



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การคัดแยกความสดและทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยใช้
เทคนิควิเคราะห์พหุตัวแปรทางไฟฟ้า
Non-destructive freshness classification and quality prediction of
sweet corn using multivariate analysis of electrical variables

นายสนธิสุข ธีระชัยชยติ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การคัดแยกความสดและทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยใช้
เทคนิควิเคราะห์พหุตัวแปรทางไฟฟ้า
Non-destructive freshness classification and quality prediction of
sweet corn using multivariate analysis of electrical variables

นายสนธิสุข ธีระชัยชยติ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การคัดแยกความสดและทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิควิเคราะห์
พหุตัวแปรทางไฟฟ้า

ชื่อโครงการ Non-destructive freshness classification and quality prediction of sweet corn using
multivariate analysis of electrical variables

แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2561 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 283,900 บาท

ระยะเวลาการทำวิจัย 1 ปี (1 ตุลาคม 2560 - 30 กันยายน 2561)

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

รศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี2 เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ อีกทั้งยังสามารถแปรรูปออกมาเป็น
ผลิตภัณฑ์ได้อีกหลายชนิด แต่ในปัจจุบันพบว่ามีปัญหาในการคัดแยกคุณภาพและมาตรฐานที่แน่นอน การ
ทดลองนี้อาศัยการพิจารณาคุณสมบัติภายนอกและทางเคมีเพื่อสร้างสมการทำนายค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลาย
ได้ (TSS) ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในอาหาร (moisture content) และค่าความแน่นเนื้อ
(texture) โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ(0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ
200 kHz) ได้แก่ capacitance, inductance, impedance, resistance primary, resistance secondary,
dissipation factor, quality factor และ phase angle และพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความ
หนาแน่น, ค่า chroma, ค่า GMD และค่าการดูดกลืนแสงของข้าวโพดหวาน เพื่อนำมาวิเคราะห์จากข้อมูลทาง
สถิติที่ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares
regression , PLSR) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ข้าวโพดหวานนับจากเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานได้ 6 ชั่วโมง
และหาค่าทางไฟฟ้ารวมถึงค่าทางกายภาพอื่นๆ ทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 36 ชั่วโมง เพื่อสร้างสมการทำนาย
ผลดีที่สุดโดยพบว่าตัวแปรอิสระที่เหมาะสมที่สร้างสมการได้แม่นยำที่สุดคือค่าทางไฟฟ้าและค่าทางกายภาพ
ซึ่งสามารถสร้างสมการทำนายค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) ของข้าวโพดหวานมีเปลือก เมื่อพิจารณา
จากค่า R^2 สามารถทำนายตัวแปรได้ 0.868, สร้างสมการทำนายค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) ของ
ข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 สามารถทำนายตัวแปรได้ 0.972, สร้างสมการทำนาย
texture ของข้าวโพดหวานมีเปลือก เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 สูงสุดสามารถทำนายตัวแปรได้ 0.750, สร้าง
สมการทำนาย texture ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 สูงสุดสามารถทำนายตัวแปรได้
0.961, สร้างสมการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในอาหาร เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 สูงสุดสามารถทำนายตัว
แปรได้ 0.530 และจากการทำนายความสด ไม่สด พิจารณาจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทาง
กายภาพ โดยวิธี partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) เพื่อทำนายตัวแปรตาม ได้แก่
ความสด (0=สด, เวลาหลังการเก็บเกี่ยวน้อยกว่าหรือเท่ากับ 24 ชั่วโมง และ 1=ไม่สด, เวลาหลังการเก็บเกี่ยว
มากกว่า 24 ชั่วโมง) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าข้าวโพดหวานมีเปลือกของกลุ่มสดสามารถทำนายได้ถูกต้อง
100% กลุ่มไม่สดสามารถทำนายได้ถูกต้อง 68.75% รวมทั้งสองกลุ่มสามารถทำนายได้ถูกต้อง 89.58% และ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้าวโพดหวานไม่มีเปลือกของกลุ่มสดสามารถทำนายได้ถูกต้อง 90.63% กลุ่มไม่สดสามารถทำนายได้ถูกต้อง 87.5% รวมทั้งสองกลุ่มสามารถทำนายได้ถูกต้อง 89.58% ค่าที่ทำนายได้ถูกต้องมีค่ามากสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ แสดงว่าการทำนายมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือ

คำสำคัญ: ข้าวโพดหวาน, การตรวจสอบ, ไม่ทำลาย, คุณสมบัติทางไฟฟ้า, คุณสมบัติทางกายภาพ, ความสด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

Sweet corn (cultivar “Incee2”) is an important crop in Thailand. It can be processed to many kinds of products. The current problem is the method for sorting under an exacting standard. This experiment aimed to use the external features and chemical equations to predict the total soluble solid (TSS), the percentage of moisture and Texture. By considering electrical properties at various frequencies (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 and 200 KHz), it such as capacitance, inductance, impedance, resistance primary, resistance secondary, dissipation factor, quality factor, phase angle and the physical properties such as density, chroma, GMD and absorbance by photo sensor of sweet corn. Partial least squares regression (PLSR) was used to develop the calibration models. Samples were measured after harvest in every 6 hour. Independent variables were considered for establishment the models. The equation for total soluble solid (TSS) and texture of sweet corn with husk obtained $R^2 = 0.868, 0.750$ by cross-validation, respectively. The equation for the total soluble solid (TSS), texture, moisture content (MC) of sweet corn without husk obtained $R^2 = 0.972, 0.961$ and 0.530 by cross-validation, respectively. The results showed that the qualities of the sweet corn could be predicted by using the models from multivariate technique. Prediction of fresh or not fresh was considering electrical properties and physical properties. The partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) was used to classify the freshness (0 = fresh, after harvesting time was less or equal than 24 hours and 1 = not fresh, after harvesting time was more than 24 hours). The classification models were developed and tested by cross validation. The results shows accuracy of classification for fresh sweet corn with husk obtained 100% and for unfresh sweet corn with husk obtained 68.75%. Total accuracy was 89.58%. The accuracy of classification for fresh sweet corn without husk obtained 90.63% and for unfresh sweet corn without husk obtained 87.5%. Total accuracy was 89.58%.

Keywords sweet corn, evaluate, nondestructive, electrical, physical, freshness.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนงบประมาณประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือในงานวิจัย คณะผู้วิจัยหวังว่ารายงานวิจัยฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์กับผู้สนใจหากรายงานวิจัยฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ณ
สัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ข้าวโพดหวาน	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	14
3.1 วัสดุดิบและสารเคมี	14
3.2 อุปกรณ์	14
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	15
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	20
4.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าทางไฟฟ้า	20
4.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของข้าวโพดหวานกับตัวแปรตามต่างๆ	61
4.3 การทำนายความสด ไม่สด จากกลุ่มอายุเก็บน้อยกว่า 24 ชั่วโมง และมากกว่า 24 ชั่วโมงของข้าวโพดหวานมีเปลือกและไม่มีเปลือก	81
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	87
บรรณานุกรม	88
ภาคผนวก	91
ภาคผนวก ก	92
ภาคผนวก ข	165
ประวัติผู้เขียน	180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	แสดงค่าทางสถิติของค่า TSS ของข้าวโพดหวานที่มีเปลือก	61
4.2	แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า total soluble solid เมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร	64
4.3	แสดงค่าทางสถิติของค่า TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก	65
4.4	แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า total soluble solid เมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร	68
4.5	แสดงค่าทางสถิติของค่า texture ของข้าวโพดหวานที่มีเปลือก	69
4.6	แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า texture เมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร	72
4.7	แสดงค่าทางสถิติของค่า texture ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก	73
4.8	แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า texture เมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร	76
4.9	แสดงค่าทางสถิติของค่า MC ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก	77
4.10	แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า moisture content เมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร	80
4.11	แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่าความสดเมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร	84
4.12	แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่าความสดเมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ก.1 ตารางที่ 1 ค่า capacitance ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 1	92
ก.2 ตารางที่ 2 ค่า phase angle ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 1	96
ก.3 ตารางที่ 3 ค่า d-factor ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 1	100
ก.4 ตารางที่ 4 ค่า inductance ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 1	104
ก.5 ตารางที่ 5 ค่า q-factor ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 1	108
ก.6 ตารางที่ 6 ค่า resistance primary ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 1	112
ก.7 ตารางที่ 7 ค่า resistance secondary ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 1	116
ก.8 ตารางที่ 8 ค่า impedance ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 1	120
ก.9 ตารางที่ 9 ผลการทดลองแบบไม่ทำลาย จากการทดลองครั้งที่ 1	124
ก.10 ตารางที่ 10 ผลการทดลองแบบทำลาย จากการทดลองครั้งที่ 1	126
ก.11 ตารางที่ 11 ค่า capacitance ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 2	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
ก.12 ตารางที่ 12 ค่า phase angle ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 2	131
ก.13 ตารางที่ 13 ค่า d-factor ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 2	135
ก.14 ตารางที่ 14 ค่า inductance ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 2	139
ก.15 ตารางที่ 15 ค่า q-factor ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 2	143
ก.16 ตารางที่ 16 ค่า resistance primary ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 2	147
ก.17 ตารางที่ 17 ค่า resistance secondary ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 2	151
ก.18 ตารางที่ 18 ค่า impedance ที่ความถี่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 Hz จากการทดลองครั้งที่ 2	155
ก.19 ตารางที่ 19 ผลการทดลองแบบไม่ทำลาย จากการทดลองครั้งที่ 2	159
ก.20 ตารางที่ 20 ผลการทดลองแบบทำลาย จากการทดลองครั้งที่ 2	161
ก.21 ตารางที่ 21 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture กับ capacitance ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก	162
ก.22 ตารางที่ 22 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture กับ resistance primary ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก	162
ก.23 ตารางที่ 23 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content กับ capacitance	163
ก.24 ตารางที่ 24 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content กับ resistance primary	163
ก.25 ตารางที่ 25 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content กับ resistance secondary	164
ก.26 ตารางที่ 26 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content กับ impedance	164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงมุมเฟส (Phase Angle)	7
2.2	แสดงภาพวงจรการวัดตัวเก็บประจุของกล้วย (capacitance sensing system)	8
3.1	แสดงเครื่อง Color meter รุ่น CR300	15
3.2	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	16
3.3	เครื่อง LCR 800 ต่อกับแผงแผ่นเหล็กยึดด้วยสปริง	16
3.4	เครื่องมือวัดปริมาตรและความหนาแน่น	17
3.5	เครื่อง Fruits Hardness Tester	18
3.6	เครื่อง Refractometer	18
3.7	เครื่อง Tray dry	19
3.8	เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (photo sensor) ต่อเข้ากับเครื่อง LCR800	19
4.1	ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	20
4.2	เปรียบเทียบค่า capacitance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	21
4.3	ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	21
4.4	เปรียบเทียบค่า phase angle ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	22
4.5	ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	22
4.6	เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	23
4.7	ค่า inductance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	23
4.8	เปรียบเทียบค่า inductance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	24
4.9	ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	24
4.10	เปรียบเทียบค่า quality factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	25
4.11	ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	25
4.12	เปรียบเทียบค่า resistance primary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	26
4.13	ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	26
4.14	เปรียบเทียบค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	27
4.15	ค่า impedance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	27
4.16	เปรียบเทียบค่า impedance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	28
4.17	ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	28
4.18	เปรียบเทียบค่า capacitance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	29
4.19	ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	29
4.20	เปรียบเทียบค่า phase angle ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	30
4.21	ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	30
4.22	เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่		หน้า
4.23	ค่า inductance ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	31
4.24	เปรียบเทียบค่า inductance ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	32
4.25	ค่า quality factor ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	32
4.26	เปรียบเทียบค่า resistance primary ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	33
4.27	ค่า resistance primary ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	33
4.28	เปรียบเทียบค่า resistance primary ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	34
4.29	ค่า resistance secondary ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	34
4.30	เปรียบเทียบค่า resistance secondary ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	35
4.31	ค่า impedance ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	35
4.32	เปรียบเทียบค่า impedance ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน	36
4.33	ค่า capacitance ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	36
4.34	เปรียบเทียบค่า capacitance ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	37
4.35	ค่า phase angle ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	37
4.36	เปรียบเทียบค่า phase angle ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	38
4.37	ค่า dissipation factor ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	38
4.38	เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	39
4.39	ค่า inductance ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	39
4.40	เปรียบเทียบค่า inductance ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	40
4.41	ค่า quality factor ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	40
4.42	เปรียบเทียบค่า quality factor ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	41
4.43	ค่า resistance primary ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	41
4.44	เปรียบเทียบค่า resistance primary ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	42
4.45	ค่า resistance secondary ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	42
4.46	เปรียบเทียบค่า resistance secondary ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	43
4.47	ค่า impedance ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	43
4.48	เปรียบเทียบค่า impedance ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	44
4.49	ค่า capacitance ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	45
4.50	เปรียบเทียบค่า capacitance ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	45
4.51	ค่า phase angle ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	46
4.52	เปรียบเทียบค่า phase angle ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	46
4.53	ค่า dissipation factor ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	47
4.54	เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	47
4.55	ค่า inductance ของขั้วโพตหวานที่ความถี่ต่างๆ	48
4.56	เปรียบเทียบค่า inductance ของขั้วโพตหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่	หน้า	
4.57	ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	49
4.58	เปรียบเทียบค่า quality factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	49
4.59	ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	50
4.60	เปรียบเทียบค่า resistance primary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	50
4.61	ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	51
4.62	เปรียบเทียบค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	51
4.63	ค่า impedance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	52
4.64	เปรียบเทียบค่า impedance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน	52
4.65	ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	53
4.66	เปรียบเทียบค่า capacitance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน	53
4.67	ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	54
4.68	เปรียบเทียบค่า phase angle ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน	54
4.69	ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	55
4.70	เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน	55
4.71	ค่า inductance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	56
4.72	เปรียบเทียบค่า inductance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน	56
4.73	ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	57
4.74	เปรียบเทียบค่า quality factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน	57
4.75	ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	58
4.76	เปรียบเทียบค่า resistance primary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน	58
4.77	ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	59
4.78	เปรียบเทียบค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน	59
4.79	ค่า impedance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ	60
4.80	เปรียบเทียบค่า impedance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน	60
4.81	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า total soluble solid ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรในกลุ่ม calibration ของข้าวโพดหวานมีเปลือก	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่		หน้า
4.82	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า total soluble solid ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation ของข้าวโพดหวานมีเปลือก	63
4.83	coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย total soluble solid	64
4.84	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า total soluble solid ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรในกลุ่ม calibration ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก	66
4.85	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า total soluble solid ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก	67
4.86	regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย total soluble solid	68
4.87	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรในกลุ่ม calibration ของข้าวโพดหวานมีเปลือก	70
4.88	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation ของข้าวโพดหวานมีเปลือก	71
4.89	regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย texture	72
4.90	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรในกลุ่ม calibration ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก	74
4.91	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก	75
4.92	regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย texture	76
4.93	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรในกลุ่ม calibration ของข้าวโพดหวานมีเปลือก	78
4.94	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Moisture content ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก	79
4.95	regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย moisture content	80
4.96	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปร ในกลุ่ม calibration	82
4.97	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation	83
4.98	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปร ในกลุ่ม calibration	84
4.99	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่	หน้า	
ข.1	ไร่ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี2 ที่ไร่คุณฉัตรชัย ผ่องฤกษ์	165
ข.2	ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี2 ฝักสดที่เก็บเกี่ยวเมื่อครบกำหนด	165
ข.3	การเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี2 เมื่อถึงกำหนด	166
ข.4	ถ่ายภาพรวมกับทุกคนที่ไร่ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี2 ของคุณวิจารย์ พวงทับทิม	166
ข.5	ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี2 เมื่อปอกเปลือกแล้ว	167
ข.6	ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ จังหวัดนครราชสีมา	167
ข.7	เครื่อง photo sensor เพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสง	168
ข.8	เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า LCR800	168
ข.9	การวัดค่าทางไฟฟ้าของข้าวโพดหวานโดยแผงเหล็กยึดด้วยสปริงต่อเข้ากับเครื่อง LCR800	169
ข.10	การวัดความหนาแน่นของข้าวโพดหวานโดยวิธียูเรก้า	169
ข.11	การอบลมร้อนข้าวโพดหวานเพื่อหา moisture content	170



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์คำย่อและอักษรย่อ

C0.012	= capacitance ที่ความถี่ 0.012 kHz
C0.05	= capacitance ที่ความถี่ 0.05 kHz
C0.1	= capacitance ที่ความถี่ 0.1 kHz
C0.5	= capacitance ที่ความถี่ 0.5 kHz
C1	= capacitance ที่ความถี่ 1 kHz
C5	= capacitance ที่ความถี่ 5 kHz
C10	= capacitance ที่ความถี่ 10 kHz
C50	= capacitance ที่ความถี่ 50 kHz
C100	= capacitance ที่ความถี่ 100 kHz
C200	= capacitance ที่ความถี่ 200 kHz
L0.012	= inductance ที่ความถี่ 0.012 kHz
L0.05	= inductance ที่ความถี่ 0.05 kHz
L0.1	= inductance ที่ความถี่ 0.1 kHz
L0.5	= inductance ที่ความถี่ 0.5 kHz
L1	= inductance ที่ความถี่ 1 kHz
L5	= inductance ที่ความถี่ 5 kHz
L10	= inductance ที่ความถี่ 10 kHz
L50	= inductance ที่ความถี่ 50 kHz
L100	= inductance ที่ความถี่ 100 kHz
L200	= inductance ที่ความถี่ 200 kHz
Z0.012	= impedance ที่ความถี่ 1 kHz
Z0.05	= impedance ที่ความถี่ 1 kHz
Z0.1	= impedance ที่ความถี่ 1 kHz
Z0.5	= impedance ที่ความถี่ 1 kHz
Z1	= impedance ที่ความถี่ 1 kHz
Z5	= impedance ที่ความถี่ 1 kHz
Z10	= impedance ที่ความถี่ 1 kHz
Z50	= impedance ที่ความถี่ 1 kHz
Z100	= impedance ที่ความถี่ 1 kHz
Z200	= impedance ที่ความถี่ 1 kHz
R1-0.012	= resistance primary ที่ความถี่ 0.012 kHz
R1-0.05	= resistance primary ที่ความถี่ 0.05 kHz
R1-0.1	= resistance primary ที่ความถี่ 0.1 kHz
R1-0.5	= resistance primary ที่ความถี่ 0.5 kHz
R1-1	= resistance primary ที่ความถี่ 1 kHz
R1-5	= resistance primary ที่ความถี่ 5 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R1-10	= resistance primary ที่ความถี่ 10 kHz
R1-50	= resistance primary ที่ความถี่ 50 kHz
R1-100	= resistance primary ที่ความถี่ 100 kHz
R1-200	= resistance primary ที่ความถี่ 200 kHz
R2-0.012	= resistance secondary ที่ความถี่ 0.012 kHz
R2-0.05	= resistance secondary ที่ความถี่ 0.05 kHz
R2-0.1	= resistance secondary ที่ความถี่ 0.1 kHz
R2-0.5	= resistance secondary ที่ความถี่ 0.5 kHz
R2-1	= resistance secondary ที่ความถี่ 1 kHz
R2-5	= resistance secondary ที่ความถี่ 5 kHz
R2-10	= resistance secondary ที่ความถี่ 10 kHz
R2-50	= resistance secondary ที่ความถี่ 50 kHz
R2-100	= resistance secondary ที่ความถี่ 100 kHz
R2-200	= resistance secondary ที่ความถี่ 200 kHz
D0.012	= dissipation factor ที่ความถี่ 0.012 kHz
D0.05	= dissipation factor ที่ความถี่ 0.05 kHz
D0.1	= dissipation factor ที่ความถี่ 0.1 kHz
D0.5	= dissipation factor ที่ความถี่ 0.5 kHz
D1	= dissipation factor ที่ความถี่ 1 kHz
D5	= dissipation factor ที่ความถี่ 5 kHz
D10	= dissipation factor ที่ความถี่ 10 kHz
D50	= dissipation factor ที่ความถี่ 50 kHz
D100	= dissipation factor ที่ความถี่ 100 kHz
D200	= dissipation factor ที่ความถี่ 200 kHz
Q0.012	= quality factor ที่ความถี่ 0.012 kHz
Q0.05	= quality factor ที่ความถี่ 0.05 kHz
Q0.1	= quality factor ที่ความถี่ 0.1 kHz
Q0.5	= quality factor ที่ความถี่ 0.5 kHz
Q1	= quality factor ที่ความถี่ 1 kHz
Q5	= quality factor ที่ความถี่ 5 kHz
Q10	= quality factor ที่ความถี่ 10 kHz
Q50	= quality factor ที่ความถี่ 50 kHz
Q100	= quality factor ที่ความถี่ 100 kHz
Q200	= quality factor ที่ความถี่ 200 kHz
θ 0.012	= phase angle ที่ความถี่ 0.012 kHz
θ 0.05	= phase angle ที่ความถี่ 0.05 kHz
θ 0.1	= phase angle ที่ความถี่ 0.1 kHz
θ 0.5	= phase angle ที่ความถี่ 0.5 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

θ 1	= phase angle ที่ความถี่ 1 kHz
θ 5	= phase angle ที่ความถี่ 5 kHz
θ 10	= phase angle ที่ความถี่ 10 kHz
θ 50	= phase angle ที่ความถี่ 50 kHz
θ 100	= phase angle ที่ความถี่ 100 kHz
θ 200	= phase angle ที่ความถี่ 200 kHz
min	= Minimum
max	= Maximum
n	= จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก
pk	= Peak
Average	= ค่าเฉลี่ยของ TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก
CmnRI	= resistance of the rind at the minimum
CmxRI	= resistance of the rind at the maximum
CS	= The cross section of the stem
GMD	= Geometric Mean Diameter
LP	= The lower stem
MC	= moisture content
MLR	= multiple linear regression
PC	= (principal component) องค์ประกอบหลัก
PSL	= partial least squares regression
R^2	= Coefficient of determination
RI	= The rind
RMSEC	= Root Mean Square Error of calibration
RMSEV	= Root Mean Square Error of validation
RpkRI	= resistance of the rind at the peak
SEC	= standard error of calibration
SD	= (standard deviation) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก
SPSS	= Statistical Package for the Social Science for Windows
SEV	= standard error of validation
Tex	= texture
TSS	= total soluble solid
XmxRI	= reactance of the rind at the maximum
XpkRI	= reactance of the rind at the peak
ZmxLP	= Impedance of the lower stem at the maximum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดเพื่อการส่งออกไปยังต่างประเทศในแต่ละปีค่อนข้างสูงมาก โดยระยะเวลา 4 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2556, พ.ศ.2557, พ.ศ.2558 และ พ.ศ.2559 (เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม) มูลค่าการส่งออกคิดเป็น 5,092.47 ล้านบาท, 6,410.44 ล้านบาท, 1,472.13 ล้านบาท และ 764.52 ล้านบาท (สำนักงานมาตรฐานสินค้านำเข้าส่งออก กรมการค้าต่างประเทศ, 2559) ข้าวโพดหวาน (sweet corn) จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ อายุการเก็บเกี่ยวสั้น ทำให้ปลูกได้ถึง 3 รุ่นตลอดทั้งปี นับได้ว่าการปลูกข้าวโพดหวานสามารถให้ผลตอบแทนแก่เกษตรกรผู้ปลูกค่อนข้างสูง และนอกจากนี้ยังปลูกได้ทั่วประเทศ สามารถจำหน่ายได้ทั้งตลาดบริโภคสดและส่งโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น เช่น ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋อง, ทำน้ำนมข้าวโพด, แปรรูปทำครีมข้าวโพดหวาน และข้าวโพดหวานแช่แข็ง เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้ สามารถส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน และกลุ่มประเทศในแถบยุโรป จะเห็นได้ว่า ในแต่ละปีข้าวโพดหวานทำรายได้ให้แก่ประเทศปีละหลายพันล้านบาท จึงกล่าวได้ว่าข้าวโพดหวานเป็นพืชเศรษฐกิจเพื่อการส่งออกที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ดังนั้นจำเป็นต้องมีการการสร้างความเชื่อมั่นในมาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวานให้มีความน่าเชื่อถือ ทั้งนี้ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะทำให้ข้าวโพดหวานที่เป็นวัตถุดิบจะมีคุณภาพที่ดีหรือไม่ดี ซึ่งควรที่จะเลือกเก็บเกี่ยวในระยะที่มีน้ำตาลสูงสุด หรือที่เรียกว่า ระยะน้ำนม (Decoteau, 2000) ถ้าเก็บเกี่ยวข้าวโพดก่อนหรือหลังช่วงเหมาะสมเพียง 1-2 วัน จะทำให้คุณภาพของฝักข้าวโพดไม่ได้มาตรฐานตามที่ตลาดและโรงงานอุตสาหกรรมต้องการและโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเก็บเกี่ยวแล้วยังไม่รีบนำส่งโรงงานโดยเร็ว จะทำให้เกิดการสูญเสีย น้ำ สูญเสียความหวานและทำให้เนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวโพดแข็ง ซึ่งจะส่งผลเสียต่อคุณภาพหลังจากการเก็บเกี่ยวก่อนนำไปแปรรูป ดังนั้นจะต้องจัดการขนส่งให้ถึงปลายทางเพื่อเข้ากระบวนการผลิตภายใน 24 ชั่วโมง (โครงการหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ด้านเกษตร เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว คู่มือนักส่งเสริมวิชาการเกษตร ข้าวโพด, 2551) ในทางปฏิบัติปัญหาการเก็บเกี่ยวแล้วเก็บไว้นาน อาจเกิดจากหลายสาเหตุ โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกของเกษตรกรที่ไม่ได้อยู่ภายใต้การดูแลของโรงงาน เช่น ขาดแคลนแรงงานทำให้ใช้เวลาในการเก็บเกี่ยวนาน เก็บเกี่ยวแล้วต้องกองสะสมไว้ก่อนให้มากพอ เพื่อจะได้ใช้รถบรรทุกขนขนส่งได้เต็มคันเพื่อส่งต่อมาที่โรงงาน นอกจากนี้บางพื้นที่ปลูกอยู่ไกลจากโรงงานจึงใช้เวลาการขนส่งนาน เหตุปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ทำให้วัตถุดิบที่ป้อนเข้าโรงงานจะมีระยะเวลาเก็บหลังการเก็บเกี่ยวไม่เท่ากัน ปนกันเข้ามาและโรงงานไม่สามารถตรวจได้ในทุกฝัก เมื่อโรงงานนำวัตถุดิบเหล่านี้เข้าไปในกระบวนการผลิต จึงมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำลงและคุณภาพไม่สม่ำเสมอเมื่อสินค้าส่งออกไปยังลูกค้าในต่างประเทศ ก็จะมีผลกระทบต่อรวมในคุณภาพของสินค้าที่ผลิตจากประเทศไทย สำหรับการตรวจสอบความสดและคุณภาพวัตถุดิบข้าวโพดหวานของโรงงานจะทำการตรวจด้วยวิธีการสุ่มและต้องทำลายตัวอย่าง ดังนั้นถ้ามีเทคนิคการตรวจสอบความสดและคุณภาพที่สามารถตรวจวัตถุดิบได้ทั้งหมดแบบออนไลน์ เชื่อถือได้ เป็นแบบไม่ทำลาย และเป็นเทคนิคที่มีราคาไม่สูงจนเกินไป จะสามารถช่วยคัดแยกสารปนเปื้อนออกจากสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการค้าไม่อาจกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยกความสดและคุณภาพของวัตถุดิบทั้งหมดได้ตั้งแต่ต้น จะทำให้ช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีและมีความสม่ำเสมอได้ การพัฒนากระบวนการคัดแยกดังกล่าวนอกจากจะช่วยให้โรงงานสามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพแล้ว ยังจะสามารถยกระดับราคาของข้าวโพดหวานจากเกษตรกรตามคุณภาพให้สูงขึ้นได้อีกด้วย อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นให้เกษตรกรต้องพยายามรักษาและปรับปรุงคุณภาพของผลผลิตให้ได้อย่างต่อเนื่องเช่นกัน งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเทคนิควิเคราะห์พหุตัวแปรทางไฟฟ้าเพื่อใช้ในการตรวจสอบความสดและคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลาย โดยเทคนิคนี้เป็นวิธีการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้สำหรับการทำนายความสดและคุณภาพต่างๆของข้าวโพดหวานจากค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆที่ได้จากการวัดที่ระดับความถี่ต่างๆ โดยเทคนิคนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระบบออนไลน์ สามารถตรวจข้าวโพดหวานได้ในทุกๆฝักก่อนเข้ากระบวนการผลิต สามารถคัดแยกความสดและคุณภาพของข้าวโพดหวานก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต อันจะเป็นการช่วยสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ลูกค้าว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ เป็นการเสริมสร้างความเชื่อมั่นในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวานของประเทศไทย ภายใต้การแข่งขันทางการค้าที่สูงจำเป็นต้องผลิตสินค้าที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ และการที่ประเทศไทยได้เข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนยิ่งจำเป็นต้องพัฒนากระบวนการผลิตและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ก้าวทันต่อการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการคัดแยกคุณภาพ เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวานที่ส่งออกได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับในต่างประเทศ โดยผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะได้เทคนิคที่สามารถตรวจสอบความสดและคุณภาพของข้าวโพดหวานได้ในทุกๆฝักก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต สามารถนำไปใช้พัฒนาเพื่อออกแบบเป็นระบบตรวจสอบความสดและคัดแยกคุณภาพแบบออนไลน์ในลำดับต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) ความแน่นเนื้อ และความชื้นของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี-2 ตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวกับค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆในช่วงความถี่ 12 Hz - 200 KHz ได้แก่ ค่าความจุไฟฟ้า (capacitance), ค่าความเหนียวไฟฟ้า (inductance), ค่าความต้านทานไฟฟ้า (resistance), ค่าอิมพีแดนซ์ (impedance), ค่าตัวประกอบคุณภาพ (quality factor), ค่าตัวประกอบการแผ่กระจาย (dissipation factor) และ ค่ามุมเฟส (phase angle)

1.2.2 เพื่อให้ได้สมการพหุตัวแปรใช้ในการคัดแยกความสดและทำนายทำนายคุณภาพต่างๆของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี-2 ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) ความแน่นเนื้อ และความชื้น โดยใช้ค่าตัวแปรอิสระต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ (ค่าความจุไฟฟ้า, ค่าความเหนียวไฟฟ้า, ค่าความต้านทานไฟฟ้า, ค่าอิมพีแดนซ์, ค่าตัวประกอบคุณภาพ, ค่าตัวประกอบการแผ่กระจาย และ ค่ามุมเฟส) ในช่วงความถี่ 12 Hz - 200 KHz

1.2.3 เพื่อให้ได้สมการพหุตัวแปรใช้ในการคัดแยกความสดและทำนายทำนายคุณภาพต่างๆของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี-2 ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) ความแน่นเนื้อ และความชื้น โดยใช้ค่าตัวแปรอิสระต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆในช่วงความถี่ 12 Hz - 200 KHz ร่วมกับ ค่าการทะลุผ่านของแสง ค่าความหนาแน่น, ค่าสี, และค่าขนาดทางกายภาพ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 โดยผลที่ได้จากงานวิจัยสามารถสร้างสมการทำนายความสดและคุณภาพของข้าวโพดหวานเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการคัดคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลาย โดยจะสามารถถูกนำไปใช้พัฒนาเพื่อ
 1.3.2 โดยผลที่ได้จากงานวิจัยสามารถสร้างสมการทำนายความสดและทำนายทำนายคุณภาพต่างๆของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี-2 ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) ความแน่นเนื้อ และความชื้น โดยใช้ค่าตัวแปรอิสระต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ (ค่าความจุไฟฟ้า, ค่าความเหนียวไฟฟ้า, ค่าความต้านทานไฟฟ้า, ค่าอิมพีแดนซ์, ค่าตัวประกอบคุณภาพ, ค่าตัวประกอบการแผ่กระจาย และ ค่ามุมเฟส) ในช่วงความถี่ 12 Hz - 200 KHz
 1.3.3 โดยผลที่ได้จากงานวิจัยสามารถสร้างสมการทำนายความสดและทำนายทำนายคุณภาพต่างๆของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี-2 ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) ความแน่นเนื้อ และความชื้น โดยใช้ค่าตัวแปรอิสระต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆในช่วงความถี่ 12 Hz - 200 KHz ร่วมกับ ค่าการทะลุผ่านของแสง ค่าความหนาแน่น, ค่าสี, และค่าขนาดทางกายภาพ

ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบเป็นระบบตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพแบบออนไลน์ ไม่ทำให้เกิดความสูญเสียตัวอย่างในระบบการผลิต เพื่อประโยชน์ในระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมในการผลิตสินค้าให้เป็นที่ยอมรับ ได้มาตรฐาน และช่วยเพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตเกษตรได้

1.3.2 ได้ผลงานทางวิชาการและเขียนเป็นบทความตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติที่ปรากฏในฐานข้อมูลการจัดอันดับวารสาร SJR โดยวารสารนั้นถูกจัดอยู่ในควอไทล์ที่ 3 หรือ 4

1.3.3 การพัฒนากระบวนการผลิตด้วยการคัดแยกวัตถุดิบที่มีคุณภาพเข้าสายการผลิตจะช่วยให้โรงงานสามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ สามารถยกระดับราคาของข้าวโพดหวานจากเกษตรกรตามคุณภาพให้สูงขึ้น จะกระตุ้นให้เกษตรกรพยายามรักษาและปรับปรุงคุณภาพของผลผลิตให้ได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถยกระดับราคาวัตถุดิบข้าวโพดหวานได้อย่างยั่งยืน

1.4. ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะศึกษาคุณภาพของข้าวโพดหวานตามระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว แบ่งเป็นกลุ่มโดยแต่ละกลุ่มจะเป็นตัวอย่างที่มีเวลาหลังจากการเก็บเกี่ยว 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง ทำการวัดค่าตัวแปรอิสระต่างๆ ได้แก่ ค่าตัวแปรทางไฟฟ้าต่างๆในช่วงความถี่ 12 Hz – 200 KHz ที่สามารถวัดได้แบบไม่ทำลาย ได้แก่ ค่าความจุไฟฟ้า, ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า, ค่าความต้านทานไฟฟ้า, ค่าอิมพีแดนซ์, ค่าตัวประกอบคุณภาพ, ค่าตัวประกอบการแผ่กระจาย และ ค่ามุมเฟส ตลอดจนค่าตัวแปรอิสระอื่นๆ ได้แก่ ค่าการทะลุผ่านของแสง ค่าความหนาแน่น, ค่าสี, และค่าขนาดทางกายภาพ พร้อมทำการวัดค่าตัวแปรตามต่างๆ ได้แก่ ความสด ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ความแน่นเนื้อตลอดจนความชื้น เพื่อจะทำการสร้างสมการโดยใช้เทคนิควิเคราะห์พหุตัวแปร จะได้สมการเพื่อใช้ในการคัดแยกความสดและทำนายคุณภาพต่างๆของข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี-2 จากนั้นนำมาสมการที่ได้มาทดสอบความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวโพดหวาน

2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของข้าวโพด

ข้าวโพดหวาน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Zea mays L.* จัดอยู่ในวงศ์ Gramineae และอยู่ในสกุล *zea* โดยข้าวโพดจัดเป็นอาหารประเภทธัญพืช (cereal crops) ในประเทศไทยสามารถเพาะปลูกข้าวโพดได้ทุกภาคของประเทศไทย จังหวัดที่เป็นแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญได้แก่ ภาคเหนือ, จะมีแหล่งปลูกส่วนใหญ่ในจังหวัด เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะปลูกได้ที่จังหวัดหนองคาย นครพนม ภาคกลางจะปลูกได้ที่จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี นครปฐม สุพรรณบุรี ส่วนภาคใต้ จะปลูกได้ที่จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช โดยเกษตรกรจะปลูกข้าวโพดหวานในฤดูฝน ประมาณเดือน พฤษภาคม เก็บเกี่ยวเดือนกรกฎาคม และปลูกในเดือนสิงหาคม เก็บเกี่ยวเดือนตุลาคม สำหรับฤดูแล้งส่วนใหญ่จะปลูกในเดือนตุลาคม – พฤศจิกายน และเก็บเกี่ยวเดือน กุมภาพันธ์ – มีนาคม ของทุกปี (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2557)

2.1.2 การจำแนกข้าวโพด

ข้าวโพดในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ มีเมล็ดตั้งแต่สีขาว สีเหลือง ไปจนถึงสีแดง และขนาดของเมล็ดขึ้นอยู่กับพันธุ์ โดยทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.5-0.8 ซม. ข้าวโพดสามารถจำแนกได้ (โครงการหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ด้านเกษตร เจริญพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว คู่มือนักส่งเสริมวิชาการเกษตร ข้าวโพด, 2551) ดังนี้

2.1.2.1 จำแนกตามลักษณะของเมล็ด

2.1.2.1.1 Pod corn (ข้าวโพดปลา) เป็นข้าวโพดชนิดเก่าแก่พบที่มีการปลูกในแถบอเมริกากลางและอเมริกาใต้ ซึ่งเป็นถิ่นกำเนิดของข้าวโพด เมล็ด pod corn ทุกเมล็ดบนฝักจะมีเปลือกที่หุ้มเมล็ดอย่างมิดชิดเหมือนกับเมล็ดหญ้าและยังมีกาบหุ้มฝัก (husk) หุ้มอีกชั้นหนึ่ง เมล็ดภายในเปลือกมีสีต่างๆ หรือกลายเป็น pod corn ถูกควบคุมโดย gene “Tu” จัดอยู่ใน sib species tunicate

2.1.2.1.2 Pop corn (ข้าวโพดคั่ว) เป็นข้าวโพดที่มีแป้งอัดแข็งกันอย่างแน่นมาก มีแป้งอ่อนอยู่น้อย pop corn มักจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดหนา มีรูปร่างลักษณะของเมล็ดอยู่ 2 พวก คือ rice pop corn เมล็ดมีรูปร่างเรียวยาวแหลมคล้ายเมล็ดข้าว pearl pop corn เมล็ดมีลักษณะกลมเมื่อเมล็ดได้รับความร้อนจะมีการสร้างความดัน (pressure) ขึ้นภายในเมล็ด และระเบิดออกมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 25-30 เท่า ข้าวโพดคั่วจัดอยู่ใน sub species everta

2.1.2.1.3 Flint corn (ข้าวโพดหัวแข็ง) เป็นข้าวโพดที่มีลักษณะหัวแข็ง กล่าวคือ ด้านบนของเมล็ดมีแป้งแข็งเป็นองค์ประกอบทำให้หัว (crown) ของเมล็ดมีลักษณะเรียบ ส่วนแป้งอ่อนจะอยู่ภายในตรงกลางหรือไม่มีเลย เมื่อเมล็ดแข็งตัวจะไม่มีรอยบุบจึงเรียกว่าข้าวโพดหัวแข็ง flint corn ถูกควบคุมโดย gene “Fl” จัดอยู่ใน subspecies indurate มีสีต่างๆ ได้แก่ เหลือง เหลืองส้ม ขาว และดำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.1.4 Dent corn (ข้าวโพดหัวบุบ) เป็นข้าวโพดที่มีส่วนของแป้งอ่อนอยู่ด้านบนของเมล็ด ส่วนแป้งแข็งจะอยู่ด้านล่างและด้านข้าง เมื่อข้าวโพดแก่จะมีการสูญเสียความชื้นของเมล็ด ทำให้แป้งอ่อนหดตัว ด้านบนของเมล็ดจึงเป็นรอยบุบ ข้าวโพดชนิดนี้จึงถูกเรียกว่าข้าวโพดหัวบุบ มีหลายสีเช่นเดียวกับข้าวโพดหัวแข็ง dent corn จัดอยู่ใน subspecies indentata

2.1.2.1.5 Flour corn (ข้าวโพดแป้งอ่อน) เป็นข้าวโพดที่เมล็ดมีแป้งอ่อนเป็นองค์ประกอบเกือบทั้งหมด ส่วนแป้งแข็งเป็นชั้นบางๆ ข้างในเมล็ด เมื่อข้าวโพดแก่ การหดตัวของแป้งในเมล็ดจะเท่าๆ กัน โดยรอบ จึงคงรูปร่างเหมือนข้าวโพดหัวแข็งแต่มีลักษณะทึบแสง (opaque) flour ถูกควบคุมโดย recessive gene “fl” จัดอยู่ใน subspecies amylacea

2.1.2.1.6 Sweet corn (ข้าวโพดหวาน) เป็นข้าวโพดที่ส่วนน้ำตาลในเมล็ดเปลี่ยนเป็นแป้งไม่สมบูรณ์ ทำให้เมล็ดก่อนสุกแก่มีความหวานกว่าข้าวโพดชนิดอื่น และเมื่อแก่จะมีลักษณะเหนียว sweet corn ถูกควบคุมโดยคู่ของ recessive gene ที่แตกต่างกันหลายกลุ่ม ได้แก่ sugary “su” ข้าวโพดชนิดนี้เมล็ดจะใส ส่วนข้าวโพดหวานที่ควบคุมโดย gene shrunken 2 “sh2” และ brittle gene “bt” เมล็ดจะมีลักษณะขุ่น sweet corn จัดอยู่ใน subspecies saccharata

2.1.2.1.7 Waxy corn (ข้าวโพดเทียนและข้าวโพดข้าวเหนียว) เป็นข้าวโพดที่แป้งภายในเมล็ดเป็นชนิดแป้งอ่อนแต่มีความเหนียว เนื่องจากมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น amylopectin ที่โมเลกุลจับกันเป็นแบบ branch chain โดยมีสัดส่วนของแป้งชนิด amylopectin ต่อ amylase ประมาณร้อยละ 73:27 waxy corn ถูกควบคุมโดย gene “wx” จัดอยู่ใน subspecies certain

2.1.2.2 จำแนกตามองค์ประกอบหน่วยพันธุกรรม (gene) ที่ควบคุม

2.1.2.2.1 กลุ่มที่ควบคุมด้วยยีนซูการ์รี่ (sugary, su/su) ข้าวโพดหวานกลุ่มนี้มีปลูกในประเทศไทยมานาน มีความหวานเล็กน้อย มีน้ำตาลซูโครส (sucrose) ประมาณ 10.2 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จะมีซูโครสประมาณ 3.5 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดมีสีเหลืองอ่อน มีเปลือกหุ้มเมล็ดค่อนข้างเหนียว เวลารับประทานมักติดฟัน เมล็ดแก่จะเหนียวเนื่องจากมีแป้งในเมล็ดเพียง 28 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เมล็ดเกิดการยุบตัวมากขึ้น พันธุ์ข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ พันธุ์ฮีเหยี่ยว

2.1.2.2.2 กลุ่มที่ควบคุมด้วยยีนชริงเคน (shrunken, sh/sh หรือ sh2/sh2) ข้าวโพดหวานกลุ่มนี้มีความหวานสูงกว่าในกลุ่มแรก มีซูโครสประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อต้มและทิ้งไว้จนเย็นจะเหนียวเร็วกว่ากลุ่มแรก เมล็ดมีสีเหลืองส้ม เปลือกหุ้มเมล็ดเหนียวน้อยกว่ากลุ่มแรก เวลารับประทานมักไม่ค่อยติดฟันหรือมีติดอยู่บนซังเพียงเล็กน้อย เมล็ดแก่จะยุบตัวมากกว่าเพราะมีแป้งเพียง 18 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มนี้ เช่น พันธุ์อินทรี 2 พันธุ์เอทีเอส-2 หรือซูการ์ 74 ไฮบริกซ์ 5 และไฮบริกซ์ 10 เป็นต้น

2.1.2.2.3 กลุ่มที่ควบคุมด้วยยีนบริทเทิล (brittle bt/bt หรือ bt2/bt2) ข้าวโพดหวานในกลุ่มนี้จะมี ความหวานใกล้เคียงกับกลุ่มที่สอง เมล็ดมีสีเหลืองนวล เปลือกหุ้มเมล็ดบาง เวลารับประทานกัตหลุดจากซังได้ง่าย ไม่ติดฟันและมีความหวานกรอบมากกว่ากลุ่มอื่นๆ พันธุ์ที่มียีนบริทเทิลควบคุมความหวาน เช่น พันธุ์เอทีเอส-2 และซูการ์ 74

2.1.2.2.4 ในประเทศไทยข้าวโพดข้าวเหนียวหวานพันธุ์ขอนแก่นอาจอยู่ในประเภทนี้ได้ โดยมียีน sh2 เป็นพื้นฐานและมียีน su หรือ wx เป็นตัวเสริม ได้มีผู้นำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานประเภทนี้เข้ามาปลูกเหมือนกัน สังเกตง่ายๆคือ ฝักข้าวโพดอาจจะมีเมล็ด 2 สี คือ สีเหลืองและสีขาว โดยจะมีอัตราส่วน 75:25 ซึ่งนักปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานหรือวงการค้าเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานจะเรียกว่า bi-color แต่ถ้าจะพิสูจน์ให้แน่ชัดว่าข้าวโพดหวานนั้นเกิดจากยีนเสริมหรือไม่จะต้องนำฝักข้าวโพดหวานที่สงสัยนั้นมาตากให้แห้ง แล้วดูว่าเมล็ดที่แห้งแล้วเหมือนกันทั้งฝักหรือไม่ ถ้าเมล็ดที่แห้งแล้วเหมือนกันทั้งฝักแสดงว่าเป็นข้าวโพดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หวานชนิดยืนเดียว แต่ถ้าเมล็ดที่แห้งแล้วมีเมล็ดลีบมากๆ คล้ายข้าวโพดหวานพิเศษอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดลีบนี้เป็น double recessive ที่เหลืออีก 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเมล็ดข้าวโพดหวานธรรมดา แสดงว่าข้าวโพดหวานฝักนั้นเป็นข้าวโพดหวานที่เกิดจากยืนเสริม

2.1.2.2.5 กลุ่มที่เกิดจากยืนร่วม เนื่องจากข้าวโพดหวานธรรมดามีความร้อนน้อยและมีปัญหาอัตราความงอกต่ำในข้าวโพดหวานพิเศษ นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดหวานจึงได้พยายามนำยืนต่างๆ มาอยู่ร่วมกันในสภาพ homozygous recessive ที่ทุกๆ ตำแหน่ง (locus) เพื่อให้ได้ข้าวโพดหวานที่มีคุณภาพดีขึ้น คือ มีปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นและแก้ปัญหาในเรื่องอัตราการงอกต่ำ

อย่างไรก็ตามพันธุ์ข้าวโพดหวานที่นิยมปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นพันธุ์ที่ควบคุมความหวานด้วยยืน 2 ชนิด คือ ยืนขรังเคนและยืนบริทเทิล ซึ่งพันธุ์ทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว มีอัตราส่วนทางการตลาดใกล้เคียงกัน

2.1.3 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวโพด (ไสว, 2534)

2.1.3.1 เยื่อชั้นนอก (pericarp) เป็นเยื่อบางๆ หุ้มภายนอกเมล็ด ไม่มีชีวิต ไม่มีสี ซึ่งจะมีอยู่ประมาณ 5.3 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าวโพด

2.1.3.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (testa) หรือ true seed coat เป็นชั้นที่อยู่ใต้ pericarp โดย testa และ pericarp รวมกันเรียกว่า hull มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นพวกเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เยื่อหุ้มเมล็ดมีอัตราส่วนในเมล็ดข้าวโพดประมาณ 5.1-6 เปอร์เซ็นต์

2.1.3.3 เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) เป็นเยื่อบางๆ ที่อยู่ใต้เยื่อหุ้มเมล็ด ลูหุ้มส่วนของเอนโดสเปิร์มทั้งหมด ไม่มีสี ยากแก่การแยกออกจากเยื่อหุ้มเมล็ดหรือเยื่อชั้นนอก และยังเป็นที่สังเคราะห์เอนไซม์ที่สำคัญในการย่อยอาหารในเอนโดสเปิร์ม โดยเยื่อหุ้มเมล็ดมีอัตราส่วนในเมล็ดข้าวโพดประมาณ 2.2-3.3 เปอร์เซ็นต์

2.1.3.4 เอนโดสเปิร์ม (endosperm) เป็นส่วยที่เก็บสะสมอาหารของเมล็ด ส่วนใหญ่เป็นพวกแป้ง ซึ่งมีอยู่ประมาณ 82 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดข้าวโพด มีสีต่างๆ เช่น สีเหลือง สีขาว แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ แป้งอ่อน (soft starch) เป็นแป้งที่อยู่รวมกันอย่างเป็นหลวมๆ พบมากในส่วนบนหรือส่วนกลางของเมล็ดมีสีขาวขุ่น และแป้งแข็ง (hard starch) เป็นแป้งที่อยู่รวมกันแน่น พบด้านข้างและด้านบนของเมล็ด มีลักษณะค่อนข้างใส

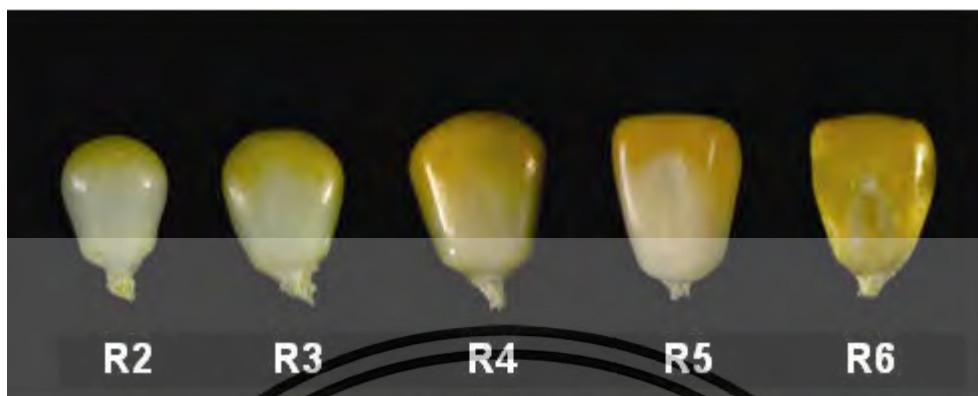
2.1.3.5 คัพพะ (embryo) มีลักษณะเป็นมัน (oil portion) อยู่ก่อนไปทางด้านล่างของเมล็ด ฝังตัวอยู่ทางด้านหนึ่งของเอนโดสเปิร์ม ประกอบด้วยแกนกลาง (centrl axis) ปลายข้างหนึ่ง คือ รากอ่อน (radical) ซึ่งมีเยื่อหุ้มรากอ่อน (coleorhizae) หุ้มไปอยู่ทางด้าน predicel อีกด้านหนึ่งเป็นส่วนของ stem tip ซึ่งมีใบอ่อน (embryonic leave) ประมาณ 5 ใบ ม้วนต่อกันเป็นกรวย และมีเยื่อหุ้มต้นอ่อน (coleoptiles) หุ้มด้านข้างของแกนกลางติดกับเอนโดสเปิร์ม scutellum (cotyledon) มีอัตราส่วนประมาณ 10-13 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ด และคัพพะมีอัตราส่วนประมาณ 1.1-2.0 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ด

2.1.4 ระยะเวลาเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดหวานจะมีคุณภาพดีและหวาน ไม่ว่าจะปลูกเป็นส่งโรงงานหรือจำหน่ายฝักสด ควรเลือกเก็บเกี่ยวในระยะที่มีน้ำตาลสูงสุด และคุณภาพดีที่สุด หรือระยะที่เรียกว่า ระยะน้ำนม (milk stage) หรือระยะ 16-20 วัน หลังออกไหม 50% ที่ระยะน้ำนม เมล็ดข้าวโพดหวานจะบวมโต มีรสหวาน ของเหลวภายในเมล็ดมีลักษณะคล้ายน้ำนม เมล็ดอ่อนนุ่มและมีขนาดใหญ่ ถ้าหากทำการเก็บเกี่ยวก่อนระยะนี้ จะส่งผลให้น้ำหนักน้อย ขนาดฝักเล็ก เมล็ดไม่เต็มฝักและขาดความหวาน แต่ถ้าเก็บเกี่ยวที่ระยะสุกแก่เกินไป ถึงแม้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้น้ำหนักของฝักเพิ่ม แต่น้ำตาลภายในเมล็ดจะเปลี่ยนไปเป็นแป้งมากขึ้น ส่งผลให้ความอ่อนนุ่มและความหวานของเมล็ดลดลง (Decoteau, 2000)



ภาพที่ 2.1 แสดงเมล็ดข้าวโพดในระยะเวลาเจริญเติบโตในแต่ละขั้น

ที่มา: IBSNAT (1988)

ในภาพที่ 2.1 แสดงระยะเวลาเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวโพด โดยที่ระยะเวลาเจริญเติบโต มีรายละเอียดดังนี้

- | | |
|---------------|---|
| R1 (silking) | ปรากฏไหมโผล่พ้นกาบหุ้มฝัก |
| R2 (blister) | เมล็ดบนฝักเริ่มมีของเหลวภายใน ใส่ใช้เวลา 10-14 วันหลังวันออกไหม |
| R3 (milk) | เมล็ดบนฝักปรากฏสีเหลือง, ภายในเมล็ดเป็นน้ำนมสีขาวใช้เวลา 18-22 วันหลังวันออกไหม |
| R4 (dough) | เมล็ดเริ่มเป็นแป้งใช้เวลา 24-28 วันหลังวันออกไหม |
| R5 (dent) | แป้งภายในเมล็ดหดตัวใช้เวลา 35-42 วันหลังวันออกไหม |
| R6 (maturity) | เมล็ดเกิดขึ้นเนื้อเยื่อสีดำ ที่ส่วนโคนของเมล็ดเมล็ดหยุดการเจริญเติบโต ใช้เวลาตั้งแต่ 45 วัน หลังวันออกไหม |

2.1.5 คุณภาพของข้าวโพดหวาน

องค์ประกอบที่บ่งบอกถึงคุณภาพของข้าวโพดหวาน ได้แก่ ความหวาน (sweetness) ความอ่อนนุ่ม (tenderness) เนื้อสัมผัส (texture) และปริมาณแป้ง (starch) ที่มีอยู่ในปริมาณต่ำ (Swiader et al., 1992) การบริโภคข้าวโพดหวานนั้น สามารถกระทำได้ 2 ทาง คือ กาบบริโภคฝักสด และการนำไปแปรรูป ซึ่งความต้องการลักษณะและคุณภาพก็จะแตกต่างกัน ในการบริโภคฝักสด สิ่งที่ต้องดูใจผู้บริโภคอันดับแรกก็คือ สีของเปลือกหุ้มฝักจะต้องมีสีเขียว และหุ้มจนถึงปลายฝัก เมื่อปอกเปลือก เมล็ดจะต้องเต็มฝัก มีจำนวนแถวของเมล็ดอย่างน้อย 16 แถว และมีการเรียงตัวที่เป็นระเบียบและตรงดังภาพ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) เรียงสม่ำเสมอ



(b) เรียงไม่สม่ำเสมอ

ภาพที่ 2.2 ลักษณะการเรียงของเมล็ดข้าวโพด

ที่มา: มาตรฐานสินค้าเกษตร (2555)

ส่วนการนำไปแปรรูป เช่น การบรรจุกระป๋อง จะต้องการพันธุ์ที่เปลือกหุ้มฝักสามารถลอกออกจากฝักได้ง่ายและไม่ติดฝัก ฝักรูปทรงกระบอก เมล็ดอ่อนนุ่มและมันเงา มีความยาวเมล็ดมากและตรงโคนเรียวเล็ก ทำให้หลุดออกจากฝักได้ง่าย และช่วยในการตัดเมล็ดให้ได้รูปทรงที่เหมาะสม ส่วนการแปรรูปเป็นครีมข้าวโพด จะคำนึงถึงลักษณะดังกล่าวลดลง โดยการแปรรูปทั้งบรรจุกระป๋องและครีมข้าวโพดสามารถเพิ่มรสชาติด้วยการเพิ่มน้ำตาล เพื่อให้มีความหวานและเพิ่มเกลือเพื่อให้รสชาติกลมกล่อมขึ้นได้ แต่ต่างจากการแช่แข็งฝักสด ที่คำนึงถึงความหวานในเมล็ดเป็นสำคัญ เนื่องจากเป็นการผลิตที่ไม่สามารถเพิ่มเติมความหวานและรสชาติใดๆ ได้อีก (Tracy, 2001)

ในประเทศไทย กรมวิชาการเกษตร (2543) ได้กำหนดลักษณะมาตรฐานของฝักข้าวโพดหวานที่โรงงานต้องการดังนี้

- เป็นฝักที่ได้จากต้นที่สมบูรณ์แข็งแรง ไม่มีรอยทำลายของโรคหรือแมลง
- ขนาดฝักสดปอกเปลือก ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4-5 เซนติเมตร ความยาว 12-18 เซนติเมตร น้ำหนัก 200-250 กรัมต่อฝัก
- ฝักรูปทรงกระบอก มีขนาดโคนและปลายฝักแตกต่างกันไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร
- เมล็ดเรียงเป็นระเบียบ 14 ถึง 16 แถว แถวหนึ่งมี 30-40 เมล็ด
- เส้นไหมควรหลุดจากเมล็ดได้ง่าย และไม่ติดค้างตามร่องเมล็ด
- สีเมล็ดสม่ำเสมอและตรงตามพันธุ์
- มีชั่งขนาดเล็ก
- ความหวานไม่ต่ำกว่า 14 °Brix ควรลดลงอย่างช้าๆ และคงความหวานได้ไม่ต่ำกว่า 36

ข้าวโพด
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรแบบไม่ทำลาย

สำหรับความหมายของ การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย หรือ nondestructive evaluation ซึ่งหมายถึง การตรวจสอบโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายใดๆกับวัตถุที่ถูกตรวจสอบ เมื่อวิธีการดังกล่าวถูกนำมาใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้สด ก็หมายถึงสามารถประเมินคุณภาพทั้งภายนอกและภายในของผลไม้โดยไม่จำเป็นต้องปอกเปลือกออกนั่นเอง (สนธิสุข, 2556) การทดสอบคุณภาพด้วยการไม่ทำลาย เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบและวิเคราะห์ความเสียหาย หรือคุณสมบัติภายในวัสดุ ทั้งวัสดุวิศวกรรมและชีววัสดุ ในทางวิศวกรรมได้มีการนำเทคนิคนี้ไปใช้อย่างแพร่หลาย ในเชิงเกษตรกรรมได้นำมาประยุกต์ใช้ทั้งการวิเคราะห์คุณสมบัติภายใน และการตรวจความเสียหายของผลผลิตภายใน ซึ่งไม่อาจมองเห็นได้จากภายนอก เนื่องจากในปัจจุบันนี้ผลผลิตทางการเกษตรมีการส่งออกมากยิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรโดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพภายในแบบไม่ทำลายขึ้นมาหลายเทคนิค เพื่อทดแทนการใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างผลผลิตมาผ่าตรวจสอบ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจอย่างแพร่หลายและเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพนี้ก็ได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง นับตั้งแต่เทคนิคที่ใช้เทคโนโลยีที่ไม่สลับซับซ้อน เช่น การใช้ค่าความถ่วงจำเพาะ ไปจนถึงเทคนิคที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น เทคนิค Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

2.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

2.3.1. ความนำไฟฟ้า (electrical conductivity)

Jha et al. (2011) กล่าวว่าความนำไฟฟ้าเป็นคุณสมบัติหนึ่งทางไฟฟ้าที่สำคัญเป็นส่วนกลับของค่าความต้านทานทางไฟฟ้า มีหน่วยเป็นซีเมนส์ต่อเมตร ความนำไฟฟ้าผันตรงกับอุณหภูมิและความชื้นในอาหาร กระบวนการหลายอย่างใช้หลักความนำไฟฟ้าเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมโดยเฉพาะกระบวนการให้ความร้อนแบบโอห์มมิก (ohmic heating) ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้อาหารสุกด้วยการผ่านกระแสไฟฟ้าสลับเข้าไปในอาหาร ในกระบวนการแช่เย็น-แช่แข็งก็มีการวัดค่าความนำทางไฟฟ้าเช่นกัน

2.3.2. ความต้านทานไฟฟ้า (resistance)

ความต้านทานไฟฟ้า เป็นการบอกคุณสมบัติของสารในการต้านกระแสไฟฟ้าที่จะผ่านได้มากน้อยเพียงใด โดยสารที่มีความต้านทานมาก กระแสจะผ่านไปได้น้อย ส่วนสารที่มีความต้านทานน้อย กระแสจะผ่านไปได้มาก (นิรันดร์, 2553)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อหาความต้านทานของลวดโลหะตามกฎของโอห์ม ทำให้ทราบว่า “ความต้านทานของลวดโลหะแปรผันตรงกับความยาวของลวด เมื่อพื้นที่ภาคตัดขวางของโลหะนั้นคงตัว และความต้านทานของลวดโลหะจะแปรผกผันกับพื้นที่ภาคตัดขวางของลวดโลหะเมื่อความยาวของลวดคงตัว” ทำให้สรุปเป็นสมการได้ว่า

$$R = \square \frac{l}{A} \quad (1)$$

เมื่อ R คือ ความต้านทาน มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ohm , Ω)

เมื่อ \square คือ ค่าสภาพต้านทาน (resistivity) มีหน่วยเป็นโอห์มเมตร ($\Omega.m$) เป็นค่าเฉพาะของสารหนึ่งๆ แปรผันตามอุณหภูมิ

เมื่อ l คือ ความยาวลวดโลหะ มีหน่วยเป็น เมตร

เมื่อ A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของลวดโลหะ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรหลายชนิดที่มีผลต่อความต้านทานไฟฟ้าเช่นความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ , ความชื้น , ความหนาแน่น , อุณหภูมิและโครงสร้างของอาหารนั้นๆ

2.3.3 การวัดค่าคุณสมบัติทางไดอิเล็กทริก

การวัดค่าต่างๆทางด้านไดอิเล็กทริกมีความสำคัญมากขึ้นเนื่องจากถือเป็นหนึ่งในเทคนิคการตรวจสอบโดยไม่ทำลายทั้งทางกายภาพและเคมี โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร เทคนิคการวัดมีหลายวิธี อาทิเช่น ใช้ความถี่ไมโครเวฟหลายความถี่ หรือวัดค่าการสะท้อนหรือดูดซับคลื่นความถี่ เรโซแนนซ์ หรืออาจจะวัดจากค่าความถี่ไฟฟ้าจากสายโคแอกเซียล (coaxial)

2.3.3.1. ความจุไฟฟ้า (capacitance)

ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีตัวแปรที่สำคัญอีกหนึ่งตัวคือ ค่าความจุไฟฟ้า (capacitance : C) มีหน่วยเป็น ฟารัด (Farad: F) ส่วนมากจะนิยมแสดงเป็น นาโนฟารัด (nF) และพิโคฟารัด (pF) หากต่อกับวงจรร่วมกับตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ ค่าความต่างศักย์ของตัวเก็บประจุ จะมีเฟสตามหลังตัวต้านทาน 90 องศา Roadstrum และ Wolaver (1994) กล่าวว่าตัวเก็บประจุส่วนมากแล้วทำจากแผ่นโลหะสองแผ่นที่วางขนานกันแต่มีระยะห่างที่เหมาะสม มีฉนวนซึ่งส่วนมากเป็นอากาศกั้นกลางสำหรับตัวเก็บประจุปรับค่าได้ และมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$C = \frac{A \epsilon_0}{d} \quad (2)$$

เมื่อ C คือ ค่าความจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นฟารัด

เมื่อ ϵ_0 คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant)

เมื่อ A คือ พื้นที่ในหน่วยตารางเมตร และ d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะเป็นเมตร

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant, ϵ_0) เป็นสมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties) ของวัสดุ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความมีขั้ว (polarity) ของวัสดุที่อุณหภูมิใดๆ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของอาหาร มีความสำคัญกับการออกแบบเครื่องจักรอุปกรณ์แปรรูปอาหาร กระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ วัสดุที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง จัดเป็นวัสดุไดอิเล็กทริก (dielectric material) มีความเป็นขั้ว (polar) สูง สามารถกักเก็บประจุไฟฟ้าไว้ จึงเป็นตัวนำไฟฟ้าไม่ดี หรือเป็นฉนวนไฟฟ้า ในแง่ของการทำละลาย ของเหลวที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง เช่น น้ำ จะสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการแตกตัวของ electrolyte ในน้ำได้ง่าย สารที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกใกล้เคียงกันมักจะละลายซึ่งกันและกันได้

2.3.4. ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (inductance)

ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (inductance : L) เป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน่วยเป็นเฮนรี (Henry, H) หากต่อกับวงจรร่วมกับตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ ค่าความต่างศักย์ของตัวเก็บประจุ จะมีเฟสหน้าตัวต้านทาน 90 องศา

2.3.5.. อิมพีแดนซ์ (impedance)

อิมพีแดนซ์ (impedance : Z) หรือความต้านทานเชิงซ้อน มีหน่วยเป็นโอห์ม (ohm, Ω) เช่นเดียวกับความต้านทาน (R) หากว่าแตกต่างกันตรงที่อิมพีแดนซ์เป็นผลรวมของความต้านทานทั้งจากตัวต้านทาน รวมกับตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ มีความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = V / I \quad (3)$$

เมื่อ Z คือ ค่าอิมพีแดนซ์ มีหน่วยเป็น โอห์ม
 เมื่อ V คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt , V)
 เมื่อ I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere ,A)

หรือสามารถเขียนในรูปแบบจำนวนเชิงซ้อนได้เป็น $Z = R + Xi$

R (resistance) คือค่าความต้านทานจากตัวต้านทาน ส่วน X (reactance) คือค่าความต้านทานจากตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ โดยปกติแล้วค่าความต้านทานจากตัวต้านทาน (resistance) เป็นค่าที่ใช้ในวงจรกระแสตรง ส่วนค่า reactance จะเป็นส่วนหนึ่งของค่าอิมพีแดนซ์ จะเป็นตัวก่อให้เกิดมุมเฟส (phase angle) ระหว่างค่าความต่างศักย์และกระแสในวงจร เครื่องหมายของ reactance จะเป็นลบถ้าในวงจรมีตัวเก็บประจุ และจะเป็นบวกเมื่อวงจรมีตัวเหนี่ยวนำ (Roadstrum and Wolaver, 1994)

หากจะวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ด้วยกฎของโอห์มจะได้รับความสัมพันธ์ดังนี้

$$Z = (R^2 + (1/(2 \times \pi \times f \times C))^2 + (2 \times \pi \times f \times L)^2)^{1/2} \quad (4)$$

การประยุกต์ใช้อิมพีแดนซ์ด้านวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวอิมพีแดนซ์ได้ถูกนำไปใช้ในการตรวจสอบผลผลิตทางการเกษตร ภายใต้ชื่อว่า Electrical Impedance Spectroscopy (EIS) ถือเป็นเทคนิคหนึ่งที่นักวิจัยสมัยใหม่ หลายท่านให้ความสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการทำแห้ง และการคัดแยกผลไม้

2.3.6. ค่า quality factor (Q) และ dissipation factor (D)

Hambley (2005) กล่าวว่าค่า quality factor คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุที่ความถี่เรโซแนนซ์ต่อค่าความต้านทานดังสูตร

$$Q = (2 \times \pi \times f \times L) / R = 1 / (2 \times \pi \times f \times C \times R) \text{ และ } D = R / (2 \times \pi \times f \times L) = 2 \times \pi \times f \times C \times R \quad (5)$$

GW Instek (2011) แสดงให้เห็นว่าทั้งสองค่านี้มีหน้าที่วัดอัตราพลังงานที่ใช้ไประหว่างการวัด มีความสัมพันธ์กับความถี่ในการวัด โดยหากใช้พลังงานในการวัดน้อย ค่าquality factor (Q) จะสูง แต่ค่า dissipation factor (D) จะต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากใช้พลังงานในการวัดสูง ค่าquality factor (Q) จะต่ำ แต่ค่า dissipation factor (D) จะสูง

2.3.7. ค่ามุมเฟส (phase angle)

มุมเฟสนี้เป็นมุมระหว่างค่าความต้านทานหลัก กับค่าความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ + ตัวเก็บประจุ ในการวัดค่าอิมพีแดนซ์ มีหน่วยเป็นองศา

กล่าวโดยสรุปคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชีววัสดุจะแตกต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ นั้นๆ เช่นปริมาณน้ำ หรือแร่ธาตุภายใน (Zywica et al., 2005)

2.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์พหุคูณและสมการถดถอยพหุคูณ

2.4.1 สหสัมพันธ์พหุคูณ (multiple correlation)

ความหมาย สหสัมพันธ์พหุคูณ (multiple correlation) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวและความสัมพันธ์นี้จะบอกให้ทราบว่าตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในระดับใด สหสัมพันธ์พหุคูณ ช่วยให้ทราบถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่เป็นไปได้สูงสุดระหว่างกลุ่มของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามนั้น เป็นสหสัมพันธ์อย่างง่าย (แบบ product-moment) ระหว่าง Y กับคะแนนพยากรณ์ Y ซึ่งเป็น linear combination ของกลุ่มตัวพยากรณ์ X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์การถดถอย คือ เพื่อพยากรณ์ตัวแปรหนึ่ง โดยใช้ค่าที่ทราบของตัวแปรอีกตัวหนึ่ง การพยากรณ์นี้อาศัยหลักการ เช่น $Y = a + bX$ ซึ่งมีไว้เพื่อประมาณค่าของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า Y เมื่อทราบค่าของตัวแปร X เรียกสมการนี้ว่า สมการการถดถอย เมื่อทราบสมการการถดถอย เราสามารถพยากรณ์ Y จากค่า X ที่กำหนดให้ สมการการถดถอยไม่เหมือนสมการทางคณิตศาสตร์ทั่วไป ในแง่ที่เราไม่สามารถจะมั่นใจกับค่าของ Y ที่ได้จากสมการการถดถอย เนื่องจากค่านี้มีการคลาดเคลื่อนและเป็นเพียงค่าประมาณของค่าที่แท้จริง (Y) เท่านั้น (บุญชม 2541)

2.4.2 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่ทำหน้าที่พยากรณ์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปกับตัวแปรตาม 1 ตัว เช่น ต้องการพยากรณ์ผลการเรียนของนักศึกษาแผนกคอมพิวเตอร์ (Y) โดยใช้ตัวพยากรณ์ 3 ตัว ประกอบด้วย ความสนใจของผู้เรียน (X_1) ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน (X_2) และคุณภาพการสอนของผู้สอน (X_3) เป็นต้น ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณนั้นจะต้องหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (multiple correlation coefficient) เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นจำนวนทั้ง 3 ตัวกับตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันเช่นใด สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ จะต้องหาสมการถดถอยเพื่อใช้ในการพยากรณ์ของตัวแปรตาม (Y) และหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน รวมทั้งหาค่าสหสัมพันธ์พหุคูณ (multiple correlation) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่เป็นไปได้สูงสุดระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม (บุญชม 2541)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่นำเอาเทคโนโลยีแบบต่างๆมาใช้ ประเมินคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลาย เช่น Kim et al. (2009) ทำการวัดความแน่นเนื้อของผลแอปเปิ้ลโดยวิเคราะห์จากสัญญาณเสียง (ultrasonic), Jamshidi et al. (2012) ทำการหานายரசชาติของส้มพันธุ์จ๊าวเลนเซียจากสัญญาณแสงช่วงสายตามองเห็นและช่วงใกล้อินฟราเรด (visible and near infrared), Zhang et al. (2012) ทำการประเมินความสุกของมะเขือเทศจากสัญญาณคลื่นแม่เหล็ก (magnetic resonance) เป็นต้น

มีการนำเอาเทคนิคการวิเคราะห์สมการจากตัวแปรหลายๆตัวแปรมาใช้ในการคัดแยกมังคุดเนื้อแก้ว ได้ความแม่นยำในการคัดแยกกลุ่มมังคุดปกติและมังคุดเนื้อแก้วรวม 78.9% (Teerachaichayut et al., 2008)

มีการนำเอาเทคนิคการวิเคราะห์สมการจากตัวแปรหลายตัวแปรมาใช้ในการคัดแยกระดับความสุกของมะม่วง ได้ความแม่นยำในการคัดแยกกลุ่มมะม่วงตามระดับความสุกรวม 89.0% (Wanitchang, et al., 2011)

มีงานวิจัยหลายงานที่นำเอาคุณสมบัติทางไฟฟ้ามาใช้ประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ Bhosale et al. (2014) ใช้การวัดความจุไฟฟ้าในการทำนายความแน่นเนื้อของแอปเปิ้ล, Zhu et al. (2012) ทำการศึกษาค่าไดอิเล็กทริกของผลไม้ต่างๆ เช่น แอปเปิ้ล, ลูกแพร์, องุ่น, ส้ม และสับปะรด พบว่าค่าไดอิเล็กทริกลดลงถ้าความถี่ไฟฟ้าสูงขึ้น ณ สภาวะที่อุณหภูมิค่าจะมีค่าไดอิเล็กทริกที่สูงกว่า, Yokochi and Ohkura (2014) พบว่า ค่าอิมพีแดนซ์มีความสัมพันธ์กับเวลา อุณหภูมิและความชื้นของวัสดุ และได้นำค่าอิมพีแดนซ์มาใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของชีววัสดุต่างๆ, Masut et al. (2010) ใช้เทคนิคการวัดค่าอิมพีแดนซ์ เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายปริมาณน้ำเกลือในหมูสับ พบว่าค่าอิมพีแดนซ์มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของน้ำเกลือ และได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำสำหรับการทำนาย โดยพิจารณาจากค่า coefficient of determination (R^2) เท่ากับ 0.934,

เมื่อพิจารณาเป็นอีกด้านหนึ่ง ผลของการใช้ประโยชน์ของเทคนิคการวิเคราะห์เหล่านี้ เมื่อผู้ผู้คิดค้นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zywica et al. (2005) ได้ศึกษาความเข้มข้นของน้ำแอปเปิ้ล โดยใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้าเช่น อิมพีแดนซ์, ความต้านทานไฟฟ้า และความนำไฟฟ้า พบว่าความเข้มข้นที่แตกต่างกันของน้ำแอปเปิ้ลจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเหล่านี้แตกต่างกัน, Ando et al. (2014) ได้ศึกษาผลกระทบต่อโครงสร้างเนื้อเยื่อของมันฝรั่งจากการทำแห้งโดยใช้อิมพีแดนซ์ พบว่าค่าอิมพีแดนซ์สามารถใช้ประมาณความเสียหายของเนื้อเยื่อได้, Kuson and Terdwongworakul (2013) ได้นำค่าอิมพีแดนซ์มาใช้ในการตรวจสอบความสุกของทุเรียน ได้ความแม่นยำในการคัดแยก 83.3%, Teerachaichayut, et al (2012) ได้ใช้ค่าความจุไฟฟ้ามาใช้ในการตรวจสอบอาการฟ้ามของผลส้มแบบไม่ทำลาย ได้ความแม่นยำในการคัดแยก 75.6%, นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำเทคนิคการวัดอิมพีแดนซ์ มาใช้ในการคัดแยกเมล็ดพันธุ์ถั่วที่ใช้ได้และใช้ไม่ได้โดยเปรียบเทียบกับปริมาณความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่ว (Repo et al., 2002) -มีการนำสัญญาณทางไฟฟ้าต่างๆมาใช้ในการวัดคุณลักษณะและคุณภาพของพืช (Ruiz-Altisent et al., 2010)

ศิริลักษณ์ (2549) ได้ทำงานวิจัยเพื่อประเมินระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน เพื่อให้ข้าวโพดมีปริมาณน้ำตาลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า ในฤดูฝน วันเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของพันธุ์ ATS5, HIBRIX10 และ CABARET คือวันที่ 17-20 วันหลังออกไหม โดยพันธุ์ ATS5 มีค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 15-15.3 °Brix, พันธุ์ HIBRIX10 มีค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 14.8-14.9 °Brix ส่วนพันธุ์ CABARET ค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 10.2-11.1 °Brix สำหรับการเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูหนาว วันเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของทุกพันธุ์ คือ วันที่ 18-21 วันหลังออกไหม โดยพันธุ์ ATS5 มีค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 14.8-15.2 °Brix, พันธุ์ HIBRIX10 มีค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 14.8-14.9 °Brix ส่วนพันธุ์ CABARET ค่าความหวานเฉลี่ยเท่ากับ 10.5-11.1 °Brix

ดังนั้นจะเห็นว่ายังมีงานวิจัยที่จะนำเทคนิควิเคราะห์พหุตัวแปรทางไฟฟ้ามาใช้ในการตรวจสอบความสดและคุณภาพของข้าวโพดหวานก่อนเข้ากระบวนการผลิตแบบไม่ทำลาย และจะทำให้ได้ข้อมูลเพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบการคัดเลือกคุณภาพแบบออนไลน์ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี

3.1.1 วัตถุประสงค์

จัดหาและคัดเลือกข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 จากไร่สุวรรณ จังหวัดนครราชสีมา โดยหักสดจากต้นเมื่ออายุครบได้เวลาการเก็บเกี่ยว จำนวน 24 ฝัก แบ่งเป็นกลุ่มๆ ละ 4 ฝัก แล้วเริ่มจับเวลา เพื่อตรวจสอบคุณภาพตามระยะเวลาการเก็บรักษา ทุก 6, 12, 18, 24, 30 และ 36 ชั่วโมง

3.1.2 สารเคมี

น้ำกลั่น

3.2 อุปกรณ์

เครื่อง LCR meter ยี่ห้อ GW Instek รุ่น LCR800

ชุดแผงแผ่นเหล็กยึดด้วยสปริง

เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Minolta รุ่น CR300

เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Metter Toledo New Classic รุ่น MF ML3002/01

เครื่อง Fruits Hardness Tester ยี่ห้อ Now รุ่น FHR-5

เครื่อง Tray Dry ยี่ห้อ Patch รุ่น 663

Tongue

ถาดอะลูมิเนียม

ตะแกรงของเครื่อง Tray Dry

เครื่อง Hand Refractometer ยี่ห้อ ATAGO N1 เบอร์ 4

เครื่องปั่น ยี่ห้อ Tefal รุ่น BL3051TH

ผ้าขาวบาง

ปิกเกอร์ ขนาด 400 ml

Dropper

ชามพลาสติก

มีด

เขียง

เวอร์เนียคาลิเปอร์ ยี่ห้อ MACON NO.2551 ขนาด 150x0.02 mm, 6"x1/1000 in

ถังน้ำยูเรก้า

กระบอกตวง ขนาด 250 ml

เครื่องวัดค่าการทะลุผ่านของแสง (Photo Sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของข้าวโพดหวานนั้นจะใช้ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 นับตั้งแต่เมื่อครบกำหนดวันเก็บเกี่ยว จากไร่สุวรรณจังหวัดนครราชสีมา จำนวน 48 ฝัก วัดคุณสมบัติภายนอกและคุณสมบัติภายใน แบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน

3.3.1 การวิเคราะห์สีโดยเครื่อง CR300

- 3.3.1.1 กดเปิดปุ่ม on เลือก All data clear เพื่อลบข้อมูลที่ค้างไว้
- 3.3.1.2. เลือก Calibrate จากนั้นนำเอาหัววัดไปยังที่แผ่นเทียบค่าทิ้งไว้ให้เครื่อง Calibrate
- 3.3.1.3. กด Color space select เพื่อเลือกการอ่านค่า เทียบค่าให้เท่ากับแผ่นเทียบค่า
- 3.3.1.4. นำหัววัดไปทาบกับบริเวณผิวของวัตถุโดยเลือกวัดทั้งหมด 3 ตำแหน่งโดยเลือกตำแหน่งบน กลาง และล่าง กดให้แนบสนิทไม่ให้มีแสงจากภายนอกเข้าไป แล้วจึงกดปุ่มวัดสี
- 3.3.1.5. กด Color space select เพื่อเลือกค่าที่ต้องการอ่าน และค่าที่ต้องการอ่านจะปรากฏบนหน้าจอเครื่อง
- 3.3.1.6. ค่า Chroma หรือ C^* ได้มากจากการวิเคราะห์สีโดยเครื่อง CR300 คำนวณได้จากสมการ (พิมพ์เพ็ญ, 2553)

$$C^* = \sqrt{(a^*{}^2) + (b^*{}^2)} \quad (3.1)$$



ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่อง Color meter รุ่น CR300

3.3.2 การวัดขนาด

การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย การกำหนดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ในการวัด ระยะด้านที่ยาวที่สุดหรือความยาว (length, L) ความกว้าง ซึ่งเป็นระยะสูงสุดของด้านที่ตั้งฉากกับความยาว (width, W) และความหนา (thickness, T) ซึ่งระยะสูงสุดที่ตั้งฉากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ L และ W ซึ่ง L, W และ T ไม่จำเป็นต้องตัดกันที่จุดเดียวกันแล้วนำมาคำนวณ ได้จากสมการ (Mohsenin, 1986)

เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต

$$GMD = (L \times W \times T) 1/3 \quad (3.2)$$

โดย L = ความกว้าง (ซม.)

W= ความยาว (ซม.)

T = ความหนา (ซม.)



ภาพที่ 3.2 เวอร์เนียคาลิเปอร์

3.3.3 การวัดค่าทางไฟฟ้า

3.3.3.1. นำขั้วโพลทหวนใส่ชุดแผงเหล็กที่ยึดด้วยสปริง

3.3.3.2. นำชุดแผงเหล็กต่อเข้ากับเครื่อง LCR 800

3.3.3.3. ต่อเครื่อง LCR 800 เข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการติดตั้งโปรแกรมเพื่อสามารถเก็บค่าได้อัตโนมัติ

3.3.3.4. ตั้งค่าเครื่องโดยการเลือกค่าความถี่ได้แก่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 KHz และเลือกประเภทค่าทางไฟฟ้าที่ต้องการวัด ได้แก่ capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factor และ phase angle

3.3.3.5. กดบันทึกผลที่วัดได้ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนความถี่และประเภทค่าทางไฟฟ้า



ภาพที่ 3.3 เครื่อง LCR800 ต่อกับแผงเหล็กยึดด้วยสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ปริมาตรและความหนาแน่น (วัดตามกฎของอาร์คิมิดีส ที่กล่าวว่า ปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมลงในน้ำย่อมเท่ากับน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ)

3.3.4.1. เติมน้ำลงไปให้เต็มถังโดยอุดรูทางออกของน้ำ

3.3.4.2. วางบนถั่งน้ำบนพื้นเรียบแล้วปล่อยให้น้ำไหลออกจนระดับน้ำพอดีกับรูทางออกของน้ำ

3.3.4.3. นำภาชนะมาเตรียมรับน้ำไว้บริเวณรูทางน้ำออก

3.3.4.4. ค่อยๆ ใส่ข้าวโพดหวานลงไปในถั่งน้ำ

3.3.4.5. เมื่อใส่ข้าวโพดหวานแล้ว รอจนกระทั่งน้ำหยุดไหลจากปลายรูทางออก วัดปริมาตรน้ำที่ไหลออก สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Actual volume} = \frac{M}{D} \quad (3.3)$$

โดย V = ปริมาตรของวัตถุ (cm³)

M = มวลของวัตถุ (kg)

D = ความหนาแน่น (kg/cm³)



ภาพที่ 3.4 วัดปริมาตรและความหนาแน่น

3.3.5 การวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Fruits Hardness Tester

3.3.5.1. ตั้งค่าเริ่มต้นให้เป็น 0 โดยการกดปุ่มด้านข้างเลื่อนลงมา ที่หน้าปัดเข็มจะชี้ไปที่เลข 0

3.3.5.2. ทำการกดปลายส่วนวัด (ลักษณะหัวแหลม) เจาะทะลุถึงกลางของเมล็ดตัวอย่างข้าวโพดหวาน โดยใช้แรงที่สม่ำเสมอ ลึกเป็นระยะ 3 มิลลิเมตร

3.3.5.3. ยกเครื่องมือวัดออกจากตัวอย่าง และอ่านค่าที่ได้จากการวัดที่หน้าปัด จดบันทึก

3.3.5.4. ทำซ้ำแบบเดิมโดยใช้แรงที่สม่ำเสมอทุกครั้งที่วัดที่หัว, กลาง และท้ายของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 เครื่อง Fruits Hardness Tester

3.3.6 ค่าความหวาน (ปริมาณของแข็งที่ละลายในสารละลายได้)

- 3.3.6.1. ก่อนนำตัวอย่างมาทดสอบโดยเครื่อง Refractometer หยดน้ำกลั่นลงในส่วนที่ใช้วัดค่าเพื่อ Calibrate อุปกรณ์ ค่าที่ได้จะต้องเป็น 0 ก่อน แล้วเช็ดออกให้แห้ง
- 3.3.6.2. หลังจากนั้นจึงหยดน้ำข้าวโพดหวานที่ได้จากการคั้นและกรองลงไป และอ่านค่าที่ได้ โดยวัดทั้งหมด 3 ครั้ง
- 3.3.6.3. จดบันทึกทุกครั้ง



ภาพที่ 3.6 เครื่อง refractometer

3.3.7 Moisture content

- 3.3.7.1. นำข้าวโพดหวานทั้งฝักใส่ถาด
- 3.3.7.2. นำเข้าเครื่องอบแห้งชนิด tray dry อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ประมาณ 72 ชั่วโมง
- 3.3.7.3. นำข้าวโพดหวาน ที่ผ่านการอบแล้วมาชั่งน้ำหนัก เพื่อหา moisture content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3.4)$$

โดย M = ค่าความชื้น (%)
 W_1 = น้ำหนักก่อนอบ (g)
 W_2 = น้ำหนักหลังอบ (g)



ภาพที่ 3.7 เครื่อง Tray dry

3.3.8 วัดค่าการดูดกลืนแสงโดย Photo sensor

- 3.3.8.1. นำขั้วโพลีโพรพิลีนที่ใส่เครื่อง photo sensor ที่ต่อเข้ากับเครื่อง LCR800 เพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสง
- 3.3.8.2. เลือกค่าทางไฟฟ้าที่วัดเป็นค่า Z (k Ω) เลือกความถี่ 200 KHz
- 3.3.8.3. กดเปิดไฟที่เครื่อง Photo sensor และกด start ที่เครื่อง LCR800
- 3.3.8.4. จดบันทึกค่า ควรปิดไฟทุกครั้งเมื่อวัดเสร็จ



ภาพที่ 3.8 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (photo sensor) ต่อเข้ากับเครื่อง LCR800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

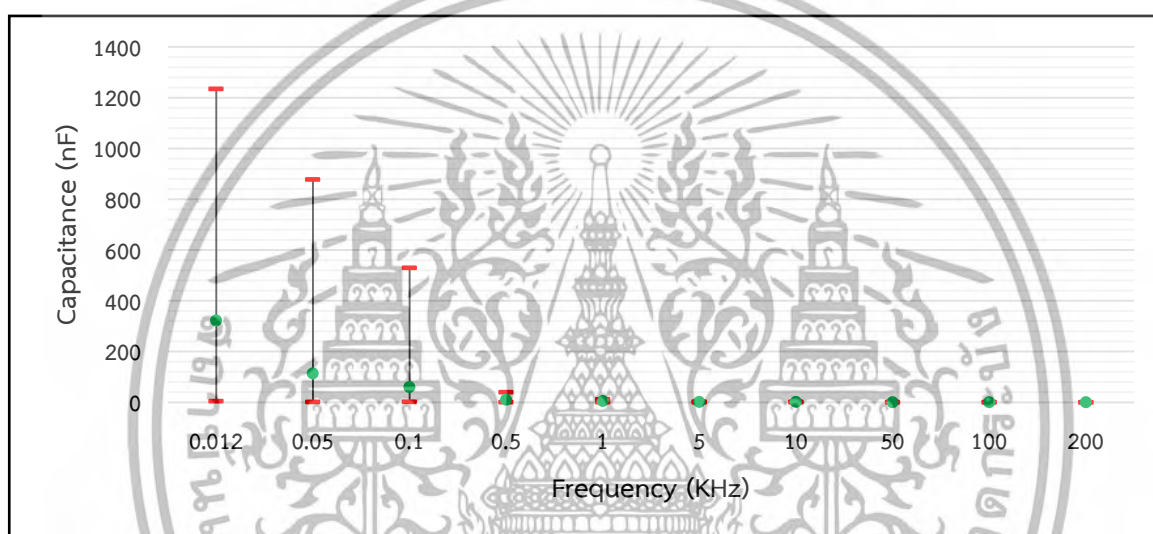
ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 4.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าทางไฟฟ้ากับคุณสมบัติต่างๆของข้าวโพดหวาน

4.1.1 total soluble solids (TSS) ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

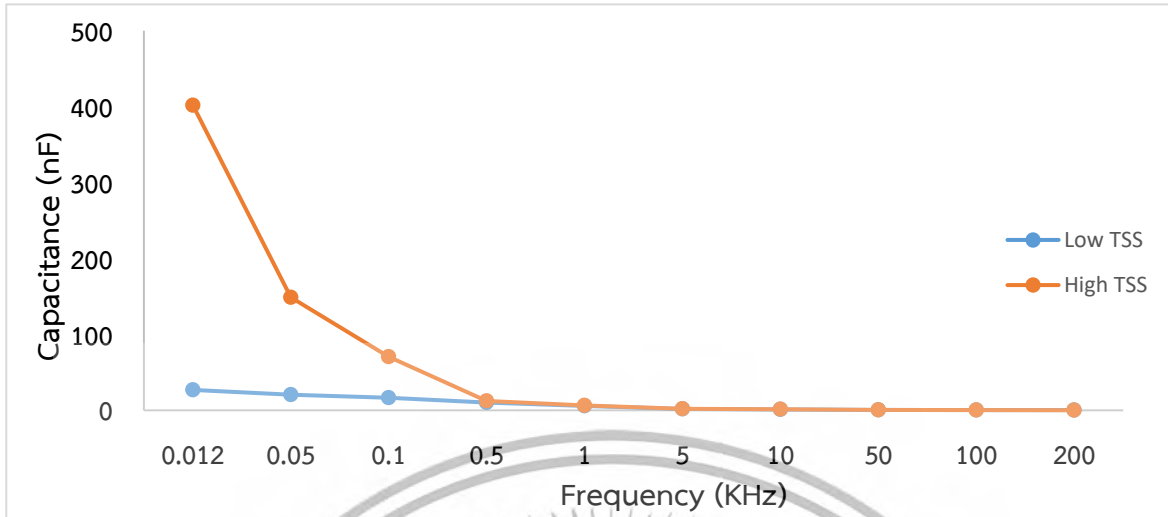
นำข้าวโพดหวานทั้งฝักพร้อมเปลือกมาวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆจากนั้นนำตัวอย่างข้าวโพดหวานมาแยกเมล็ดและคั้นน้ำ จากนั้นตรวจวัดค่า total soluble solids จากตัวอย่างทั้งหมดแบ่งกลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูง และ TSS ต่ำ เพื่อจะเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่าทางไฟฟ้า

4.1.1.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solids (TSS) กับ capacitance



ภาพที่ 4.1 ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ
ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยตั้ง
แสดงในภาพที่ 4.1

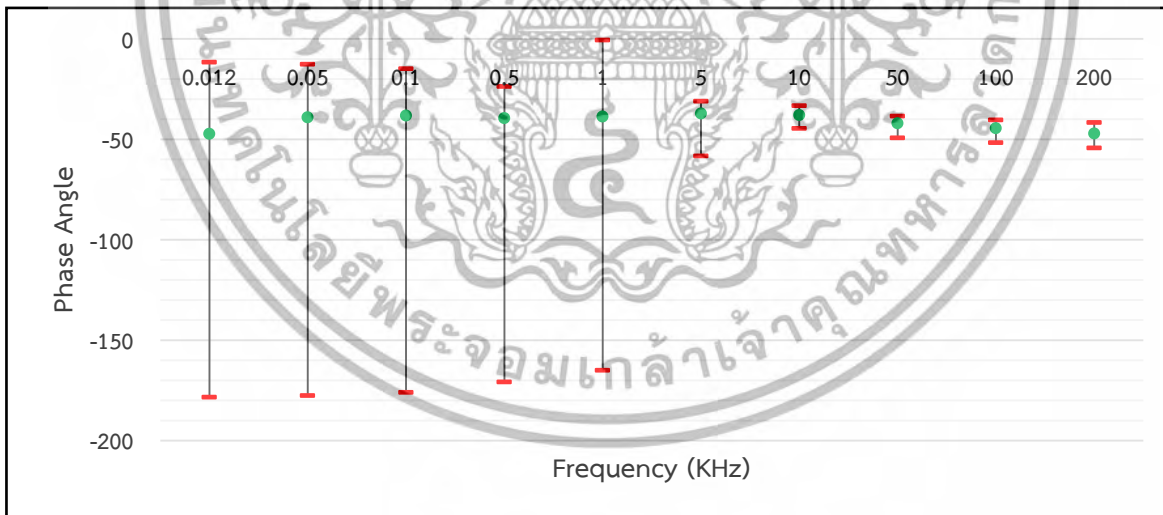
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า capacitance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงจะมีค่า capacitance ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.2

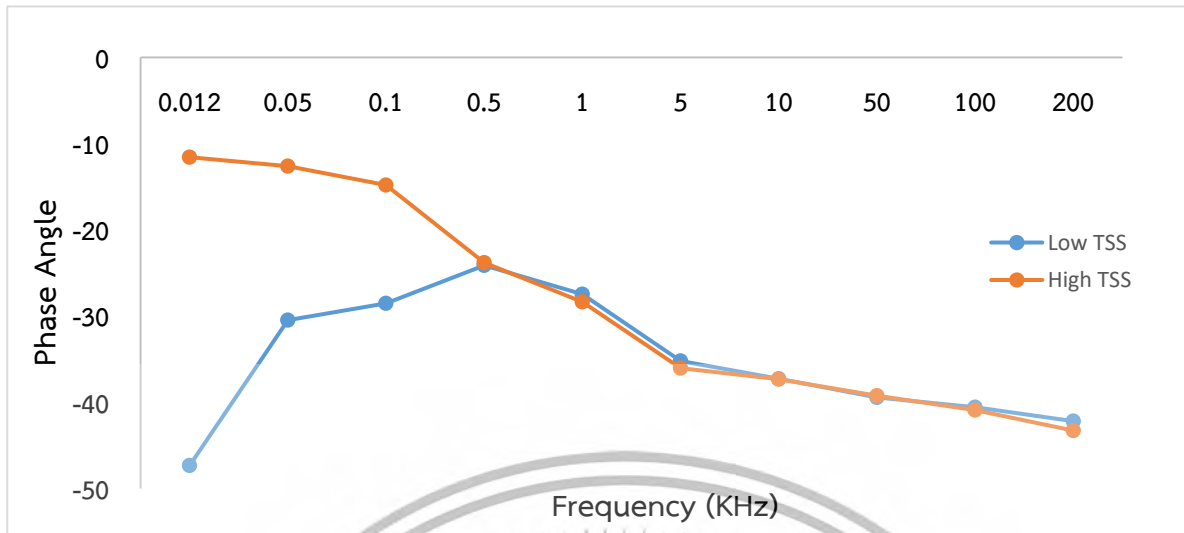
4.1.1.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ phase angle



ภาพที่ 4.3 ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.3

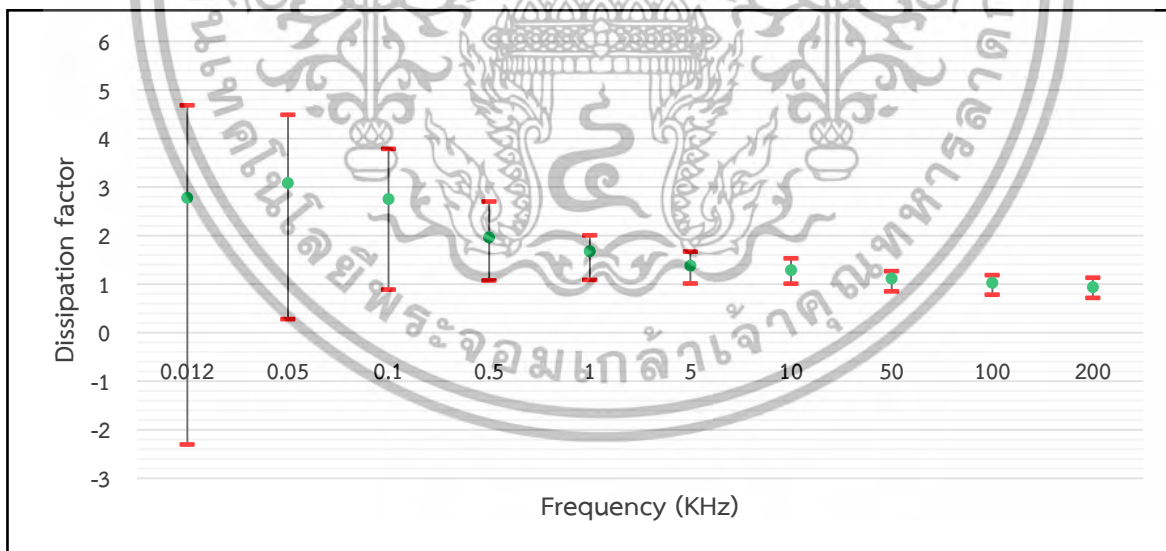
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า phase angle ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงจะมีค่า phase angle ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.4

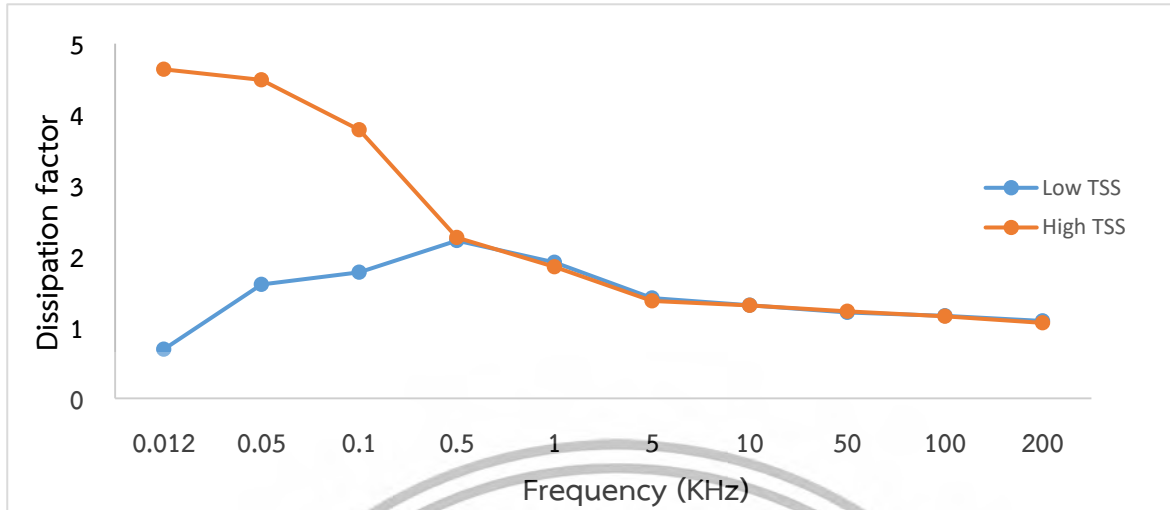
4.1.1.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ dissipation factor



ภาพที่ 4.5 ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 4.5

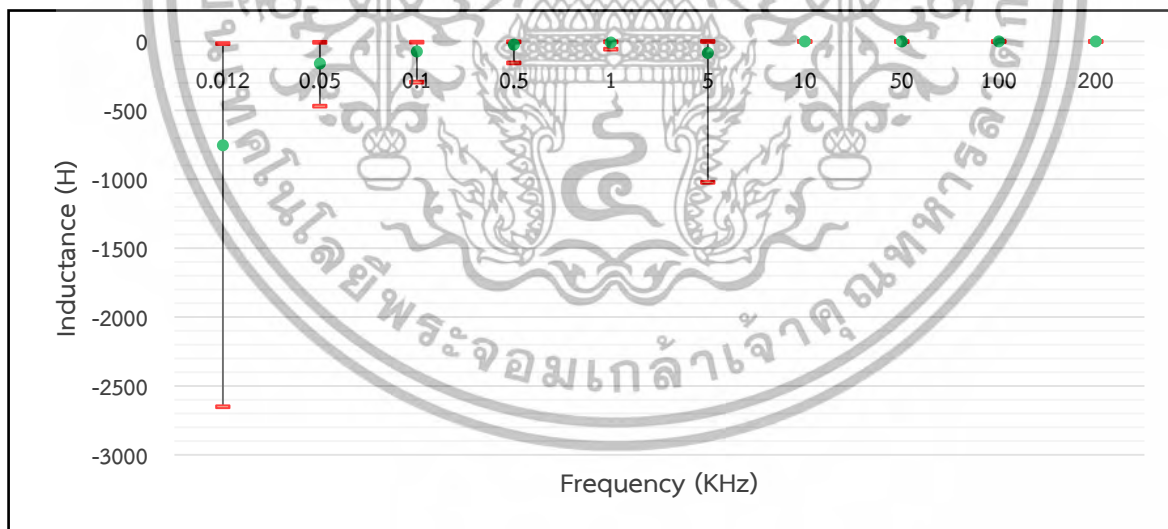
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงจะมีค่า dissipation factor ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.6

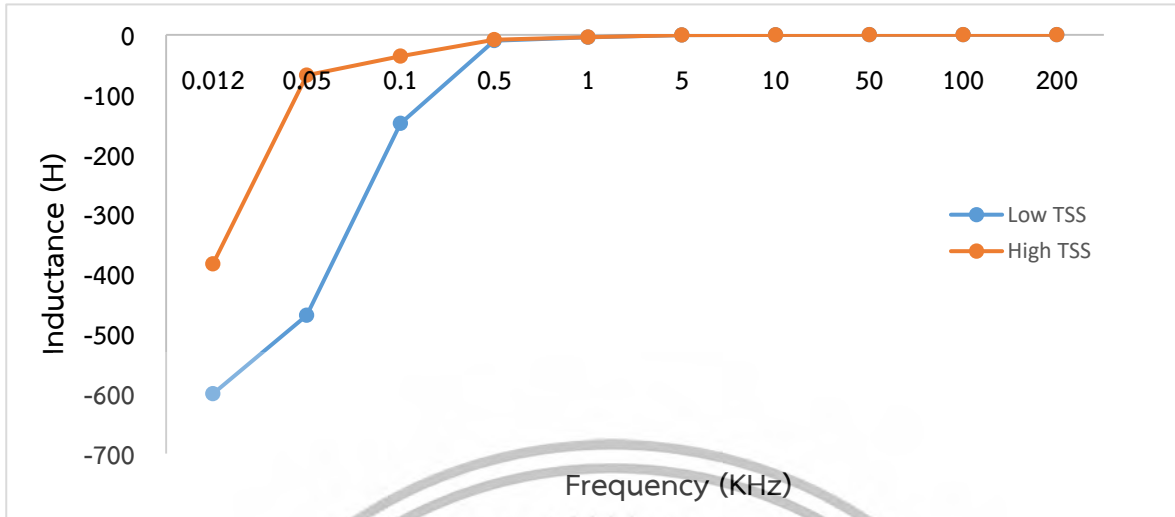
4.1.1.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ inductance



ภาพที่ 4.7 ค่า inductance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

ค่า inductance ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.7

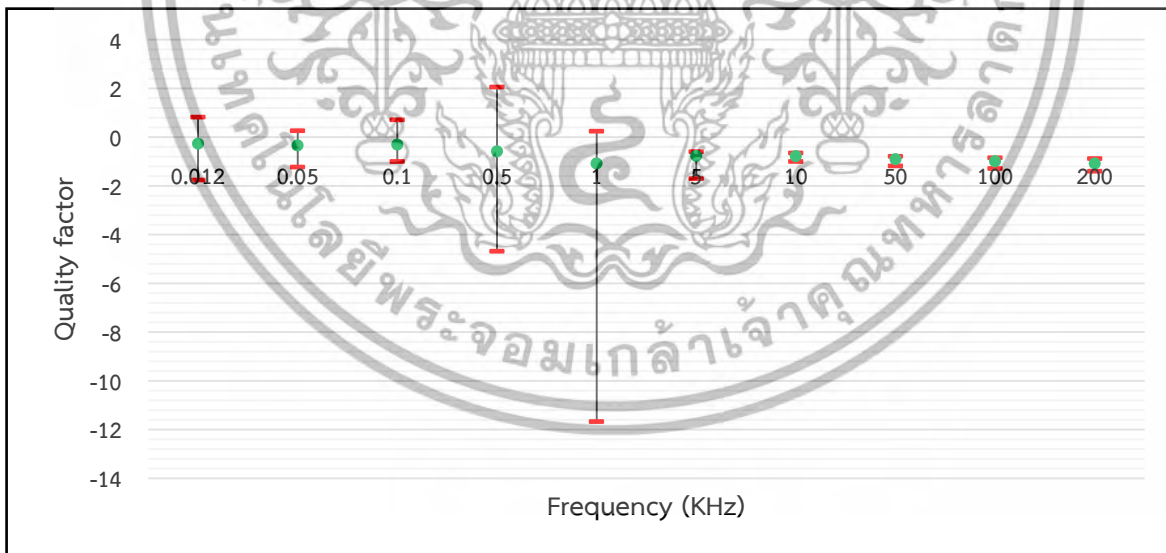
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบค่า inductance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงจะมีค่า inductance ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.8

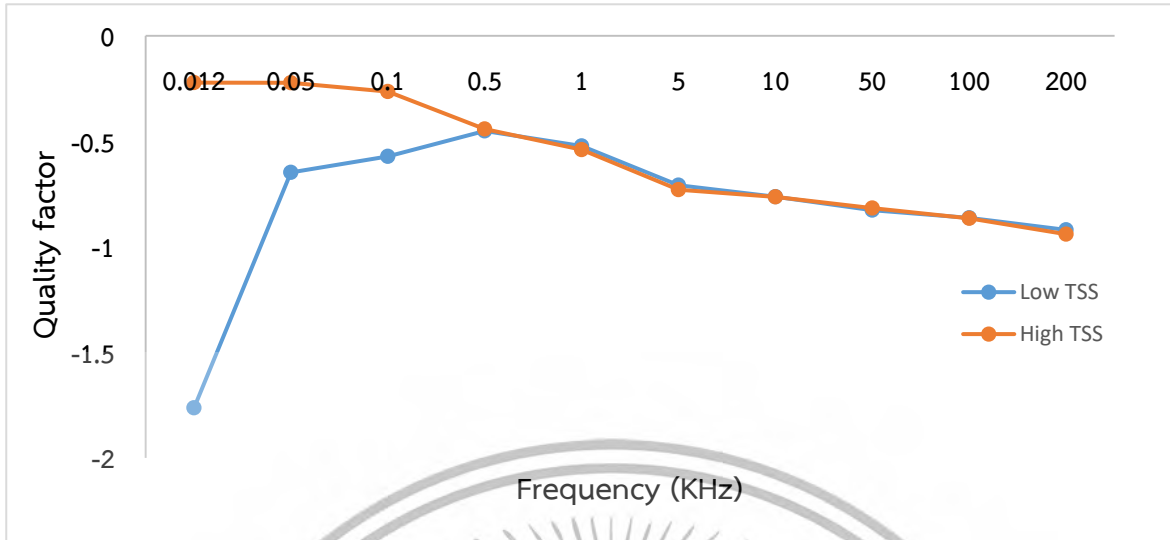
4.1.1.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ quality factor



ภาพที่ 4.9 ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.9

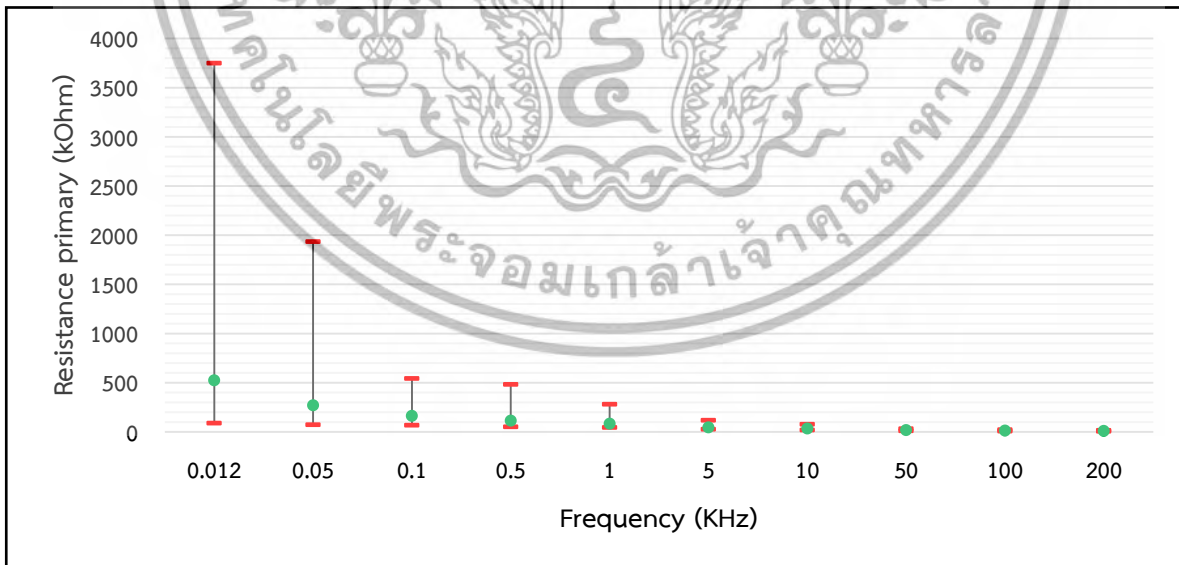
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบค่า quality factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงจะมีค่า quality factor ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.10

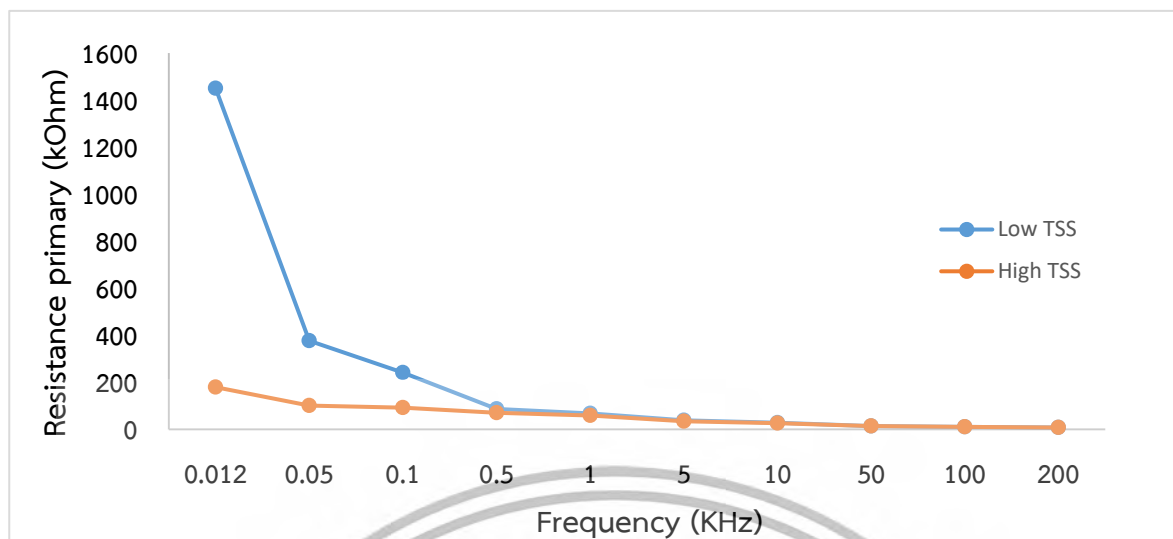
4.1.1.6 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ resistance primary



ภาพที่ 4.11 ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 4.11

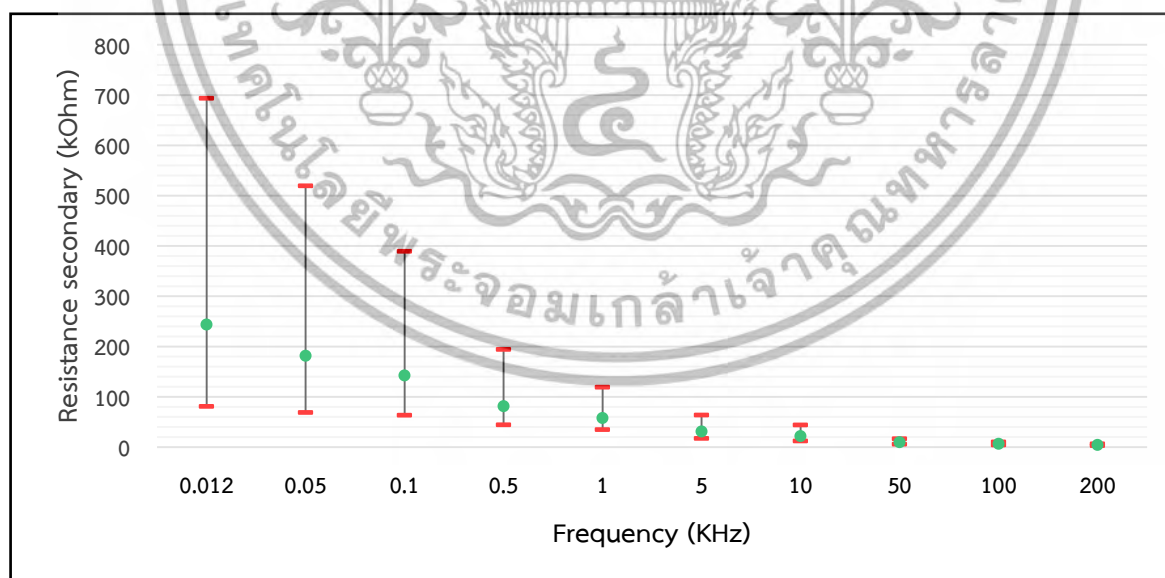
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบค่า resistance primary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่ำจะมีค่า resistance primary ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.12

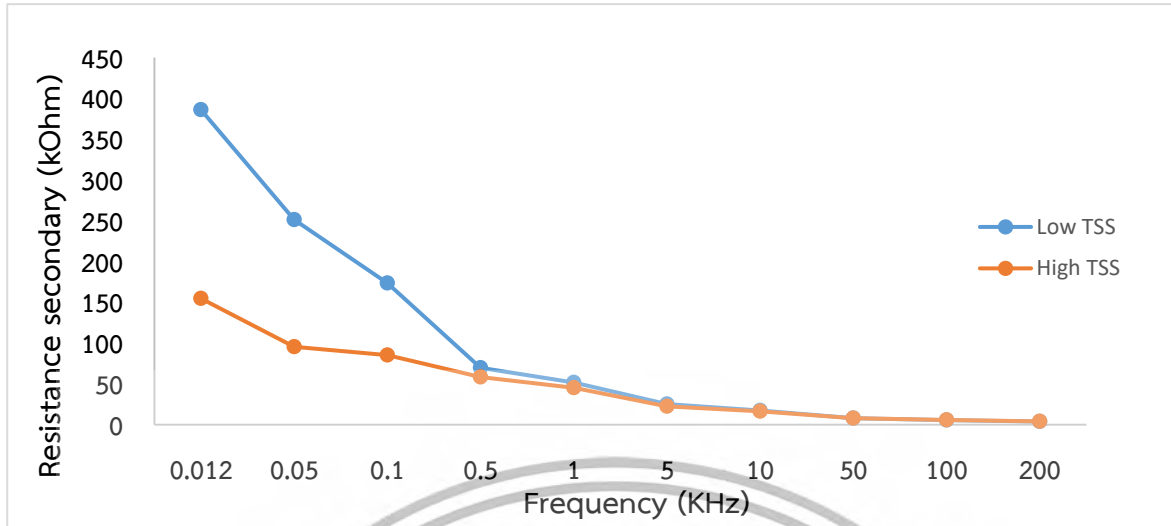
4.1.1.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ resistance secondary



ภาพที่ 4.13 ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.13

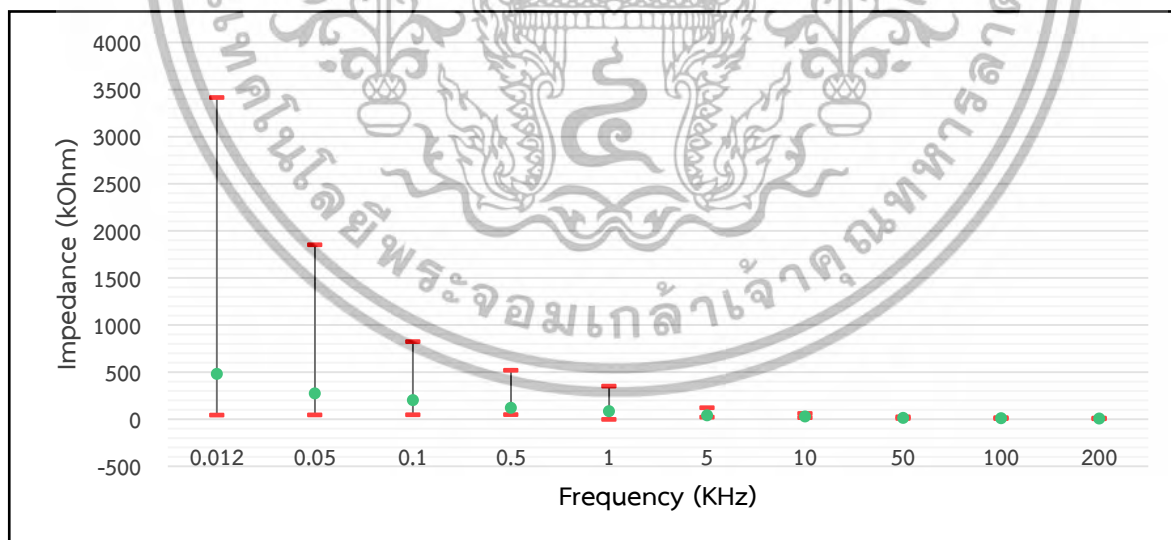
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่ำจะมีค่า resistance secondary ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.14

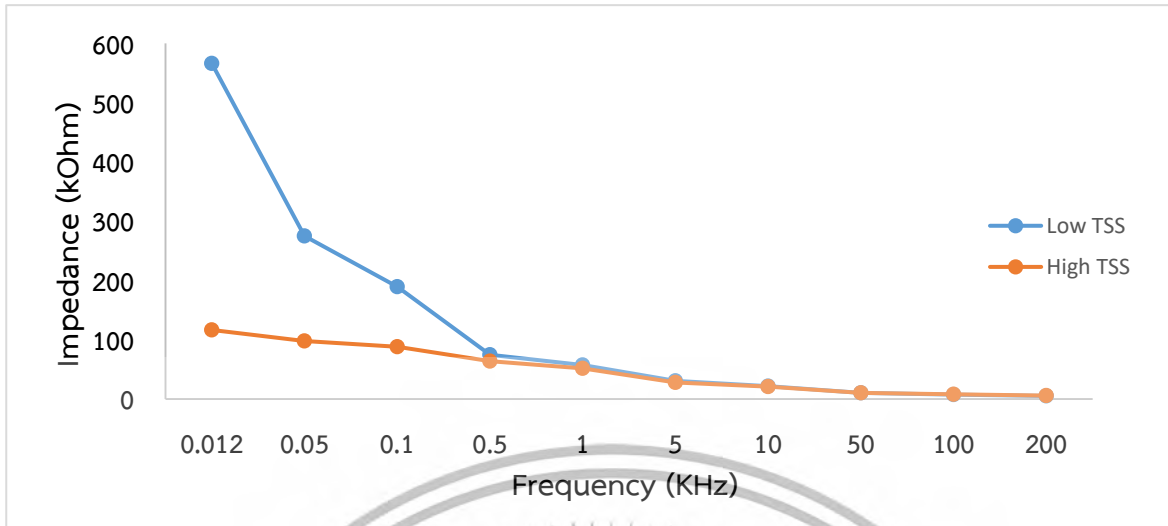
4.1.1.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ impedance



ภาพที่ 4.15 ค่า impedance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

ค่า impedance ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

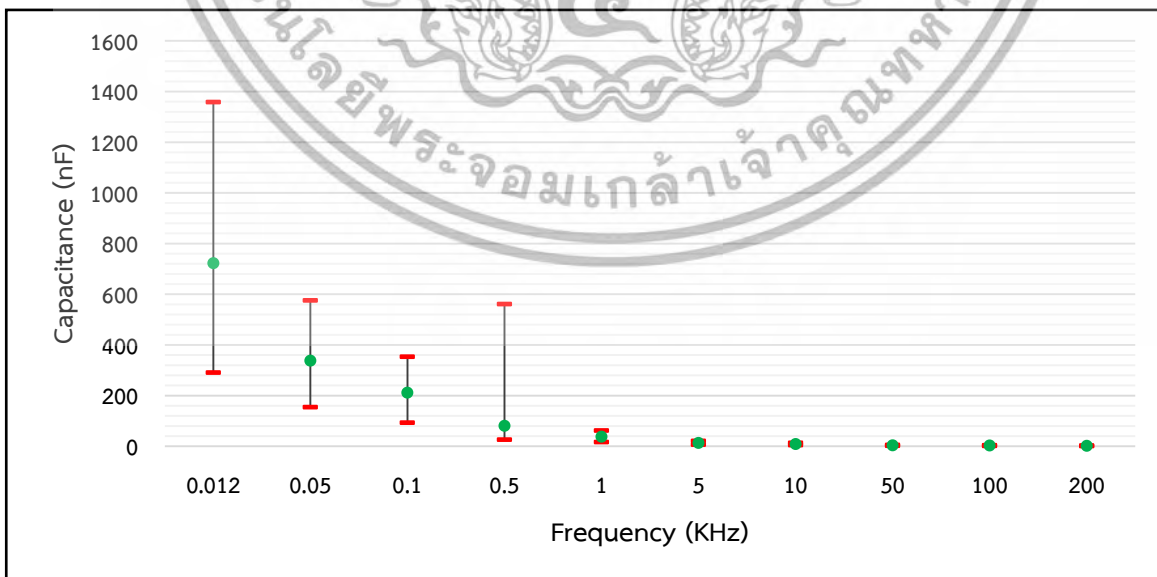


ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบค่า impedance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่ำจะมีค่า impedance ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 1 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.16

4.1.2 total soluble solid (TSS) ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

นำข้าวโพดหวานทั้งฝักที่เปลือกออกมารัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆจากนั้นนำตัวอย่างข้าวโพดหวานมาแยกเมล็ดและคั้นน้ำ จากนั้นตรวจวัดค่า total soluble solids จากตัวอย่างทั้งหมดแบ่งกลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูง และ TSS ต่ำ เพื่อจะเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่าทางไฟฟ้า

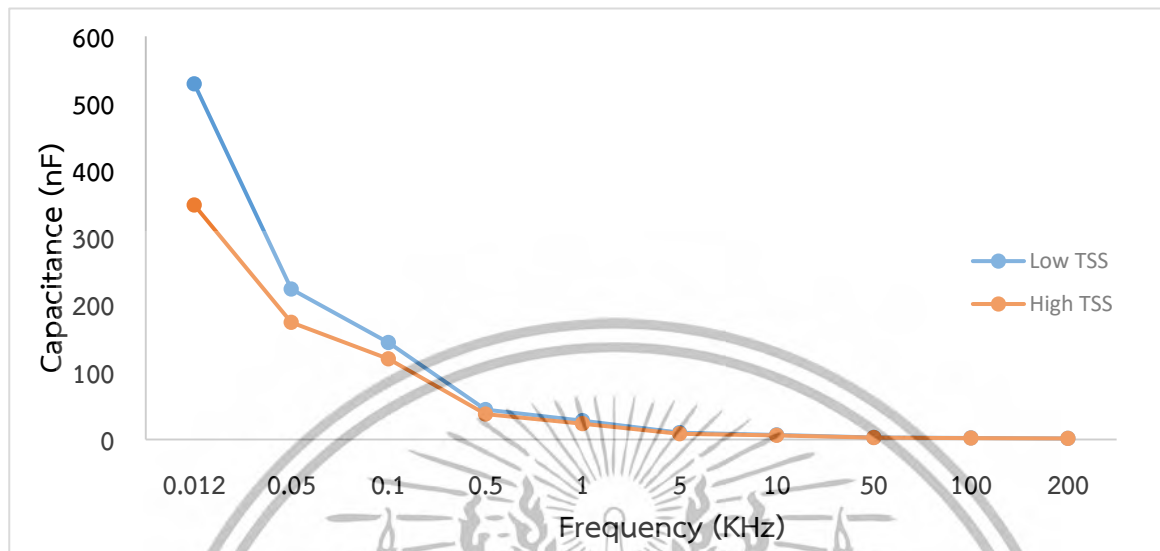
4.1.2.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ capacitance



ภาพที่ 4.17 ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

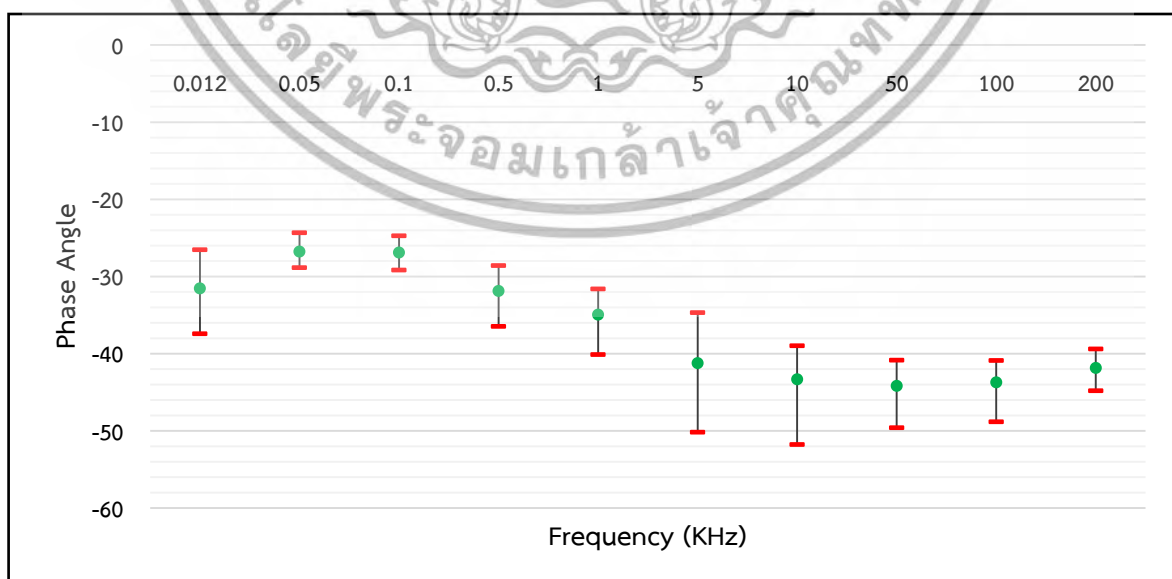
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.17



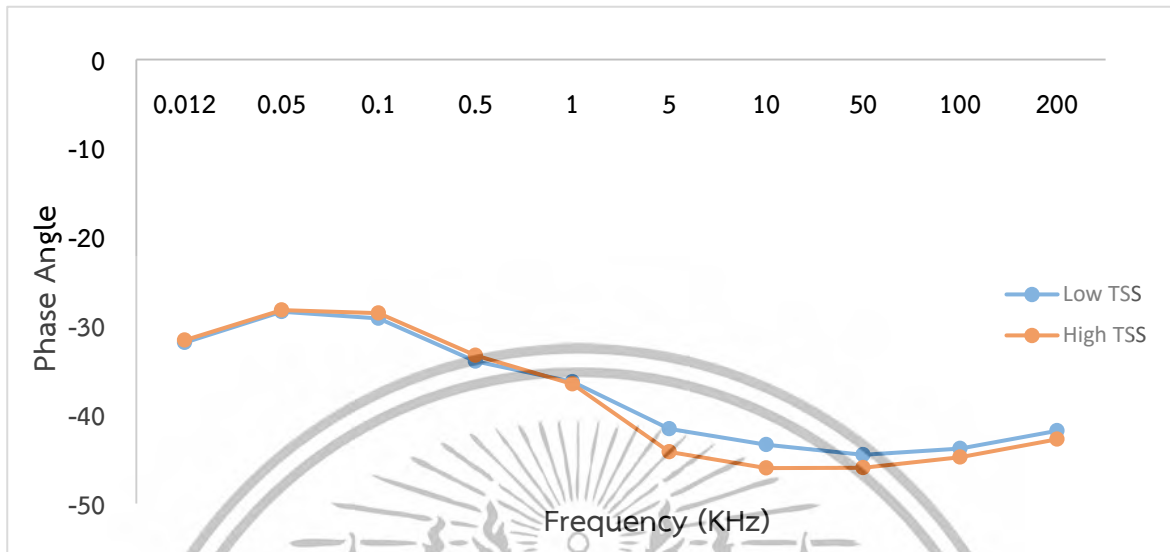
ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบค่า capacitance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่ำจะมีค่า capacitance ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz จะเห็นว่าผลของค่า capacitance ที่ได้กลับกับผลที่ได้ของข้าวโพดที่มีเปลือก อาจเป็นเพราะผลกระทบจากเปลือก กล่าวคือถ้าเปลือกของข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงกว่า จะมี capacitance สูงกว่า ในขณะที่ ถ้าวัดเนื้อโดยตรง ข้าวโพด TSS ต่ำกว่า จะมี capacitance สูงกว่าดังแสดงในภาพที่ 4.18

4.1.2.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ phase angle



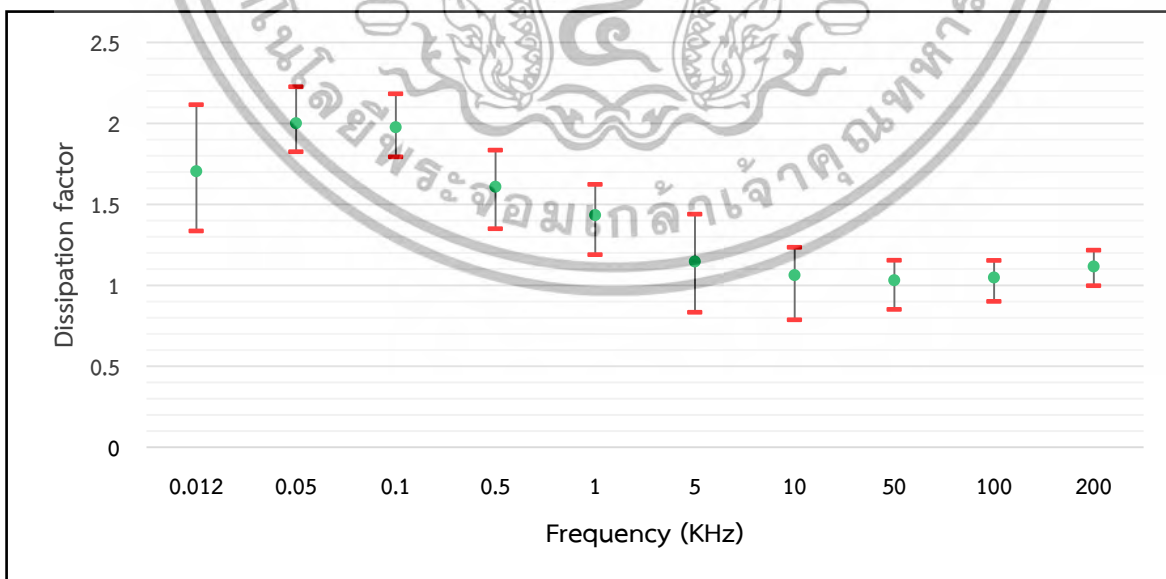
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในพิธีการทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบค่า phase angle ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงและต่ำจะมีค่า phase angle ใกล้เคียงกันในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 1 KHz และกลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่ำจะมีค่า phase angle ในช่วงความถี่มากกว่า 1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.20

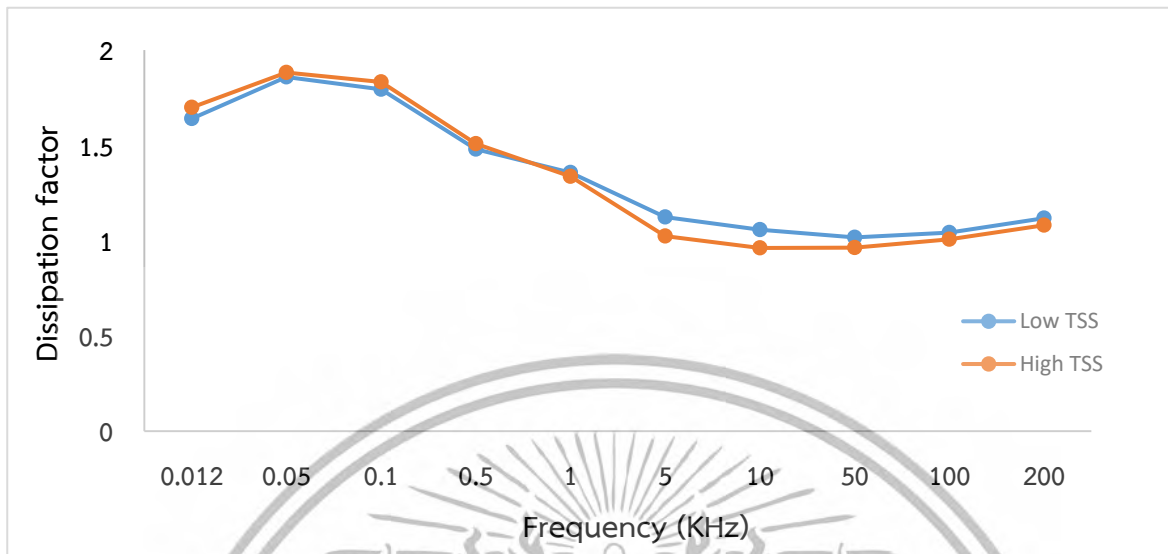
4.1.2.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ dissipation factor



ภาพที่ 4.21 ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

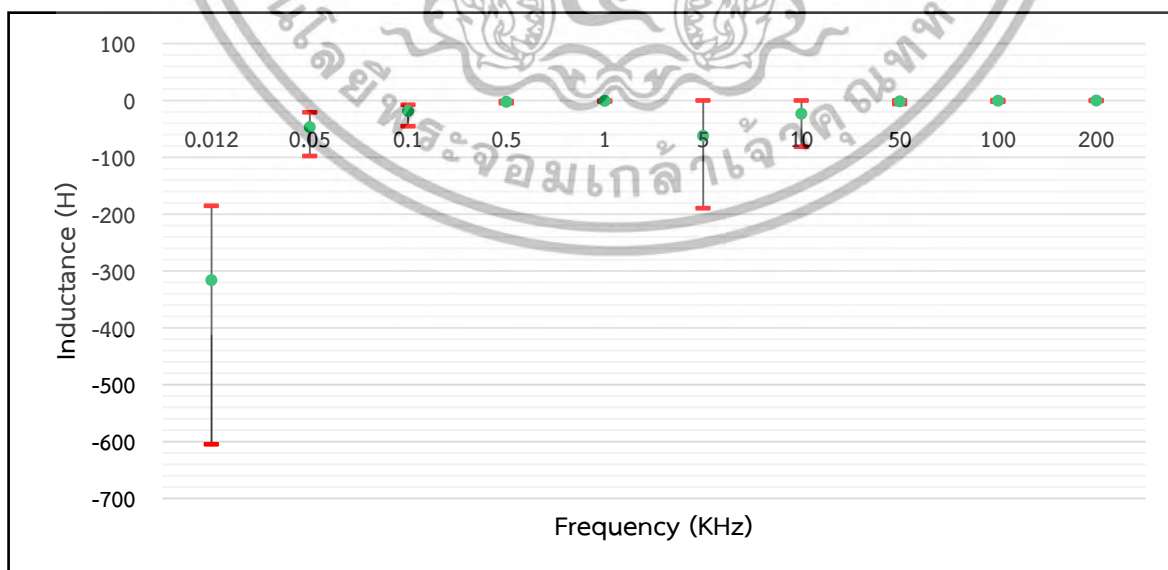
ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่ำจะมีค่า dissipation factor ที่ต่ำในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 KHz, มีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่ 1 KHz และมีค่าสูงกว่า ค่า dissipation factor ที่สูง ที่ความถี่สูงกว่า 1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.22

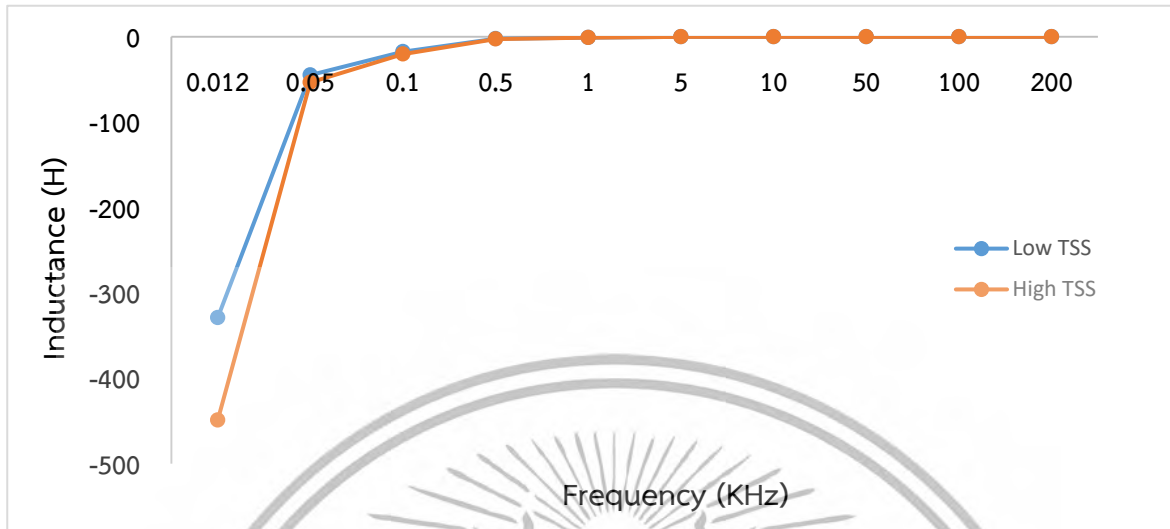
4.1.2.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ inductance



ภาพที่ 4.23 ค่า inductance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

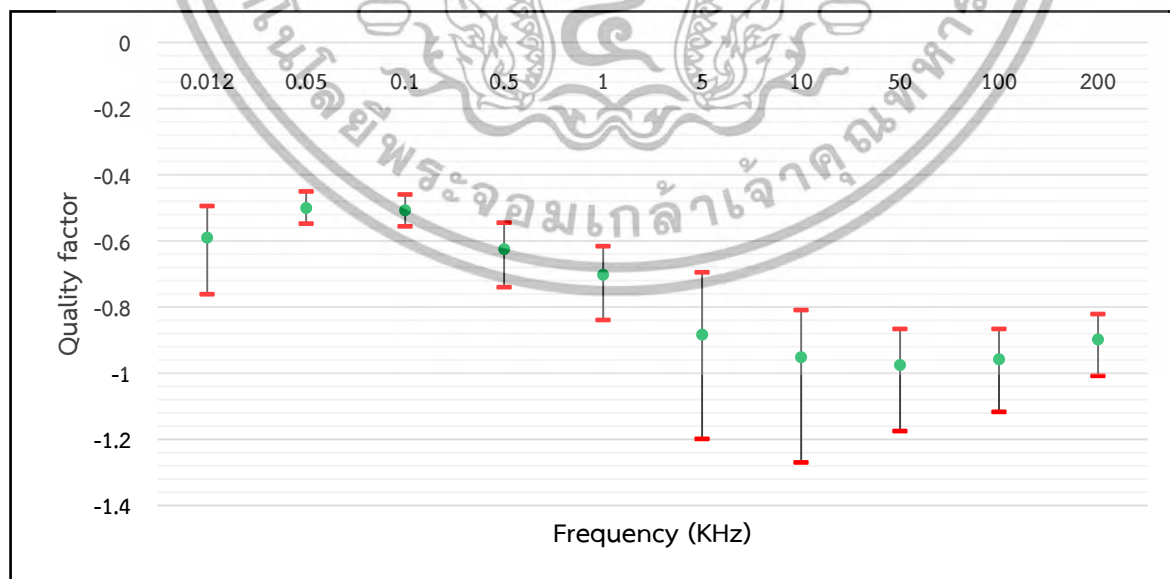
ค่า inductance ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.24 เปรียบเทียบค่า inductance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่ำจะมีค่า inductance ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.24

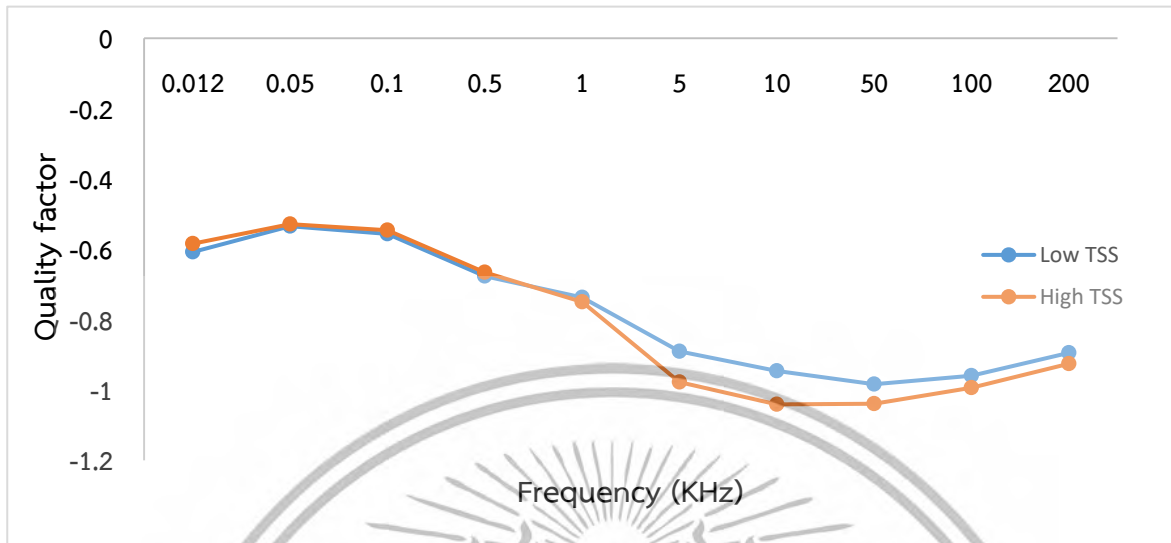
4.1.2.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ quality factor



ภาพที่ 4.25 ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

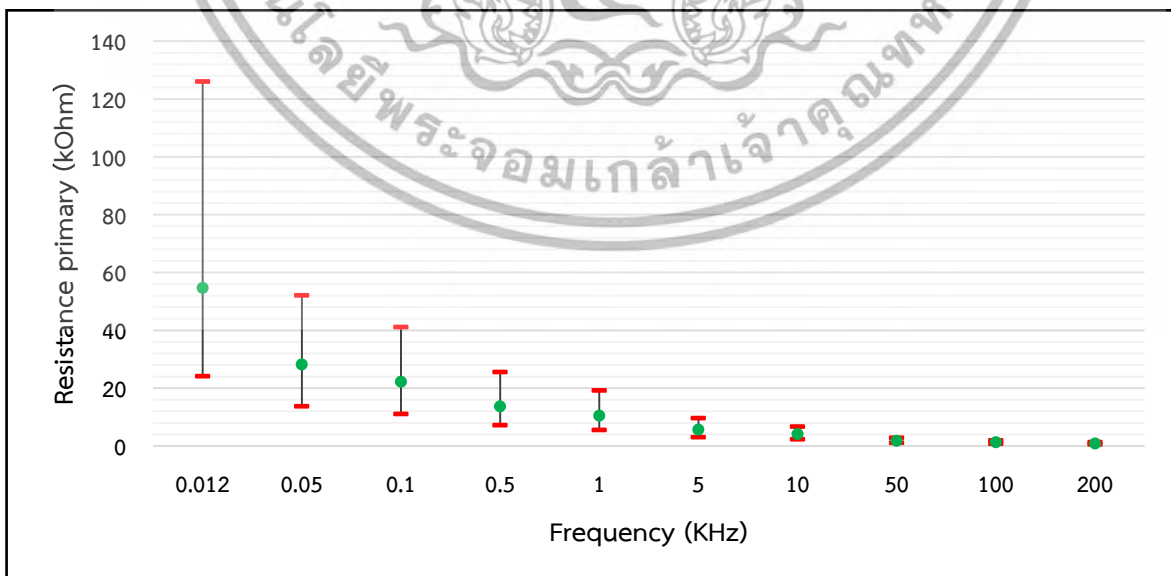
ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.26 เปรียบเทียบค่า quality factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงและต่ำจะมีค่า quality factor ที่ใกล้เคียงกันในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 1 KHz และกลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่ำจะมีค่า quality factor สูงในช่วงความถี่สูงกว่า 1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.26

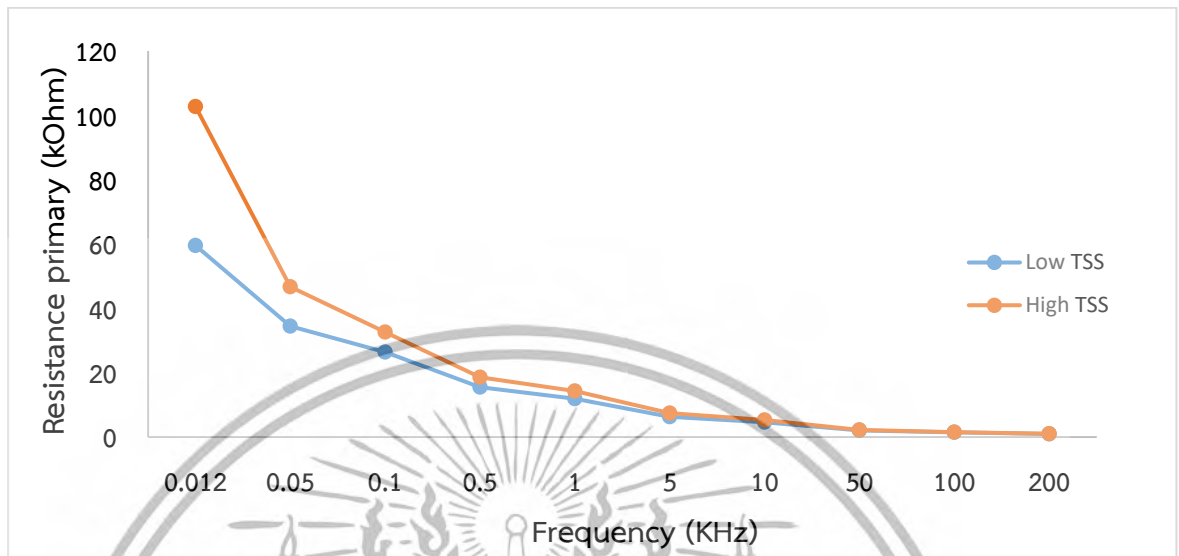
4.1.2.6 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ resistance primary



ภาพที่ 4.27 ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

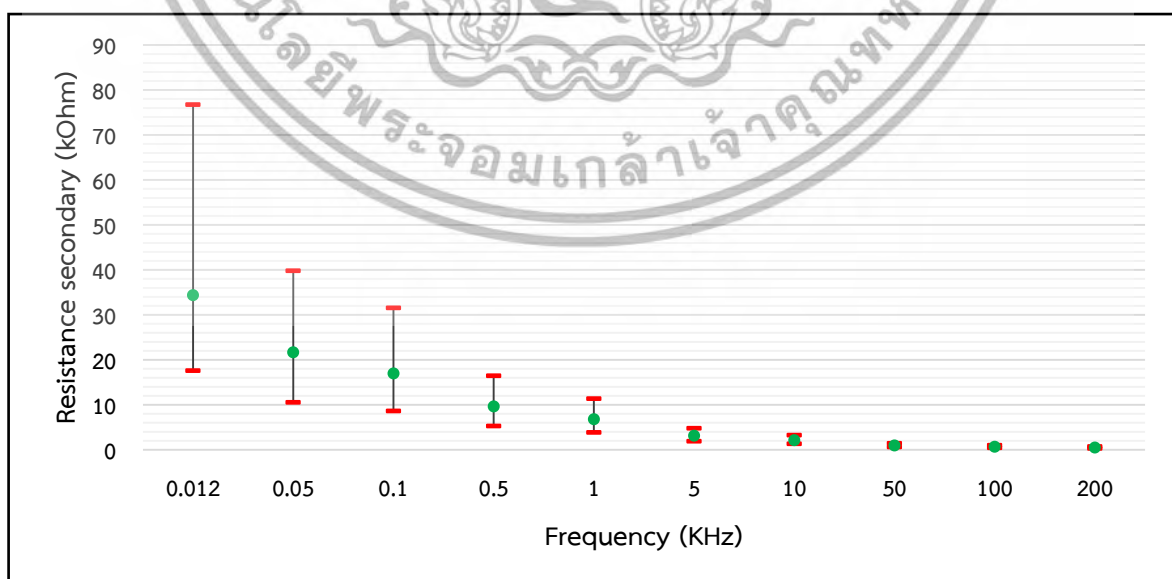
ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.28 เปรียบเทียบค่า resistance primary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

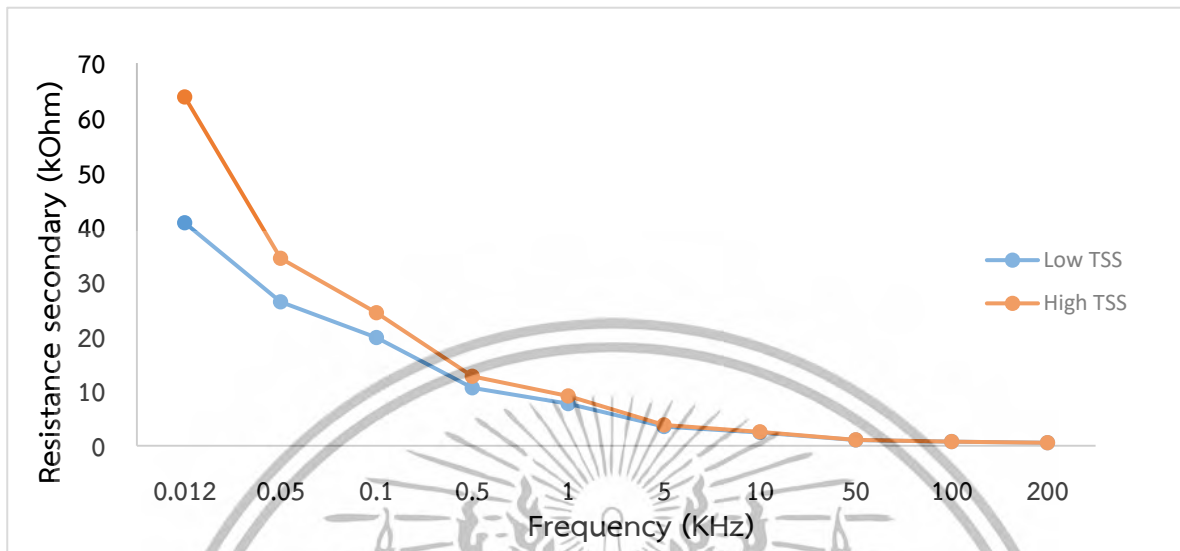
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงจะมีค่า resistance primary ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.28

4.1.2.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ resistance secondary



ภาพที่ 4.29 ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

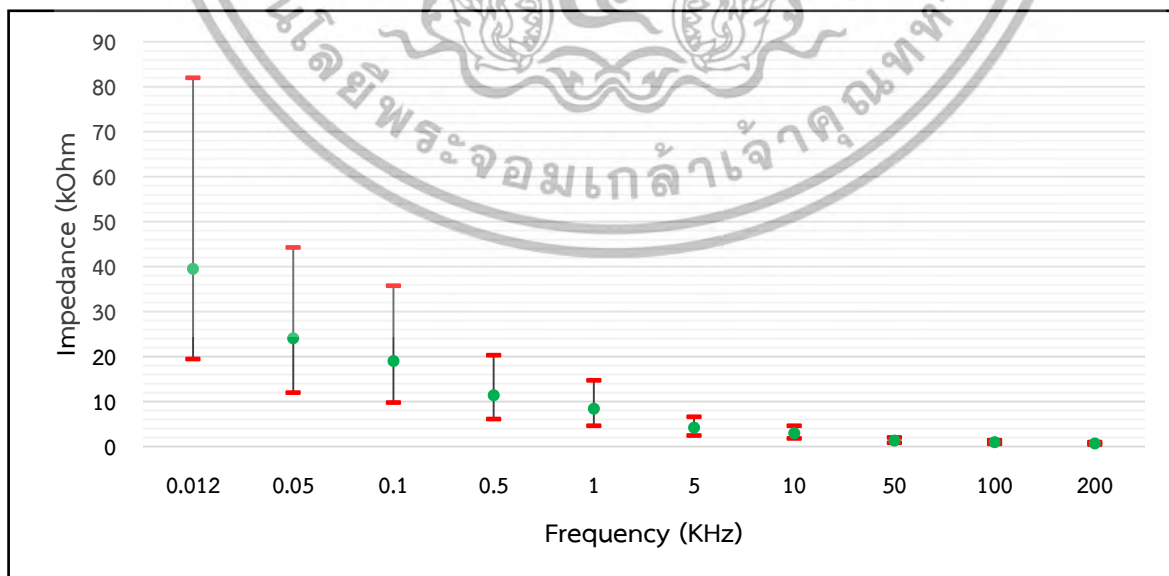
ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.30 เปรียบเทียบค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน

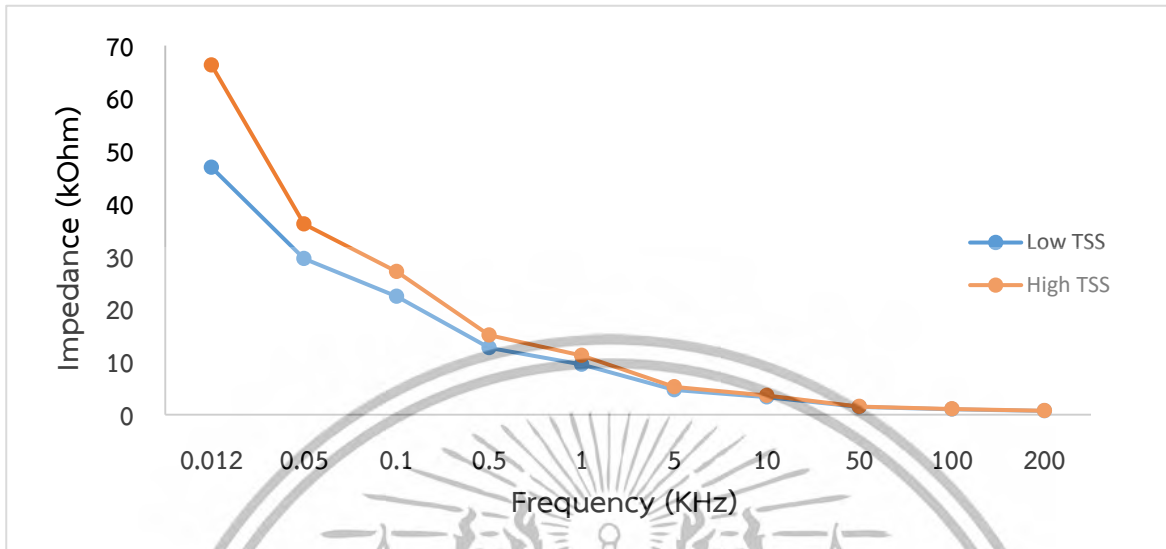
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงจะมีค่า resistance secondary ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.30

4.1.2.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่า total soluble solid (TSS) กับ Impedance



ภาพที่ 4.31 ค่า impedance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า impedance ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.31

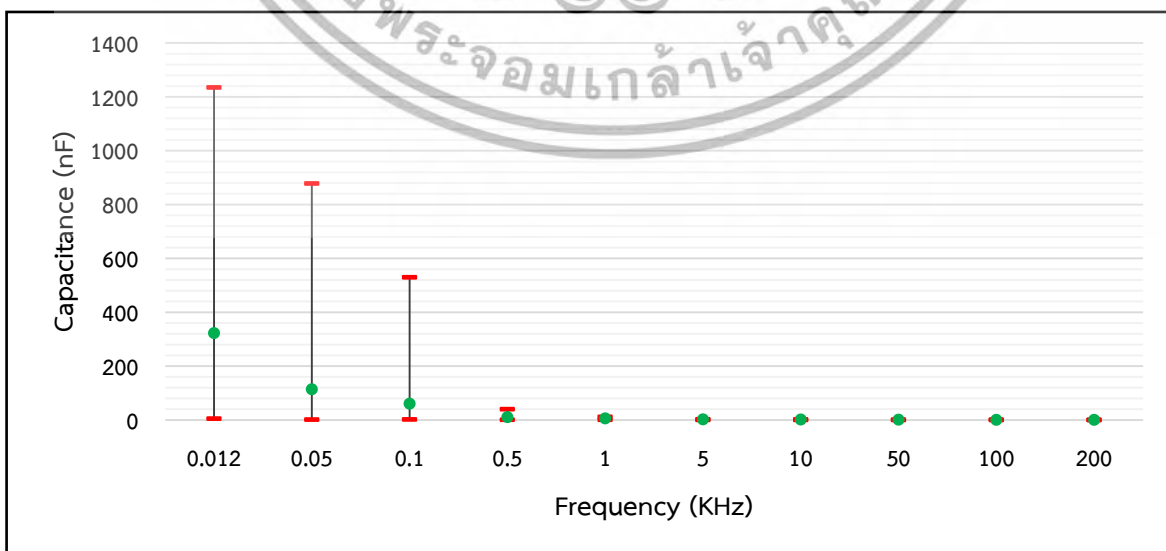


ภาพที่ 4.32 เปรียบเทียบค่า impedance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี TSS ต่างกัน เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี TSS ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี TSS สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี TSS สูงจะมีค่า impedance ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 5 KHz เนื่องจากสูตรของ impedance ค่า capacitance แปรผกผันอยู่กับค่า impedance จึงทำให้ข้าวโพดหวานกลุ่มที่มี TSS สูงมีค่า impedance สูงกว่ากลุ่มที่มี TSS ต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 4.32

4.1.3 texture ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

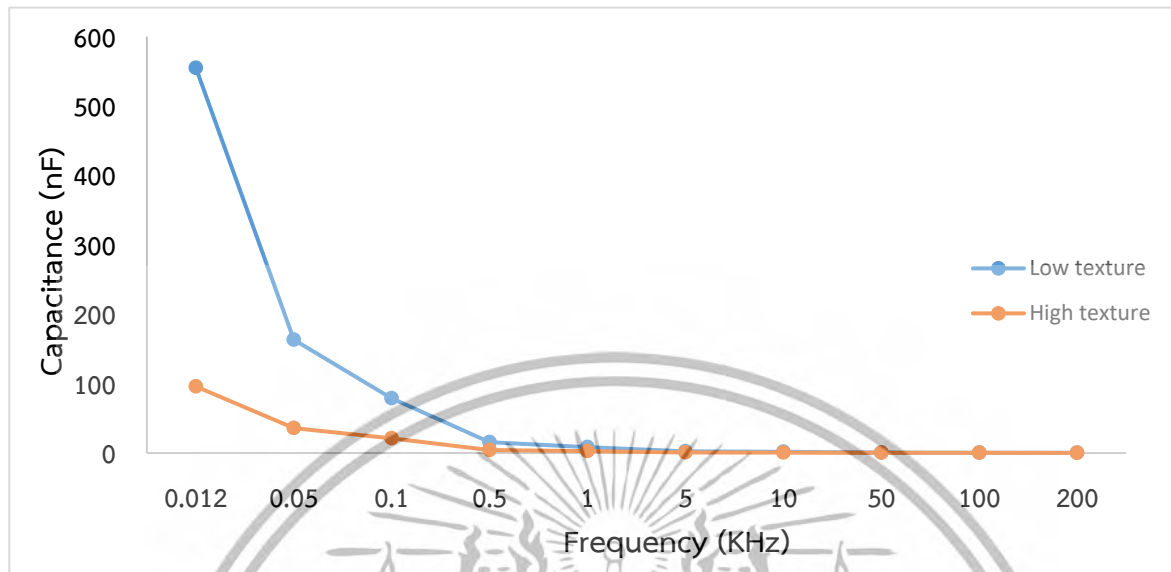
นำข้าวโพดหวานทั้งฝักพร้อมเปลือกมาวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆจากนั้นนำตัวอย่างข้าวโพดหวานมาตรวจวัดค่า texture จากตัวอย่างทั้งหมดแบ่งกลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูง และ texture ต่ำ เพื่อจะเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่าทางไฟฟ้า

4.1.2.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ capacitance



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่าการฉ้อโกงใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

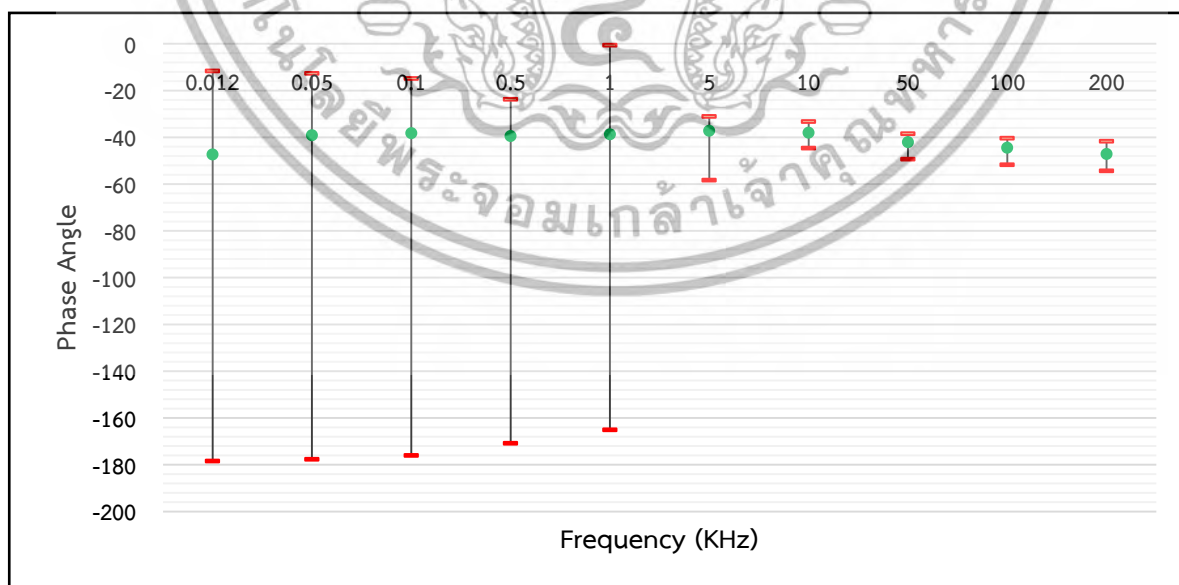
ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.33



ภาพที่ 4.34 เปรียบเทียบค่า capacitance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี Texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี Texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า capacitance ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.34

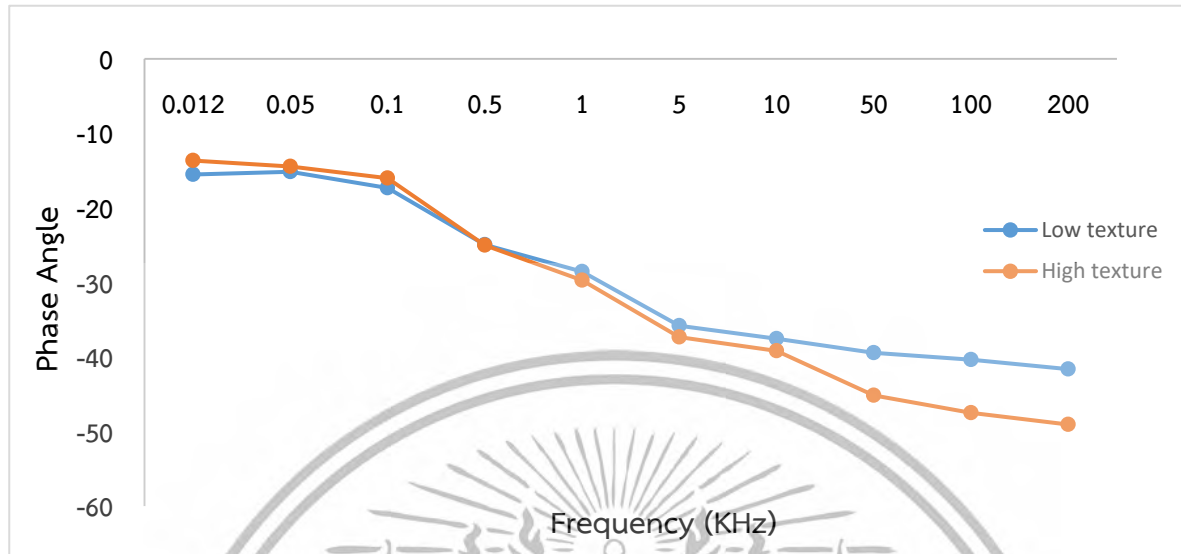
4.1.3.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ phase angle



ภาพที่ 4.35 ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

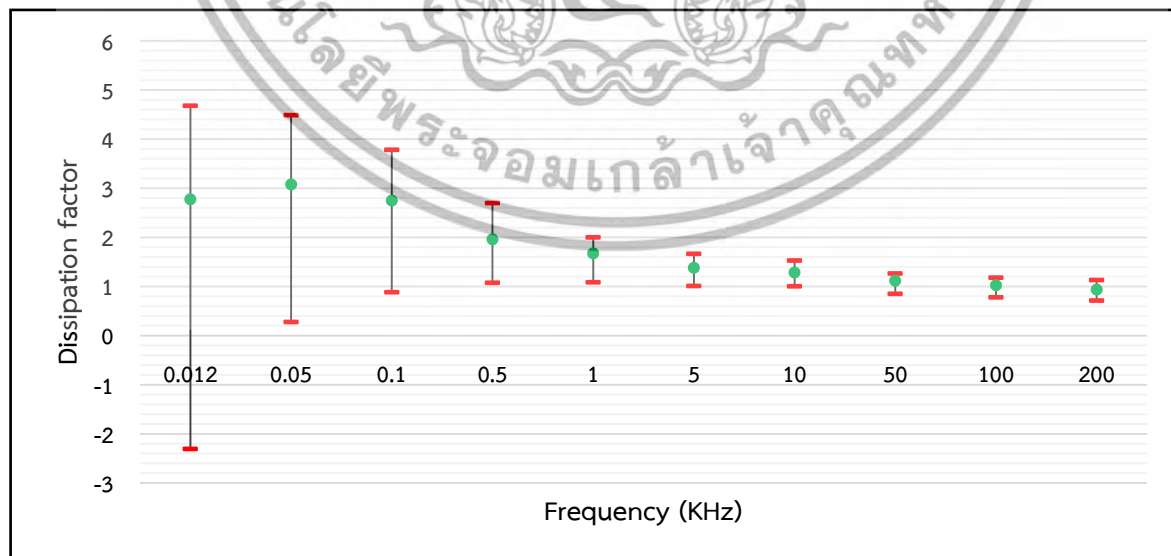
ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.35



ภาพที่ 4.36 เปรียบเทียบค่า phase angle ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า phase angle ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz, มีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่ 0.5 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มีค่า texture ต่ำที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.36

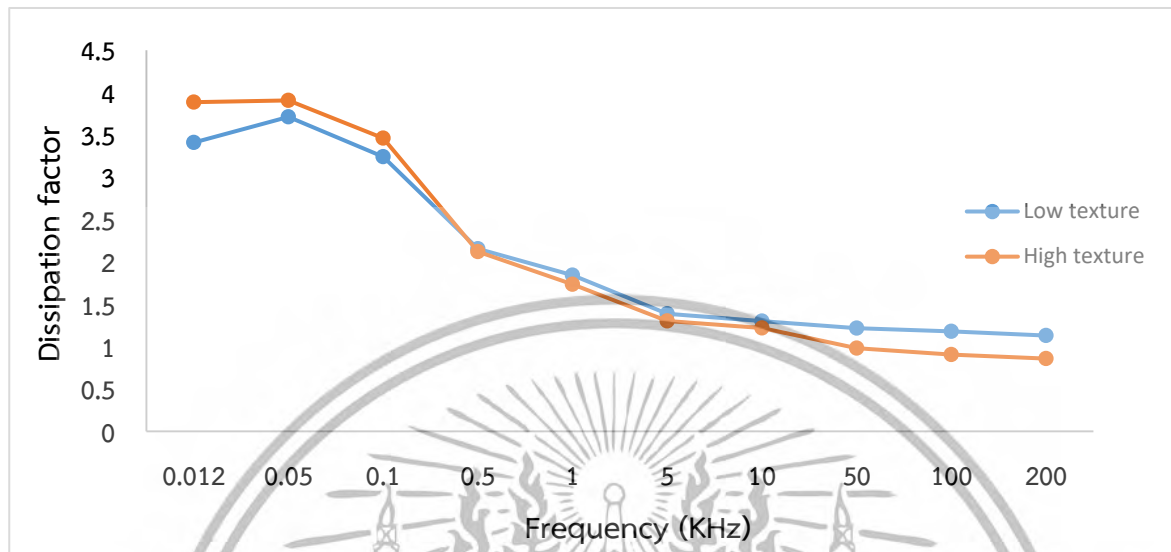
4.1.3.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ dissipation factor



ภาพที่ 4.37 ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

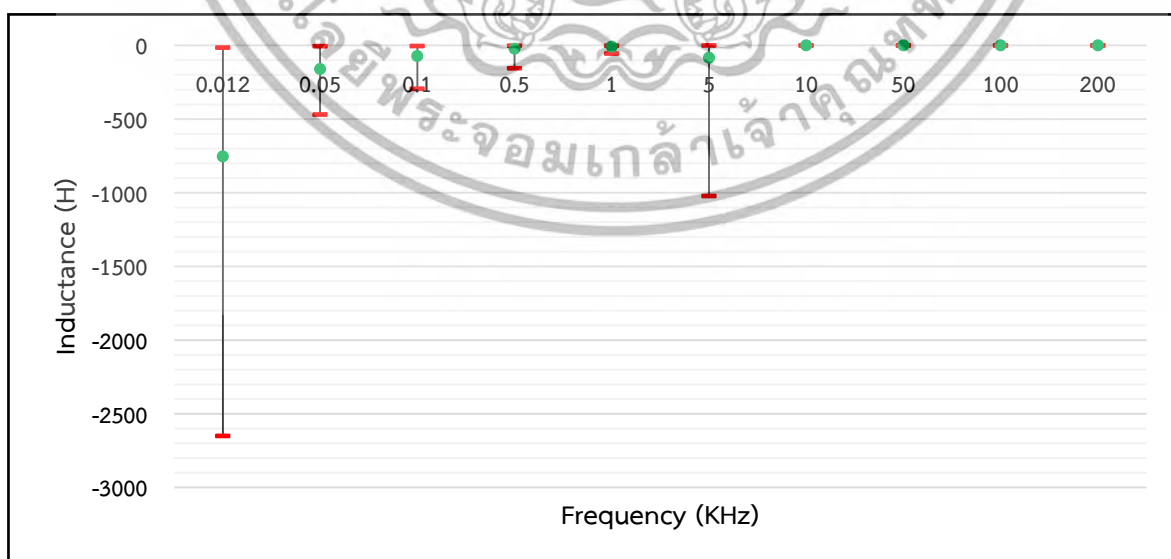
ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 4.37



ภาพที่ 4.38 เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี Texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า dissipation factor ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz, มีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่ 0.5 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มีค่า texture ต่ำที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.38

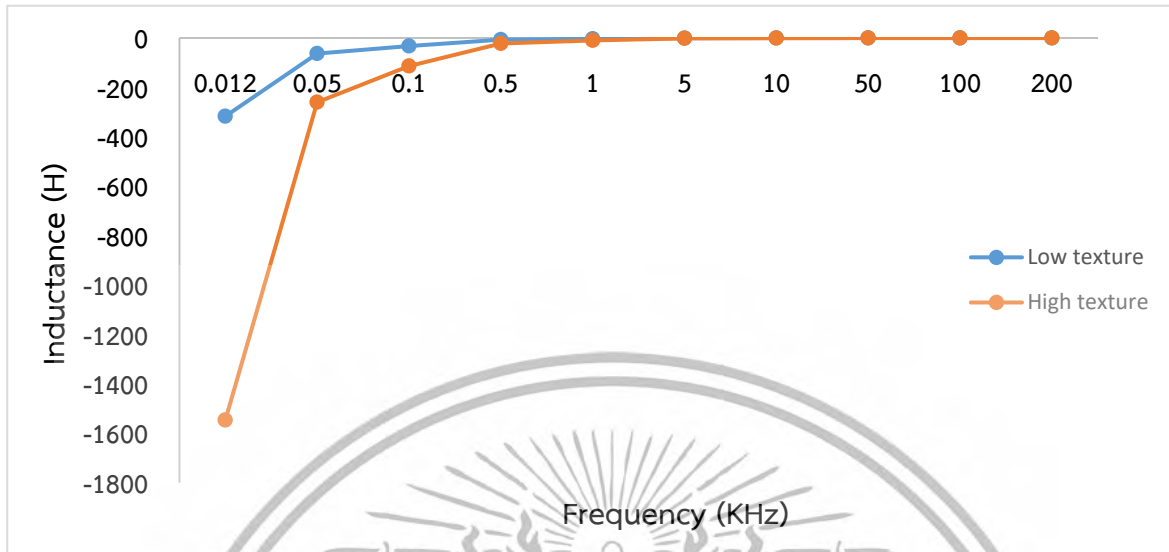
4.1.3.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ inductance



ภาพที่ 4.39 ค่า inductance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

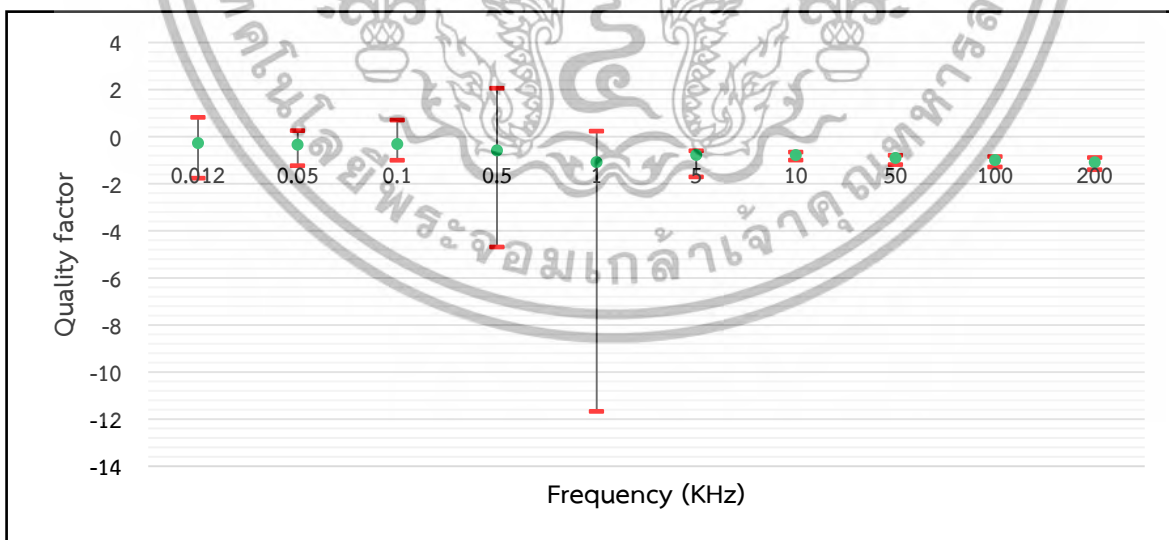
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า inductance ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.39



ภาพที่ 4.40 เปรียบเทียบค่า inductance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า inductance ที่ต่ำกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 1 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.40

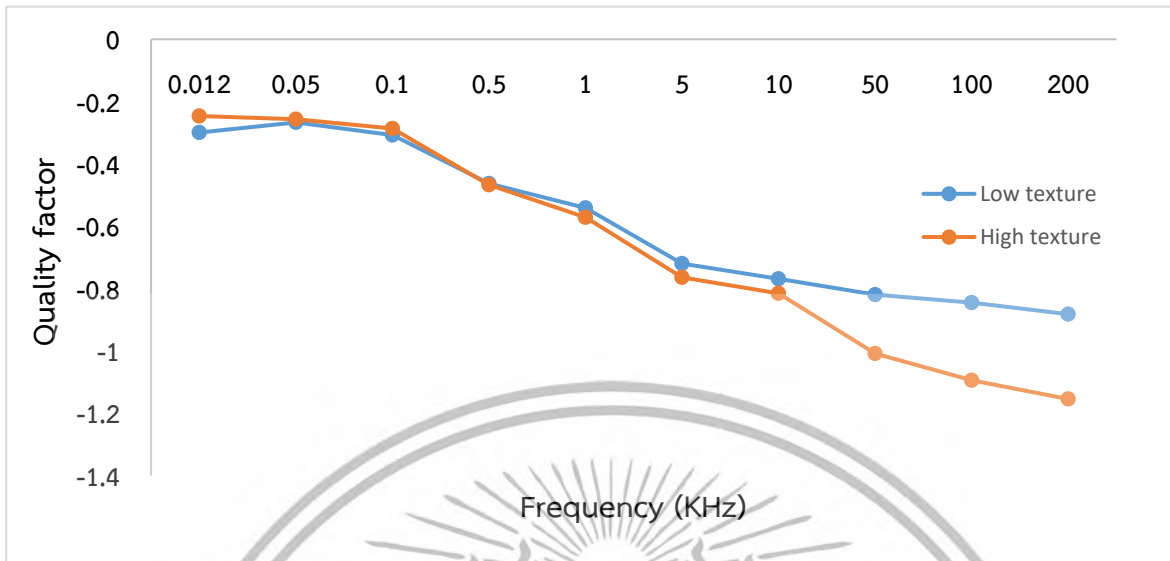
4.1.3.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ quality factor



ภาพที่ 4.41 ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.41

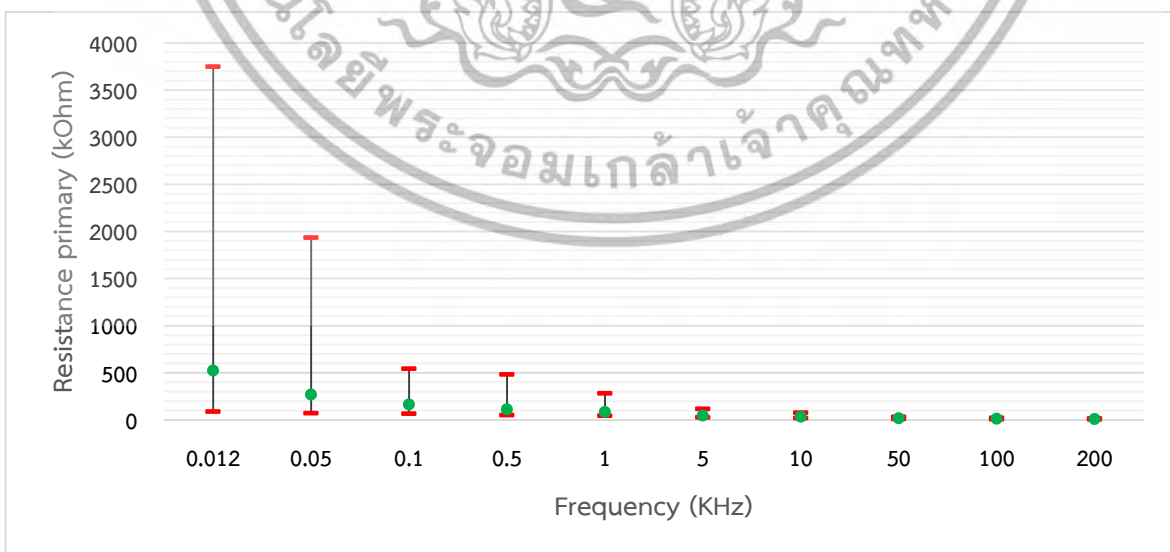
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.42 เปรียบเทียบค่า quality factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า quality factor ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz, มีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่ 0.5 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มีค่า texture ต่ำที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.42

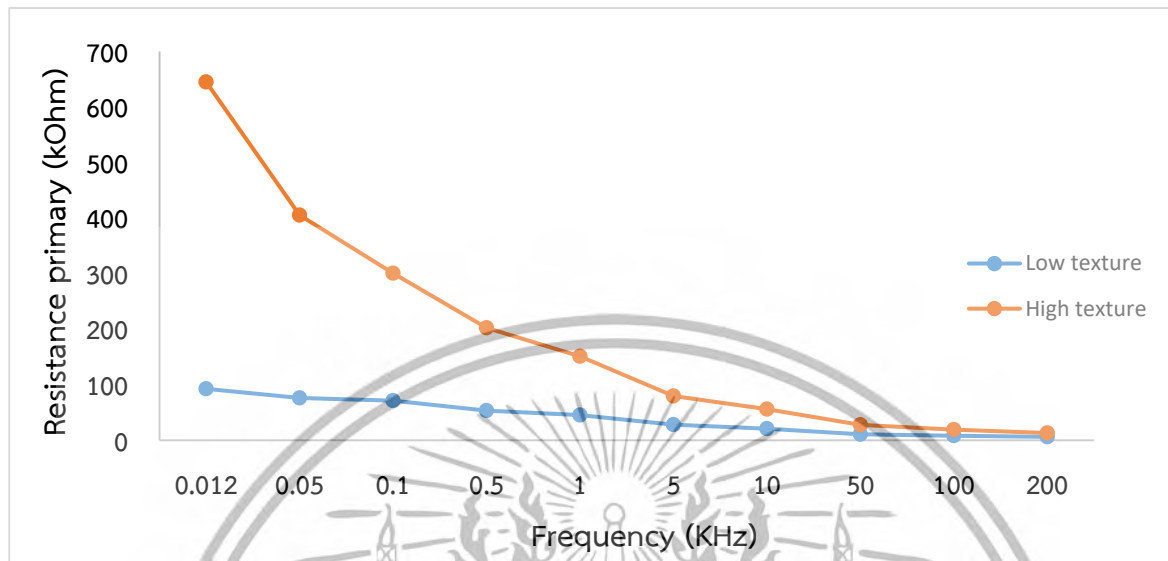
4.1.3.6 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ resistance primary



ภาพที่ 4.43 ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

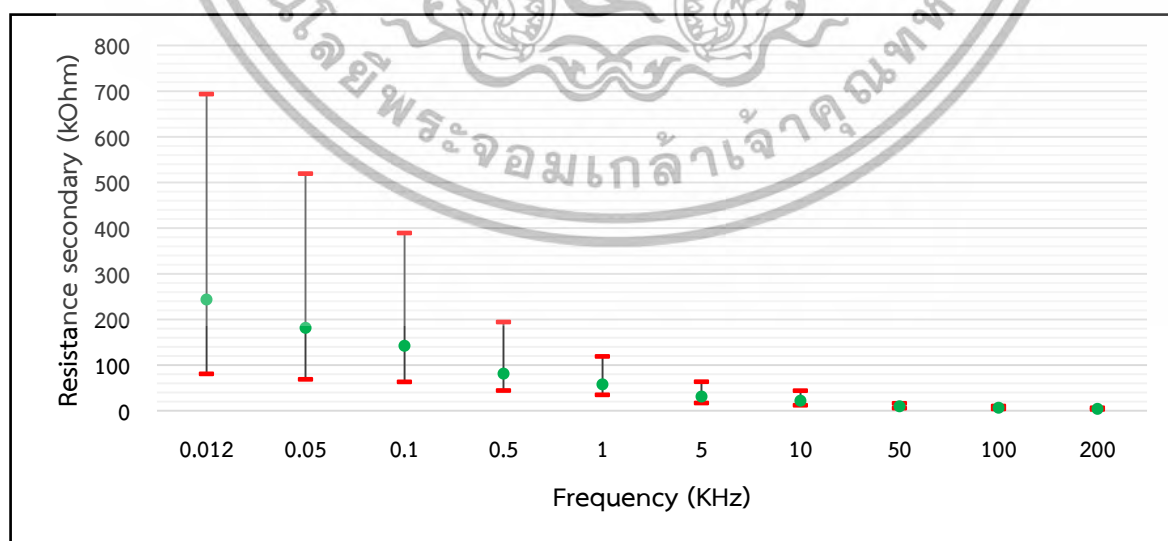
ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที่ 4.43



ภาพที่ 4.44 เปรียบเทียบค่า resistance primary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า resistance primary ที่สูงกว่าในทุกช่วงความถี่ ดังแสดงในภาพที่ 4.44

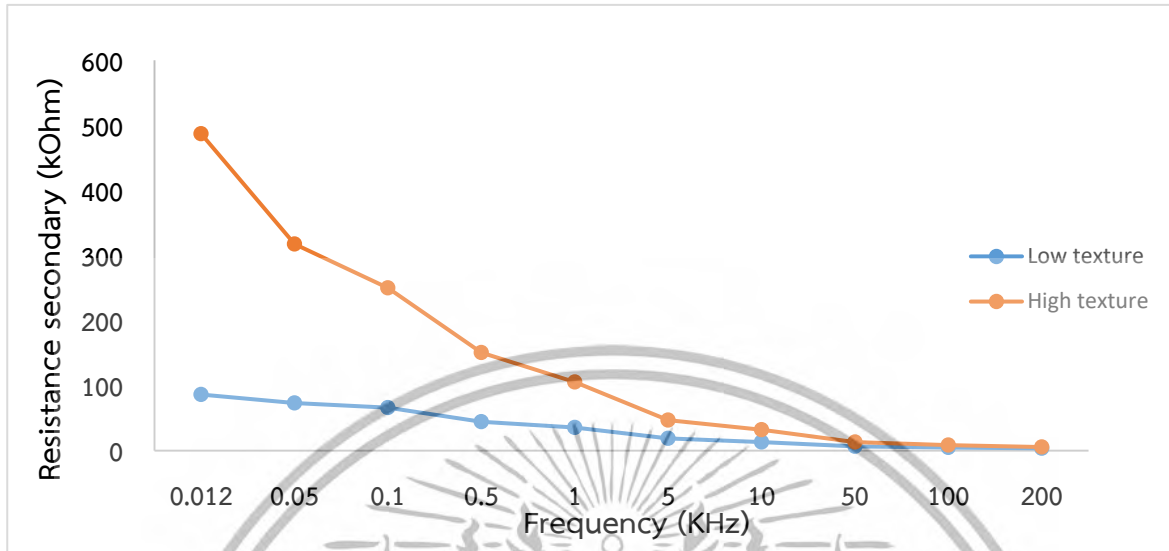
4.1.3.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ resistance secondary



ภาพที่ 4.45 ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

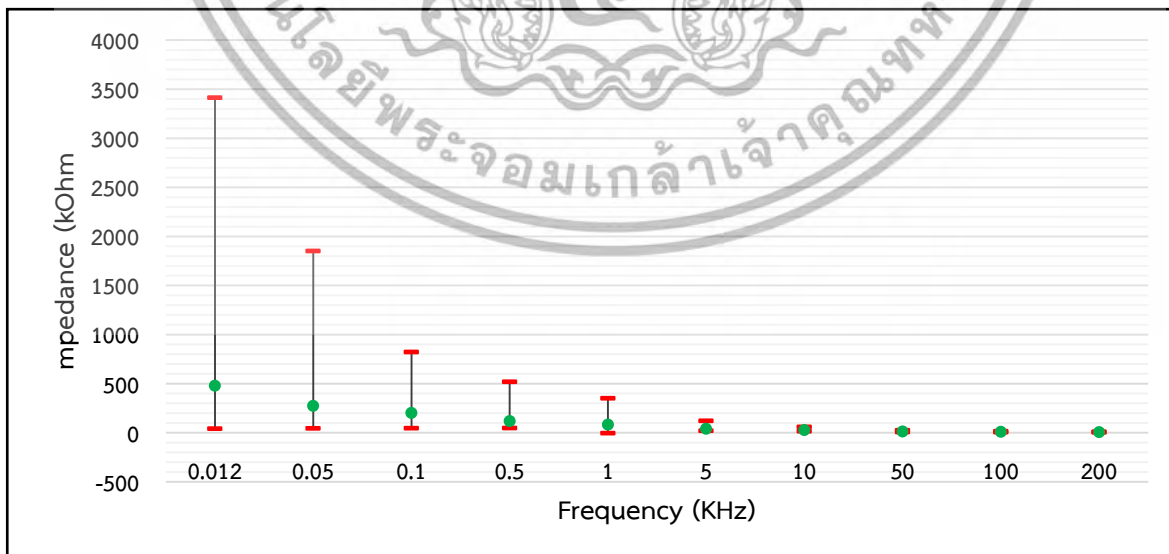
ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.45



ภาพที่ 4.46 เปรียบเทียบค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า resistance secondary ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 100 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 100 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.46

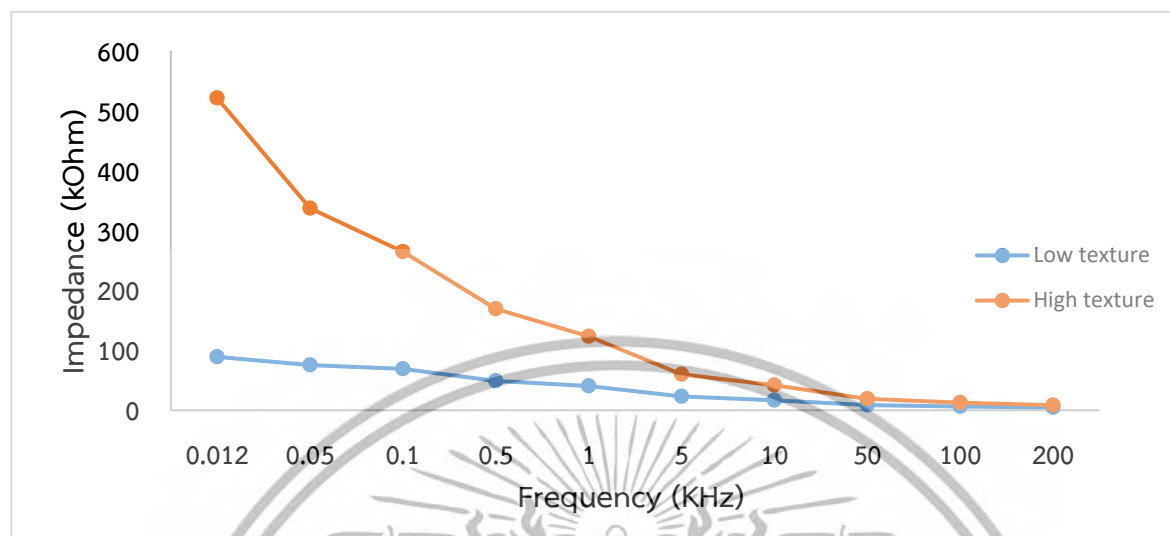
4.1.3.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ impedance



ภาพที่ 4.47 ค่า impedance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า impedance ของข้าวโพดหวานมีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.47

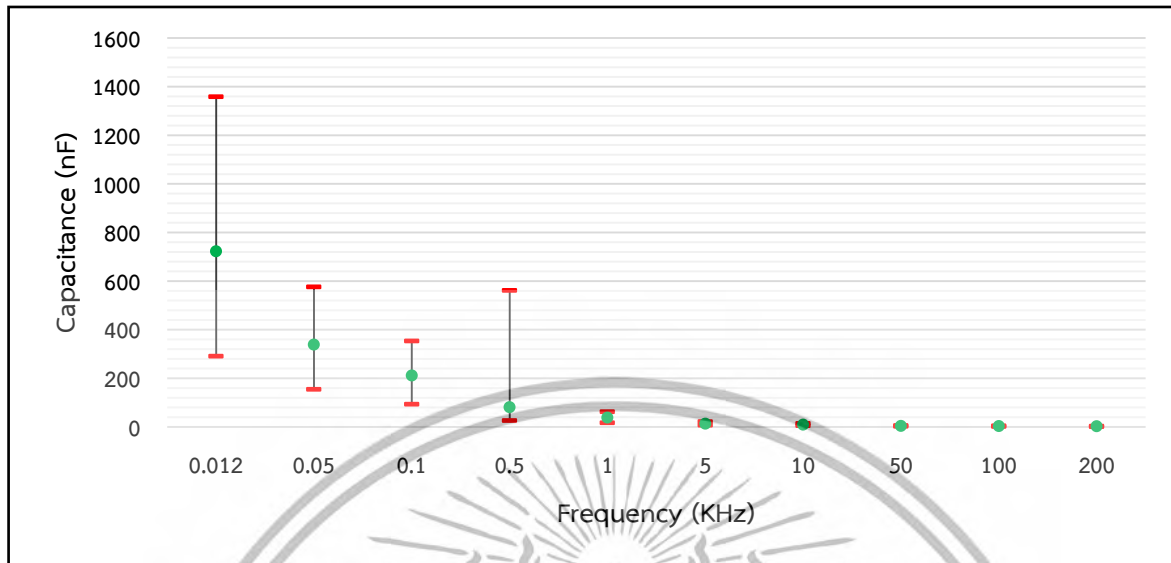


ภาพที่ 4.48 เปรียบเทียบค่า impedance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า impedance ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 100 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 100 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.48

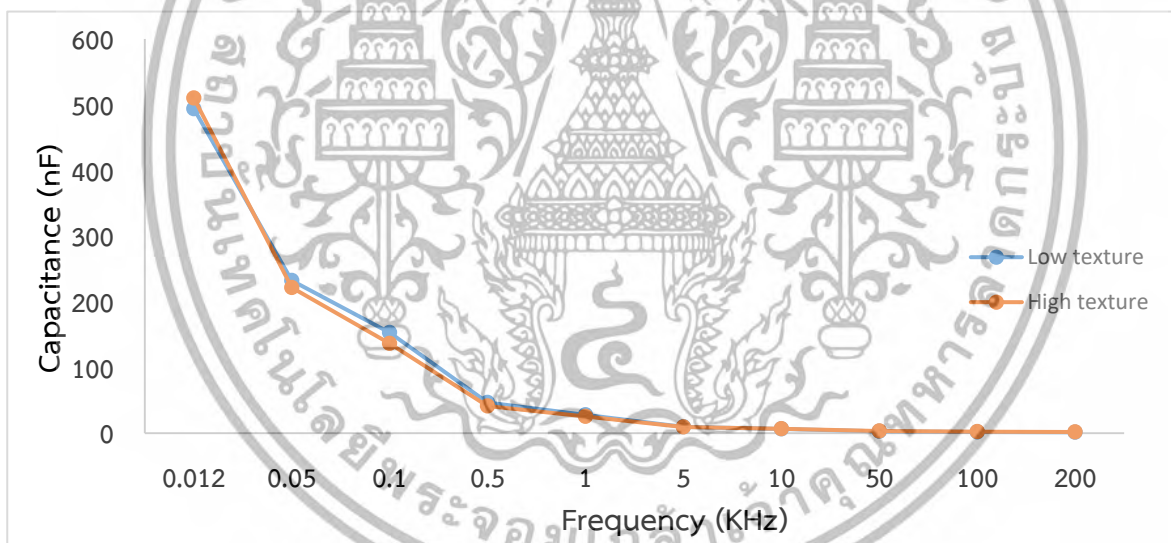
4.1.4 texture ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

นำข้าวโพดหวานทั้งฝักปอกเปลือกออกมาวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆจากนั้นนำตัวอย่างข้าวโพดหวานมาตรวจวัดค่า texture จากตัวอย่างทั้งหมดแบ่งกลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูง และ texture ต่ำ เพื่อจะเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่าทางไฟฟ้า

4.1.4.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ capacitance



ภาพที่ 4.49 ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ
ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดัง
แสดงในภาพที่ 4.49

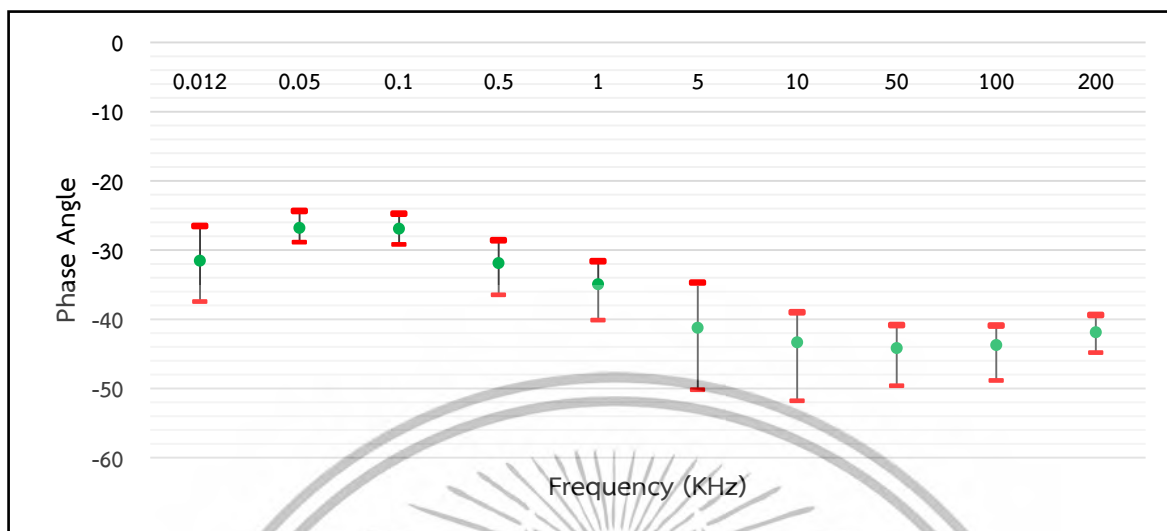


ภาพที่ 4.50 เปรียบเทียบค่า capacitance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

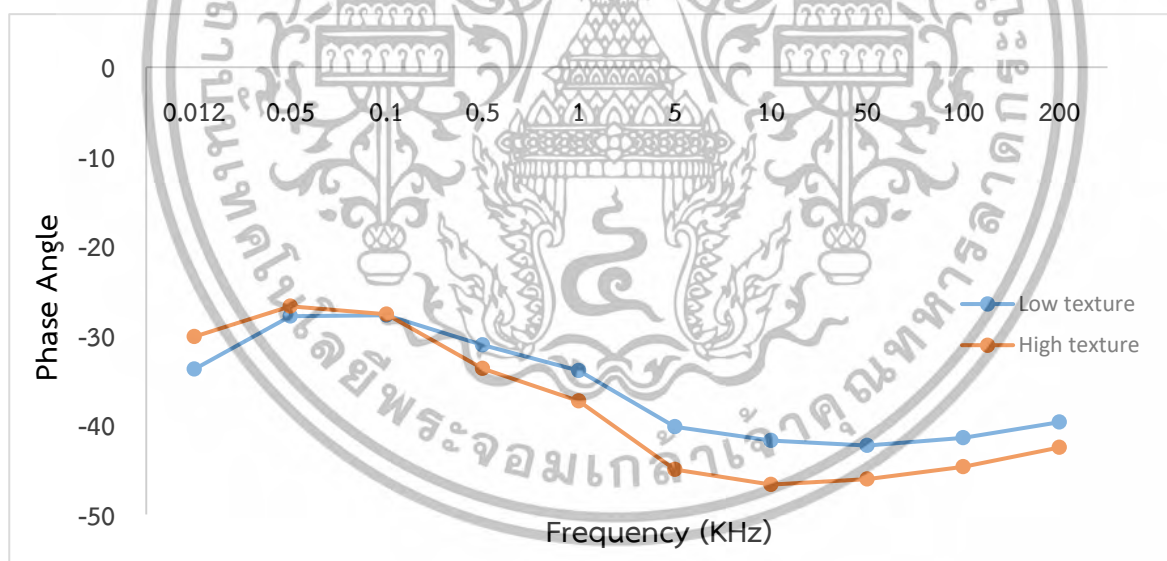
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า มีค่าแตกต่างกันไม่ชัดเจน มีค่าใกล้เคียงกัน จึงได้นำมาทำการทดสอบด้วยโปรแกรม SPSS ผลปรากฏว่า $p > 0.05$ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ดังแสดงในภาพที่ 4.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ phase angle



ภาพที่ 4.51 ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ
 ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดัง
 แสดงในภาพที่ 4.51

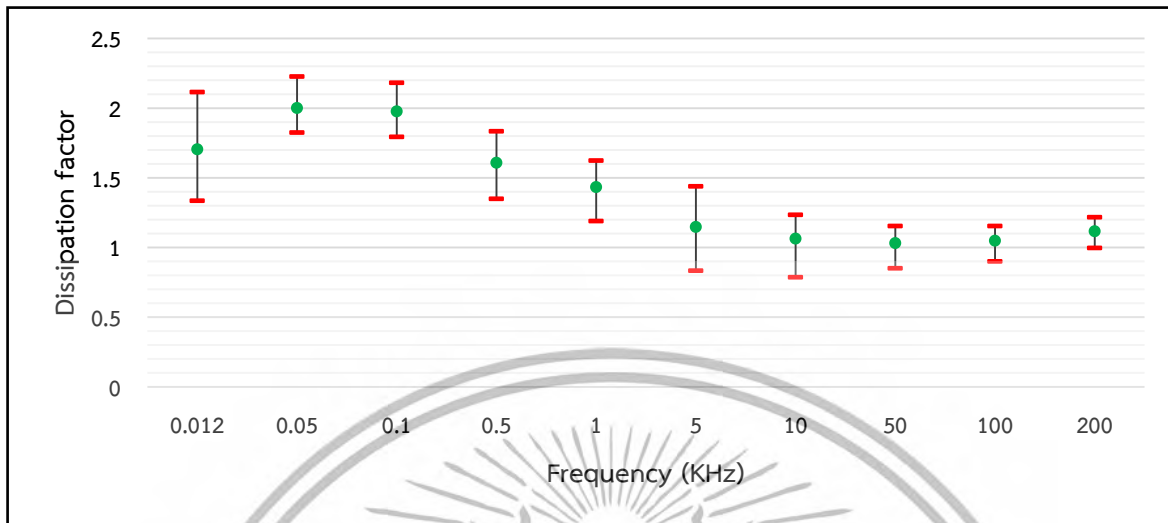


ภาพที่ 4.52 เปรียบเทียบค่า phase angle ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

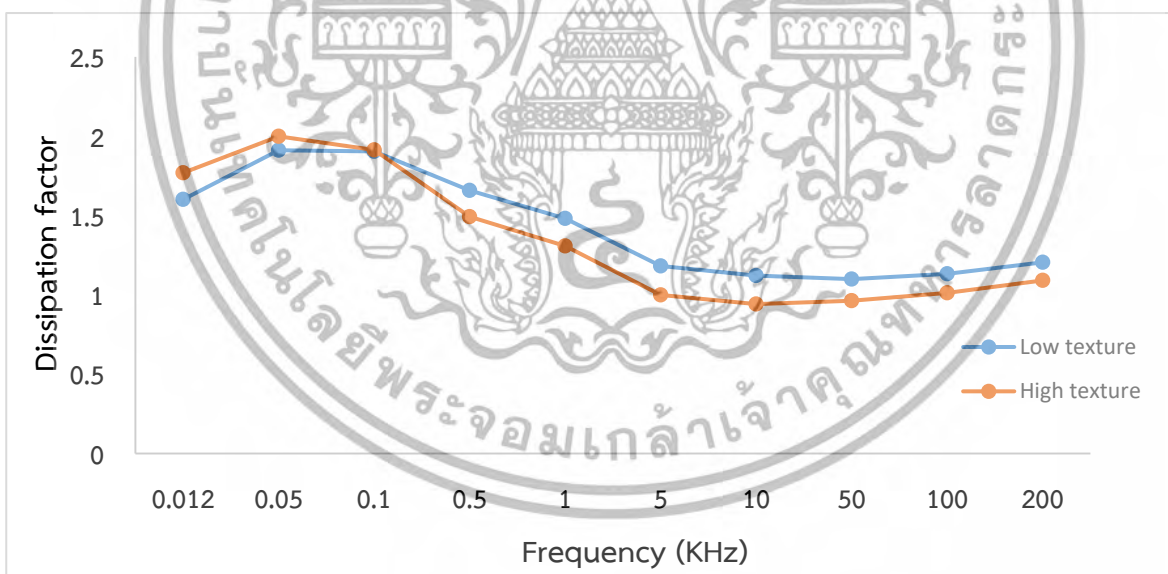
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า phase angle ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.1 KHz, มีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่ 0.1 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มีค่า texture ต่ำที่ความถี่สูงกว่า 0.1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ dissipation factor



ภาพที่ 4.53 ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ
ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.53

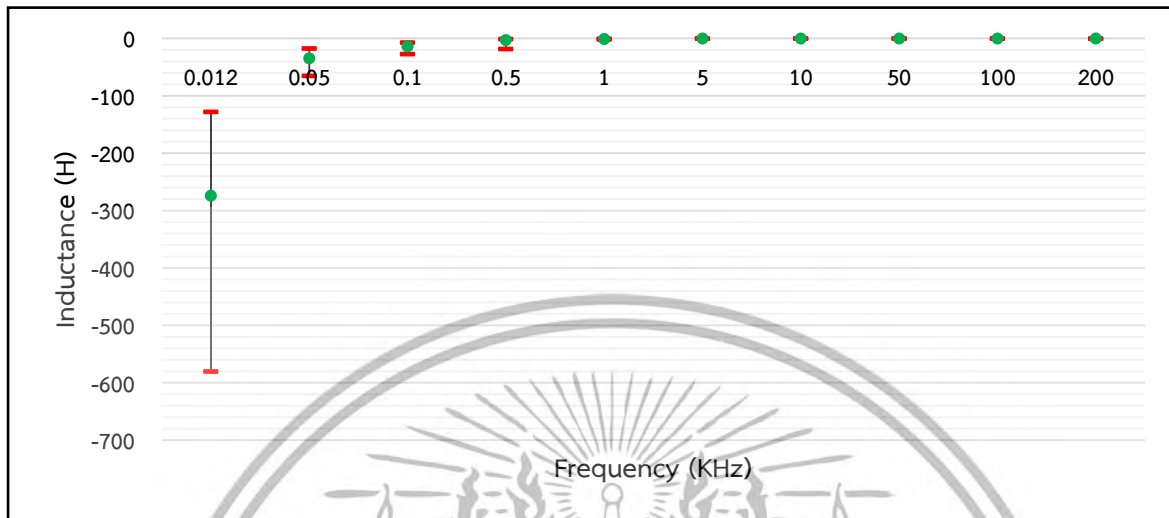


ภาพที่ 4.54 เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

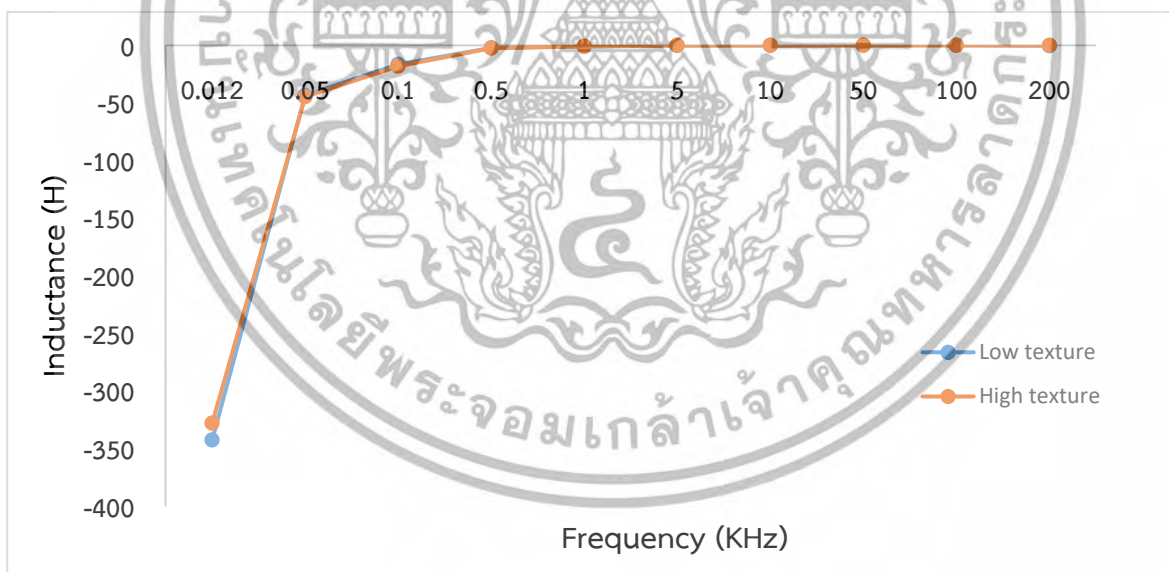
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า dissipation factor ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.1 KHz, มีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่ 0.1 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มีค่า texture ต่ำที่ความถี่สูงกว่า 0.1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ inductance



ภาพที่ 4.55 ค่า inductance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ
ค่า inductance ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดัง
แสดงในภาพที่ 4.55

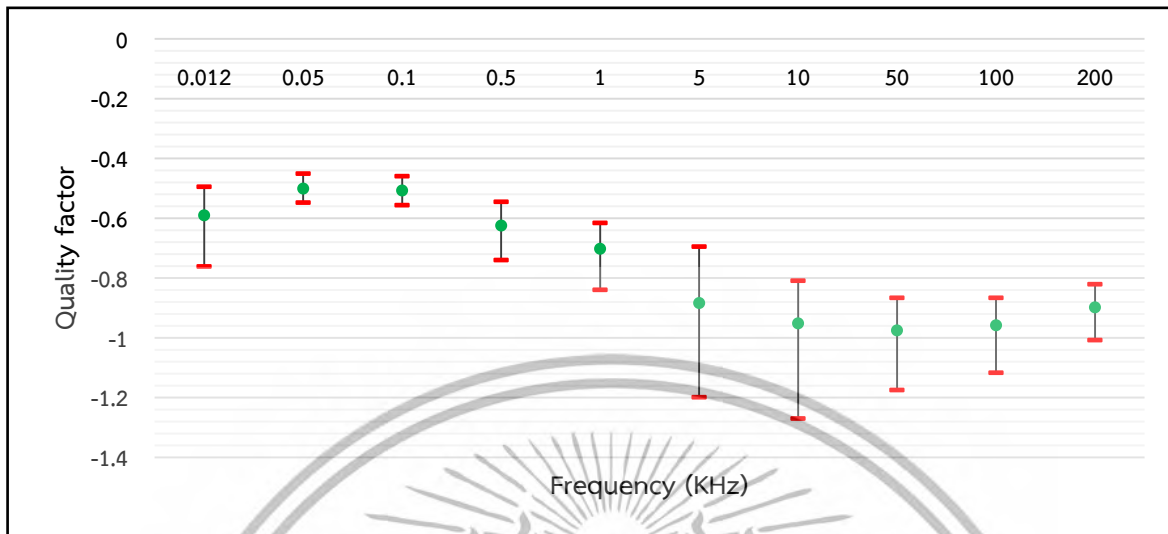


ภาพที่ 4.56 เปรียบเทียบค่า inductance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

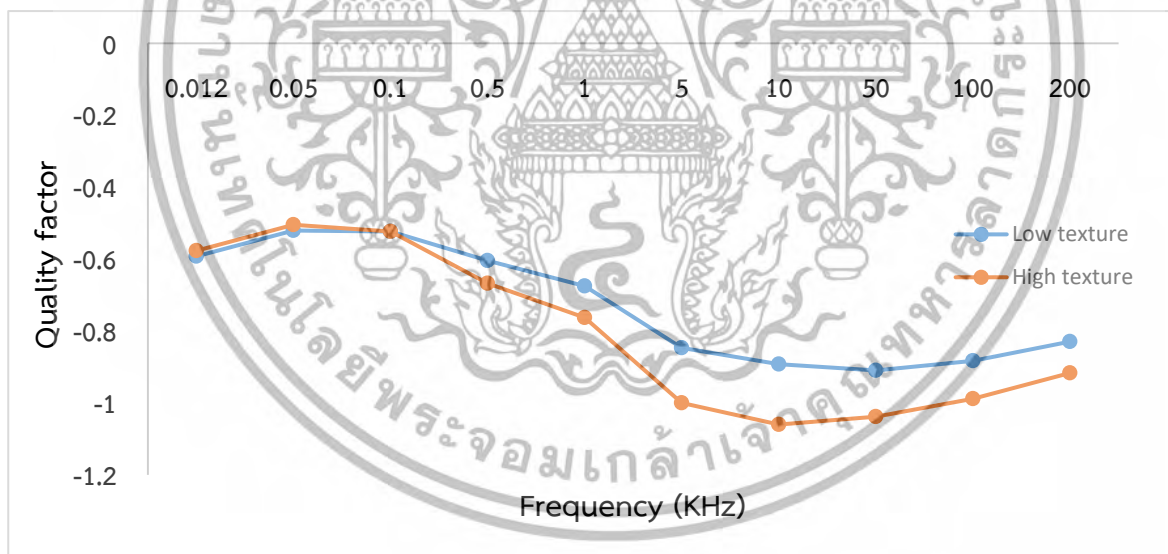
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ
ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า inductance ใกล้เคียงกับกลุ่มข้าวโพดหวาน
ที่มี texture ต่ำในทุกความถี่ ดังแสดงในภาพที่ 4.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ quality factor



ภาพที่ 4.57 ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ
ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลี่ยนแปลง ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดัง
แสดงในภาพที่ 4.57

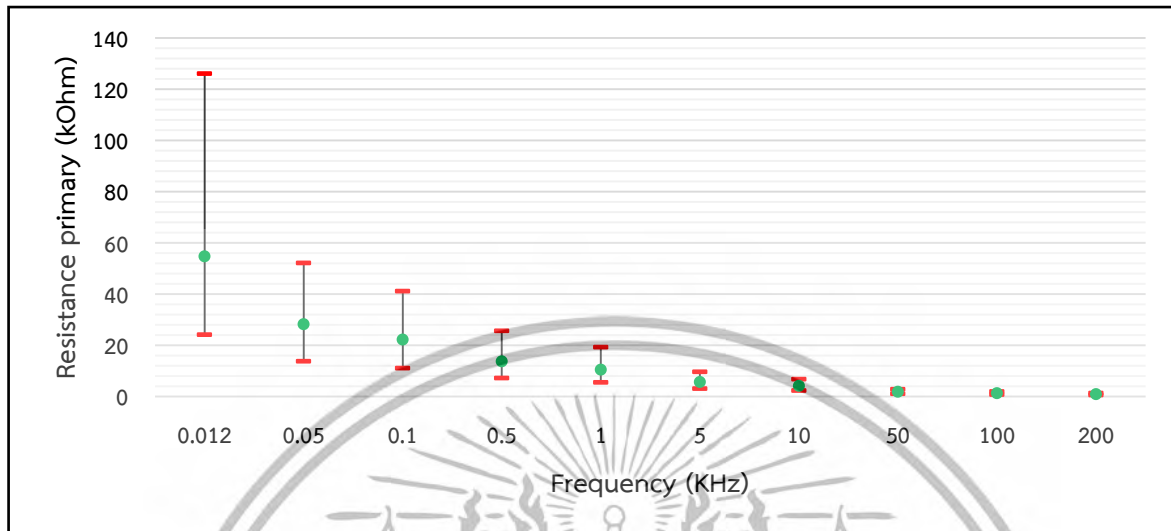


ภาพที่ 4.58 เปรียบเทียบค่า quality factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

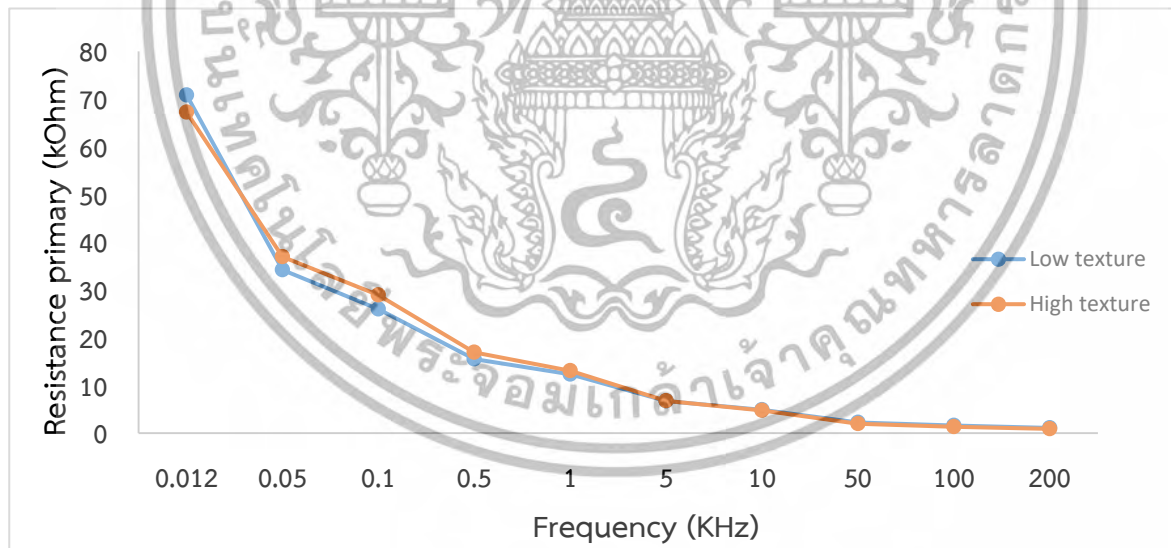
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า quality factor ใกล้เคียงกันที่ความถี่ต่ำกว่า 0.1 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มีค่า texture ต่ำที่ความถี่สูงกว่า 0.1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.6 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ resistance primary



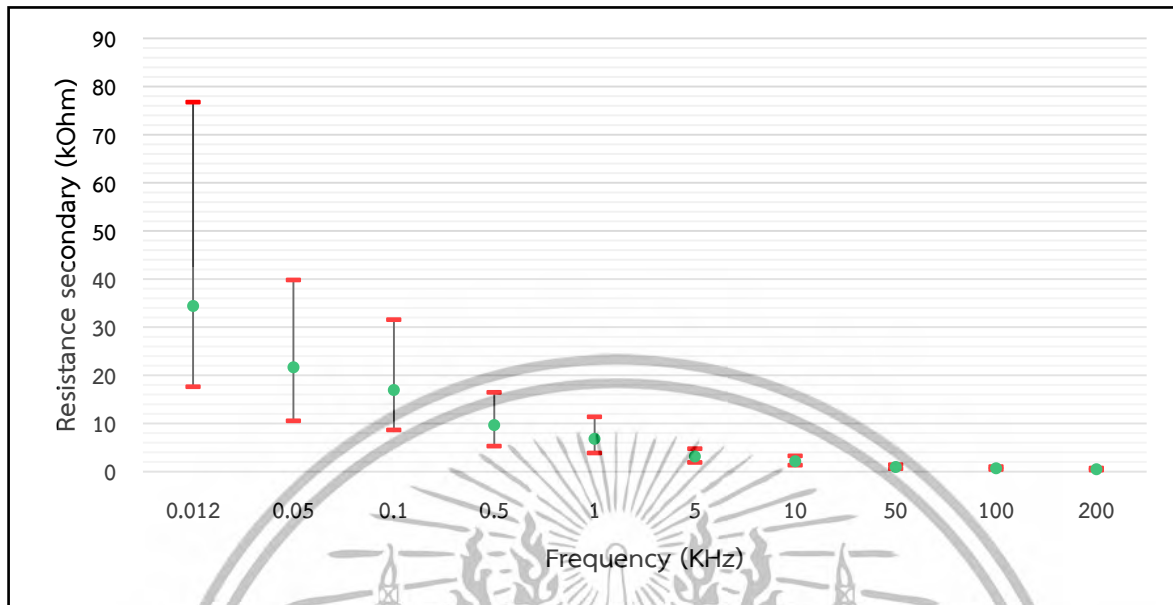
ภาพที่ 4.59 ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.59



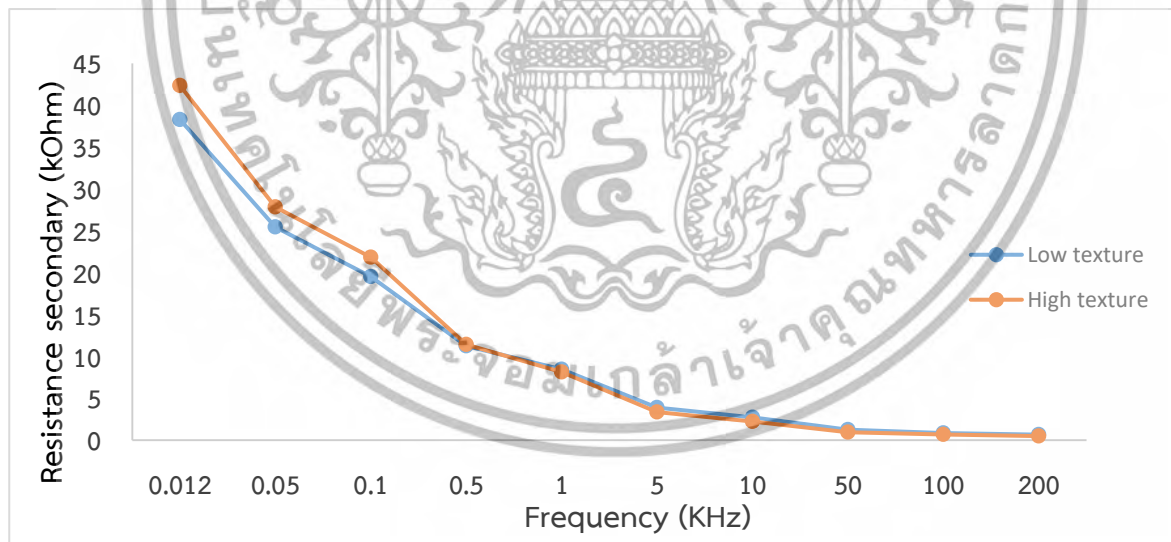
ภาพที่ 4.60 เปรียบเทียบค่า resistance primary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า มีค่าแตกต่างกันไม่ชัดเจน มีค่าใกล้เคียงกัน จึงได้นำมาทำการทดสอบด้วยโปรแกรม SPSS ผลปรากฏว่า $p > 0.05$ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ดังแสดงในภาพที่ 4.60 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ resistance secondary



ภาพที่ 4.61 ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ
ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.61

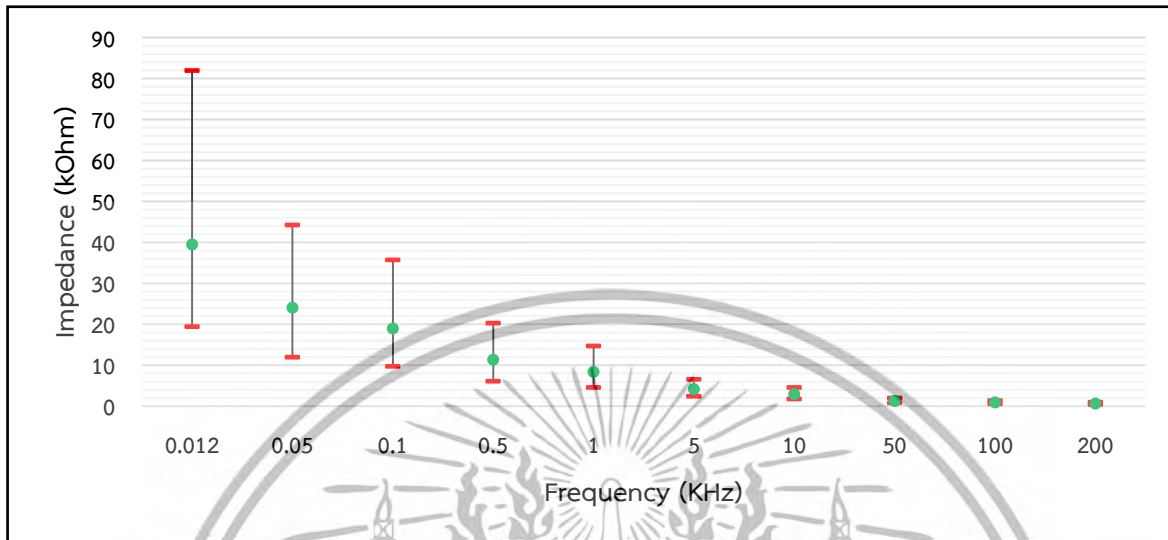


ภาพที่ 4.62 เปรียบเทียบค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

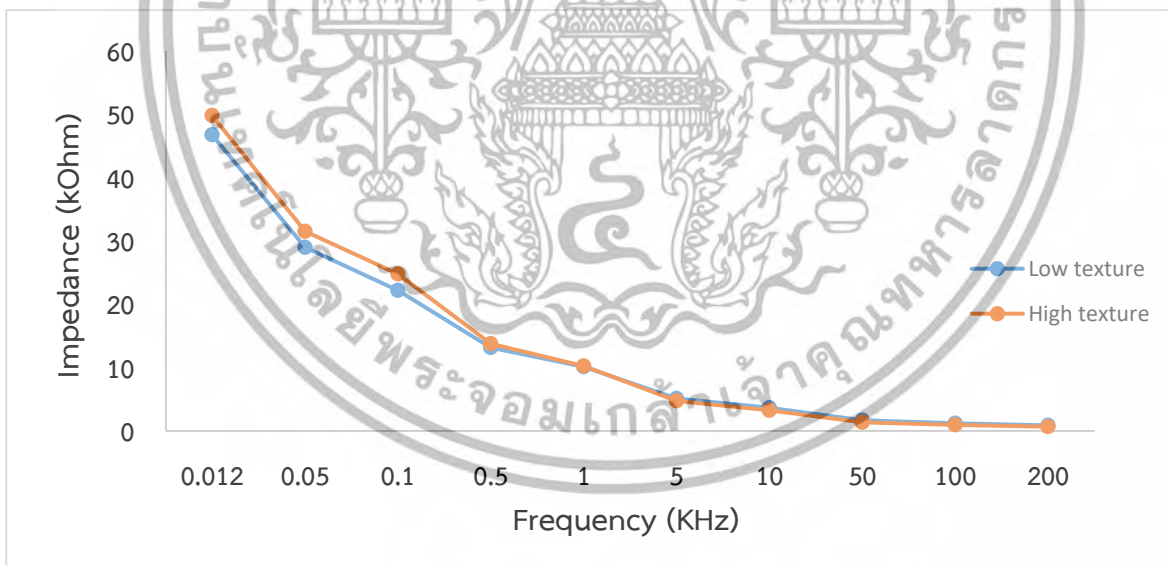
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า resistance secondary ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่า texture กับ impedance



ภาพที่ 4.63 ค่า impedance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ
ค่า impedance ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลี่ยนแปลง ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดัง
แสดงในภาพที่ 4.63



ภาพที่ 4.64 เปรียบเทียบค่า impedance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

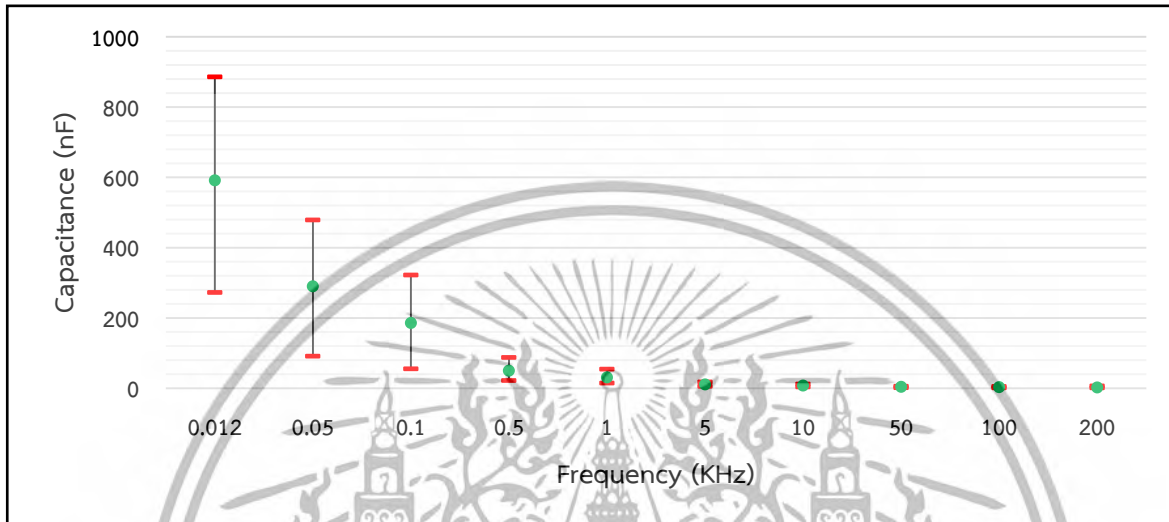
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี texture สูงจะมีค่า impedance ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 0.5 KHz และมีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.5 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

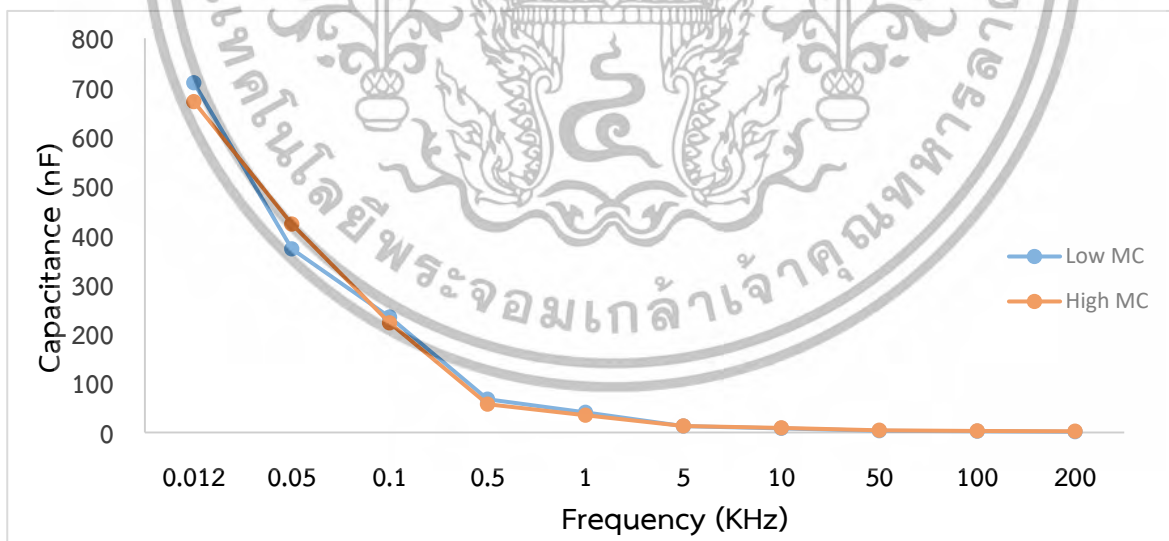
4.1.5 moisture content ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

นำข้าวโพดหวานทั้งฝักปอกเปลือกออกมาวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆจากนั้นนำตัวอย่างข้าวโพดหวานมาตรวจวัดค่า moisture content จากตัวอย่างทั้งหมดแบ่งกลุ่มข้าวโพดหวานที่มี moisture content สูง และ moisture content ต่ำ เพื่อจะเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่าทางไฟฟ้า

4.1.5.1 แสดงความสัมพันธ์ของค่า moisture content กับ capacitance



ภาพที่ 4.65 ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ
ค่า capacitance ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดัง
แสดงในภาพที่ 4.65

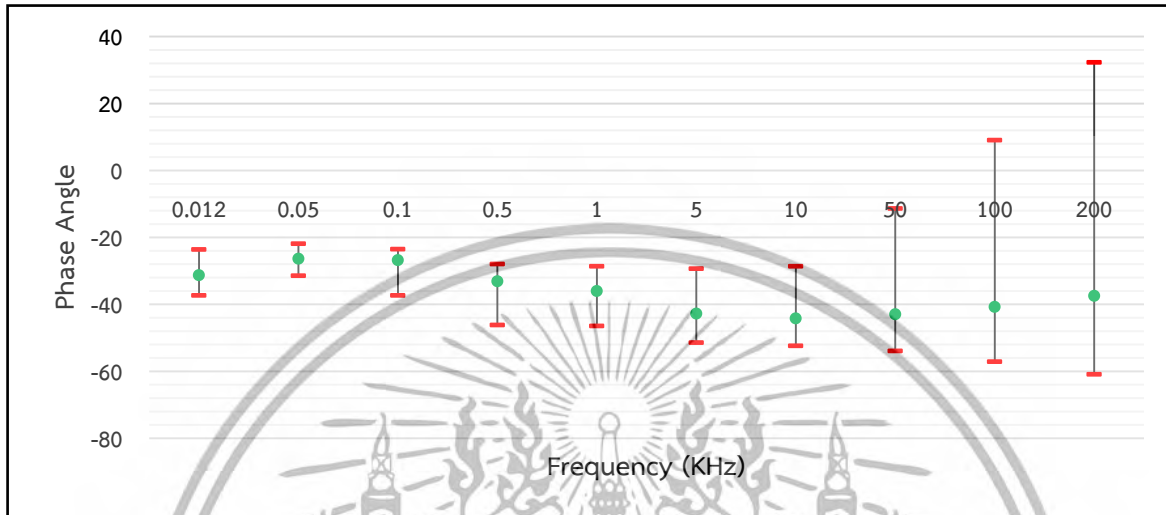


ภาพที่ 4.66 เปรียบเทียบค่า capacitance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน

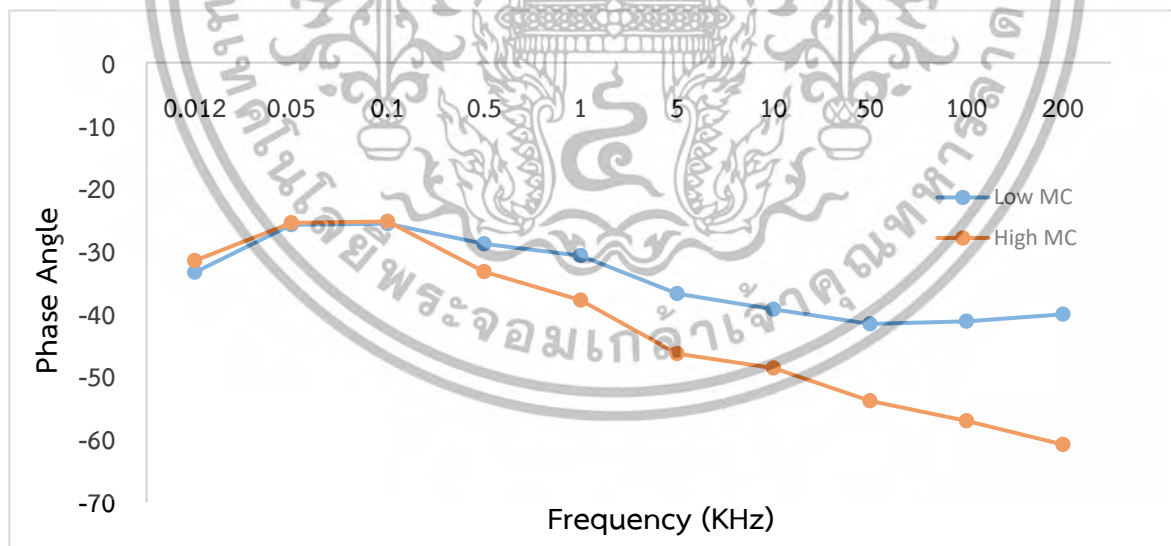
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี moisture content สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า มีค่าแตกต่างกันไม่ชัดเจน มีค่าใกล้เคียงกัน จึงได้นำมาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดสอบด้วยโปรแกรม SPSS ผลปรากฏว่า $p > 0.05$ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ดังแสดงในภาพที่ 4.66

4.1.5.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่า moisture content กับ phase angle



ภาพที่ 4.67 ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ ค่า phase angle ของข้าวโพดหวานไม่มีไปลึก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.67

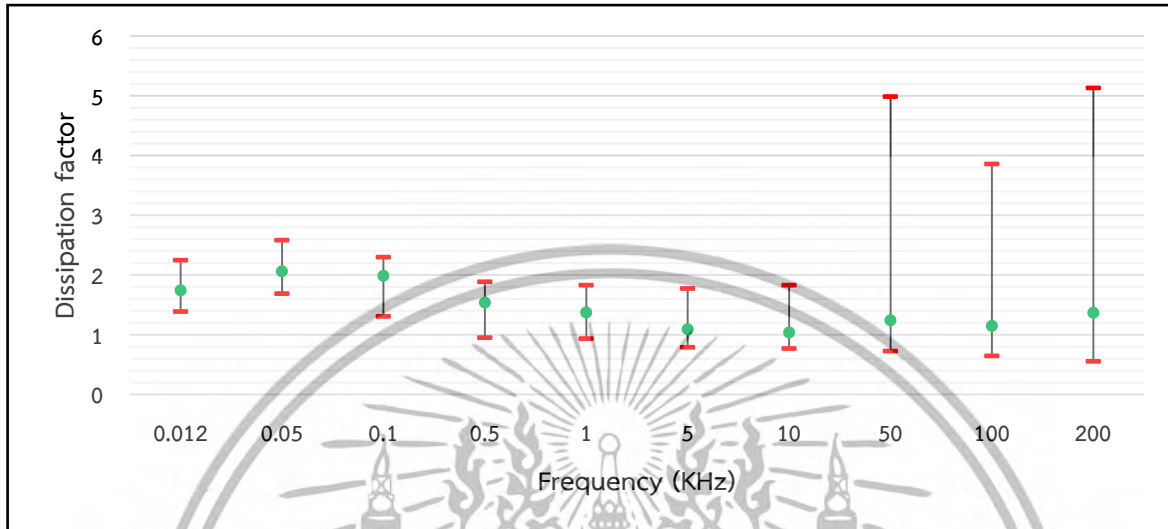


ภาพที่ 4.68 เปรียบเทียบค่า phase angle ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน

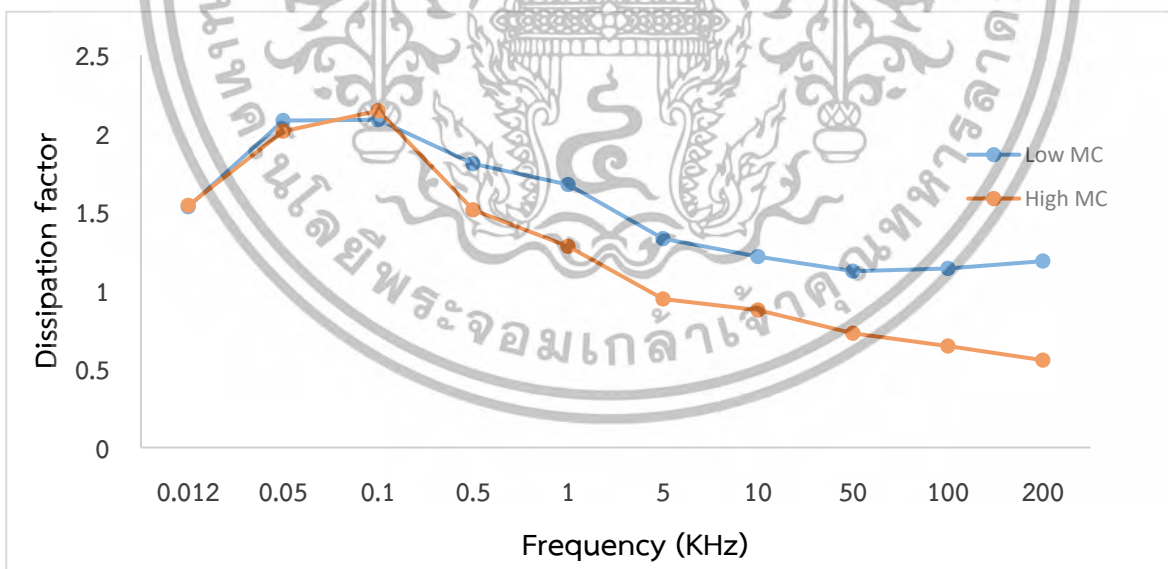
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี moisture content สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี moisture content สูงจะมีค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

phase angle ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ 0.012 KHz, มีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.012 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่ำที่ความถี่มากกว่า 0.1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.68

4.1.5.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่า moisture content กับ dissipation factor



ภาพที่ 4.69 ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ ค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.69



ภาพที่ 4.70 เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน

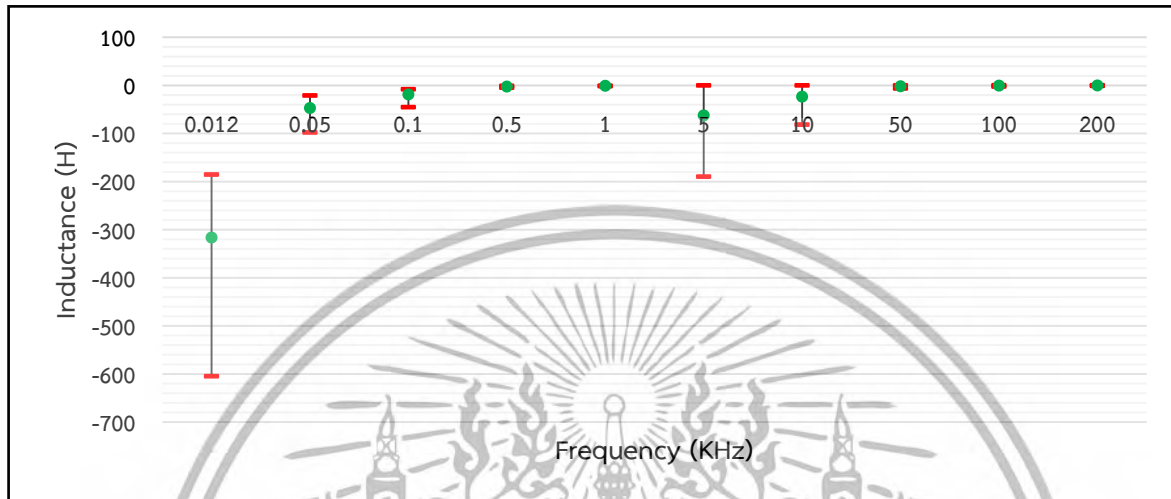
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี moisture content สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี moisture content สูงจะมีค่า phase angle สูงกว่าในช่วงความถี่ 0.012 KHz, มีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.012 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่ำที่ความถี่มากกว่า 0.1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.68

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี moisture content สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี moisture content สูงจะมีค่า phase angle สูงกว่าในช่วงความถี่ 0.012 KHz, มีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.012 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่ำที่ความถี่มากกว่า 0.1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.68

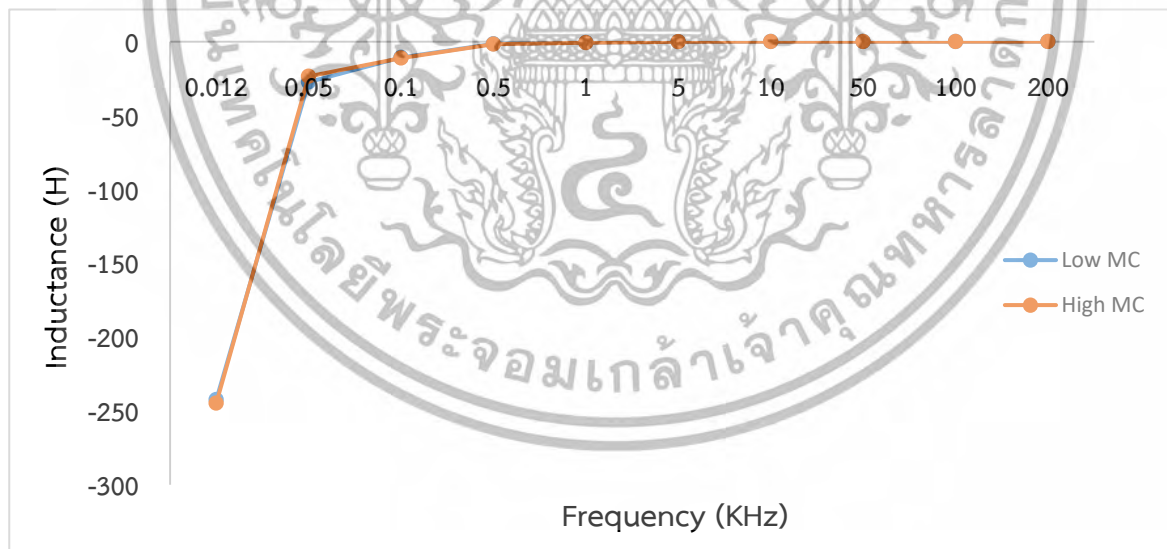
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dissipation factor ใกล้เคียงกับกลุ่มข้าวโพดหวานที่มีค่า moisture content ต่ำที่ความถี่ 0.012 KHz, มีค่าสูงที่ความถี่ 0.1 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่ำที่ความถี่ 0.05 KHz และที่ความถี่มากกว่า 0.1 Hz ดังแสดงในภาพที่ 4.70

4.1.5.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่า moisture content กับ inductance



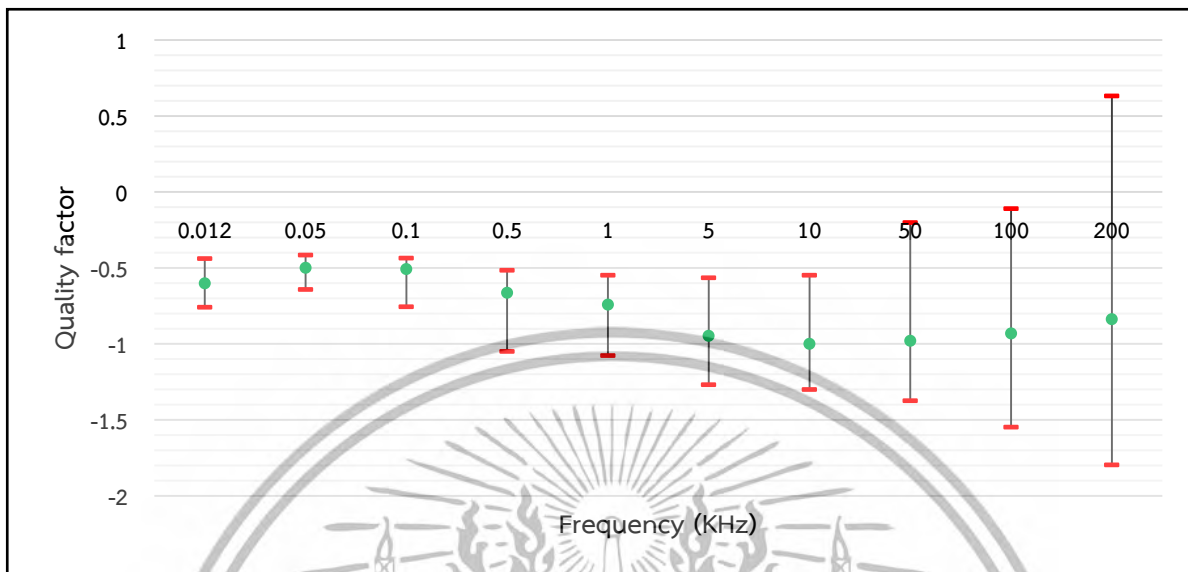
ภาพที่ 4.71 ค่า inductance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ ค่า inductance ของข้าวโพดหวานไม่มีไปล็อก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.71



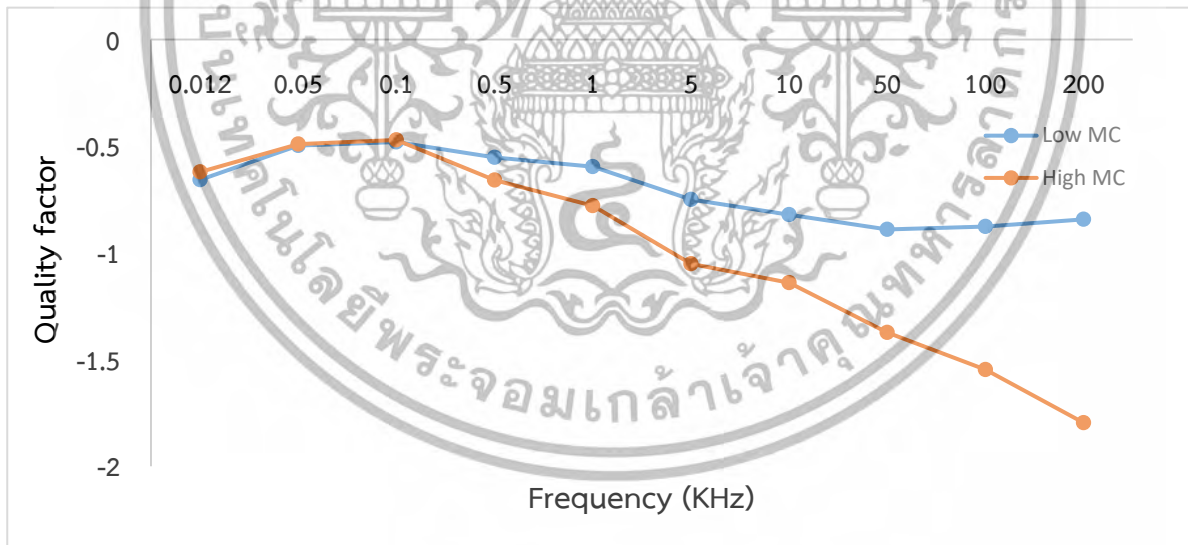
ภาพที่ 4.72 เปรียบเทียบค่า inductance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี moisture content สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี moisture content สูงจะมีค่า inductance ที่ใกล้เคียงกันในทุกช่วงความถี่ดังแสดงในภาพที่ 4.72 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่า moisture content กับ quality factor



ภาพที่ 4.73 ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ
ค่า quality factor ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยตั้ง
แสดงในภาพที่ 4.73

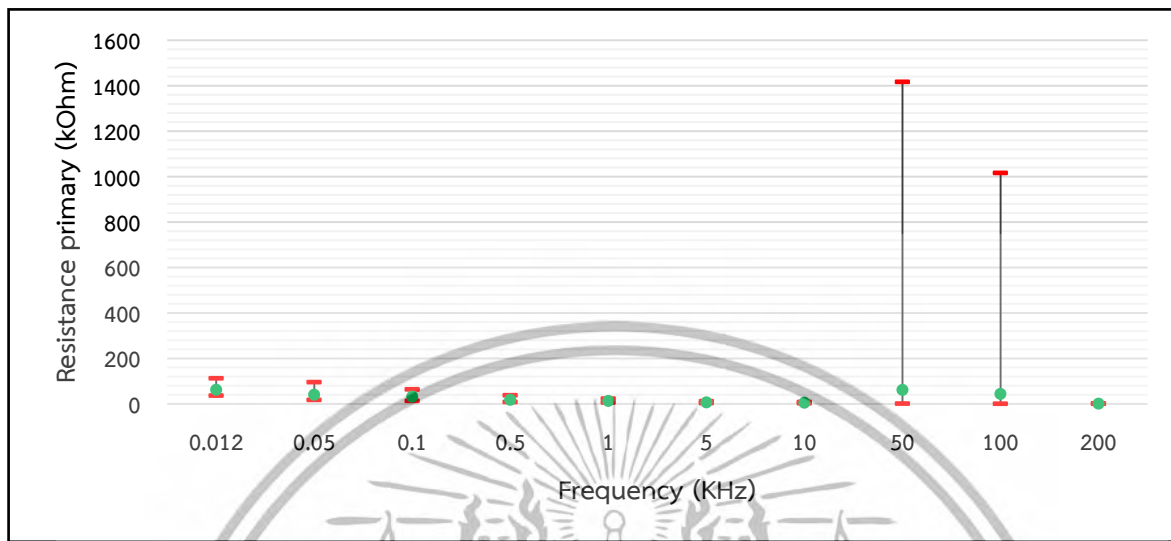


ภาพที่ 4.74 เปรียบเทียบค่า quality factor ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน

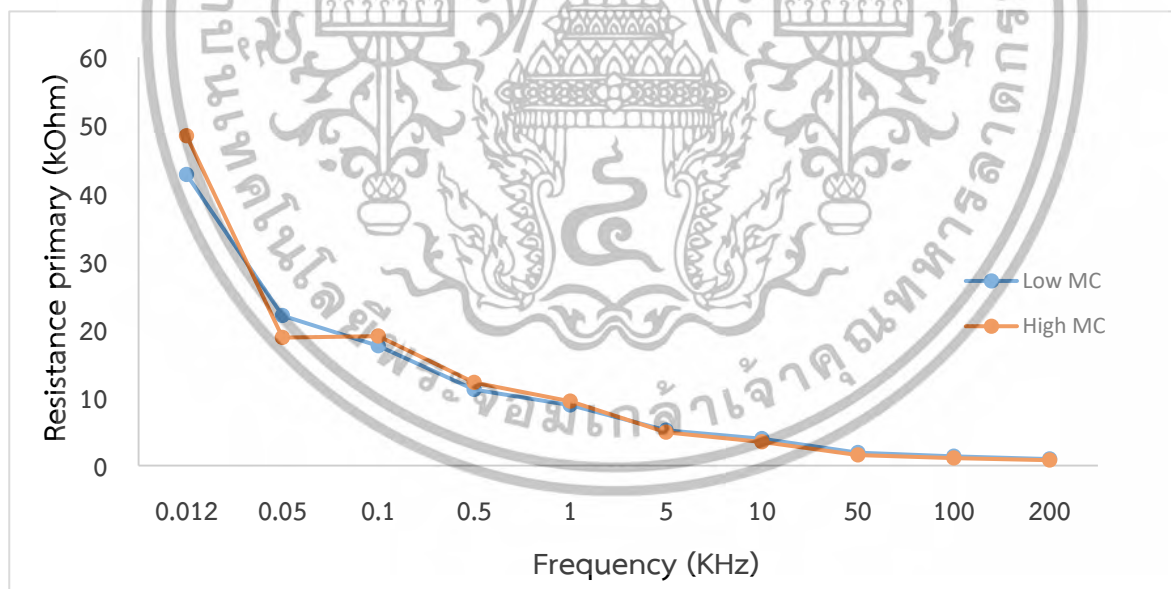
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี moisture content สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มข้าวโพดหวานที่มี moisture content สูงจะมีค่า quality factor ที่สูงกว่าในช่วงความถี่ 0.012 Hz, มีค่าใกล้เคียงกันที่ความถี่สูงกว่า 0.012 KHz และมีค่าต่ำกว่าข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่ำที่ความถี่มากกว่า 0.1 KHz ดังแสดงในภาพที่ 4.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5.6 แสดงความสัมพันธ์ของค่า moisture content กับ resistance primary



ภาพที่ 4.75 ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ ค่า resistance primary ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.75

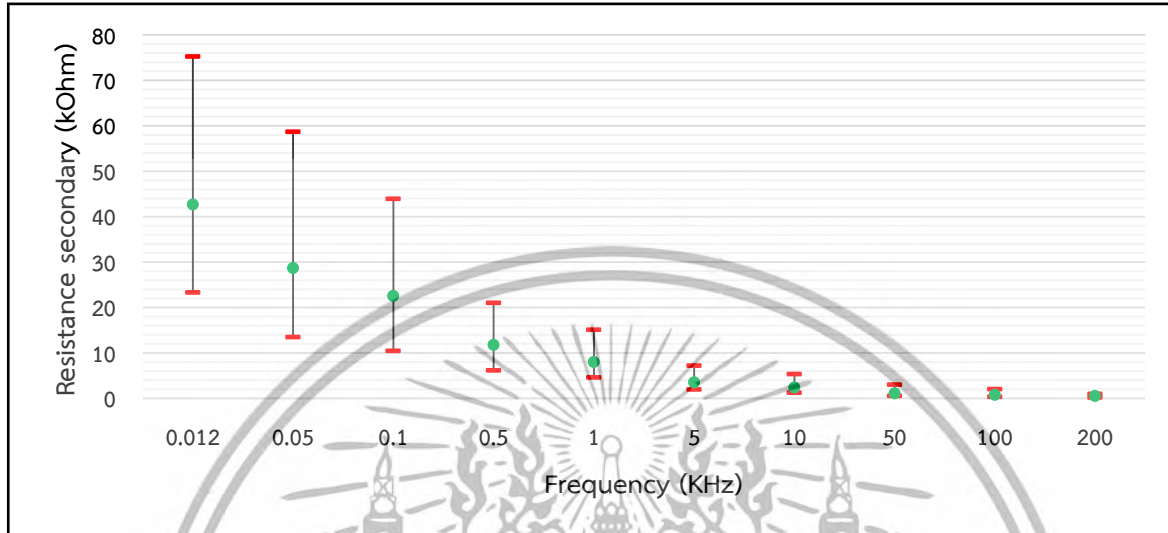


ภาพที่ 4.76 เปรียบเทียบค่า resistance primary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน

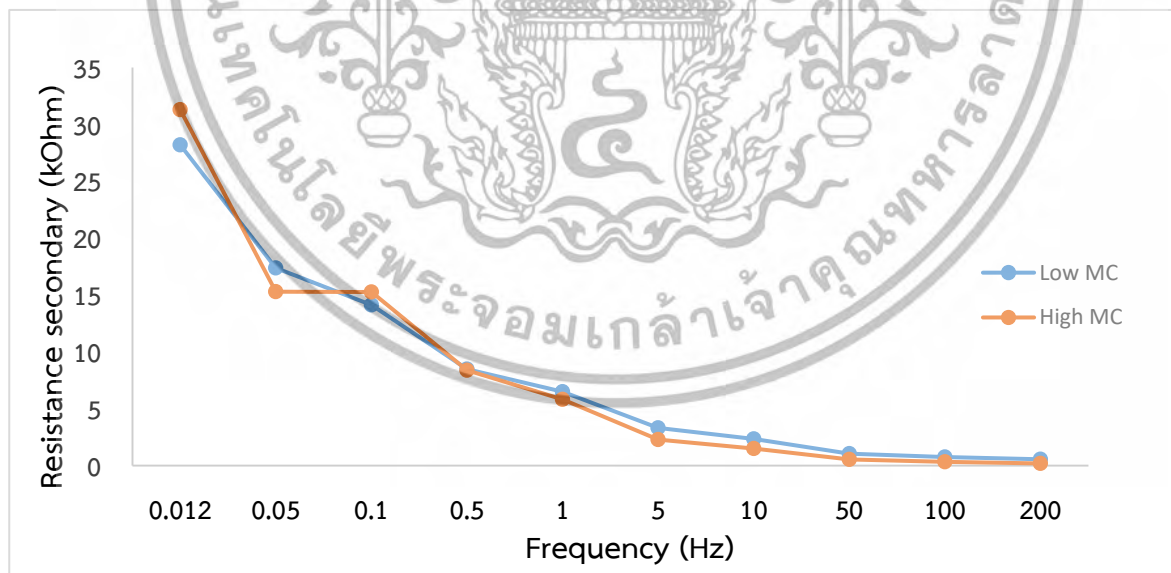
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี moisture content สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า มีค่าแตกต่างกันไม่ชัดเจน มีค่าใกล้เคียงกัน จึงได้นำมาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดสอบด้วยโปรแกรม SPSS ผลปรากฏว่า $p > 0.05$ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ดังแสดงในภาพที่ 4.76

4.1.5.7 แสดงความสัมพันธ์ของค่า moisture content กับ resistance secondary



ภาพที่ 4.77 ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ ค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.77

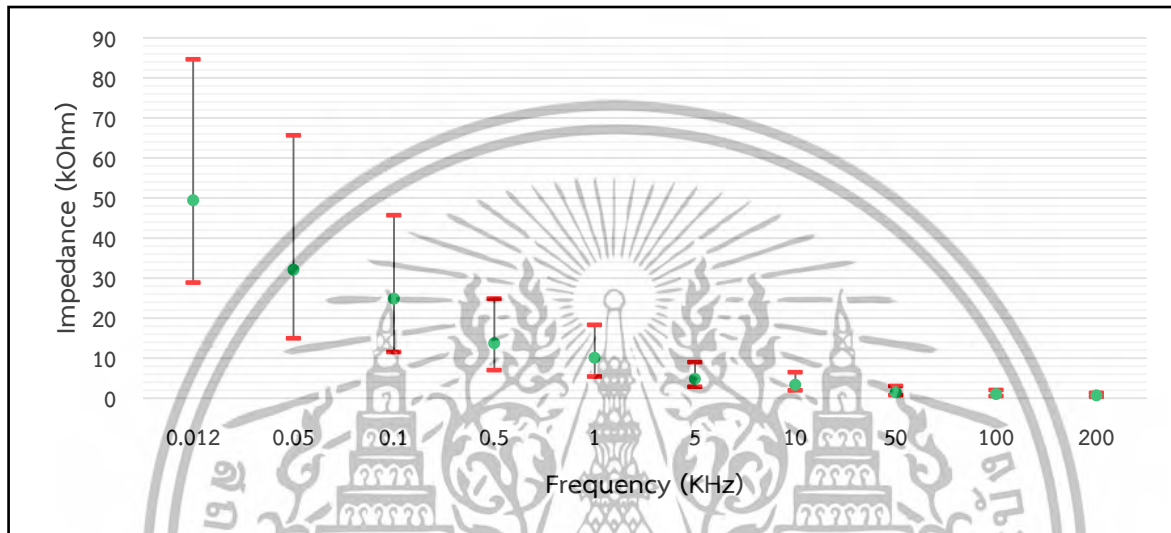


ภาพที่ 4.78 เปรียบเทียบค่า resistance secondary ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน

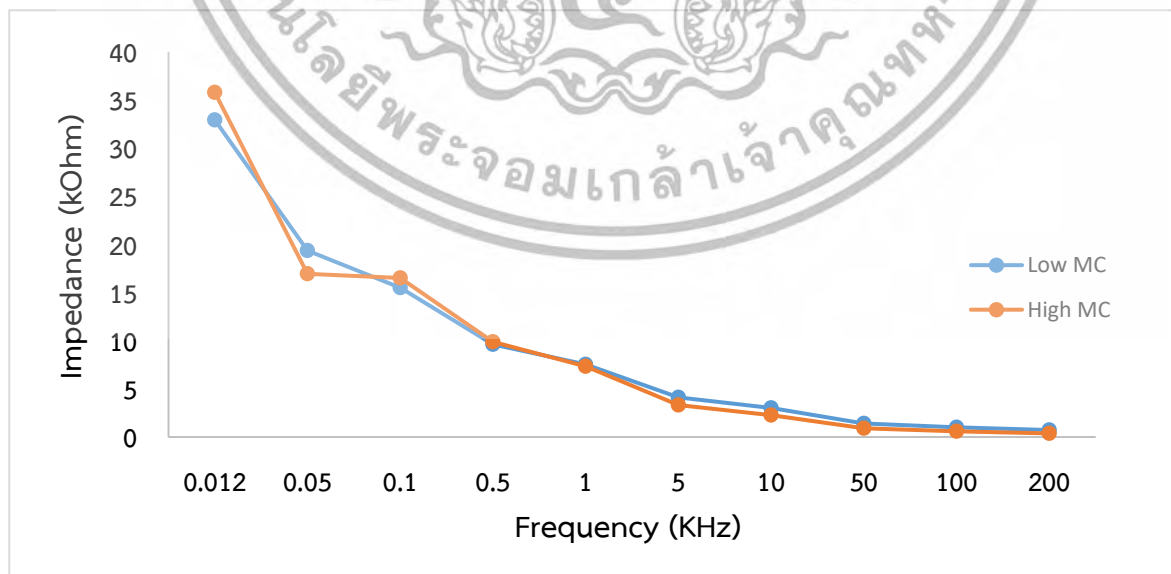
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี moisture content สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า มีค่าแตกต่างกันไม่ชัดเจน มีค่าใกล้เคียงกัน จึงได้นำมาทำการทดสอบด้วยโปรแกรม SPSS ผลปรากฏว่า $p > 0.05$ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ดังแสดงในภาพที่ 4.78

4.1.5.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่า moisture content กับ impedance



ภาพที่ 4.79 ค่า impedance ของข้าวโพดหวานที่ความถี่ต่างๆ ค่า impedance ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลี่ยน ในแต่ละความถี่แสดงค่าสูงสุดต่ำสุดและค่าเฉลี่ยดังแสดงในภาพที่ 4.79



ภาพที่ 4.80 เปรียบเทียบค่า impedance ของข้าวโพดหวาน 2 กลุ่มที่มี moisture content ต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างข้าวโพดหวานที่มี moisture content ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี moisture content สูงและต่ำ ผลเปรียบเทียบพบว่า มีค่าแตกต่างกันไม่ชัดเจน มีค่าใกล้เคียงกัน จึงได้นำมาทำการทดสอบด้วยโปรแกรม SPSS ผลปรากฏว่า $p > 0.05$ แสดงว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ดังแสดงในภาพที่ 4.80

ตอนที่ 4.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของข้าวโพดหวานกับตัวแปรอิสระต่างๆ

4.2.1 total soluble solids (TSS) ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

4.2.1.1 การทดสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามเพื่อสร้างสมการทำนายค่า TSS

ข้อมูลตัวแปรตาม ได้แก่ total soluble solids ของตัวอย่างข้าวโพดหวานที่ใช้สร้างสมการแสดงในตาราง 4.1

การทดสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยวิธี PLSR (partial least squares regression) เพื่อสร้างสมการทำนายค่า total soluble solid ของข้าวโพดหวาน จำนวน 24 ตัวอย่าง โดยแบ่งกลุ่มตัวแปรอิสระออกเป็นจำนวน 83 ตัวแปร ได้แก่ ค่าไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 KHz) ของ capacitance, phase angle, dissipation factor, inductance, quality factor, resistance primary, resistance secondary และ impedance คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่า chroma, ค่า GMD และค่าการดูดกลืนแสงของข้าวโพดหวานมีเปลือก เพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

จากผลการวิเคราะห์สามารถสร้างสมการที่มีความสามารถในการทำนาย ได้ $R^2 = 0.998$ ซึ่งค่าที่ได้บอกสมการหลายตัวแปรสามารถทำนาย TSS ของข้าวโพดหวานได้ในระดับดีมาก สามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ ส่วน RMSEC มีค่าเท่ากับ 0.017 °Brix เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณได้จากค่าการทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.81

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติของค่า TSS ของข้าวโพดหวานที่มีเปลือก

n	Average (°Brix)	Min (°Brix)	Max (°Brix)	SD
24	15.98	15.00	17.00	0.53

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานมีเปลือก

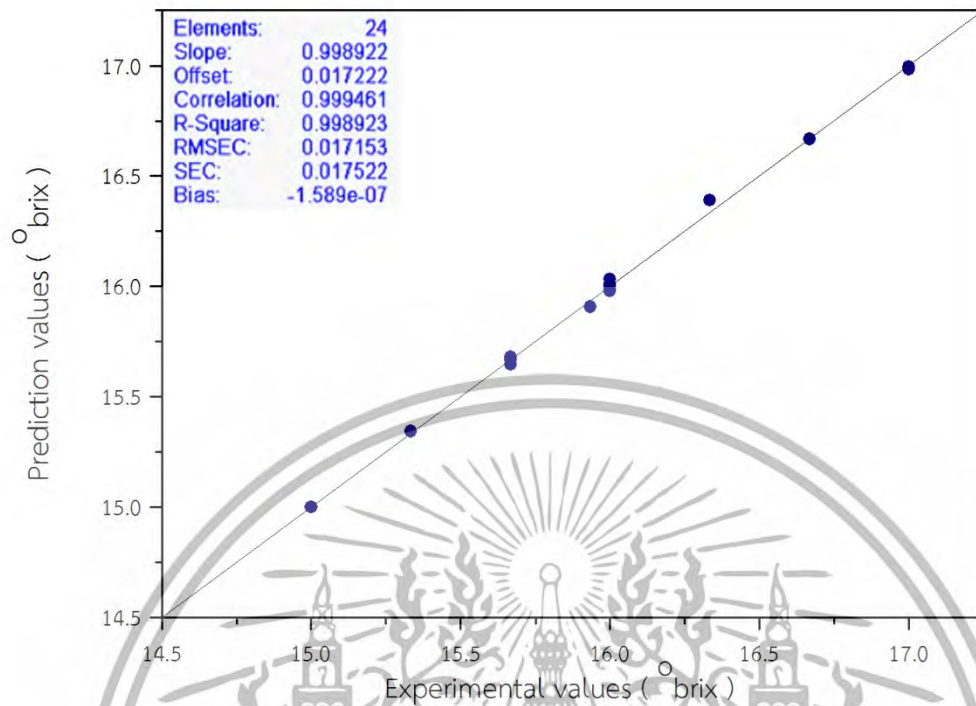
Average คือ ค่าเฉลี่ยของ TSS ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

Min คือ (minimum) ค่าที่น้อยที่สุดของ TSS ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

Max คือ (maximum) ค่าที่มากที่สุดของ TSS ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

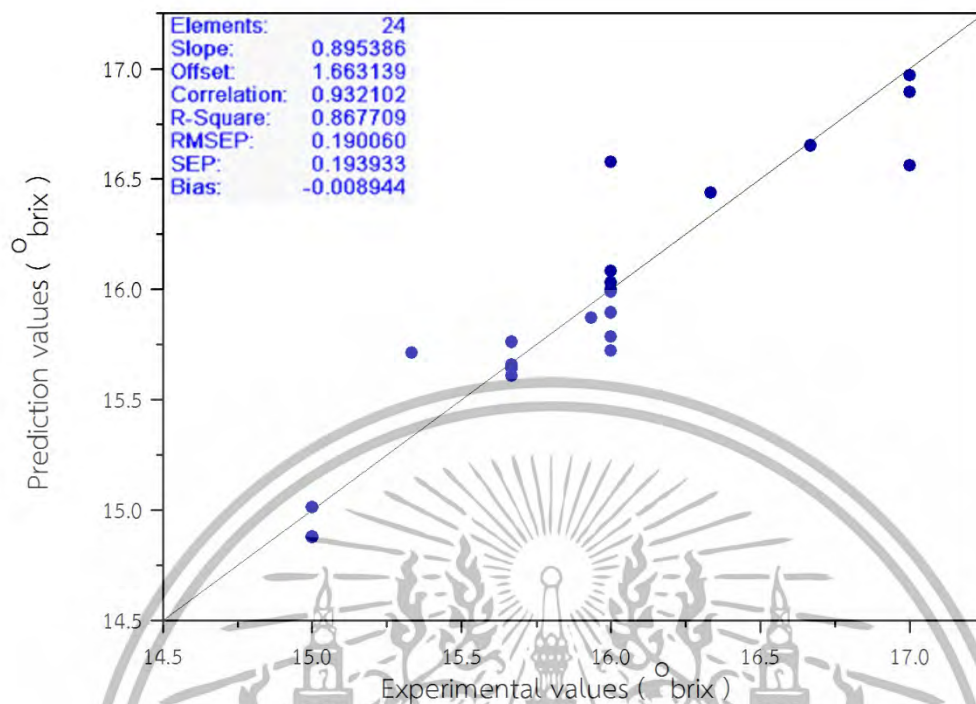
SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้าวโพดหวานมีเปลือก (standard deviation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.81 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า total soluble solids ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรในกลุ่ม calibration ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.82 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า total soluble solid ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

การทวนสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยการนำสมการที่ได้จากกลุ่ม calibration มาทำนายค่า total soluble solids ของข้าวโพดหวานมีเปลือก จำนวน 24 ตัวอย่าง โดยการทวนสอบแบบ cross validation เพื่อยืนยันความถูกต้องจากการทดสอบ สามารถพิจารณาความสัมพันธ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถพยากรณ์ค่า total soluble solids ได้ถูกต้อง 0.868 หรือประมาณ 87% เป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์กันมาก ซึ่งสามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ ส่วน RMSECV มีค่าเท่ากับ 0.190 °Brix เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณได้จากการทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.82

สรุปความสามารถและการทดสอบสมการทำนาย total soluble solids ของข้าวโพดหวานมีเปลือก แสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า total soluble solids เมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร

	n	PC	R ²	RMSEC (°Brix)	RMSECV (°Brix)
Calibration	24	20	0.999	0.017	-
Cross validation	24	20	0.868	-	0.190

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานมีเปลือก

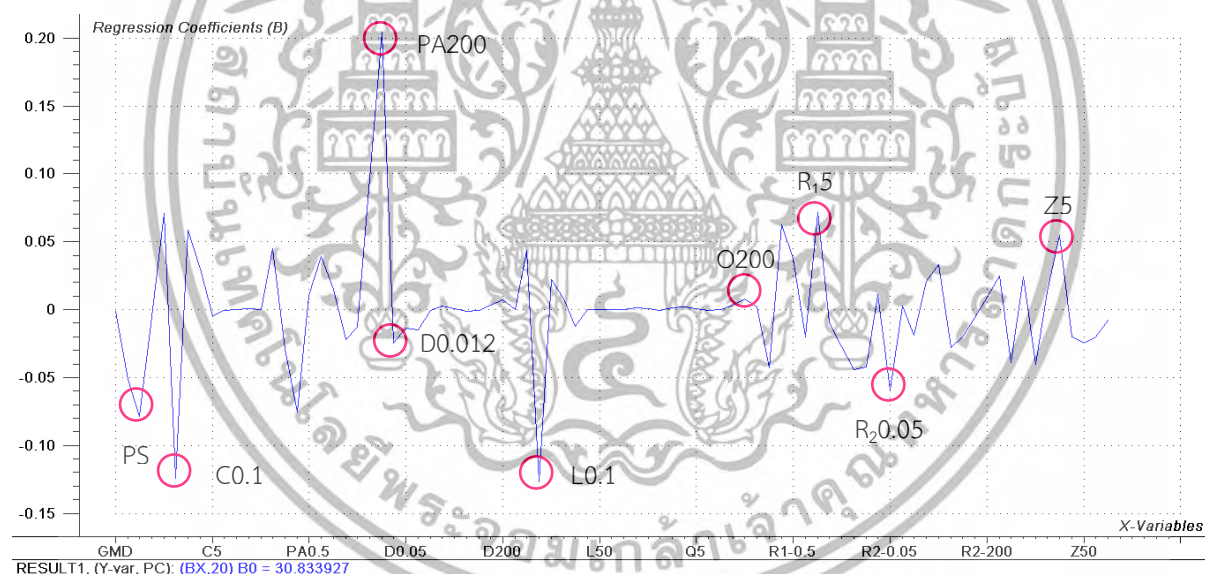
R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

PC คือ องค์ประกอบหลัก (principal component)

RMSEC คือ ความน่าเชื่อถือของการทำนายสมการ (root mean square error of calibration)

RMSECV คือ ความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (root mean square error of cross validation)

4.2.1.2 การสร้างสมการทำนายค่า TSS ของข้าวโพดหวานมีเปลือก



ภาพที่ 4.83 regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย total soluble solid

$$\begin{aligned} \text{total soluble solid} = & 30.833927 - 0.00153(\text{GMD}) - 0.05148(\text{color}) - 0.07893(\text{PS}) - 0.000065(\text{C0.012}) \\ & + 0.003543(\text{C0.05}) - 0.012400(\text{C0.1}) + 0.029350(\text{C0.5}) + 0.030020(\text{C1}) - 0.022990(\text{C5}) - 0.007215(\text{C10}) \\ & + 0.005955(\text{C50}) + 0.072620(\text{C100}) + 0.041040(\text{C200}) + 0.000541(\text{PA0.012}) - 0.001475(\text{PA0.05}) \\ & - 0.007571(\text{PA0.1}) + 0.005365(\text{PA0.5}) + 0.039040(\text{PA1}) + 0.074050(\text{PA5}) - 0.223200(\text{PA10}) - 0.662500 \\ & (\text{PA50}) + 9.706000(\text{PA100}) + 41.000000(\text{PA200}) - 0.000295(\text{D0.012}) - 0.000669(\text{D0.05}) - 0.001468 \\ & (\text{D0.1}) - 0.000222(\text{D0.5}) + 0.002869(\text{D1}) + 0.002042(\text{D5}) - 0.013450(\text{D10}) - 0.047035(\text{D50}) + 0.318300 \\ & (\text{D100}) + 1.417200(\text{D200}) + 0.000002(\text{L0.012}) + 0.002193(\text{L0.05}) - 0.012700(\text{L0.1}) + 0.011230(\text{L0.5}) \\ & + 0.007790(\text{L1}) - 0.060850(\text{L5}) + 0.000375(\text{L10}) + 0.002733(\text{L50}) + 0.003789(\text{L100}) + 0.001724 \end{aligned}$$

เฮลิคอปเตอร์บินขึ้นจากสนามบินสุวรรณภูมิเพื่อไปช่วยเหลือผู้ประสบภัยน้ำท่วมในจังหวัดอุบลราชธานี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(L200)+0.000017(Q0.012)+0.000030(Q0.05)-0.000068(Q0.1)+0.000619(Q0.5)+0.001825(Q1)+0.003603(Q5)-0.004571(Q10)-0.012415(Q50)+0.330800(Q100)+1.535400(Q200)+0.000025(R-10.012)-0.002147(R1-0.05)+0.006260(R1-0.1)+0.019010(R1-0.5)-0.020430(R1-1)+0.357700(R1-5)-0.090050(R1-10)-1.369000(R1-50)-4.390000(R1-100)-8.476000(R1-200)+0.000136(R2-0.012)-0.002968(R2-0.05)+0.000286(R2-0.1)-0.009390(R2-0.5)+0.020740(R2-1)+0.167400(R2-5)-0.281600(R2-10)-1.018500(R2-50)-0.554100(R2-100)+1.866800(R2-200)+0.000299(Z0.012)-0.001951(Z0.05)+0.002385(Z0.1)-0.020105(Z0.5)+0.012810(Z1)+0.273000(Z5)-0.198600(Z10)-1.235000(Z50)-2.008000(Z100)-1.502600(Z200)

จากกราฟแสดง regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย total soluble solids ของข้าวโพดหวานมีเปลือก สามารถบอกตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมการได้แก่ ค่าการดูดกลืนแสง, capacitance ที่ความถี่ 0.1 KHz, phase angle ที่ความถี่ 200 KHz, dissipation factor ที่ความถี่ 0.012 KHz, inductance ที่ความถี่ 0.1 KHz, quality factor ที่ความถี่ 200 KHz, resistance primary ที่ความถี่ 5 KHz, resistance secondary ที่ความถี่ 0.05 KHz และ impedance ที่ความถี่ 5 KHz ตัวแปรที่ไม่มีผลต่อสมการได้แก่ ค่า GMD และ color

ตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญมากที่สุด 3 ค่า ได้แก่ phase angle ที่ความถี่ 200 KHz, phase angle ที่ความถี่ 100 KHz และ resistance secondary ที่ความถี่ 200 KHz

4.2.2 total soluble solids (TSS) ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

4.2.2.1 การทดสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามเพื่อสร้างสมการทำนายค่า TSS ข้อมูลตัวแปรตาม ได้แก่ total soluble solids ของตัวอย่างข้าวโพดหวานที่ใช้สร้างสมการแสดงในตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าทางสถิติของค่า TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

n	Average (°Brix)	Min (°Brix)	Max (°Brix)	SD
24	15.98	15.00	17.00	0.53

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

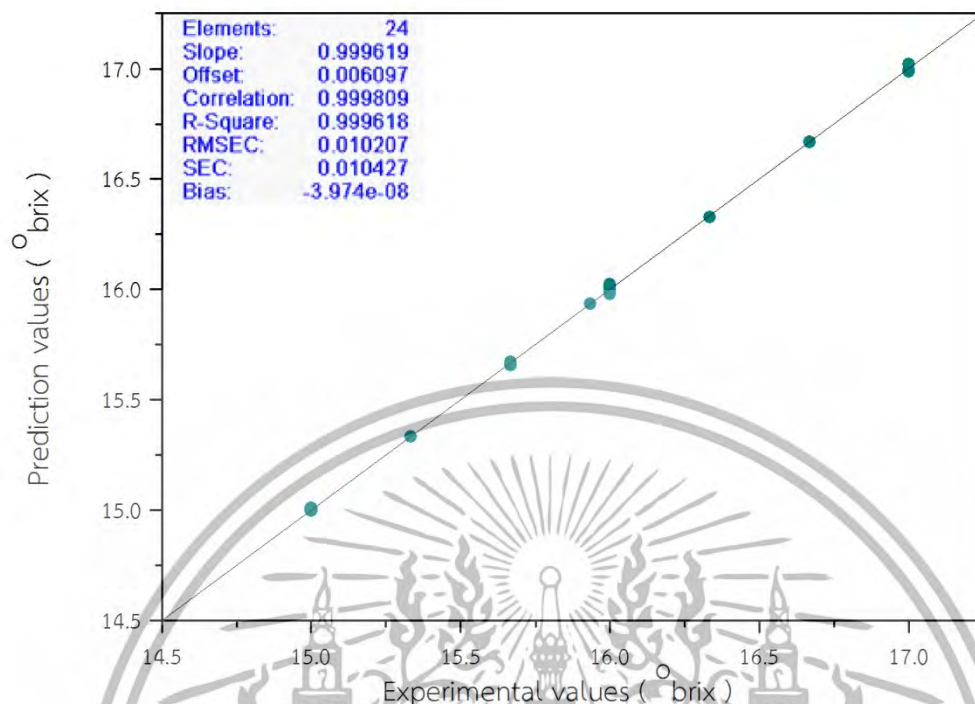
Average คือ ค่าเฉลี่ยของ TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

Min คือ (minimum) ค่าที่น้อยที่สุดของ TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

Max คือ (maximum) ค่าที่มากที่สุดของ TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก (standard deviation)

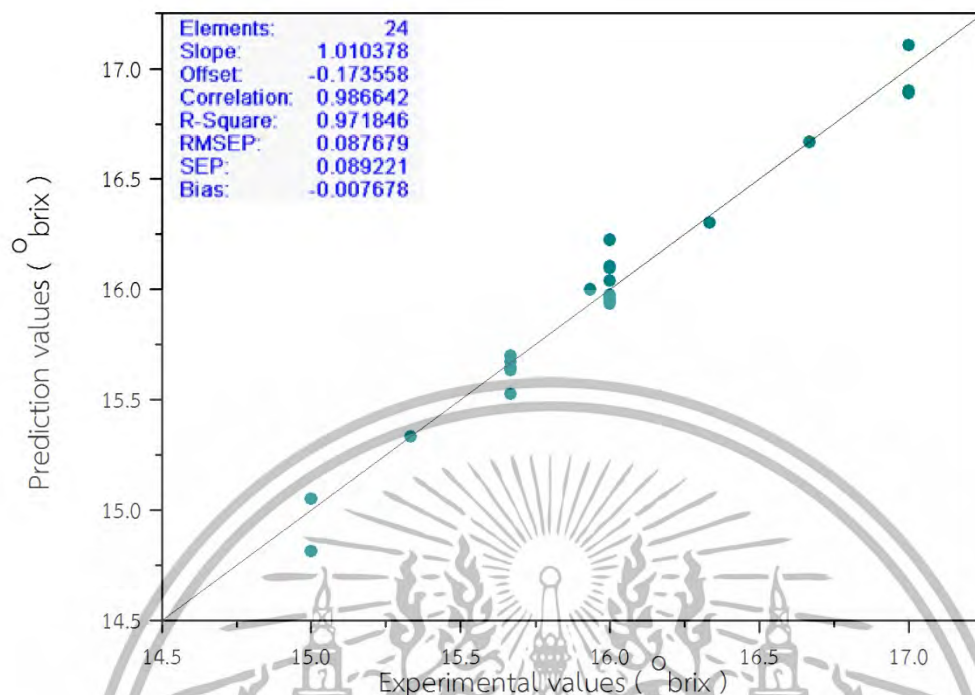
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.84 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า total soluble solid ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรในกลุ่ม calibration ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

การทดสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยวิธี PLSR (partial least squares regression) เพื่อสร้างสมการทำนายค่า total soluble solids ของข้าวโพดหวาน จำนวน 24 ตัวอย่าง โดยแบ่งกลุ่มตัวแปรอิสระออกเป็นจำนวน 84 ตัวแปรพร้อมกัน ได้แก่ ค่าไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 KHz) ได้แก่ capacitance, phase angle, dissipation factor, inductance, quality factor, resistance primary, resistance secondary และ impedance คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น, ค่า chroma, ค่า GMD และค่าการดูดกลืนแสงของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก เพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถพยากรณ์ค่า TSS ได้ 0.999 หรือประมาณ 99% ซึ่งค่าที่ได้บอกสมการหลายตัวแปรสามารถทำนาย TSS ของข้าวโพดหวานได้ในระดับดีมาก สามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ ส่วน RMSEC มีค่าเท่ากับ 0.010 °Brix เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณได้จากค่าการทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.85 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า total soluble solid ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

การทวนสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยการนำสมการที่ได้จากกลุ่ม calibration มาทำนายค่า total soluble solids ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก จำนวน 24 ตัวอย่าง โดยการทวนสอบแบบ cross validation เพื่อยืนยันความถูกต้องจากการทดสอบ สามารถพิจารณาความสัมพันธ์การตัดสิ้นใจ (R^2) สามารถพยากรณ์ค่า total soluble solid ได้ถูกต้อง 0.972 หรือประมาณ 97% เป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์กันมาก ซึ่งสามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ ส่วน RMSECV มีค่าเท่ากับ 0.087 °Brix เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณได้จากการทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.85

สรุปความสามารถและการทดสอบสมการทำนาย total soluble solids ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก แสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า total soluble solids เมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร

	n	PC	R ²	RMSEC (°Brix)	RMSECV (°Brix)
Calibration	24	20	0.999	0.010	-
Cross validation	24	20	0.972	-	0.088

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

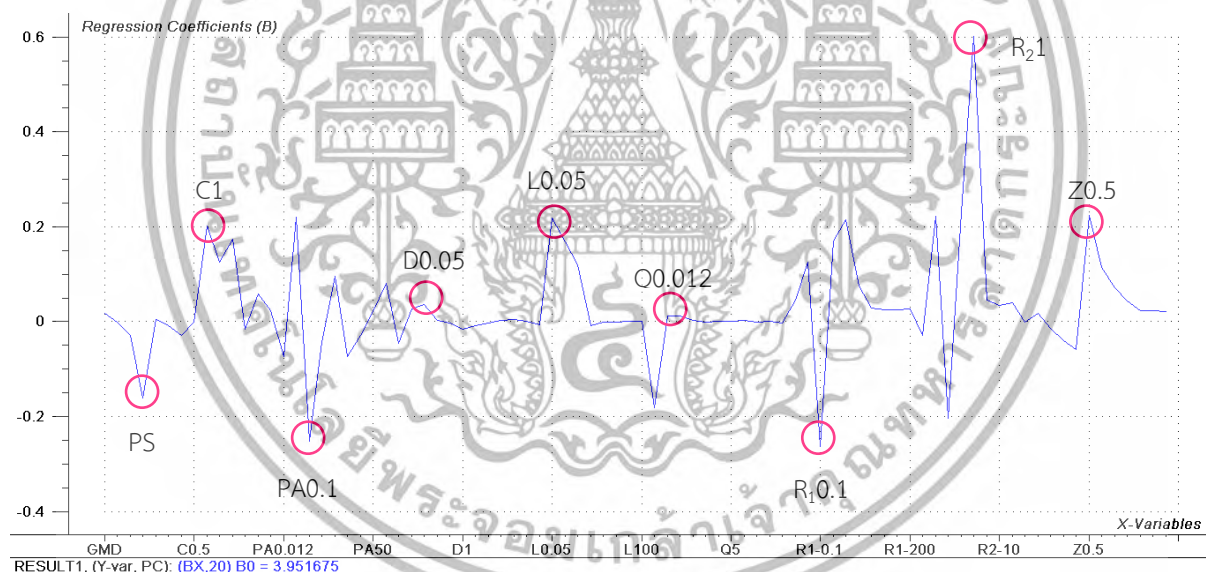
R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

PC คือ องค์ประกอบหลัก (principal component)

RMSEC คือ ความน่าเชื่อถือของการทำนายสมการ (root mean square error of calibration)

RMSECV คือ ความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (root mean square error of cross validation)

4.2.1.2 การสร้างสมการทำนายค่า TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก



ภาพที่ 4.86 regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย total soluble solid

$$\begin{aligned} \text{total soluble solid} = & 3.951675 + 0.01687(\text{GMD}) - 0.00069(\text{density}) - 0.02828(\text{color}) - 0.162(\text{PS}) \\ & + 0.00005184(\text{C0.012}) - 0.0004527(\text{C0.05}) - 0.002896(\text{C0.1}) - 0.0008505(\text{C0.5}) + 0.201(\text{C1}) + 0.625 \\ & (\text{C5}) + 1.74(\text{C10}) - 0.766(\text{C50}) + 5.897(\text{C100}) + 4.738(\text{C200}) - 0.00088164(\text{PA0.012}) + 0.011(\text{PA0.05}) \\ & - 0.0252(\text{PA0.1}) - 0.02164(\text{PA0.5}) + 0.0963(\text{PA1}) - 0.3636(\text{PA5}) - 0.2894(\text{PA10}) + 1.0735(\text{PA50}) + 8.021 \\ & (\text{PA100}) - 8.956(\text{PA200}) + 0.0003288(\text{D0.012}) + 0.001831(\text{D0.05}) + 0.0002329(\text{D0.1}) - 0.0014265 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(D0.5)-0.0156(D1)-0.04434(D5)-0.02356(D10)+0.0941(D50)+0.4544(D100)+0.003494(D200)-
 0.00008136(L0.012)+0.01095(L0.05)+0.0169(L0.1)+0.06(L0.5)-0.008122(L1)-0.00802(L5)-
 0.004333(L10)-0.00101(L50)-0.001931(L100)-36.2(L200)+0.00014652(Q0.012)+0.00057(Q0.05)
 +0.0001755(Q0.1)-0.0004456(Q0.5)-0.00008739(Q1)+0.000958(Q5)+0.0196(Q10)-0.01838
 (Q50)+0.1213(Q100)-0.5428(Q200)+0.00053616(R1-0.012)+0.0063(R1-0.05)-0.0263(R1-
 0.1)+0.085(R1-0.5)+0.215(R1-1)+0.37245(R1-5)+0.2837(R1-10)+1.2305(R1-50)+2.522(R1-
 100)+5.232(R1-200)-0.00034296(R2-0.012)+0.0111(R2-0.05)-0.0204(R2-0.1)+0.1145(R2-
 0.5)+0.602(R2-1)+0.2283(R2-5)+0.3373(R2-10)+2.024(R2-50)-0.01917(R2-100)+3.534(R2-200)-
 0.00017844(Z0.012)-0.002042(Z0.05)-0.005813(Z0.1)+0.1115(Z0.5)+0.114(Z1)+0.3544(Z5)+
 0.4276(Z10)+1.1605(Z50) +2.235(Z100)+4.344(Z200)

จากกราฟแสดง regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย total soluble solid ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก สามารถบอกตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมการได้แก่ ค่าการดูดกลืนแสง, capacitance ที่ความถี่ 1 KHz, phase angle ที่ความถี่ 0.1 KHz, dissipation factor ที่ความถี่ 0.05 KHz, inductance ที่ความถี่ 0.05 KHz, quality factor ที่ความถี่ 0.012 KHz, resistance primary ที่ความถี่ 0.1 KHz, resistance secondary ที่ความถี่ 1 KHz และค่า impedance ที่ความถี่ 0.5 KHz ตัวแปรที่ไม่มีผลต่อสมการได้แก่ ค่า GMD, density และ color

ตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญมากที่สุด 3 ค่า ได้แก่ phase angle ที่ความถี่ 100 KHz, capacitance ที่ความถี่ 100 KHz และ resistance primary ที่ความถี่ 200 KHz

4.2.3 texture ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

4.2.3.1 การทดสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามเพื่อสร้างสมการทำนายค่า texture

ข้อมูลตัวแปรตาม ได้แก่ texture ของตัวอย่างข้าวโพดหวานที่ใช้สร้างสมการแสดงในตาราง 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าทางสถิติของค่า texture ของข้าวโพดหวานที่มีเปลือก

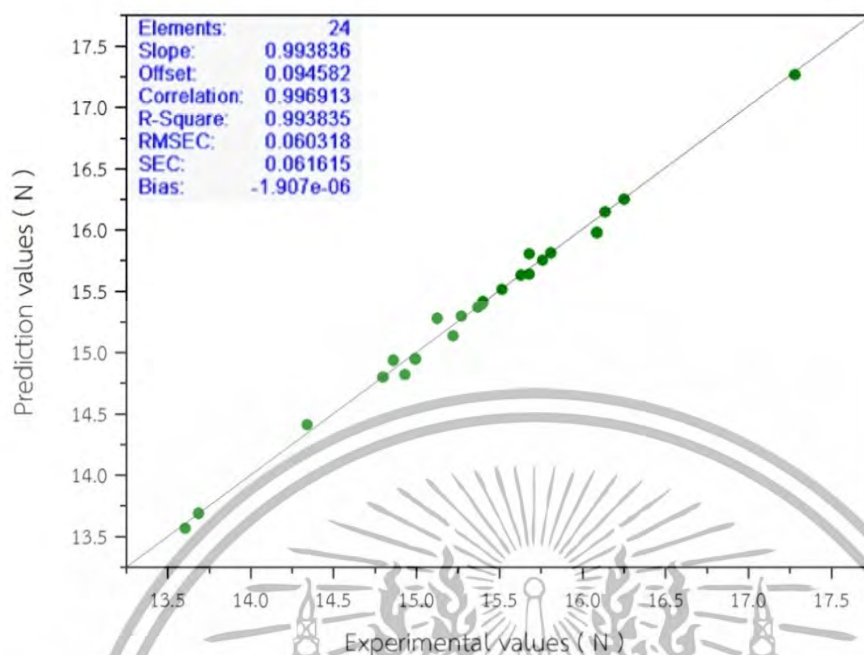
n	Average (N)	Min (N)	Max (N)	SD
24	15.34	13.61	17.28	0.79

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานมีเปลือก

Average คือ ค่าเฉลี่ยของ TSS ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

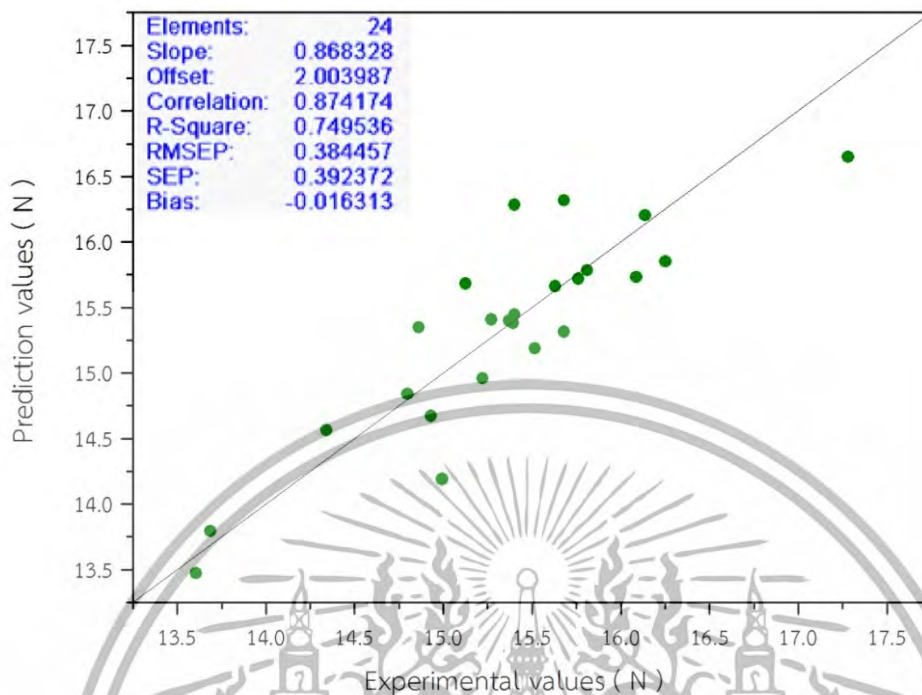
Min คือ (minimum) ค่าที่น้อยที่สุดของ TSS ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Max คือ (maximum) ค่าที่มากที่สุดของ TSS ของข้าวโพดหวานมีเปลือก
 SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้าวโพดหวานมีเปลือก (standard deviation)
 ภาพที่ 4.87 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการ
 ทำนายของสมการหลายตัวแปรในกลุ่ม calibration ของข้าวโพดหวานมีเปลือก
 การทดสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler
 โดยวิธี PLSR (partial least squares regression) เพื่อสร้างสมการทำนายค่า texture ของข้าวโพดหวาน
 จำนวน 24 ตัวอย่าง โดยแบ่งกลุ่มตัวแปรอิสระออกเป็นจำนวน 83 ตัวแปร ได้แก่ ค่าไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ
 (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 KHz) ได้แก่ capacitance, phase angle,
 dissipation factor, inductance, quality factor, resistance primary, resistance secondary และ
 impedance คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่า chroma, ค่า GMD และค่าการดูดกลืนแสงของข้าวโพดหวาน
 มีเปลือก จำนวน 83 ตัวแปรพร้อมกัน เพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถพยากรณ์ค่า
 texture ได้ 0.994 หรือประมาณ 99% ซึ่งค่าที่ได้บอกสมการหลายตัวแปรสามารถทำนาย texture ของ
 ข้าวโพดหวานได้ในระดับดีมาก สามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ ส่วน RMSEC มีค่าเท่ากับ 0.060 N เป็นค่า
 ความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณได้จากค่าการทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีความผิดพลาดน้อย
 และมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.88 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการ ทวนสอบแบบ cross validation ของข้าวโพดหวานมีเปลือก

การทวนสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยการนำสมการที่ได้จากกลุ่ม calibration มาทำนายค่า texture ของข้าวโพดหวานมีเปลือก จำนวน 24 ตัวอย่าง โดยการทวนสอบแบบ cross validation เพื่อยืนยันความถูกต้องจากการทดสอบ สามารถพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถพยากรณ์ค่า texture ได้ถูกต้อง 0.750 หรือประมาณ 75% เป็นค่าที่ บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์กันมาก ซึ่งสามารถพยากรณ์ได้ อย่างแม่นยำ ส่วน RMSECV มีค่าเท่ากับ 0.385 N เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณได้จาก การทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.88

สรุปความสามารถและการทดสอบสมการทำนาย texture ของข้าวโพดหวานมีเปลือก แสดงในตาราง ที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า texture เมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร

	n	PC	R ²	RMSEC (N)	RMSECV (N)
Calibration	24	20	0.994	0.060	-
Cross validation	24	20	0.750	-	0.385

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานมีเปลือก

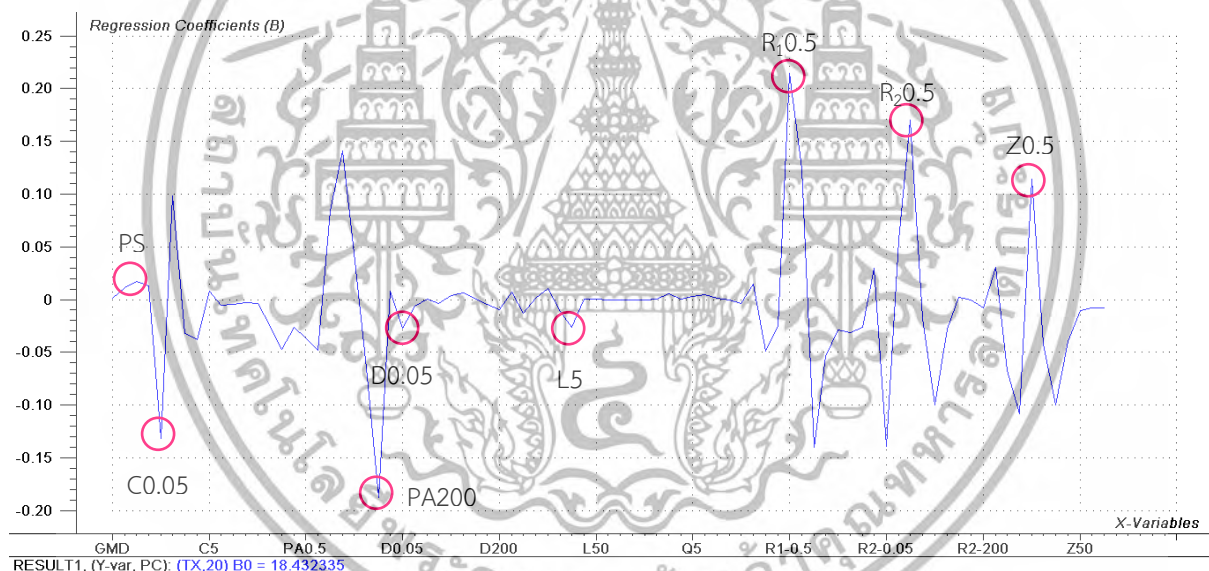
R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

PC คือ องค์ประกอบหลัก (principal component)

RMSEC คือ ความน่าเชื่อถือของการทำนายสมการ (root mean square error of calibration)

RMSECV คือ ความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (root mean square error of cross validation)

4.2.3.2 การสร้างสมการทำนายค่า texture ของข้าวโพดหวานมีเปลือก



ภาพที่ 4.89 regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย texture

$$\begin{aligned} \text{texture} = & 18.432335 + 0.001575(\text{GMD}) + 0.01092(\text{color}) + 0.01709(\text{PS}) + 0.000155(\text{C0.012}) - \\ & 0.006600(\text{C0.05}) + 0.009816(\text{C0.1}) - 0.015955(\text{C0.5}) - 0.038270(\text{C1}) + 0.041675(\text{C5}) - 0.050990(\text{C10}) - \\ & 0.208800(\text{C50}) - 0.327600(\text{C100}) - 0.703800(\text{C200}) - 0.000285(\text{PA0.012}) - 0.002356(\text{PA0.05}) - \\ & 0.002656(\text{PA0.1}) - 0.018000(\text{PA0.5}) - 0.048360(\text{PA1}) + 0.420500(\text{PA5}) + 1.410000(\text{PA10}) + 2.193000(\text{PA50}) - \\ & 6.472000(\text{PA100}) - 37.600000(\text{PA200}) + 0.000096(\text{D0.012}) - 0.001360(\text{D0.05}) - 0.000615(\text{D0.1}) + \\ & 0.000109(\text{D0.5}) - 0.003868(\text{D1}) + 0.016865(\text{D5}) + 0.060080(\text{D10}) + 0.035665(\text{D50}) - \\ & 0.468500(\text{D100}) - 1.894600(\text{D200}) + 0.000081(\text{L0.012}) - 0.000662(\text{L0.05}) + 0.000087(\text{L0.1}) + \\ & 0.005375(\text{L0.5}) - 0.011690(\text{L1}) - 0.131950(\text{L5}) + 0.006133(\text{L10}) + 0.002667(\text{L50}) + 0.000999 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(L100)+0.000363(L200)-0.000002(Q0.012)-0.000014(Q0.05)+0.000060(Q0.1)+0.002756(Q0.5)+0.000278(Q1)+0.014680(Q5)+0.042810(Q10)+0.080900(Q50)-0.060640(Q100)-0.689600(Q200)+0.000177(R1-0.012)-0.002452(R1-0.05)-0.002587(R1-0.1)+0.107500(R1-0.5)+0.124000(R1-1)-0.700000(R1-5)-0.536000(R1-10)-1.428500(R1-50)-3.114000(R1-100)-5.202000(R1-200)+0.000355(R2-0.012)-0.006950(R2-0.05)+0.005688(R2-0.1)+0.085000(R2-0.5)-0.017620(R2-1)-0.500000(R2-5)-0.278400(R2-10)+0.093500(R2-50)-0.044250(R2-100)-1.537600(R2-200)+0.000362(Z0.012)-0.003384(Z0.05)-0.010800(Z0.1)+0.057000(Z0.5)-0.042130(Z1)-0.500000(Z5)-0.399200(Z10)-0.519500(Z50)-0.797700(Z100)-1.614400(Z200)$$

จากกราฟแสดง regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย texture ของข้าวโพดหวานมีเปลือก สามารถบอกตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมการได้แก่ ค่าการดูดกลืนแสง, capacitance ที่ความถี่ 0.05 KHz, phase angle ที่ความถี่ 200 KHz, dissipation factor ที่ความถี่ 0.05 KHz, inductance ที่ความถี่ 5 KHz, resistance primary ที่ความถี่ 0.5 KHz, resistance secondary ที่ความถี่ 0.5 KHz และ impedance ที่ความถี่ 0.5 KHz ตัวแปรที่ไม่มีผลต่อสมการได้แก่ ค่า GMD, color และ quality factor

ตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญมากที่สุด 3 ค่า ได้แก่ phase angle ที่ความถี่ 50 KHz, phase angle ที่ความถี่ 10 KHz และ resistance primary ที่ความถี่ 1 KHz

4.2.4 texture ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

4.2.4.1 การทดสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามเพื่อสร้างสมการทำนายค่า texture

ข้อมูลตัวแปรตาม ได้แก่ texture ของตัวอย่างข้าวโพดหวานที่ใช้สร้างสมการแสดงในตาราง 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าทางสถิติของค่า texture ของข้าวโพดหวานที่ไม่มีเปลือก

n	Average (N)	Min (N)	Max (N)	SD
24	15.34	13.61	17.28	0.79

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

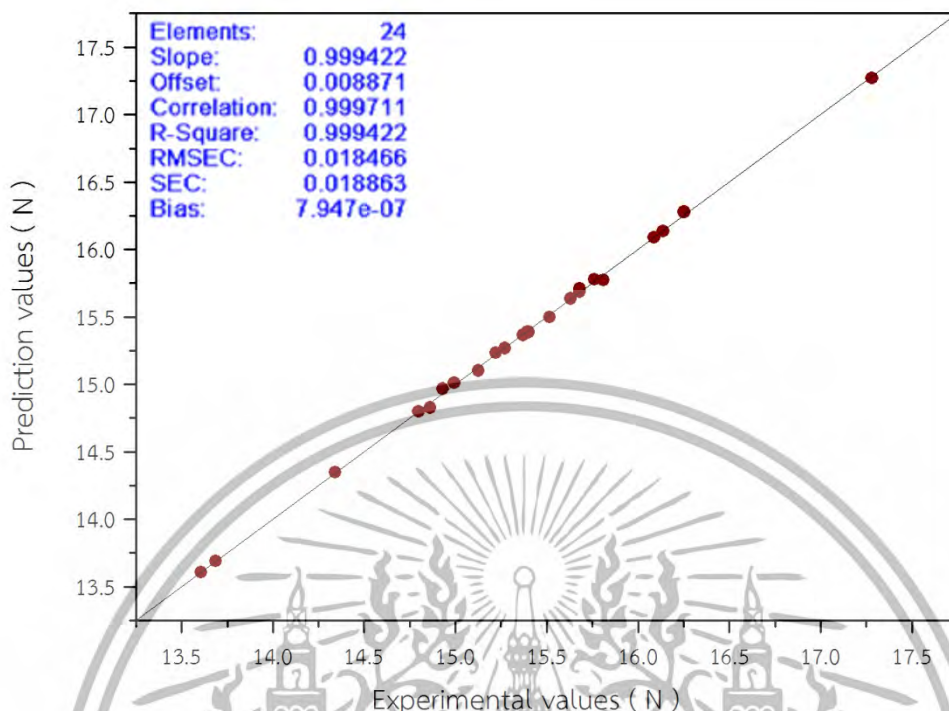
Average คือ ค่าเฉลี่ยของ TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

Min คือ (minimum) ค่าที่น้อยที่สุดของ TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

Max คือ (maximum) ค่าที่มากที่สุดของ TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก (standard deviation)

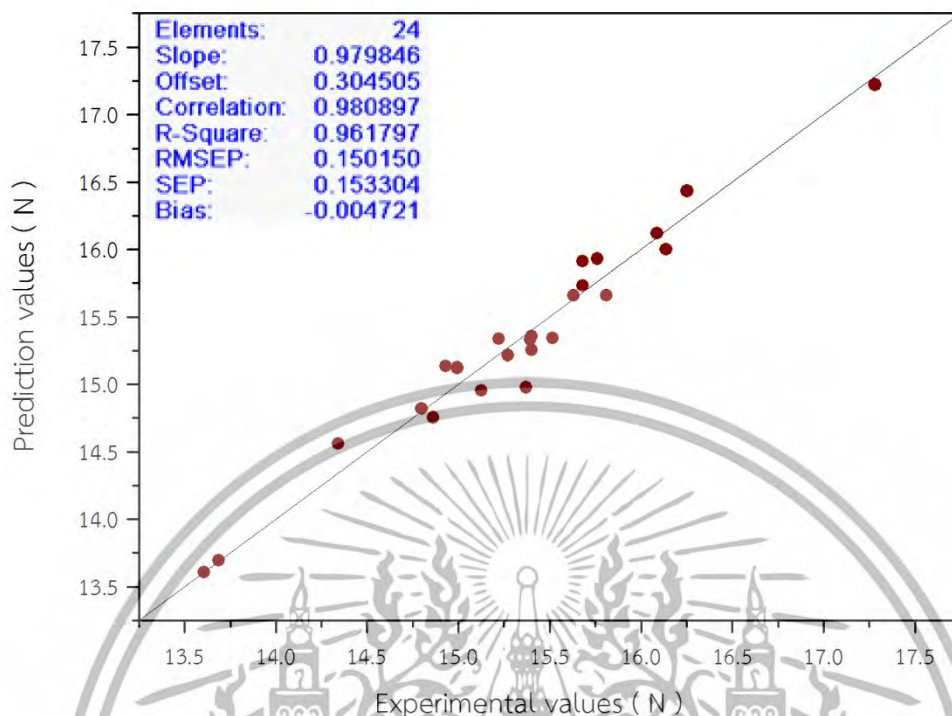
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.90 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรในกลุ่ม calibration ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

การทดสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยวิธี PLSR (partial least squares regression) เพื่อสร้างสมการทำนายค่า texture ของข้าวโพดหวาน จำนวน 24 ตัวอย่าง โดยแบ่งกลุ่มตัวแปรอิสระออกเป็นจำนวน 84 ตัวแปร ได้แก่ ค่าไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 KHz) ได้แก่ capacitance, phase angle, dissipation factor, inductance, quality factor, resistance primary, resistance secondary และ impedance คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น, ค่า chroma, ค่า GMD และค่าการดูดกลืนแสงของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก เพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถพยากรณ์ค่า texture ได้ 0.999 หรือประมาณ 99% ซึ่งค่าที่ได้บอกสมการหลายตัวแปรสามารถทำนาย texture ของข้าวโพดหวานได้ในระดับดีมาก สามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ ส่วน RMSEC มีค่าเท่ากับ 0.019 N เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณได้จากค่าการทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.91 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการ ทวนสอบแบบ cross validation ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

การทวนสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยการนำสมการที่ได้จากกลุ่ม calibration มาทำนายค่า texture ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก จำนวน 24 ตัวอย่าง โดยการทวนสอบแบบ cross validation เพื่อยืนยันความถูกต้องจากการทดสอบ สามารถพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถพยากรณ์ค่า texture ได้ถูกต้อง 0.962 หรือประมาณ 96% เป็นค่าที่ บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์กันมาก ซึ่งสามารถพยากรณ์ได้ อย่างแม่นยำ ส่วน RMSECV มีค่าเท่ากับ 0.150 N เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณได้จาก การทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.91

สรุปความสามารถและการทดสอบสมการทำนาย texture ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก แสดงใน ตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า texture เมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร

	n	PC	R ²	RMSEC (N)	RMSECV (N)
Calibration	24	20	0.999	0.019	-
Cross validation	24	20	0.961	-	0.150

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

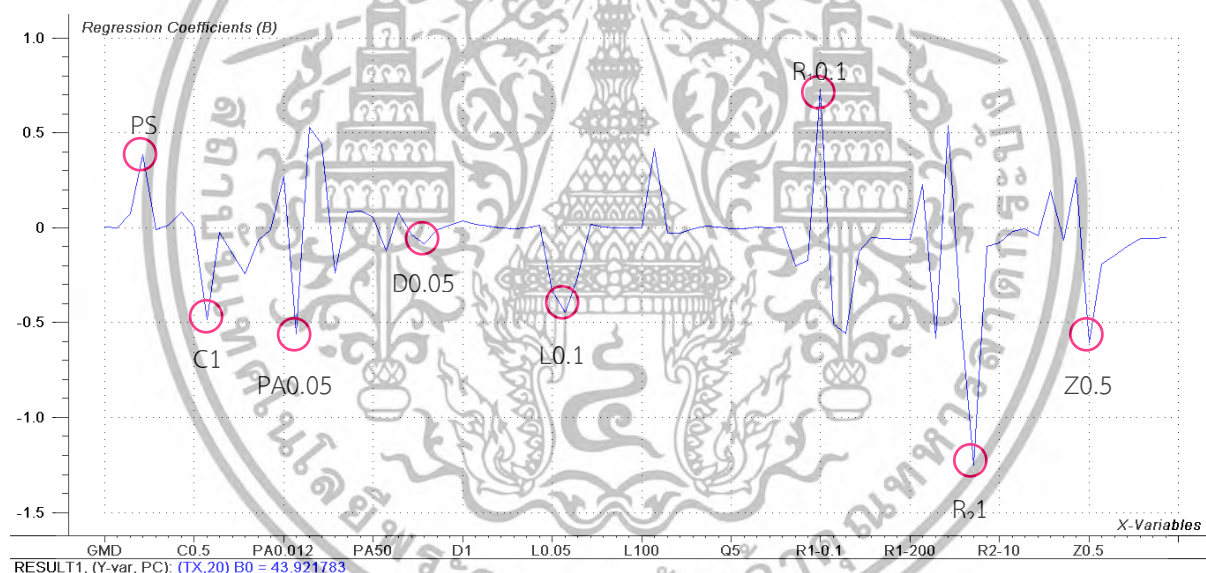
R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

PC คือ องค์ประกอบหลัก (principal component)

RMSEC คือ ความน่าเชื่อถือของการทำนายสมการ (root mean square error of calibration)

RMSECV คือ ความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (root mean square error of cross validation)

4.2.4.2 การสร้างสมการทำนายค่า texture ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก



ภาพที่ 4.92 regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย texture

$$\begin{aligned} \text{texture} = & 43.921783 + 0.00209(\text{GMD}) - 0.00208(\text{density}) + 0.07256(\text{color}) + 0.384(\text{PS}) - 0.00013 \\ & (\text{C0.012}) + 0.0007(\text{C0.05}) + 0.008486(\text{C0.1}) + 0.001844(\text{C0.5}) - 0.482(\text{C1}) - 0.1205(\text{C5}) - 1.39(\text{C10}) \\ & - 12.15(\text{C50}) - 6.579(\text{C100}) - 2.364(\text{C200}) + 0.003252(\text{PA0.012}) - 0.0279(\text{PA0.05}) + 0.0529(\text{PA0.1}) \\ & 0.2205(\text{PA0.5}) - 0.239(\text{PA1}) + 0.41375(\text{PA5}) + 0.869(\text{PA10}) + 2.664(\text{PA50}) - 12.2(\text{PA100}) + 15.398 \\ & (\text{PA200}) - 0.00048(\text{D0.012}) - 0.00421(\text{D0.05}) - 0.00105(\text{D0.1}) + 0.00592(\text{D0.5}) + 0.0373(\text{D1}) + \\ & 0.0784(\text{D5}) + 0.07671(\text{D10}) + 0.00642(\text{D50}) - 0.7308(\text{D100}) - 0.14142(\text{D200}) + 0.000157(\text{L0.012}) - \\ & 0.0164(\text{L0.05}) - 0.0447(\text{L0.1}) - 0.131(\text{L0.5}) + 0.01786(\text{L1}) + 0.015805(\text{L5}) + 0.00922(\text{L10}) + 0.003096 \\ & (\text{L50}) + 0.005597(\text{L100}) + 83.8(\text{L200}) - 0.00034(\text{Q0.012}) - 0.00137(\text{Q0.05}) - 0.00041(\text{Q0.1}) + 0.00318 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Q0.5)+0.003341(Q1)-0.01749(Q5)-0.05015(Q10)+0.11495(Q50)-0.1909(Q100)+0.9044(Q200)-0.0024(R1-0.012)-0.0086(R1-0.05)+0.0723(R1-0.1)-0.253(R1-0.5)-0.558(R1-1)-0.635(R1-5)-0.5288(R1-10)-2.814(R1-50)-6.021(R1-100)-12.378(R1-200)+0.002712(R2-0.012)-0.02905(R2-0.05)+0.0536(R2-0.1)-0.257(R2-0.5)-1.251(R2-1)-0.48085(R2-5)-0.8064(R2-10)-0.9655(R2-50)-0.4204(R2-100)-8.96(R2-200)+0.002304(Z0.012)-0.00329(Z0.05)+0.0263(Z0.1)-0.303(Z0.5)-0.193(Z1)-0.73(Z5)-0.9686(Z10)-2.906(Z50)-5.62(Z100)-10.722(Z200)

จากกราฟแสดง regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย texture ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก สามารถบอกตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมการได้แก่ ค่าการดูดกลืนแสง, capacitance ที่ความถี่ 1 KHz, phase angle ที่ความถี่ 0.05 KHz, dissipation factor ที่ความถี่ 0.05 KHz, inductance ที่ความถี่ 0.1 KHz, resistance primary ที่ความถี่ 0.1 KHz, resistance secondary ที่ความถี่ 1 KHz และค่า impedance ที่ความถี่ 0.5 KHz ตัวแปรที่ไม่มีผลต่อสมการได้แก่ ค่า GMD, density, color และ quality factor

ตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญมากที่สุด 3 ค่า ได้แก่ inductance ที่ความถี่ 200 KHz, phase angle ที่ความถี่ 200 KHz และ phase angle ที่ความถี่ 50 KHz

4.2.5 moisture content (MC) ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

4.2.5.1 การทดสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามเพื่อสร้างสมการทำนายค่า MC ข้อมูลตัวแปรตาม ได้แก่ moisture content ของตัวอย่างข้าวโพดหวานที่ใช้สร้างสมการแสดงในตาราง 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าทางสถิติของค่า MC ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

n	Average (%)	Min (%)	Max (%)	SD
24	74.58	72.80	76.95	1.26

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

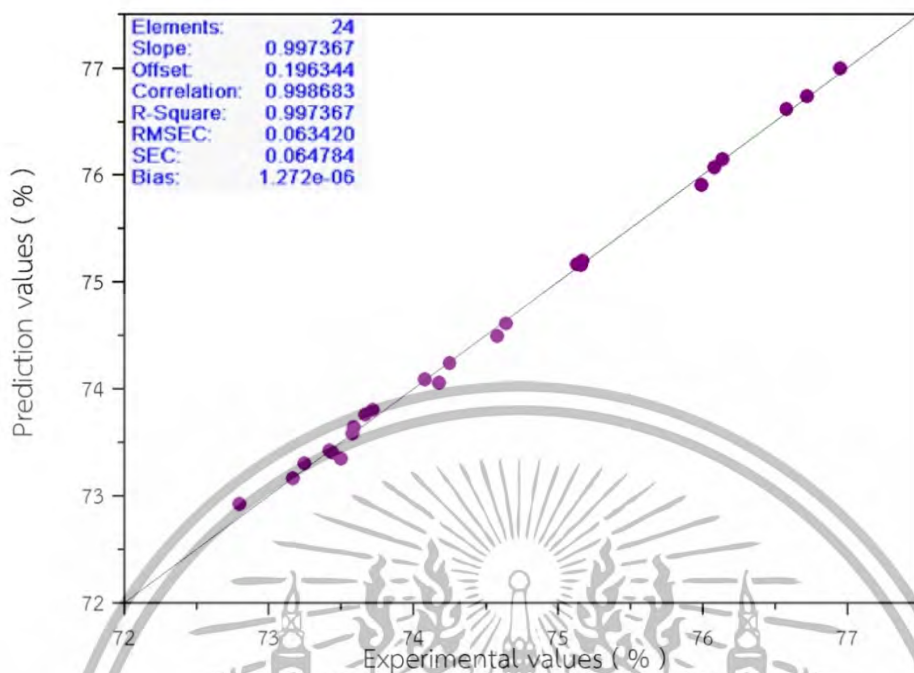
Average คือ ค่าเฉลี่ยของ TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

Min คือ (minimum) ค่าที่น้อยที่สุดของ TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

Max คือ (maximum) ค่าที่มากที่สุดของ TSS ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

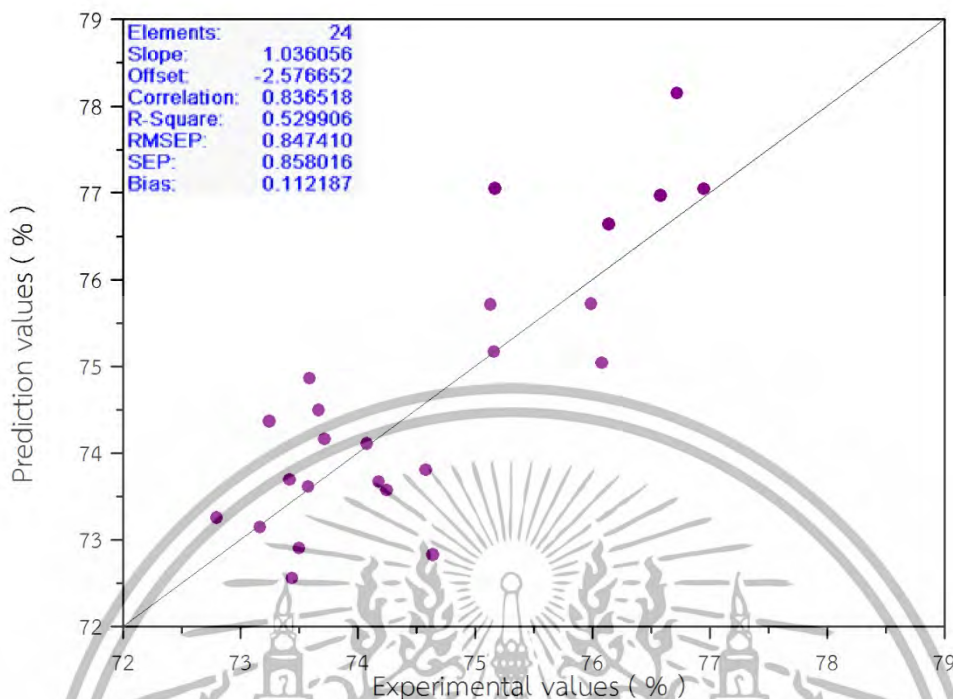
SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก (standard deviation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.93 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรในกลุ่ม calibration ของข้าวโพดหวานมีเปลือก การทดสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยวิธี PLSR (partial least squares regression) เพื่อสร้างสมการทำนายค่า moisture content ของข้าวโพดหวาน จำนวน 24 ตัวอย่าง โดยแบ่งกลุ่มตัวแปรอิสระออกเป็นจำนวน 84 ตัวแปร ได้แก่ ค่าไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 KHz) ได้แก่ capacitance, phase angle, dissipation factor, inductance, quality factor, resistance primary, resistance secondary และ impedance คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่า chroma, ค่า GMD และค่าการดูดกลืนแสงของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก เพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถพยากรณ์ค่าได้ 0.997 หรือประมาณ 99% ซึ่งค่าที่ได้บอกสมการหลายตัวแปรสามารถทำนาย moisture content ของข้าวโพดหวานได้ในระดับดีมาก สามารถพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ ส่วน RMSEC มีค่าเท่ากับ 0.063% เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณได้จากค่าการทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.94 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content ที่ได้จริงจากการทดลองและค่าที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

การทวนสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยการนำสมการที่ได้จากกลุ่ม calibration มาทำนายค่า moisture content ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก จำนวน 24 ตัวอย่าง โดยการทวนสอบแบบ cross validation เพื่อยืนยันความถูกต้องจากการทดสอบ สามารถพิจารณาความสัมพันธ์การตัดสีนใจ (R^2) สามารถพยากรณ์ค่า MC ได้ถูกต้อง 0.530 หรือประมาณ 53% เป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์กันมาก ซึ่งสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำปานกลาง ส่วน RMSECV มีค่าเท่ากับ 0.847% เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าประมาณได้จากค่าการทดสอบ แสดงว่าแบบจำลองอาจมีความผิดพลาดได้ดังแสดงในภาพที่ 4.94

สรุปความสามารถและการทดสอบสมการทำนาย moisture content ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก แสดงในตารางที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่า moisture content เมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร

	n	PC	R ²	RMSEC (%)	RMSECV (%)
Calibration	24	20	0.997	0.063	-
Cross validation	24	20	0.530	-	0.847

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

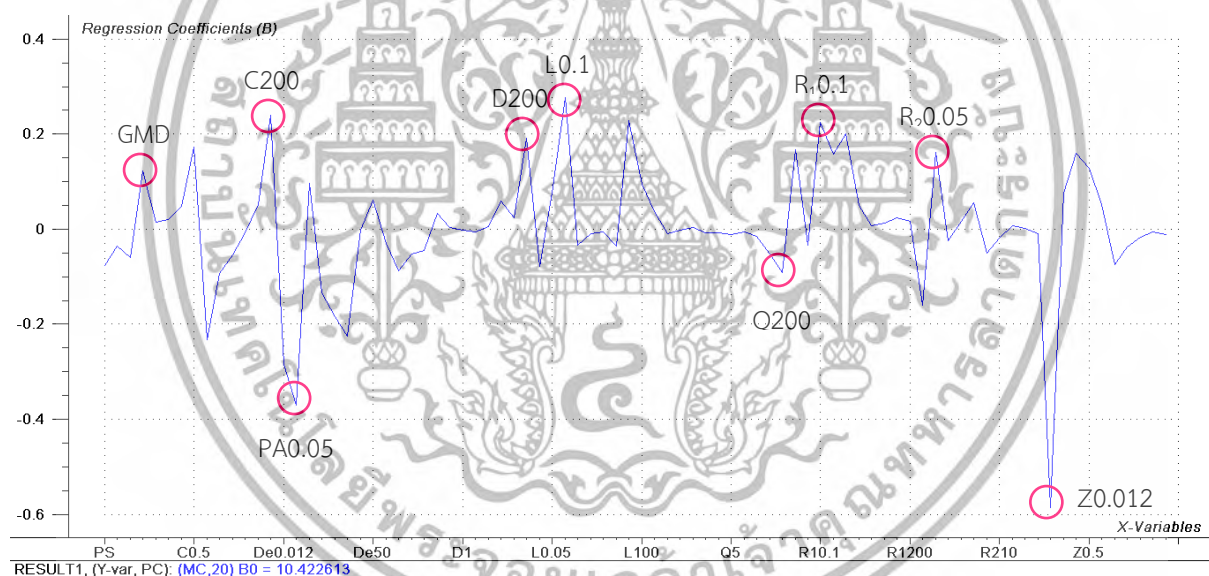
R² คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

PC คือ องค์ประกอบหลัก (principal component)

RMSEC คือ ความน่าเชื่อถือของการทำนายสมการ (root mean square error of calibration)

RMSECV คือ ความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (root mean square error of cross validation)

4.2.5.2 การสร้างสมการทำนายค่า moisture content



ภาพที่ 4.95 regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย moisture content

$$\begin{aligned} \text{moisture content} = & 10.422613 - 0.07716(\text{PS}) - 0.03.492(\text{density}) - 0.06.048(\text{color}) + 0.123(\text{GMD}) \\ & + 0.01493(\text{C0.012}) + 0.02.084(\text{C0.05}) + 0.04815(\text{C0.1}) + 0.173(\text{C0.5}) - 0.233(\text{C1}) - 0.09392(\text{C5}) - \\ & 0.05.463(\text{C10}) - 0.06988(\text{C50}) + 0.05163(\text{C100}) + 0.240(\text{C200}) - 0.285(\theta 0.012) - 0.371(\theta 0.05) + \\ & 0.09657(\theta 0.1) - 0.135(\theta 0.5) - 0.185(\theta 1) - 0.226(\theta 5) - 0.001546(\theta 10) + 0.06060(\theta 50) - 0.03021\theta \\ & 100) - 0.08687(\theta 200) - 0.05226(\text{D0.012}) - 0.04494(\text{D0.05}) + 0.03369(\text{D0.1}) + 0.002621(\text{D0.5}) - \\ & 0.002223(\text{D1}) - 0.005702(\text{D5}) + 0.006103(\text{D10}) + 0.05878(\text{D50}) + 0.02332(\text{D100}) + 0.192(\text{D200}) - \\ & 0.07815(\text{L0.012}) + 0.07549(\text{L0.05}) + 0.276(\text{L0.1}) - 0.03311(\text{L0.5}) - 0.009734(\text{L1}) - 0.005626(\text{L5}) - \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.03502(L10) +0.228(L50)+0.09378(L100) +0.03761(L200) -0.009519(Q0.012)-
 0.002308(Q0.05)+0.002821(Q0.1)-0.007487(Q0.5)-0.008269(Q1)-0.01065(Q5)-0.005136(Q10)-
 0.01482(Q50)-0.05192(Q100)-0.09119(Q200) +0.167(R1-0.012)-0.03326(R1-0.05)+0.225(R1-
 0.1)+0.157(R1-0.5)+0.200(R1-1)+0.05005(R1-5)+0.006705(R1-10)+0.01315(R1-50)+0.02444(R1-
 00) +0.01641(R1-200) -0.160(R2-0.012) +0.162(R2-0.05) -0.02436(R2-0.1) + 0.01688(R2-
 0.5) +0.05505(R21) -0.05019(R2-5) -0.01899(R2-10) +0.006849(R2-50) +0.002057(R2-100) -
 0.009694(R2-200)-0.586(Z0.012) +0.07506(Z0.05) +0.159(Z0.1)+0.127(Z0.5)+0.05225(Z1)-
 0.07553(Z5)-0.03698(Z10)-0.01623(Z50)-0.05856(Z100)-0.01084(Z200)

จากกราฟแสดง regression coefficients และตัวแปรอิสระต่างๆ ในสมการทำนาย moisture content ของข้าวโพดหวานมีเปลือก สามารถบอกตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมการได้แก่ GMD, capacitance ที่ความถี่ 200 KHz, phase angle ที่ความถี่ 0.05 KHz, dissipation factor ที่ความถี่ 200 KHz, inductance ที่ความถี่ 0.1 KHz, quality factor ที่ความถี่ 200 KHz, resistance primary ที่ความถี่ 0.1 KHz, resistance secondary ที่ความถี่ 0.05 KHz และ impedance ที่ความถี่ 0.012 KHz ตัวแปรที่ไม่มีผลต่อสมการได้แก่ density, color และค่าการดูดกลืนแสง

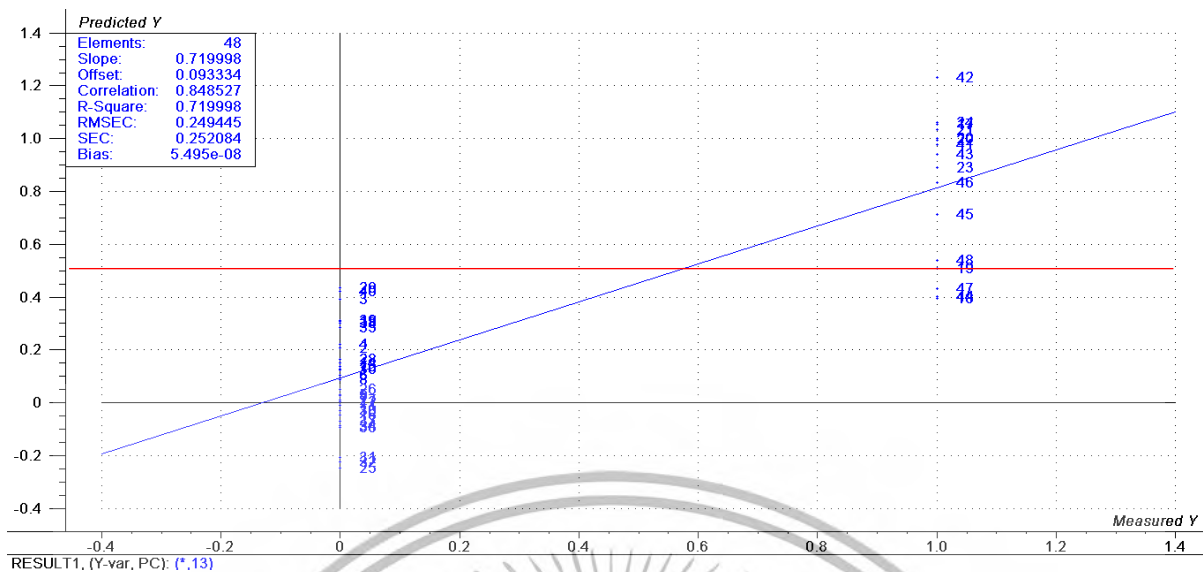
ตัวแปรทางไฟฟ้าที่สำคัญมากที่สุด 3 ค่า ได้แก่ capacitance ที่ความถี่ 200 KHz, dissipation factor ที่ความถี่ 200 KHz และ inductance ที่ความถี่ 50 KHz

ตอนที่ 4.3 การทำนายความสด ไม่สด จากกลุ่มอายุเก็บน้อยกว่า 24 ชั่วโมง และมากกว่า 24 ชั่วโมงของข้าวโพดหวานมีเปลือกและไม่มีเปลือก

4.3.1 ข้าวโพดหวานมีเปลือก

กำหนดตัวแปรตาม : ข้าวโพดสด 0-24 ชั่วโมง = 0

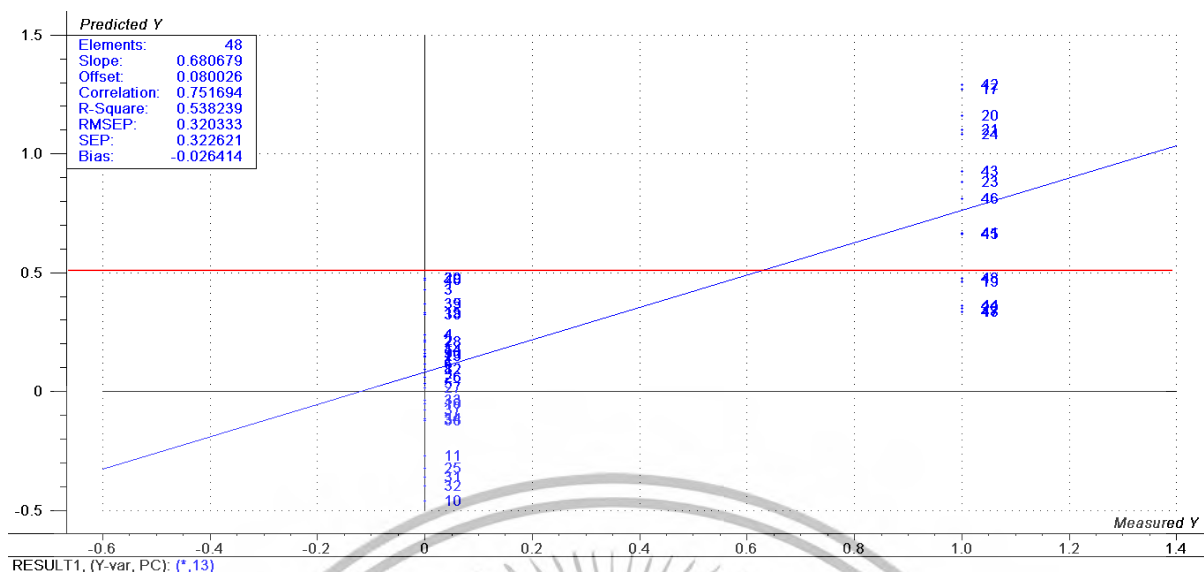
ข้าวโพดไม่สด > 24 ชั่วโมง = 1



ภาพที่ 4.96 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปร ในกลุ่ม calibration

การทำนายความสด ไม่สด จากกลุ่มที่มีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวน้อยกว่า 24 ชั่วโมง และมากกว่า 24 ชั่วโมง โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยวิธี PLSR (partial least squares regression) เพื่อทำนายตัวแปรตาม ได้แก่ ความสด (0=สด, เวลาหลังการเก็บเกี่ยวน้อยกว่าหรือเท่ากับ 24 ชั่วโมง และ 1=ไม่สด, เวลาหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่า 24 ชั่วโมง) ที่ได้จากการวัดเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพทำนายใช่หรือไม่ใช่ เรียกว่า discriminant analysis โดยใช้วิธี สร้างสมการตัดแยก (classification model) และทดสอบโดยวิธี cross validation จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรที่ได้จากการทดสอบแบบ calibration พบว่าข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มสด (0) ต้องมีค่า ≤ 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายได้อย่างถูกต้อง หาก > 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายไม่ถูกต้อง จำนวนค่าของกลุ่มสดมีจำนวน 32 ค่า หายถูกเป็นจำนวน 32 ค่า คิดเป็น 100% ไม่มีค่าที่ทำนายผิดพลาด เนื่องจากไม่มีค่าในกลุ่มสดที่มากกว่า 0.5 และข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มไม่สด (1) ต้องมีค่า > 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายได้อย่างถูกต้อง หาก ≤ 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายไม่ถูกต้อง จำนวนค่าของกลุ่มไม่สดมีจำนวน 16 ค่า หายถูกเป็นจำนวน 13 ค่า คิดเป็น 81.25% และทายผิดเป็นจำนวน 3 ค่า คิดเป็น 18.75% สรุปทั้งหมด 48 ค่า หายถูกเป็นจำนวน 45 ค่า คิดเป็น 93.75% และทายผิดเป็นจำนวน 3 ค่า คิดเป็น 6.25% ค่าที่ทำนายได้ถูกต้องมีค่ามากสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ แสดงว่าการทำนายมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.97 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation

การทำนายความสด ไม่สด โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยการนำสมการที่ได้จากกลุ่ม calibration มาทำนายค่าความสดของข้าวโพดหวานมีเปลือก จำนวน 48 ตัวอย่าง โดยการทวนสอบแบบ cross validation จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation พบว่าข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มสด (0) ต้องมีค่า ≤ 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายได้อย่างถูกต้อง หาก > 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายไม่ถูกต้อง จำนวนค่าของกลุ่มสดมีจำนวน 32 ค่า ทายถูกเป็นจำนวน 32 ค่า คิดเป็น 100% ไม่มีค่าที่ทำนายผิดพลาด เนื่องจากไม่มีค่าในกลุ่มสดที่มากกว่า 0.5 และข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มไม่สด (1) ต้องมีค่า > 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายได้อย่างถูกต้อง หาก ≤ 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายไม่ถูกต้อง จำนวนค่าของกลุ่มไม่สดมีจำนวน 16 ค่า ทายถูกเป็นจำนวน 11 ค่า คิดเป็น 68.75% และทายผิดเป็นจำนวน 5 ค่า คิดเป็น 31.25% สรุปรวมทั้งหมด 48 ค่า ทายถูกเป็นจำนวน 43 ค่า คิดเป็น 89.58% และทายผิดเป็นจำนวน 5 ค่า คิดเป็น 10.42% ค่าที่ทำนายได้ถูกต้องมีค่ามากสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ แสดงว่าการทำนายมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.97

สรุปความสามารถและการทดสอบสมการในการคัดแยกความสดของข้าวโพดหวานมีเปลือก แสดงในตารางที่ 4.11

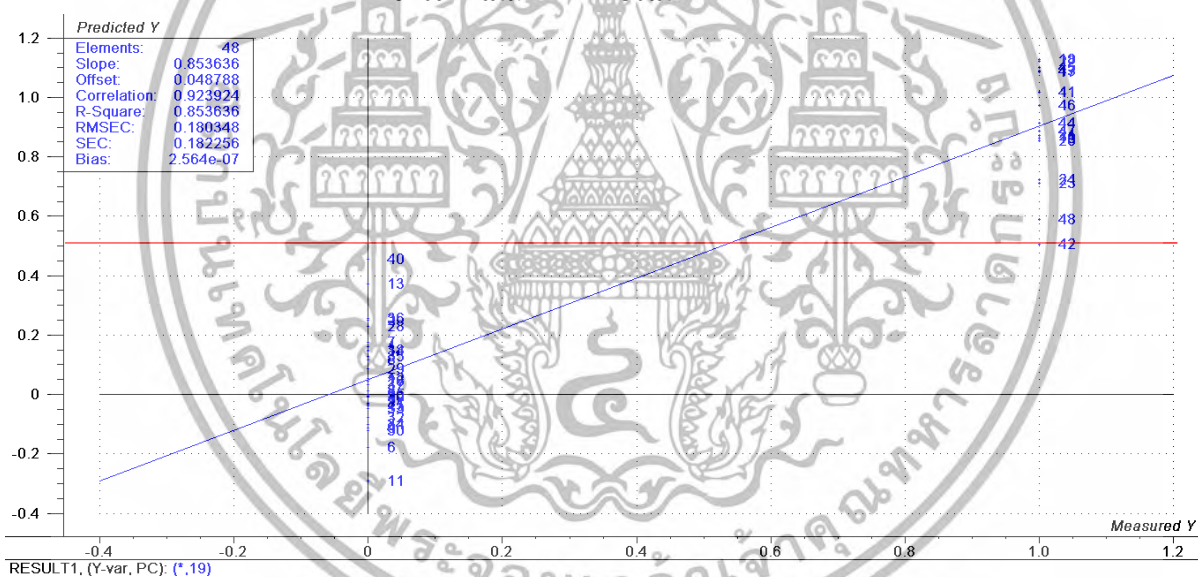
ตารางที่ 4.11 แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่าความสดเมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร

	Calibration			Cross validation		
	n	ถูกต้อง (%)	ไม่ถูกต้อง (%)	n	ถูกต้อง (%)	ไม่ถูกต้อง (%)
สด (0)	32	100	-	32	100	-
ไม่สด (1)	16	81.25	18.75	16	68.75	31.25
รวม	48	93.75	6.25	48	89.58	10.42

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานมีเปลือก

4.3.2 ข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

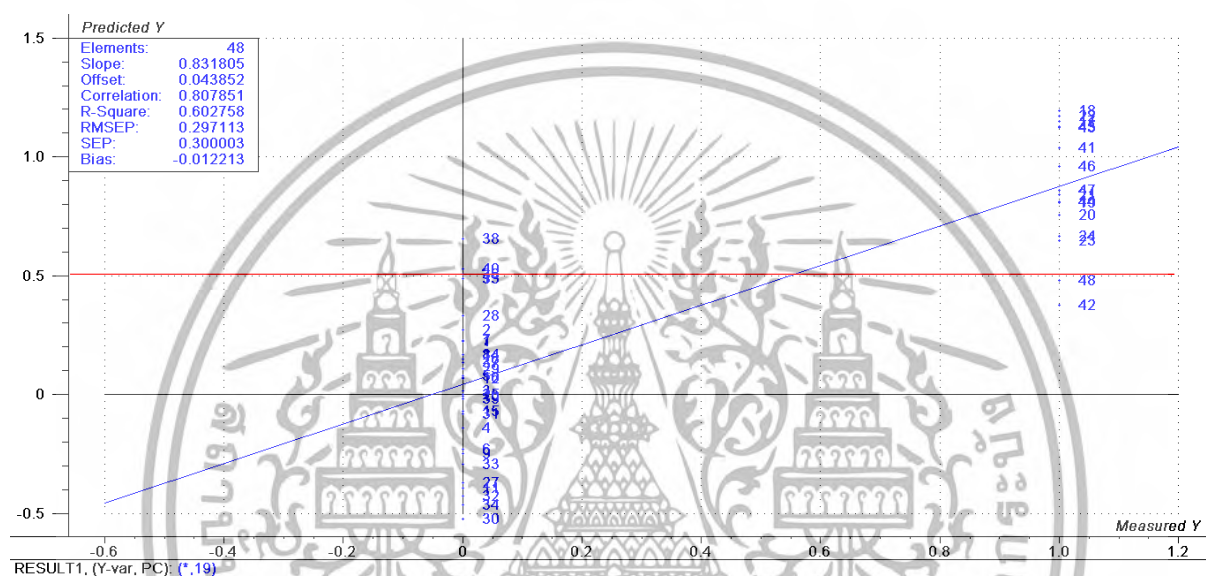
กำหนดตัวแปรตาม : ข้าวโพดสด 0-24 ชั่วโมง = 0
ข้าวโพดไม่สด > 24 ชั่วโมง = 1



ภาพที่ 4.98 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปร ในกลุ่ม calibration

การทำนายความสด ไม่สด จากกลุ่มที่มีเวลาหลังการเก็บเกี่ยวน้อยกว่า 24 ชั่วโมง และมากกว่า 24 ชั่วโมง โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยวิธี PLSR (partial least squares regression) เพื่อทำนายตัวแปรตาม ได้แก่ ความสด (0=สด, เวลาหลังการเก็บเกี่ยวน้อยกว่าหรือเท่ากับ 24 ชั่วโมง และ 1=ไม่สด, เวลาหลังการเก็บเกี่ยวมากกว่า 24 ชั่วโมง) ที่ได้จากการวัดเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ทำนายใช่หรือไม่ใช่ เรียกว่า discriminant analysis โดยใช้วิธี สร้างสมการตัดแยก (classification model) และทดสอบโดยวิธี cross validation จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรที่ได้จากการทดสอบแบบ calibration พบว่าข้าวโพดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หวานที่อยู่ในกลุ่มสด (0) ต้องมีค่า ≤ 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายได้อย่างถูกต้อง หาก > 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายไม่ถูกต้อง จำนวนค่าของกลุ่มสดมีจำนวน 32 ค่า ทายถูกเป็นจำนวน 32 ค่า คิดเป็น 100% ไม่มีค่าที่ทำนายผิดพลาด เนื่องจากไม่มีค่าในกลุ่มสดที่มากกว่า 0.5 และข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มไม่สด (1) ต้องมีค่า > 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายได้อย่างถูกต้อง หาก ≤ 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายไม่ถูกต้อง จำนวนค่าของกลุ่มไม่สดมีจำนวน 16 ค่า ทายถูกเป็นจำนวน 16 ค่า คิดเป็น 100% ไม่มีค่าที่ทำนายผิดพลาด เนื่องจากไม่มีค่าในกลุ่มไม่สดที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 สรุปรวมทั้งหมด 48 ค่า ทายถูกเป็นจำนวน 48 ค่า คิดเป็น 100% และไม่มีค่าที่ทำนายผิดพลาด ค่าที่ทำนายได้ถูกต้องมีค่ามากสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ แสดงว่าการทำนายมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.98



ภาพที่ 4.99 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation

การทวนสอบตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Unscrambler โดยการนำสมการที่ได้จากกลุ่ม calibration มาทำนายค่าความสดของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก จำนวน 48 ตัวอย่าง โดยการทวนสอบแบบ cross validation จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสดที่ได้จริงจากการทดลองและได้จากการทำนายของสมการหลายตัวแปรที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation พบว่าข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มสด (0) ต้องมีค่า ≤ 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายได้อย่างถูกต้อง หาก > 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายไม่ถูกต้อง จำนวนค่าของกลุ่มสดมีจำนวน 32 ค่า ทายถูกเป็นจำนวน 29 ค่า คิดเป็น 90.63% และทายผิดเป็นจำนวน 3 ค่า คิดเป็น 9.38% และข้าวโพดหวานที่อยู่ในกลุ่มไม่สด (1) ต้องมีค่า > 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายได้อย่างถูกต้อง หาก ≤ 0.5 จะถือว่าเป็นการทำนายไม่ถูกต้อง จำนวนค่าของกลุ่มไม่สดมีจำนวน 16 ค่า ทายถูกเป็นจำนวน 14 ค่า คิดเป็น 87.5% และทายผิดเป็นจำนวน 2 ค่า คิดเป็น 12.5% สรุปรวมทั้งหมด 48 ค่า ทายถูกเป็นจำนวน 43 ค่า คิดเป็น 89.58% และทายผิดเป็นจำนวน 5 ค่า คิดเป็น 10.42% ค่าที่ทำนายได้ถูกต้องมีค่ามากสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ แสดงว่าการทำนายมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในภาพที่ 4.99

สรุปความสามารถและการทดสอบสมการในการคัดแยกความสดของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก แสดงในตารางที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงการพยากรณ์ค่าทางสถิติของสมการทำนายค่าความสดเมื่อใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวแปร

	Calibration			Cross validation		
	n	ถูกต้อง (%)	ไม่ถูกต้อง (%)	n	ถูกต้อง (%)	ไม่ถูกต้อง (%)
สด (0)	32	100	-	32	90.63	9.38
ไม่สด (1)	16	100	-	16	87.5	12.5
รวม	48	100	-	48	89.58	10.42

n คือ จำนวนตัวอย่างข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาเรื่อง การทำนายคุณภาพข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยใช้สมการหลายตัวแปร ได้ทำการศึกษาโดยใช้ข้าวโพดหวานสายพันธุ์อินทรี 2 โดยได้ข้อสรุปดังนี้

1. การทำนายค่า TSS โดยการสร้างสมการจากตัวแปรอิสระหลายตัวแปร ได้แก่ capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factor และ phase angle และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่า chroma, ค่า GMD ของข้าวโพดหวานมีเปลือก พบว่าสมการที่ได้สามารถนำมาใช้ทำนายได้อย่างแม่นยำ
2. การทำนายค่า TSS โดยการสร้างสมการจากตัวแปรอิสระหลายตัวแปร ได้แก่ capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factor และ phase angle และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่า chroma, ค่า GMD ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก พบว่าสมการที่ได้สามารถนำมาใช้ทำนายได้อย่างแม่นยำ
3. การทำนายค่า Texture โดยการสร้างสมการจากตัวแปรอิสระหลายตัวแปร ได้แก่ capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factor และ phase angle และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่า chroma, ค่า GMD ของข้าวโพดหวานมีเปลือก พบว่าสมการที่ได้สามารถนำมาใช้ทำนายได้อย่างแม่นยำ
4. การทำนายค่า Texture โดยการสร้างสมการจากตัวแปรอิสระหลายตัวแปร ได้แก่ capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factor และ phase angle และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่า chroma, ค่า GMD ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก พบว่าสมการที่ได้สามารถนำมาใช้ทำนายได้อย่างแม่นยำ
5. การทำนายค่า Moisture content โดยการสร้างสมการจากตัวแปรอิสระหลายตัวแปร ได้แก่ capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factor และ phase angle และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่า chroma, ค่า GMD ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก พบว่าสมการที่ได้สามารถนำมาใช้ทำนายได้อย่างแม่นยำปานกลาง
6. การทำนายความสด ไม่สดของข้าวโพดหวานมีเปลือก โดยใช้สมการหลายตัวแปรที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation ทายถูก คิดเป็น 89.58% ค่าที่ทำนายได้มีความแม่นยำ แสดงว่าการทำนายมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือ
7. การทำนายความสด ไม่สดของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก โดยใช้สมการหลายตัวแปรที่ได้จากการทวนสอบแบบ cross validation ทายถูก คิดเป็น 89.58% ค่าที่ทำนายได้มีความแม่นยำ แสดงว่าการทำนายมีความผิดพลาดน้อยและมีความน่าเชื่อถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2543. เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับข้าวโพดหวาน. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

โครงการหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ด้านเกษตร เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว คู่มือนักส่งเสริมวิชาการเกษตร ข้าวโพด. 2551. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://agebook.lib.ku.ac.th/ebooks/2011/2011-005-0086/index.html#/1/zoomed> (พฤษภาคม 2559)

นิรันดร์ สุวรัตน์. 2553. ฟิสิกส์ ไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้าและแม่เหล็ก 1 และ 2. สำนักพิมพ์ พ.ศ. พัฒนา, กรุงเทพมหานคร.

บุญชม ศรีสะอาด. 2541. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์พหุคูณและสมการถดถอยพหุคูณ. แหล่งที่มา: <https://rci2010.files.wordpress.com/2010/> (พฤษภาคม 2559)

มาตรฐานสินค้าเกษตร. 2555. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ศิริลักษณ์ ศิริกุล. 2549. ผลกระทบของสภาพแวดล้อมที่มีต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพในข้าวโพดหวานลูกผสม. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สนธิสุข อีระชัยชยดี. 2556. สถานการณ์ระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์ในประเทศไทย. วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 31 ฉบับที่ 2 หน้า 194-210.

สำนักงานมาตรฐานสินค้านำเข้าส่งออก กรมการค้าต่างประเทศ. 2559. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.dft.go.th/Default.aspx?tabid=164> (พฤษภาคม 2559)

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae_baer/ewt_news.php?nid=407&filename=index (พฤษภาคม 2559)

ไสว พงษ์เก่า. 2534. พืชเศรษฐกิจ เล่ม 1. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 478 น.

Ando, Y., K. Mizutani and N. Wakatsuki. 2014. Electrical impedance analysis of potato tissues during drying. Journal of food engineering. 121: 24-31.

Bhosale, A.A. and K.K Sundaram. 2014. Firmness prediction of the apple using capacitance measurement. Procedia Technology 163-167.

Decoteau, D.R. 2000. Sweet corn. In Vegetable crops. Pp. 368-379. Prentice-Hall, New Jersey, USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GW Instek Co.,Ltd. 2011. LCR 800's user manual. New Taipei city, Taiwan.

Hambley, A.R., 2005. Electrical engineering principles and applications. 3rd edition. Pearson Prentice hall, 286, United state of America.

IBSNAT.1988 . Experimental Design and Data Collection Procedures for IBSNAT: The minimum data set for systems analysis and crop simulation. International Benchmark Sites Network for AgrotechnologyTransfer. Honolulu, USA.

Jamshidi, B., S. Minaei, E. Mohajerani and H. Ghassemian. 2012. Reflectance Vis/NIR spectroscopy for 19 nondestructive taste characterization of Valencia oranges. *Comput. Electron. Agric.* 85: 64–69.

Jha, S.H., K. Narsala, A.L. Basediya, R. Sharma, P. Jaiswal, R. Kumar and R. Bhardwaj. 2011. Measurement techniques and application of electrical properties for nondestructive quality evaluation of foods—a review. *Journal of food science and technology.* 48: 387-411.

Kim, K., S. Lee, M. Kim and B. Cho. 2009. Determination of apple firmness by nondestructive ultrasonic 27 measurement. *Postharvest Biol. Technol.* 52(1): 44–48.

Kuson, P., A. Terdwongworakul. 2013. Minimally-destructive evaluation of durian maturity based on electrical impedance measurement. *Journal of Food Engineering.* 116: 50–5.

Masut, R., M. Alcaniz, A. Fuentes, F.C. Schmidt, J.M. Barat, L. Gil, D. Baigts, R.M. Manez and J. Soto. 2010. Design of a low-cost non-destructive system for punctual measurements of salt levels in food products using impedance spectroscopy. *Journal of Sensors and Actuators A: Physical.* 158: 217-223.

Roadstrum. W.H. and D.H. Wolaver. 1994. Electrical engineering for all engineers. 2nd. John Wiley & Sons, Inc, United state of America.

Ruiz-Altisent, M., L. Ruiz-Garcia, G.P. Moreada, Renfu Lu, N. Hernandez-Sanchez, E.C. Correa, B. Diezmaa, B. Nicolai, J. Garcia-Ramos. 2010. Sensors for product characterization and quality of specialty crops—A review, *Computers and Electronics in Agriculture* 74: 176–194.

Swiader, J. M., W. W. George, and J. P. McCoLLuM. 1992. Sweet corn. In *Producing Vegetable Crops*. Pp. 477-494. Interstate Publishers, Inc. USA.

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, and S. Pathaveerat. 2008. Multiple Parameters for Prediction of Translucent Flesh in Mangosteens. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol.X. Manuscript FP 08 007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, K. Keawsumnuk, M. Rangsi and K. Seangkeaw. 2012. A Feasibility Study for the Nondestructive Detection of Granulation in Tangerine Fruit Using a Capacitance based Technique. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July, P0122.

Tracy, W.F. 2001. Sweet corn. In Hallauer, A.R. Specialty corn. 55-197. CRC Press, USA.

Wanitchang, P., A. Terdwongworakul, J. Wanitchang, N. Nakawajana. 2011. Non-destructive maturity classification of mango based on physical, mechanical and optical properties. Journal of Food Engineering, 105: 477-484.

Yokochi, H. and Y. Ohkura. 2014. Changes of bioelectrical impedance parameter during food processing, pp. 1-5. In special lecture in Sakura exchange program in science. Department of biosphere resources science. Graduate school of bio-agricultural sciences, Nagoya University, Japan.

Zhang, L., M. and J. McCarthy. 2012. Measurement and evaluation of tomato maturity using magnetic resonance imaging. *Postharvest Biol. Technol.* 67: 37-43.

Zhu, X., W. Guo and X. Wu. 2012. Frequency- and temperature-dependent dielectric properties of fruit juices associated with pasteurization by dielectric heating. Journal of food engineering. 109: 258-266.

Zywica, R., G. Pierzynowska-Korniak, J. Wojcik. 2005. Application of food products electrical model parameters for evaluation of apple puree dilution. Journal of food engineering. 67: 413-418.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกผลจากการทดลอง

ก.1 ตารางที่ 1 ค่า Capacitance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1

No.	C _{0.012} (nF)	C _{0.05} (nF)	C _{0.1} (nF)	C _{0.5} (nF)	C ₁ (nF)
1	770.13	197.74	90.57	16.18	8.5533
2	468.8	124.74	57.338	12.942	7.6891
3	207.12	72.414	34.779	7.3171	4.436
4	268.66	92.821	48.429	9.3091	5.2906
5	682.94	268.56	152.9	38.648	22.706
6	774.73	377.1	238.05	68.48	44.411
7	987.45	484.68	300.22	82.708	50.579
8	650.99	276.19	184.26	52.565	31.13
9	432.74	160.59	79.112	13.921	7.3251
10	554.74	163.1	78.592	15.504	8.3297
11	313.6	123.38	67.74	14.144	7.9541
12	507.84	133.5	61.022	12.037	6.5264
13	989.78	552.16	347.45	561.6	62.338
14	493.51	232.16	153.18	46.673	27.925
15	887.83	448.96	289.65	86.454	54.082
16	984.26	464.02	222.51	80.632	57.293
17	417.08	31.154	4.8506	1.0608	1.0205
18	1234.9	877.8	529.67	40.124	11.262
19	423	43.229	8.9487	0.65616	0.44388
20	26.898	20.607	16.501	10.164	5.8986
21	1358.3	575.85	353.47	101.39	57.667
22	821.45	377.78	236.57	65.272	39.823
23	446.68	235.59	159.39	50.9	30.8
24	529.19	223.88	144.22	44.582	28.076
25	522.84	124.82	57.522	14.018	8.0665
26	273.01	73.811	32.286	6.8891	4.024
27	251.55	67.191	31.22	7.5197	4.6185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค่า Capacitance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	$C_{0.012}$ (nF)	$C_{0.05}$ (nF)	$C_{0.1}$ (nF)	$C_{0.5}$ (nF)	C_1 (nF)
28	401.79	148.75	70.553	12.351	6.5053
29	378.05	172.13	105.39	31.402	19.156
30	919.5	448.08	283.75	79.353	46.605
31	290.77	154.31	99.384	30.824	18.948
32	348.95	174.39	120	37.882	23.481
33	23.586	11.24	6.6797	2.1319	1.4496
34	178.86	78.707	46.2	11.127	6.5563
35	179.03	58.326	30.417	7.761	4.9224
36	4.562	5.319	7.9714	4.5927	3.4476
37	739.46	330.17	216.33	58.94	34.324
38	389.94	156.91	93.06	26.138	16.927
39	1143.4	477.89	298.34	81.48	49.411
40	778.71	429.95	283.16	85.686	52.925
41	50.686	39.318	30.636	8.9952	5.218
42	12.763	1.5324	2.1572	1.4424	1.2002
43	108.68	47.02	28.74	6.5995	4.3174
44	95.766	35.796	20.952	4.2668	2.5235
45	968.24	421.66	256.41	71.269	44.742
46	704.93	364.68	227.52	63.223	37.896
47	556	244.93	165.77	43.519	26.744
48	509.87	221.45	136.49	41.239	25.441

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค่า Capacitance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก การทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	C ₅ (nF)	C ₁₀ (nF)	C ₅₀ (nF)	C ₁₀₀ (nF)	C ₂₀₀ (nF)
1	2.4858	1.5442	0.53976	0.33841	0.22066
2	2.459	1.5945	0.57996	0.37295	0.24588
3	1.5506	1.0112	0.36473	0.24014	0.16779
4	1.6073	1.0431	0.40401	0.26645	0.17642
5	8.9545	6.6822	3.5628	2.711	2.0794
6	14.613	9.6207	4.1023	2.9448	2.1597
7	17.997	12.231	5.3963	1.8015	1.5831
8	10.14	6.7774	2.9445	2.1248	1.5648
9	2.1807	1.4249	0.53501	0.34386	0.22411
10	2.3722	1.5744	0.5962	0.39219	0.26071
11	2.5179	1.6839	0.64507	0.42791	0.28716
12	1.9993	1.2253	0.45153	0.29299	0.19523
13	21.251	13.866	5.6906	3.9797	2.8609
14	9.6029	6.5422	2.8257	2.0098	1.4507
15	19.819	13.556	5.7872	4.0695	2.9328
16	20.703	13.985	5.629	3.9247	2.8202
17	1.0293	0.66742	0.25394	0.18011	0.13379
18	0.97964	0.64679	0.22969	0.1545	0.10802
19	0.30259	0.36502	0.16431	0.12159	0.0927
20	1.7857	1.2006	0.47746	0.32625	0.2218
21	11.952	6.4214	3.1968	2.4142	1.831
22	14.169	9.5702	4.0106	2.8577	2.0871
23	10.44	6.9021	2.873	2.0458	1.4886
24	10.22	6.9513	3.0797	2.2369	1.6585
25	2.4183	1.4028	0.45589	0.2917	0.19477
26	1.2684	0.76654	0.25692	0.16901	0.12001
27	1.6433	1.0521	0.38877	0.2531	0.16982
28	1.943	1.2644	0.48466	0.31469	0.20627
29	7.0182	4.9021	2.3389	1.7311	1.3058
30	14.895	9.6685	3.9728	2.8433	2.0932

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค่า Capacitance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	C ₅ (nF)	C ₁₀ (nF)	C ₅₀ (nF)	C ₁₀₀ (nF)	C ₂₀₀ (nF)
31	6.9665	4.8713	2.2408	1.6215	1.1998
32	8.602	6.0556	2.8809	2.1166	1.5673
33	0.6515	0.47557	0.21466	0.15333	0.11336
34	2.2286	1.5062	0.58528	0.38523	0.25664
35	1.9086	1.3016	0.52603	0.35019	0.24026
36	1.344	0.96544	0.40162	0.28621	0.20166
37	11.099	7.5375	3.5057	2.5722	1.892
38	6.6151	4.7545	2.3504	1.7371	1.3029
39	17.206	11.744	5.1712	3.6946	2.7079
40	18.238	12.015	2.0821	3.3827	2.4361
41	1.5322	1.0182	0.37917	0.26792	0.19026
42	0.56223	0.43296	0.20102	0.14911	0.11047
43	1.6355	1.1664	0.47031	0.3137	0.11266
44	0.85459	0.59136	0.23355	0.16839	0.12512
45	15.92	11.12	5.0701	3.6662	2.6783
46	12.957	8.6842	3.6978	2.616	1.8856
47	9.9486	7.0777	3.2905	2.3851	1.7455
48	9.4496	6.7143	3.2429	2.394	1.7783

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2. ตารางที่ 2 ค่า Phase angle ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1

No.	$\theta_{0.012}(\text{Deg})$	$\theta_{0.05}(\text{Deg})$	$\theta_{0.1}(\text{Deg})$	$\theta_{0.5}(\text{Deg})$	$\theta_{1}(\text{Deg})$
1	-11.73	-13.19	-15.69	-24.13	-27.7
2	-13.77	-15.98	-19.83	-28.41	-30.5
3	-17.4	-16.36	-19.22	-29.51	-32.23
4	-13.38	-13.6	-15.58	-24.56	-27.98
5	-29.66	-25.16	-25.99	-34.52	-40.12
6	-32.85	-26.8	-26.64	-30.63	-32.98
7	-31.7	-26.32	-26.35	-32.35	-35.28
8	-30.8	-26.67	-25.83	-29.03	-32.61
9	-17.09	-14.27	-15.86	-25.08	-0.5612
10	-15.51	-15.15	-17.31	-24.95	-28.54
11	-17.75	-16.03	-17.58	-25.8	-29.47
12	-12.73	-14.37	-17.32	-25.56	-28.85
13	-33.6	-28.69	-27.92	-28.58	-33.59
14	-33.76	-27.83	-27.73	-31.05	-33.91
15	-34.61	-28.36	-28.23	-33.08	-35.61
16	-32.52	-27.45	-27.84	-32.45	-33.93
17	-172.5	-159.6	-134.5	-70.08	-54.42
18	-178.4	-177.6	-176	-170.8	-165
19	-173.8	-167.3	-156	-108.5	-80.07
20	-47.33	-30.48	-28.52	-24.13	-27.47
21	-29.28	-25.52	-26.04	-30.64	-32.16
22	-29.74	-25.46	-25.66	-31.12	-34.22
23	-35.24	-28.86	-27.27	-30.45	-32.64
24	-31.89	-28.41	-29.17	-33.99	-36.29
25	-14.31	-16.81	-20.09	-26.87	-27.96
26	-14.16	-15.26	-19.31	-28.35	-30.27
27	-15.79	-18.62	-22.83	-32.06	-34.12
28	-11.57	-12.62	-14.81	-23.81	-28.36
29	-33.27	-27.65	-28.03	-33.54	-37.25
30	-32.83	-26.19	-25.39	-28.79	-31.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่า Phase angle ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	$\theta_{0.012}(\text{Deg})$	$\theta_{0.05}(\text{Deg})$	$\theta_{0.1}(\text{Deg})$	$\theta_{0.5}(\text{Deg})$	$\theta_{1}(\text{Deg})$
31	-30.96	-27.73	-28.04	-33.12	-36.57
32	-31.61	-28.22	-28.57	-33.33	-36.56
33	-37.8	-29.23	-31.52	-39.93	-42.65
34	-25.89	-20.83	-21.46	-28.66	-31.92
35	-18.91	-20.47	-24.04	-34.34	-37.1
36	-93.42	-35.08	-29.39	-31.34	-32.77
37	-31.1	-24.86	-24.73	-29.27	-32.76
38	-30.83	-27.12	-28.49	-36.47	-39.57
39	-26.52	-24.34	-25.37	-31.48	-34.5
40	-37.42	-28.4	-27.47	-30.86	-33
41	-37.72	-24.89	-22.27	-23.67	-26.4
42	-143.3	-59.7	-42.23	-41.7	-40.69
43	-16.61	-16.15	-18.75	-29.46	-33.37
44	-13.64	-14.44	-16	-25.01	-29.71
45	-26.86	-24.93	-26.28	-33	-35.93
46	-31.7	-26.02	-25.77	-30.47	-33.43
47	-28.08	-25.17	-25.25	-33.04	-36.82
48	-30.13	-26.72	-27.62	-33.68	-37.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่า Phase angle ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	$\theta_{.5}(\text{Deg})$	$\theta_{.10}(\text{Deg})$	$\theta_{.50}(\text{Deg})$	$\theta_{.100}(\text{Deg})$	$\theta_{.200}(\text{Deg})$
1	-33.81	-35.29	-38.4	-41.15	-44.11
2	-34.94	-36.22	-39.29	-41.55	-44.27
3	-35.16	-36.32	-41.9	-45.75	-49.31
4	-34.83	-36.65	-39.41	-41.01	-43.45
5	-50.17	-51.77	-49.59	-47.59	-44.65
6	-39.34	-41.65	-43.71	-43.22	-41.49
7	-41.26	-43.08	-44.02	-48.83	-44.81
8	-40.16	-42.5	-44.46	-44.09	-42.54
9	-36.27	-37.54	-39.83	-41.78	-44.48
10	-35.8	-37.55	-39.43	-40.35	-41.62
11	-36.03	-37.36	-39.76	-41.3	-43.31
12	-34.99	-36.71	-40.48	-43.03	-46.01
13	-38.06	-39.85	-41.52	-41.3	-39.87
14	-40.2	-41.73	-42.29	-41.44	-39.68
15	-39.85	-40.96	-41.3	-40.9	-39.38
16	-37.91	-39.09	-40.84	-41.07	-40.01
17	-35.57	-38.82	-47.65	-51.27	-54.27
18	-33.18	-35.27	-41.42	-44.79	-47.97
19	-58.23	-44.51	-49.29	-51.69	-54.12
20	-35.22	-37.27	-39.45	-40.57	-42.19
21	-34.69	-44.46	-45.44	-44.68	-42.67
22	-39.39	-40.82	-42.54	-42.31	-40.75
23	-38.4	-40.34	-42.15	-41.65	-39.89
24	-41.6	-43.39	-44.52	-43.81	-41.81
25	-30.99	-33.22	-40.19	-43.27	-46.18
26	-33.7	-35.9	-44.76	-49.85	-54.27
27	-36.39	-37.5	-41.88	-44.76	-48.11
28	-36.04	-37.33	-39.24	-40.91	-43.29
29	-44.56	-46.6	-47.02	-45.89	-43.59
30	-37.99	-40.42	-43.94	-44.01	-42.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ค่า Phase angle ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	$\theta_{.5}(\text{Deg})$	$\theta_{.10}(\text{Deg})$	$\theta_{.50}(\text{Deg})$	$\theta_{.100}(\text{Deg})$	$\theta_{.200}(\text{Deg})$
31	-43.77	-45.12	-44.85	-44.04	-42.08
32	-44.2	-46.02	-45.97	-44.78	-42.77
33	-44.69	-44.58	-47.64	-50.25	-52.74
34	-37.27	-38.16	-39.85	-41.31	-43.23
35	-40.25	-40.77	-42.96	-45.45	-48.41
36	-37.23	-38.04	-41.29	-42.89	-44.91
37	-41.67	-44.58	-46.19	-45.18	-43.37
38	-46.78	-48.28	-47.08	-45.66	-43.31
39	-41.02	-42.75	-43.68	-43.33	-41.79
40	-37.36	-38.97	-40.91	-40.89	-39.66
41	-33.6	-36.11	-42.43	-44.62	-46.87
42	-41.98	-42.39	-46.21	-48.72	-51.14
43	-38.37	-38.8	-40.43	-42.94	-46.71
44	-37.33	-39.17	-45.15	-47.49	-49.06
45	-42.87	-44.73	-45.56	-44.98	-43.54
46	-39.55	-41.24	-42.2	-41.77	-40.36
47	-43.82	-45.01	-44.23	-43.25	-41.65
48	-44.98	-46.66	-46.05	-44.67	-42.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 ตารางที่ 3 ค่า D-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1

No.	D _{0.012}	D _{0.05}	D _{0.1}	D _{0.5}	D ₁
1	4.681	4.237	3.572	2.261	1.91
2	3.94	3.499	2.785	1.844	1.692
3	2.934	3.351	2.878	1.776	1.589
4	4.003	4.163	3.565	2.173	1.868
5	1.734	2.144	2.067	1.466	1.19
6	1.582	2.005	2.007	1.689	1.513
7	1.881	2.032	2.025	1.577	1.407
8	1.718	2.012	2.077	1.758	1.56
9	2.996	3.894	3.56	2.152	1.79
10	3.411	3.712	3.242	2.156	1.845
11	2.987	3.41	3.141	2.059	1.762
12	4.178	3.85	3.218	2.098	1.821
13	1.597	1.826	1.886	1.835	1.506
14	1.602	1.912	1.905	1.658	1.482
15	1.521	1.86	1.866	1.531	1.394
16	1.662	1.95	1.912	1.55	1.479
17	3.041	3.617	3.293	2.2526	1.6238
18	3.44	3.21	2.843	2.699	1.752
19	3.89	3.224	2.677	2.367	1.762
20	0.6925	1.604	1.776	2.223	1.917
21	1.815	2.108	2.049	1.682	1.584
22	1.836	2.127	2.089	1.653	1.467
23	1.454	1.829	1.878	1.695	1.585
24	1.64	1.858	1.794	1.48	1.357
25	3.884	3.302	2.727	1.972	1.881
26	3.769	3.629	2.872	1.86	1.716
27	3.216	2.981	2.396	1.6	1.478
28	4.636	4.487	3.784	2.265	1.853
29	1.536	1.935	1.889	1.504	1.315
30	1.725	2.037	2.108	1.816	1.624

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค่า D-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	D _{0.012}	D _{0.05}	D _{0.1}	D _{0.5}	D ₁
31	1.688	1.908	1.871	1.521	1.343
32	1.699	1.882	1.832	1.508	1.337
33	1.169	1.766	1.635	1.198	1.085
34	2.01	2.631	2.542	1.832	1.606
35	2.674	2.671	2.218	1.46	1.318
36	-1.001	0.9315	1.552	1.558	1.514
37	1.705	2.19	2.183	1.785	1.55
38	1.689	1.97	1.846	1.35	1.207
39	2.033	2.227	2.108	1.628	1.45
40	1.336	1.864	1.925	1.667	1.536
41	1.232	2.125	2.417	2.264	2.003
42	-2.307	0.2767	0.8852	1.075	1.135
43	3.229	3.376	2.935	1.767	1.518
44	3.886	3.907	3.461	2.121	1.737
45	2.116	2.175	2.029	1.534	1.376
46	1.682	2.051	2.068	1.694	1.511
47	1.899	2.138	2.117	1.533	1.332
48	1.769	1.999	1.914	1.493	1.308

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค่า D-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	D ₅	D ₁₀	D ₅₀	D ₁₀₀	D ₂₀₀
1	1.494	1.413	1.265	1.15	1.037
2	1.43	1.365	1.225	1.133	1.03
3	1.416	1.357	1.113	0.9731	0.8592
4	1.431	1.339	1.216	1.149	1.056
5	0.8339	0.7875	0.8514	0.9132	1.012
6	1.22	1.124	1.046	1.064	1.131
7	1.138	1.069	1.035	0.9009	0.9976
8	1.182	1.09	1.018	1.032	1.089
9	1.365	1.301	1.202	1.125	1.024
10	1.388	1.301	1.219	1.181	1.131
11	1.374	1.309	1.202	1.14	1.062
12	1.431	1.342	1.174	1.073	0.968
13	1.277	1.199	1.13	1.139	1.198
14	1.182	1.121	1.099	1.133	1.205
15	1.192	1.15	1.137	1.154	1.218
16	1.278	1.228	1.155	1.146	1.19
17	1.379	1.229	0.9043	0.7954	0.7152
18	1.53	1.413	1.129	1.005	0.9001
19	1.553	1.006	0.85	0.7803	0.7168
20	1.413	1.312	1.211	1.162	1.09
21	1.44	0.9882	0.9732	1.005	1.081
22	1.215	1.155	1.088	1.098	1.16
23	1.259	1.176	1.104	1.124	1.196
24	1.124	1.057	1.017	1.042	1.118
25	1.666	1.528	1.185	1.065	0.9622
26	1.504	1.386	1.011	0.8473	0.7231
27	1.358	1.304	1.117	1.012	0.9019
28	1.373	1.31	1.225	1.156	1.064
29	1.014	0.9447	0.9314	0.9689	1.051
30	1.279	1.172	1.037	1.035	1.088

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค่า D-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	D ₅	D ₁₀	D ₅₀	D ₁₀₀	D ₂₀₀
31	1.044	0.9957	1.005	1.034	1.108
32	1.024	0.9619	0.9631	1.007	1.081
33	1.01	1.014	0.9095	0.8258	0.7578
34	1.31	1.271	1.198	1.141	1.067
35	1.181	1.16	1.075	0.9883	0.8905
36	1.308	1.27	1.13	1.065	0.9854
37	1.119	1.011	0.958	0.9933	1.058
38	0.9384	0.8915	0.9303	0.977	1.061
39	1.146	1.079	1.046	1.059	1.118
40	1.307	1.235	1.153	1.153	1.204
41	1.491	1.368	1.082	0.9872	0.9259
42	1.097	1.082	0.9382	0.868	0.7958
43	1.263	1.242	1.169	1.068	0.9353
44	1.303	1.22	0.9829	0.9064	0.86
45	1.074	1.009	0.98	1.001	1.052
46	1.21	1.139	1.102	1.119	1.176
47	1.039	0.9959	1.026	1.063	1.124
48	0.999	0.942	0.9632	1.012	1.091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4. ตารางที่ 4 ค่า Inductance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1

No.	$L_{0.012}(H)$	$L_{0.05}(H)$	$L_{0.1}(H)$	$L_{0.5}(H)$	$L_1(H)$
1	-225.36	-51.233	-28.078	-6.2898	-2.971
2	-368	-82.226	-44.153	-7.8175	-3.2905
3	-822.7	-141.61	-72.819	-13.817	-5.6879
4	-621.68	-107.04	-51.714	-10.786	-4.746
5	-258.52	-38.009	-16.624	-2.6243	-1.1156
6	-224.48	-26.735	-10.607	-1.474	-0.57
7	-160.99	-20.815	-8.3384	-1.2225	-0.4975
8	-269.31	-36.599	-13.683	-1.9223	-0.81088
9	-376.05	-62.288	-32.363	-7.3565	-3.4279
10	-316.62	-62.637	-32.467	-6.5478	-3.0469
11	-491.95	-80.721	-37.142	-7.128	-3.1695
12	-331.93	-76.026	-41.67	-8.4833	-3.8916
13	-173.03	-18.317	-7.2874	-18.048	-0.40636
14	-342.51	-43.335	-16.478	-2.1647	-0.9056
15	-186.43	-22.378	-8.6831	-4.5437	-0.46705
16	-172.59	-21.583	-10.695	-1.2355	-0.4391
17	-446.56	-410.77	-156.75	-92.822	-23.673
18	-14.922	-5.7062	-4.9732	-2.6065	-2.3269
19	-437.89	-260.01	-294.89	-155.76	-56.019
20	-600	-469.08	-148.18	-9.8438	-4.2491
21	-127.68	-17.46	-7.1303	-0.99441	-0.43831
22	-210.96	-26.579	-10.642	-1.5444	-0.63367
23	-379.68	-42.33	-15.758	-1.98	-0.80565
24	-329.04	-44.874	-17.427	-2.2609	-0.9001
25	-338.74	-80.871	-44.179	-7.2476	-3.1483
26	-630.73	-137.22	-78.893	-14.77	-6.3135
27	-668.55	-152.11	-81.651	-13.493	-5.4931
28	-383.25	-67.783	-35.86	-8.1963	-3.8914
29	-458.23	-58.276	-23.865	-3.2092	-1.3205
30	-190.23	-22.543	-8.8895	-1.2736	-0.54293

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ค่า Inductance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	$L_{0.012}(H)$	$L_{0.05}(H)$	$L_{0.1}(H)$	$L_{0.5}(H)$	$L_1(H)$
31	-580.16	-65.047	-25.34	-3.2618	-1.3341
32	-449.15	-53.476	-20.378	-2.6204	-1.0584
33	-706.8	-88.21	-37.63	-26.797	-17.176
34	-923.36	-125.38	-53.849	-9.001	-3.833
35	-856.3	-167.69	-81.508	-12.924	-5.1046
36	-409.21	-105.56	-32.24	-19.428	-6.7419
37	-233.67	-30.19	-11.505	-1.6964	-0.72798
38	-444.63	-63.833	-27.064	-3.8555	-1.4902
39	-146.3	-20.02	-8.3393	-1.2285	-0.50797
40	-216.34	-22.998	-8.7209	-1.1625	-0.47401
41	-2643.7	-234.82	-78.947	-10.861	-4.6962
42	-2650.7	-449.23	-83.906	-62.863	-19.559
43	-1294.7	-185.58	-82.435	-14.219	-5.6154
44	-1546.7	-260.13	-113.61	-22.321	-9.5597
45	-172.52	-23.3	-9.7419	-1.4011	-0.5615
46	-234.41	-27.239	-10.974	-1.5805	-0.65978
47	-286.11	-39.75	-14.958	-2.2877	-0.93668
48	-327.85	-44.755	-18.183	-2.4157	-0.9843

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ค่า Inductance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	$L_5(H)$	$L_{10}(H)$	$L_{50}(H)$	$L_{100}(H)$	$L_{200}(H)$
1	-0.40858	-0.16447	-0.01883	-0.00751	-0.00276
2	-0.41216	-0.15895	-0.0175	-0.0068	-0.00258
3	-0.65087	-0.24954	-0.02772	-0.01052	-0.00377
4	-0.6282	-0.24196	-0.02504	-0.00949	-0.00359
5	-0.113	-0.03788	-0.00284	-0.00093	-0.0003
6	-0.0693	-0.02633	-0.00247	-0.00086	-0.00029
7	-0.0562	-0.0207	-0.00188	-0.00137	-0.0004
8	-0.0997	-0.03734	-0.00344	-0.00119	-0.0004
9	-0.46692	-0.17801	-0.019	-0.00739	-0.00283
10	-0.42797	-0.16124	-0.01703	-0.00647	-0.00243
11	-0.40137	-0.15012	-0.01587	-0.00591	-0.0022
12	-0.52229	-0.2068	-0.02247	-0.00866	-0.00325
13	-0.04768	-0.01827	-0.00178	-0.00064	-0.22139
14	-0.10537	-0.03871	-0.00359	-0.00126	-0.43654
15	-0.051	-0.01865	-0.00175	-0.00062	-0.21581
16	-0.04865	-0.01806	-0.0018	-0.00064	-0.22438
17	-966.48	-0.37424	-0.03972	-0.01402	-0.00472
18	-1022.6	-0.38905	-0.04381	-0.01632	-0.00584
19	-3.3227	-0.68509	-0.06122	-0.02071	-0.0068
20	-0.56267	-0.20959	-0.02108	-0.00772	-0.0028
21	-0.0847	-0.03842	-0.00314	-0.00104	-0.00034
22	-0.07131	-0.0264	-0.00252	-0.00089	-0.0003
23	-0.0968	-0.03667	-0.00352	-0.00124	-0.00043
24	-0.09905	-0.03643	-0.00329	-0.00113	-0.00038
25	-0.4199	-0.18144	-0.0223	-0.0087	-0.0033
26	-0.80132	-0.33129	-0.0395	-0.015	-0.0053
27	-0.61722	-0.24102	-0.0261	-0.01	-0.0037
28	-0.52141	-0.20037	-0.0209	-0.0081	-0.0031
29	-0.1441	-0.0516	-0.0043	-0.0015	-0.0005
30	-0.068	-0.0262	-0.0026	-0.0009	-0.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ค่า Inductance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	$L_5(H)$	$L_{10}(H)$	$L_{50}(H)$	$L_{100}(H)$	$L_{200}(H)$
31	-0.1454	-0.052	-0.0045	-0.0016	-0.0005
32	-0.117	-0.0416	-0.0035	-0.0012	-0.0004
33	-1.5238	-0.52517	-0.0466	-0.0163	-0.0055
34	-0.45213	-0.1677	-0.0173	-0.0066	-0.00247
35	-0.52903	-0.19434	-0.0193	-0.0072	-0.00264
36	-0.72202	-0.24793	-0.0245	-0.0087	-0.00309
37	-0.0905	-0.0334	-0.0029	-0.001	-0.00033
38	-0.1527	-0.0533	-0.0043	-0.0015	-0.00049
39	-0.0585	-0.0215	-0.002	-0.0007	-0.00023
40	-0.0551	-0.021	-0.0021	-0.0007	-0.00026
41	-0.62345	-0.24385	-0.0262	-0.00927	-0.00329
42	-1.6884	-0.55631	-0.04782	-0.01661	-0.00562
43	-0.60427	-0.21053	-0.0211	-0.00791	-0.00295
44	-1.1378	-0.41581	-0.04226	-0.0147	-0.00498
45	-0.06316	-0.02276	-0.002	-0.00069	-0.00024
46	-0.07795	-0.02905	-0.00274	-0.00097	-0.00034
47	-0.10112	-0.03565	-0.00307	-0.00106	-0.00036
48	-0.10649	-0.03759	-0.00312	-0.00106	-0.00036

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 ตารางที่ 5 ค่า Q-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1

No.	Q _{0.012}	Q _{0.05}	Q _{0.1}	Q _{0.5}	Q ₁
1	-0.2191	-0.2371	-0.2797	-0.4413	-0.5232
2	-0.2586	-0.2858	-0.3584	-0.5433	-0.5918
3	-0.361	-0.2932	-0.3469	-0.5616	-0.6285
4	-0.2563	-0.2425	-0.2813	-0.4612	-0.5366
5	-0.5833	-0.463	-0.4812	-0.6798	-0.8394
6	-0.6281	-0.4958	-0.4968	-0.5916	-0.661
7	-0.5214	-0.4913	-0.4936	-0.6344	-0.7112
8	-0.5655	-0.4932	-0.4807	-0.5689	-0.6413
9	-0.3506	-0.2565	-0.2812	-0.4642	-0.5573
10	-0.2995	-0.2671	-0.3075	-0.4631	-0.5417
11	-0.3462	-0.293	-0.3193	-0.4877	-0.5684
12	-0.2483	-0.2579	-0.3103	-0.4762	-0.5484
13	-0.6136	-0.548	-0.5303	-0.5451	-0.6642
14	-0.5919	-0.5204	-0.523	-0.6041	-0.6751
15	-0.6497	-0.5372	-0.5355	-0.6535	-0.7178
16	-0.5784	-0.5113	-0.538	-0.6491	-0.6785
17	0.1052	0.2612	0.7097	-4.684	-1.661
18	0.0225	0.0349	0.0604	0.1441	0.2402
19	0.0882	0.1835	0.3476	2.058	-11.67
20	-1.763	-0.6472	-0.5713	-0.4509	-0.5225
21	-0.5468	-0.4725	-0.4878	-0.5951	-0.6323
22	-0.5341	-0.468	-0.4778	-0.6051	-0.6818
23	-0.6843	-0.5477	-0.5326	-0.5904	-0.6431
24	-0.6078	-0.5344	-0.5562	-0.6764	-0.7371
25	-0.2583	-0.3019	-0.3668	-0.5077	-0.5316
26	-0.279	-0.276	-0.3465	-0.5364	-0.5825
27	-0.3242	-0.3305	-0.4154	-0.6245	-0.6764
28	-0.222	-0.2227	-0.2644	-0.4417	-0.5399
29	-0.6538	-0.518	-0.5274	-0.6641	-0.7602
30	-0.5637	-0.4891	-0.4741	-0.5508	-0.616

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในสถานศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ค่า Q-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	Q _{0.012}	Q _{0.05}	Q _{0.1}	Q _{0.5}	Q ₁
31	-0.5977	-0.5238	-0.5351	-0.6591	-0.7457
32	-0.5842	-0.5285	-0.546	-0.6657	-0.7496
33	-0.7944	-0.5687	-0.6125	-0.8357	-0.9215
34	-0.5018	-0.3826	-0.3932	-0.5457	-0.6223
35	-0.3951	-0.3784	-0.4525	-0.6857	-0.7596
36	0.8221	-1.231	-0.6738	-0.6884	-0.6671
37	-0.6017	-0.4596	-0.4597	-0.5601	-0.6441
38	-0.5953	-0.5117	-0.5423	-0.74	-0.827
39	-0.4963	-0.4508	-0.4742	-0.6128	-0.6879
40	-0.7613	-0.5385	-0.5198	-0.5982	-0.6499
41	-0.7817	-0.4623	-0.4104	-0.439	-0.4977
42	0.6414	-1.147	-1.001	-0.9017	-0.8686
43	-0.3022	-0.2929	-0.3396	-0.5646	-0.6589
44	-0.2464	-0.2569	-0.2866	-0.4674	-0.5719
45	-0.4948	-0.464	-0.4936	-0.6503	-0.7254
46	-0.6136	-0.4877	-0.483	-0.5893	-0.6605
47	-0.5297	-0.4681	-0.4717	-0.6507	-0.7492
48	-0.5764	-0.5043	-0.5229	-0.6672	-0.7627

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ค่า Q-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
1	-0.6693	-0.7077	-0.7895	-0.8674	-0.9625
2	-0.6996	-0.7331	-0.816	-0.8815	-0.9693
3	-0.7067	-0.7379	-0.899	-1.028	-1.164
4	-0.7005	-0.7475	-0.8231	-0.8701	-0.9469
5	-1.199	-1.27	-1.175	-1.095	-0.9878
6	-0.82	-0.8896	-0.9562	-0.9397	-0.8842
7	-0.8792	-0.9358	-0.9666	-1.117	-1.008
8	-0.8464	-0.9179	-0.9828	-0.9694	-0.918
9	-0.7318	-0.7687	-0.8318	-0.887	-0.9746
10	-0.7204	-0.769	-0.8201	-0.8458	-0.8825
11	-0.7282	-0.7643	-0.8319	-0.8765	-0.941
12	-0.6985	-0.7454	-0.8515	-0.931	-1.032
13	-0.7831	-0.8343	-0.8849	-0.8782	-0.8345
14	-0.8466	-0.8921	-0.9097	-0.8828	-0.8296
15	-0.8394	-0.8701	-0.8798	-0.867	-0.8211
16	-0.7835	-0.8166	-0.8664	-0.8728	-0.8404
17	-0.7279	-0.8174	-1.109	-1.257	-1.399
18	-0.6533	-0.7075	-0.8864	-1.034	-1.114
19	-1.705	-0.9962	-1.182	-1.289	-1.399
20	-0.7081	-0.7627	-0.8266	-0.8626	-0.9197
21	-0.6951	-1.03	-1.036	-0.9977	-0.9268
22	-0.8241	-0.8672	-0.9197	-0.9113	-0.8623
23	-0.795	-0.851	-0.906	-0.8896	-0.8361
24	-0.8902	-0.946	-0.9838	-0.9596	-0.8944
25	-0.6004	-0.6542	-0.8429	-0.9381	-1.039
26	-0.6644	-0.7209	-0.9875	-1.179	-1.381
27	-0.7364	-0.7672	-0.8949	-0.9874	-1.106
28	-0.7291	-0.7634	-0.8164	-0.8653	-0.9405
29	-0.9872	-1.059	-1.074	-1.032	-0.9526
30	-0.7821	-0.8548	-0.965	-0.9663	-0.9191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกรใ้แจ้งแก่บุคคลที่สนใจในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ค่า Q-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
31	-0.9582	-1.004	-0.9951	-0.967	-0.9026
32	-0.9777	-1.041	-1.039	-0.9935	-0.9256
33	-0.9886	-0.985	-1.099	-1.205	-1.317
34	-0.7643	-0.7873	-0.8348	-0.8759	-0.9371
35	-0.8471	-0.8626	-0.9286	-1.013	-1.121
36	-0.7669	-0.7896	-0.8888	-0.9434	-1.019
37	-0.8907	-0.986	-1.043	-1.006	-0.9447
38	-1.065	-1.121	-1.075	-1.023	-0.9425
39	-0.8707	-0.9251	-0.9552	-0.9435	-0.8939
40	-0.7639	-0.8093	-0.8667	-0.8663	-0.8291
41	-0.668	-0.7291	-0.9175	-0.989	-1.072
42	-0.9042	-0.9176	-1.047	-1.143	-1.246
43	-0.7919	-0.8044	-0.8526	-0.9325	-1.064
44	-0.7644	-0.816	-1.009	-1.095	-1.155
45	-0.9292	-0.9906	-1.02	-0.9992	-0.9501
46	-0.826	-0.8769	-0.9069	-0.893	-0.8499
47	-0.9604	-1.001	-0.9739	-0.9407	-0.8894
48	-1	-1.06	-1.038	-0.9884	-0.9165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.6 ตารางที่ 6 ค่า Resistance primary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1

No.	$R_{1-0.012}(k\Omega)$	$R_{1-0.05}(k\Omega)$	$R_{1-0.1}(k\Omega)$	$R_{1-0.5}(k\Omega)$	$R_{1-1}(k\Omega)$
1	88.394	72.191	67.113	51.373	44.988
2	123	98.05	87.369	58.902	47.323
3	228.85	165.29	147.83	102.19	80.108
4	236.58	157.91	129.2	91.672	73.349
5	44.583	30.651	26.357	17.663	14.255
6	39.787	21.502	16.923	10.695	8.4194
7	36.055	16.772	13.52	8.5569	6.7183
8	51.135	29.255	22.411	14.199	11.307
9	113.78	81.833	76.219	59.773	50.794
10	92.78	76.174	71.39	53.518	45.458
11	167.53	98.898	82.933	58.261	46.999
12	122.99	98.771	91.557	67.723	57.363
13	31.001	13.765	11.08	13.516	5.541
14	70.817	34.206	25.979	15.541	12.345
15	36.619	17.342	13.364	8.1283	6.2521
16	35.823	17.309	24.106	9.3148	6.0974
17	349.84	244.66	118.24	82.167	72.18
18	241.91	144.101	86.234	52.211	48.15
19	326.56	189.23	87.23	58.324	45.625
20	1450.1	376.23	240.81	86.31	67.264
21	24.164	14.602	11.563	7.219	6.1452
22	41.151	22.402	17.537	11.132	8.6561
23	73.318	33.451	24.536	14.444	11.232
24	59.494	34.435	26.403	15.479	11.92
25	103.12	89.904	85.262	55.874	47.374
26	210.6	167.07	156.91	109.83	90.29
27	206.13	156.11	142.26	93.826	74.016
28	179.05	100.88	91.719	69.896	58.582
29	83.458	45.846	36.549	22.029	17.308
30	41.629	18.521	14.594	9.54	7.677

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ค่า Resistance primary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	$R_{1-0.012}$ (kOhm)	$R_{1-0.05}$ (kOhm)	$R_{1-0.1}$ (kOhm)	$R_{1-0.5}$ (kOhm)	R_{1-1} (kOhm)
31	126.11	52.134	38.96	22.734	17.613
32	102.71	46.682	32.578	18.547	14.279
33	1267.3	668.23	543.04	308.39	222.69
34	194.13	123.92	102.56	68.752	54.493
35	254.68	167.56	142.04	88.647	67.44
36	3748.3	1934.6	527.64	191.53	106.91
37	42.534	25.889	19.795	12.777	10.271
38	78.775	50.511	41.151	25.632	19.244
39	32.141	18.218	14.048	8.8422	6.9401
40	38.03	18.301	14.008	8.5383	6.6174
41	725.79	228.3	159.2	99.19	78.404
42	983.6	333.49	171.82	482.3	281.64
43	514.45	272.96	191.85	117.82	82.74
44	645.02	405.2	300.72	202.46	151.03
45	41.066	20.605	15.909	9.864	7.593
46	48.19	22.654	18.012	11.587	9.168
47	66.975	34.97	25.412	16.146	12.52
48	67.228	36.959	28.927	16.946	13.079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ค่า Resistance primary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	R ₁₋₅ (kOhm)	R ₁₋₁₀ (kOhm)	R ₁₋₅₀ (kOhm)	R ₁₋₁₀₀ (kOhm)	R ₁₋₂₀₀ (kOhm)
1	27.559	21.726	12.044	9.4284	7.1829
2	27.536	20.908	11.175	8.5721	6.4619
3	43.944	33.188	17.64	13.308	9.6292
4	42.731	31.987	16.12	12.09	9.0582
5	7.2421	4.9077	1.8122	1.18	0.7657
6	4.445	3.3323	1.5539	1.0832	0.7426
7	3.5732	2.6116	1.1814	1.6206	1.0273
8	6.389	4.7221	2.166	1.4999	1.0213
9	30.36	23.046	12.05	9.2601	7.0611
10	28.158	20.858	10.836	8.1944	6.132
11	26.736	19.663	10.064	7.5175	5.562
12	34.667	27.019	14.232	10.863	8.1344
13	3.0861	2.3324	1.1266	0.8062	0.565
14	6.7385	4.8972	2.2628	1.596	1.1163
15	3.2754	2.3821	1.1124	0.7914	0.5538
16	3.1962	2.3464	1.1467	0.8205	0.5739
17	66.292	49.505	25.434	18.267	12.628
18	42.411	38.055	28.39	22.857	14.919
19	29.846	24.675	14.188	9.479	6.335
20	38.507	27.961	13.759	10.004	7.2828
21	5.6945	5.3633	2.0454	1.3317	0.8764
22	4.6087	3.3812	1.5977	1.1207	0.7718
23	6.2768	4.687	2.2291	1.5675	1.0868
24	6.2997	4.5938	2.0695	1.4255	0.966
25	29.646	24.281	14.083	10.866	8.1466
26	54.075	43.523	24.645	19.016	13.928
27	40.48	31.25	16.425	12.52	9.3602
28	34.431	26.09	13.384	10.207	7.7177
29	9.1028	6.5151	2.7311	1.8414	1.2218
30	4.4114	3.3479	1.6064	1.1202	0.7631

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ค่า Resistance primary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	R ₁₋₅ (kOhm)	R ₁₋₁₀ (kOhm)	R ₁₋₅₀ (kOhm)	R ₁₋₁₀₀ (kOhm)	R ₁₋₂₀₀ (kOhm)
31	9.1745	6.5344	2.8419	1.9639	1.3331
32	7.4436	5.2832	2.2177	1.505	1.0188
33	98.684	67.656	30.043	21.331	14.672
34	29.994	21.772	11.046	8.3223	6.1994
35	33.913	24.751	12.13	9.0781	6.6599
36	50.668	34.991	16.26	11.339	8.0823
37	5.8046	4.2501	1.8259	1.2384	0.843
38	9.6523	6.7423	2.7147	1.8329	1.2237
39	3.7533	2.7272	1.2344	0.8638	0.5919
40	3.6327	2.7207	1.3274	0.9522	0.6666
41	46.021	33.142	17.154	12.341	8.4783
42	118.27	76.946	32.648	21.968	14.994
43	40.79	28.636	13.949	10.308	7.6139
44	79.559	56.139	27.839	19.29	13.015
45	4.0219	2.8659	1.2562	0.86865	0.5951
46	5.0159	3.7067	1.7314	1.2253	0.85544
47	6.4301	4.536	1.939	1.3395	0.91952
48	6.7677	4.7649	1.9683	1.331	0.89914

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.7 ตารางที่ 7 ค่า Resistance secondary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1

No.	$R_{2-0.012}(k\Omega)$	$R_{2-0.05}(k\Omega)$	$R_{2-0.1}(k\Omega)$	$R_{2-0.5}(k\Omega)$	$R_{2-1}(k\Omega)$
1	80.88	68.98	63.4	44.42	35.77
2	111.1	89.95	76.77	45.35	35.1
3	188.7	150.1	131.2	76.38	56.32
4	184.5	136.5	114.3	73.01	55.54
5	34.49	25.51	21.48	11.97	8.308
6	25.61	16.4	13.17	7.745	5.514
7	19.49	13.08	10.52	6.041	4.403
8	33.63	22.72	17.49	10.65	7.935
9	93.44	77.97	72.08	49.71	39.25
10	86.3	73.1	66.1	44.41	35.58
11	117.1	85.76	72.52	45.97	34.89
12	111.2	94	84.94	56	44.58
13	19.46	10.55	8.633	10.39	3.845
14	38.27	25.45	19.53	11.25	8.452
15	20.33	12.7	10.05	5.588	4.081
16	20.3	12.84	11.92	5.916	4.057
17	364.1	245.4	188.8	108.3	100.3
18	242.25	184.4	146.56	71.67	65.52
19	327.9	289.9	239.6	194.4	48.26
20	385.8	251.2	173.5	69.73	51.77
21	17.61	11.63	9.221	5.288	4.38
22	29.06	17.84	14.04	8.064	5.868
23	42.78	24.59	18.76	10.61	6.41
24	40.78	26.32	19.78	10.58	7.702
25	101.9	84.98	76.25	45.24	37.43
26	186.3	158.9	143	86.68	68.36
27	177.5	142.2	121.8	67.66	50.9
28	154.6	95.53	85.31	58.37	45.32
29	51.15	34.76	27.88	15.08	10.88
30	21.88	14.23	11.7	7.223	5.528

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ค่า Resistance secondary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	$R_{2-0.012}(k\Omega)$	$R_{2-0.05}(k\Omega)$	$R_{2-0.1}(k\Omega)$	$R_{2-0.5}(k\Omega)$	$R_{2-1}(k\Omega)$
31	76.76	39.32	29.99	15.74	11.29
32	63.8	34.29	24.33	12.71	9.085
33	693.7	502.3	389.5	179.1	119.1
34	150.2	106	87.59	52.4	38.99
35	203.2	144.4	116.5	59.95	42.67
36	585.9	519.6	272.6	101.7	66.16
37	30.13	20.99	16.04	9.638	7.193
38	57.26	39.82	31.55	16.46	11.36
39	23.47	14.78	11.25	6.368	4.677
40	22.51	13.78	10.82	6.2	4.623
41	274.1	159.7	121.4	77.98	59.51
42	210.1	175.3	168.3	115.4	93.6
43	331.9	201.5	152.7	79.06	53.61
44	487	317.6	250.1	150.7	105.5
45	25.31	15.71	12.39	6.784	4.873
46	28.31	17.54	14.3	8.455	6.299
47	40.35	26.78	19.94	11.08	7.872
48	42.35	27.84	21.84	11.41	8.124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ค่า Resistance secondary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	R ₂₋₅ (kOhm)	R ₂₋₁₀ (kOhm)	R ₂₋₅₀ (kOhm)	R ₂₋₁₀₀ (kOhm)	R ₂₋₂₀₀ (kOhm)
1	19.26	14.68	7.505	5.426	3.743
2	18.56	13.66	6.735	4.834	3.329
3	28.81	21.21	9.672	6.42	4.062
4	28.17	20.35	9.545	6.841	4.749
5	2.956	1.873	0.7602	0.5357	0.3872
6	2.654	1.859	0.8113	0.5752	0.4167
7	2.008	1.39	0.6099	0.7253	0.5002
8	3.705	2.558	1.1	0.7728	0.5539
9	20.1	14.61	7.191	5.235	3.637
10	18.71	13.23	6.535	4.8	3.454
11	17.26	12.31	5.909	4.219	2.933
12	23.5	17.47	8.288	5.836	3.944
13	1.914	1.376	0.6322	0.4555	0.3334
14	3.881	2.727	1.239	0.8544	0.6615
15	1.904	1.346	0.6242	0.4506	0.3302
16	1.949	1.391	0.6511	0.4642	0.3356
17	41.86	28.89	11.32	7.047	4.264
18	49.71	34.78	15.68	10.36	6.637
19	63.92	44.09	16.56	10.25	6.175
20	25.22	17.41	8.086	5.679	3.92
21	3.841	2.48	0.9733	0.6639	0.4703
22	2.732	1.922	0.8641	0.6115	0.4424
23	3.839	2.714	1.224	0.8747	0.6395
24	3.505	2.422	1.051	0.7416	0.5365
25	22.09	17.53	8.334	5.84	3.94
26	37.96	28.95	12.56	7.982	4.796
27	26.29	19.72	9.142	6.353	4.22
28	22.5	16.5	8.045	5.851	4.101
29	4.593	3.065	1.267	0.8904	0.6402
30	2.731	1.926	0.8312	0.5794	0.4136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ค่า Resistance secondary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	R ₂₋₅ (kOhm)	R ₂₋₁₀ (kOhm)	R ₂₋₅₀ (kOhm)	R ₂₋₁₀₀ (kOhm)	R ₂₋₂₀₀ (kOhm)
31	4.772	3.253	1.428	1.015	0.7347
32	3.796	2.532	1.066	0.7575	0.5488
33	49.4	33.97	13.48	8.595	5.318
34	18.75	13.44	6.521	4.71	3.303
35	19.7	14.18	6.503	4.486	2.947
36	29.93	19.95	8.802	5.895	3.903
37	3.213	2.137	0.8701	0.6146	0.4452
38	4.516	2.984	1.26	0.8952	0.648
39	2.122	1.464	0.644	0.4564	0.3287
40	2.283	1.636	1.325	0.5428	0.3938
41	29.51	21.03	9.025	5.921	3.879
42	62.35	39.92	14.93	9.307	5.753
43	23.98	16.46	7.792	5.349	3.498
44	46.95	32.11	13.25	8.514	5.446
45	2.14	1.444	0.6153	0.4343	0.3127
46	2.968	2.085	0.9485	0.681	0.4964
47	3.314	2.241	0.9909	0.7075	0.5113
48	3.352	2.23	0.9441	0.6718	0.4877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.8 ตารางที่ 8 ค่า Impedance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 1

No.	Z _{0.012} (kOhm)	Z _{0.05} (kOhm)	Z _{0.1} (kOhm)	Z _{0.5} (kOhm)	Z ₁ (kOhm)
1	82.715	70.527	65.568	48.554	40.304
2	114.82	93.428	81.741	51.586	40.727
3	199.14	157.34	138.94	88.113	66.787
4	194.4	142.12	119.69	80.826	63.147
5	39.568	28.115	23.891	14.561	10.878
6	30.881	18.527	14.824	9.0571	6.5771
7	23.068	14.688	11.772	7.1637	5.4032
8	39.53	25.552	19.622	12.15	9.4318
9	98.051	80.16	74.671	54.756	-3.4951
10	89.076	75.393	69.006	48.895	40.452
11	126.19	89.979	76.73	51.232	40.279
12	113.79	96.809	88.443	61.914	50.792
13	23.738	11.982	9.7736	11.838	4.6157
14	46.755	28.971	22.17	13.158	10.121
15	25.014	14.598	11.473	6.6884	5.0297
16	24.37	14.619	13.899	7.1206	4.9127
17	277.24	409.29	545.12	300.34	173.07
18	42.612	44.824	47.039	52.75	57.935
19	335.77	404.69	488.64	519.74	351.34
20	566.18	275.06	189.45	74.593	57.189
21	19.467	12.64	10.151	6.1036	5.1639
22	31.677	19.282	15.358	9.3202	7.0494
23	48.291	27.114	20.209	12.219	9.3533
24	46.889	29.591	22.411	12.687	9.526
25	104.66	88.487	81.006	50.542	42.278
26	191.99	164.01	150.84	98.178	78.961
27	183.3	150.16	132.87	79.981	61.608
28	116.52	97.754	87.949	63.724	51.479
29	62.045	39.571	31.829	18.128	13.699
30	26.199	15.92	12.992	8.2526	6.4977

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ค่า Impedance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	$Z_{0.012}$ (kOhm)	$Z_{0.05}$ (kOhm)	$Z_{0.1}$ (kOhm)	$Z_{0.5}$ (kOhm)	Z_1 (kOhm)
31	81.973	43.759	33.633	18.639	14.015
32	66.295	36.154	27.14	15.062	11.224
33	882.59	573.32	452.2	230.25	160.32
34	162.3	111.53	92.942	59.195	45.679
35	206.39	152.58	126.47	72.228	53.363
36	3415	695.48	337.21	122.86	79.82
37	34.306	22.703	17.39	10.942	8.4922
38	65.699	44.268	35.748	20.319	14.722
39	25.025	15.347	12.322	7.4223	5.6529
40	27.194	15.312	11.968	7.1615	5.484
41	390.55	177.96	133.13	85.988	66.959
42	2725.4	1851.8	822.57	307.81	193.18
43	368.4	218.48	164.56	92.022	65.225
44	520.68	336.78	264.51	169.06	123.13
45	29.095	17.536	13.895	8.1128	6.0293
46	34.545	19.653	15.937	9.8413	7.5883
47	46.601	29.939	22.226	13.299	9.8588
48	49.807	31.499	24.792	13.767	10.247

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ค่า Impedance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	Z ₅ (kOhm)	Z ₁₀ (kOhm)	Z ₅₀ (kOhm)	Z ₁₀₀ (kOhm)	Z ₂₀₀ (kOhm)
1	23.123	17.937	9.554	7.194	5.2092
2	22.624	16.917	8.6945	6.4571	4.6497
3	35.355	26.395	13.014	9.213	6.2349
4	34.435	25.403	12.371	9.0798	6.5497
5	4.6197	3.0282	1.1728	0.79453	0.54438
6	3.433	2.4887	1.1224	0.78932	0.55628
7	2.672	1.904	0.84841	1.12	0.70675
8	4.8521	3.4705	1.5423	1.0761	0.75194
9	24.882	18.396	9.3456	7.0048	5.0928
10	23.035	16.659	8.4469	6.2965	4.6154
11	21.374	15.521	7.6983	5.6221	4.0362
12	28.658	21.757	10.889	7.9813	5.6761
13	2.4302	1.7925	0.84424	0.60625	0.43428
14	5.1235	3.6537	1.6751	1.1968	0.85942
15	2.4887	1.7849	0.83149	0.59641	0.42736
16	2.4773	1.7958	0.86206	0.61619	0.43827
17	51.748	37.278	16.819	11.272	7.3028
18	57.806	42.068	20.71	14.478	9.8325
19	121.65	60.752	25.146	16.392	10.496
20	30.416	21.608	10.361	7.4167	5.2155
21	4.6735	3.373	1.3765	0.92988	0.63814
22	3.5214	2.5337	1.1714	0.82625	0.58357
23	4.8885	3.5574	1.6496	1.1703	0.83334
24	4.6827	3.3307	1.4733	1.0272	0.71933
25	25.694	20.904	10.877	7.9991	5.6825
26	45.531	35.652	17.67	12.366	8.2236
27	32.724	24.907	12.311	8.9641	6.3252
28	27.849	20.766	10.407	7.7414	5.6359
29	6.4499	4.4611	1.8585	1.2795	0.8839
30	3.4659	2.5311	1.1543	0.8057	0.562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ค่า Impedance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	Z ₅ (kOhm)	Z ₁₀ (kOhm)	Z ₅₀ (kOhm)	Z ₁₀₀ (kOhm)	Z ₂₀₀ (kOhm)
31	6.6057	4.6065	2.0134	1.4117	0.9898
32	5.2832	3.6407	1.5352	1.0676	0.7478
33	68.78	47.238	19.883	13.415	8.7596
34	23.502	17.083	8.4966	6.2698	4.5342
35	25.754	18.712	8.8864	6.3804	4.4328
36	38.056	25.67	11.802	8.0764	5.529
37	4.2898	2.9964	1.2562	0.87166	0.6123
38	6.587	4.4837	1.8494	1.2809	0.89093
39	2.8072	1.9908	0.88996	0.62725	0.44067
40	2.8654	2.1011	1.0004	0.71678	0.51117
41	35.666	26.146	12.257	8.3345	5.6811
42	80.772	52.552	20.991	13.999	9.1248
43	30.843	21.295	10.292	7.3343	5.1117
44	59.746	41.774	18.884	12.65	8.3247
45	2.9228	2.0329	0.87897	0.61405	0.43144
46	3.8511	2.7759	1.2806	0.91316	0.65155
47	4.5983	3.1718	1.3839	0.97245	0.68491
48	4.7444	3.2512	1.3608	0.94482	0.66192

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.9 ตารางที่ 9 ผลการทดลองแบบไม่ทำลาย จากการทดลองครั้งที่ 1

No.	Photo sensor(kΩ)	Density(kg/cm ³)	chroma	GMD(cm)
1	8.1610	-	42.42037	305.122
2	8.1836	-	46.96942	347.2408
3	8.2268	-	43.59284	361.4462
4	8.2494	-	46.72145	312.4552
5	7.9637	981.4949495	56.69358	167.6941
6	7.9257	944.5252525	57.8993	174.0853
7	7.8996	910.9906542	59.19362	207.736
8	7.9599	919.44	57.68511	157.9418
9	8.0422	-	43.18026	296.4341
10	7.4748	-	40.98435	285.1463
11	8.1177	-	38.3294	302.6837
12	8.0433	-	47.25646	300.1943
13	7.9990	1126.9	61.57627	171.855
14	7.7971	822.2178218	63.51355	191.4305
15	7.8979	1014.291262	57.70837	160.5627
16	7.9797	1038.130435	59.64099	156.8074
17	8.1186	-	37.57682	295.1525
18	6.7528	-	35.20211	330.7996
19	6.5884	-	42.19089	325.6007
20	6.6518	-	40.57638	310.497
21	7.1856	1093.953488	59.08135	189.5565
22	6.4231	1023.38252	53.21726	165.6647
23	6.0626	1021.066667	53.97452	180.219
24	7.4577	1025.069767	54.9359	157.7176
25	8.1514	-	44.19249	417.1735
26	8.1654	-	43.76658	351.4826
27	8.3162	-	46.63824	312.0771
28	9.7120	-	45.84986	306.8469
29	9.6614	1017.978947	60.13455	174.321
30	9.6615	1020.380952	59.00759	173.2771

(-) คือ ค่าของข้าวโพดหวานมีเปลือก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 ผลการทดลองแบบไม่ทำลาย จากการทดลองครั้งที่ 1 (ต่อ)

No.	Photo sensor(kΩ)	Density(kg/cm ³)	chroma	GMD(cm)
31	9.6530	1057.733333	59.58064	171.609
32	9.6567	1061.869565	61.08816	193.1621
33	9.6424	-	34.43619	304.7349
34	9.6334	-	44.39605	326.4159
35	9.6362	-	44.82865	293.5749
36	9.6320	-	36.00555	320.311
37	9.5612	1533.25	52.88212	161.5129
38	9.5604	1393.333333	52.14213	184.595
39	9.5547	1338.723404	58.88705	179.9913
40	9.5569	1423.238095	57.86505	148.2847
41	9.6411	-	38.56583	317.3803
42	9.6498	-	36.43559	310.8838
43	9.6512	-	33.99284	319.7109
44	9.6467	-	38.12666	326.3467
45	9.6784	1052.627291	56.71429	176.6418
46	9.6782	994.8979592	41.24256	168.2009
47	9.6743	972.7083333	59.8227	169.8482
48	9.6791	981.08	60.35	188.2717

(-) คือ ค่าของข้าวโพดหวานมีเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.10 ตารางที่ 10 ผลการทดลองแบบทำลาย จากการทดลองครั้งที่ 1

No.	Texture(N)	TTS(°brix)	No.	Texture(N)	TTS(°brix)
1	14.3406667	15.66667	31	15.7616667	17
2	14.9286667	16.33333	32	15.5166667	17
3	16.1373333	16	33	13.6873333	15.66667
4	15.1246667	16	34	15.2226667	15.66667
5	14.3406667	15.66667	35	15.68	16
6	14.9286667	16.33333	36	15.4023333	15.66667
7	16.1373333	16	37	13.6873333	15.66667
8	15.1246667	16	38	15.2226667	15.66667
9	14.798	16.66667	39	15.68	16
10	13.6056667	17	40	15.4023333	15.66667
11	15.2716667	16	41	15.4023333	16
12	16.0883333	15.93333	42	15.3925333	16
13	14.798	16.66667	43	14.994	16
14	13.6056667	17	44	17.2806667	15.33333
15	15.2716667	16	45	15.4023333	16
16	16.0883333	15.93333	46	15.3925333	16
17	15.3696667	15	47	14.994	16
18	15.8106667	16	48	17.2806667	15.33333
19	15.631	16			
20	16.2516667	15			
21	15.3696667	15			
22	15.8106667	16			
23	15.631	16			
24	16.2516667	15			
25	14.8633333	16			
26	15.68	15.66667			
27	15.7616667	17			
28	15.5166667	17			
29	14.8633333	16			
30	15.68	15.66667			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.11 ตารางที่ 11 ค่า Capacitance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2

No.	C _{0.012} (nF)	C _{0.05} (nF)	C _{0.1} (nF)	C _{0.5} (nF)	C ₁ (nF)
1	537.4	189.09	62.067	14.055	8.0617
2	485.22	115.83	45.969	11.298	6.8509
3	517.91	117.29	71.316	15.706	9.0656
4	891.15	217.19	87.988	14.701	7.7796
5	589.36	187.236	81.326	70.521	38.269
6	449.08	183	318.88	28.673	19.33
7	773.95	144.03	81.589	23.207	15.021
8	698.08	266.85	183.58	49.608	30.501
9	388.62	59.698	35.335	8.742	5.2483
10	595.3	84.451	47.688	11.858	8.4254
11	981.1	236.84	88.058	14.339	7.2826
12	176.06	78.045	20.478	5.5824	3.4295
13	886.02	427.24	250.64	63.552	37.486
14	520.05	202.99	55.213	22.069	16.764
15	326.11	145.91	101.81	32.165	19.863
16	376.74	159.28	172.6	39.759	24.848
17	750.41	207.76	56.276	12.636	7.4252
18	762.67	178.68	70.201	14.481	8.5456
19	185.54	71.554	45.517	12.484	6.7132
20	204.99	61.76	32.831	7.5984	4.338
21	563.32	392.62	276.361	50.888	32.269
22	359.2	91.347	74.008	23.486	14.68
23	519.03	181.83	322.24	57.334	34.974
24	529.36	449.65	232.11	61.613	35.958
25	351.99	90.552	40.445	9.1424	5.2502
26	395.68	105.81	51.477	13.044	7.9234
27	344.4	81.737	42.743	11.124	6.9428
28	335.22	79.796	52.286	12.027	7.3153
29	354.3	91.186	73.623	24.513	17.787
30	752.32	384.213	107.698	60.854	36.355

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ค่า Capacitance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	$C_{0.012}$ (nF)	$C_{0.05}$ (nF)	$C_{0.1}$ (nF)	$C_{0.5}$ (nF)	C_1 (nF)
31	477.58	136.31	60.36	38.383	24.729
32	709.37	372.53	233.94	67.608	40.905
33	31.82	10.268	7.7195	3.9915	2.9006
34	67.958	29.261	17.388	5.9857	4.3498
35	171.68	37.059	21.184	5.7634	3.7961
36	379.35	84.663	47.592	12.742	7.5892
37	272.4	120.95	78.379	23.231	16.115
38	670.98	422.7	222.42	57.556	35.066
39	834.83	444.2	219.48	53.952	34.07
40	832.02	478.92	301.35	81.024	47.868
41	229	40.458	19.481	6.3673	4.2667
42	152.75	53.286	23.139	5.5592	3.5676
43	572.26	134.64	59.992	13.782	8.2893
44	237.58	71.372	34.578	9.3655	5.7758
45	616.2	421.43	213.92	60.446	37.326
46	612.06	427.5	254.83	45.78	30.425
47	738.59	421.64	284.96	87.637	54.238
48	736.07	406.6	249.57	69.178	39.912

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ค่า Capacitance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	C ₅ (nF)	C ₁₀ (nF)	C ₅₀ (nF)	C ₁₀₀ (nF)	C ₂₀₀ (nF)
1	2.4089	1.4815	0.49506	0.32118	0.21543
2	2.3689	1.56	0.56402	0.36699	0.25011
3	3.072	1.9472	0.71844	0.48166	0.33106
4	2.1897	1.3362	0.48779	0.32443	0.22191
5	11.239	7.2688	2.9635	2.2058	1.5296
6	6.8558	4.8185	2.3138	1.704	1.2671
7	5.8533	4.3242	5.3092	4.9521	1.2934
8	11.605	8.2296	3.8745	2.832	2.1025
9	1.7448	1.0851	0.39001	0.25986	0.18172
10	2.7497	1.7238	0.619	0.40688	0.27659
11	1.7842	1.009	0.31833	0.21066	0.15162
12	1.1647	0.75284	0.30169	0.20738	0.14968
13	13.014	9.0295	4.1562	3.0115	2.2354
14	7.9264	6.044	3.1964	2.3962	1.8057
15	7.3313	5.0997	2.3544	1.7252	1.2916
16	9.0681	6.3394	2.8914	2.0868	1.5366
17	2.1409	1.2617	0.42121	0.27409	0.18726
18	2.9589	1.8852	0.67902	0.43513	0.288
19	0.65441	-0.3847	-0.59123	-0.72206	-0.95284
20	1.0252	0.4458	-0.43022	-0.62174	-0.74723
21	11.3268	8.2533	3.2653	2.3321	1.2254
22	5.3332	3.6901	1.6403	1.1844	0.88133
23	12.365	8.4083	3.64	2.6062	1.8915
24	11.595	7.6407	3.2554	2.3414	1.7244
25	1.9435	1.4766	1.0565	0.98907	0.94882
26	2.6655	1.7645	0.64339	0.43098	0.29848
27	2.4686	1.5848	0.56879	0.37637	0.25967
28	2.6563	1.8238	0.70101	0.45661	0.29969
29	7.4641	5.4307	2.6596	1.9563	1.4561
30	8.329	7.8663	3.2699	2.1125	1.2245

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ค่า Capacitance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	C ₅ (nF)	C ₁₀ (nF)	C ₅₀ (nF)	C ₁₀₀ (nF)	C ₂₀₀ (nF)
31	9.6976	6.9422	3.2933	2.4054	1.7748
32	12.789	8.2441	3.3909	2.3915	1.7024
33	1.1536	1.2051	0.44562	0.29279	0.20073
34	1.8724	1.2797	0.48189	0.3238	0.22705
35	1.5253	1.0682	0.45021	0.31004	0.21938
36	2.5414	1.6648	0.58222	0.37897	0.26122
37	6.902	5.2352	2.8363	2.1435	1.6084
38	13.159	9.3085	4.3214	3.1671	2.386
39	13.993	10.474	5.5021	4.0914	3.053
40	15.495	10.405	5.1554	4.5483	6.6443
41	1.7254	1.187	0.47041	0.30592	0.20679
42	1.4639	1.029	0.42956	0.29156	0.20319
43	2.7942	1.821	0.63372	0.41654	0.28858
44	1.9674	1.2606	0.4596	0.30532	0.21295
45	13.616	9.494	4.6518	3.4382	2.5528
46	12.369	9.1311	4.7041	3.4979	2.6034
47	17.944	11.884	4.9281	3.4256	2.4077
48	12.455	8.0834	3.2996	2.2855	1.5943

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก12. ตารางที่ 12 ค่า Phase angle ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2

No.	$\theta_{0.012}(\text{Deg})$	$\theta_{0.05}(\text{Deg})$	$\theta_{0.1}(\text{Deg})$	$\theta_{0.5}(\text{Deg})$	$\theta_{1}(\text{Deg})$
1	-14.37	-16.08	-19.87	-27.19	-28.79
2	-12.61	-13.56	-22.83	-31.56	-33.62
3	-15.16	-17.63	-19.55	-27.98	-31.12
4	-9.36	-15.81	-14.01	-23.29	-26.92
5	-34.26	-28.12	-27.17	-27.95	-28.63
6	-30.35	-23.49	-23.67	-32.64	-36.56
7	-24.5	-28.43	-26.95	-33.11	-35.04
8	-27.43	-27.02	-26.09	-33.74	-37.66
9	-11.71	-17.87	-22.4	-29.97	-31.93
10	-10.8	-13.03	-23.03	-31.73	-31.42
11	-9.17	-13.76	-15.14	-19.87	-22.9
12	-13.16	-25.88	-24.67	-32.1	-34.02
13	-25.6	-22.22	-23.78	-31.02	-34.91
14	-28.96	-21.87	-37.31	-46.19	-46.44
15	-33.63	-26.29	-28.57	-34.23	-37.41
16	-31.59	-30.94	-26.61	-33.05	-36.3
17	-9.07	-14.79	-18.92	-26.37	-27.53
18	-10.21	-17.3	-18.47	-28.97	-31.79
19	-25.2	-28.04	-23.89	-30.03	-31.54
20	-18.5	-19.93	-23.32	-32.13	-35.2
21	-34.35	-26.84	-28.33	-30.39	-34.56
22	-29.88	-23.92	-26.87	-32.98	-35.95
23	-33.65	-27.39	-27.8	-31.82	-35
24	-30.53	-23.56	-23.52	-28.36	-31.73
25	-13.79	-15.68	-23.39	-35.26	-41.48
26	-13.31	-20.01	-22.05	-29.72	-31.9
27	-12.64	-14.04	-23.45	-32.21	-33.94
28	-16.36	-19.46	-21.13	-30.83	-34.02
29	-36.4	-30.85	-32.34	-40.01	-41.08
30	-37.34	-29.33	-24.37	-31.59	-32.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ค่า Phase angle ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	$\theta_{0.012}(\text{Deg})$	$\theta_{0.05}(\text{Deg})$	$\theta_{0.1}(\text{Deg})$	$\theta_{0.5}(\text{Deg})$	$\theta_{1}(\text{Deg})$
31	-31.74	-31.43	-25.73	-33.83	-38.06
32	-33.44	-25.86	-25.67	-28.88	-30.77
33	-31.72	-36.29	-47.72	-42.71	-40.19
34	-27.13	-32.51	-30.83	-38.68	-38.95
35	-13.5	-16.92	-25.73	-36.17	-38.56
36	-14.13	-18.89	-24.15	-29.98	-32.14
37	-31.72	-26.59	-30.16	-39.89	-42.62
38	-31.58	-25.54	-25.32	-33.32	-37.88
39	-23.62	-24.35	-24.64	-36.04	-40.97
40	-29.97	-24.41	-23.9	-28.4	-31.02
41	-12.69	-21.78	-30.61	-38.2	-39.26
42	-15.02	-19.75	-23.25	-35.37	-38.73
43	-10.41	-12.64	-20.54	-29.53	-31.89
44	-14.43	-19.56	-23.51	-29.94	-31.98
45	-31.76	-25.96	-26.9	-33.42	-36.94
46	-29.82	-24.83	-25.23	-35.7	-39.97
47	-34.62	-28.25	-27.52	-30.2	-32.34
48	-34.57	-25.58	-24.87	-28.01	-30.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ค่า Phase angle ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	$\theta_{.5}(\text{Deg})$	$\theta_{.10}(\text{Deg})$	$\theta_{.50}(\text{Deg})$	$\theta_{.100}(\text{Deg})$	$\theta_{.200}(\text{Deg})$
1	-32.44	-34.49	-41.07	-44	-46.64
2	-36.71	-37.61	-42.19	-45.52	-49.07
3	-35.28	-37.24	-41.63	-43.57	-45.3
4	-33.85	-36.54	-42.54	-45.08	-47.61
5	-29.35	-28.63	-18.16	-6.28	12.58
6	-45.21	-47.25	-47.58	-46.75	-45.13
7	-37.04	-34.59	-11.38	9.05	32.31
8	-44.8	-46.16	-46.02	-45.23	-43.58
9	-35.12	-37.04	-43.86	-47.45	-50.59
10	-35.29	-37.08	-41.87	-44.65	-47.4
11	-29.93	-33.73	-43.95	-48.38	-52.1
12	-38.91	-41.14	-47.14	-50.54	-53.44
13	-43.08	-44.98	-45.46	-44.95	-43.21
14	-51.45	-51.75	-48.7	-47	-44.67
15	-44.32	-46.05	-47.27	-46.82	-45.05
16	-43	-44.46	-44.72	-44	-42.22
17	-31.82	-34.72	-42.1	-45.68	-49.19
18	-35.31	-36.81	-40.59	-43.72	-47.62
19	-37.26	-41.35	-43.41	-45.65	-47.12
20	-38.69	-38.52	-39.68	-41.35	-43.79
21	-41.12	-42.96	-45.29	-45.15	-46.32
22	-42.42	-43.97	-45.22	-45.04	-43.46
23	-41.4	-43.37	-46.42	-47.38	-47.94
24	-39.07	-41.57	-44.32	-44.08	-42.57
25	-58.97	-66.51	-79.18	-82.52	-84.67
26	-35.89	-37.15	-41.96	-44.47	-46.69
27	-36.26	-37.4	-42.37	-45.33	-48.03
28	-37.75	-38	-39.65	-41.44	-44.22
29	-47.11	-47.96	-47.09	-46.08	-44.33
30	-43.45	-47.21	-46.87	-45.36	-44.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ค่า Phase angle ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	$\theta_{.5}$ (Deg)	$\theta_{.10}$ (Deg)	$\theta_{.50}$ (Deg)	$\theta_{.100}$ (Deg)	$\theta_{.200}$ (Deg)
31	-45.05	-46.24	-46.06	-45.11	-43.49
32	-36.83	-39.34	-41.66	-41.24	-40.11
33	-38.07	-37.34	-42.95	-46.8	-50.96
34	-37.29	-37.47	-42.14	-45.54	-49
35	-41.28	-41.81	-44.21	-46.52	-48.95
36	-35.56	-36.56	-41.91	-45.59	-49
37	-51.4	-52.39	-49.14	-46.96	-44.55
38	-46.4	-48.7	-53.92	-57.12	-60.9
39	-49.36	-50.54	-47.5	-45.6	-43.24
40	-37.08	-38.22	-32.06	-24.14	-11.06
41	-40.65	-40.39	-42.1	-45.05	-48.51
42	-41	-41.11	-43.03	-45.32	-47.85
43	-34.73	-36.5	-42.64	-46.34	-49.78
44	-35.55	-37.11	-43.2	-46.88	-50.34
45	-44.52	-46.8	-46.76	-45.26	-43.04
46	-47.6	-48.91	-46.78	-44.93	-42.55
47	-38.48	-40.62	-42.76	-43.03	-42.77
48	-36.96	-38.95	-40.07	-39.64	-38.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.13 ตารางที่ 13 ค่า D-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2

No.	D _{0.012}	D _{0.05}	D _{0.1}	D _{0.5}	D ₁
1	3.75	3.671	2.764	1.95	1.823
2	4.355	3.151	2.397	1.636	1.508
3	3.678	3.291	2.807	1.884	1.659
4	5.8	4.693	3.997	2.326	1.963
5	1.479	1.911	1.958	1.888	1.831
6	1.699	2.046	2.3	1.407	1.347
7	2.25	2.457	1.978	1.528	1.419
8	1.924	2.115	2.044	1.49	1.289
9	4.755	2.29	2.444	1.743	1.609
10	5.121	2.387	2.355	1.619	1.651
11	6.046	5.327	3.702	2.772	2.369
12	3.824	2.05	2.158	1.595	1.483
13	2.182	2.474	2.269	1.66	1.429
14	1.837	2.093	1.308	0.9523	0.9364
15	1.549	1.94	1.773	1.461	1.303
16	1.656	1.851	1.986	1.524	1.351
17	5.959	3.55	2.936	2.017	1.92
18	5.444	3.018	2.992	1.803	1.614
19	2.067	1.886	2.235	1.726	1.626
20	2.897	3.741	2.317	1.59	1.415
21	2.153	1.986	1.852	1.653	1.345
22	1.761	2.584	1.972	1.535	1.373
23	1.538	1.923	1.847	1.606	1.423
24	1.763	2.24	2.299	1.845	1.612
25	3.814	2.6	2.321	1.418	1.134
26	3.942	3.191	2.474	1.755	1.609
27	4.449	2.784	2.293	1.587	1.486
28	3.321	4.306	2.597	1.668	1.473
29	1.388	1.78	1.563	1.164	1.122
30	1.899	1.965	1.783	1.542	1.264

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ค่า D-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	D _{0.012}	D _{0.05}	D _{0.1}	D _{0.5}	D ₁
31	1.677	1.689	2.112	1.462	1.264
32	1.533	2.083	2.088	1.808	1.675
33	1.625	1.043	0.9121	1.062	1.192
34	1.86	1.745	1.656	1.238	1.234
35	3.735	2.281	2.111	1.378	1.26
36	3.808	2.35	2.246	1.747	1.601
37	1.598	1.724	1.729	1.193	1.078
38	1.542	2.015	2.145	1.514	1.281
39	2.242	2.205	2.214	1.374	1.145
40	1.78	2.26	2.263	1.848	1.657
41	4.4	2.373	1.703	1.274	1.225
42	3.295	3.262	2.347	1.424	1.256
43	4.987	3.776	2.696	1.771	1.61
44	3.667	3.363	2.294	1.736	1.601
45	1.635	1.99	1.961	1.509	1.326
46	1.752	2.136	2.12	1.373	1.183
47	1.492	1.848	1.914	1.7	1.571
48	1.464	2.135	2.162	1.883	1.687

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ค่า D-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	D ₅	D ₁₀	D ₅₀	D ₁₀₀	D ₂₀₀
1	1.574	1.457	1.151	1.041	0.9493
2	1.342	1.299	1.106	0.9856	0.8706
3	1.415	1.317	1.126	1.052	0.9903
4	1.492	1.347	1.091	1.002	0.9156
5	1.774	1.83	3.059	3.859	4.458
6	0.9925	0.9238	0.9136	0.9404	0.9953
7	1.322	1.449	4.986	0.96259	1.581
8	1.004	0.958	0.9639	0.991	1.051
9	1.423	1.326	1.042	0.9198	0.824
10	1.415	1.325	1.119	1.016	0.9223
11	1.738	1.499	1.04	0.8912	0.7709
12	1.24	1.147	0.9315	0.8269	0.7437
13	1.068	0.9999	0.9835	1.002	1.065
14	0.7919	0.7866	0.8786	0.9328	1.012
15	1.022	0.9633	0.9239	0.9388	0.9989
16	1.068	1.013	1.009	1.035	1.102
17	1.612	1.443	1.108	0.9788	0.866
18	1.414	1.337	1.167	1.046	0.9142
19	1.313	1.137	1.059	0.9813	0.8451
20	1.251	1.259	1.206	1.135	1.041
21	1.187	1.002	0.945	0.9125	0.9023
22	1.093	1.036	0.9918	0.9983	1.055
23	1.13	1.055	0.9484	0.9186	0.9009
24	1.229	1.124	1.022	1.032	1.088
25	0.6037	0.4366	0.1925	0.1324	0.094
26	1.383	1.321	1.111	1.018	0.9423
27	1.363	1.308	1.098	0.9903	0.9024
28	1.289	1.278	1.206	1.133	1.029
29	0.925	0.8973	0.9286	0.9624	1.023
30	0.869	0.7853	0.8948	0.8856	1.089

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 ค่า D-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	D ₅	D ₁₀	D ₅₀	D ₁₀₀	D ₂₀₀
31	0.9927	0.954	0.963	0.9952	1.054
32	1.33	1.216	1.123	1.14	1.187
33	1.275	1.311	1.075	0.9418	0.8135
34	1.312	1.302	1.097	0.9726	0.8629
35	1.14	1.118	1.027	0.9467	0.8693
36	1.404	1.351	1.116	0.9813	0.8713
37	0.7963	0.7694	0.8646	0.9339	1.016
38	0.9458	0.8754	0.7274	0.6462	0.5565
39	0.8538	0.8214	0.9158	0.979	1.063
40	1.32	1.267	1.597	2.234	5.131
41	1.165	1.175	1.108	1.001	0.887
42	1.152	1.147	1.07	0.988	0.904
43	1.415	1.352	1.087	0.9559	0.8472
44	1.399	1.321	1.065	0.9382	0.8305
45	1.014	0.9371	0.9402	0.991	1.071
46	0.9066	0.8673	0.939	1.002	1.09
47	1.253	1.166	1.081	1.072	1.081
48	1.328	1.236	1.188	1.207	1.244

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก14. ตารางที่ 14 ค่า Inductance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2

No.	$L_{0.012}(H)$	$L_{0.05}(H)$	$L_{0.1}(H)$	$L_{0.5}(H)$	$L_1(H)$
1	-323.32	-71.773	-41.17	-7.254	-3.1552
2	-358.55	-105.98	-55.467	-8.9947	-3.7045
3	-337.56	-61.945	-35.41	-6.4496	-2.7939
4	-195.19	-72.174	-28.73	-6.8956	-3.2572
5	-207.64	-22.701	-8.4376	-1.0519	-0.41845
6	-389.16	-60.49	-7.7204	-3.1221	-1.308
7	-225.15	-81.517	-30.899	-4.3428	-1.6803
8	-246.27	-33.503	-13.673	-2.0331	-0.82518
9	-449.52	-172.11	-71.997	-11.611	-4.8321
10	-293.26	-114.58	-53.171	-8.553	-3.0103
11	-178.87	-43.076	-28.798	-7.0786	-3.4834
12	-924.54	-160.44	-123.19	-18.146	-7.385
13	-190.14	-23.976	-10.009	-1.589	-0.67318
14	-330.83	-45.688	-45.194	-4.5587	-1.4997
15	-530.45	-65.454	-24.728	-3.1293	-1.2722
16	-462.79	-66.716	-14.62	-2.5267	-1.0134
17	-231.68	-69.153	-45.187	-8.0365	-3.4173
18	-225.43	-87.269	-36.023	-6.9901	-2.9649
19	-924.87	-144.43	-55.464	-8.087	-3.2784
20	-837.25	-159.3	-74.147	-11.729	-4.726
21	-388.23	-81.256	-34.269	-4.6575	-1.4238
22	-485.47	-87.982	-33.429	-4.2905	-1.7165
23	-328.71	-53.625	-30.913	-1.7572	-0.72133
24	-313.1	-21.852	-10.82	-1.6322	-0.70146
25	-485.62	-132.6	-62.625	-11.096	-4.8334
26	-421.86	-63.825	-49.025	-7.7504	-3.1925
27	-500.82	-112.77	-58.816	-9.0943	-3.6492
28	-497.47	-91.016	-47.196	-8.3129	-3.4264
29	-488.47	-97.725	-33.901	-4.0682	-1.409
30	-207.25	-58.831	-10.979	-1.0297	-0.649

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สร้างขึ้นเพื่อสำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 ค่า Inductance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	$L_{0.012}(H)$	$L_{0.05}(H)$	$L_{0.1}(H)$	$L_{0.5}(H)$	$L_1(H)$
31	-345.12	-68.907	-26.62	-2.5399	-1.008
32	-242.41	-27.387	-10.73	-1.4843	-0.61549
33	-5503.8	-863.67	-328.02	-25.11	-8.7909
34	-2205.3	-381.45	-136.49	-16.212	-5.6328
35	-815.57	-237.85	-119.22	-17.319	-6.5793
36	-414.29	-105.1	-53.712	-8.0291	-3.3682
37	-604.7	-70.237	-31.693	-4.3276	-1.5556
38	-244.76	-23.545	-11.167	-1.7127	-0.71339
39	-202.75	-22.63	-11.266	-1.8345	-0.73248
40	-185.17	-20.811	-8.3549	-1.2451	-0.52673
41	-756.61	-248.95	-130.86	-15.824	-5.9207
42	-875.99	-206.85	-110.2	-18.114	-7.0168
43	-256.14	-60.353	-42.166	-7.3393	-3.0505
44	-624.48	-188.05	-71.318	-10.664	-4.3359
45	-253.61	-23.551	-11.369	-1.6372	-0.66953
46	-271.95	-23.099	-9.8811	-2.0565	-0.80512
47	-212.85	-22.963	-8.5618	-1.1133	-0.4568
48	-233.92	-24.125	-10.065	-1.4575	-0.633

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 ค่า Inductance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	$L_5(H)$	$L_{10}(H)$	$L_{50}(H)$	$L_{100}(H)$	$L_{200}(H)$
1	-0.42252	-171.44	-20.526	-7.9405	-2.9484
2	-0.42832	-162.71	-17.993	-6.9129	-2.5349
3	-329.71	-130.03	-14.103	-5.2597	-1.9132
4	-0.46351	-0.18966	-20.795	-7.8188	-2.8588
5	-49.243	-18.549	-1.3274	-0.17483	0.12024
6	-147.68	-52.538	-4.3777	-1.4862	-0.49962
7	-172.82	-58.529	-1.9082	0.51079	0.48973
8	-87.202	-30.744	-2.6134	-0.89363	-0.30121
9	-0.58127	-0.23372	-26.009	-9.7593	-3.4887
10	-0.36904	-147.17	-16.392	-6.2338	-2.2919
11	-0.56873	-0.25138	-31.899	-12.043	-4.1431
12	-0.87091	-0.33707	-33.632	-12.235	-4.2351
13	-77.787	-28.038	-2.4373	-0.84098	-0.28325
14	-127.45	-41.857	-3.1675	-1.0567	-0.35061
15	-138.07	-49.663	-4.3051	-1.4691	-0.49066
16	-111.46	-81.347	-3.503	-1.2138	-0.41211
17	-0.47415	-0.20102	-24.082	-9.2551	-3.3855
18	-342.63	-134.42	-14.93	-5.8264	-2.2016
19	-153.96	-17.475	-7.2012	-3.2805	-1.2567
20	-0.49972	-175.77	-18.718	-7.6806	-3.5001
21	-158.65	-67.325	-5.789	-1.902	-0.75896
22	-189.52	-68.557	-6.1705	-2.1372	-0.71821
23	-81.707	-30.063	-2.7783	-0.97094	-0.33447
24	-87.195	-33.089	-3.11	-1.0811	-0.36705
25	-0.52202	-0.17179	-0.0095939	-0.0025615	-0.0006674
26	-0.37951	-0.14341	-0.015724	-0.0058724	-0.0021208
27	-0.41093	-0.1602	-0.017866	-0.006754	-0.0024539
28	-0.37955	-0.13845	-0.014443	-0.0055498	-0.0021164
29	-0.13545	-0.046519	-0.0038079	-0.0012937	-0.0004348
30	-0.20811	-0.061536	-0.0037145	-0.0035739	-0.0002538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14 ค่า Inductance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	$L_5(H)$	$L_{10}(H)$	$L_{50}(H)$	$L_{100}(H)$	$L_{200}(H)$
31	-0.10383	-0.036332	-0.0030736	-0.0010512	-0.0003566
32	-0.078871	-0.030621	-0.0029844	-0.0010588	-0.0003719
33	-0.88155	-0.20277	-0.02272	-0.0086841	-0.0031617
34	-0.52599	-0.19271	-0.020535	-0.0076735	-0.0027521
35	-0.6531	-0.23384	-0.022231	-0.0080862	-0.0028644
36	-0.40025	-0.15254	-0.01745	-0.0066952	-0.0024292
37	-0.14629	-0.048279	-0.0035678	-0.0011813	-0.0003935
38	-0.076468	-0.027075	-0.0023415	-0.00079921	-0.0002653
39	-0.071656	-0.024102	-0.0018389	-0.00061839	-0.0002072
40	-65.268	-0.024309	-0.0019637	-0.00055678	-0.0001
41	-0.58565	-0.2139	-0.02167	-0.0083297	-0.0030716
42	-0.68004	-0.24232	-0.023347	-0.0086145	-0.0030921
43	-0.34937	-0.13924	-0.016018	-0.0060959	-0.0021986
44	-0.51124	-0.20006	-0.022018	-0.0082998	-0.0029748
45	-0.073942	-0.026492	-0.002177	-0.00073632	-0.0002481
46	-0.080479	-0.02743	-0.0021455	-0.00072258	-0.0002428
47	-0.055848	-0.021288	-0.0020557	-0.0007403	-0.0002631
48	-0.081113	-0.031256	-0.0030689	-0.0011071	-0.0003970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.15 ตารางที่ 15 ค่า Q-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2

No.	Q _{0.012}	Q _{0.05}	Q _{0.1}	Q _{0.5}	Q ₁
1	-0.2749	-0.2604	-0.3607	-0.5125	-0.5482
2	-0.2333	-0.3819	-0.4173	-0.61	-0.6624
3	-0.2738	-0.3014	-0.3564	-0.5309	-0.6025
4	-0.1777	-0.2539	-0.2501	-0.4295	-0.5094
5	-0.6681	-0.536	-0.5101	-0.5276	-0.5469
6	-0.5948	-0.5385	-0.4379	-0.7077	-0.7412
7	-0.4454	-0.4193	-0.5051	-0.6543	-0.7066
8	-0.512	-0.457	-0.4885	-0.672	-0.7762
9	-0.2119	-0.3303	-0.4087	-0.5711	-0.6209
10	-0.1987	-0.282	-0.4225	-0.6173	-0.6026
11	-0.1682	-0.187	-0.2702	-0.3605	-0.4217
12	-0.2766	-0.2851	-0.4634	-0.6269	-0.6747
13	-0.4527	-0.4146	-0.4405	-0.603	-0.7005
14	-0.5422	-0.4322	-0.755	-1.049	-1.076
15	-0.635	-0.6409	-0.5687	-0.6862	-0.7685
16	-0.6011	-0.6251	-0.5047	-0.6589	-0.7419
17	-0.1707	-0.2833	-0.3415	-0.4957	-0.521
18	-0.1859	-0.2702	-0.333	-0.5552	-0.6195
19	-0.5271	-0.4363	-0.4485	-0.5804	-0.6151
20	-0.3538	-0.3316	-0.4342	-0.6288	-0.707
21	-0.6522	-0.4258	-0.5123	-0.6658	-0.7125
22	-0.5662	-0.4801	-0.5093	-0.6522	-0.7292
23	-0.6479	-0.5208	-0.5444	-0.6232	-0.7034
24	-0.5616	-0.4445	-0.4347	-0.5426	-0.6211
25	-0.2482	-0.379	-0.4312	-0.7063	-0.8832
26	-0.2412	-0.1998	-0.4037	-0.5705	-0.6219
27	-0.2241	-0.2318	-0.4364	-0.6303	-0.6727
28	-0.2941	-0.25	-0.385	-0.5976	-0.6761
29	-0.7164	-0.6026	-0.6428	-0.8624	-0.898
30	-0.758	-0.536	-0.452	-0.514	-0.685

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 ค่า Q-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	Q _{0.012}	Q _{0.05}	Q _{0.1}	Q _{0.5}	Q ₁
31	-0.6117	-0.5549	-0.4787	-0.6734	-0.7857
32	-0.6571	-0.497	-0.4801	-0.552	-0.5959
33	-0.6209	-1.004	-1.023	-0.9423	-0.8374
34	-0.5652	-0.4262	-0.607	-0.811	-0.8111
35	-0.2935	-0.3447	-0.4721	-0.7244	-0.7934
36	-0.2719	-0.2921	-0.4454	-0.571	-0.6221
37	-0.6201	-0.4814	-0.5799	-0.8368	-0.9216
38	-0.6209	-0.4898	-0.4708	-0.6585	-0.7789
39	-0.4375	-0.4569	-0.4562	-0.7282	-0.8697
40	-0.5899	-0.4453	-0.4427	-0.541	-0.6023
41	-0.2269	-0.411	-0.5889	-0.7867	-0.8168
42	-0.2751	-0.2909	-0.4275	-0.7075	-0.7993
43	-0.2126	-0.2426	-0.3707	-0.564	-0.6205
44	-0.2602	-0.2721	-0.4355	-0.5758	-0.6242
45	-0.6161	-0.4868	-0.508	-0.6607	-0.7526
46	-0.5703	-0.4677	-0.4713	-0.7216	-0.8403
47	-0.6641	-0.5378	-0.5222	-0.5895	-0.6374
48	-0.6806	-0.4852	-0.4615	-0.5303	-0.5925

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 ค่า Q-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
1	-0.6348	-0.6862	-0.8675	-0.9587	-1.051
2	-0.7447	-0.7699	-0.9036	-1.013	-1.147
3	-0.707	-0.7593	-0.8885	-0.9508	-1.01
4	-0.6702	-0.7424	-0.9166	-1.001	-1.091
5	-0.5637	-0.5467	-0.3264	-0.1084	0.2249
6	-1.006	-1.083	-1.095	-1.064	-1.005
7	-0.7566	-0.6906	-0.2004	-0.16	0.6327
8	-0.9973	-1.045	-1.038	-1.009	-0.9516
9	-0.7023	-0.7537	-0.9593	-1.086	-1.212
10	-0.7061	-0.7542	-0.8926	-0.9835	-1.083
11	-0.5753	-0.6673	-0.9609	-1.121	-1.318
12	-0.8068	-0.8719	-1.072	-1.208	-1.344
13	-0.9365	-1	-1.017	-0.9982	-0.9392
14	-1.268	-1.272	-1.138	-1.072	-0.9881
15	-0.9786	-1.038	-1.082	-1.065	-1.001
16	-0.9372	-0.9884	-0.9913	-0.9662	-0.9075
17	-0.6203	-0.6931	-0.902	-1.021	-1.154
18	-0.7069	-0.748	-0.8573	-0.9556	-1.093
19	-0.762	-0.8795	-0.9435	-1.016	-2.3417
20	-0.7991	-0.7936	-0.8294	-0.8812	-0.9609
21	-0.9326	-0.9758	-1.37211	-1.004	-0.9445
22	-0.9154	-0.9655	-1.008	-1.002	-0.9485
23	-0.8856	-0.9489	-1.056	-1.089	-1.111
24	-0.8143	-0.8903	-0.9786	-0.9698	-0.9196
25	-1.66	-2.298	-5.219	-7.593	-10.68
26	-0.7232	-0.7573	-0.8993	-0.9817	-1.061
27	-0.7336	-0.7647	-0.9107	-1.009	-1.107
28	-0.7747	-0.7815	-0.8288	-0.8826	-0.9726
29	-1.082	-1.117	-1.077	-1.039	-0.9773
30	-1.029	-1.233	-1.056	-1.045	-0.9624

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 ค่า Q-factor ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จาก
การทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀
31	-1.004	-1.045	-1.038	-1.004	-0.9485
32	-0.7497	-0.8205	-0.8899	-0.8766	-0.8423
33	-0.7847	-0.7648	-0.9308	-1.061	-1.227
34	-0.7624	-0.7688	-0.9142	-1.031	-1.162
35	-0.8777	-0.8945	-0.9744	-1.057	-1.151
36	-0.7114	-0.7394	-0.8958	-1.018	-1.147
37	-1.254	-1.299	-1.156	-1.071	-0.9842
38	-1.051	-1.14	-1.373	-1.547	-1.796
39	-1.167	-1.215	-1.091	-1.021	-0.9401
40	-0.7562	-0.788	-0.6263	-0.4479	-0.1952
41	-0.8585	-0.8508	-0.9031	-1.001	-1.129
42	-0.8684	-0.8722	-0.9335	-1.011	-1.105
43	-0.7068	-0.7397	-0.9202	-1.046	-1.18
44	-0.7144	-0.7567	-0.9388	-1.067	-1.205
45	-0.9841	-1.066	-1.063	-1.009	-0.9336
46	-1.098	-1.149	-1.064	-0.9976	-0.9177
47	-0.7983	-0.8586	-0.9251	-0.9331	-0.925
48	-0.7527	-0.8091	-0.8417	-0.829	-0.804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.16 ตารางที่ 16 ค่า Resistance primary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2

No.	$R_{1-0.012}(k\Omega)$	$R_{1-0.05}(k\Omega)$	$R_{1-0.1}(k\Omega)$	$R_{1-0.5}(k\Omega)$	$R_{1-1}(k\Omega)$
1	103.39	90.446	78.767	71.82	46.233
2	129.72	116.98	96.737	83.13	50.267
3	103.55	73.912	70.881	62.52	39.721
4	91.98	82.157	76.552	72.54	50.504
5	36.858	17.88	13.37	10.18	6.3413
6	69.842	47.09	15.479	10.48	17.237
7	48.052	65.758	49.246	37.71	22.722
8	48.396	30.485	22.406	17.27	10.838
9	173.67	153.46	127.95	83.795	67.469
10	118.67	98.544	92.306	59.837	42.796
11	83.807	75.481	71.597	69.074	60.787
12	350.72	266.36	206.87	126.67	100.08
13	43.917	22.171	17.628	11.415	9.0829
14	66.657	35.727	63.983	29.218	19.353
15	96.401	49.492	37.306	21.405	16.661
16	81.65	53.282	23.184	17.851	13.587
17	110.71	100.79	92.449	63.063	52.091
18	101.51	82.047	75.867	52.057	41.6
19	223.34	118.34	95.581	59.184	46.432
20	219.39	183.1	130.9	82.718	63.801
21	75.73	65.92	57.09	25.59	14.73
22	87.077	95.843	57.177	29.971	23.022
23	59.73	22.15	24.555	12.516	9.7568
24	64.809	19.088	19.167	12.492	9.9627
25	190.07	126.92	108.27	73.71	60.901
26	172.61	108.72	90.061	57.081	45.01
27	182.18	103.33	101.84	63.475	49.488
28	153.11	97.144	92.003	60.56	47.173
29	85.708	90.878	50.632	26.808	18.364
30	78.245	62.362	56.115	21.369	16.134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น มิอนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 ค่า Resistance primary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	$R_{1-0.012}(k\Omega)$	$R_{1-0.05}(k\Omega)$	$R_{1-0.1}(k\Omega)$	$R_{1-0.5}(k\Omega)$	$R_{1-1}(k\Omega)$
31	69.572	59.613	62.202	18.265	13.325
32	42.751	22.019	17.577	11.165	8.869
33	939.06	599.13	391.56	159.68	111.21
34	502.88	269.16	209.81	110.09	75.507
35	344.49	259.55	195.11	116.78	86.617
36	150.75	103.27	89.987	57.907	46.56
37	113.01	67.227	47.247	27.924	19.938
38	48.439	18.795	19.024	12.197	9.4333
39	46.443	19.223	19.805	12.606	9.5877
40	43.247	18.384	14.461	9.4539	7.5734
41	271.66	223.55	187.48	103.05	76.228
42	353.86	241.89	190.94	122.13	91.887
43	129.46	87.508	81.643	54.05	42.874
44	234.54	159.49	126.55	78.917	61.547
45	51.225	18.713	18.689	11.496	8.9013
46	52.884	19.787	16.207	15.061	10.711
47	41.131	18.312	13.839	8.3756	6.5048
48	39.006	20.544	16.773	11.119	9.0953

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 ค่า Resistance primary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	R ₁₋₅ (kOhm)	R ₁₋₁₀ (kOhm)	R ₁₋₅₀ (kOhm)	R ₁₋₁₀₀ (kOhm)	R ₁₋₂₀₀ (kOhm)
1	28.937	22.882	12.911	9.8601	7.3461
2	27.96	21.034	11.313	8.6475	6.4063
3	22.005	16.995	8.9227	6.618	4.8068
4	31.371	24.86	13.066	9.7824	7.1695
5	3.6573	2.793	1417.6	1016.7	0.71155
6	9.295	6.6343	2.7636	1.8722	1.2563
7	11.339	7.8885	3.1094	2.0669	1.3616
8	5.5097	3.8833	1.646	1.1249	0.75829
9	38.707	30.444	16.298	12.263	8.8944
10	24.497	19.141	10.309	7.8045	5.7594
11	41.111	34.067	19.939	15.163	11.346
12	55.888	42.57	21.065	15.587	11.081
13	4.9092	3.5338	1.5341	1.0573	0.71338
14	8.3611	5.4423	2.0108	1.3328	0.88195
15	8.6886	6.2436	2.7097	1.8477	1.2307
16	7.0649	5.0566	2.2032	1.5269	1.0407
17	33.065	26.851	15.158	11.58	8.5625
18	22.805	17.592	9.4765	7.3099	5.5351
19	19.994	10.424	7.788	5.7096	3.8542
20	32.454	22.723	11.438	8.5243	6.328
21	5.71	3.7958	1.9458	0.9236	0.8234
22	12.034	8.6553	3.8866	2.6903	1.8103
23	5.2156	3.8086	1.7584	1.2287	0.84755
24	5.6364	4.2096	1.9598	1.3616	0.92703
25	36.904	29.288	16.169	12.335	8.9826
26	25.242	18.793	9.9728	7.4009	5.3451
27	27.026	20.804	11.234	8.4498	6.1537
28	24.831	18.018	9.2447	7.0234	5.3077
29	8.5919	5.923	2.4042	1.6288	1.0939
30	8.154	5.632	2.8414	1.5269	1.0259

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 ค่า Resistance primary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	R ₁₋₅ (kOhm)	R ₁₋₁₀ (kOhm)	R ₁₋₅₀ (kOhm)	R ₁₋₁₀₀ (kOhm)	R ₁₋₂₀₀ (kOhm)
31	6.5861	4.6047	1.9356	1.3243	0.89839
32	5.191	3.9414	1.8921	1.3429	0.94862
33	56.755	28.335	14.345	10.882	8.0873
34	35.563	25.923	13.35	9.8808	7.1109
35	42.286	30.101	14.191	10.311	7.3434
36	26.49	19.982	10.997	8.3945	6.1466
37	9.4775	6.2961	2.2695	1.4888	0.98974
38	4.8749	3.4592	1.5505	1.1028	0.78533
39	4.6304	3.1028	1.1627	0.77894	0.5226
40	4.2846	3.1537	1.3752	0.93977	0.6383
41	37.377	27.157	13.589	10.388	7.7432
42	44.063	31.337	14.908	10.944	7.8869
43	24.186	18.282	10.078	7.644	5.587
44	34.254	26.266	13.886	10.447	7.6024
45	4.689	3.3609	1.3703	0.92593	0.6249
46	5.1932	3.5298	1.358	0.91087	0.6138
47	3.6457	2.7137	1.2962	0.93107	0.66295
48	5.3207	4.0276	1.9589	1.4176	1.0223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.17 ตารางที่ 17 ค่า Resistance secondary ที่ความถี่
0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2

No.	$R_{2-0.012}(k\Omega)$	$R_{2-0.05}(k\Omega)$	$R_{2-0.1}(k\Omega)$	$R_{2-0.5}(k\Omega)$	$R_{2-1}(k\Omega)$
1	94.76	74.99	70.92	44.14	35.94
2	120.6	95.3	82.64	46	35
3	94.18	69.62	62.83	38.2	29.1
4	88.43	79.34	72.32	50.26	40.27
5	23.3	13.48	10.45	6.264	4.838
6	50.4	38.6	11.47	15.6	11.09
7	38.31	50.92	38.44	20.99	15.07
8	36.83	24.22	17.72	9.573	6.734
9	164.1	147.4	110.1	63.32	48.75
10	113.9	89	78.61	43.44	31.06
11	82.45	74.31	66.89	61.5	51.76
12	301.1	211.6	168.7	90.88	68.79
13	32.22	18.4	14.4	8.321	6.072
14	46.41	31.05	37.63	13.77	8.937
15	61.93	34.09	27.6	14.48	10.45
16	58.32	36.67	18.36	12.24	8.684
17	107.9	90.25	83.24	50.81	41.13
18	95.12	71.15	67.91	39.67	30.06
19	149.4	92.09	78.78	44.04	33.58
20	189.8	118	108.7	58.89	42.2
21	74.36	52.95	35.96	18.24	6.287
22	64.65	58.67	42.04	20.84	14.92
23	39.03	16.86	18.77	8.926	6.485
24	43.54	15.81	15.76	9.543	7.141
25	144.2	99.65	91.2	49.43	34.46
26	136.6	91.75	76.65	42.8	32.32
27	169.9	93.73	85.07	45.36	34.08
28	132.9	92.6	79.2	44.22	32.12
29	48.18	45.76	32.29	14.88	9.984
30	46.13	42.85	35.16	16.36	9.857

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 ค่า Resistance secondary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	$R_{2-0.012}(k\Omega)$	$R_{2-0.05}(k\Omega)$	$R_{2-0.1}(k\Omega)$	$R_{2-0.5}(k\Omega)$	$R_{2-1}(k\Omega)$
31	44.33	41.07	43.92	11.97	8.094
32	28.2	17.38	14.13	8.478	6.501
33	672.2	294.2	187.1	85.67	65.44
34	348.8	205.9	149.5	65.28	44.82
35	277.3	215.3	157.7	75.66	52.57
36	125.1	97.36	75.19	43.63	33.62
37	75.25	42.86	32.56	16.29	10.62
38	31.3	15.29	15.27	8.38	5.821
39	34.84	15.54	15.39	7.922	5.31
40	28.32	14.67	11.94	7.258	5.514
41	254	187.9	138.2	63.16	45.48
42	250.1	208.3	159.9	79.83	54.86
43	112.1	86.52	71.15	40.84	30.88
44	197.3	136.9	104.9	58.79	44.01
45	30.82	14.67	14.1	7.808	5.603
46	35.79	15.59	13.19	9.028	6.054
47	25.55	13.86	10.57	6.138	4.598
48	25.53	16.42	13.64	8.608	6.707

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 ค่า Resistance secondary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	R ₂₋₅ (kOhm)	R ₂₋₁₀ (kOhm)	R ₂₋₅₀ (kOhm)	R ₂₋₁₀₀ (kOhm)	R ₂₋₂₀₀ (kOhm)
1	20.79	15.65	7.395	5.154	3.502
2	18.03	13.25	6.237	4.269	2.767
3	14.66	10.76	4.987	3.475	2.38
4	21.7	16.06	7.116	4.896	3.281
5	2.758	2.139	1.275	1.003	0.6768
6	4.608	3.052	1.257	0.8784	0.6251
7	7.195	5.334	2.986	2.014	0.9723
8	2.757	1.855	0.7922	0.5571	0.3978
9	25.96	19.45	8.501	5.631	3.605
10	16.37	12.23	5.748	3.971	2.651
11	31	23.64	10.39	6.727	4.071
12	33.88	24.23	9.815	6.336	3.95
13	2.613	1.764	0.7535	0.5295	0.3791
14	3.188	2.073	0.875	0.6195	0.446
15	4.44	3.007	1.249	0.8661	0.6153
16	3.754	2.554	1.111	0.7897	0.5707
17	23.96	18.2	8.371	5.679	3.677
18	15.21	11.29	5.47	3.827	2.525
19	12.64	5.88	4.122	2.806	0.3215
20	19.64	13.85	6.734	4.778	3.28
21	4.253	2.325	0.724	0.459	0.335
22	6.526	4.47	1.925	1.342	0.9524
23	2.913	1.999	0.8304	0.5614	0.3792
24	3.378	2.344	1	0.7014	0.5021
25	9.884	4.695	0.5752	0.211	0.0782
26	16.52	11.91	5.498	3.76	2.513
27	17.6	13.17	6.153	4.194	2.772
28	15.46	11.16	5.477	3.949	2.731
29	3.944	2.632	1.112	0.7827	0.5592
30	3.863	2.748	1.087	0.658	0.5541

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 ค่า Resistance secondary ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	R ₂₋₅ (kOhm)	R ₂₋₁₀ (kOhm)	R ₂₋₅₀ (kOhm)	R ₂₋₁₀₀ (kOhm)	R ₂₋₂₀₀ (kOhm)
31	3.253	2.187	0.9306	0.6581	0.4726
32	3.308	2.346	1.054	0.7588	0.5549
33	35.38	16.7	7.667	5.122	3.22
34	22.16	16.09	7.221	4.772	3.022
35	23.69	16.6	7.24	4.851	3.149
36	17.58	12.92	6.106	4.12	2.653
37	3.669	2.337	0.97	0.6933	0.5026
38	2.294	1.499	0.5361	0.3248	0.1857
39	1.937	1.248	0.5295	0.3806	0.2771
40	2.715	1.94	0.986	0.7815	0.6143
41	21.42	15.8	7.532	5.222	3.414
42	24.56	17.45	7.862	5.356	3.519
43	15.86	11.82	5.459	3.653	2.336
44	22.59	16.65	7.374	4.888	3.102
45	2.364	1.565	0.6434	0.4586	0.334
46	2.316	1.506	0.6338	0.4552	0.3326
47	2.218	1.56	0.6984	0.4981	0.3573
48	3.389	2.431	1.146	0.84	0.621

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.18 ตารางที่ 18 ค่า Impedance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz จากการทดลองครั้งที่ 2

No.	Z _{0.012} (kOhm)	Z _{0.05} (kOhm)	Z _{0.1} (kOhm)	Z _{0.5} (kOhm)	Z ₁ (kOhm)
1	97.572	89.126	76.084	50.086	41.31
2	123.21	112.34	90.08	54.127	42.145
3	96.561	82.588	66.419	43.203	33.959
4	90.201	84.257	74.658	54.855	45.263
5	61.689	14.965	11.536	7.0132	5.4692
6	57.595	41.043	11.777	18.025	13.775
7	40.828	57.411	42.568	24.869	18.327
8	39.964	24.871	19.307	11.424	8.4556
9	166.89	135.79	119.17	73.182	57.483
10	116.46	99.012	85.56	51.154	36.387
11	84.196	75.25	69.515	65.636	56.34
12	294.94	276.2	184.99	107.34	83.026
13	32.577	19.569	15.515	9.6612	7.3763
14	50.895	32.052	45.293	19.699	12.923
15	71.448	40.522	28.558	17.449	13.137
16	65.648	43.243	20.428	14.444	10.715
17	110.01	101.21	88.183	56.953	46.54
18	95.415	88.763	71.42	45.317	35.368
19	160.12	108.97	85.443	50.645	39.316
20	196.35	143.44	116.84	68.955	51.268
21	75.54	61.321	39.562	18.366	12.113
22	73.415	65.689	45.716	24.644	18.321
23	44.201	18.519	20.938	10.41	7.8742
24	45.499	17.178	16.908	10.738	8.3453
25	149.87	129.35	99.527	60.499	45.949
26	132.12	95.987	81.915	49.01	37.926
27	173.85	120.36	92.996	53.608	41.072
28	134.4	95.527	82.532	51.174	38.608
29	60.881	55.152	38.693	19.505	13.277
30	58.632	47.125	35.339	13.268	11.025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18 ค่า Impedance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	$Z_{0.012}$ (kOhm)	$Z_{0.05}$ (kOhm)	$Z_{0.1}$ (kOhm)	$Z_{0.5}$ (kOhm)	Z_1 (kOhm)
31	48.485	43.129	45.423	14.126	10.19
32	32.916	19.356	15.496	9.6147	7.5377
33	796.01	466.83	278.41	116.42	85.594
34	374.55	259.38	170.36	82.378	56.794
35	272.86	209.81	173.36	92.597	66.6
36	129.81	103.59	82.354	50.374	39.686
37	84.662	51.476	39.163	21.119	14.395
38	35.77	16.949	16.513	9.8906	7.3352
39	38.464	17.101	17.13	9.8498	7.0533
40	29.134	15.71	12.893	8.1887	6.3896
41	260.13	204.47	160.61	80.504	58.801
42	262.05	220.16	174.64	98.559	70.66
43	108.82	85.936	75.632	46.803	36.294
44	195.55	137.56	112.99	67.363	51.617
45	37.035	16.442	15.944	9.4038	7.0251
46	41.52	17.259	14.595	11.259	7.938
47	28.888	15.203	11.734	7.0027	5.4136
48	31.159	18.248	15.093	9.7667	7.807

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18 ค่า Impedance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	Z ₅ (kOhm)	Z ₁₀ (kOhm)	Z ₅₀ (kOhm)	Z ₁₀₀ (kOhm)	Z ₂₀₀ (kOhm)
1	24.811	19.08	9.8466	7.2118	5.1146
2	22.555	16.774	8.4328	6.0981	4.2205
3	17.921	13.5	6.6716	4.7969	3.3844
4	26.195	20.039	9.6803	6.9455	4.8751
5	3.1469	2.4274	1.3363	1.007	0.69286
6	6.5363	4.4931	1.8626	1.2815	0.8859
7	8.9967	6.47	3.0418	2.039	1.1507
8	3.8799	2.6746	1.14	0.79041	0.54905
9	31.786	24.433	11.808	8.3345	5.682
10	20.1	15.364	7.7302	5.5891	3.9175
11	35.867	28.512	14.464	10.139	6.5694
12	43.614	32.269	14.442	9.9682	6.6315
13	3.5738	2.4917	1.0739	0.74809	0.52005
14	5.1074	3.345	1.3235	0.9075	0.62672
15	6.2075	4.3351	1.8424	1.2667	0.87185
16	5.125	3.5761	1.5638	1.0979	0.77075
17	28.287	22.199	11.305	8.1414	5.6276
18	18.639	14.104	7.2146	5.3051	3.7503
19	15.868	7.8379	5.6746	4.0117	3.6512
20	24.952	17.599	8.6936	6.3377	4.53
21	7.948	4.214	1.968	0.928	0.635
22	8.8128	6.1991	2.7302	1.8976	1.3117
23	3.8716	2.7447	1.2028	0.8282	0.56554
24	4.3401	3.1286	1.3976	0.97602	0.68158
25	19.167	11.782	3.07	1.6237	0.84253
26	20.315	14.914	7.3811	5.2634	3.6622
27	21.821	16.566	8.3243	5.9623	4.1408
28	19.513	14.148	7.1137	5.2693	3.8122
29	5.7955	3.9312	1.6324	1.1283	0.78174
30	4.0358	3.6253	1.1123	0.9863	0.7542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18 ค่า Impedance ที่ความถี่ 0.012,0.05,0.1,0.5,1,5,10,50,100 และ 200 KHz
จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	Z ₅ (kOhm)	Z ₁₀ (kOhm)	Z ₅₀ (kOhm)	Z ₁₀₀ (kOhm)	Z ₂₀₀ (kOhm)
31	4.5937	3.1567	1.3402	0.93213	0.65144
32	4.1261	3.0302	1.4099	1.0094	0.72563
33	44.881	21.093	10.473	7.478	5.1129
34	27.458	20.053	9.6768	6.7865	4.598
35	31.254	22.118	10.049	7.0209	4.7822
36	21.606	16.089	8.2016	5.8871	4.0432
37	5.8699	3.8262	1.4818	1.0155	0.70521
38	3.3218	2.2696	0.91043	0.59829	0.38168
39	2.9756	1.9641	0.78393	0.54416	0.38043
40	3.3937	2.4643	1.1612	0.85539	0.6251
41	28.257	20.73	10.143	7.3873	5.1542
42	32.722	23.231	10.78	7.6299	5.2527
43	19.277	14.708	7.4246	5.292	3.617
44	27.677	20.856	10.108	7.1441	4.8552
45	3.3169	2.2888	0.93899	0.65167	0.45698
46	3.4391	2.292	0.92594	0.64323	0.45159
47	2.8266	2.0539	0.95135	0.68179	0.48693
48	4.2429	3.1264	1.4979	1.0909	0.79667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.19 ตารางที่ 19 ผลการทดลองแบบไม่ทำลาย จากการทดลองครั้งที่ 2

No.	Photo sensor(kΩ)	Density(kg/cm ³)	chroma	GMD(cm)
1	9.6868	-	32.38	387.26
2	9.6826	-	32.1	394.62
3	9.6907	-	28.05	388.13
4	9.6912	-	33.24	379.49
5	7.5343	1144.40	54.97	190.22
6	7.8121	1057.60	49.14	186.9
7	7.6117	1024.48	51.36	224.2
8	7.8695	1004.32	51.46	202.48
9	7.7577	-	35.69	402.318
10	7.9986	-	34.41	417.57
11	7.9226	-	31.88	476.8
12	7.8788	-	33.27	426.63
13	7.8459	1051.06	53.88	184.56
14	7.9452	1017.89	54.88	180.17
15	9.5975	993.57	54.61	195.04
16	9.5932	955.62	56.81	195.07
17	9.6545	-	31.96	402.8
18	9.6465	-	35.35	372.81
19	9.646	-	29.69	414.2
20	9.644	-	23.18	375.12
21	9.57	1101.93	51.45	216.23
22	9.5674	986.96	52.12	183.08
23	9.5647	976.86	54.02	213.66
24	9.5626	1020.24	55.22	211.48
25	9.88	-	24.76	352.21
26	10.021	-	26.8	359.47
27	9.9861	-	25.74	393.25
28	10.019	-	33.89	370.76
29	9.6101	1142.98	56.6	196.0712
30	9.6043	1008.04	56.13	158.66

(-) คือ ค่าของข้าวโพดหวานมีเปลือก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 19 ผลการทดลองแบบไม่ทำลาย จากการทดลองครั้งที่ 2 (ต่อ)

No.	Photo sensor(kΩ)	Density(kg/cm ³)	chroma	GMD(cm)
31	9.6049	1044.04	55.12	191.26
32	9.6061	1014.04	58.18	179.78
33	9.634	-	35.48	312.84
34	9.636	-	32.96	373.78
35	9.6337	-	30.69	326.86
36	9.6347	-	29.42	351.7
37	9.4349	1017.57	57.24	175.77
38	9.4364	1072.95	53.34	192.75
39	9.4299	1020.31	56.23	194.16
40	9.4316	1003.64	56.78	157.17
41	9.4942	-	28.77	338.86
42	9.4782	-	31.59	353.53
43	9.477	-	26.84	423.85
44	9.4563	-	29.95	443.1
45	9.5728	1069.89	52.23	188.54
46	9.5668	1041.62	52.09	176.68
47	9.5544	1087.62	54.36	179.35
48	9.5542	1000.71	53.38	175.41

(-) คือ ค่าของข้าวโพดหวานมีเปลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.20 ตารางที่ 20 ผลการทดลองแบบทำลาย จากการทดลองครั้งที่ 2

No.	Texture(N)	MC(%)	No.	Texture(N)	MC(%)
1	17.73	-	31	17.31	76.08
2	17.8	-	32	16.99	72.8
3	17.89	-	33	17.4	-
4	18.3	-	34	16.01	-
5	17.73	75.16	35	17.48	-
6	17.8	74.64	36	18.69	-
7	17.89	74.25	37	17.4	73.59
8	18.3	73.72	38	16.01	76.95
9	17.56	-	39	17.48	73.5
10	19.28	-	40	18.69	73.25
11	18.3	-	41	16.34	-
12	15.66	-	42	17.73	-
13	17.56	73.67	43	15.68	-
14	19.28	73.42	44	16.25	-
15	18.3	74.58	45	16.34	73.17
16	15.66	75.17	46	17.73	74.08
17	18.3	-	47	15.68	74.18
18	17.48	-	48	16.25	75.99
19	16.99	-			
20	17.32	-			
21	18.3	76.72			
22	17.48	73.44			
23	16.99	76.14			
24	17.32	76.58			
25	16.58	-			
26	17.80	-			
27	17.31	-			
28	16.99	-			
29	16.58	75.13			
30	17.80	73.58			

(-) คือ ค่าของข้าวโพดหวานมีเปลือก
 เกษตรกรผู้ปลูกและผู้ประกอบการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.21 ตารางที่ 21 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture กับ capacitance ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	10	97.5879	159.43922	50.41911	-16.4680	211.6439	1.45	493.51
2	10	95.8069	162.73669	51.46186	-20.6079	212.2217	1.78	509.87
Total	20	96.6974	156.80238	35.06208	23.3116	170.0832	1.45	509.87

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15.860	1	15.860	.001	.981
Within Groups	467136.862	18	25952.048		
Total	467152.722	19			

ก.22 ตารางที่ 22 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า texture กับ resistance primary ของข้าวโพดหวานไม่มีเปลือก

Descriptives

R1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	10	17.5499	21.73642	6.87366	2.0006	33.0992	1.12	70.82
2	10	17.8870	21.22912	6.71324	2.7006	33.0734	.90	67.23
Total	20	17.7184	20.91197	4.67606	7.9313	27.5055	.90	70.82

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.568	1	.568	.001	.972
Within Groups	8308.330	18	461.574		
Total	8308.898	19			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.23 ตารางที่ 23 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content กับ capacitance

Descriptives

Capacitance								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	10	1.4529E2	233.83865	73.94627	-21.9910	312.5652	1.70	709.37
2	10	1.4411E2	229.86230	72.68884	-20.3272	308.5400	2.39	670.98
Total	20	1.4470E2	225.67579	50.46264	39.0772	250.3163	1.70	709.37

ANOVA

Capacitance					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.970	1	6.970	.000	.991
Within Groups	967654.721	18	53758.596		
Total	967661.691	19			

ก.24 ตารางที่ 24 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content กับ resistance primary

Descriptives

R1								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	10	11.5697	13.05942	4.12975	2.2276	20.9118	.95	42.75
2	10	11.9661	14.55773	4.60356	1.5521	22.3801	.79	48.44
Total	20	11.7679	13.46158	3.01010	5.4677	18.0681	.79	48.44

ANOVA

R1					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.786	1	.786	.004	.950
Within Groups	3442.283	18	191.238		
Total	3443.068	19			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.25 ตารางที่ 25 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content กับ resistance secondary

Descriptives

R2

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	10	8.2711	9.10089	2.87795	1.7607	14.7815	.55	28.20
2	10	8.0901	10.02331	3.16965	.9198	15.2603	.19	31.30
Total	20	8.1806	9.31835	2.08365	3.8194	12.5417	.19	31.30

ANOVA

R2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.164	1	.164	.002	.967
Within Groups	1649.638	18	91.647		
Total	1649.801	19			

ก.26 ตารางที่ 26 ค่าทางสถิติเพื่อประกอบคำอธิบายของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า moisture content กับ impedance

Descriptives

Impedance

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1	10	9.5222	10.38443	3.28384	2.0936	16.9507	.73	32.92
2	10	9.3940	11.18592	3.53730	1.3920	17.3959	.38	35.77
Total	20	9.4581	10.50497	2.34898	4.5416	14.3745	.38	35.77

ANOVA

Impedance

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.082	1	.082	.001	.979
Within Groups	2096.650	18	116.481		
Total	2096.732	19			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข รูปที่เกี่ยวข้องในการทำการทดลอง



ภาพที่ ข.1 ไร่ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี2 ที่ไร่คุณฉัตรชัย ผ่องฤกษ์



ภาพที่ ข.2 ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี2 ฝักสดที่เก็บเกี่ยวเมื่อครบกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.3 การเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรีย์2 เมื่อถึงกำหนด



ภาพที่ ข.4 ถ่ายภาพร่วมกับทุกคนที่ไร่ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรีย์2 ของคุณวิจารณ์ พวงทับทิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.5 ข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี2 เมื่อปอกเปลือกแล้ว



ภาพที่ ข.6 ศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ จังหวัดนครราชสีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

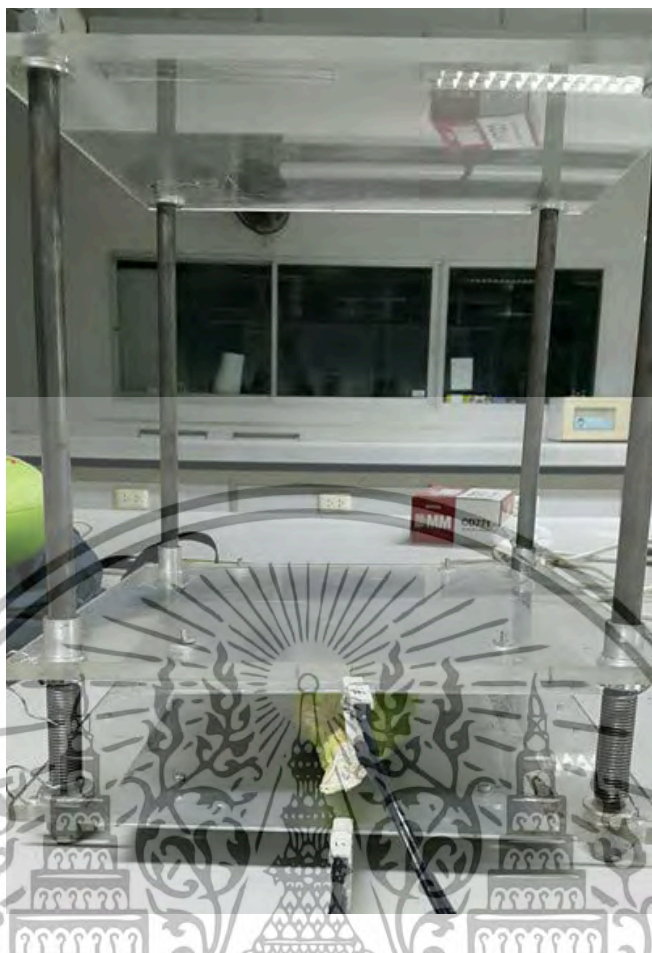


ภาพที่ ข.7 เครื่อง photo sensor เพื่อวัดค่าการดูดกลืนแสง



ภาพที่ ข.8 เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า LCR800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.9 การวัดค่าทางไฟฟ้าของข้าวโพดหวานโดยแผงเหล็กยึดด้วยสปริงต่อเข้ากับเครื่อง LCR800



ภาพที่ ข.10 การวัดความหนาแน่นของข้าวโพดหวานโดยวิธียูเรก้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.11 การอบสมร้อนข้าวโพดหวานเพื่อหา moisture content



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



January 22-24 2019

Japan

Hokkaido

ACENS
Asian Conference on
Engineering and Natural Sciences

ISFAS
International Symposium on
Fundamental and Applied Sciences




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACENS-0314**Electrical Measuring Technique for Freshness Classification of Sweet Corns****Sontisuk Teerachaichayut, Napinda Panyaboon, Ponnada Onnom**

Department of Food Process Engineering, Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Ladkrabang, Thailand

E-mail: sontisuk.te@kmitl.ac.th

Abstract

A major quality factor of sweet corn cobs is their freshness and canning factories demand only freshly harvested cobs since their quality can rapidly reduce when there are delays. Therefore, a nondestructive method of determining freshness of sweet corn cobs on delivery to the factory would be a great asset. Experiments were carried out to test whether certain electrical properties of sweet corn cobs could be related to their freshness and so these were tested on cobs either with husks (CWH) or without husks (CWOH). The capacitance (C), inductance (L), impedance (Z), resistance (R), dissipation factor (D), quality factor (Q) and phase angle (θ) at various frequencies (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 and 200 kHz) of an individual sweet corn cobs were measured every 6 hours after harvest. One day after harvest was used to classify groups by using values of 0 for fresh cobs <24 hr after harvest and 1 for non-fresh cobs that were ≥ 24 hr after harvest. Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) was used to establish models for classification and a cross validation was used to evaluate the performance of the models for both CWH and CWOH. The model from D variables gave the best correlation for CWH (N=47) with the accuracy of 74.5%, while the model from L variables gave the best correlation for CWOH (N=46) with the accuracy of 73.9%. The results showed that the electrical properties D and L have potential to be used for nondestructive classification of CWH and CWOH respectively, into fresh and non-fresh.

Keywords: storage time, freshness, quality, discrimination, prediction**20. Background**

Sweet corn quality is important for the processing industry. The loss of taste and aroma after the harvest, due to enzyme activity, is a problem that results in decreases in quality. These qualities include the color, sweetness and tenderness of the kernels that depends on the content of sugars, starch and water-soluble hydrocarbons (Szymanek et al., 2006). Panchal et al. (2017) stored sweet corn cobs in Indian ambient conditions and showed rapid loss of quality with reductions in total soluble sugar of 62.78 %, loss in moisture of 4.82 %, decrease in ascorbic acid of 42.28 after 72 hrs. Therefore the quality of sweet corn cobs is related to its freshness. In canned sweet corn production, factories require only sweet corn cobs that have been freshly harvested for

processing due to rapid changes that can occur after harvest especially in tropical temperature. A nondestructive method of classification of sweet corn cobs on the basis of freshness into fresh and non-fresh sweet corn cobs before processing would facilitate quality maintenance. Electrical measuring technique is a nondestructive method that has been used for determining the quality of agricultural products (Huong and Teerachaichayut, 2017, Mizukami et al., 2006.). Electrical techniques have been used to determine the freshness of sea bream (Pérez-Esteve et al., 2014), the maturity of durian (Kuson and Terdwongworakul, 2013) and the degree of ripening of fruits such as kiwifruit (Bauchot et al., 2000) and mango (Neto et al., 2017). Therefore it was hypothesized that changes in electrical properties of sweet corn cobs could be related to their freshness.

21. Methods

Cobs of the sweet corn (*Zea mays* var. *saccharata*) cultivar ‘Inset 2’ were harvested from a farm in Nakhon Ratchasima province, Thailand. The samples were selected to be of similar size, good appearance and without defects and were carefully transported to the laboratory directly after harvest and the electrical properties of CWH and CWOH were measured. Each individual cob was measured for capacitance (C), inductance (L), impedance (Z), resistance (R), dissipation factor (D), quality factor (Q) and phase angle (θ) using an LCR meter (LCR 821, GW INSTEK, Taiwan) at various frequencies (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 and 200 kHz) with touch-type parallel-plate electrodes every 6, 12, 18, 24, 30 and 36 hr after harvest with 1 volt input voltage. One day after harvest was used to classify groups by using values of 0 for fresh sweet corn cobs (<24 hr after harvest) and 1 for non-fresh sweet corn cobs (\geq 24 hr after harvest). For the statistical difference between mean values of each electrical parameter at various frequencies of fresh and non-fresh sweet corn cobs, a t-test at 95% confidence level was performed. For discriminant analysis, the electrical parameter at various frequencies was considered as independent variables, with the classification model developed by each electrical parameter. Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) was used to establish models for classification and the cross validation was used to evaluate the performance of the models for both CWH and CWOH. The accuracy of classification was evaluated using a cut off value of 0.5 for discrimination. Statistical analysis was carried out with R Statistical Software and Unscramble software (CAMO, Oslo, Norway).

22. Results

The relationship between averaged electrical parameters and frequencies including mean, minimum, maximum and standard variation of fresh CWH are shown in Table 1 and for non-fresh CWH in Table 2.

By considering the average value of the electrical parameters, the results showed the average C

and D values of fresh CWH were higher than those of non-fresh CWH at low frequency (<1 kHz) while the average Z and R values of non-fresh CWH were higher than those of fresh CWH at low frequency (<5 kHz). The average Q and θ values of fresh CWH was higher than those of non-fresh CWH at whole frequency (0012-200 kHz). The average L of fresh CWH was higher than those of non-fresh CWH at low frequency (<1 kHz) but it was lower than those of non-fresh CWH at the frequency range of 1-50 kHz. The t-test at 95% confidence level was investigated showed that the average D, θ and Q at frequency range 1-200 kHz of fresh CWH were significantly different ($p < 0.05$) to those of non-fresh CWH while the average C, L, R and Z at frequency range 1-200 kHz of fresh CWH were not significantly different ($p > 0.05$) to those of non-fresh CWH.

Table 1 Characteristics of electrical parameters of fresh sweet corn cobs with husks (CWH).

EP	N	Frequencies (kHz)										Mean	Min	Max	SD
		0.012	0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100	200				
C (nF)	23	472.5	120.9	52.68	11.16	6.38	1.94	1.19	0.39	0.23	0.12	66.70	-0.95	981.10	160.8
L (H)	22	-422.5	-106.5	-52.3	-12.4	-4.65	-128.4	-42.8	-11.2	-4.29	-1.58	-78.7	-1022.6	-0.002	175.7
Z (k Ω)	22	148.1	114.7	94.53	60.67	46.48	27.83	20.65	10.32	7.44	5.23	53.60	3.50	566.18	62.56
R (k Ω)	47	220.8	134.1	104.6	71.48	56.11	34.15	26.21	14.32	10.81	7.84	68.00	3.85	1450.1	111.2
D	24	3.91	3.37	2.90	2.03	1.75	1.43	1.32	1.12	1.02	0.93	2.00	0.69	6.05	1.13
Q	20	-0.33	-0.30	-0.36	-0.51	-0.58	-0.70	-0.75	-0.88	-0.96	-1.06	-0.60	-1.76	-0.17	0.29
θ (°)	20	-15.5	-17.4	-19.9	-27.4	-30.0	-35.1	-37.0	-41.4	-44.0	-46.7	-31.40	-53.44	-9.07	11.39

EP= electrical parameters, N= number of samples, Min = minimum, Max= maximum, SD= standard deviation, C = capacitance,

L = inductance, Z = impedance, R = resistance, D = dissipation factor, Q = quality factor, θ = phase angle.

Table 2 Characteristics of electrical parameters of non-fresh sweet corn cobs without husks (CWH).

EP	N	Frequencies (kHz)										Mean	Min	Max	SD
		0.012	0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100	200				
C (nF)	24	223.9	62.95	32.64	8.19	5.03	1.78	1.21	0.48	0.33	0.24	33.67	0.11	572.26	84.52
L (H)	24	-1100.5	-197.8	-83.9	-15.7	-6.29	-0.66	-0.24	-0.02	-0.01	-0.00	-140.5	-5503.8	-0.00	489.6
Z (k Ω)	23	384.5	263.1	178.0	93.84	68.34	33.51	23.62	11.03	7.75	5.29	106.9	0.84	2725.4	245.6
R (k Ω)	46	447.4	256.3	179.6	113.4	83.32	42.91	30.76	15.53	11.48	8.29	118.9	5.31	3748.3	249.3
D	23	2.85	2.72	2.29	1.64	1.50	1.31	1.27	1.09	0.99	0.90	1.65	-2.31	4.99	0.97
Q	20	-0.35	-0.32	-0.42	-0.61	-0.67	-0.76	-0.79	-0.92	-1.01	-1.12	-0.70	-1.38	-0.20	0.28
θ (°)	22	-26.94	-21.8	-24.0	-31.6	-33.9	-37.5	-38.4	-42.5	-45.2	-48.1	-35.00	-143.30	-10.41	13.75

EP= electrical parameters, N= number of samples, Min = minimum, Max= maximum, SD= standard deviation, C = capacitance,

L = inductance, Z = impedance, R = resistance, D = dissipation factor, Q = quality factor, θ = phase angle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The relationship between averaged electrical parameters and frequencies including mean, minimum, maximum and standard variation of fresh CWOH are shown in Table 3 and for non-fresh CWOH in Table 4. By considering the average value of the electrical parameters, the average C, Z R and D of fresh CWOH were quite similar to those of non-fresh CWOH at whole frequency (0012-200 kHz). The average L of fresh CWOH was quite similar to those of non-fresh sweet corn at low frequency (<1 kHz) but lower than non-fresh CWOH at frequency range 1-50 kHz. The average Q of fresh CWOH were quite similar to non-fresh CWOH at low frequency (<1 kHz) but higher than of non-fresh CWOH at frequency range 1-50 kHz. The average θ of fresh CWOH were quite similar to those of non-fresh CWOH at low frequency (<1 kHz) but higher than those of non-fresh CWOH s at high frequency.(>1 kHz). As the same procedure in CWH, t-test at 95% confidence level was investigated in CWOH. The average D, θ and Q at frequency range 1-200 kHz of fresh CWOH were significantly different ($p < 0.05$) to those of non-fresh CWOH while the average C, L, R and Z at frequency range 1-200 kHz of fresh CWOH were not significantly different ($p > 0.05$) to those of non-fresh CWOH.

Table 3 Characteristics of electrical parameters of fresh sweet corn cobs with husks (CWOH).

EP	N	Frequencies (kHz)										Mean	Min	Max	SD
		0.012	0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100	200				
C (nF)	20	693.1	313.6	188.6	55.77	34.27	11.69	7.94	3.67	2.61	1.79	131.3	0.88	1358.3	230.8
L (H)	22	-292.2	-42.7	-16.2	-2.37	-0.88	-59.2	-23.6	-1.74	-0.53	-0.20	-44.0	-530.5	0.51	95.0
Z (k Ω)	22	43.95	26.94	19.35	12.01	8.80	4.51	3.14	1.39	0.98	0.68	12.18	0.43	75.54	15.6
R (k Ω)	46	55.92	34.47	27.00	16.17	11.99	6.29	4.55	1.99	1.39	0.94	16.07	0.55	96.40	20.0
D	22	1.73	2.04	1.96	1.58	1.41	1.13	1.05	1.01	1.02	1.08	1.40	0.79	2.58	0.41
Q	19	-0.58	-0.51	-0.51	-0.65	-0.72	-0.90	-0.97	-0.99	-0.97	-0.91	-0.77	-1.27	-0.41	0.21
θ (°)	23	-31.4	-26.7	-26.7	-31.6	-34.7	-40.5	-42.33	-41.92	-40.33	-37.05	-35.32	-51.77	32.31	9.95

EP= electrical parameters, N= number of samples, Min = minimum, Max= maximum, SD= standard deviation, C = capacitance,

L = inductance, Z = impedance, R = resistance, D = dissipation factor, Q = quality factor, θ = phase angle.

Table 4 Characteristics of electrical parameters of non-fresh sweet corn cobs without husks (CWOH).

EP	N	Frequencies (kHz)										Mean	Min	Max	SD
		0.012	0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100	200				
C (nF)	24	638.9	321.9	191.1	55.05	33.81	11.80	8.24	3.66	2.76	2.15	126.9	1.20	1143.4	216.1
L (H)	24	-301.4	-39.8	-15.5	-2.10	-0.85	-2.82	-0.03	-0.00	-0.00	-0.00	-36.25	-604.7	-0.00	98.6
Z (k Ω)	23	44.69	27.03	21.41	12.17	9.07	4.25	3.00	1.27	0.90	0.64	12.44	0.38	84.66	15.9
R (k Ω)	48	61.69	34.46	27.19	15.38	11.70	6.08	4.32	1.87	1.27	0.86	16.48	0.52	126.1	21.8
D	22	1.71	2.00	1.98	1.55	1.37	1.07	1.00	1.00	1.03	1.10	1.38	0.77	2.24	0.41
Q	22	-0.61	-0.50	-0.50	-0.65	-0.73	-0.95	-1.02	-1.01	-0.97	-0.92	-0.79	-1.30	-0.44	0.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

θ (°)	23	-31.6	-26.7	-26.6	-32.7	-35.7	-42.9	-44.7	-44.54	-43.30	-41.12	-36.99	-52.39	-11.06	7.88
--------------	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	------

EP= electrical parameters, N= number of samples, Min = minimum, Max= maximum, SD= standard deviation, C = capacitance,

L = inductance, Z = impedance, R = resistance, D = dissipation factor, Q = quality factor, θ = phase angle.

The electrical parameters were carried out to develop and validated a classification model for predicting their freshness. Samples that had a predicted value of 0.5 or less were classified as fresh, while samples with a predicted value more than 0.5 were classified as non-fresh. The results of the accuracy of prediction for fresh and non-fresh CWH by each electrical parameter were shown in Table 5 with the classification model for D giving the highest accuracy (74.5%).

Table 5 Accuracy of classification for fresh and non-fresh CWH using electrical parameters.

EP	N	True / fresh	True / non-fresh	True / all	Accuracy (%)
C (nF)	47	16/23	18/24	34/47	72.3
L (H)	46	9/22	24/24	33/46	71.7
Z (k Ω)	45	19/22	10/23	29/45	64.4
R (k Ω)	93	37/47	22/46	59/93	57.0
D	47	19/24	16/23	35/47	74.5
Q	40	13/20	11/20	24/40	60.0
θ (°)	42	13/20	13/22	26/42	61.9
C,L,Z,R,D,Q, θ	37	12/18	15/19	27/37	73.0

EP= electrical parameters, N= number of samples, C = capacitance, L = inductance, Z = impedance, R = resistance, D = dissipation factor,

Q = quality factor, θ = phase angle.

The scatter plot of actual values versus predicted values of fresh (value=0) and non-fresh (value=1) CWH by using the classification model from D was shown in Fig. 1. The cut off value of 0.5 was used for discrimination, which gave an accuracy of prediction of 79.2% (19 correct samples from 24 samples) and 69.6% (16 samples correct samples from 23 samples) for non-fresh CWH an overall accuracy was 74.5% (35 correct samples from 47 samples).

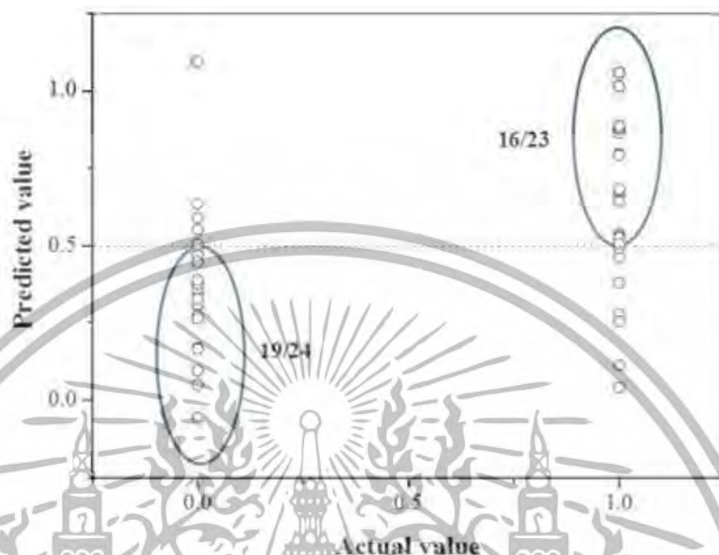


Fig. 1. Classification results of sweet corn cobs with husks (CWH) using dissipation factor: fresh corn (value=0) and non-fresh corn (value=1).

The results of the accuracy of prediction for fresh and non-fresh CWOH by each electrical parameter were shown in Table 6. The classification model which was developed by L obtained the highest level of accuracy (73,4%).

Table 6 Accuracy of classification for fresh and non-fresh sweet corn cobs without husks (CWOH) using electrical parameters.

EP	N	True / fresh	True / non-fresh	True / all	Accuracy (%)
C (nF)	44	5/20	19/24	24/44	54.6
L (H)	46	11/22	23/24	34/46	73.9
Z (k Ω)	45	9/22	14/23	23/45	51.1
R (k Ω)	94	26/46	30/48	56/94	59.6
D	44	12/22	11/22	23/44	52.3
Q	41	10/19	15/22	25/41	61.0
θ (°)	46	6/23	15/23	21/46	45.7
C,L,Z,R,D,Q, θ	37	5/16	18/21	23/37	62.2

EP= electrical parameters, N= number of samples, C = capacitance, L = inductance, Z = impedance, R = resistance, D = dissipation factor,

Q = quality factor, θ = phase angle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The scatter plot of actual values versus predicted values of fresh (value=0) and non-fresh (value=1) CWOH by using the classification model from L are shown in Fig. 2. The cut off value of 0.5 was used for discrimination. The accuracy of prediction for fresh CWOH was 50.0% (11 correct samples from 22 samples) and 95.8% (23 samples correct samples from 24 samples) for non-fresh CWOH. The overall accuracy was 73.9% (34 correct samples from 46 samples).

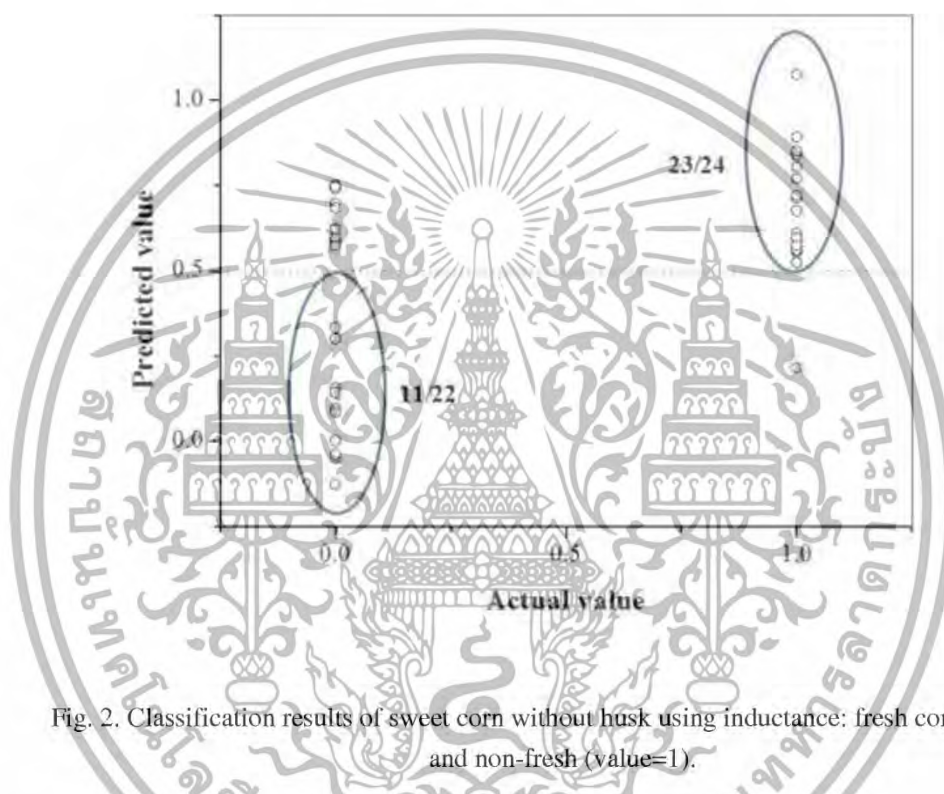


Fig. 2. Classification results of sweet corn without husk using inductance: fresh corn (value=0) and non-fresh (value=1).

3.3 Acknowledgments and Legal Responsibility

This research was supported by the National Research Council of Thailand and the national research budget for fiscal year 2018 (A118-0361-016). The authors are grateful to King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang and Agro-Industry Faculty of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for providing the laboratory equipment. Finally, the authors would like to thank Assoc. Prof. Panmanas Sirisomboon for technical help and Prof. A K Thompson for editing English language in this paper.

23. References

Bauchot, A. D., Harker, F. R & Arnold W. M. (2000). The use of electrical impedance spectroscopy to assess the physiological condition of kiwifruit. *Postharvest Biology and*

- Technology, 18, 9–18.
- Huong, H. T. & Teerachaichayut, S. (2017). Non-destructive prediction of moisture content of lime (*Citrus aurantifolia* Swingle 'Paan') by multiple regression analysis of its electrical and physical properties. *Acta Hort. (ISHS)*, 1152, 299-306.
- Kuson, P. & Terdwongworakul, A. (2013). Minimally-destructive evaluation of durian maturity based on electrical impedance measurement. *Journal of Food Engineering*, 116, 50–56.
- Mizukami, Y., Sawai, Y. & Yamaguchi, Y. (2006). Moisture Content Measurement of Tea Leaves by Electrical Impedance and Capacitance. *Biosystems Engineering*; 93 (3), 293–299.
- Neto, A. F., Olivier, N. C., Cordeiro, E. R. & de Oliveira, H. P. (2017). Determination of mango ripening degree by electrical impedance spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 222–226.
- Panchal, B.H., Patel, V.K. & Khimani, R.A. (2017). Influence of pre harvest factor on post-harvest quality of green sweet corn at ambient condition (*Zea mays* conv. *saccharata*. *rugosa*) cultivar, Madhuri. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, 30-38.
- Pérez-Esteve, E., Fuentes, A., Grau, R., Fernández-Segovia, I., Masot, R., Alcañiz, M. & Barat, J. M. (2014). Use of impedance spectroscopy for predicting freshness of sea bream (*Sparus aurata*). *Food Control*, 35, 360-365.
- Szymanek, M., Dobrzański, B. jr., Niedziółka, I. & Rybczyński, R. (2006). *SweetCorn: Harvest and Technology Physical Properties and Quality*. Lublin, Poland: B. Dobrzański Institute of Agrophysics Polish Academy of Sciences.

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสนธิสุข ธีระชัยชยติ
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Sontisuk Teerachaichayut
- ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
- หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 0 2 329 8000 ต่อ 7267 โทรสาร 0 2329 8526 -7
E-mail : sontisuk.te@kmitl.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ/ประเทศ	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา และชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา
2529/ไทย	ตรี	วศ.บ.(วิศวกรรม ศาสตร์บัณฑิต)	วิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์
2537/ไทย	โท	วศ.ม.(วิศวกรรม ศาสตร์มหาบัณฑิต)	วิศวกรรมเคมี	จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย
2550/ไทย	เอก	ปร.ด.(เทคโนโลยีหลัง การเก็บเกี่ยว)	เทคโนโลยีหลังการ เก็บเกี่ยว	มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

1. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2554. แท่งเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกแก้ว.
2. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดยวิธีการ ดูกดคลื่นพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นแบบทะลุผ่าน.
3. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2555. การสกัดน้ำสับปะรดและผลิตเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกสับปะรด.
4. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2556. การตรวจสอบคุณภาพมังคุดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูคลื่นพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด
5. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2556. การศึกษาปริมาณไนเตรทในเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย: วิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบโดยพิจารณาที่ตำแหน่งและระดับความสุกรสโกปี
6. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2557. การวิเคราะห์ภาพการดูคลื่นพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูงสำหรับทำนายความสดของไข่ไก่
7. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2557.การทำนายความหนาแน่นของผลมังคุดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ
8. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2558. การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูคลื่นพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
9. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2559. การทำนายคุณภาพของผลมะนาวแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้า
10. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2559. การทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยเทคนิควิเคราะห์ภาพการดูคลื่นพลังงาน
11. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2560. การทำนายคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิควิเคราะห์พหุตัวแปรจากคุณสมบัติทางไฟฟ้า
12. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2560. การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายสำหรับลูกชิ้นหมูโดยเทคนิคการวิเคราะห์การดูคลื่นแสงย่านใกล้อินฟราเรด
13. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2561. การคัดแยกความสดและทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิควิเคราะห์พหุตัวแปรทางไฟฟ้า
14. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2561. การตรวจสอบการเจือปน isopropyl alcohol ในสุราโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การดูคลื่นแสงย่านใกล้อินฟราเรด
15. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2561. การทำนายเนื้อสัมผัสของเยลลี่และเต้าหู้อ่อนสำหรับผู้สูงอายุแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคทางไฟฟ้า

ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2535. อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ไทย: อะไรคืออะไร.วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1): 67-70.

ศรีศักดิ์ ตรังวัชรกุล, ชลิต ชูประทีป, สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2535.โรงงานน้ำตาลผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ วท.วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1): 73-82.

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์, เพ็ญศิริ อนันต์รักสกุล, พรภัทธา ศรีนรคุตร, ยุพาภรณ์ ทับนาโคก. 2536. การวิจัยเครื่องเคลือบแบบต่อเนื่องชนิดเคลือบเค็มสำหรับอาหารขบเคี้ยว. โครงการวิจัยที่ ภ.32-06, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 36 หน้า

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ. 2547. ประเมินผลเทคนิคการแช่แข็งข้าวโพดอ่อน. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง 12(2): 39-41.

วารุณี ณะแพสย์, สนธิสุข ธีระชัยชยุติ, ศุมาพร เกษมสำราญ, and Young Kil Kwon. 2548. การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น. สัมมนาวิชาการ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 3, 10-11 ตุลาคม 2548, หน้า 57.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนธิสุข ชีระชัยชยติ, วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, ศุมาพร เกษมสำราญ. 2551. การหาปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในผลมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 39 (3 พิเศษ): 156-159.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ, วารุณี ธนะแพสย์, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, ศุมาพร เกษมสำราญ. 2552. การประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของมังคุดแบบไม่ทำลายโดยใช้แสงย่านความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 (1): 55-64.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, จุฑามาศ ผลอุดม และวรรณชญา เอื้ออมเสถียรพร. 2553. การทำนายอาการเนื่อแก้วจากน้ำมังคุดโดยใช้เทคนิคการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 (1 พิเศษ): 385-388.

ชนิษฐา แสงแก้ว และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2553. คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกมังคุดภายหลังการตกกระทบ. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 2(1): 27-35.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, วารุณี ธนะแพสย์ และ ชนิษฐา แสงแก้ว. 2554. ความเป็นไปได้ในการคัดแยกผลมังคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หัตถ์ตัวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ): 143-146.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลมังคุดแบบไม่ทำลาย. วารสารการวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 27 (1): 55-60.

กัญญาพัชร เพชรภรณ์ และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. ผลกระทบของการเกิดเชื้อราภายในมะเขือเทศต่อคุณสมบัติทางเคมี. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 279-284.

ศรัณญา วอวา และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2555. การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในมังคุดเปลือกแข็งภายหลังการตกกระทบ. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 285-290.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ, จิตพิงศ์ ทิพย์แก้ว, ธนภฤต ชุตระรัตน์ และรัชคม สีสลับ. 2556. เครื่องวัดความแน่นเนื้อของผลไม้แบบน้ำหนักกด. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2, 30 สิงหาคม 2556, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 185-190.

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. สถานการณ์ระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์ในประเทศไทย. วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 31 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2556: 194-210.

ปิยะมาศ จานนอก, อธิยาภรณ์ การรุ่งเรือง, อรวรรณ ทองนาค, อัจฉิพัส จานนอก, ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรั่ง และ สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2556. การทำนายความถ่วงจำเพาะของไข่ไก่ด้วยเทคนิค NIRS. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 4 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, 135-139.

Teerachaichayut, S., K. Y. Kil, A. Terdwongworakul, W. Thanapase and Y. Nakanishi. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology* 43. 202-206.

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, and S. Pathaveerat. 2008. Multiple Parameters for Prediction of Translucent Flesh in Mangosteens. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol.X. Manuscript FP 08 007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Teerachaichayut S., W. Thanapase, K. Shigefugi, T. Otoi, Y. Nitta, S. Saranwong, and S. Kawano. 2008. Online Near Infrared Detection of Translucent and Gamboge Mangosteen. Proceeding of The First Asian NIR Symposium and The 24th Japanese NIR Forum, 158-159. Tsukuba city, Japan, 10-14 November.
- Kasemsumran, S., W. Thanapase, S. Teerachaichayut, A. Terdwongworakul, K. Y. Kil, K. Shigefuji, and Y. Nakanishi. Nondestructive Internal Quality Evaluation of Thai Orange Fruit using Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. Japan-Korea Joint Symposium on Near Infrared Spectroscopy, 284-285. Hanyang University, Korea, 28-30 June.
- Thanapase, W., S. Kaseamsumran, A. Janhira, S. Teerachaichayut, K. Shigefuji, K. Kiji, Y. Nitta, S. Saranwong and S. Kawano. 2009. Recent collaborative researches between Japan and Thailand on NIR applications for Tropical Fruits. Proceedings of the 25th NIR Forum. 31-35. Japan, 13-15 May.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, J. Phonudom and W. Uamsatianporn. 2009. The Robustness of PLS Models for Soluble Solids Content of Mangosteen using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. Global Science Books, Fresh Produce 3(1): 60-63.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, K. Saengkaew and R. Suwapanich. 2010. Feasibility of visible and SW-NIR spectroscopy to detect gamboge disorder in mangosteen fruits. Proceedings of the 2nd Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, China, 15-18 Oct. 81-82.
- Teerachaichayut, S., W. Thanapase, S. Kasemsumran, K. Shigefuji, K. Kiji, Y. Nitta, S. Saranwong and S. Kawano. 2010. The methods of illumination and scanning for detecting internal disorders and quality of mangosteen by near infrared spectroscopy. Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 14th International Conference. IM Publications LLP, West Sussex, UK., 219-223.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase, K. Kiji. 2011. Non-destructive prediction of Hardening pericarp disorder in intact mangosteen by near infrared transmittance spectroscopy. Journal of Food Engineering 106 (2011) 206-211.
- Terdwongworakul, A., N. Nakawajana, S. Teerachaichayut, A. Janhira. 2012. Determination of translucent content in mangosteen by means of near infrared transmittance. Journal of Food Engineering 109: 114-119.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul. 2012. Empirical investigation of the optimal fruit presentation in near infrared transmittance for mangosteen quality evaluation. NIR news 23(1) :8-18
- Teerachaichayut, S., K. Petcharaporn and S. Suktanarak. 2012. Calibration model of soluble solids content for Intact Tomato by Transmittance SW-NIR Spectroscopy. Proceedings of the 3rd Asian Symposium on Near Infrared Spectroscopy, Thailand, 14-18 May. 120-121.
- Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, K. Keawsumnuk, M. Rangsi and K. Seangkeaw. 2012. A Feasibility Study for the Nondestructive Detection of Granulation in Tangerine Fruit Using a Capacitance based Technique. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July, P0122.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Terdwongworakul A., S. Teerachaichayut, S. Noypitak. 2012. Non-Destructive Classification of Translucent Flesh Mangosteen by Near Infrared Interactance. Proceedings of the CIGR-AgEng 2012: International Conference of Agricultural Engineering, Spain, 8-12 July. C0059.
- Nandee S. and S. Teerachaichayut. 2012. Brix-acid ratio detection for pomegranates using multivariate equation. International Conference on Nutrition and Food Sciences, July 23-24. IPCBEE vol.39 (2012) IACSIT Press, Singapore. 82-86.
- Suktanarak S. and S. Teerachaichayut. 2012. Detection for Moisture Content of Sweet Tamarind flesh by Transmittance Short Wavelength Near Infrared Spectroscopy. International Conference on Nutrition and Food Sciences, July 23-24. IPCBEE vol.39 (2012) IACSIT Press, Singapore. 71-75.
- Petcharaporn K. and S. Teerachaichayut. 2012. Detection of Undesirable Internal Discoloring of Intact Tomatoes by Non-Destructive, Transmittance VIR-NIR Spectroscopy. International Conference on Food and Applied Bioscience 2012, 6-7 February. Chiang Mai, Thailand. 82-86.
- Suktanarak, S. and S. Teerachaichayut. 2013. Quantitative Analysis of Total Soluble Solids and Titratable Acidity of Sweet Tamarind by SW-NIRS. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, Vol. 3, No. 4, 328-331.
- Sukwanit S. and S. Teerachaichayut. 2013. Non-destructive prediction of internal browning in pineapple using transmittance short wavelength near infrared spectroscopy. Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest Systems and Asia Pacific Symposium on Postharvest Quality Management of Root and Tuber Crops. Acta Horticulturae 989. ISHS: 395-399.
- Kaewsard, S., S. Kerdpiboon, Y. Peuchkamut, S. Teerachaichayut. 2013. Relationships between Physical property, Chemical composition and Marbling Score of Sirloin Beef Steak. 13th ASEAN Food Conference, 9-11 September 2013, Singapore. Meeting Future Food Demands: Security & Sustainability.
- Sasathorn Srivichien and Sontisuk Teerachaichayut. 2014. Comparison of nitrate content in 'Smooth Cayenne' pineapple flesh related to its different cut sections, maturity and crop season. Journal of Advanced Agricultural Technologies, Vol. 1, No.1, 65-68.
- Sasathorn Srivichien and Sontisuk Teerachaichayut. 2014. Comparison of nitrate content in 'Smooth Cayenne' pineapple flesh related to its different cut sections, maturity and crop season. Proceeding of The 4th International Conference on Asia Agriculture and Animal (ICAAA 2014), Bangkok, Thailand, June 9-10, 33-36.
- SasathornSrivichien and SontisukTeerachaichayut. 2014. Quality classification of pineapple based on nitrate level by Vis-NIRS. Proceeding of The 4th Asian NIR Symposium, Daegu, Korea, June 17-20, 130-132.
- Sontisuk Teerachaichayut, Isayapron Kanrungrueng, Orawan Thongnak, Oattharod Channok, Panuwat Supprung , Piyamart Jannok. 2014. Freshness Prediction of Hen Eggs Using NIR Spectroscopy Based on Specific Gravity. Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET, 2014), Bali, Indonesia, June 27-29, 585-592.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Pattama Supaphon, Soraya Kerdpi boon, Yuporn Peuchkamut, Sontisuk Teerachaichayut, Pramoun Srikalong , Panadda Nonthanum. 2014. Surface Images and Physical Properties Correlation of Sirloin Steak by Pearson'S Correlation And Multiple Linear Regression Analysis. Proceeding of International Research Conference on Engineering and Technology (IRCET 2014), Bali, Indonesia, June 27-29, 593-601.
- Jannok, P., Petcharaporn, K. and Teerachaichayut, S. 2014. Detection of internal mold infection in tomato by transmittance near infrared spectroscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 1053:93-99.
- Teerachaichayut, S., Suktanarak, S. and Kasemsumram, S. 2014. Non-destructive detection of internal mold infection in sweet tamarind using short wavelength near infrared spectroscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 1053:113-119
- Srivichien, S., A. Terdwongworakul, S. Teerachaichayut. 2015. Quantitative prediction of nitrate level in intact pineapple using Vis-NIRS. *Journal of Food Engineering* 150: 29-34.
- Teerachaichayut S., Yokswad W., Terdwongworakul A., Jannok P., Fernandes S.V. 2015. Application of Image Analysis for Determination of Mangosteen Density. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 2(2): 92-97.
- Natrapee Nakawajana, Anupun Terdwongworakul, Sontisuk Teerachaichayut. 2016. Minimally destructive assessment of mangosteen translucency based on electrical impedance measurements. *Journal of Food Engineering* 171: 137-144
- Sineenart Suktanarak, Sontisuk Teerachaichayut and Panuwat Supprung. 2016. Prediction of moisture content in sweet corn by reflectance NIR spectroscopy. *Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec.* 260-261.
- Sirikarn Boonpiam, Nattaporn Suttiwijitpukdee and Sontisuk Teerachaichayut. 2016. Nondestructive Classification of Pork Meatball Containing Borax by Near Infrared Spectroscopy. *Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec.* 268-269.
- Ho Thanh Huong, Sontisuk Teerachaichayut, Panuwat Supprung and Tiradech Damrongpowan. 2016. Classification of lime varieties by NIR spectroscopy. *Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec.* 264-265.
- Sadudee Phonmakham and Sontisuk Teerachaichayut. 2016. Transmittance near infrared spectroscopy for firmness detection of marian plum (*Bouea burmanica* Griff.). *Proceedings of the 5th Asian Near Infrared Symposium and the 32nd Japanese NIR Forum, Kagoshima, Japan, 30 Nov-3 Dec.* 226-227.
- Suktanarak, S., Supprung, P. and Teerachaichayut, S. 2017. Classification of sweet corn based on storage time after harvest using near infrared spectroscopy. *Acta Hort. (ISHS)* 1152:47-54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Huong, H.T. and Teerachaichayut, S. 2017. Non-destructive prediction of moisture content of lime (*Citrus aurantifolia* Swingle 'Paan') by multiple regression analysis of its electrical and physical properties. *Acta Hort.* (ISHS) 1152:299-306.
- Kerdpiboon, S., Supaphon, P., Teerachaichayut, S. and Peuchkamut, Y. 2017. Tenderness of sirloin beef affected by sous-vide cooking. The 63rd International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST 2017), 13-18 August 2017. Cork, Ireland. Submitted. (Grant: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang).
- Sontisuk Teerachaichayut, Huong Thanh Ho. 2017. Non-destructive prediction of total soluble solids, titratable acidity and maturity index of limes by near infrared hyperspectral imaging. *Postharvest Biology and Technology* 133: 20-25.
- Suktanarak, S., Teerachaichayut, S. 2017. Non-destructive quality assessment of hens' eggs using hyperspectral images. *Journal of Food Engineering* 215: 97-103.
- Teerachaichayut, S., Phonmakham, S. and Suktanarak, S. 2017. Grouping marian plums harvested at different times by transmittance near-infrared spectroscopy. *Acta Hort.* (ISHS) 1179:25-30.
- Huong, H.T. and Teerachaichayut, S. 2017. Non-destructive prediction of pH and total soluble solids of lime [*Citrus x aurantifolia* (Cristm.) Swinge] by visible and near-infrared spectroscopy. *Acta Hort.* (ISHS) 1179:31-36.
- Phonmakham, S., Suttivijitpukdee, N. and Teerachaichayut, S. (2018). Quantitative analysis of quality for marian plum (*Bouea burmanica* Griff.) by transmittance near infrared spectroscopy. *Acta Hort.* 1213, 537-542.
- Suktanarak, S., Teerachaichayut, S., Jannok, P. and Supprung, P. (2018). Interactance and reflectance near infrared spectroscopy for freshness evaluation of hen eggs. *Acta Hort.* 1213, 637-642.
- Onnom, P. and Teerachaichayut, S. 2018. Development of calibration models to predict texture and total soluble solids in jelly using hyperspectral imaging. *Green Design and Manufacture: Advanced and Emerging Applications*, Published by AIP Publishing AIP Conf. Proc. 2030, 020211-1–020211-5.
- Teerachaichayut, S, Pansiri, J, Nguanprasert, P and Thepwapee, W. 2018. Feasibility of using a photoelectric sensor combined with density measurements for nondestructive assessment of the freshness of hen's eggs. *Green Design and Manufacture: Advanced and Emerging Applications*, Published by AIP Publishing AIP Conf. Proc. 2030, 020264-1–020264-5.
- Klinbumrung, N. and Teerachaichayut, S. 2018. Quantification of acidity and total soluble solids in guavas by near infrared hyperspectral imaging. *Green Design and Manufacture: Advanced and Emerging Applications*, Published by AIP Publishing AIP Conf. Proc. 2030, 020209-1–020209-5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sukthamaruk, S., Boonpiam, S. and Teerachaichayut, S. 2018. Quantitative and Qualitative Assessment of Pork Meatball Containing Borax Using Near Infrared Spectroscopy. Green Design and Manufacture: Advanced and Emerging Applications, Published by AIP Publishing AIP Conf. Proc. 2030, 020210-1-020210-5.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้