

การเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟและเครื่องอบแห้งแบบหมุนร่วมกับไมโครเวฟ

Comparison of Drying Kinetics of Corn Using a Combined Microwave/Fluidized Bed Dryer and a Combined Microwave/Vortex Dryer

ศิริระ สายสร^{1*} ปัญญา แดงวิไลลักษณ์²

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ต.ชุมโค อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160

*E-mail: kssira@kmitl.ac.th

Sira Saisorn^{1*} Panya Dangwilailux²

^{1,2} Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chumko, Patetw, Chumphon 86160

*E-mail: kssira@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองอบแห้งเมล็ดข้าวโพด โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ และเครื่องอบแห้งแบบหมุนร่วมกับไมโครเวฟ เพื่อหาอัตราการอบแห้ง, ปริมาณโปรตีนและการใช้พลังงาน การทดลองทั้งหมดแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม โดยกลุ่มที่หนึ่งและกลุ่มที่สอง ทำการทดลองโดยไม่มีไมโครเวฟกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและเครื่องอบแห้งแบบหมุน ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่สามและสี่ เป็นการทดลองโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและเครื่องอบแห้งแบบหมุน ตามลำดับ ในกรณีที่เป็นการอบแห้งที่ไม่ใช้ไมโครเวฟ พบว่าการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดจะให้อัตราการอบแห้งที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบหมุน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการอบแห้งโดยใช้การหมุนร่วมกับไมโครเวฟจะทำให้ได้อัตราการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟ จากการทดลองทั้งหมดโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบต่าง ๆ ทั้งที่มีและไม่มีไมโครเวฟ พบว่าอัตราการอบแห้งจะขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศอย่างมาก แต่ในขณะเดียวกันความเร็วของอากาศมีผลต่ออัตราการอบแห้งน้อยมาก นอกจากนี้ยังพบว่าการอบแห้งแบบหมุนร่วมกับไมโครเวฟจะมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่มากและมีอัตราการใช้พลังงานต่ำ

คำหลัก ไมโครเวฟ, อบแห้ง, หมุน, ฟลูอิดไดซ์เบด

Abstract

In this study, corn kernels were dried using a combined microwave/fluidized bed dryer and a combined microwave/vortex dryer. The drying rate curves, amount of crude protein and energy consumption were obtained experimentally. Four groups

of experiments were performed. The first and second set of drying experiments which corresponded to experiments with the absence of microwave employed fluidized bed dryer and vortex dryer respectively. The third and fourth set related to experiments with the application of microwave in the fluidized bed dryer and vortex dryer respectively. It was found that without microwave application good drying rates were obtained utilized a fluidized bed drying compared with a vortex drying. However, the combined microwave/vortex technique gave the better results of drying rate than those of the combined microwave/fluidized bed technique. For all of experiments consisting of the two conventional dryers with and without the applied microwave, the drying rates were found to be strongly dependent on the inlet air temperature but the air velocity was seem to have insignificant effect on drying rates. In addition, the product with high crude protein and the drying process with low energy consumption were possible in the combined microwave/vortex dryer.

Keywords: microwave, drying, vortex, fluidized bed

1. บทนำ

ข้าวโพดเป็นธัญพืชที่มีประโยชน์มากมายต่อมนุษย์และสัตว์ โดยปกติองค์ประกอบในข้าวโพดเป็นพืชที่มีโปรตีนสูง สามารถใช้แทนอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ได้ด้วย จึงเหมาะสำหรับการนำมาแปรรูปเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และยังเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง นอกเหนือจากข้าวที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทย พื้นที่ปลูกข้าวโพดภายในประเทศมีอยู่ประมาณปีละ 11 - 12 ล้านไร่ ซึ่งมีผลผลิต

ประมาณปีละ 4 – 5 ล้านตัน โดยที่ 65% ของผลผลิตใช้บริโภคภายในประเทศในรูปที่เป็นวัตถุดิบให้แก่โรงงานอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ส่วนที่เหลือส่งออกในรูปเมล็ดข้าวโพด ข้าวโพดบด และแป้งข้าวโพด ทั้งนี้การที่จะเก็บรักษาข้าวโพดให้คงคุณภาพได้นานนั้นจะต้องปราศจากสารแอฟลาทอกซินซึ่งเป็นสารพิษอันเกิดจากเชื้อรา คือ แอสเพอร์จิลลัส พาราซิติกัส (*Aspergillus parasiticus*) ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ที่บริโภคเข้าไป ดังนั้นเพื่อป้องกันอันตรายอันเกิดจากสารพิษนี้ จึงต้องใช้การอบแห้งเพื่อทำให้ข้าวโพดเก็บไว้นานโดยไม่เกิดเชื้อราขึ้นได้ในภายหลัง การอบแห้งในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักจะใช้เครื่องอบแห้งประเภทลมร้อนในการไล่ความชื้น ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมกันมาก เนื่องจากการลงทุนที่ไม่สูงมากนักและผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งมีคุณภาพดี นอกจากนี้อุปกรณ์ประเภทไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง สามารถถูกนำมาใช้ประยุกต์กับอุตสาหกรรมการอบแห้งได้อีกด้วย โดยคลื่นไมโครเวฟจะทะลุทะลวงเข้าไปสั่นโมเลกุลของน้ำภายในเนื้อวัสดุ จนทำให้ความดันภายในสูงกว่าความดันภายนอกของวัสดุ ซึ่งผลที่ได้คือ ความชื้นภายในเนื้อผลิตภัณฑ์จะถูกขับดันออกมาอย่างรวดเร็ว และหากต้องการให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วขึ้นและแห้งอย่างสม่ำเสมอ จะต้องทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นเคลื่อนที่ในทิศทางที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้มากขึ้น ในกรณีของข้าวโพดก็เช่นกัน เราสามารถใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดซึ่งมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง หรืออาจจะใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบหมุนวนซึ่งมีการเคลื่อนที่ในแนวระดับ และการศึกษาถึงความแตกต่างของการอบแห้งทั้งสองแบบดังกล่าวคือ วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยชิ้นนี้

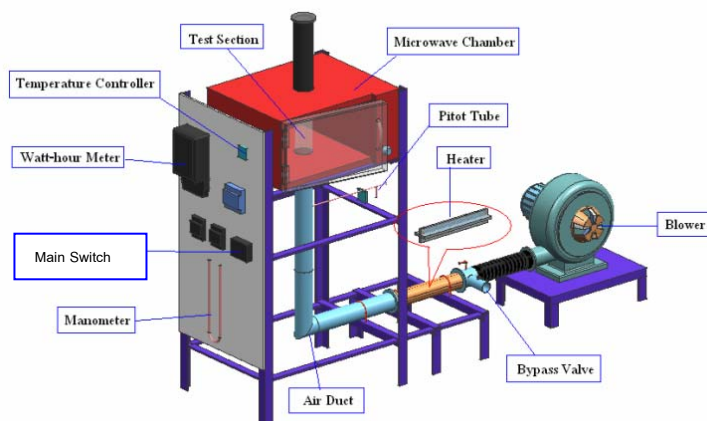
2. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อเปรียบเทียบกลไกการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดที่ได้จากการใช้เครื่องอบแห้งแบบ combined microwave/fluidized bed dryer (CMFD) และเครื่องอบแห้งแบบ combined microwave/vortex dryer (CMVX) รวมไปถึงการเปรียบเทียบการใช้พลังงาน และปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่หลังจากการอบแห้งทั้งสองแบบ

3. อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งประกอบด้วยเตาไมโครเวฟ Samsung รุ่น M197DN ให้กำลังงานสูงสุด 560 วัตต์ ที่ความถี่ 2450 MHz โดยด้านบนและด้านล่างของเตาถูกเจาะรูขนาด 10 เซนติเมตร เพื่อใส่ท่อแก้วทนความร้อน (pyrex tube) ยาว 25.5 เซนติเมตร ซึ่งทำหน้าที่เป็นห้องอบเมล็ดข้าวโพด และเพื่อความปลอดภัยในการทดลอง จึงจำเป็นต้องติดตั้งแผ่นตะแกรงที่ปลายทั้งสองของ pyrex tube เพื่อบังคับให้คลื่นไมโครเวฟสะท้อนอยู่ภายในห้องอบเท่านั้น ความเร็วลมและอุณหภูมิที่ทางเข้าห้องอบสามารถควบคุมได้โดยใช้ air blower จ่ายลมให้ห้องอบโดยเป่าผ่าน controllable electrical heater อุณหภูมิของห้องอบถูกวัดโดยใช้ thermocouple type K ซึ่งมีความถูกต้อง $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ในขณะที่ความเร็วลมสามารถวัดได้โดยใช้ pitot tube ร่วมกับ manometer และใช้ตาชั่งแบบตัวเลข (digital

balance) Sartorius model BP210S เพื่อวัดมวลของข้าวโพดขณะทำการทดลอง



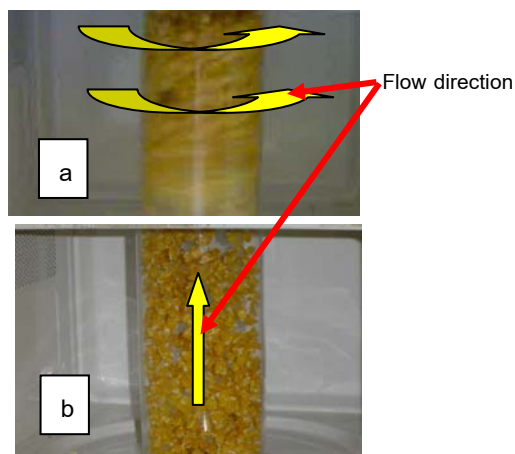
รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มแรก เป็นการทดลองแบบ fluidized bed drying:FBD (ไม่มีไมโครเวฟ) กลุ่มที่สอง เป็นการทดลองแบบ vortex drying:VTX (ไม่มีไมโครเวฟ) กลุ่มที่สาม เป็นการทดลองแบบ combined microwave/fluidized bed drying:CMFD และกลุ่มสุดท้ายเป็นการทดลองแบบ combined microwave/vortex drying:CMVX สำหรับการทดลองในกลุ่มที่หนึ่งและกลุ่มที่สาม จะมีทิศทางของลมร้อนจาก air duct พุ่งขึ้นสู่ห้องอบโดยตรง ในขณะที่การทดลองในกลุ่มที่สองและกลุ่มที่สี่ นั้น จะต้องมีการติดตั้งที่ทางเข้าห้องอบเพื่อบังคับทิศทางของลมร้อนให้หมุนวนอยู่ในแนวระดับ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 หัวฉีด

รูปที่ 3 แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของเมล็ดข้าวโพดในลักษณะการหมุนวนและฟลูอิดไดเซชัน ที่เกิดขึ้นภายในห้องอบ



รูปที่ 3 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของเมล็ดข้าวโพด a) vortex
b) fluidization

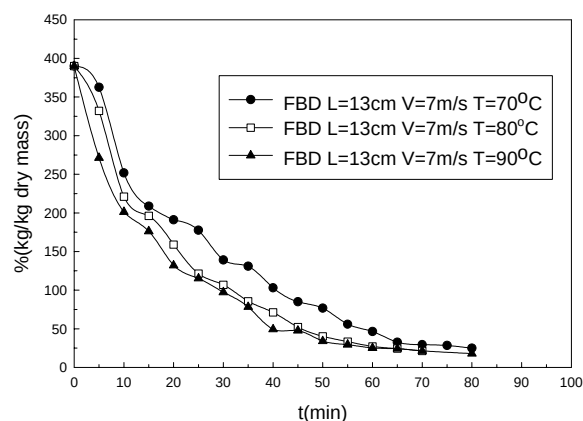
4. ขั้นตอนการทดลอง

นำฝักข้าวโพดสดมาแยกเมล็ดออก โดยคัดเลือกเมล็ดข้าวโพดที่มีขนาดใกล้เคียงกัน นำมาพรมน้ำและบรรจุในภาชนะปิด ที่ 5°C ทำการคลุกเคล้าให้ทั่ว เพื่อให้ความชื้นกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอภายในเมล็ดข้าวโพด การทดลองจะใช้ข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้น 390% dry-basis ทำการอบแห้งจนกระทั่งข้าวโพดมีความชื้นเหลืออยู่ 24% dry-basis หรือต่ำกว่า การทดลองทั้ง 4 กลุ่มจะใช้เวลาเร็วลม 7 m/s และ 9 m/s อุณหภูมิในห้องอบถูกควบคุมไว้ที่ 70°C , 80°C และ 90°C ในการวัดความชื้น จะใช้ตู้อบไฟฟ้าโดยทำการอบแห้งข้าวโพดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 103°C จนน้ำหนักคงที่เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

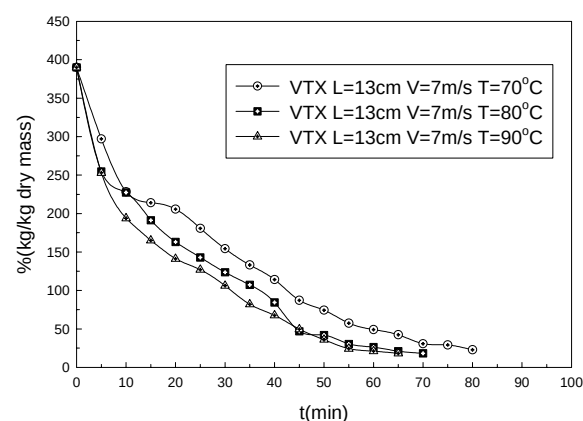
5. ผลการทดลอง

5.1 ผลของอุณหภูมิอากาศ

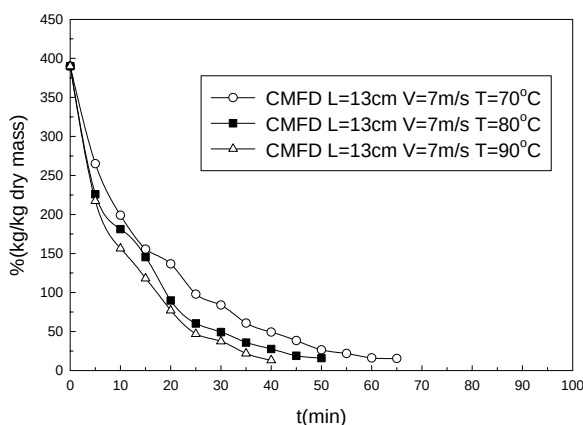
จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของอากาศทางเข้ามีผลอย่างมาก ต่อผลการอบแห้ง ซึ่งดูได้จากเวลาในการอบแห้ง (drying time) ที่ต้องใช้ในการทำให้ข้าวโพดมีความชื้นลดลงเหลือ 24% dry-basis รูปที่ 4 และ 5 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อ drying time ของ FBD และ VTX ตามลำดับ จากผลการทดลองของ FBD พบว่ามีค่า drying time ลดลงจาก 80 นาที เป็น 64 นาที เมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 70°C เป็น 90°C ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองของ VTX พบว่ามีค่า drying time ลดลงจาก 81 นาที เป็น 59.2 นาที เมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 70°C เป็น 90°C ตามลำดับ สำหรับกรณีที่ไม่มีไมโครเวฟ พบว่า CMFD จะทำให้มีค่า drying time ลดลงจาก 53.7 นาที เป็น 33.8 นาที เมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 70°C เป็น 90°C ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6 ส่วนผลการทดลองของ CMVX พบว่ามีค่า drying time ลดลงจาก 44.4 นาที เป็น 31.7 นาที เมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 70°C เป็น 90°C ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7 นอกจากนี้หากพิจารณารูปที่ 4-7 จะพบว่า การอบแห้งที่ไม่มีไมโครเวฟ (CMFD และ CMVX) จะทำให้ได้อัตราการอบแห้งที่สูงกว่าในกรณีที่ไม่มีไมโครเวฟ (FBD และ VTX)



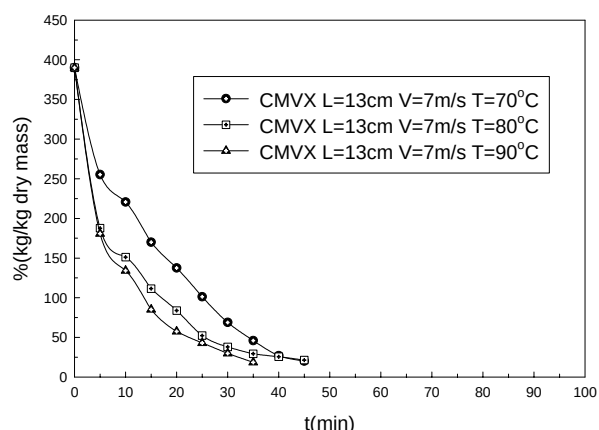
รูปที่ 4 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อ drying curves (FBD)



รูปที่ 5 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อ drying curves (VTX)



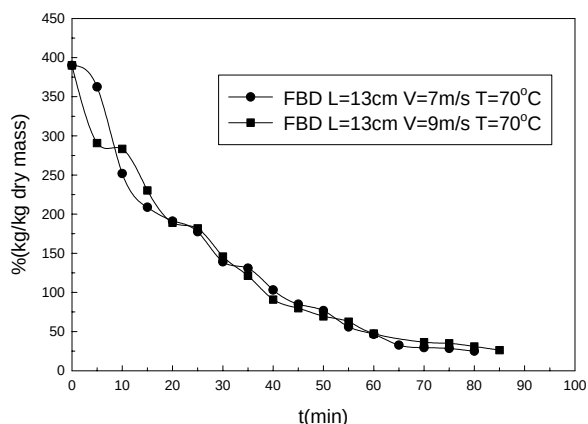
รูปที่ 6 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อ drying curves (CMFD)



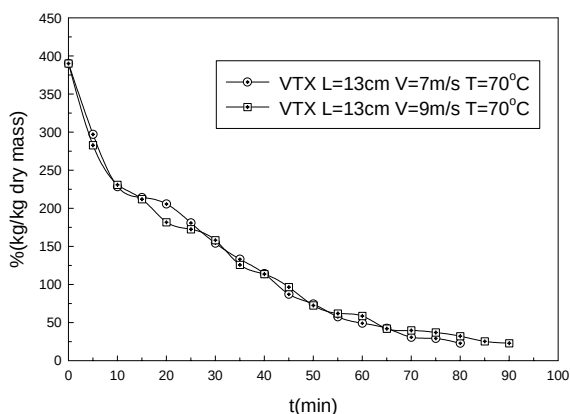
รูปที่ 7 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อ drying curves (CMVX)

5.2 ผลของความเร็วลม

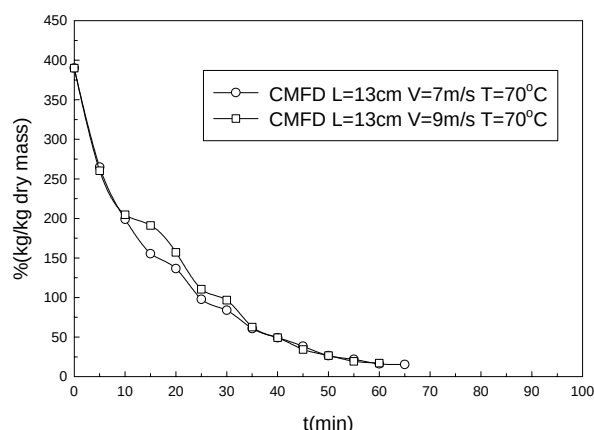
การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมจาก 7 m/s ไปเป็น 9 m/s โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 70°C ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 8-11 ซึ่งเป็นของ FBD, VTX, CMFD และ CMVX ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมมีผลต่อกลไกการอบแห้งน้อยมาก



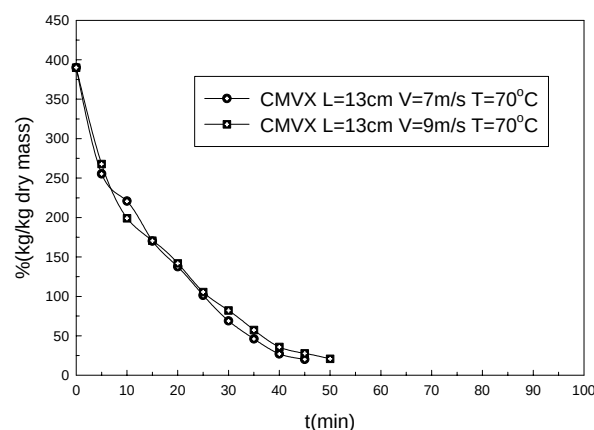
รูปที่ 8 ผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่มีต่อ drying curves (FBD)



รูปที่ 9 ผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่มีต่อ drying curves (VTX)



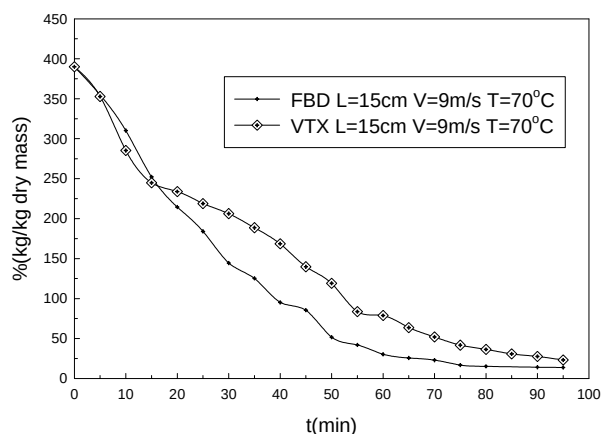
รูปที่ 10 ผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่มีต่อ drying curves (CMFD)



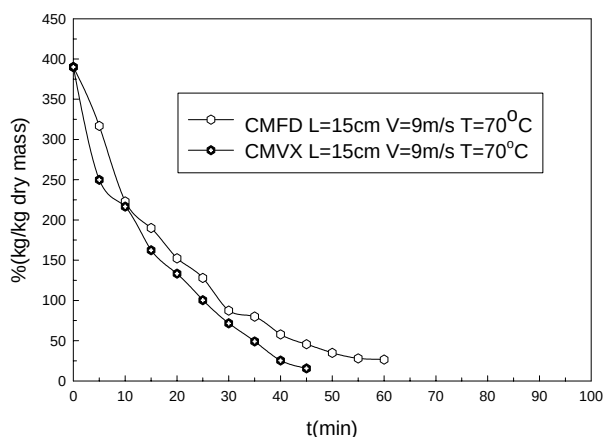
รูปที่ 11 ผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมที่มีต่อ drying curves (CMVX)

5.3 ผลของทิศทางการไหล

รูปที่ 12 และ 13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและแบบหมุนวน ในกรณีที่ไม่มีความชื้นและไม่มีความชื้นตามลำดับ จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ไม่มีความชื้น การอบแห้งแบบ FBD จะมี drying time น้อยกว่าในกรณีของ VTX ในทางตรงกันข้าม เมื่อมีความชื้นมาเกี่ยวข้อง จะทำให้ drying time ของ CMVX มีค่าต่ำกว่า drying time ของ CMFD ผลที่ได้นี้อาจจะอธิบายได้ว่า สำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุนวนนั้นกลุ่มของเมล็ดข้าวโพดจะถูกบังคับให้เคลื่อนตัวอยู่ตรงกลางของห้องอบ ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกันกับตัวกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ ในขณะที่การเคลื่อนที่แบบฟลูอิดไดซ์เบดจะมีการกระจายตัวของข้าวโพดเกิดขึ้นอย่างมากในแนวตั้ง ทำให้กลุ่มของข้าวโพดที่บริเวณด้านบนและด้านล่างของห้องอบได้รับคลื่นไมโครเวฟน้อยกว่าบริเวณตรงกลางของห้องอบ เป็นผลทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่าเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่แบบหมุนวนที่มีไมโครเวฟ (CMVX)



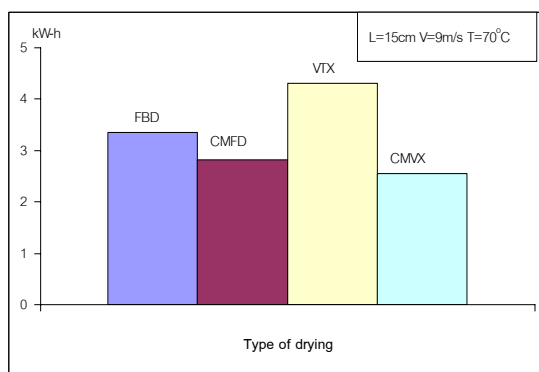
รูปที่ 12 การเปรียบเทียบระหว่าง FBD และ VTX



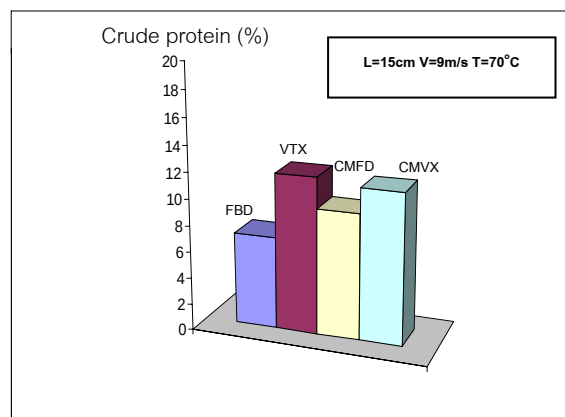
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบระหว่าง CMFD และ CMVX

6. การใช้พลังงานและปริมาณโปรตีน

รูปที่ 14 และ 15 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานและปริมาณโปรตีนภายในเมล็ดข้าวโพดที่ได้จากการอบแห้งแบบต่าง ๆ จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งแบบ CMVX ใช้พลังงานในการอบแห้งต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่มากกว่าค่าที่ได้จากการอบแห้งที่ใช้เทคนิคฟลูอิดไดเซชัน



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้สำหรับการอบแห้งแบบต่าง ๆ



รูปที่ 15 การเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของเมล็ดข้าวโพดที่ได้จากการอบแห้งแบบต่าง ๆ

7. สรุป

จากการทดลอง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- 7.1 การอบแห้งที่ใช้ร่วมกับไมโครเวฟ (CMFD และ CMVX) เป็นผลทำให้อัตราการอบแห้งมากขึ้น เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบธรรมดา (FBD และ VTX)
- 7.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าห้องอบมีผลต่ออัตราการอบแห้งอย่างมาก
- 7.3 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศที่ทางเข้าห้องอบมีผลต่ออัตราการอบแห้งน้อยมาก
- 7.4 เมื่อไม่มีผลของไมโครเวฟ การอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันจะทำให้มีอัตราการอบแห้งที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบหมุนวน
- 7.5 การอบแห้งที่ใช้เทคนิคการหมุนวนร่วมกับไมโครเวฟจะทำให้ได้อัตราการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชันร่วมกับไมโครเวฟ
- 7.6 การอบแห้งที่ใช้เทคนิคการหมุนวนร่วมกับไมโครเวฟใช้พลังงานในการอบแห้งต่ำและยังมีปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวโพดเหลืออยู่มาก

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้จะไม่สำเร็จจนได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากคุณ มานพ สินสุพรรณ, คุณ วิศิษฐ์ สารภักดี, คุณ สง่า คงแก้ว, คุณ ปรีชา สุตาจันทร์, คุณ วิภาส นิตวิภักดิ์ และคุณ ศิวกร ศรีสวัสดิ์ ที่เสียสละเวลาในการเก็บข้อมูลทั้งหมด

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหาร คณะพลังงานและวัสดุ มจร กรุงเทพฯ พ.ศ. 2529.
- [2] ศิระ สายศร วสันต์ ดั่งวงศ์จันทร์ และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ "การศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟร่วมกับฟลูอิดไดเซชัน" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล

แห่งประเทศไทยครั้งที่ 18 ขอนแก่น ประเทศไทย 18 – 20 ตุลาคม 2547.

[3] W. Kaensup, and S. Wongwises, "Drying Kinetics of Pepper Seeds Using a Fluidized Bed Dryer and a Combined Microwave/Fluidized Bed Dryer", International Conference on Food Industry Technology and Energy Applications, 13-15 November 1996, Bangkok, Thailand, pp.121-128.

[4] W. Kaensup, S. Wongwises, and S. Chutima, "Drying of Pepper Seeds Using a Combined Microwave/Fluidized Bed Dryer", Drying Technology, 1998, Vol.16, pp. 853-862.

[5] S. Soponronnarit, A. Pongtornkulpanich, and S. Prachayawarakorn, "Drying Characteristics of Corn in Fluidized Bed Dryer", Drying Technology, 1997, Vol.15, pp.1603-1615.