

จลนพลศาสตร์การอบแห้งแครอทด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับอากาศร้อน

Drying Kinetics of Carrot using Electric Field Combined with Hot Air

สันติ สุธเชลียว (Santi Sudchaleaw)¹

ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์ (Songchai Wiriyapaisongchai)^{2*}

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา (Umphisak Teeboonma)³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งแครอท ด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับอากาศร้อน โดยมีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ อุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งเท่ากับ 60, 70 และ 80 °C ความเร็วลม 0.5, 0.7 และ 1.0 เมตรต่อวินาที สนามไฟฟ้าในระบบสร้างขึ้นจากอิเล็กโทรดแบบแผ่น 2 แผ่น วางขนานกัน ด้วยระยะห่าง 10 เซนติเมตร ความเข้มของสนามไฟฟ้าแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 50 ถึง 150 กิโลโวลต์ต่อเมตร ผลลัพธ์ที่ได้ใช้ทดลองอบแห้งคือ แครอทรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 5 เซนติเมตรหนา 0.5 เซนติเมตร การอบแห้งแครอทจะทำให้ การลดความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น 760% d.b. จนกระทั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์คงที่ ผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการอบแห้งสั้นลงเมื่อความเร็วลมมากขึ้น และอุณหภูมิสูงขึ้น สนามไฟฟ้าทำให้เวลาการอบแห้งสั้นลงขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามไฟฟ้า ที่ความเข้มของสนามไฟฟ้า 150 กิโลโวลต์ต่อเมตรจะมีผลทำให้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นที่สุด อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในการอบแห้งเมื่อใช้สนามไฟฟ้าลดลง 5-39 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งที่ไม่ใช้สนามไฟฟ้า

Abstract

The objective of this research was to study the drying kinetics of carrot using an electric field combined with hot air. Experiments were performed under the following conditions: air temperature entering drying chamber of 60, 70 and 80°C and air velocity of 0.5, 0.7, and 1.0 m/s. The electric field in the dryer was formed from two electrode plates which were placed in parallel with an electrode spacing of 10 cm. The electric field intensity was in the range of 50 to 150 kV/m. The product for drying is a carrot slice with an average diameter of 5 cm and thickness of 0.5 cm. Carrot drying was performed to reduce the moisture from the initial moisture content of 760 % d.b. to the constant product weight. Experimental results showed that the drying time was reduced when the air velocity and temperature were increased. The electric field resulted in a shorter drying time which depended on the electric field intensity. The electric field intensity of 150 kV/m gave the shortest drying time. The rate of energy consumption when using the electric field was 5-39 % lower than without the electric field.

คำสำคัญ: ความเข้มสนามไฟฟ้า การอบแห้ง

Key words: Drying, Electric Field

¹นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

³ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

*Corresponding author, e-mail: wsongchai@yahoo.com

บทนำ

การลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก เนื่องจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น และลดการเน่าเสียอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ด้วย การอบแห้งด้วยอากาศร้อนมีผู้วิจัยศึกษาเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์ไว้มากมาย อาทิ ข้าว (Wiset et al., 2005) ถั่วเหลือง (Wiriyaumpaiwong et al., 2004) แอปเปิ้ล (Sacilik and Elicin, 2006) ผักและผลไม้บางชนิด (Akpınar, 2006)

สำหรับการศึกษาผลของสนามไฟฟ้าที่มีต่อการอบแห้งข้าวสาลี (Cao et al., 2004a) พบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้สูงขึ้นและระยะห่างของตัวจ่ายประจุไฟฟ้าน้อยลง นอกจากนี้การอบแห้งด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันสูงที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำจะมีผลมากกว่าที่อุณหภูมิอบแห้งสูง Ade-Omowaye et al., (2001) ศึกษาอิทธิพลของสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ ความเข้มสูงที่มีต่อการลดความชื้นของมันแดง พบว่าสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ความเข้มสูงทำให้การลดลงของความชื้นเร็วขึ้น อีกทั้งยังทำให้เซลล์ที่ผิวมันแดงแยกออกจากกันเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็นมันเทศ (Lebovka et al., 2007) การพรีทรีทมันเทศด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ที่อุณหภูมิอบแห้งสูงถึงปานกลางจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นอย่างมาก สำหรับการใช้สนามไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีต่อการอบแห้งข้าวกล้อง (Cao et al., 2004b) พบว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับความเข้มสนามไฟฟ้า ในขณะที่อัตราการอบแห้งของข้าวกล้องที่ผ่านสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากกว่าไม่ผ่านสนามไฟฟ้า แต่สนามไฟฟ้าไม่มีผลต่อลักษณะโครงสร้างบริเวณผิวข้าวกล้องที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งแครอทด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับอากาศร้อน โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ความเร็วลมและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งแครอท นอกจากนี้ยังทดสอบความสิ้นเปลืองพลังงานในกรณีที่ใช้และไม่ใช้สนามไฟฟ้า

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องอบแห้งด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับอากาศร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1 รายละเอียดมีดังนี้ ขนาดของห้องอบแห้งเท่ากับ 25x150x25 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) โดยอุปกรณ์ให้ความร้อนเป็นขดลวดความร้อน 4 ชุด ใช้พลังงานไฟฟ้าชุดละ 1,000 วัตต์ สามารถปรับพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดความร้อนได้ และใช้พัดลมเป็นแบบไหลตามแนวแกน มอเตอร์ขนาด 500 วัตต์ สามารถปรับความเร็วลมได้ เครื่องมีวัตที่ใช้ตรวจวัดอุณหภูมิ ความเร็วลม และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ คือ เทอร์โมคัปเปิลชนิด K, Hot Wire Anemometer และเครื่องชั่งแบบดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง ในการทดลองอบแห้งแครอท จะควบคุมอุณหภูมิอากาศเข้าห้องอบแห้งที่ 60, 70 และ 80 °C ส่วนอุปกรณ์สร้างสนามไฟฟ้า ใช้หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าขนาด 1 KVA เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อเข้ากับด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดันมีอัตราส่วน 1:200 โดยด้านทุติยภูมิต่อกับอิลีคโตรดแบบแผ่นขนาน ขนาด 15x20 เซนติเมตร วางห่างกัน 10 เซนติเมตร โดยขั้ว H1 ของหม้อแปลงแรงดันต่อกับ อิเลคโตรดด้านบน (ขั้วบวก) และขั้ว H2 ต่อกับอิเลคโตรดด้านล่างและต่อลง ground (ขั้วลบ) การปรับ แรงดันไฟฟ้าให้ปรับที่หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้า ให้แรงดันด้านทุติยภูมิ ของหม้อแปลงแรงดัน ได้ 5, 10 และ 15 กิโลโวลท์ และเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลอากาศ 0.5, 0.7 และ 1.0 เมตรต่อวินาที ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้แครอท 50 กรัม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร เมื่อนำมาหาค่าความชื้นเริ่มต้นโดยเฉลี่ยประมาณ 760% d.b. (AOAC, 2000)

ผลการทดลอง

ผลของความเข้มของสนามไฟฟ้าที่มีต่ออัตราการอบแห้งแครอทด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับอากาศร้อน

รูปที่ 2 แสดงอิทธิพลของความเข้มของสนามไฟฟ้าที่มีต่ออัตราการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 60°C และความเร็วลม 0.5 m/s คงที่ โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m , 100 kV/m , 150 kV/m และไม่มีสนามไฟฟ้า จากการทดลองพบว่าความชื้นจะลดลงตามระยะเวลา โดยความชื้นลดลงเร็วที่สุด 240 นาที ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 150 kV/m ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบกับความเข้มสนามไฟฟ้า 100 kV/m , 50 kV/m และไม่มีสนามไฟฟ้า พบว่าเวลาในการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น 10 %, 21% และ 25% ตามลำดับ จึงสรุปผลการทดลองได้ว่าสนามไฟฟ้าที่ความเข้มสูงจะมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าที่สนามไฟฟ้าความเข้มต่ำและไม่มีสนามไฟฟ้า เนื่องจากสนามไฟฟ้าช่วยกระตุ้นให้ผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 25 นาทีแรกของการอบแห้ง (ดูรูปที่ 2 ประกอบ) จึงมีผลทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น

ผลของความเร็วมที่มีต่ออัตราการอบแห้งแครอทด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับอากาศร้อน

รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของความเร็วมที่มีต่ออัตราการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 80°C และความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 100 kV/m และรูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของความเร็วมที่มีต่ออัตราการอบแห้งเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 80°C และความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 150 kV/m จากการทดลองพบว่าความชื้นของแครอทลดลงตามเวลาในการอบแห้ง โดยที่ความเร็วม 1.0 m/s จะให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าที่ความเร็วม 0.7 และ 0.5 m/s ทั้งสองความเข้มสนามไฟฟ้า 100 และ 150 kV/m จะเห็นได้ว่า ความเร็วมมีอิทธิพลทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น เนื่องจากความเร็วมสูงส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนและสัมประสิทธิ์การแผ่ของน้ำภายในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นทั้งสนามไฟฟ้าและความเร็วมจึงเป็นตัวแปรในการช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน และมวลระหว่างอากาศร้อนกับผลิตภัณฑ์

ผลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้งต่ออัตราการอบแห้งแครอทด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับอากาศร้อน

รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้งต่ออัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วม 1.0 m/s และความเข้มสนามไฟฟ้า 100 kV/m และรูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้งต่ออัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วม 1.0 m/s และความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 150 kV/m จากการทดลองพบว่าความชื้นของแครอทลดลงตามเวลาในการอบแห้ง จากรูปที่ 5 และ 6 พบว่า อัตราการอบแห้งสูงขึ้นตามอุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้งอย่างชัดเจน โดยเฉพาะที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้ง 80°C และจะเห็นว่าอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจนเข้าใกล้อุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้ง เมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำมาก ๆ (ต่ำกว่า 100% มาตรฐานแห้ง) ดังนั้นถ้าสรุปโดยรวมจะพบว่าทั้งอุณหภูมิอากาศที่ใช้ออบแห้ง ความเร็วม และความเข้มสนามไฟฟ้า ล้วนแต่มีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการอบแห้ง ซึ่งจะสังเกตได้จากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และอัตราการลดลงของความชื้นของแครอท

ความสิ้นเปลืองพลังงาน

ตารางที่ 1 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานเมื่ออบแห้งแครอทจนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้าย 100% d.b. ซึ่งเป็นความชื้นที่ปลอดภัยในการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างไม่ใช้สนามไฟฟ้า กับความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 50 kV/m , 100 kV/m และ 150 kV/m พบว่าที่สนามไฟฟ้าความเข้มสูงจะมีอัตราการอบแห้งดีที่สุด และสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด โดยที่กรณีใช้ความเข้มสนามไฟฟ้า 50 kV/m , 100 kV/m และ 150 kV/m สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า 5-15%, 11-29% และ 18-39% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่ใช้สนามไฟฟ้า หากพิจารณาอิทธิพลของความเร็วม ขณะที่ตัวแปรอื่นคงที่ พบว่าทุกเงื่อนไขการทดลอง เมื่อความเร็วมมากขึ้นจะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยลง เนื่องจากความเร็วมมากขึ้น ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง ทำให้ใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยลง ยกเว้นที่อุณหภูมิสูง (80°C) ความเข้มสนามไฟฟ้า 50

kV/m, 100 kV/m และ 150 kV/m และความเร็วลม 1.0 m/s ที่ใช้พลังงานในการอบแห้งมากขึ้น เพราะความเร็วลม 0.7 m/s และ 1.0 m/s ใช้เวลาในการอบแห้งไม่แตกต่างกันมากนัก พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นแครอทจึงไม่แตกต่างกันมาก ในขณะที่พลังงานที่ใช้ในการเพิ่มความเร็วมมากขึ้น ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานรวมสำหรับการอบแห้งมากขึ้น

สรุปผลการทดลอง

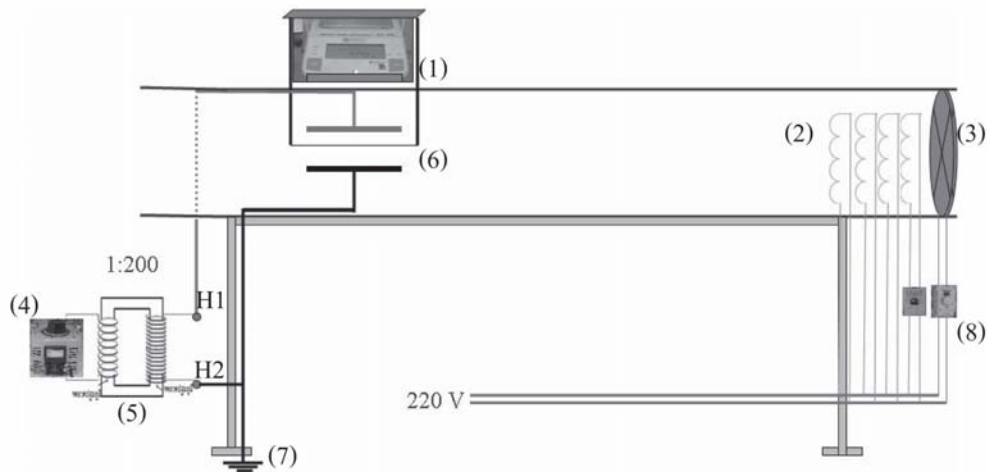
การอบแห้งแครอทด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับอากาศร้อน พบว่าสนามไฟฟ้ามีส่วนช่วยกระตุ้นให้อากาศร้อนโดยการพาความร้อนกับผลิตภัณฑ์แครอทมีอัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งสูงขึ้น และตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง ความเร็วลม และความชื้นของสนามไฟฟ้าล้วนแต่มีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการอบแห้งเร็วขึ้น นอกจากนี้พบว่า การอบแห้งโดยใช้สนามไฟฟ้าร่วมกับอากาศร้อน สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งได้ถึง 5-39% เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งที่ไม่ใช้สนามไฟฟ้า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณเงินสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2550 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และอุปกรณ์ทดลองจาก กองบำรุงรักษาอุปกรณ์สถานีไฟฟ้า ฝ่ายปฏิบัติการภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

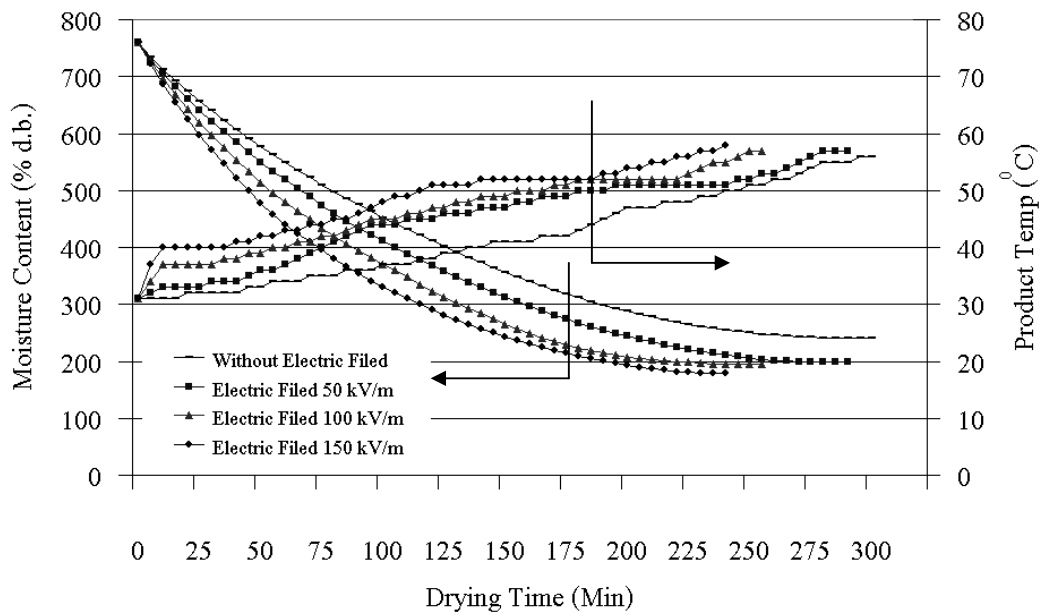
- AOAC. 2000. AOAC, Official methods of analysis of the Association of official analytical chemists. (17th ed.). AOAC International, Gaithersburg, MD, USA Official Method 925.10.
- Ade-Omowaye, N.K. Rastogi, A. Angersbach and D. Knorr. 2001. Effect of high hydrostatic pressure or high intensity electrical field pulse pre-treatment on dehydration characteristic of red paprika. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**. 2, 1: 1-7.
- Ebru Kavak Akpinar. 2006. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetable and fruits. **Journal of Food Engineering**. 73, 1: 75-84.
- Kamil Sacilik and Ahmet Konuralp Elicin. 2006. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. **Journal of Food Engineering**. 73, 3: 231-238.
- Lamul Wiset, G. Srzednicki, M. Wootton, R.H. Driscoll and A.B. Blakeney. 2005. Study on effects of high temperature drying using a fluidized bed drying on physico-chemical properties of various cultivars of rice. **Drying Technology** 23(9-11): 2227-2237.
- Nikolia I., Lebovka, Nikolia V., Shynkaryk and Eugene Vorobiev. 2007. Pulsed electric field enhanced drying of potato Tissue. **Journal of Food Engineering**. 78, 2: 606-613.
- Sogchai Wiriyaumpaiwong, Somchart Soponronnarit and Somkiat Prachayawarakorn. 2004. Comparative of heating processes for full-fat soybeans. **Journal of Food Engineering**. 65, 3: 371-382.
- Wie Cao, Yoshio Nishiyama and Shoji Koide. 2004a. Electrohydrodynamic drying Characteristic of wheat using high voltage electrostatic field. **Journal of Food Engineering**. 62, 3: 209-213.
- Wie Cao, Yoshio Nishiyama, Shoji Koide and Z.H. Lu. 2004b. Drying Enhancement of Rough Rice by an Electric Field. **Biosystems Engineering**. 87, 4: 445-451.



รูปที่ 1

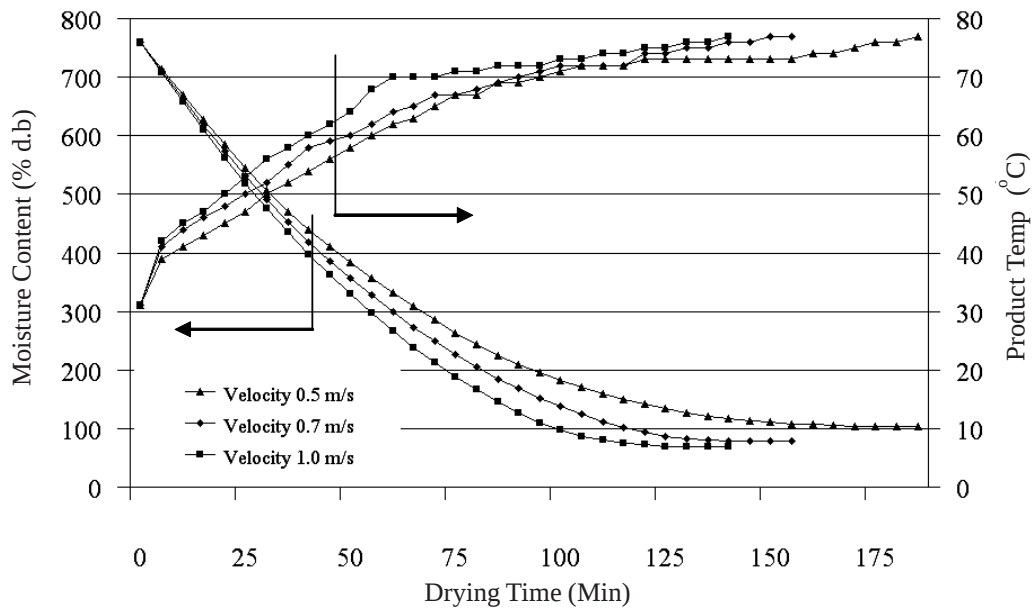
แสดงเครื่องอบแห้งด้วยสนามไฟฟ้าร่วมกับอากาศร้อนโดยประกอบด้วย

- 1) เครื่องชั่งน้ำหนัก 2) ขดลวดความร้อน 3) พัดลม 4) หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้า 5) หม้อแปลงแรงดัน 6) แผ่นอิเล็กทรอนิกส์ 7) Ground 8) ชุดปรับความร้อนของขดลวดความร้อนและความเร็วลม

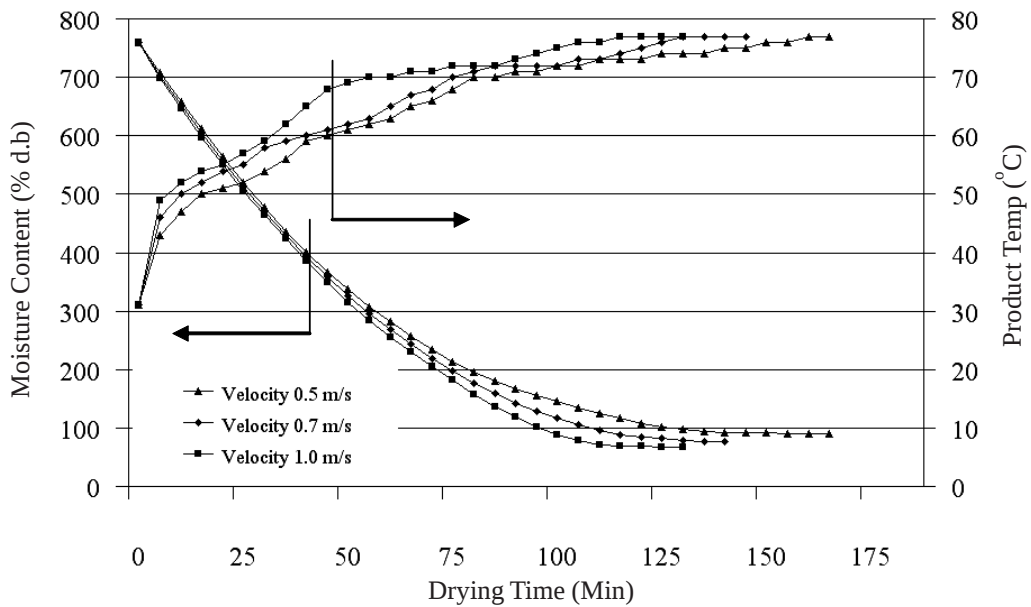


รูปที่ 2

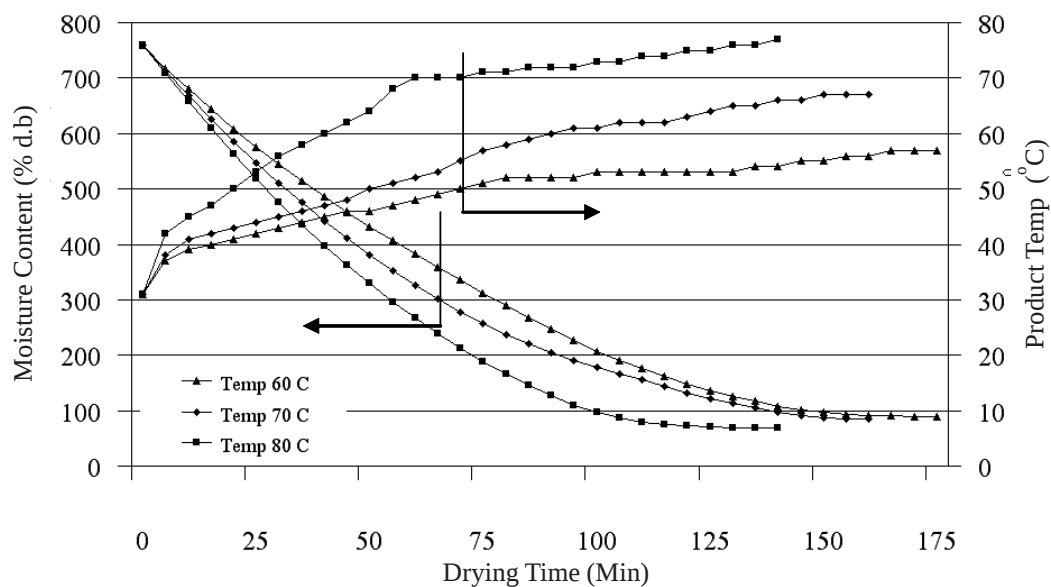
แสดงอิทธิพลของความเข้มของสนามไฟฟ้าที่มีต่ออัตราการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 60 °C และความเร็วม 0.5 m/s



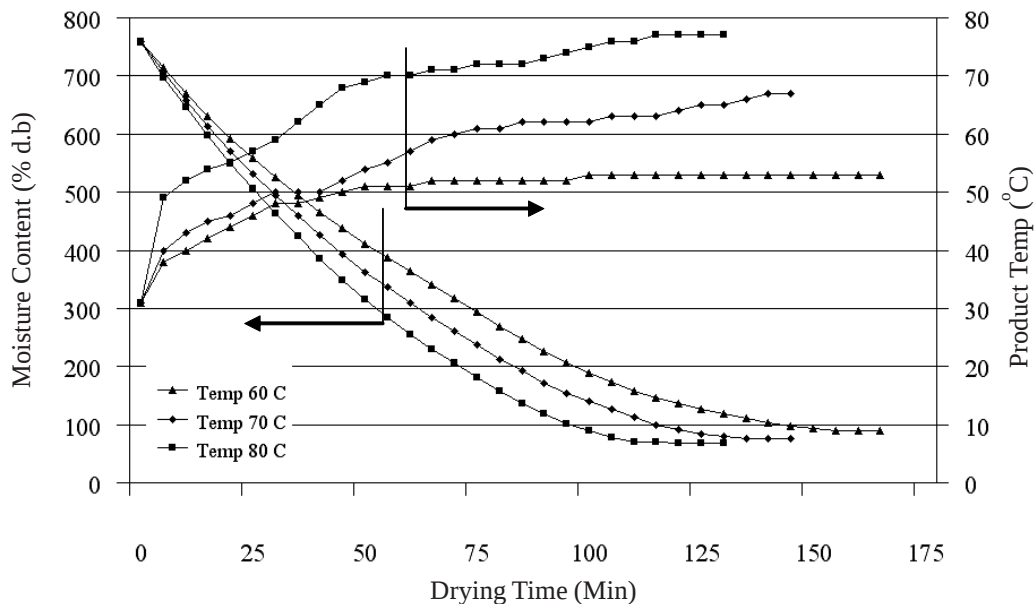
รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่ออัตราการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 80 °C และความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 100 kV/m



รูปที่ 4 แสดงอิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่ออัตราการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 80 °C และความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 150 kV/m



รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้งต่ออัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วลม 1.0 m/s และความเข้มสนามไฟฟ้า 100 kV/m



รูปที่ 6 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้งต่ออัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วลม 1.0 m/s และความเข้มสนามไฟฟ้า 150 kV/m

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์พลังงานเมื่ออบแห้งเครื่องจนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้าย 100% d.b. ซึ่งเป็นความชื้นที่ปลอดภัยในการเก็บรักษา

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ/kg water evaporation)									
ความเข้มสนามไฟฟ้า (kV/m)	ความเร็วลม 0.5 m/s			ความเร็วลม 0.7 m/s			ความเร็วลม 1.0 m/s		
	60 °C	70 °C	80 °C	60 °C	70 °C	80 °C	60 °C	70 °C	80 °C
ไม่ใช้สนามไฟฟ้า	999.65	870.64	579.72	628.55	604.30	531.13	594.53	560.51	542.55
50	855.20	786.54	490.90	577.91	571.73	487.51	555.92	523.20	497.85
100	724.78	689.97	410.04	525.79	449.40	394.19	525.16	487.62	427.95
150	683.78	625.58	352.82	484.00	432.33	365.25	486.86	422.47	420.38