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้ประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบอบแห้งที่มีอยู่เดิมเช่น การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมซึ่งการอบแห้งโดยวิธีข้างต้นเป็นการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางไปสู่วัสดุชิ้นที่จะกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่และระเหยของน้ำออกได้ช้าและเนื่องจากมีการระเหยน้ำจะเกิดขึ้นที่ผิวนอกก่อนทำให้การกระจายความร้อนไม่สม่ำเสมอจึงเกิดการหดตัวของโครงสร้างส่วนนอกของวัสดุ

ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำภายในสู่ผิวด้านนอกทำได้ลำบากขึ้นจากเหตุผลดังกล่าวทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งค่อนข้างนานเทคนิคการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟเข้าร่วมจึงได้ถูกคิดค้นและนำเสนอเพื่อเป็นทางเลือกในการอบแห้งที่มีราคาต้นทุนในการผลิตต่ำและให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สูงไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่300 MHz ถึง 300 GHz โดยคลื่นไมโครเวฟจะก่อให้เกิดแรงเสียดทานในเนื้อวัสดุ และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุทำให้การระเหยน้ำที่เกิดขึ้นเป็นไป อย่างสม่ำเสมอ เมื่อใช้พลังงานไมโครเวฟรวมกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นโดยเฉพาะใน ช่วงอัตราการอบแห้ง ลดลง (falling rate period) และทำให้อัตราการอบแห้งสูงเป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพให้คุณภาพของผลิต ภัณฑ์สูง ช่วยลดเวลาในการอบแห้ง แต่มีราคาต้นทุนในการผลิตสูง การ อบแห้งโดยใช้ระบบไมโครเวฟนั้น ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุทำให้เกรเดียนของความดันมีอิทธิพลในการลดเวลาในกระบวนการอบแห้งการถ่ายเทมวลอยู่ภายใต้อิทธิพลของเกรเดียนของความดันรวมภายใน

เมื่อรวมเอาเทคนิคไมโครเวฟเข้าร่วมกับสเป้าเต็ดเบดจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งวัสดุได้เนื่องจากมีการผสมผสานการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วของไมโครเวฟ การปั่นป่วนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของสเปาเต็ดเบดทำให้ช่วยลดเวลาในการอบแห้งให้สั้นลงและเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมที่นำมาประยุกต์ใช้เกี่ยวกับกระบวนการอบแห้งในผลิตภัณฑ์เกษตรกรรมของเกษตรกรในประเทศไทยกลไกลทางกายภาพที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ด้วยไมโครเวฟเข้าร่วมกับ สเป้าเต็ดเบดนั้นมีความหลากหลาย เนื่องจาก วัสดุพรุนประกอบด้วย อนุภาคของแข็งกับของเหลว (free water) bound water ไอน้ำ และอากาศ ดังนั้นการถ่ายเทความชื้นจึงอยู่ภายใต้อิทธิพล ของการแพร่กระจายของไอ (vapor diffusion) หรือแรงดันแคปปิลารี่(capillary force) อิทธิพลของความชื้น อุณหภูมิและเกรเดียนของความดัน โดยกลไกที่ควบคุมการถ่ายเทความชื้นขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุ สภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง และวิธีให้ความร้อน (external/volumetric) ในการวิเคราะห์การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟนั้นของเหลว (free water) พิจารณาภายใต้อิทธิพลการแพร่ของไอ หรือแรงดันแคปปิลารี่ หรือเกิดทั้งภายใต้อิทธิพลการแพร่ไอน้ำ และแรงดันแคปปิลารี่ ต่อมามีกลุ่มนักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับกลไกในการถ่ายเทมวลเชิงลึกพบว่า กลไกในการถ่ายเทมวลของเหลวและ น้ำ ที่ผิวอนุภาคนั้นมีความแตกต่างกันเช่น พิจารณาให้การถ่ายเทมวลของน้ำที่ผิวของอนุภาคอยู่ภายใต้อิทธิพลของการแพร่กระจายของไอหรือพิจารณาให้กลไกการถ่ายเทมวลของ น้ำที่ผิวของอนุภาคอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงดันแคปปิลารี่ ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของนักวิจัยเอง

สำหรับการศึกษาการนำไมโครเวฟมาใช้ร่วมกับการลดความชื้นนั้นการศึกษาโดยพยายามนำเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟไปใช้กับ กระบวนการลดความชื้นที่มีอยู่เดิมของตน เช่น Upit and Misha [1] Fu et al. [2] ทำการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟเขากับเครื่องอบ แห้งแบบอุโมงค์ ในงานวิจัย Clay et al.[3] Gunasekaran [4] และXu et al. [5]นั้นมุ่ง เน้นศึกษาการประยุกต์ใช้กับวิธีการอบแห้งแบบสุญญากาศสำหรับ ในการอบแห้งเมล็ดพืชนั้นพบว่ามีงานวิจยที่เกี่ยวข้องยังไม่มากนักงาน วิจัยของ Feng & Tang [6] และ Feng et al.[7] เสนอการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับการใช้ สเปาเต็ดเบด Ratanadecho et al.[8]ทำการศึกษาทั้งทฤษฎีและการทดลองของกระบวนการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟในวัสดุพรุนที่ไม่อิ่มตัวโดยศึกษาเน้นในเรืองการถ่ายเทความร้อนและความชื้นการแพร่ของไอน้ำในระบบ 1 มิติพบว่า วัสดุพรุนที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีแรงดันแคปปิลารี่สูงกว่าทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าวัสดุพรุนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่แต่อย่างไรก็ตามไม่ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความถี่ไมโครเวฟและค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า Ratanadecho et al. [9] ทำการศึกษากระบวนการอบแห้งวัสดุพรุนชนิดแคปปิลารี่ที่มีหลายชั้นโดยใช้ไมโครเวฟโดยศึกษาถึงการกระจายของสนามไฟฟ้าความชื้นและอุณหภูมิในระบบ 2 มิติพบว่า วัสดุพรุนที่มีอนุภาคขนาดเล็กสามารถ ถ่ายเทความชื้นได้สูงกว่า วัสดุพรุนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ และรูปแบบของการจัดเรียงชั้นวัสดุตัวอย่างมีผลต่อการถ่ายเทความชื้น กริชและคณะ [10] นำเสนอถึงความเหมาะสมสำหรับการป้อนคลื่นไมโครเวฟให้กับชีววัสดุซึ่งนอกจะช่วยลดการใช้พลังงานโดยรวมแล้วยังเป็นแนวคิด ในการศึกษาถึงลำดับ หรือขั้นตอนและ กรรมวิธีในการลดความชื้นที่ เหมาะสมที่สุดต่อไป

สำหรับการศึกษาที่ผ่านมุงเน้นแต่อธิบายถึงกลไกการอบแห้งที่เกิดขึ้นเมื่อมีการป้อนคลื่นไมโครเวฟเพิ่มเข้าไปซึ่งเห็นชัดได้ว่า เมื่อใส่พลังงานเพิ่ม การถ่ายเทความร้อนและมวลก็ต้องเพิ่มขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นที่ตำแหน่งการป้อนคลื่นแบบสมมาตรและอสมมาตร โดยใช้แมกนีตรอนกำลัง 800 W ที่สามารถปรับกำลังได้จำนวน 2 ตัว เพื่อให้เกิด Multi-mode (หลายโหมด) ภายในเครื่องอบแห้งและมีกรวย โดยจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นของวัสดุภายในสเปาเต็ดเบดที่เกิดจากตำแหน่งการป้อนคลื่นในลักษณะสมมาตร และอสมมาตรภายในเครื่องอบ และอิทธิพลของการปรับปริมาณลมร้อนในการอบแห้ง

2. สมการพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์

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

$$Q = 2\pi f \varepsilon (\tan\delta) E^2 \qquad (1)$$

เมื่อ

Q = พลังงานดูดซับจากไมโครเวฟ

Tan δ = ค่าสัมประสิทธิการสูญเสีย (loss tangent coefficient)

f = ความถี่ (frequency, Hz)

ε = ตัวแปรการสูญเสียไดอิเล็กตริก (dielectric loss factor)

E = ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า(electric field intensity

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมาณจลนศาสตร์การอบแห้ง มีพารามิเตอร์ที่ควบคุมทั้งปัจจัยภายในต่างๆ ในการถ่ายเทมวลของไอน้ำที่มีแนวคิดมาจากกฎการเย็นตัวของนิวตัน ซึ่งสามารถหาได้จากการใช้สมการทางเอ็มไพริกัล ซึ่งได้จากการนำผลการทดลองมาสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำการหาสมการที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของกลุ่มตัวอย่าง ในการศึกษานี้เลือกใช้สมการทางเอ็มไพริกัลของ Wang and Singh [9] โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Dincer and Hussains [10] ดังแสดงในสมการที่ 2

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

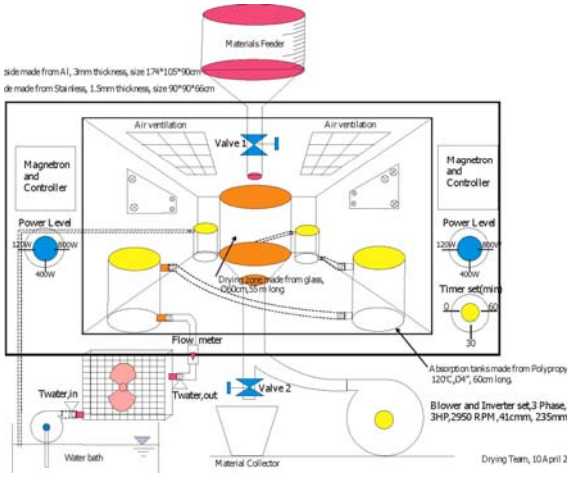
เมื่อค่า MR G S และ t คือค่าสัดสวนความชื้น ค่าตัวแปรการอบแห้งล่าช้าค่าคงที่การอบแห้งและเวลาตามลำดับสาหรับค่า MRเป็นค่าไร มิติของความชื้น หาได้จากความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (3)

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

เมื่อค่า Mt Min และ Meg คือ ความชื้น ณ เวลาใด ๆ ค่าความชื้นเริ่มต้น และ ค่าความชื้นสมดุล ตามลำดับ

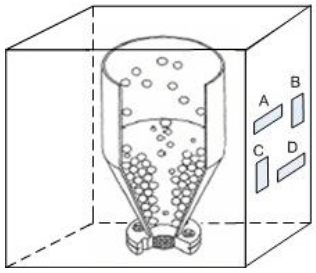
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองศึกษาการลดความชื้นของกาแฟ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับสเปาเต็ดเบ็บทำการศึกษาที่ศูนย์วิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (M.R.C.E) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมของชุด ทดลองลดความชื้นของเมล็ดพืชโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับสเปาเต็ดเบดในเชิงพานิชย์ อากาศจะไหลผ่านขดลวดความร้อนทางด้านล้าง พาเมล็ดพืชลอยขึ้นเป็นลำไหลวนอยู่ในกรวยอบที่ทำจากทรงกระบอกพลาสติกเส่นผ่านศูนย์กลาง 50 Cm. สูง60 Cm. พลาสติก PP เป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่กักเก็บคลื่นไมโครเวฟ ทำให้คลื่นไมโครเวฟ สามารถทะลุไปสู่วัสดุที่บรรจุอยู่ภายในกรวยภายในห้องอบสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งแมกนิตรอน เพื่อใช้เป็นแหล่ง กำเนิดคลื่นขนาด 800 W ทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ไว้ทางด้านขางของห้องอบจำนวน 2 ชุด ในห้องอบมีการติดตั้งวงจรน้ำซึ่งมีอัตราไหลของน้ำเท่ากับ 6 l/min เพื่อทำการดูดซับคลื่นที่หลงเหลือจากการดูดซับจากวัสดุ ทั้งนี้เพื่อป้องกันคลื่นไมโครเวฟย้อนกลับไปทำลายแมกนีตรอนอีกทั้งยังใช้ประเมินสมรรถนะเชิงความร้อนสำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิโดยการติดเทอร์โมคัปเปิลที่ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาพลังานที่ถูกดูดซับและการถ่ายเทความร้อนในระบบ



รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์ในระบบที่ทอสอบ

การเตรียมระบบการอบเริ่มจากการติดตั้งแมกนีตรอนจำนวน 2 ชุดตามตำแหน่งที่กำหนด ให้เป็นแบบอสมมาตร และสมมาตร ตามรูปที่ 2 โดยว่างในตำแหน่งสมมาตรคือตำแหน่ง AD และตำแหน่งไม่สมมาตรในตำแหน่ง AB และ AC โดยทำการติดตั้งซับเปรียนกันไปโดยใช้เวลาในการทดลอง 6 ชั่วโมง และเก็บข้อมูลทุก ๆ 15 นาที



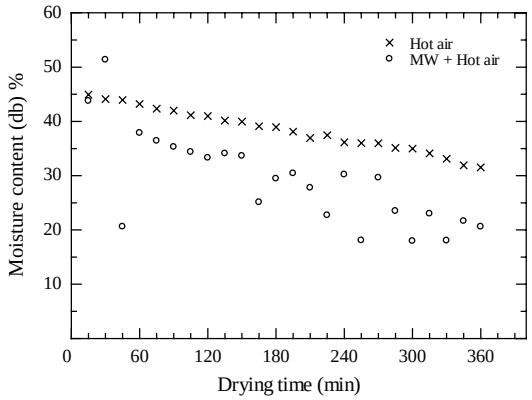
รูปที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งแมกนีตรอน

การทดลองจะใช้เมล็ดกาแฟที่ผ่านการสร้างความชื้นให้มีระดับความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 45% มาตรฐานแห้งใส่ลงในกรวยที่เปิดลมร้อนพร้อมกับแมกนีตรอนทั้ง 2 ชุดทำการอบแห้งเป็นเวลา 6 ชั่วโมงและทำการเก็บข้อมูลทุก15 นาทีโดยวิธีเก็บตัวอย่างเมล็ดกาแฟโดยเปิดให้เม็ดกาแฟไหลออกจากช่องด้านล้าง โดยไม่ปิดเครื่องจากนั้นนำตัวอย่างเมล็ดกาแฟที่เก็บมาหาความชื้น โดยวิธีตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งสหรัฐอเมริกาตามอนุกรรมASAE-D245.5 OCT95 แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นกราฟเพื่อประเมินผลต่อไป สำหรับข้อมูลของอุณหภูมิจะบันทึกผลโดยอ่านค่าผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่ถูกตรวจวัดจากเทอร์โมคปเปิลที่ติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเสนอผลด้วยกราฟ

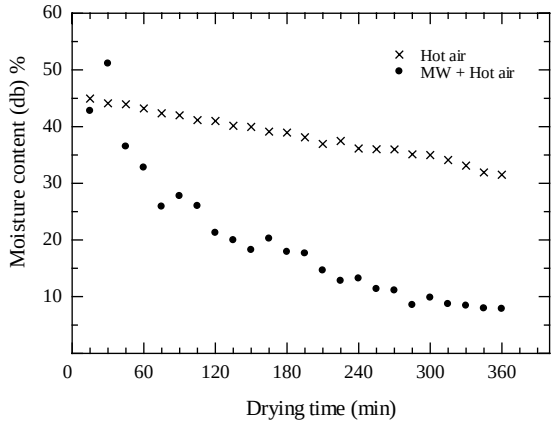
รูปที่ 3 แสดงถาพของเครื่องอบสเปาเต็ดเบด

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

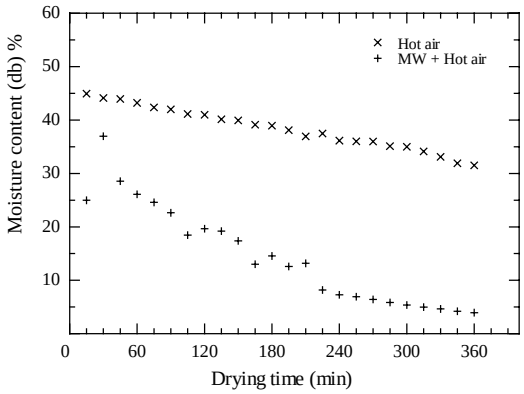
ผลจากการทดลองได้นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Dry bulb) ระยะเวลาที่ใช้ในการอบ และความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบ โดยใช้เวลาจัดเก็บข้อมูลทุก ๆ 15 นาที เวลาอบรวม 6 ชั่วโมง ได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ลดลงของเมล็ดกาแฟกรณีการอบแห้งด้วยลมร้อนด้วยไมโครเวฟ 2 หัวติดตั้งแบบสมมาตร (AD) กับการอบแห้งแบบลมร้อนเพียงอย่างเดี่ยว

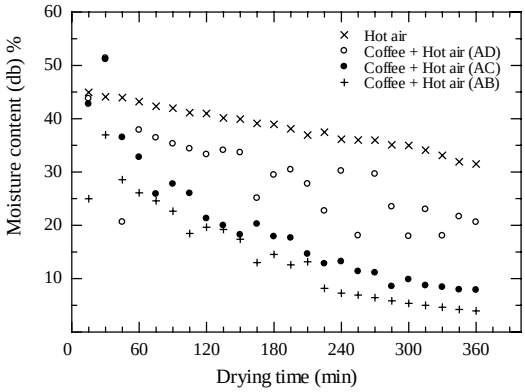


รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ลดลงของเมล็ดกาแฟกรณีการอบแห้งด้วยลมร้อนด้วยไมโครเวฟ 2 หัวติดตั้งแบบไม่สมมาตร (AC) กับการอบแห้งแบบลมร้อนเพียงอย่างเดี่ยว



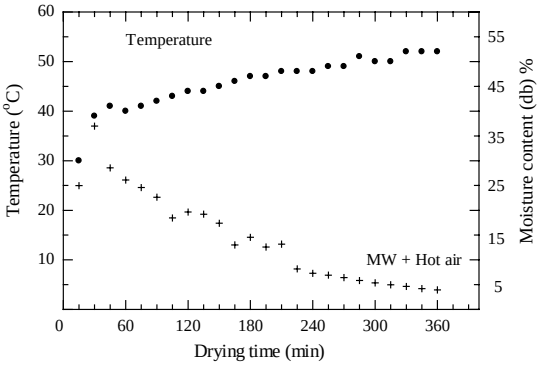
รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ลดลงของเมล็ดกาแฟกรณีการอบแห้งด้วยลมร้อนด้วยไมโครเวฟ 2 หัวติดตั้งแบบไม่สมมาตร (AB) กับการอบแห้งแบบลมร้อนเพียงอย่างเดี่ยว

จากกราฟที่ 4-6 แสดงให้เห็นค่าความแตกต่างของการลดลงของความชื้นในเมล็ดกาแฟ ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการใช้ไมโครเวฟ2 หัวเพื่อให้เกิด Multi-mode (หลายโหมด) ภายในเครื่องอบแห้ง จะทำให้ค่าความชื้นในเมล็กกาแฟลดลงอย่างรวดเร็ว กว่าการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดลมร้อนเพียงอย่างเดี่ยว และจากกรณีดังกล่าวจะเห็นได้ว่าตำแหน่งการวางหัวแมกนีตรอนมีผลต่อความชื้นที่ลดลงด้วย ดังกราฟแสดงความสมพันธ์เปรียบเทียบในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (dry bulb) กับระยะเวลาในการอบของเมล็ดกาแฟด้วยไมโครเวฟจำนวน 2 ตัว (Multi-mode) เปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับระบบ สเปาเต็ดเบด

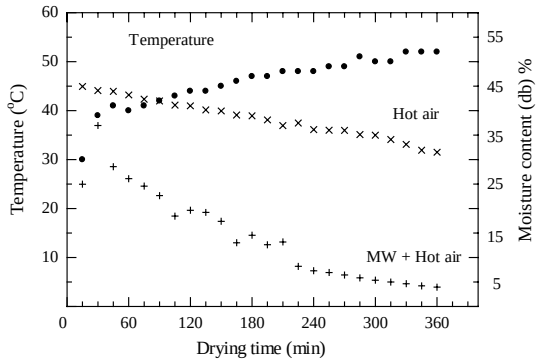
กราฟแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นว่าความชื้นของเมล็ดกาแฟในกรณีของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในระบบสเปาเต็ดเบดสามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็วในกรณีของการติดตั้งเมคนีตรอนแบบ 2 หัว ในตำแน่งไม่สมมาตร AB ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดร่วมกับลมร้อนจะเห็นถึงความแตกต่างของการลดลงของความชื้นอย่างชัดเจน



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (dry bulb) ของการติดตั้งไมโครเวฟจำนวน 2 ตัว (Multi-mode) แบบไม่สมมาตร (AB) เปรียบเทียบกับความร้อนของน้ำที่หล่อเย็นในระบบ

กราฟรูปที่ 8 แสดงค่าเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิของน้ำหลอเย็นในระบบซึ่งในช่วงแรกของการอบแห้งคลื่นไมโครเวฟจะแพร่เข้าไปในเมล็ดกาแฟโดยเฉพาะในช่วงแรกที่ เมล็ดกาแฟยังมีค่าความชื้นสูงแต่เมื่อเวลาการอบยาวนานขึ้น ความชื้นเริ่มลดน้อยลงคลื่นไมโครเวฟจะแพร่เข้าไปที่น้ำหล่อเย็นแทน

และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการอบแห้งสเปาเต็ดเบดลมร้อนเข้าไปแล้วจะเห็นว่ามีการลดลงของความชื้นในลักษณะเดียวกันแต่เมื่อใช้ไมโครเวฟร่วมด้วยในช่วงแรกจะมีการลดลงของความชื้นค่อนข้างเร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยในระบบหล่อเย็นจะมีค่าความร้อนสูงขึ้นเป็นลำดับ



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (dry bulb) ของการติดตั้งไมโครเวฟจำนวน 2 ตัว (Multi-mode)แบบไม่สมมาตร (AB) เปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับสเปาเต็ดเบดและความร้อนของน้ำที่หล่อเย็นในระบบ

5 สรุป

จากการทดลองสรุปได้ว่าตำแหน่งของการวางแมกนีตรอนมีผลต่อการกระจายคลื่นภายในเมล็ดกาแฟซึ่งจะเห็นว่าในตำแหน่งการวางแมกนีตรอนแบบไม่สมมาตร AB จะทำให้ความชื้นในเมล็กกาแฟลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันจะเห็นว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจะมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งจากการตั้งค่าลมร้อนในระบบสเปาเต็ดเบด 50 °C แต่ความร้อนของน้ำจะเพิ่มมากขึ้นซึ่งมีผลตรงกันข้ามกับความชื้นที่ลดลง ซึ่งอธิบายได้ว่าคลื่นไมโครเวฟจะแพร่เข้าไปในเมล็ดกาแฟในระยะแรกเป็นจำนวนมากเนื่องจากเมล็ดกาแฟมีค่าความชื้นสูง แต่เมื่อเวลาเปรียนไป (ประมาณ 15 นาที) คลื่นไมโครเวฟก็จะแพร่ไปที่น้ำหล่อเย็นมากกว่าและเป็นสัดส่วนมากขึ้นเลื่อยๆ จนมีความร้อนสูดท้ายมากกว่าค่าของอุณหภูมิเริ่มต้นคือ 54°C

จากการวิจัยฉบับนี้ ทางวิจัยได้วางแผนที่จะทำการศึกษาในส่วนของค่าความเหมาะสมสูงสุดในการใช้คลื่นไมโครเวฟ เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานต่อไป ซึ่งมีแนวความคิดว่าในการอบแห้งช่วงแรกจะใช้ไมโครเวฟช่วยในการอบแห้ง และเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่ง อาจจะไม่จำเป็นต้องใช้ไมโครเวฟอีกต่อไป คงเหลือแต่เฉพาะลมร้อนเพียงอย่างเดียว

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

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] กริช เจียมจิโรจน์, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, วชระ เกาะแก้ว, โศภิดา สังขสุนทร,2549,การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกาแฟและถั่วเหลืองโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ-สเปาเต็ดเบด,การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20