

การพัฒนาเครื่องอบแห้งชั้นบางระบบปิด โดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าแรงดันสูง

อัสลีหะยะ สนิโซ* และ มะรุติง กาศา*

บทคัดย่อ

โรงงานอุตสาหกรรมต้องสูญเสียพลังงานปริมาณมากในกระบวนการผลิตจึงจำเป็นต้องหาทางลดพลังงานลง อาทิเช่น ในอุตสาหกรรมอาหาร การใช้ลมร้อนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้องใช้พลังงานในปริมาณสูง จึงต้องหาแนวทางหรือกระบวนการใหม่ที่ดีกว่าเพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตลง หนึ่งในนั้นคือการใช้หลักการลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันสูงไปกระตุ้นการถ่ายเทมวลและความร้อน ดังนั้น การวิจัยนี้จึงเลือกที่จะออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทดสอบการอบแห้งแบบผสมด้วยการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันสูงร่วมกับลมร้อนสำหรับการอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตร ชุดสนามไฟฟ้าแรงดันสูงได้ใช้แบบกระแสสลับที่มีเข็มโลหะเป็นขั้วอิเล็กโทรดจำนวนมาก มีแผ่นโลหะอะลูมิเนียมเป็นชุดดิสชาร์จที่สามารถรองรับการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงได้ในช่วง 0 – 22 กิโลโวลต์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของโคโรนาวินด์ที่เกิดขึ้นเหนือตัวอย่างทดลองส่งผลให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น โดยการอบแห้งแบบผสมด้วยการกระตุ้นตัวอย่างทดลองด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันสูงแล้วอบแห้งต่อด้วยลมร้อนสามารถทำให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว ในขณะที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page มีความเหมาะสมที่สุดในการอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ซึ่งพอที่จะสรุปได้ว่า เครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถใช้ออบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรได้

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งชั้นบาง สนามไฟฟ้าแรงดันสูง จลนพลศาสตร์การอบแห้ง ระบบปิด



Closed System of Thin Layer Dryer Development Using High Voltage Electric Field Technique

Eleeyah Saniso* and Maruding Kasa*

ABSTRACT

Industrial energy intensive processes are being forced to explore alternative ways to reduce their energy consumption. In food industry, the hot air drying (HAD) is an energy intensive process. In order to reduce the energy consumed during its operations, therefore, the alternative processes had been investigated. One promising alternative is the electrohydrodynamic (EHD) to enhance the heat and mass transfer. Thus, this research aims to design and construct the hybrid EHD/HAD dryer for dehumidification of food materials and agricultural products. The EHD system consists of an AC power supply, a structure of multiple electrode pins, and an aluminum plate functioned as electrical discharge unit. The system can be applied with high voltage electricity in the range of 0 – 22 kV. Results showed that, the influence of corona wind flowing above tested samples increases the drying rate considerably. In addition, the hybrid system of combined EHD/HAD unit with a conventional hot air drying system as the back-end process, can dramatically reduces the moisture content in tested samples. Moreover, the kinetics of the hybrid EHD/HAD drying technique can enhance faster drying rate over the hot air drying technique alone. Furthermore, the Page's mathematical simulation model is suitable for describing the drying kinetic behaviors of these tested samples. In conclusion, this designed and constructed dryer is applicable for drying of food and agricultural products.

Keywords: Thin layer dryer High voltages electric field Drying kinetic Closed system

*Department of Science, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University,
133 Tesaban Road 3, Amphur Muang, Yala 95000, Thailand. e-mail: saniso.e@hotmail.com

บทนำ

มนุษย์รู้จักทำแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรด้วยการผึ่งแดดเป็นเวลาช้านาน และยังคงใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่จากการผึ่งแดดต้องพึ่งพาธรรมชาติโดยอาศัยแสงอาทิตย์เป็นแหล่งให้ความร้อนและอาศัยลมช่วยพัดพาไอน้ำให้ระเหยออกจากวัสดุ การอบแห้งในลักษณะนี้ต้องการเนื้อที่ในการตากมาก คุณภาพไม่แน่นอน และควบคุมคุณภาพได้ยาก วัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรที่ตากแห้งมักเปราะเปื้อนฝุ่นละออง มีแมลงและเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อน ถ้าฝนตกอาจทำให้แห้งไม่ทันส่งผลให้มีการเน่าเสียหรือเสื่อมคุณภาพ (1) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการค้นคว้าและทำวิจัยเพื่อหาวิธีที่จะใช้ความร้อนจากแหล่งอื่นมาทำแห้ง เช่น การตากโดยอาศัยความร้อนจากการเผาฟืน การสร้างห้องสำหรับการอบแห้งที่มีลมร้อนเป่าลงไปในวัสดุ และจากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เทคโนโลยีการอบแห้งได้มีการเลือกใช้แหล่งพลังงานในหลายแบบและมีการนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางโดยการพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ มาใช้ ทั้งการใช้ลมร้อนเป็นแหล่งพลังงานและการนำแหล่งพลังงานอื่น ๆ มาใช้ร่วม (2, 3) เช่น รังสีอินฟราเรด ไมโครเวฟ หรือสนามไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นที่เหมาะสม สามารถเก็บได้นานและคงคุณภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีให้มากที่สุด

การอบแห้งโดยอาศัยสนามไฟฟ้าแรงดันสูงหรือการดิสชาร์จไฟฟ้าแบบโคโรนา (Electrical corona discharges) ได้ถูกนำมาใช้ในการกำจัดฝุ่นในปล่องไอเสียของโรงงานอุตสาหกรรม (4) ที่เรียกว่า Electrostatic precipitators (EPs) ซึ่งสามารถใช้ได้กับไอเสียที่มีความชื้นสูงและต่ำ (5) หรือใช้อบแห้งข้าวเปลือก มันฝรั่ง ดิน และ อาหาร

บางชนิด (6-8) อย่างไรก็ตามการวิจัยที่ใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าแรงดันสูงที่ประยุกต์ใช้กับวัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรยังมีค่อนข้างจำกัด ทั้งที่รายงานการวิจัยให้ข้อสรุปที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันว่า การอบแห้งโดยอาศัยสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งได้หลายเท่าเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน (6, 7)

สนามไฟฟ้าแรงดันสูงหรือการดิสชาร์จไฟฟ้าแบบโคโรนา (Electrical corona discharges) เกิดขึ้นในสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของการดิสชาร์จคล้ายกับการดิสชาร์จเรืองแสง มีเสียงคล้ายไฟปะทุเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน การดิสชาร์จแบบโคโรนามีการนำกระแสได้ในระดับมิลลิแอมแปร์ และเกิดขึ้นได้ต่อเนื่องโดยลำพังถ้ามีไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงขนาดกันและเกิดเรืองแสงรอบเส้นลวด โดยขั้วบวกจะเรืองแสงสม่ำเสมอกว่าและมีบริเวณเรืองแสงกว้างมากขึ้นเมื่อศักย์เพิ่มขึ้น และการเกิดโคโรนาในอากาศมีผลทำให้เกิดโอโซนและออกไซด์ของไนโตรเจน (9) การดิสชาร์จไฟฟ้าแบบโคโรนาสามารถเกิดขึ้นได้ในสภาวะความดันบรรยากาศหรือสูงกว่าเล็กน้อย โดยเกิดจากการดิสชาร์จไฟฟ้าแบบพาร์เชียล (Partial discharges) ของก๊าซที่อยู่ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงและไม่เป็นเอกพันธ์ (Inhomogeneous electric field) ดังที่ Masato และ Hirohiko (10) ได้ศึกษาปรากฏการณ์ดิสชาร์จไฟฟ้าแบบไซเลนท์ (Silent) ซึ่งจัดเป็นดิสชาร์จไฟฟ้าแรงดันสูงที่คล้ายกับดิสชาร์จไฟฟ้าแบบโคโรนามากแตกต่างกันที่ดิสชาร์จไฟฟ้าแบบโคโรนาไม่มีสารไดอิเล็กตริกหรือหุ้มขั้วอิเล็กโทรดทำให้ขณะเกิดดิสชาร์จจะมีเสียงดังและไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับดิสชาร์จแบบไซเลนท์ (4, 10) อุปกรณ์การดิสชาร์จไฟฟ้าแบบโคโรนาจะประกอบไปด้วยแผ่นอิเล็กโทรด 2 แผ่น วาง

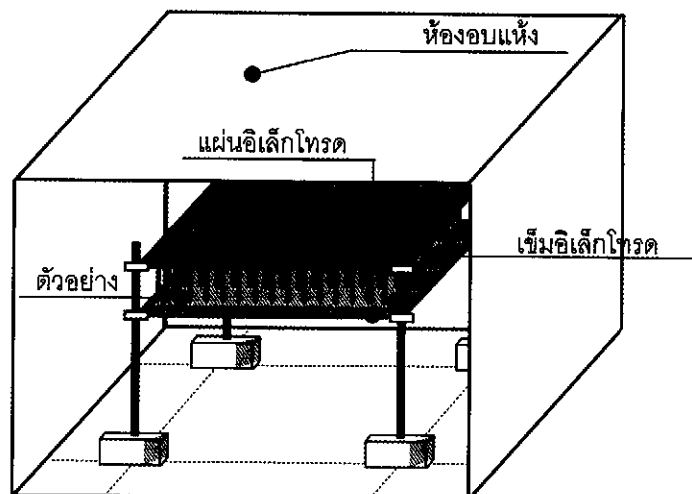
ห่างกันเล็กน้อยเรียกว่า ดิสชาร์จแกพ (Discharge gap) ซึ่งจะเป็นบริเวณที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแล้ว เกิดเป็นแสงสีฟ้า (Blue glow) ที่เรียกว่า โครนา (Corona) และเมื่อผ่านอากาศเข้าไปในช่องว่างนี้ ออกซิเจนในอากาศบางส่วนจะถูกทำให้เกิดการแตกตัวโดยสนามไฟฟ้าแรงดันสูง ส่งผลให้ออกซิเจนอะตอมรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็น โอโซนขึ้นมา

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงเลือกที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งชั้นบางระบบปิดโดยเทคนิคสนามไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์และชุดสาธิตในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ด้านไฟฟ้าและพลังงาน รวมทั้งใช้ในการวิจัยด้านเทคโนโลยีการอบแห้ง (Drying technology) วัสดุอาหารและผลผลิตทางการเกษตรเพื่อนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีในระดับที่สูงขึ้น

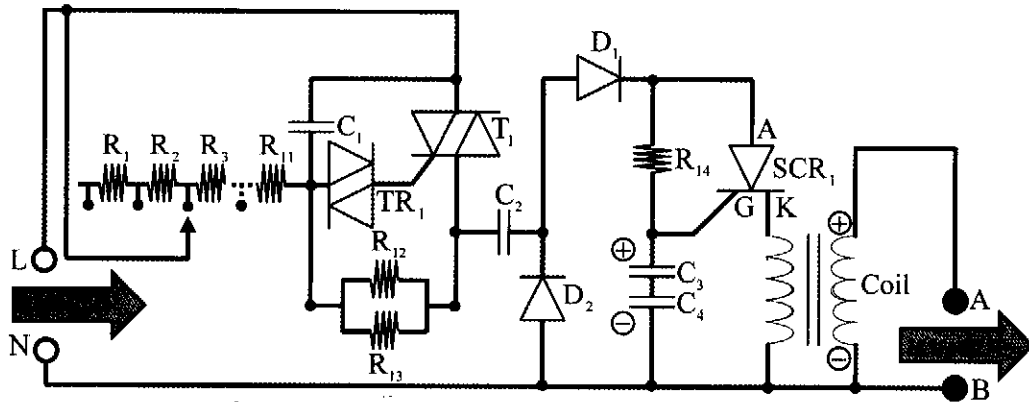
วิธีการ

การวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ การออกแบบและสร้างชุดดิสชาร์จไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับห้องอบแห้งระบบปิด การออกแบบและสร้างชุดกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงโดยการประยุกต์ใช้

คอยล์รถจักรยานยนต์ และการทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้ง ชุดดิสชาร์จไฟฟ้าสำหรับห้องอบแห้งระบบปิดประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดทำจากโลหะอะลูมิเนียมหนา 0.20 เซนติเมตร กว้าง×ยาว เท่ากับ 30.00×45.00 ตารางเซนติเมตร ถูกเจาะรูและบรรจุเข็มโลหะปลายแหลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 เซนติเมตร ยาว 3.20 เซนติเมตร ห่างกัน 1.00 เซนติเมตร สม่่าเสมอทั่วทั้งแผ่นแล้วนำไปวางไว้บนขาตั้งไม้ที่สามารถเลื่อนระยะห่างขึ้นลงได้ครั้งละ 1.00 เซนติเมตร ถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง และปิดล้อมด้วยกล่องฉนวนจากแผ่นไม้อัดสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 45.00×63.50×51.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 ส่วนชุดกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงได้จากการประยุกต์ใช้คอยล์รถจักรยานยนต์ขนาด 12 โวลต์ ต่อเป็นวงจรไฟฟ้าเข้ากับตัวต้านทาน (R_1 - R_{14}) ตัวเก็บประจุ (C_1 - C_4) ไดโอด (D_1 - D_2) ไตรแอก (TR_1) ทรานซิสเตอร์ (T_1) และเอสซีอาร์ (SCR₁) ดังภาพที่ 2 ที่สามารถรองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 22,000 \pm 100 โวลต์



ภาพที่ 1 การประกอบขั้วอิเล็กโทรดสำหรับการดิสชาร์จไฟฟ้าแรงดันสูงระบบปิด



ภาพที่ 2 วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงจากคอยล์ถักยานยนต์

ตารางที่ 1 แบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบาง (2)

ชื่อสมการ	รูปแบบสมการ
Newton	$MR = (M_r - M_{eq}) / (M_0 - M_{eq}) = \exp(-kt)$
Page	$MR = (M_r - M_{eq}) / (M_0 - M_{eq}) = \exp(-kt^n)$
Modified Page	$MR = (M_r - M_{eq}) / (M_0 - M_{eq}) = \exp(-(kt)^n)$
Henderson & Pabis	$MR = (M_r - M_{eq}) / (M_0 - M_{eq}) = a \exp(-kt)$

ในขณะที่การทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชั้นบางระบบปิดต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ทำได้โดยอบแห้งเมล็ดมะพร้าวความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 60% มาตรฐานเปียก ซึ่งผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงเท่ากับ 12,000 โวลต์ เป็นเวลา 10 นาที และไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.67 เมตรต่อวินาที แล้วนำข้อมูลการอบแห้งมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับจลนพลศาสตร์การอบแห้งและหาแบบจำลองการอบแห้งแบบชั้นบาง (Thin-layer drying kinetic) ที่เหมาะสม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอ็มพิริคัล

(Empirical equation) ที่เป็นมาตรฐาน 4 สมการ ดังตารางที่ 1

การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งได้พิจารณาค่าสถิติ 2 ค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, R^2) และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage of difference, PD) โดยแบบจำลองที่ให้ค่า R^2 สูงสุด และให้ค่า PD ต่ำสุด ถือเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งเมล็ดมะพร้าว (11-12) ซึ่งคำนวณได้ ดังนี้

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{pre} - MR_{exp})^2}{\sum_{i=1}^n (MR_{exp})^2 - (\sum_{i=1}^n (MR_{exp})^2 / (N - Z))} \quad (1)$$

$$PD = \left| \frac{MR_{exp} - MR_{pre}}{(MR_{exp} + MR_{pre}) / 2} \right| \times 100 \quad (2)$$

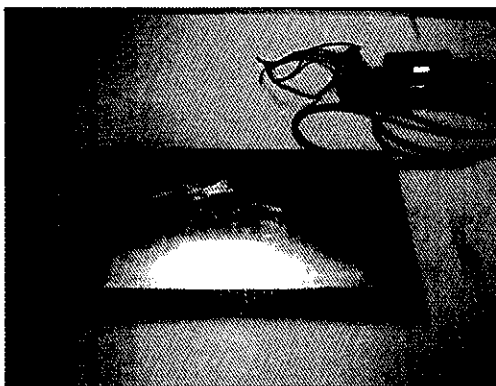
เมื่อ Z คือ จำนวนค่าคงที่ในสมการ, N คือ จำนวนข้อมูลการทดลอง, pre คือ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง, exp คือ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง, n คือ จำนวนข้อมูลที่วิเคราะห์, i คือ จำนวนเต็มบวก และ k , n และ a คือ ค่าคงที่ของสมการ

ผล

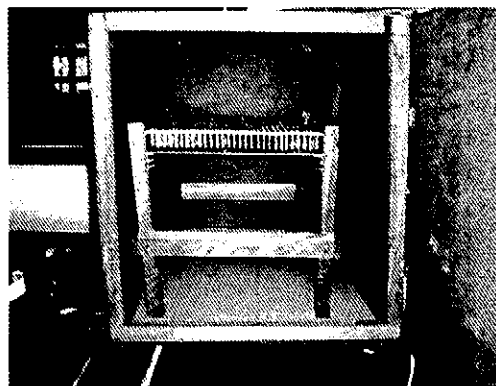
การวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์การทดลองต้นแบบ โดยแยกนำเสนอออกเป็นผลการสร้างชุดดิสชาร์จไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับห้องอบแห้งระบบปิด ผลการสร้างชุดกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงที่ประยุกต์ใช้คอยล์รถจักรยานยนต์ และผลการทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบชั้นบางต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ดังนี้

การสร้างชุดดิสชาร์จไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับห้องอบแห้งชั้นบางระบบปิดต้นแบบนั้นได้ใช้แผ่นโลหะอะลูมิเนียมหนา 0.20 เซนติเมตร กว้างxยาวเท่ากับ 30.00x45.00 ตารางเซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น เป็นขั้วอิเล็กโทรด โดยแผ่นที่หนึ่งได้เจาะรูขนาด 0.25 เซนติเมตร มีระยะห่างโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร ทั้งหมด 1,276 รู บรรจุเข็มโลหะปลายแหลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

กลาง 0.25 เซนติเมตร ยาว 3.20 เซนติเมตร และปรับปลายของเข็มโลหะปลายแหลมที่ยื่นออกให้อยู่ในแนวระดับเดียวกันทั้งหมด จากนั้นนำมาประกอบเข้ากับขาตั้งที่ทำจากไม้ฉากขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 2.54x2.54x2.54 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสามารถเลื่อนระยะขึ้นลงได้ครั้งละ 1.00 เซนติเมตร โดยกำหนดให้แผ่นอะลูมิเนียมที่ได้บรรจุเข็มโลหะปลายแหลมอยู่ด้านบนทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด (Cathode) ส่วนแผ่นอะลูมิเนียมที่ไม่ได้บรรจุเข็มโลหะจะอยู่ด้านล่างทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด (Anode) ดังภาพที่ 3 (ก) แล้วนำไปวางไว้ในกล่องสี่เหลี่ยมที่ทำจากแผ่นไม้อัดขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 45.00x63.50x51.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ทำจากไม้อัดให้เป็นฉนวนไฟฟ้าเพื่อป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าขณะทดลอง จากนั้นนำไปต่อเข้ากับวงจรชุดกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง โดยห้องอบแห้งที่สร้างขึ้นมีพื้นที่ขนาด 30.00x45.00 ตารางเซนติเมตร ดังภาพที่ 3 (ข) สามารถอบแห้งวัสดุแบบชั้นบางได้ที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองเท่ากับ 1.00, 2.00 และ 3.00 เซนติเมตร ตามลำดับ

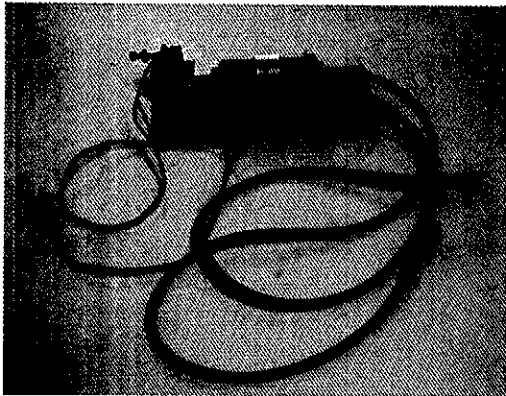


(ก)

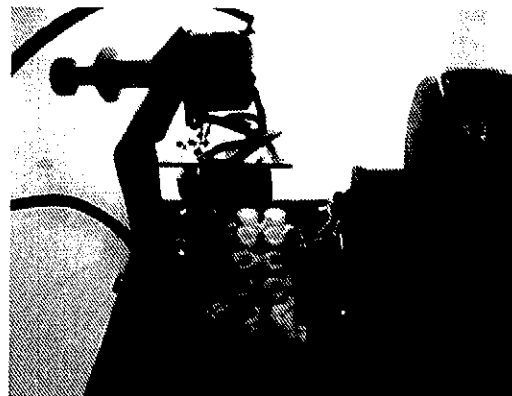


(ข)

ภาพที่ 3 (ก) ขั้วอิเล็กโทรดสำหรับการดิสชาร์จ และ (ข) ห้องอบแห้งชั้นบางระบบปิดต้นแบบ



(ก)



(ข)

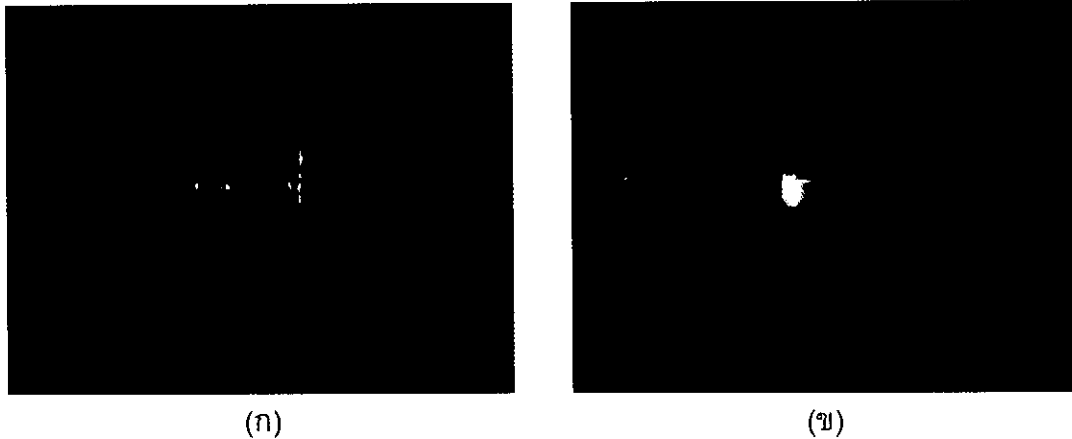
ภาพที่ 4 ชุดกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงจากคอยล์รถจักรยานยนต์

ในขณะที่ชุดกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงได้สร้างและประกอบขึ้นโดยใช้แผ่นไม้อัดความหนา 1.00 เซนติเมตร เป็นฐานยึดคอยล์รถจักรยานยนต์ อุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน และมีปุ่มปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่สามารถปรับค่าได้ 11 ค่า ได้แก่ $2,000 \pm 5\%$, $4,000 \pm 5\%$, $6,000 \pm 5\%$, $8,000 \pm 5\%$, $10,000 \pm 5\%$, $12,000 \pm 5\%$, $14,000 \pm 5\%$, $16,000 \pm 5\%$, $18,000 \pm 5\%$, $20,000 \pm 5\%$ และ $22,000 \pm 5\%$ โวลต์ ดังภาพที่ 4 (ก) และ (ข) วงจรที่ได้ถูกต่อเข้ากับมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า (WATT-HOUR METER) ขนาด 220 โวลต์/5(10) แอมแปร์/50 เฮิร์ตซ์ และสะพานไฟเพื่อป้องกันไฟฟาลัดวงจรขณะอุปกรณ์ทำงาน รวมทั้งได้ติดตั้งลมแบบแกนนอนขนาด 7 ใบบัดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 8.00 เซนติเมตร แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ เพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากคอยล์รถจักรยานยนต์ขณะทำการทดลอง

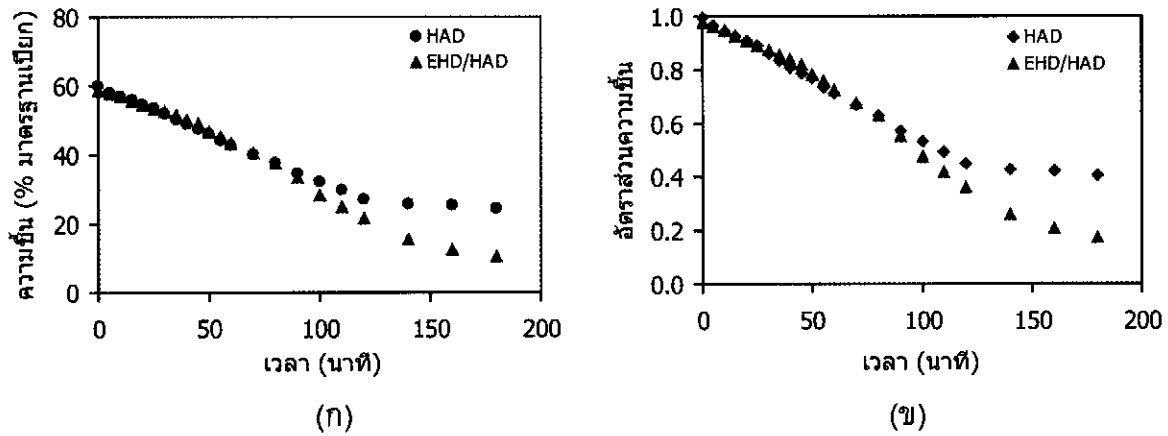
วิจารณ์

จากการทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งต้นแบบที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้ โดยผ่านแรงเคลื่อนไฟฟ้าแรงดันสูงเข้าสู่วงจรดีสชาร์จ พบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นในช่วง 10,000–22,000 โวลต์ จะส่งผลให้เกิดเสียง

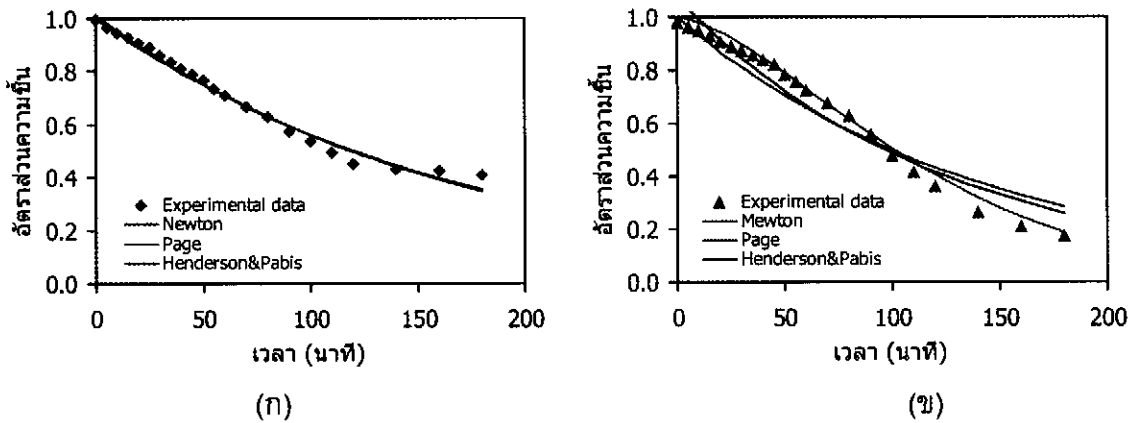
คล้ายไฟปะทุและมีประกายไฟสว่างขึ้นระหว่างดีสชาร์จแก๊พเนื่องจากที่ปลายแหลม (Point action) ของเข็มโลหะมีประจุไฟฟ้าบวกรวมกันอยู่เป็นจำนวนมากตามความเข้มของแรงดันไฟฟ้าทำให้อิออนบวกในอากาศถูกผลักโดยประจุไฟฟ้าบวกที่ปลายแหลมส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ไปชนโมเลกุลของอากาศทำให้อิเล็กตรอนกระเด็นออกไปมีผลให้เกิดลมไฟฟ้าของโมเลกุลอากาศจึงสังเกตเห็นประกายไฟสว่างขึ้นตลอดเวลา ดังภาพที่ 8 (ก) และ (ข) จึงพอที่จะสรุปได้ว่าเมื่อระยะห่างของดีสชาร์จแก๊พเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร ประกายไฟที่เกิดขึ้นจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนกว่าที่ระยะห่างของดีสชาร์จแก๊พเท่ากับ 2.00 และ 3.00 เซนติเมตร ตาลำดับ เนื่องจากการเพิ่มระยะห่างของดีสชาร์จแก๊พให้มากขึ้นจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของอิออนที่ไปชนโมเลกุลของอากาศเกิดได้น้อยลงทำให้อิเล็กตรอนกระเด็นออกไปได้ยากขึ้น ซึ่งคล้ายกับการทดลองของ Isobe และคณะ (13) Lai และคณะ (14) Chen และ Barthakur (15) และ Li และคณะ (16) อย่างไรก็ตามการดีสชาร์จที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเจนเป็นบางจุดโดยเฉพาะตรงบริเวณเข็มโลหะปลายแหลมที่ยาวกว่าบริเวณอื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเข็มโลหะที่บรรจุอยู่บนแผ่นโลหะอะลูมิเนียมนั้นไม่มีความสม่ำเสมอเป็นแนวเดียวกัน



ภาพที่ 5 การเกิดดิจนซ์ชาตร์เมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงเข้าสู่วงจร



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลง (ก) ความชื้น และ (ข) อัตราส่วนความชื้นที่เวลาต่าง ๆ



ภาพที่ 7 การทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งเกล็ดมะพร้าว (ก) ที่ไม่ผ่านการกระตุ้น และ (ข) ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าแรงดันสูง ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page, Newton และ Henderson & Pabis

ทั้งหมด ส่วนการทดสอบจลนพลศาสตร์การอบแห้งที่ใช้เกล็ดมะพร้าวเป็นตัวอย่งทดสอบ แล้วเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งเกล็ดมะพร้าวที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยชุดกำเนิดสนามไฟฟ้าแรงดันสูงด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.67 เมตรต่อวินาที และที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันเท่ากับ 12,000 โวลต์ เป็นเวลา 10 นาที นั้น พบว่า เกล็ดมะพร้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงเป็นเวลา 10 นาที จะมีการลดลงของความชื้น (Moisture content, MC) ดังภาพที่ 6 (ก) และอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) ดังภาพที่ 6 (ข) สูงกว่าเนื้อมะพร้าวอบแห้งที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งตรงกับการทดลองของ Isobe และคณะ (13) Chen และคณะ (15) Li และคณะ (16) และ ผดุงศักดิ์ และคณะ (17)

เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear regression analysis) เพื่อหาค่าคงที่ของสมการ ดังตารางที่ 2 แล้วแทนกลับลงในสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 1 โดยการพิจารณาค่า R^2 และ PD จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งเกล็ดมะพร้าว จากการวิเคราะห์พบว่า แบบจำลองของ Page สามารถอธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเกล็ดมะพร้าวได้ดีที่สุดทั้งที่ผ่านการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าแรงดันสูงและไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันสูง ดังภาพที่ 7 (ก) และ (ข) โดยการอบแห้งเกล็ดมะพร้าวที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันสูงจะมีค่า R^2 และ PD เท่ากับ 0.99401 และ 1.14296 ตามลำดับ ในขณะที่การอบแห้งเกล็ดมะพร้าวที่ไม่ผ่านการกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแรงดันสูงจะมีค่า R^2 และ PD เท่ากับ 0.99313 และ 0.76400 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

และจากการวิจัยนี้พอที่จะเสนอแนะได้ว่า การเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงเข้ากับชุดดีสชาร์จต้องทำด้วยความระมัดระวัง ทำนองเดียวกับการทดลองอบแห้งต้องระวังอย่าให้ปลายเข็มโลหะสัมผัสกับตัวอย่างทดลอง เพราะจะทำให้ผลการทดลองมีความผิดพลาดและอาจเป็นอันตรายกับผู้ทดลองได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์สุนิตย์ โจนสุวรรณ อาจารย์เชิดตระกูล หอมจำปา และเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ สาขาวิชาฟิสิกส์ ที่อำนวยความสะดวกให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินบำรุงการศึกษา ประจำปี พ.ศ. 2551 คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

เอกสารอ้างอิง

1. สมชาติ โสภณภณฤทธิ์ : การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 338 หน้า, 2540.
2. Bala, B. K. : Drying and storage of cereal grains. Oxford & IBH Publishing. p.302, 1997.
3. Brooker, D. B., Bakker-Arkema, F. W. and Hall, C. W. : Drying cereal grains (3rd edition). Westport, Connecticut : The AVI publishing company, Inc. p.265, 1981.
4. รัชช พิรธิตม : เครื่องสร้างอากาศบริสุทธิ์. Hobby electronics. 26-29, 2539.

5. Barthakur, N. N. and Arnold, N. P. : Evaporation rate enhancement of water with air ions from a corona discharge. *Int. J. Biometeorol.* 39 : 29-33, 1995.
6. สุภวรรณ ภูริระวณิชย์กุล จุฑารัตน์ ทะสระ และ ยุทธนา ภูริระวณิชย์กุล : สมบัติเชิงฟิสิกส์ความร้อนและผลของศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อกระบวนการอบแห้งของข้าวเปลือก. *ว.สงขลานครินทร์ วทท.* 29(ฉบับพิเศษ 2) : 325-333, 2550.
7. Cao, W., Nishiyama, Y., Koide, S. and Lu, Z.H. : Drying enhancement of rough rice by an electric field. *Biosystems Engineering.* 87(4):445-451,2004.
8. Lebovka, N. I., Shynkaryk, N. V. and Vorobiev, E. : Pulsed electric field enhanced drying of potato tissue. *Journal of food Engineering.* 78 : 606-613, 2007.
9. การุณ เครือทองศรี : วงจรไฟฟ้าแรงสูง. *ชัยพฤกษ์ (วิทยาศาสตร์).* 26(29) : 38-39, 2522.
10. Masato, E. and Hirohiko, T. : Finite element analysis for discharge phenomenon. *IEEE Transactions on magnetics.* 30(5) : 2936-2939, 1994.
11. ทรงศิริ แต่สมบัติ : การพยากรณ์เชิงปริมาณ. *มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.* 487 หน้า, 2549.
12. Singh, B. and Gupta, A. K. : Mass Transfer Kinetics and Determination of Effective Diffusivity during Convective Dehydration of Pre-osmosed Carrot Cubes. *Journal of Food Engineering.* 79 : 459-470, 2007.
13. Isobe, S., Barthakur, N., Yoshino, T., Okushima, L. and Sase, S. : Electro hydrodynamic drying characteristics of agar gel. *Food Sci. Technol. Res.* 5(2) : 132-136, 1999.
14. Lai, F. C., Huang, M. and Wong, D. S. : EHD-Enhanced Water Evaporation. *Drying Technology.* 22(3) : 597-608, 2004.
15. Chen, Y.H., Barthakur, N.N. : Electrohydrodynamic (EHD) drying of potato slabs. *Journal of Food Engineering.* 23:107-119, 1994.
16. Li, F. D., Li, L. T., Sun, J.F. and Tatsumi, E. : Effect of electrohydrodynamic technique on drying process and appearance of okara cake. *Journal of food Engineering.* 77:275-280, 2006.
17. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช กริช เจียมจิโรจน์ และ สันติ หวังนิพนพานโต. การวิเคราะห์อย่างสมบูรณ์ของการถ่ายเทความร้อนและมวลในแพคเบตวัสดุพอรุนที่ไม่อิมตัวภายใต้สนามไฟฟ้า (EHD). การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา. 8 หน้า