

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์หัวทอดด้วยเทคโนโลยี สนามไฟฟ้า

ชิดชนก มากจันทร์*

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
450 ถนนสุพรรณบุรี-ชัยนาท ตำบลย่านยาว อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี 72130

รับบทความ 13 มิถุนายน 2562 แก้ไขบทความ 23 เมษายน 2563 ตอรับบทความ 30 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสนามไฟฟ้าร่วมกับกระบวนการทอดในผลิตภัณฑ์หัวจันทอดเพื่อลดปริมาณการดูดซับน้ำมัน ซึ่งสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองมีค่า 1-3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร สร้างโดยใช้แรงดันสูงกระแสตรง 1,066 – 3,200 โวลต์ ที่จ่ายให้กับอิเล็กโทรดแบบสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอที่มีฉนวนกันการเบรกดาวน ทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของความขึ้นต่อการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์หัวจันทอดเนื่องจากความขึ้นมีผลต่อการดูดซับน้ำมันโดยตรง จากผลการทดลองพบว่า ค่าสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อการลดความขึ้นหัวจันทอดที่ดีที่สุดคือ สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอที่สร้างจากแรงดันสูงกระแสตรง 3,200 โวลต์ ที่ค่าสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ค่าเฉลี่ยผลต่างความขึ้นที่ 0.6 กรัม จึงเลือกใช้สนามไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่สม่ำเสมอที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ในการทดลองร่วมกับกระบวนการทอดในผลิตภัณฑ์หัวจันทอด เพื่อลดการดูดซับน้ำมัน โดยทำการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าสามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ดีที่สุดร้อยละ 17.93 เมื่อเปรียบเทียบกับหัวจันทอดที่ไม่ผ่านสนามไฟฟ้า

คำสำคัญ : สนามไฟฟ้า; การดูดซับน้ำมัน; หัว; การทอด

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +666 4936 6398, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: chidchanok306@gmail.com

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Reduction of Oil Absorption in Chinese Water Chestnut Fry Product with Electric Field Technology

Chidchanok Markjan*

Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabumi
450 Suphanburi-Chainart Road, Yan Yao Sub-district, Sam Chuk District, Suphanburi Province 72130

Received 13 June 2019; Revised 23 April 2020; Accepted 30 April 2020

Abstract

This research is studying of an electric field combine with a frying process in a Chinese water chestnut product for reducing oil absorb. An electric field that is used in an experiment will have a stress from 1-3 kV/cm. This will be generated by using a direct current high Voltage from 1,066 to 3,200 V. which is distributed to an electrode in an uniform and non-uniform of an electric field. This will have a dielectric barrier discharge. There is an analysis for finding a relationship of a moisture on absorbing oil of a Chinese water chestnut fried product due to a moisture has an effect on absorbing oil directly. From an experimental result, this is found that the best electric field stress which will have an effect on reducing a moisture of a Chinese water chestnut is an non-uniform electric field form that is created from a direct current high voltage at 3,200 V. and this will have an electric field stress at 3 kV/cm. This will have an average of a difference of a moisture at 0.6 g. This will select to use a direct current non-uniform electric field at 3 kV/cm. In an experiment combine with a fried process in a Chinese water chestnuts fried product, this is done for reducing of absorbing oil. By this will fry at the temperature of 180°C for 5 minutes. This is found that this can reduce an absorbing of oil best at 17.93% when this has compared to a Chinese water chestnuts fried that hasn't passed an electric field.

Keywords : Electric Field; Oil Absorb; Chinese Water Chestnut; Frying

* Corresponding Author. Tel.: +66 6 4936 6398, E-mail Address: chidchanok306@gmail.com

1. บทนำ

แห้วจีน (Chinese Water Chestnut) เป็นแห้วที่นิยมปลูกและรับประทานมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากมีหัวขนาดใหญ่ สีขาว และมีรสชาติหวาน สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย แห้วจีนจึงถือเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากมีคุณสมบัติและมีคุณค่าทางด้านโภชนาการ โดยในปี 2561 พบว่าปริมาณการปลูกแห้วประมาณ 2,000-5,000 ไร่ ให้ผลผลิต 4.5-6 ตันต่อไร่ ราคารับซื้อคิดเป็นมูลค่าแห้วดิบต่อไร่ 42,666.67 บาท/ไร่/ฤดูกาล หรือคิดเป็นมูลค่าโดยรวมประมาณ 85 ล้านบาท [1] เนื่องจากแห้วจีนให้ผลผลิตในปริมาณที่สูง และมีสถานะสินค้าแห้วจีนล้นตลาดในช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม ของทุกปีจากสถานะสินค้าแห้วจีนล้นตลาดทำให้เกิดสถานะราคาตกต่ำ เพื่อเป็นการลดปัญหาจากสถานะล้นตลาดของแห้วจีน จึงได้มีการนำแห้วจีนมาแปรรูปในรูปแบบต่างๆ เพื่อเพิ่มมูลค่า [2] เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์แห้วทอดกรอบปรุงรสเพื่อศึกษาผลิตภัณฑ์แห้วทอดกรอบปรุงรสโดยการนำแห้วดิบมาหั่นด้วยเครื่องหั่น ในรูปแบบแนวขวางของผลซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทอดแห้ว คือ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะให้คุณภาพทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ ดีที่สุด [3] การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งพลาร์ และสตาร์ช จากแห้วจีน [4] การพัฒนาผลิตภัณฑ์แห้วทอดแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีการเตรียมแห้วก่อนทอด 3 วิธีคือ ต้ม นึ่ง และเชื่อม พบว่าค่าร้อยละความชื้น มีแนวโน้มลดลงถ้าเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น แต่การทอดที่สถานะสุญญากาศจะก่อให้เกิดการหดตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ [5] จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์แห้วจีนด้วยการแปรรูปได้หลากหลายรูปแบบรวมถึงกระบวนการอบแห้ง การต้ม การเชื่อม และรวมถึงการทอด เนื่องจากการแปรรูปอาหารด้านกระบวนการทอดยังคงได้รับความนิยมบริโภคกันอย่าง

แพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติที่ดี ถึงแม้ว่าการบริโภคอาหารทอดจะส่งผลเสียต่อสุขภาพ เนื่องจากการบริโภคน้ำมันในปริมาณที่มากขึ้นเกินความต้องการ และด้วยกระแสการใส่ใจสุขภาพของผู้บริโภคกันมากขึ้น จึงทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปมาใช้พัฒนากระบวนการผลิตเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภค เช่น การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการแปรรูปทุเรียนทอดชนิดเฟรนฟราย โดยทำการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่งผลให้การดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง อีกทั้งปริมาณการดูดซับน้ำมันยังขึ้นกับปริมาณความชื้นที่สูญเสียขณะทอด โดยปริมาณการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อสูญเสียความชื้นขณะทอดเพิ่มขึ้นแต่วิธีนี้ไม่ได้มีการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ก่อนทอด ซึ่งหากผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงอาจส่งผลให้ปริมาณการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์สูงตามไปด้วย [6] การศึกษาของสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ต่อโครงสร้างและคุณภาพในการทอดของมันเทศ ซึ่งวิธีนี้พบว่าสนามไฟฟ้าที่ 1.2 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร สามารถลดการดูดซับน้ำมันในเนื้อมันเทศได้ร้อยละ 20 และสนามไฟฟ้ายังสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ทอด และลดระยะเวลาในการทอดลงได้ [7] การศึกษาผลของสนามไฟฟ้าแบบพัลส์ต่อคุณสมบัติการดูดซับน้ำมันของมันฝรั่งทอด ซึ่งวิธีนี้พบว่าที่ค่าสนามไฟฟ้า 0.75 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร สามารถลดปริมาณการดูดซับน้ำมันได้มากที่สุด โดยผลของ ความชื้น และ น้ำหนักที่สูญเสียขณะทอดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และสนามไฟฟ้าสามารถลดความเป็นสื่อน้ำตาลของมันฝรั่งได้ [8] ผลของเวลาในการนึ่งต่อคุณภาพและการดูดซับน้ำมันของข้าวเกรียบจากแป้งมันสำปะหลัง แต่วิธีนี้กระบวนการนึ่งก่อให้เกิดเจลาตินเซชัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของแป้งและน้ำส่งผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ [9]

จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ในการศึกษาเทคนิคสนามไฟฟ้ากระแสตรงแบบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอร่วมกับกระบวนการทอดในแห้วจีน เพื่อลดปริมาณ

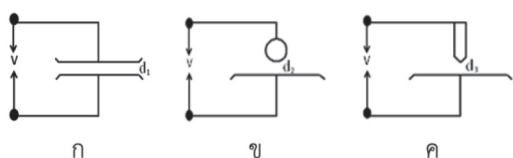
น้ำมันในหัวทอดและก่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกระบวนการแปรรูปหัวจิ้นมากที่สุด เพื่อพัฒนาและแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรรูปแบบใหม่เพื่อการส่งออก และเป็นการนำผลผลิตทางการเกษตรในท้องถิ่นไทยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจในท้องถิ่น และในเชิงอุตสาหกรรมอาหารอันนำไปสู่การยกระดับการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 หลักการที่ใช้ในการออกแบบ

2.1.1 สนามไฟฟ้า [10]

สนามไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ และสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย และสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง โดยลักษณะรูปแบบของสนามไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับรูปทรงทางเรขาคณิตของอิเล็กโทรด โดยมีตัวแปรที่ใช้บ่งบอกลักษณะสนามไฟฟ้าคือ ค่าองค์ประกอบสนามไฟฟ้า หรือค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (Field Utilization Factor) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ก) สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ

ข) สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย

ค) สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูง

2.1.2 สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ [10]

สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอจะถูกสร้างจากอิเล็กโทรดแบบ ระนาบ-ระนาบ โดยความเข้มของสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอทุก ๆ จุดในช่องระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งจะสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1)

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

โดยที่

E = ความเครียดสนามไฟฟ้าที่จุดใด ๆ ระหว่างอิเล็กโทรด (V/cm)

V = แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าระหว่างอิเล็กโทรด (V)

d = ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (cm)

η^* = แฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (Field Utilization Factor)

$E_{\max}$ = ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด (V/m)

2.1.3 พลังงานพันธะ (Bond Energy)

พลังงานที่ใช้เพื่อสลายพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมภายในโมเลกุล โดยโมเลกุลของน้ำมีพลังงานพันธะเท่ากับ 498.7 กิโลจูลต่อโมล

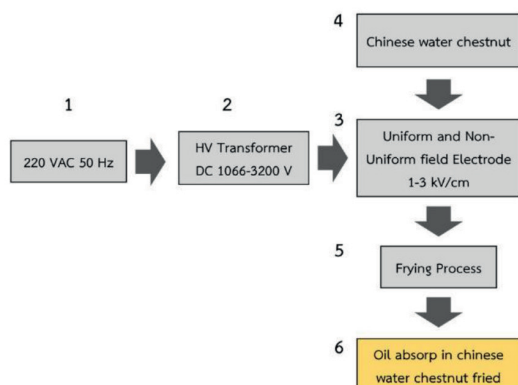
ตารางที่ 1 พลังงานพันธะของโมเลกุล [11], [12]

Bond	kJ/mol
H-O	428
H-OH	498.7
H-OCH ₂ CH ₃	436
H-OC ₆ H ₅	368
H-OCH ₃	436.8
H-OC(CH ₃) ₃	439
H-ONO	327.6

2.1 ขั้นตอนการวิจัย

2.1.1 ไตอะแกรมการทดลอง

รูปที่ 2 ลำดับขั้นตอนโดยรวมของการทดลอง หมายเลข 1 คือ แหล่งจ่ายแรงดันเมื่อจ่ายแรงดันกระแสสลับ 220 โวลต์, 50 เฮิร์ต ให้กับหม้อแปลงแรงดันสูงกระแสตรงในหมายเลข 2 ซึ่งจะแปลงเป็น

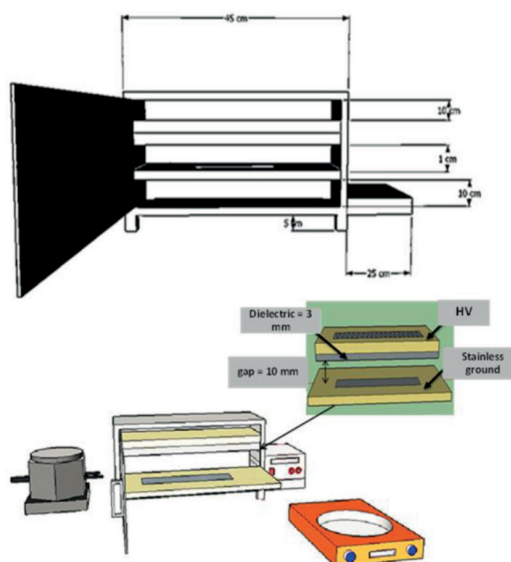


รูปที่ 2 ไดอะแกรมการทดลอง

แรงดันสูงตั้งแต่ 1,066-3,200 โวลต์ ให้กับชุดอิเล็กโทรดเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอและแบบไม่สม่ำเสมอที่ความเครียดสนามไฟฟ้าตั้งแต่ 1-3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ในหมายเลข 3 จากนั้นนำหัวจีน ในหมายเลขที่ 4 ผ่านสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอและแบบไม่สม่ำเสมอภายในชุดอิเล็กโทรด และนำมาผ่านกระบวนการทอดในหมายเลข 5 และทำการวัดผลของการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์แล้วทดสอบด้วยวิธีการทดสอบ AOAC (2016) ในหมายเลข 6

2.1.2 การกำหนดขนาดของชุดอิเล็กโทรด

จากรูปที่ 3 อิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลอง โดยตัวนำไฟฟ้าชุดที่ 1 เป็นแผ่นสแตนเลสที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอและ ตัวนำไฟฟ้าชุดที่ 2 เป็นเส้นลวดเพื่อใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ ส่วนถัดมาคือฉนวนอะคริลิกหนา 3 มิลลิเมตรป้องกันการเกิดประกายไฟในช่องว่างอากาศ และฉนวนอากาศหนา 10 มิลลิเมตรใช้สำหรับจัดวางหัวจีนเพื่อให้สัมผัสกับสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอและแบบไม่สม่ำเสมอภายในชุดอิเล็กโทรดโดยไม่ซ้อนทับกัน ส่วนสุดท้ายคือกราวด์เป็นแผ่นสแตนเลส

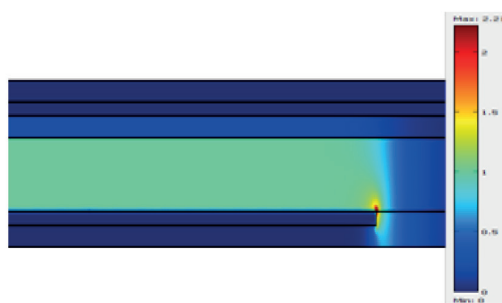


รูปที่ 3 อิเล็กโทรดที่ใช้ในการทดลอง

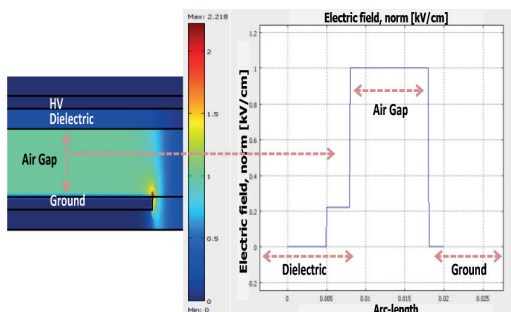
2.1.3 การวิเคราะห์ค่าแรงดันและสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบแรงดันสูงกระแสสลับที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้า 1-3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร

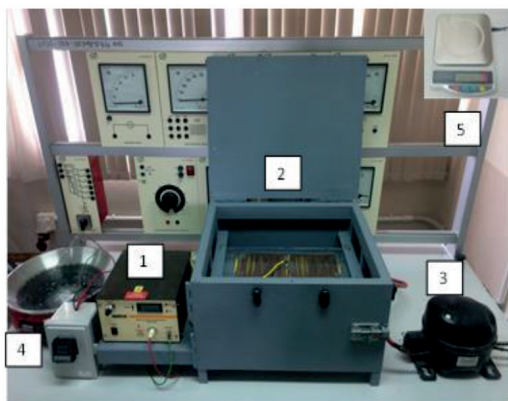
Electric Field (kV/cm)	High Voltage (V)
1	1066
2	2133
3	3200



รูปที่ 4 การกระจายสนามไฟฟ้าโดยโปรแกรม FEM



รูปที่ 5 ความเครียดสนามไฟฟ้าในช่องว่างอากาศ



รูปที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

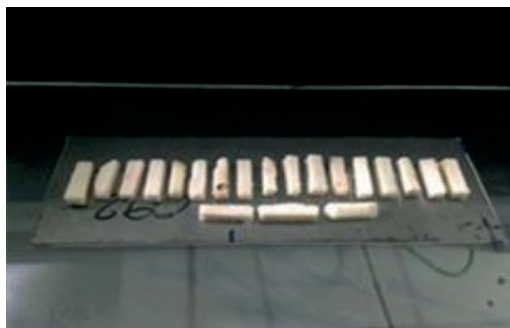
จากรูปที่ 4 แสดงการจำลองการกระจายสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอในช่องว่างอากาศภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method; FEM) โดยจะทำการแบ่งขอบเขตเนื้อที่ของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ

จากรูปที่ 5 ตัวอย่างการจำลองค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่ 1 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตรในช่องว่างอากาศโดยแกนนอนคือ ระยะความโค้ง และแกนตั้งคือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้า และเมื่อทำการป้อนค่าแรงดันสูงที่ 1,066 โวลต์ ดังตารางที่ 2, ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของผลเฉลยที่ 4.5 และค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของผลเฉลยที่ 1 ส่งผลให้ค่าสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอในช่องว่างอากาศภายในชุดอิเล็กทรอนิกส์มีค่าเท่ากับ 1 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งเป็นไปตามผลการเปรียบเทียบแรงดันสูงกระแสตรงที่ใช้ในการสร้างสนามไฟฟ้า ดังตารางที่ 2

จากรูปที่ 6 แสดงอุปกรณ์ชุดทดสอบสนามไฟฟ้าในการลดความชื้นหัวจิ้นร่วมกับกระบวนการทอดประกอบด้วยหมายเลข 1 หม้อแปลงแรงดันสูง กระแสตรงโดยแรงดันสูงที่สร้างขึ้นจะถูกจ่ายให้กับชุดอิเล็กทรอนิกส์แบบสม่ำเสมอและแบบไม่สม่ำเสมอในการลดความชื้นหัวจิ้นในหมายเลข 2 และคอมเพลกซ์เซอร์ ทำการกลั่นความชื้นออกจากระบบในหมายเลข 3 และนำหัวจิ้นที่ผ่านสนามไฟฟ้ามาทอดด้วยกระแสไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิน้ำมันด้วยเซนเซอร์ควบคุมอุณหภูมิในหมายเลข 4 ทำการชั่งน้ำหนักหัวจิ้นหลังผ่านการทอดด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด $0.0001 \text{ g} \pm 3\%$ ในหมายเลข 5

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

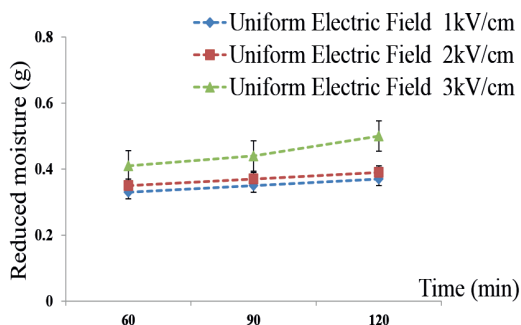
ค่าสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองคือ 1, 2 และ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 60, 90 และ 120 นาที เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด $0.0001 \text{ g} \pm 3\%$ จากนั้นนำหัวจิ้นที่ผ่านสนามไฟฟ้ามาพร้อมกับกระบวนการทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยทุกการทดลองทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ หาค่าเฉลี่ย และทำการวัดผลการดูดซับน้ำมันด้วยวิธีการทดสอบ AOAC (2016)



รูปที่ 7 ตัวอย่างหัวจิ้นที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3 ผลของสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอแรงดัน
สูงกระแสตรง 1-3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร
ระยะเวลาในการลดความชื้น 60, 90 และ
120 นาที ต่อความชื้นน้ำหนักแห้งเงินเฉลี่ย
คงที่ ที่ 20 กรัม

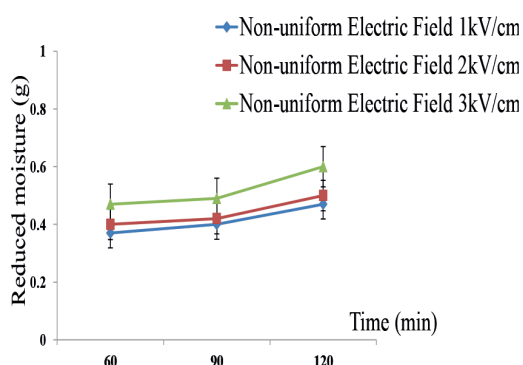
ระยะเวลา ในการลด ความชื้น (นาที)	ค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้น (กรัม)			S.D.
	1kV/cm	2kV/cm	3kV/cm	
60	0.33	0.35	0.41	0.02
90	0.35	0.37	0.44	0.02
120	0.37	0.39	0.5	0.05



รูปที่ 8 ผลต่างความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบ
สม่ำเสมอกระแสตรงในเวลา 60, 90 และ 120 นาที
สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอกระแสตรง 3 กิโล
โวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 120 นาที มีค่าเฉลี่ยผล
ต่างของความชื้นที่ 0.5 กรัม

ตารางที่ 4 ผลของสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอแรงดัน
สูงกระแสตรง 1-3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร
ระยะเวลาในการลดความชื้น 60, 90 และ
120 นาที ต่อความชื้นน้ำหนักแห้งเงินเฉลี่ย
คงที่ ที่ 20 กรัม

ระยะเวลา ในการลด ความชื้น (นาที)	ค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้น (กรัม)			S.D.
	1kV/cm	2kV/cm	3kV/cm	
60	0.37	0.4	0.47	0.05
90	0.4	0.42	0.5	0.05
120	0.45	0.48	0.6	0.07

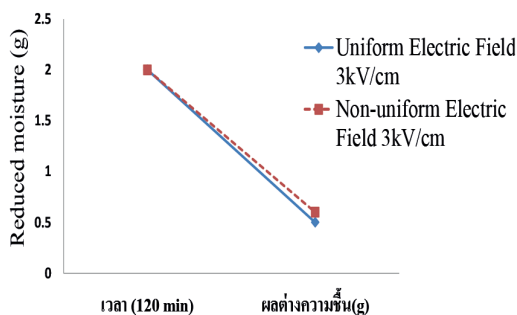


รูปที่ 9 ผลต่างความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่
สม่ำเสมอกระแสตรงในเวลา 60, 90 และ 120 นาที

จากรูปที่ 9 สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ
กระแสตรง 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 120 นาที
มีค่าเฉลี่ยผลต่างของความชื้นมากที่สุดคือ 0.6 กรัม

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลต่างความชื้นที่ดีที่สุดที่ค่าสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร แบบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอกระแสดตรง

ค่าสนามไฟฟ้า 3kV/cm	เวลา (นาท)	ผลต่างความชื้น (กรัม)
แบบสม่ำเสมอ	120	0.5
แบบไม่สม่ำเสมอ	120	0.6

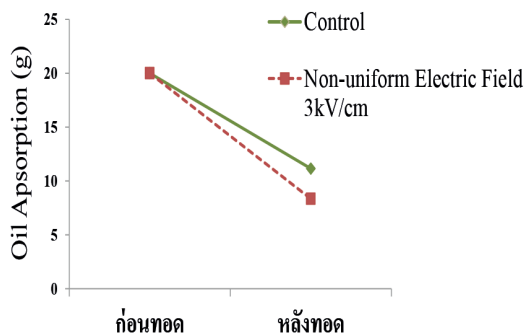


รูปที่ 10 เปรียบเทียบผลต่างความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอกระแสดตรงที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 120 นาที

จากรูปที่ 10 ที่ค่าสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอกระแสดตรงมีผลต่างความชื้นดีกว่าสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอร้อยละ 20 เนื่องจากที่ค่าพลังงานเท่ากันลักษณะสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอมีความเครียดสนามไฟฟ้าภายในชุดอิเล็กโทรดที่มากกว่าจึงส่งผลให้สามารถลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้มากกว่า

ตารางที่ 6 ผลของค่าสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร แบบไม่สม่ำเสมอกระแสดตรงที่ระยะเวลา 120 นาที ร่วมกับกระบวนการทอด 5 นาที น้ำหนักแห้งเงินเฉลี่ยคงที่ที่ 20 กรัม

กระบวนการทอด	ค่าน้ำหนักก่อน ทอดตั้งต้น (กรัม)	ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก หลังทอด (กรัม)
ไม่ผ่านสนามไฟฟ้า	20	11.15
ผ่านสนามไฟฟ้า แบบไม่สม่ำเสมอ กระแสดตรงที่ 3kV/cm	20	8.35

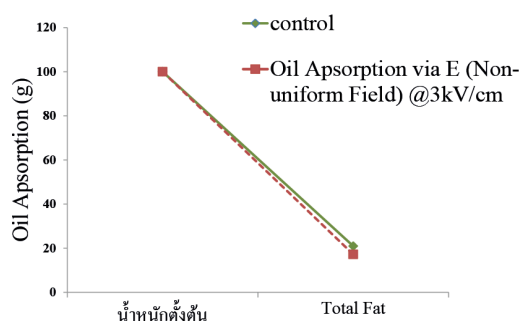


รูปที่ 11 น้ำหนักแห้งเงินก่อน-หลังทอดเมื่อผ่านสนามไฟฟ้าร่วมกับกระบวนการทอด

สรุปผลการทดลองแห้งเงินที่ผ่านการลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร หลังจากร่วมกับกระบวนการทอดที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังทอดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแห้งเงินที่ไม่ผ่านสนามไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 25.11

ตารางที่ 7 ผลการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์หัวจิ้น

ทอด	ค่าน้ำหนัก ตั้งต้น (กรัม)	ค่าเฉลี่ยผลการดูด ซับน้ำมัน (กรัม)
ไม่ผ่านสนามไฟฟ้า	100	20.97
ผ่านสนามไฟฟ้า แบบไม่สม่ำเสมอ กระแสตรงที่ 3kV/cm	100	17.21



รูปที่ 12 ผลการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์หัวจิ้นทอด

จากรูปที่ 12 หัวจิ้นที่ผ่านการลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร หลังจากร่วมกับกระบวนการทอดที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที มีผลการดูดซับน้ำมันเมื่อเทียบกับหัวจิ้นที่ไม่ผ่านสนามไฟฟ้าน้อยกว่าคิดเป็นร้อยละ 17.93 จากผลการทดลองสรุปได้ว่าหัวจิ้นที่ผ่านการลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร มีอัตราการดูดซับน้ำมันหลังจากการทอดน้อยกว่าหัวจิ้นที่ไม่ผ่านสนามไฟฟ้า

จากการศึกษาที่ค่าสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอกระแสตรง 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่เวลา 120 นาที สนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอมีผลต่าง ความชื้นในเนื้อหามากกว่าสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ เนื่องจากลักษณะของสนามไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปทรงทางเรขาคณิตของอิเล็กโทรด ซึ่งลักษณะสนามไฟฟ้า

แบบไม่สม่ำเสมอจะใช้แรงดันที่ง่ายให้กับชุดอิเล็กโทรดน้อยแต่มีความเครียดสนามไฟฟ้ามากกว่าแบบสม่ำเสมอ จึงมีการใช้พลังงานที่น้อยกว่า [10] โดยหากผลิตภัณฑ์เมื่ออยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า โมเลกุลของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนที่ตามทิศทางที่เป็นขั้วบวกหรือลบในแนวตั้งฉากภายใต้สนามไฟฟ้าในชุดอิเล็กโทรดซึ่งเป็นไปตามหลักการพื้นฐานของทฤษฎีสถานไฟฟ้าโดยโมเลกุลความชื้นที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์เมื่อได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าจะระเหยออกและส่งผลให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้า [8], [13] และเมื่อนำหัวที่ผ่านสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอมา ร่วมกับกระบวนการทอดพบว่าสามารถลดการดูดซับน้ำมันในหัวทอดได้ถึงร้อยละ 17.93 เมื่อเทียบกับหัวที่ไม่ผ่านสนามไฟฟ้า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระหว่างกระบวนการทอดความร้อนจะทำให้ไขมันในผลิตภัณฑ์ระเหยกลายเป็นไอและพยายามออกมาที่ผิวของผลิตภัณฑ์จึงทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ ในขณะเดียวกันน้ำมันจะเข้าไปแทนที่ปริมาณน้ำที่ระเหยออกและแทนที่ช่องว่างภายในผลิตภัณฑ์ทำให้ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นและมีความชื้นลดลง โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงจะทำให้เกิดช่องว่างในผลิตภัณฑ์และดูดซับน้ำมันได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำก่อนนำไปทอดซึ่งเป็นไปตามหลักการของกระบวนการทอดในผลิตภัณฑ์ [14], [15]

4. สรุป

ผลของค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้นหัวจิ้นด้วยสนามไฟฟ้าก่อนนำไปทอด พบว่าลักษณะสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ ที่ค่าสนามไฟฟ้า 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 120 นาที มีค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้นของหัวจิ้นมากที่สุดคือ 0.6 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับหัวจิ้นที่ผ่านสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอพบว่าหัวจิ้นที่ผ่านสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอ มีค่าเฉลี่ยผลต่างความชื้นหัวจิ้นที่ดีกว่า

สนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอคิดเป็นร้อยละ 20 และเมื่อนำหัวจิ้นที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเทคนิคสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอกระแสตรงที่ 3 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ที่ระยะเวลา 120 นาที่ ร่วมกับกระบวนการทอดที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที พบว่าหัวจิ้นที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นด้วยสนามไฟฟ้า มีผล การดูดซับน้ำมันที่น้อยกว่าหัวจิ้นทอดที่ไม่ผ่านสนามไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 17.93

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการศาสตราจารย์สุพจน์พรหมบุรี และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ห้องปฏิบัติการวิจัยวัสดุวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Nakmai, S. Kaewkerd and B. Nirasok, "Analysis of cost and return of truffle growing in Amphoe Si Prachan. Suphanburi Province," in *Proceeding of the 9th Hatyai National and International Conference*, 2018, pp. 516-526.
- [2] Department of International Trade Promotion (DITP), "Agricultural product processing in Vietnam," *AEC Business Support Center, Report Publication*, pp. 1-18, Sep. 2018.
- [3] Ch. Chatrarasanam, S. Kosum and A. Charernchai, "The Development of Seasoned Water Chestnut Chips Product," *Acad. J. Kalasin Rajabhat University*, vol. 2, no. 1, pp. 54-63, Jun. 2012.
- [4] P. Rujirapisit, *Chemical Composition and Physico-Chemical Properties of chinese water chestnut (Eleocharisdulcis Trin.) Flour and Starch*, Bangkok: University of the Thai Chamber of Commerce, 2006.
- [5] K. Tengpongsathon, Ch. Trasinchai, T. Jongyingjaroen and U. Sukjaroen, *Product development of chinese water chesnut chip by vacuum frying*, Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Central library, 2013.
- [6] P. Limpisathian, A. Pisanwacharin P. Wisarnthanon, N. Photasin and Ch. Tinawong, *Research and Development of French Fry Durian Processing Technology*, Bangkok: Postharvest and Processing Research and Development division, 2006.
- [7] T. Liu, E. Dodds, S.Y. Leong, G.T. Eyres, D.J. Burritt and I. Oey, "Effect of pulsed electric fields on the structure and frying quality of "kumara" sweet potato tubers," *Innovative food Science and Engineering Technologies*, vol. 39, pp. 197-208, Feb. 2016.
- [8] A. Ignat, L. Manzocco, N. P. Brunton, M. C. Nicoli and J. G. Lyng, "The effect of pulsed electric field pre-treatments prior to deep-fat frying on quality aspects of potato fries," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 29, pp. 65-69, May 2015.
- [9] S. Rattanapan and Ch. Inprasit, "Effect of Steaming Time on Qualities of Tapioca Crackers (Khaowgriab)," *Journal of*

- Science and Technology*, vol. 26, no. 3, pp. 532-543, 2018.
- [10] E. Kuffel, W. S. Zaengl and J. Kuffel, *High-voltage engineering : fundamentals*, 2nd ed, Butterworth-Heinemann published, 2000.
- [11] S. Leejongpermpoon and S. Potivejkul, "A study effect of electric field to reduce emission gas from the gasoline cars," in *Proceeding of The 33rd Electrical Engineering Conference (EECON - 33)*, Chiang Mai, Thailand, 2010, pp. 305 -308.
- [12] J. A. Robinson, M. A. Bergougnou, W. L. Cairns, G. S. P. Castle, and I. I. Inculet, "Breakdown of air over a water surface stressed by a perpendicular alternating electric field," in *Conference Record of 1998 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Third IAS Annual Meeting (Cat. No.98CH36242)*, St. Louis, MO, USA, 1998, vol. 3, pp. 1820–1827.
- [13] Ch. Markjan, S. Leejongpermpoon and Ch. Boonreung, "A Study of Effect of DC and AC Electric Field to Reduce Moisture Content of Macadamia In-Shell Nuts," *RMUTSB Academic Journal*, vol. 7, no. 1, pp.52-62, 2019.
- [14] G.R. Moreira, M.E. Castell-Perez and M.A. Berrufet, *Deep - Fat Frying*, Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland, 1999.
- [15] R. Rattanathammawat, Th. Suwonsichon, P. Chompreeda, K. Sriroth and V. Haruthaithanasan, "Effect of moisture content of half-snacks and frying time on physicochemical properties of taro flour snack," in *Proceeding of 41th Kasetsart University Annaul Conference: Agro-Industry*, Bangkok, Thailand, 2003, pp. 45-52.