



2019
Tsae
THAILAND

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ณ โรงแรมฮาร์ตโรค พัทยา จังหวัดชลบุรี

Available online at www.tsae.asia

การพัฒนาเครื่องวัดค่าความชื้นและวอเตอร์แอกทีวิตีสำหรับกล้วยอบแห้ง

The Development of Moisture Content and Water Activity Meter for Dried Banana

ภูชิสส์ ตันวานิชกุล^{1*} และ ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรง¹

Bhuchiss Tanwanichkul^{1*} and Panuwat Supprung¹

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, 150 ถ.ศรีจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น, 40000

¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus, 150 Srichan Rd., Muang, Khonkaen 40000

*Corresponding author: Tel: +66-8-97778623, E-mail: dr.bhuchiss@gmail.com

บทคัดย่อ

ในกระบวนการแปรรูปอาหารให้มีการรักษาคุณภาพและมาตรฐานจำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีเพื่อตอบสนองความต้องการ สิ่งนี้จะนำไปสู่การบริโภคผักและผลไม้ที่ดีต่อสุขภาพ วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของผลไม้อบแห้งสำหรับการตรวจวัดเพื่อหาปริมาณความชื้นของผลผลิต หลักการพื้นฐานคือการตรวจสอบการตอบสนองความถี่ของวัสดุทดสอบโดยการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับ 10 V ความถี่ไฟฟ้าในการทดลองเท่ากับ 50Hz, 100Hz, 1kHz, 10 kHz, 100 kHz และ 1MHz ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าชุดข้อมูลของความชื้นที่แตกต่างกันทำให้ได้ค่าความจุไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับการตอบสนองความถี่ในรูปแบบยกกำลัง $capacitance = a (frequency)^b$ โดย a คือค่าสัมประสิทธิ์จากสมการยกกำลัง และ b เป็นค่าคงที่ เทคนิคทางคณิตศาสตร์ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผล ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ค่าวอเตอร์แอกทีวิตีสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ ดังสมการ $aw = -89778a^2 + 365.7a + 0.531$ ด้วยค่า $R^2 = 0.984$ นอกจากนี้ ค่าความชื้นสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ ดังสมการ $MC = -1.157 \times 10^7 a^2 + 4.099 \times 10^4 a + 25.019$ ด้วยค่า $R^2 = 0.982$ ตามลำดับ เครื่องมือวัดความชื้นของผลไม้อบแห้งถูกสร้างขึ้นและสามารถทำนายผลอย่างน่าพอใจ

คำสำคัญ: กล้วยอบแห้ง, ความชื้น, วอเตอร์แอกทีวิตี

Abstract

In the process of food processing to maintain quality and standards need to rely on technology to meet the needs. This is leading to healthy consumption of fruits and vegetables. The objective of the study is to study the electrical properties of dried fruits for measurement to determine the moisture content of the products. The basic principle is to check the frequency response of the sample by measuring the output voltage. The input voltage is 10 V. The experimental signal frequency is 50 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, and 1 MHz respectively. The results showed that different data set of moisture content was able to obtain the electrical capacitance value in relation to the frequency response inform of the power model. $capacitance = a (frequency)^b$ with a is coefficient and b is constant. Mathematical techniques are used to analyze results. The results can be concluded that water activity value is related to the coefficient as the equation $aw = -89778a^2 + 365.7a + 0.531$ with $R^2 = 0.984$, in addition, the moisture content is related to the coefficient as the equation $MC = -1.157 \times 10^7 a^2 + 4.099 \times 10^4 a + 25.019$ with $R^2 = 0.982$ respectively. Moisture content meter of dried fruit was made and can predict satisfactory results.

Keywords: Dried banana, Moisture content, Water activity

1 บทนำ

การอบแห้งผลไม้เป็นกระบวนการนำความชื้น (ความชื้นเริ่มต้น, MC) ออกจากผลไม้ซึ่งอาจทำด้วยวิธีการอบแห้งตามธรรมชาติหรือผ่านการใช้เครื่องเป่าลมร้อนที่เรียกว่าเครื่องอบแห้ง ซึ่งกระบวนการอบแห้งผลไม้ด้วยวิธีการดั้งเดิมในสมัยก่อนเกิดขึ้นย้อนหลังไปไม่น้อยกว่า 4 พันปีก่อนคริสตกาล “Brothwell and Brothwell (1998)” โดยการอบแห้งมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษารสชาติความหวาน คุณค่าทางโภชนาการ และการยืดอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานและใช้พื้นที่ในการเก็บรักษาน้อยลง การลดความชื้นของผลไม้ทั่วไปจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 40% ลดเหลือต่ำกว่า 10% จะเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาในรูปผลไม้อบแห้งได้ “Kandala et al. (2015)” ในขณะที่ไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญมาช้านาน โดยเป็นผู้ผลิตสินค้าเกษตรทั้งผักและผลไม้รายใหญ่ของโลก สินค้าเกษตรดังกล่าวถูกผลิตเพื่อรองรับการบริโภคภายในประเทศและส่งออกยังต่างประเทศ นำรายได้เข้าประเทศจำนวนมากมาย กลายเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่คนไทยนิยมปลูกและรับประทานทั้งในรูปผลไม้สดและผลไม้แปรรูปหลากหลายชนิด เช่น กล้วยฉาบ กล้วยตาก กล้วยกวน เป็นต้น ปัจจุบัน กล้วยอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หรือผ่านตู้อบแห้งระดับอุตสาหกรรมชุมชนเป็นที่นิยมในการแปรรูป เนื่องจากมีรสชาติที่อร่อยและง่ายต่อการเก็บรักษา และเป็นการสร้างรายได้ให้แก่กลุ่มเกษตรกรอย่างยั่งยืน ปัจจุบัน พื้นที่ภาคอีสานตอนบนและตอนใต้ ประกอบไปด้วยกลุ่มเกษตรกรจังหวัด อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู เลย สกลนคร ศรีสะเกษและบุรีรัมย์ เป็นแหล่งผลิตกล้วยหอมทองส่งญี่ปุ่นแหล่งใหญ่ของประเทศ “Thansettakij news (2017)”

สำหรับการแปรรูปกล้วยอบแห้งในปัจจุบันในหลายพื้นที่ทำจากกล้วยน้ำว้าโดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 50°C ภายในเครื่องอบแห้งประมาณ 10-15 ชม. หลังจากนั้นนำมาบรรจุถุงเพื่อทำการจำหน่าย คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะขึ้นกับประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งมีโอกาสก่อให้เกิดเชื้อราและก่อให้เกิดการเน่าเสียตามมา ดังนั้นในกระบวนการผลิตในบางล็อตจึงไม่อาจควบคุมให้ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกล้วยอบ (มผช.112/2558) โดยมาตรฐานที่กำหนดที่ค่าแอมเพอร์แอกทิวิตีต้องไม่เกิน 0.85 แต่ในความเป็นจริงการวัดค่าแอมเพอร์แอกทิวิตีต้องใช้เครื่องมือที่มีความแม่นยำ ราคาสูง ซึ่งส่วนมากนำเข้าจากต่างประเทศ และผู้ใช้งานต้องได้รับการอบรมการใช้ให้ถูกต้อง จากราคาเครื่องที่มีราคาแพง จึงเป็นการยากที่แต่ละชุมชนจะมีไว้ใช้

งาน นอกจากนี้หากทำการตรวจสอบหาความชื้นของกล้วยอบตามมาตรฐานวิธีการ AOAC จะใช้เวลาค่อนข้างนานในการทดสอบและต้องทำการทดสอบหลายครั้งเพื่อให้ถูกต้องที่มีความเชื่อมั่น ซึ่งทดสอบด้วย vacuum-oven “AOAC. (1990)” อย่างไรก็ตามการทดสอบเป็นลักษณะของการทำลายตัวอย่างทดสอบ มีการอธิบายวิธีการวัดทางไฟฟ้าเพื่อความเร็วและไม่ทำลายตัวอย่างเพื่อการหาความชื้นของผลไม้อบแห้งจากการแปรรูป ในการวัดค่าอิมพีแดนซ์และมุมเฟสลักษณะตัวเก็บประจุแบบแผ่นตัวนำคู่ขนาน โดยใช้ตัวอย่างผลไม้ประมาณ 100 กรัม สอดอยู่ระหว่างแผ่น วิธีการนี้เป็นวิธีการที่รวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง จึงไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่าง วิธีนี้ใช้ได้ผลดีสำหรับผลไม้อบแห้งอย่างเชอร์รี่และบลูเบอร์รี่และสามารถขยายผลไปยังผลไม้ชนิดอื่น ๆ เช่น ราสเบอร์รี่

ในด้านเกษตรกรรมเพื่อที่จะหาความเข้าใจพฤติกรรมของไดอิเล็กทริกของผลิตภัณฑ์การเกษตรมันจำเป็นต้องเพิ่มการวัดในช่วงความถี่ที่กว้างและเพื่อพัฒนาเทคนิคใหม่สำหรับการรวบรวมข้อมูล Permittivity ที่มีประสิทธิภาพ เทคนิคการวัดสำหรับผลิตผลเกษตรที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนมีความหนาไม่เกิน 10 mm สอดอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าเพื่อที่จะทำตัวให้เป็นตัวเก็บประจุ ลักษณะเป็นแผ่นตัวนำคู่ขนาน (Parallel plate) และใช้ความถี่ที่เหมาะสมไม่เกิน 100 MHz “Khaled et al. (2015)”

2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ค่าความจุไฟฟ้า

ในการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความจุไฟฟ้าของวัสดุทดสอบโดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมผ่านแผ่นตัวนำคู่ขนานที่มีวัสดุทดสอบ (Dielectric material) อยู่ระหว่างแผ่น แสดงดัง Figure 1

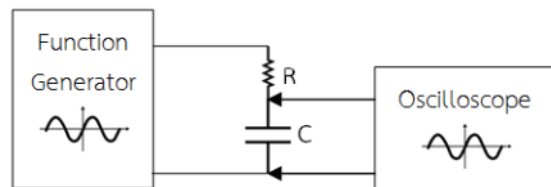


Figure 1 Simple potential divider diagram of RC circuit.

เนื่องจากเนื้อกล้วยมีโครงสร้างที่ความซับซ้อนซึ่งมีส่วนผสมทั้งน้ำตาลและความชื้นอยู่ภายใน ดังนั้นจึงกำหนดให้กล้วยมีค่าอิมพีแดนซ์ (Z) และค่าความจุไฟฟ้าของกล้วยขึ้นกับความถี่ไฟฟ้า ค่าแอมเพอร์แอกทิวิตีและความชื้นภายในของกล้วย ดังนั้นจาก Figure 1 สามารถเขียนความสัมพันธ์ดังสมการ ต่อไปนี้

$$V_{out} = \left(\frac{Z}{R+Z} \right) V_{in} \quad (1)$$

โดย V_{in} และ V_{out} คือแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมวงจร RC และตกคร่อมตัว C ตามลำดับ และ R คือตัวต้านทานภายในวงจรเพื่อทำการแบ่งแรงดันไฟฟ้า จากสมการ (1) สามารถเขียนได้

$$Z = \left(\frac{V_{out}}{V_{in}-V_{out}} \right) R \quad (2)$$

จากอิมพีแดนซ์ในสมการที่ (2) สามารถหาความจุไฟฟ้า (capacitance) ซึ่งแปรผันกับความถี่ไฟฟ้าดังสมการ

$$C = \frac{1}{2\pi fZ} \quad (3)$$

2.2 การวัดความชื้นและอุปกรณ์ทดสอบทางไฟฟ้า

ในการทดลองฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ถูกใช้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับแบบไซน์เวฟควบคุมแรงดันไฟฟ้าขนาด 10 volt โดยสามารถปรับเปลี่ยนความถี่ในการทดสอบ 50Hz, 100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz และ 1MHz ตามลำดับ โดยจ่ายให้กับวงจร RC ผ่านแผ่นตัวนำคู่ขนานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ซึ่งทำจากวัสดุสแตนเลส เกรด 304 เพื่อให้ทนต่อการกัดกร่อน และทำความสะอาดได้ง่าย โดยแผ่นคู่ขนานมีระยะห่างกัน 5 mm เครื่องออสซิลอโคปซึ่งมีโมดูลฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ในตัว รุ่น KEYSIGHTDSOX1102G พิกัดความถี่ 100MHz ถูกใช้เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมวัสดุทดสอบ

สำหรับการทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้า อุโมงค์ลมร้อนระบบหมุนเวียนอากาศแบบปิดถูกใช้ในการอบแห้งวัสดุทดสอบ ภายในอุโมงค์ลมติดตั้งพัดลมแบบไหลตามแกนเพื่อหมุนวนอากาศพร้อมชุดอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วของพัดลม เพื่อปรับเปลี่ยนค่าความเร็วลมที่เหมาะสม พิกัดความเร็วลมสูงสุด 3 m s^{-1} ภายในติดตั้งฮีเตอร์แบบครีปสำหรับทำความร้อนให้แก่อากาศขนาด 6,000 W สามารถทำอากาศร้อนได้ถึง 90°C พร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิอากาศ แสดงดัง Figure 2



Figure 2 Closed loop hot air tunnel (laboratory scale) for drying application having air temperature controller and air velocity adjustable.

ในการทดสอบหาสมบัติความชื้นของวัสดุ เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีขนาดพกพา รุ่น Pawkit ถูกใช้วัดค่าน้ำอิสระของวัสดุอบแห้ง ในขณะที่ตู้อบลมร้อนยี่ห้อ Binder รุ่น ED53 เพื่อใช้ทดสอบหาความชื้นภายในวัสดุตามมาตรฐาน AOAC (1990)

2.3 กล้วยน้ำว้าอบแห้งและวิธีการทดสอบ

กล้วยที่ใช้ในการทดสอบเป็นกล้วยน้ำว้าที่หาได้ในพื้นที่ ผลกล้วยขนาดพอดีไม่เล็กและไม่ใหญ่เกินไป ระดับความสุกของกล้วยให้ผิวกล้วยมีสีเหลืองอ่อนสม่ำเสมอแต่กล้วยยังคงแข็งไม่นิ่มจนอ่อนและ โดยในแต่ละการทดลองจะใช้กล้วยจำนวนประมาณ 30 ลูก ทำการปอกเปลือกกล้วยทั้งหมดและนำกล้วยทั้งลูกเข้าอบในอุโมงค์ลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50°C ความเร็วลม 1 m s^{-1} เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำกล้วยทั้งหมดออกมากดทับให้กล้วยมีลักษณะแบนจนมีความหนาโดยประมาณ 10 mm จากนั้นนำกล้วยลูกแรกมาตัดแบ่งส่วนหนึ่งเพื่อทำการทดสอบหาความชื้นเริ่มต้นโดยตู้อบ ส่วนหนึ่งนำมาทดสอบหาค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และส่วนที่เหลือนำมาวัดค่าแรงดันไฟฟ้าผ่านขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นตัวนำคู่ขนาน กล้วยที่เหลือยังคงถูกนำกลับเข้าไปอบในอุโมงค์ลมเพื่อทำการอบแห้งต่อไปโดยทันที เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 1 ชั่วโมงให้นำกล้วยลูกถัดไปที่ละ 1 ลูก ออกมาทำการทดสอบซ้ำดังรูปแบบข้างต้น และทำซ้ำทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตีจะต่ำกว่า 0.5 ดังขั้นตอนแสดงใน Figure 3

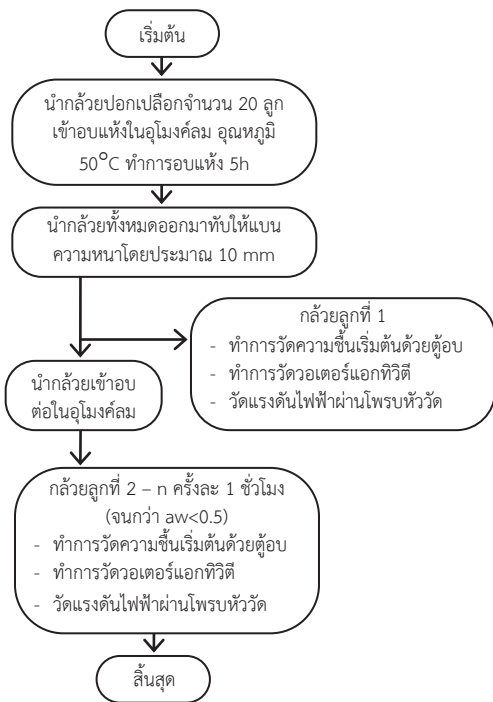


Figure 3 Experiment procedure of dried banana in moisture content, water activity, and output voltage.

2.4 ข้อมูลการวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมกล้วยอบ

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมกล้วยอบเปลี่ยนแปลงตามความถี่และค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทिवิตีจากการทดลอง ดัง Table 1

Table 1 Output voltage over dielectric material (dried banana) varying with frequency vs water activity (aw) and moisture content (MC) in wet basis.

ชั่วโมง ที่	ความถี่ไฟฟ้า (Hz)						aw	MC (%)
	50	100	1k	10k	100k	1M		
5	3.55	3.20	2.60	2.57	2.45	2.40	0.91	59.13
6	3.55	3.20	2.59	2.57	2.47	2.34	0.90	59.09
7	3.50	3.25	2.62	2.60	2.47	2.15	0.90	58.87
8	4.60	4.05	3.55	3.30	3.10	2.17	0.86	58.85
9	4.60	4.15	3.55	3.30	3.25	2.44	0.84	58.81
10	4.60	4.20	3.60	3.40	3.30	2.70	0.82	58.67
11	5.00	4.85	4.20	3.95	3.97	2.80	0.79	53.94
12	5.10	4.75	4.55	4.21	3.95	2.87	0.79	53.44
13	5.20	4.75	4.55	4.15	3.95	2.87	0.78	52.49
14	5.35	4.80	4.68	4.28	4.00	3.08	0.77	52.18
15	5.33	4.85	4.75	4.35	3.85	3.20	0.77	51.70
16	5.48	5.15	5.10	4.56	4.10	3.76	0.76	49.90
17	6.05	6.00	5.75	4.75	4.60	3.90	0.74	47.73
18	6.35	6.25	6.03	5.10	4.95	4.05	0.72	42.95
19	6.90	6.78	6.70	6.65	6.40	5.40	0.70	41.04
20	7.35	7.23	7.05	6.85	6.80	6.15	0.66	37.12
21	8.00	7.35	7.18	6.85	6.95	6.35	0.65	35.20
22	9.55	9.50	9.40	9.35	9.20	7.65	0.59	31.94
23	9.60	9.55	9.50	9.45	9.28	8.60	0.57	29.85
24	9.75	9.65	9.65	9.55	9.45	8.65	0.56	28.91

25	9.83	9.68	9.60	9.55	9.50	8.99	0.53	25.30
26	9.85	9.70	9.65	9.58	9.45	9.05	0.53	24.98
27	9.93	9.88	9.85	9.88	9.65	9.15	0.50	23.73
28	9.95	9.93	9.90	9.93	9.85	9.30	0.51	23.51
29	9.90	9.83	9.85	9.85	9.80	9.30	0.50	22.48
30	9.92	9.85	9.80	9.98	9.88	9.40	0.50	22.14

2.5 การพัฒนาเครื่องวัดสมบัติความชื้นของวัสดุ

ผลจากการทดลองตามหลักการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1 และข้อมูลที่ได้จากข้อ 2.4 จะนำมาพัฒนาเครื่องมือวัดสมบัติทางความชื้นวัสดุ ประกอบด้วย ค่าความชื้น และค่าวอเตอร์แอกทिवิตี โดยใช้หลักการทางไฟฟ้า ของผลผลิตเกษตรที่มีความหวานและความชื้นภายใน ในแนวคิดอุปกรณ์ที่สามารถวัดขนาดเล็ก ตรวจวัดได้รวดเร็ว และไม่ทำลายวัสดุทดสอบ

3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ความจุไฟฟ้าและความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางความชื้น

ข้อมูลแรงดันตกคร่อมกล้วยอบจาก Table 1 สามารถคำนวณเป็นค่าความจุไฟฟ้าและทำการลดจำนวนข้อมูลซ้ำซ้อนอ้างอิงที่ค่าวอเตอร์แอกทिवิตี โดยทำการเฉลี่ยเป็นช่วงของข้อมูลความจุไฟฟ้า วอเตอร์แอกทिवิตี และความชื้น แสดงดัง Table 2

Table 2 Calculated capacitance of banana varying with frequency.

aw	ค่า Capacitance ที่ความถี่ไฟฟ้า (Hz)					
	50	100	1k	10k	100k	1M
0.90	4.86E-05	2.80E-05	3.77E-06	3.82E-07	4.06E-08	4.47E-09
0.84	3.11E-05	1.88E-05	2.39E-06	2.65E-07	2.80E-08	4.16E-09
0.78	2.46E-05	1.44E-05	1.60E-06	1.84E-07	2.04E-08	3.16E-09
0.73	1.66E-05	8.90E-06	9.46E-07	1.25E-07	1.39E-08	1.84E-09
0.66	8.10E-06	4.94E-06	5.39E-07	6.10E-08	6.03E-09	7.96E-10
0.57	1.01E-06	6.01E-07	6.75E-08	7.73E-09	9.87E-10	2.77E-10
0.53	4.38E-07	4.28E-07	5.17E-08	6.07E-09	7.35E-10	1.45E-10
0.50	2.04E-07	1.75E-07	2.02E-08	1.28E-09	2.80E-10	1.02E-10

จากข้อมูลใน Table 2 พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Capacitance กับความถี่ไฟฟ้าสัมพันธ์กับ aw ที่แตกต่างกัน ดัง Figure 4 ได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงบนสเกลลอการิทึม ทำการหาความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$Y = ax^b \quad (4)$$

โดย a คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

b คือ ค่าคงที่ของสมการ

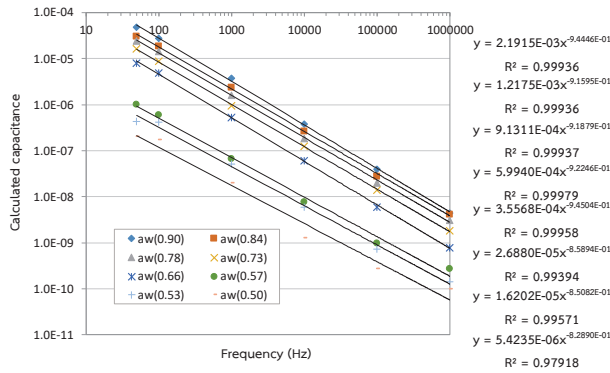


Figure 4 Calculated capacitance varying with frequency on logarithm scale chart.

นำค่าสัมประสิทธิ์ (a) ที่ได้จากสมการที่ (4) ของแต่ละชุดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีใน Figure 4 มาใส่ใน Table 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ (a) ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (aw) และความชื้น

Table 3 The relation between fitting curve coefficient (a) and water activity (aw) and moisture content (MC).

Coefficient of fitting curve	aw	MC (%)
2.1915E-03	0.90	59.03
1.2175E-03	0.84	58.78
9.1311E-04	0.78	52.75
5.9940E-04	0.73	45.41
3.5568E-04	0.66	36.16
2.6880E-05	0.57	30.23
1.6202E-05	0.53	25.14
5.4235E-06	0.50	22.97

ทำการพล็อตหาความสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกทิวิตีและความชื้น ดัง Figure 4 (a) และ (b) ตามลำดับ

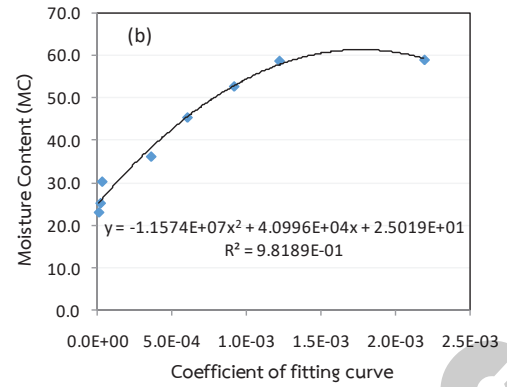
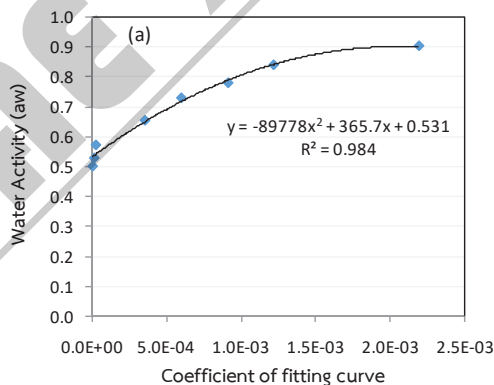


Figure 4 The relation between (a) water activity (aw) and (b) moisture content with coefficient of fitting curve respectively.

3.2 เครื่องวัดความชื้นผลิตภัณฑ์กล้วยอบ

เนื่องจากกล้วยเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่มีโครงสร้างซับซ้อนและสามารถตรวจวัดสมบัติทางไฟฟ้าได้ในรูปของความจุไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าได้ แสดงในหัวข้อที่ 2 ดังนั้นจึงนำเทคนิคในหัวข้อที่ 2 ทำการจำลองแนวคิดและสร้างอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดสมบัติกายภาพของกล้วยอบในด้านความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตีผ่านหัววัดแบบแผ่นตัวนำคู่ขนาน สำหรับการทำงานของเครื่องวัดความชื้นของผลไม้อบแห้ง เราจะใช้หลักการวัดค่าผลตอบสนองความถี่ (Frequency Response) ของวัสดุตัวอย่าง (กล้วยอบแห้ง) โดยเราจะป้อนความถี่เพื่อทดสอบที่ค่าความถี่ 6 ความถี่คือ 50Hz, 100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz และ 1MHz ตามลำดับ เพื่อหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับผลตอบสนองของตัวอย่าง

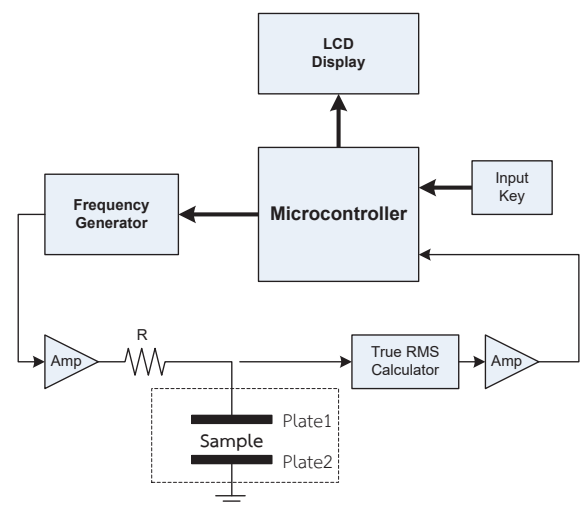


Figure 5 Block diagram of prototype moisture content and aw meter for dried fruit.

Figure 5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดความชื้นของผลไม้แห้ง ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้เครื่องกำเนิดความถี่รูปแบบสัญญาณไซน์ (Frequency Generator) ที่ความถี่ข้างต้น โดยมีขนาดแรงดันไฟฟ้าขนาด 600mV แบบ Peak to Peak เพื่อป้อนให้กับหัววัดที่เชื่อมต่อกับแผ่นตัวนำโลหะทดสอบความชื้นสองอันที่วางห่างกัน 5 mm โดยมีวัสดุตัวอย่างทดสอบสอดอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำ เพื่อใช้วัดผลตอบสนองความถี่ ซึ่งในแต่ละความถี่ จะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวอย่างทดสอบจะให้ค่าที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับความชื้นของวัสดุตัวอย่าง โดยใช้ไอซีวัดค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส (True RMS Calculator) เบอร์ AD737 เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมวัสดุตัวอย่าง จากนั้นข้อมูลจะถูกป้อนเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าจากอนาล็อก (Analog Voltage) เป็นข้อมูลดิจิทัล (Digital Data) ที่มีความละเอียด 10 บิต (ที่ความถี่การแปลง 10 kHz) เช่นเดียวกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการคำนวณค่าและเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่ได้จากการทดลองตามอัลกอริทึม (Algorithm) ที่ได้ออกแบบไว้แล้ว และแสดงผลค่าต่างๆออกไปยังตัวแสดงผลแอลซีดี (LCD Display) ขนาด 128x64 จุดแสดงดัง Figure 6



Figure 6 (a) The developed prototype moisture and aw meter of dried banana and (b) moisture content and AW on display.

4 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

จากแบบจำลองการทดสอบสมบัติความชื้นของกล้วยอบ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 10 V ตามความถี่ 50Hz, 100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz และ 1MHz ตามลำดับ จากการตอบสนองความถี่ ผลทดสอบแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมกล้วยอบ ความจุไฟฟ้าที่คำนวณได้มีความสัมพันธ์กับความถี่เป็นสมการเส้นตรงบนสเกลลอการิทึม ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการพยากรณ์หาความสัมพันธ์ได้ดังนี้ ค่าอเวอเจอร์แอกทิวิตีสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ ดังสมการ $aw = -89778a^2 + 365.7a + 0.531$ ด้วยค่า $R^2 = 0.984$ นอกจากนี้ ค่าความชื้นสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ ดังสมการ $MC = -1.157 \times 10^7 a^2 + 4.099 \times 10^4 a + 25.019$ ด้วยค่า $R^2 = 0.982$ ตามลำดับ

จากการพัฒนาเครื่องมือวัดความชื้นและอเวอเจอร์แอกทิวิตีของกล้วยอบจากการทดลอง สามารถตรวจวัดและทำนายสมบัติทางความชื้นของกล้วยอบจากแหล่งอื่นที่วางขายทั่วไปได้ค่อนข้างใกล้เคียง นอกจากนี้แนวทางการศึกษาในอนาคต ควรศึกษาประเภทของหัววัดที่เหมาะสมต่อการใช้งานของผลไม้แต่ละประเภท เพื่อการใช้งานและการดูแลรักษาที่สะดวกต่อผู้ใช้งาน

5 เอกสารอ้างอิง

- AOAC. 1990. Official method of analysis of the association of official analytical chemists. No. 934.06, AOAC, Arlington.
- Brothwell, D., Brothwell, P. 1998. Food in antiquity: A survey of the diet of early people. John Hopkins University Press, Baltimore and London, 144-147.
- Kandala, C., Holser, R., Sundaram, J., Puppala, N. 2015. Nondestructive determination of moisture content in dry fruits by impedence and phase angle measurements. Journal of Sensor Technology 5, 73-80.
- Khaled, D.E., Novas, N., Gazquez, J.A., Garcia, R.M., Manzano-Agugliaro, F. 2015. Fruit and vegetable quality assessment via dielectric sensing. Sensors 15, 15363-15397.
- Thansettakij news 37th year, 3,301, 1-4 October, 2017. Golden banana push Isan economy – Japan China Korea popular consumption – unlimited order. Available at: <http://www.thansettakij.com/content/214007>. Accessed on 9 February 2019. (in Thai)