

การศึกษาประสิทธิภาพของสนามไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ต่อการลดความชื้นมะคาเดเมียทั้งกะลา

A Study of the effects of DC and AC electric field on moisture content
reduction of macadamia nuts in shell

ชิดชนก มากจันทร์^{1*}, สุธิ ลิ้งเพิ่มพูน¹ และ จวีวรรณ บุญเรือง²
Chidchanok Markjan^{1*}, Sutee Leejongpermpoon¹ and Chaweewan Boonreung²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสนามไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับต่อการลดความชื้นมะคาเดเมียทั้งกะลาที่ความเข้มสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอตั้งแต่ 0-3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร สร้างโดยแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรง พิกัด 0-10 กิโลโวลต์ และแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสสลับ พิกัด 0-10 กิโลโวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยมีฉนวนกันการเบรกดาวนทำการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการลดความชื้นมะคาเดเมียทั้งกะลาต่อสนามไฟฟ้าทั้งสองชนิด กำหนดให้อัตราการไหลของอากาศคงที่ที่ 1 ลิตรต่อนาที ที่เวลา 20, 40 และ 60 นาที ผลของความชื้นมะคาเดเมียที่เปลี่ยนแปลงวัดได้จากเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.0001 กรัม $\pm$ 3 เปอร์เซนต์ ผลการทดลองพบว่า ที่ความเข้มสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอกระแสสลับ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 60 นาที สามารถลดความชื้นได้ดีที่สุดคือ 1.36 กรัม ซึ่งมากกว่าสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ ร้อยละ 14.28 ที่ความเข้มสนามไฟฟ้ากระแสสลับ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 20-40 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นต่อเวลาที่ต่ำที่สุดในการทดลองคือ ร้อยละ 36.52 ซึ่งมากกว่าสนามไฟฟ้ากระแสตรงร้อยละ 0.23 และที่เวลา 60 นาที อัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นต่อเวลาของค่าสนามไฟฟ้ากระแสตรงคือ ร้อยละ 20.37 และสนามไฟฟ้ากระแสสลับคือ ร้อยละ 20.51

คำสำคัญ: สนามไฟฟ้า มะคาเดเมีย ลดความชื้น

Abstract

The effects of DC and AC electric field on moisture content reduction of in shell macadamia nuts were studied in this research. The intensity of uniform electric field is between 0-3 kV/cm which generated from high voltage DC supply at rated 0-10 kV and AC supply at rated 0-10 kV with frequency 50 Hz. Dielectric barrier discharge electrode was used in the experiment for studying relationship of reducing moisture content of in shell macadamia nuts from both electric fields. The air flow rate was set at 1 L/min for 20, 40 and 60 minutes. The moisture

¹ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี 72130

¹ Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabumi, Suphanburi Campus, 72130

² คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา 13000

² Faculty of Agricultural Technology and Argo-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabumi, Huntra Campus, 13000

* Corresponding author. E-mail: chidchanok306@gmail.com

content of macadamia nuts was measured by weighing machine with accuracy of $0.0001 \text{ g} \pm 3\%$. The results showed that the intensity of uniform electric field at high AC voltage of 3 kV/cm with 60 minutes duration had the most effect on moisture content reduction of 1.36 g , which was more than using DC electric field by 14.28% . Moreover, with the electric field with AC voltage of 3 kV/cm and 20-40 minute duration, the best moisture content reduction rate was 36.52% , which was 0.23% more than using DC electric field. At the 60 minute duration, the moisture content reduction rate were 20.37% for DC electric field and 20.51% for AC electric field.

Keywords: electric field, macadamia, moisture content reduction.

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการปลูกมะคาเดเมียเพิ่มมากขึ้น จนทำให้การเพาะปลูกขยายออกไปเป็นวงกว้าง เนื่องจากมะคาเดเมียเป็นพืชอุตสาหกรรมที่ตลาดโลกมีความต้องการในปริมาณสูงและจากภาวะทางการตลาดของมะคาเดเมียนั้นที่มีความต้องการบริโภคสูงเกินกว่าปริมาณการผลิตมากในปี 2543 ความต้องการบริโภคมะคาเดเมียของตลาดโลกอยู่ราวๆ 8,000 ตัน แต่สามารถผลิตได้เพียง 6,806 ตัน โดยที่ผลผลิต 5,000 ตัน หรือร้อยละ 73.50 ของผลผลิตมะคาเดเมียทั้งหมดมาจากสหรัฐอเมริกา อันดับรองลงมาคือประเทศออสเตรเลียมีผลผลิตประมาณ 982 ตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 14.40 ของผลผลิตมะคาเดเมียในตลาดโลก (วินิต ชินสุวรรณ, และสุนทร โฉ่งปรางค์, 2539) ในปี 2551 ประเทศไทยได้มีการขยายมีพื้นที่เพาะปลูกมะคาเดเมียซึ่งให้ผลผลิตรวมเท่ากับ 6,075-6,525.50 ตัน (จำลอง ดาวเรือง, 2552) แต่ผลผลิตยังคงไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดโลกในปัจจุบันเนื่องจากปัญหาที่สำคัญ คือ มะคาเดเมียมีกระบวนการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ซับซ้อนกว่าพืชชนิดอื่น ซึ่งหนึ่งในกรรมวิธีการเตรียมมะคาเดเมียที่สำคัญนั้นคือกระบวนการลดความชื้นของเมล็ดมะคาเดเมีย ดังนั้นหากเกษตรกรที่ทำการเพาะปลูกไม่มีความรู้ความชำนาญในกระบวนการ

ผลิตมะคาเดเมีย รวมถึงการขาดแคลนอุปกรณ์ในกระบวนการเตรียมมะคาเดเมีย อาจส่งผลให้มะคาเดเมียที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำ จึงทำให้การส่งออกผลผลิตมะคาเดเมียของประเทศไทยยังไม่สามารถทัดเทียมกับการส่งออกผลผลิตจากต่างประเทศได้ (สมบัติ คงวิทยา, 2557)

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงได้มีการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาต่างๆ หลายวิธี เช่น เหมียวทอง สิงห์จามรงค์ และจำลอง ดาวเรือง (2548) รายงานว่าวิธีการผึ่งแดดและใช้วิธีการผึ่งในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะใช้ระยะเวลานานตั้งแต่ 1-8 สัปดาห์ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และปริมาณความชื้นในเมล็ดมะคาเดเมีย เพื่อให้ความชื้นภายในเมล็ดมะคาเดเมียลดลงเหลือประมาณ 3.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความชื้นปริมาณนี้ก่อให้เกิดความเสี่ยงของรสชาติ และยังไม่สามารถทำให้เนื้อในเมล็ดเกิดการหดตัวจนล่อนไม่ติดผนังกะลาได้ ส่งผลต่อกระบวนการกะเทาะกะลา อันเป็นขั้นตอนต่อไปหลังจากการอบแห้ง ทำให้เนื้อในมะคาเดเมียเกิดความเสียหายและมีราคาต่ำ (เหมียวทอง สิงห์จามรงค์, และจำลอง ดาวเรือง, 2548) วิธีที่สามคือ การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถนำเอาพลังงานมาใช้ได้อย่างมี

ประสิทธิภาพสูง ไม่ขึ้นกับสภาพอากาศภายนอก โดยจะให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานประมาณ 17 วัน แต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้ใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานเพียงอย่างเดียวจึงมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้น (ชาลีดา บรมพิชัยกุล, 2555) วิธีที่สําคัญการอบแห้งด้วยเครื่องแบบสลับทิศทางลมร้อน ซึ่งวิธีนี้จะใช้อุณหภูมิและเวลาการอบแห้งที่ 50-55 องศาเซลเซียส และ 48 ชั่วโมง ด้วยการเผาไหม้แก๊สหุงต้มร่วมกับการใช้พลังงานไฟฟ้าวิธีนี้จะก่อให้เกิดก๊าซเสียจากกระบวนการเผาไหม้ (ชัยวัฒน์ เผ่าสันตติพาณิชัย, สนองอมฤกษ์, ประพัฒน์ ทองจันทร์, และปรีชา ชมเชียงคำ, 2554) วิธีที่ทำการศึกษากการอบแห้งมะคาเดเมียทั้งกะลาที่มีโครงสร้างเป็นโดมเรือนกระจกโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยโครงสร้างหลังคาปกคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต ภายในโดมมีขนาดกว้าง 9 เมตร ยาว 12.40 เมตร สูง 3.45 เมตร ความชื้นเริ่มต้นมะคาเดเมียอยู่ในช่วงร้อยละ 16 มาตรฐานแห้งผลการศึกษาพบว่าความชื้นของมะคาเดเมียลดลงต่ำกว่าร้อยละ 3 มาตรฐานแห้ง ภายในระยะเวลา 5 วัน แต่วิธีนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศตามฤดูกาล (Phusampao, Nilnont, & Janjai, 2014) วิธีที่ทำการศึกษากการลดความชื้นของมะคาเดเมียด้วยความถี่วิทยุที่ 27.12 เมกะเฮิร์ตซ์ และอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นของมะคาเดเมียได้ โดยผลของความถี่ในย่านวิทยุ ร่วมกับลมร้อนจะใช้ระยะเวลาในการอบน้อยกว่าการใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยวิธีนี้ที่ความถี่วิทยุ (RF) ที่สูงเกินไปจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ลดลง (Wang et al., 2014)

นอกจากนี้แล้วยังมีการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าแรงสูงในกระบวนการอบแห้งกับผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น Cao, Nishiyama, Koide, & Lu (2004) รายงานว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งของข้าวเปลือกด้วยสนามไฟฟ้า ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์, ณัฐธิดา ดิษรัก และละมุล วิเศษ (2552) รายงานว่าการศึกษาศมบัติทางกายภาพของแครอทหลังการอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้า ประสิทธิภาพของสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ในการอบแห้งมันฝรั่ง (Lebovka, Shynkaryk, & Vorobiev, 2007) และการศึกษาการอบแห้งมะคาเดเมียทั้งกะลาด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูงร่วมกับลมร้อน (Jongjaipak, Wiriyaumpaiwong, & Laohavanich, 2014) เป็นต้น

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าเพื่อลดความชื้นในมะคาเดเมียทั้งกะลา และจากคุณสมบัติของสนามไฟฟ้าที่ไม่ก่อให้เกิดความร้อนในระบบ จึงไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าเปอร์ออกไซด์ในเมล็ดมะคาเดเมีย จึงเป็นที่มาของวิจัยนี้ในการศึกษาลักษณะของสนามไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับต่อผลของการลดความชื้นในมะคาเดเมียทั้งกะลา ผลการทดลองที่ได้จะนำไปพัฒนาเครื่องอบแห้งมะคาเดเมียในประเทศไทยเพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจในกระบวนการผลิตมะคาเดเมียและตอบสนองต่อนโยบายของประเทศไทย 4.0

วิธีการศึกษา

1. หลักการที่ใช้ในการออกแบบ

1.1 สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ (uniform electric field) (สำราญ สังข์สะอาด, 2547)

ความเข้มสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอจะขึ้นอยู่กับรูปทรงทางเลขาคณิตของอิเล็กโทรดและระยะห่างของช่องว่างอากาศ โดยสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เท่ากันทุกจุดในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรด สามารถคำนวณดังสมการที่ 1

$$E_{\max} = E = \frac{v}{d \times \eta^*} \quad (1)$$

1.2 ฉนวนชั้นกันสองชั้น (dielectric barrier discharge: DBD) (สำรวจ สังข์สะอาด, 2547)

การป้องกันการเกิดดิสชาร์จระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดด้วยการฉนวน (Figure 1) โดยค่าสนามไฟฟ้าและแรงดันที่กระจายในฉนวนทั้งสองชั้นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2) - (3)

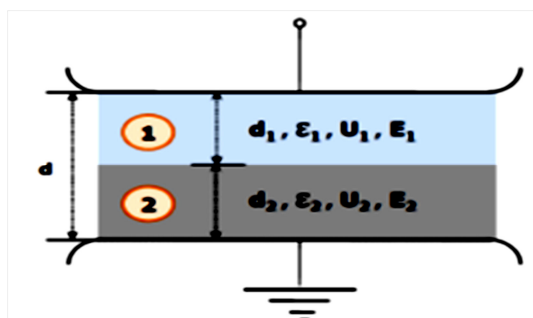


Figure 1 Electric field at dielectric barrier material.

$$E_1 = \frac{U}{d_1} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{\epsilon_1 d_2}{\epsilon_2 d_1}\right)} \quad (2)$$

$$E_2 = \frac{U}{d_1} \cdot \frac{\epsilon_1 / \epsilon_2}{\left(1 + \frac{\epsilon_1 d_2}{\epsilon_2 d_1}\right)} \quad (3)$$

1.3 พลังงานพันธะ

พลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้เพื่อสลายพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมภายในโมเลกุลโดยโมเลกุลของน้ำมีพลังงานพันธะเท่ากับ 498.70 กิโลจูลต่อโมล ดัง (Table 1)

Table 1 Energy bonding of molecules. (สุทธิ ลิ้มเพิ่มพูน, และศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล, 2553; Robinson, Bergougnou, Cairns, Castle, & Inculet, 1998)

bond	kJ/mol
H-O	428.00
H-OH	498.70
H-OCH ₃	436.80
H-OCH ₂ CH ₃	436.00
H-OC(CH ₃) ₃	439.00
H-OC ₆ H ₅	368.00
H-ONO	327.60

2. การออกแบบและการทดลอง

2.1 ไดอะแกรมการทดลอง

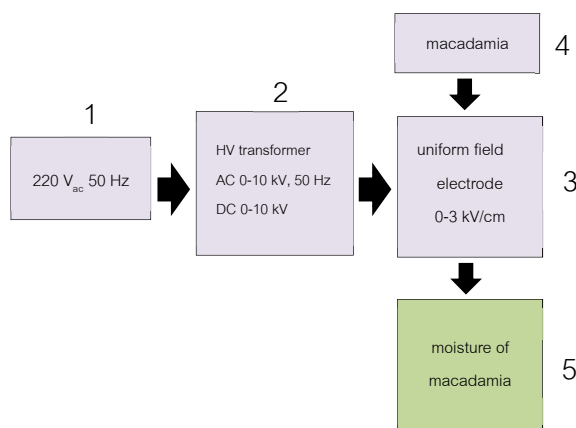


Figure 2 Diagram of experimental design.

จาก (Figure 2) ลำดับขั้นตอนโดยรวมของการทดลอง หมายเลข 1 คือแหล่งจ่ายแรงดันเมื่อจ่ายแรงดัน 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ให้กับหม้อแปลงแรงดันสูงกระแสตรงและกระแสสลับในหมายเลข 2 ซึ่งจะแปลงเป็นแรงดันสูงตั้งแต่ 0-10 กิโลโวลต์ให้กับชุดอิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอที่

ความเครียดสนามไฟฟ้าตั้งแต่ 0-3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ในหมายเลข 3 จากนั้นนำเมล็ดมะคาเดเมีย ในหมายเลขที่ 4 ผ่านสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอภายในชุดอิเล็กโทรด และทำการวัดผลความขึ้นเมล็ดมะคาเดเมียทั้งกะลาที่ผ่านสนามไฟฟ้าในหมายเลข 5

2.2 การกำหนดขนาดของชุดอิเล็กโทรด

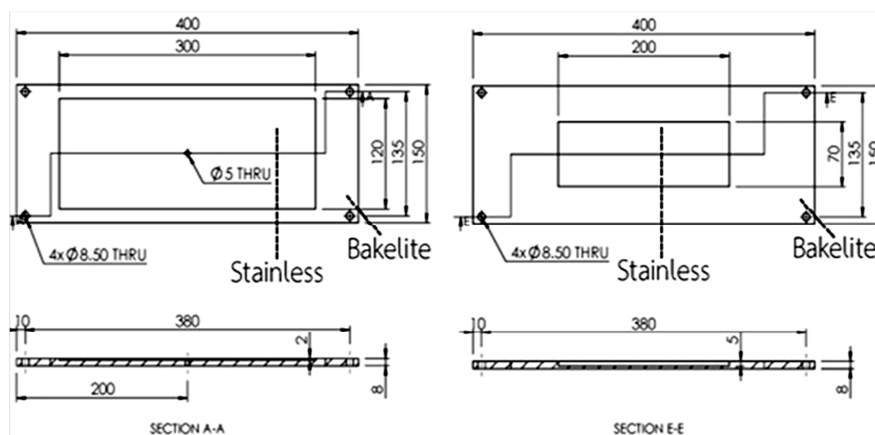


Figure 3 Electrode specification.

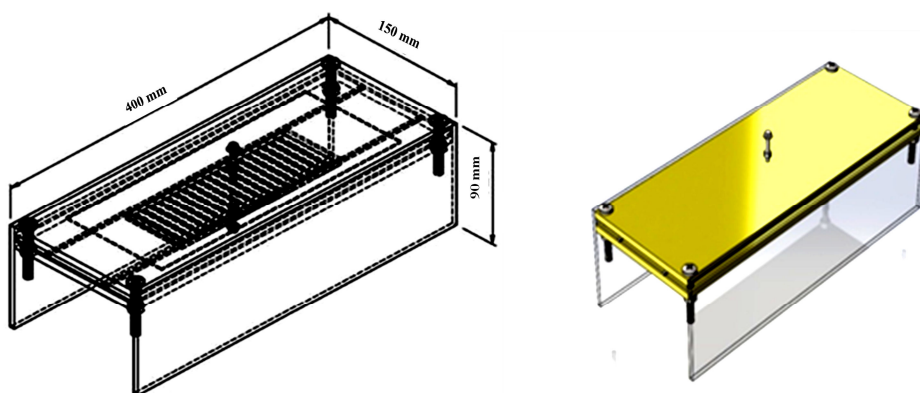


Figure 4 Electrode configuration.

จาก (Figure 3 และ Figure 4) เลือกใช้แบกกาไลท์ (bakelite) ซึ่งมีความกว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร ความหนา 90 มิลลิเมตร สามารถทน

ความร้อนได้สูงในระบบไฟฟ้าได้ถึง 400 องศาเซลเซียส โดยประกอบด้วยฝาด้านบนจะมีการเจาะช่องขนาดกว้าง 120 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร

เพื่อให้สามารถฝังแผ่นสแตนเลสได้ และฝาด้านล่างมีการเจาะร่องกว้าง 70 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ลึก 2 มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถฝังแผ่นสแตนเลสได้ระยะห่างช่องว่างอากาศปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-3 มิลลิเมตร สำหรับมะคาเดเมียขนาดต่างๆ ในการทดลอง

2.3 การวิเคราะห์ค่าแรงดันและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

Table 2 High voltage requirement at different electric field.

E (kV/cm)	voltage (V)
1	3066
2	6133
3	9200

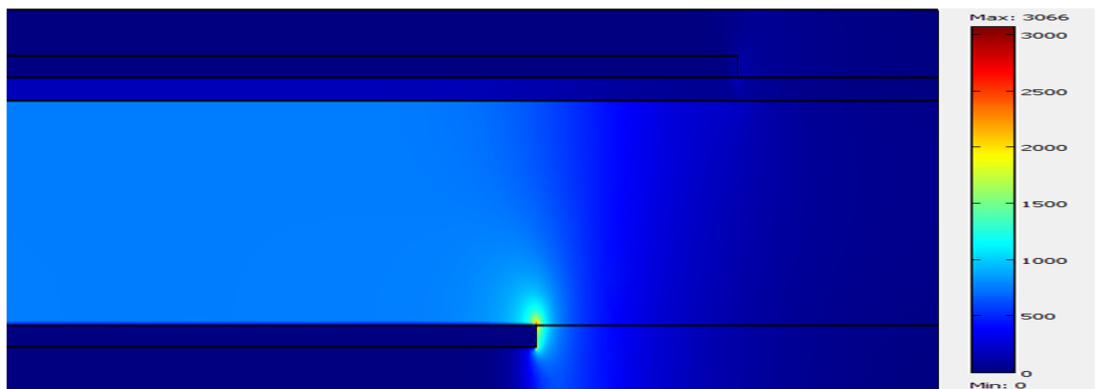


Figure 5 Electric field distribution by FEM software.

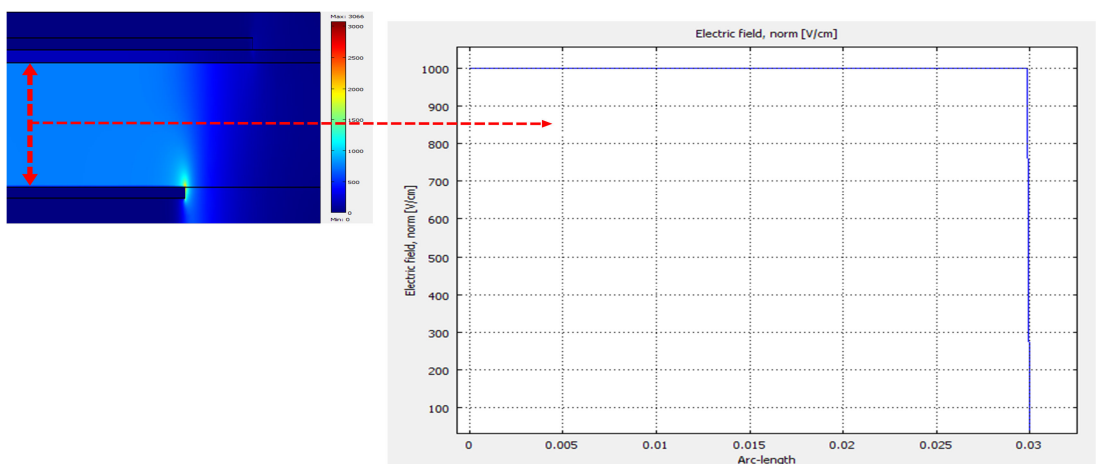


Figure 6 Electric field distribution via distance between gap.

จาก (Figure 5 และ Figure 6) แสดงการกระจายสนามไฟฟ้าภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์ โดยโปรแกรม FEM สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอถูกสร้างจากแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรงและกระแสสลับดัง (Table 2)

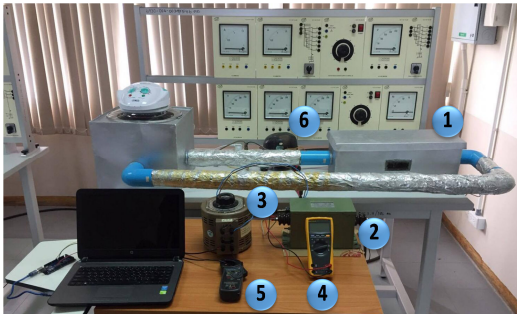


Figure 7 Experimental setup.

จาก (Figure 7) แสดงอุปกรณ์ของชุดทดสอบสนามไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับต่อการลดความชื้นมะคาเดเมียทั้งกะลา ประกอบด้วยหมายเลข 1 คือ ชุดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้า หมายเลข 2 คือ ตำแหน่งของการติดตั้งหม้อแปลงแรงดันสูงกระแสตรงและกระแสสลับพิกัด 0-10 กิโลโวลต์ หมายเลข 3 คือ หม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้า หมายเลข 4 คือ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ หมายเลข 5 คือ ดิจิตอลแอมป์มิเตอร์ และหมายเลข 6 คือ คอนเดนเซอร์ทำหน้าที่กั้นความชื้นออกจากระบบ

ผลการศึกษา

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสนามไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับต่อการลดความชื้นมะคาเดเมียทั้งกะลา โดยค่าสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองคือ 1, 2 และ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตรที่เวลา 20, 40 และ 60 นาที พร้อมทั้งวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อเวลาและอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อสนามไฟฟ้าที่อัตราการไหลอากาศ 1 ลิตรต่อนาที ดัง (Table 3 และ Table 4)

ผลของความชื้นในเมล็ดมะคาเดเมียทั้งกะลาต่อความเครียดสนามไฟฟ้าและเวลา จากทั้งหมด 90 ตัวอย่าง โดยน้ำหนักตั้งต้นมะคาเดเมียในการทดลองคือ 100 กรัม วัดผลที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.0001 กรัม $\pm$ 3 เปอร์เซ็นต์ ดัง (Figure 8)



Figure 8 Sample of macadamia in this experiment.

Table 3 Relationship between moisture content of macadamia in different DC electric field at different time duration.

E (kV/cm)	time (min)		
	20	40	60
1	0.43%	0.59%	0.79%
2	0.51%	0.72%	0.97%
3	0.61%	0.87%	1.19%

Table 4 Relationship between moisture content of macadamia in different AC electric field at different time duration.

E (kV/cm)	time (min)		
	20	40	60
1	0.49%	0.67%	0.91%
2	0.57%	0.81%	1.11%
3	0.68%	0.99%	1.36%

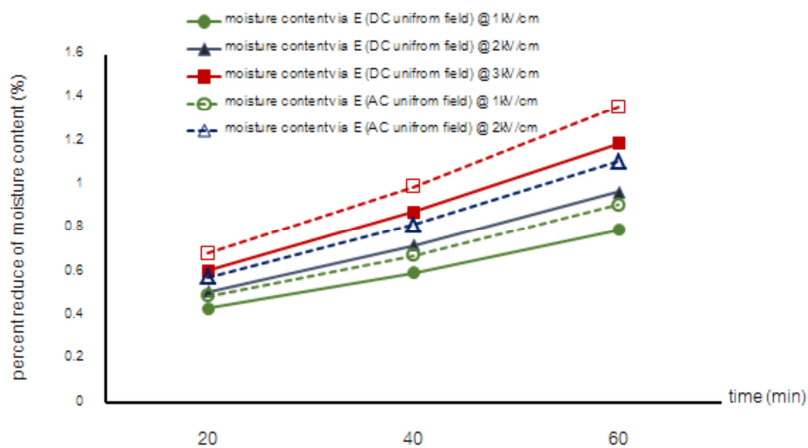


Figure 9 Relationship between moisture content percentage of macadamia in DC and AC electric field at different time duration.

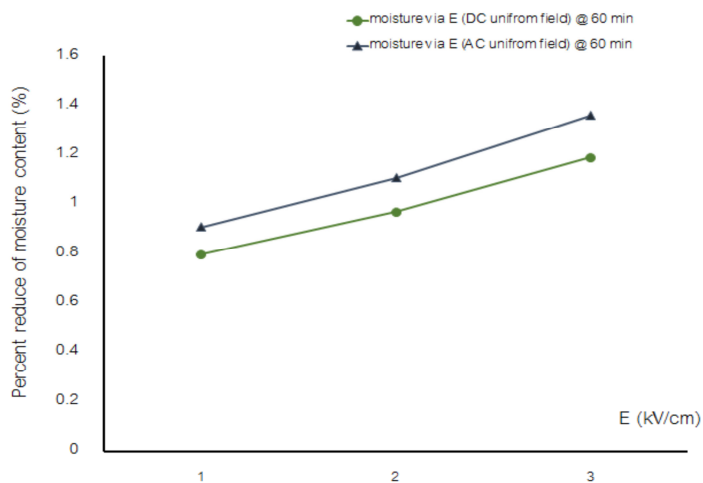


Figure 10 Relationship between moisture content percentage of macadamia in different electric field at 60 minute duration.

Table 5 Moisture content reduction rate at different time duration.

time (min)	DC		AC	
	20-40	40-60	20-40	40-60
E (kV/cm)				
1 kV/cm	31.27%	28.24%	31.45%	29.25%
2 kV/cm	34.03%	29.31%	34.43%	30.14%
3 kV/cm	36.29%	30.06%	36.52%	31.09%

Table 6 Moisture content reduction rate at different electric field.

E (kV/cm)	1-2	2-3
DC	19.70%	20.37%
AC	19.64%	20.51%

จาก (Figure 9) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของมะคาเดเมียทั้งกะลา กับค่าสนามไฟฟ้าแบบสม่าเสมอกระแสดตรงและกระแสสลับ ต่อเวลาพบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณความชื้นในเมล็ดมะคาเดเมียลดลง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันของทุกๆ ค่าสนามไฟฟ้า โดยน้ำหนักมะคาเดเมียตั้งต้นในการทดลองคือ 100 กรัม และทำการวัดผลของน้ำหนักเฉลี่ยรวมของมะคาเดเมียหลังจากผ่านสนามไฟฟ้า จากผลการทดลองพบว่าที่สนามไฟฟ้าแบบสม่าเสมอกระแสดสลับ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร สามารถลดปริมาณความชื้นในมะคาเดเมียได้มากกว่า สนามไฟฟ้าแบบสม่าเสมอกระแสดตรง เท่ากับร้อยละ 14.28 ที่เวลา 60 นาที

จาก (Table 5) ผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมะคาเดเมียต่อเวลาพบว่าที่ค่าสนามไฟฟ้าแบบสม่าเสมอกระแสดสลับ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ช่วงเวลา 20-40 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมะคาเดเมียมากที่สุดคือ

ร้อยละ 36.52 ซึ่งมีค่ามากกว่าสนามไฟฟ้าแบบสม่าเสมอกระแสดตรงที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตรอยู่ร้อยละ 0.23 และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมะคาเดเมียจะเริ่มลดลงที่ระยะเวลา 40-60 นาที โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นมะคาเดเมียเท่ากับร้อยละ 31.09

จาก (Figure 10) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของมะคาเดเมียทั้งกะลาต่อค่าสนามไฟฟ้าแบบสม่าเสมอกระแสดตรงและกระแสสลับ ที่เวลา 60 นาที พบว่าสนามไฟฟ้าแบบสม่าเสมอกระแสดตรงและกระแสสลับ เมื่อทำการเพิ่มความเข้มสนามไฟฟ้า ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะคาเดเมียมีค่ามากที่สุดคือ ร้อยละ 20.51 ดัง (Table 6)

อภิปรายผล

ผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมะคาเดเมียต่อเวลาพบว่า ที่ค่าสนามไฟฟ้าแบบสม่าเสมอกระแสดสลับ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมะคาเดเมียมากกว่าที่ค่าสนามไฟฟ้าแบบสม่าเสมอกระแสดตรง 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร เนื่องจากเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกให้กับอิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์จนเกิดสนามไฟฟ้า โมเลกุลของความชื้นจะเคลื่อนที่ตามทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกหรือลบในแนวตั้งฉากตาม

หลักการพื้นฐานของทฤษฎีสนามไฟฟ้า ในกรณีสนามไฟฟ้าที่สร้างจากแรงดันสูงกระแสตรงประสิทธิภาพในการลดความชื้นที่น้อยกว่าแรงดันสูงกระแสสลับเนื่องจากโมเลกุลความชื้นที่เคลื่อนที่ตามทิศทางสนามไฟฟ้าในทิศทางเดียวทำให้ความชื้นที่บริเวณส่วนล่างของเมล็ดมะคาเดเมียตำแหน่งสัมผัสกับอิเล็กโทรดกราวนด์ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งต่างจากส่วนของแรงดันสูงกระแสสลับที่มีการกลับขั้วของสนามไฟฟ้าทำให้โมเลกุลของความชื้นสามารถเคลื่อนที่ออกจากเมล็ดมะคาเดเมียได้ทั่วถึงกว่าทั้งสองด้านเช่นเดียวกับหลักการสลับทิศทางลมร้อนในการอบแห้ง

สรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสนามไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับต่อการลดความชื้นมะคาเดเมียทั้งกะลาพบว่า สนามไฟฟ้าทั้งสองลักษณะมีผลต่อการลดความชื้นของมะคาเดเมียทั้งกะลา โดยเมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาและให้สนามไฟฟ้ามีค่าคงที่พบว่า ความชื้นในมะคาเดเมียทั้งกะลาจะลดลงโดยค่าสนามไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพในการลดความชื้นมะคาเดเมียทั้งกะลาที่ดีที่สุดในการทดลองนี้ คือ สนามไฟฟ้าแบบสม้าเสมอกระแสสลับที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร สามารถลดความชื้นมะคาเดเมียที่ดีที่สุดและมีประสิทธิภาพดีกว่าสนามไฟฟ้าแบบสม้าเสมอกระแสตรงอยู่ร้อยละ 14.28 และผลของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมะคาเดเมียต่อเวลาพบว่าค่าสนามไฟฟ้าแบบสม้าเสมอกระแสสลับ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ช่วงเวลา 20-40 นาที มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมะคาเดเมีย

มากที่สุดคือร้อยละ 0.52 ซึ่งมีค่ามากกว่าสนามไฟฟ้าแบบสม้าเสมอกระแสตรงที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตรอยู่ร้อยละ 0.23 ที่เวลาเดียวกัน 60 นาที สนามไฟฟ้าแบบสม้าเสมอกระแสสลับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในมะคาเดเมียทั้งกะลามากที่สุดคือร้อยละ 20.51 ส่วนสนามไฟฟ้าแบบสม้าเสมอกระแสตรงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในมะคาเดเมียทั้งกะลาร้อยละ 20.37 จึงสรุปได้ว่าเทคนิคสนามไฟฟ้านั้นสามารถลดความชื้นของมะคาเดเมียทั้งกะลาได้ และสนามไฟฟ้าแบบสม้าเสมอกระแสสลับมีประสิทธิภาพในการลดความชื้นมากกว่าสนามไฟฟ้าสม้าเสมอกระแสตรงผลที่ได้สามารถนำไปพัฒนาเครื่องลดความชื้นมะคาเดเมียทั้งกะลาร่วมกับลมร้อนในอนาคตต่อไป

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรีและภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ห้องปฏิบัติการวิจัยวัสดุวิศวกรรมไฟฟ้า (ECC 306) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบคุณสภาวิจัยแห่งชาติในการให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จำลอง ดาวเรือง. (2552). *ด้วยน้ำพระทัยแด่งานวิจัยมะคาเดเมีย*.
 เชียงใหม่: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1
 ศูนย์เกษตรหลวงเชียงใหม่.
 ชัยวัฒน์ เฝ้าสันตติพานิชย์, สนอง อมฤกษ์, ประพัฒน์ ทองจันทร์,
 และปรีชา ชมเชียงคำ. (2554). *ศึกษาการอบแห้ง*

- มะคาเดเมียด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 42(1), 563-566.
- ชาลีดา บรรณพิชัยชาติกุล. (2555). เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน: การนำมาใช้เพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, 35(2), 269-283.
- ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์, ณัฐอาภา ดิษฐ์รัก, และละมุล วิเศษ. (2552). การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแครอทอบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับสนามไฟฟ้า. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 40(3), 473-476.
- วินิต ชินสุวรรณ, และ สุเนตร ไม้ปรานี. (2539). การออกแบบและพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดมะคาเดเมีย แบบใช้แรงงานคน. *วารสารวิจัย มช*, 1(2), 1-10.
- ลำรวย สังข์สะอาด. (2547). *วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุธี ลีแจ้งเพิ่มพูน, และศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล. (2553). การศึกษาผลของสนามไฟฟ้าในการลดก๊าซมลพิษจากไอเสียรถยนต์. ใน *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33* (น. 305-308). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมบัติ คงวิทยา. (2557). มะคาเดเมีย. *BLPD newsletter*, 6(64), 5.
- เหรียญทอง สิงห์จามรงค์, และจำลอง ดาวเรือง. (2548). *ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวมะคาเดเมีย*. ปทุมธานี: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- Cao, W., Nishiyama, Y., Koide, S., & Lu, Z. (2004). Drying enhancement of rough rice by an electric field. *Biosystem Engineering*, 87(4), 445-451.
- Jongjaipak, T., Wiriyaupaiwong, S., & Laohavanich, J. (2014). Electric field enhancement of macadamia drying. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 12(2), 114-117.
- Phusampao, C., Nilnont, W., & Janjai, S. (2014). Performance of a greenhouse solar dryer for drying macadamia nuts. In *International Conference and Utility Exhibition 2014 on Green Energy for Sustainable Development* (pp. 44). Pattaya: Asian Institute of Technology.
- Lebovka, N. I., L., Shynkaryk, N. V., & Vorobiev, E. (2007). Pulsed electric field enhanced drying of potato tissue. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 606-613.
- Robinson, J. A., Bergougnou, M. A., Cairns, W. L., Castle, G. S. P., & Inculet, I. I. (1998). Breakdown of air over a water surface stressed by a perpendicular alternating electric field. In *IEEE Industry Applications Conference, Thirty-Third IAS Annual Meeting* (pp. 1820-1827). St. Louis, USA: IEEE.
- Wang, Y., Zhang, Li., Johnson, J., Gao, M., Tang, J., Powers, J. R., & Wang, S. (2014). Developing hot air-assisted radio frequency drying for in-shell macadamia nuts. *Food Bioprocess Technol*, 7(1), 278-288.