



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การทำนายเนื้อสัมผัสของเยลลี่และเต้าหู้อ่อนสำหรับผู้สูงอายุแบบไม่ทำลายโดยใช้
เทคนิคทางไฟฟ้า
Non-destructive prediction of jelly and soft tofu for the elderly using
electrical technique

นายสนธิสุข ชีระชัยขุติ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย
จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การทำนายเนื้อสัมผัสของเยลลี่และเต้าหู้อ่อนสำหรับผู้สูงอายุแบบไม่ทำลายโดยใช้
เทคนิคทางไฟฟ้า
Non-destructive prediction of jelly and soft tofu for the elderly using
electrical technique

นายสนธิสุข ชีระชัยชยติ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย
จากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การทำนายเนื้อสัมผัสของเยลลี่และเต้าหู้อ่อนสำหรับผู้สูงอายุแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคทางไฟฟ้า

ชื่อโครงการ Non-destructive prediction of jelly and soft tofu for the elderly using electrical technique

แหล่งเงิน เงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2561 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 60,000 บาท

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

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

รศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยติ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในสถานการณ์ปัจจุบันประเทศไทยเริ่มเข้าสู่ภาวะสังคมที่มีผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น เนื้อสัมผัสอาหารของผู้สูงอายุจึงมีบทบาทสำคัญที่ควรคำนึงถึง เนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มจะช่วยให้เรื่องการเคี้ยวและการกลืนของผู้สูงอายุ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคที่ไม่ทำลายเพื่อตรวจสอบเนื้อสัมผัสของอาหาร ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เทคนิคการวัดทางไฟฟ้าเพื่อกำหนดเนื้อสัมผัสของเยลลี่และเต้าหู้อ่อน ตัวอย่างจะมีความแน่นเนื้อแตกต่างกันถูกผลิตขึ้น แต่ละตัวอย่างถูกวัดความแน่นเนื้อและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมันเช่นความจุ, ตัวเหนียวนำ, ความต้านทาน, ความต้านทาน, บั๊จยการกระจาย, บั๊จยคุณภาพ, มุมเฟสที่ความถี่ต่างๆ (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 KHz) การถดถอยกำลังสองส่วนน้อย (PLSR) บางส่วนถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการสอบเทียบสำหรับความแน่นเนื้อ ผลการทำนายค่า Texture ของเยลลี่และ เต้าหู้อ่อน แสดงว่า มีความเป็นไปได้ ($R^2 = 0.64$, RMSEP = 0.13 N และ $R^2 = 0.57$, RMSEP = 5.63 N)

คำสำคัญ: การไม่ทำลาย, การสอบเทียบ, การทำนาย, ความแน่นเนื้อ, ค่าทางไฟฟ้า, เยลลี่, เต้าหู้อ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

In a decade, Thailand will become an aging society due to the elderly population continues to grow. Food texture is one of important factors relating to the health risks of the elderly. Soft foods are produced in order to help the elderly who have trouble chewing or swallowing. Therefore a nondestructive technique to detect the softness of foods is required. In this study, an electrical measuring technique was used to determine the softness of jelly. Jelly samples in different softness were produced. Each sample was measured the softness and its electrical properties such as capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factor, phase angle at various frequencies (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 and 200 KHz). Partial least squares regression (PLSR) was used to develop the calibration model for the softness. The results showed it is possible to use for texture prediction of jelly and soft tofu ($R^2 = 0.64$, RMSEP = 0.13 N และ $R^2 = 0.57$, RMSEP = 5.63 N).

Keywords: nondestructive, calibration, prediction, accuracy, electricity, jelly, soft tofu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุมัติเงินงบประมาณเพื่อมาสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นด้วยดี

รศ.ดร.สนธิสุข วีระชัยชยุดิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ค่าทางไฟฟ้า.....	4
2.2 เซลล์.....	5
2.3 เต้าหู้.....	8
2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	10
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	13
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	13
3.2 วิธีการทดลอง.....	14
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	17
4.1 เซลล์.....	17
4.2 เต้าหู้.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	29
เอกสารอ้างอิง	30
ภาคผนวก	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างของ calibration และกลุ่มของ prediction ของเฮลตี้.....	20
4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากการปรับและแก้ไข โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ในชุดการสอบเทียบของเฮลตี้.....	21
4.3 ผลลัพธ์ทางสถิติของแบบจำลอง PLSR สำหรับ texture ของเฮลตี้.....	22
4.4 การเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างของ calibration และกลุ่มของ prediction ของเต้าหู้.....	28
4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากการปรับและแก้ไข โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองใน ชุดการสอบเทียบของเต้าหู้.....	27
4.6 ผลลัพธ์ทางสถิติของแบบจำลอง PLSR สำหรับ texture ของเต้าหู้.....	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงมุมเฟส (phase angle).....	3
2.2 แสดงภาพวงจรการวัดตัวเก็บประจุของกล้วย (capacitance sensing system).....	12
4.1 เปรียบเทียบค่า impedance ของเฮลตี้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	17
4.2 เปรียบเทียบค่า resistance ของเฮลตี้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	17
4.3 เปรียบเทียบค่า quality factor ของเฮลตี้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	18
4.4 เปรียบเทียบค่า inductance ของเฮลตี้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	18
4.5 เปรียบเทียบค่า phase angle ของเฮลตี้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	19
4.6 เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของเฮลตี้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	19
4.7 เปรียบเทียบค่า capacitance ของเฮลตี้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	20
4.8 แผนการกระจายของพื้นผิวจริงและพื้นผิวที่คาดการณ์ไว้ในชุดการสอบเทียบ (a) และในชุดการ ทำนาย (b)ของเฮลตี้.....	22
4.9 เปรียบเทียบค่า impedance ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	23
4.10 เปรียบเทียบค่า resistance ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	23
4.11 เปรียบเทียบค่า quality factor ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	24
4.12 เปรียบเทียบค่า inductance ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	24
4.13 เปรียบเทียบค่า phase angle ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	25
4.14 เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	25
4.15 เปรียบเทียบค่า capacitance ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน.....	26
4.16 แผนการกระจายของพื้นผิวจริงและพื้นผิวที่คาดการณ์ไว้ในชุดการสอบเทียบ (a) และในชุดการ ทำนาย (b)ของเต้าหู้.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในสถานการณ์ปัจจุบันประเทศไทยเริ่มเข้าสู่สภาวะสังคมที่มีผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น อาหารของผู้สูงอายุจึงมีบทบาทสำคัญที่ควรคำนึงถึง ผู้สูงอายุหมายถึงผู้ที่มีอายุเกิน 60 ปีขึ้นไปมักจะเกิดความเปลี่ยนแปลงทางด้านจิตใจและร่างกาย เมื่อร่างกายเจริญเติบโตถึงขีดสุด การเปลี่ยนแปลงภายในและภายนอกจึงเกิดการเสื่อมสลาย เมื่อเข้าสู่วัยสูงอายุ การทำงานของระบบประสาทต่างๆจะลดลง ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากจะเป็นเรื่องเกี่ยวกับฟัน ต่อม้ำลายหลังสารได้น้อยลง มีผลทำให้การบดเคี้ยวอาหารภายในปากเป็นไปได้ไม่ดี เมื่ออาหารมาถึงกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กจึงมีปัญหาด้านการย่อยและการดูดซึมเพราะน้ำย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กมีน้อยลงส่งผลให้อาหารย่อยไม่ได้ ดังนั้นเนื้อสัมผัสของอาหารจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากที่ส่งผลต่อสุขภาพของผู้สูงอายุในประเทศญี่ปุ่น ได้พัฒนาอาหารเพื่อผู้สูงอายุเรียกว่า “universal design food” เพื่อช่วยสำหรับผู้สูงอายุที่มีปัญหาด้านการเคี้ยว การกลืนและการย่อยอาหาร universal design food จะแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ 1.กลุ่มเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่ม 2.กลุ่มโภชนาการครบถ้วน 3.กลุ่มโรคประจำตัว 4.กลุ่มปัญหาเรื่องการกลืน เนื้อสัมผัสที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุ จะต้องไม่นิ่มเกินไปจนมีลักษณะเหลวหรือแข็งมากเกินไปเพราะจะลำบากต่อการเคี้ยวและการกลืน จึงต้องมีการวิเคราะห์เชิงคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส ซึ่งการตรวจสอบจะแบ่งได้เป็น 2 แบบ 1.การทดสอบเชิงวัตถุวิสัย (objective method) โดยใช้เครื่องมือวัด 2.การประเมินด้วยประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ซึ่งใช้คนหรือผู้ชิมในการประเมิน ซึ่งการทดสอบเนื้อสัมผัสทางวัตถุวิสัยวิธีการทดสอบจะมีการทดสอบแรงกด (compression test) การทดสอบแรงดึง (tensile test) การทดสอบแรงกดทะลุ (penetration test) การทดสอบการโก่งตัว (bending test) การทดสอบแรงตัด (cutting test) การทดสอบแรงผลักดัน (extrusion test) ซึ่งวิธีการทดสอบเหล่านี้จะเป็นการทำลายตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้จะนำเอาเทคนิคการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายมาใช้ เพื่อหาความแน่นเนื้อของอาหารสำหรับผู้สูงอายุ เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและไม่ใช้สารเคมี โดยที่ตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์จะไม่ถูกทำลาย ผลงานวิจัยจะสามารถนำไปใช้ตรวจสอบและคัดแยกผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุ เพื่อให้

อาหารอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานโดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อให้ได้เทคนิคในการทำนายความแน่นเนื้อของอาหารผู้สูงอายุ ได้แก่ เยลลี่ และ เต้าหู้อ่อน แบบไม่ทำลายโดยใช้ไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อให้ได้ข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อความแน่นเนื้อของอาหารผู้สูงอายุ ได้แก่ เยลลี่ และ เต้าหู้อ่อน ในกระบวนการผลิต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะทำการผลิตอาหารผู้สูงอายุ ได้แก่ เยลลี่ และ เต้าหู้อ่อน ให้มีความแน่นเนื้อ ต่างๆกัน โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแน่นเนื้อในกระบวนการผลิต และทำการออกแบบสร้าง อุปกรณ์สำหรับการวัดความแน่นเนื้อของอาหารด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า ได้แก่ capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factor และ phase angle ที่ความถี่ ต่างๆ ได้แก่ 0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 KHz สำหรับเยลลี่ และ เต้าหู้อ่อน โดย อ้างอิงจากค่าที่ได้จากการวัดความแน่นเนื้อด้วยเครื่องมือมาตรฐาน จากนั้นวิเคราะห์ผลทางสถิติ เพื่อสร้างสมการสำหรับทำนายค่าความแน่นเนื้อของเยลลี่ และ เต้าหู้อ่อน จากนั้นทดสอบความ แน่นยำของสมการที่ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ค่าทางไฟฟ้า

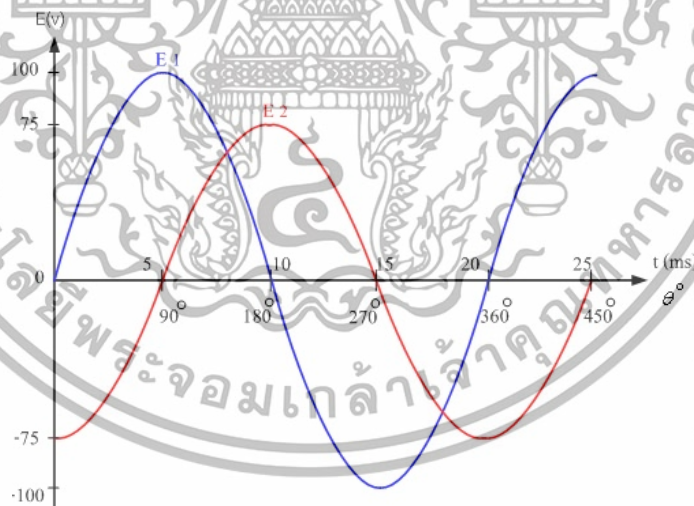
2.1.1 ความจุไฟฟ้า (capacitance)

คือความสามารถในการเก็บประจุของตัวนำไฟฟ้า หรือ ปริมาณประจุไฟฟ้า ที่ทำให้ตัวนำมีค่าศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 หน่วย ตัวนำใดมีความจุไฟฟ้ามาก แสดงว่าต้องใช้ประจุไฟฟ้าจำนวนมากในการทำให้ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่ตัวนำใดมีความจุไฟฟ้าน้อย ศักย์ไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นจากเดิมมาก (สมศักดิ์, 2554)

2.1.2 เฟส (phase)

คือความแตกต่างกันของเวลาหรือมุมที่เกิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นมามากกว่าหนึ่งสัญญาณ เรียกมุมที่แตกต่างกันว่ามุมเฟส (phase angle) ลักษณะสัญญาณที่ต่างเฟสกัน แสดงดังภาพ

ที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงมุมเฟส (phase angle)

ที่มา: อติสร (2556)

เป็นคลื่นไซน์ 2 สัญญาณมีเฟสต่างกัน 90° แสดงค่าไว้ในรูปของ E1 และ E2 แรงดันทั้งสองมีความถี่ 50 Hz แรงดัน E1 มีระดับแรงดัน 100V เกิดขึ้นที่เฟสปกติ 0° หรือเวลา 0 ms แรงดัน

E2 มีระดับแรงดัน 75V เกิดขึ้นช้ากว่าแรงดัน E1 เป็น มุม 90° หรือเวลาต่างกัน 5 ms ระดับแรงดันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ E_1 และ E_2 มีค่าแรงดันสูงสุดในเวลาที่แตกต่างกันอยู่ 5 ms เสมอ การพิจารณาเฟสของ สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องพิจารณาจากปริมาณไฟฟ้าที่มีความถี่เดียวกัน จึงสามารถ เปรียบเทียบเฟสกันได้ ถ้าหากมีความถี่ไม่เท่ากัน มีชื่อเรียกเฟสในลักษณะต่าง ๆ แตกต่างกันไป ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าที่เปรียบเทียบกับเฟสที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ถ้าหากเป็นเฟส นำหน้า (leading phase) จะถูกแทนด้วยเครื่องหมายบวก (+) และถ้าหากเป็นเฟสล้าหลัง (lagging phase) จะถูกแทนด้วยเครื่องหมายลบ (-) (อดิศร, 2556)

2.1.3 ตัวประกอบการแผ่กระจาย (dissipation factor)

ในทางฟิสิกส์ค่า dissipation factor เป็นตัวชี้วัดความผันผวนของอัตราการสูญเสียพลังงาน ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่า quality factor ที่บอกถึงประสิทธิภาพ (Ramo, 1994)

2.1.4 ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (inductance)

เป็นคุณสมบัติของวงจรไฟฟ้าที่ ตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลใน วงจร เมื่อกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง แรงดันไฟฟ้าจะถูกเหนี่ยวนำ ให้เกิดขึ้นในลวดตัวนำไฟฟ้าโดย สนามแม่เหล็ก ขั้วของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะกระทำตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของ กระแสไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าตรงข้าม (counter emf.) มีการเหนี่ยวนำไฟฟ้า 2 แบบ คือ การเหนี่ยวนำในตัวเอง (self-inductance) ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าตรงข้ามในวงจร ที่มีกระแสไหลผ่านตัวเอง และการเหนี่ยวนำซึ่งกันและกัน (mutual inductance) ซึ่งจะทำให้เกิด แรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น (ถูกเหนี่ยวนำ) ในวงจรอื่น ตัวนำไฟฟ้าของวงจรอื่นนี้สามารถที่จะแยกจากกัน ทางฟิสิกส์ แต่มีการควบประสาน (coupled) ทางแม่เหล็กกับวงจรที่มีกระแสเหนี่ยวนำไหลอยู่ (สุ พจน์, 2553)

2.1.5 ตัวประกอบคุณภาพ (quality factor)

คือ อัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนซ์กับแบนวิธ บางครั้งนิยมเรียกสั้นๆ ว่า Q factor ซึ่ง ใช้อย่างหนึ่งชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการเลือกความถี่ค่าตัวประกอบคุณภาพ นี้ไม่มีหน่วย โดย ยิ่งค่าตัวประกอบคุณภาพมีค่าสูง วงจรจะสามารถเลือกความถี่ได้ดีมากยิ่งขึ้น ดังนั้น ความถี่ช่วงแคบ

(narrow band) จะมีค่า $B < 0.01$ และ $Q > 10$ ความถี่ช่วงกว้าง (wide band) จะมีค่า $B > 0.01$ และ $Q < 10$ (นวปญฺล, 2015)

2.1.6 ความต้านทานไฟฟ้า (resistance)

ของตัวนำไฟฟ้า เป็นตัวชี้วัดของความยากลำบากในการที่จะผ่าน กระแสไฟฟ้าเข้าไปในตัวนำนั้น ปริมาณที่ตรงกันข้ามคือ การนำไฟฟ้า เป็นความสะดวกที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ความต้านทานไฟฟ้าเปรียบเหมือน แรงเสียดทาน ทางเครื่องกล หน่วย SI ของความต้านทานไฟฟ้าจะเป็น โอห์ม สัญลักษณ์ Ω (R.F. Harrington, 2001)

2.1.7 อิมพีแดนซ์ (impedance)

เป็นการวัดความต้านทานที่แท้จริง ไฟฟ้ามีการต่อต้านต่อกระแสเมื่อมีการจ่ายแรงดัน (Oliver Heaviside, 1886) ในความหมายด้านปริมาณ มันเป็นอัตราส่วนที่ซับซ้อนของแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสในวงจรกระแสสลับ (AC) อิมพีแดนซ์ขยายแนวของความต้านทานไปยังวงจร AC และครอบคลุมทั้งขนาดและเฟส ซึ่งแตกต่างจากความต้านทานกระแสตรง (DC) ซึ่งมีเพียงขนาดเท่านั้น เมื่อวงจรถูกขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC) มันจะไม่มี ความแตกต่างระหว่างอิมพีแดนซ์และความต้านทาน ความต้านทานจะเป็นอิมพีแดนซ์ที่มีมุมเฟส (phase angle) เป็นศูนย์ อิมพีแดนซ์จะถูกกำหนดเป็นอัตราส่วนแบบโคเมนความถี่ของแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสซึ่งเป็นอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อกระแสสำหรับค่าออกไปเนนเชียลที่ซับซ้อนเชิงเดี่ยวที่ความถี่เฉพาะ ω โดยทั่วไป อิมพีแดนซ์จะเป็นตัวเลขที่ซับซ้อนตัวหนึ่ง ที่มีหน่วยเดียวกันกับความต้านทาน

2.2 เยลลี่

2.2.1 ความหมายของเยลลี่ ได้มีผู้ให้ความหมายของเยลลี่ไว้ 2 แนวคิด คือ

2.2.1.1 เยลลี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผลไม้ หรือน้ำผลไม้เข้มข้น เช่น สับปะรด กระเจี๊ยบแดง สตรอเบอร์รี่ มะนาว ส้ม มะม่วง กับสารที่ให้ความหวาน (sweetening agent) และสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) เช่น เจลาติน (gelatin) คาร์ราจีแนน (carrageenan) นำมาให้ความร้อนเพื่อให้ส่วนผสมละลาย แล้วทิ้งไว้ให้เย็น จะมีลักษณะเป็นเจล (gel) โปร่งแสง เยลลี่ที่ดี ต้องมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะใสและมีเนื้อสัมผัส อ่อนนุ่มแต่ไม่เหนียวจนหนืด และไม่เหลว ต้องแข็งพอที่จะคงรูปเดิม เมื่อตัด ด้วยมีดก็เป็นเหลี่ยมตามรอยมีด มีความหยุ่นตัว ผลไม้ไทยมีกลิ่นรสและสีต่างๆสามารถทำเป็นเยลลี่ได้

2.2.1.2 เยลลี่ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผลไม้ที่ได้จากการคั้นหรือสกัดจากผลไม้สดผสมกับสารที่ทำให้เกิดเจล มีความข้นหนืดพอเหมาะ โดยไม่มีเนื้อผลไม้เจือปน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและลักษณะที่ฉิของเยลลี่ ได้แก่ ชนิดของน้ำตาลที่ใช้ ควรเป็นน้ำตาลทรายจากอ้อย เพราะไม่เกิดผลึก อุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่น้ำผลไม้ไม่ควรเกิน 100 องศาเซลเซียส เพราะจะส่งผลให้สารที่ทำให้เกิดเจลสลายตัว เป็นสาเหตุที่เยลลี่ไม่แข็งตัว สารที่ช่วยในการทำให้เกิดเจล คือ สารคาร์ราจีแนน ซึ่งสกัดมาจากสาหร่าย สามารถละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิ 50-80 องศาเซลเซียส มีการยืดหยุ่น ได้ดี food and drug administration ได้รวมสารนี้ไว้ใน generally recognized as safe life เนื่องจากผลการทดลองเกี่ยวกับด้านพิษวิทยาพิสูจน์แล้วว่า สารนี้ไม่เป็นอันตรายกับสัตว์ ทดลองและได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84

2.2.2 รูปแบบของเยลลี่

ผลิตภัณฑ์เยลลี่สำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาดสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

2.2.2.1 เยลลี่ชนิดเหลว ที่รับประทานเป็นอาหารว่าง (dessert jelly)

เป็นเยลลี่ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่ม มีน้ำมาก ใช้ช้อนตักรับประทาน หรือใช้หลอดดูดได้ มักรับประทานแบบแช่เย็น เป็นของหวาน เป็นอาหารว่าง หรือ หลังมื้ออาหาร อาจรับประทานกับไอศกรีม เยลลี่ประเภทนี้ มีส่วนผสมของสารที่ทำให้เกิดเจล ได้แก่ คาราจีแนน ผงบุก มีการเติมน้ำตาล กรดซิตริก สีผสมอาหาร และสารปรุงแต่งกลิ่นรส (flavoring agent) ผลิตภัณฑ์มีทั้งรสหวานและรสเปรี้ยว ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบในท้องตลาด อาจเป็นผงเยลลี่ผสมสำเร็จรูปที่ผู้บริโภคนำมาผสมน้ำร้อนตามสัดส่วน แล้วแช่เย็นเพื่อให้เกิดเจล อีกรูปแบบหนึ่งคือ เยลลี่ที่พร้อมรับประทานบรรจุด้วยในภาชนะที่ปิดผนึกสนิท

2.2.2.2 เยลลี่แข็ง

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผลไม้ ผัก ธัญชาติ (cereal grain) หรือสมุนไพร มาคั้นหรือสกัดแล้วผสมกับสารให้ความหวาน (sweetener) และสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) เช่น เจลาติน คาราจีแนน วุ้นในปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในลักษณะแข็งและ

เหนียว อาจผสมกรดผลไม้และส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ผลไม้ ผัก ธัญชาติ สมุนไพร เคี้ยวให้มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้โดยไม่ผ่านการพิจารณาว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นเหนียวพอเหมาะที่อุณหภูมิที่เหมาะสม อาจแต่งสีและกลิ่นรสด้วยก็ได้ อาจเทใส่พิมพ์หรือตัดเป็นชิ้นหลังจากทิ้งไว้ให้เย็น แล้วอาจคลุกด้วยน้ำตาลหรือแป้งบริโกล รับประทานเป็นขนมหวาน (confectionery jelly) เยลลี่ชนิดนี้ มีเนื้อเหนียวหนึบแห้งไม่ติดมือ

2.2.3 ส่วนประกอบของเยลลี่

เยลลี่มีส่วนประกอบ ดังนี้

2.2.3.1 สารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) การผลิตเยลลี่สำเร็จรูปในเชิงอุตสาหกรรมมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ กัม (gums) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ชนิดของกัมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ คาราจีแนน เจลาติน และเพกติน

2.2.3.2 สารให้ความหวาน (sweetener) เยลลี่ส่วนใหญ่ใช้น้ำตาลซูโครส เป็นสารที่ให้ความหวาน ช่วยให้เพกติน เกิดโครงสร้างเป็นเจล ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณเพกติน และความเป็นกรดค้างของเนื้อหรือน้ำผลไม้ชนิดนั้น ๆ ถ้าปริมาณ เพกตินมาก ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ต่อน้ำหนักของผลไม้ก็มากด้วย ถ้าผลไม้ มีความเป็นกรดสูง (เปรี้ยว) ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ต่อน้ำหนักผลไม้หรือน้ำผลไม้ค่า ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ ไม่ควรสูงกว่า 70 องศาบริกซ์ (วัดโดย refractometer) นอกจากน้ำตาลซูโครส สารให้ความหวานอื่น ที่อนุญาตให้ใช้ในเยลลี่ ตาม มอก. 236-2521 มีหลายชนิด ได้แก่ น้ำตาลอินเวิร์ต (invert sugar) อินเวิร์ตไซรัป (invert syrup) เดกซ์โทรส (dextrose) ฟรุกโตสไซรัป (fructose syrup) กลูโคสไซรัป (glucose syrup) และดรายกลูโคสไซรัป (dried glucose syrup)

2.2.3.3 สารควบคุมความเป็นกรดและควบคุมความเป็นกรดค้าง (acidifying และ pH regulating agents) มีความสำคัญต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์และช่วยให้เจลอยู่ตัวมากขึ้น ถ้ามีกรดมากเกินไปจะทำลายความอยู่ตัวของเจลได้ โดยปกติความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของเยลลี่อยู่ ระหว่าง pH 2.8 - 3.5 ส่วน pH ที่เหมาะสมที่สุดคือ pH 3.2 ในการปรับความเป็นกรด-ด่าง ของเยลลี่ ตาม มอก.263-2521 ได้กำหนดสารที่ใช้เพิ่มและควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ได้แก่ กรดซิตริก (citric acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดแลกติก (lactic acid) กรดฟูมาลิก (fumaric acid) และเกลือ โซเดียมโปตัสเซียมและแคลเซียมของกรดเหล่านี้ โซเดียมและโปตัสเซียมไบคาร์บอเนต

2.2.3.3 สี กลิ่นรส หรือน้ำผลไม้ จะช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะน่ารับประทานเพิ่มขึ้น น้ำผลไม้ที่ใช้เป็นส่วนผสมในเยลลี่ต้องเป็นน้ำผลไม้แท้ หรือน้ำสกัดได้จากผลไม้ที่ผ่านการกรอง เพื่อให้ใสปราศจากชิ้นหรือเศษผลไม้ และอาจทำให้ขุ่นโดยการระเหยน้ำออก และน้ำผลไม้หรือน้ำสกัดจากผลไม้ที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เต้าหู้

ถั่วเหลืองมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Glycin max (L.) Merr. เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Leguminosae มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Soja Bean หรือ Soybean เป็นพืชตระกูลถั่ว เนื่องจากในถั่วถั่วเหลืองมีสารอาหารต่างๆซึ่งประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามิน จึงทำให้ถั่วเหลืองมีสรรพคุณทางยาและคุณค่าทางอาหาร เช่น ใช้โยอาหารที่มีไขมันเมล็ดถั่วเหลืองเป็นอาหารของคนที่เป็นโรคเบาหวานแทนการฉีดอินซูลิน นอกจากนี้ในเมล็ดถั่วเหลืองยังมีเลซิทีนซึ่งเป็นสารบำรุงสมองช่วยเพิ่มความทรงจำ และลดคอเลสเตอรอลในร่างกายอีกด้วย ในการนำถั่วเหลืองมาใช้ประโยชน์นั้นส่วนใหญ่มักแปรรูปถั่วเหลืองเป็นนมถั่วเหลือง เต้าหู้ เต้าเจี้ยว และขนมหวานจากพวกเต้าส่วน ซึ่งล้วนแต่เป็นอาหารหรือส่วนประกอบในอาหารที่คนส่วนใหญ่รู้จักเป็นอย่างดี

เต้าหู้ เป็นผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองซึ่งให้คุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะโปรตีน ซึ่งให้โปรตีนมากกว่าเนื้อสัตว์บางชนิดถึง สองเท่าในปริมาณที่เท่ากันและมีราคาถูกอีกด้วย เต้าหู้ยังเป็นอาหารที่ย่อยง่าย ไม่มีคอเลสเตอรอล โดยวัตถุดิบ ถั่วเหลืองยังมีสารเลซิทีน ซึ่งมีผลในการลดไขมันและช่วยส่งเสริมการทำงานของระบบประสาทที่เกี่ยวกับความทรงจำ และฮอร์โมนจากพืช ไฟโตเอสโตรเจน ที่มีการวิจัยพบว่ามีผลในการป้องกันมะเร็งและมีผลดีต่อผู้หญิงวัยทองคือช่วยชะลอภาวะหมดประจำเดือนและลดความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งเต้านม 2.2.1 ความหมายของยลลี่ ได้มีผู้ให้ความหมายของยลลี่ไว้ 2 แนวคิด คือ

2.3.1 ชนิดของเต้าหู้

2.3.1.1 เต้าหู้ชนิดอ่อน

เต้าหู้ชนิดเหลืองนุ่ม วิธีการทำต่างจากเต้าหู้ขาวแข็งเพราะใช้แคลเซียมซัลเฟต (ผงยิปซัม) หรือที่เรียกในภาษาจีนแต้จิ๋วว่า"เจียะกอ") ในการทำให้โปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองตกตะกอน ซึ่งเนื้อจะเนียนและไม่แข็งเท่าเต้าหู้ขาวแข็ง เมื่อตกตะกอนแล้วนำมาใส่ผ้าขาวบางห่อในบล็อกให้เป็นก้อนแล้วนำไปต้ม ใส่ขมิ้นให้ได้สีเหลือง คุณสมบัติเด่นของเต้าหู้เหลืองนุ่มคือ เมื่อนำไปทอดแล้วจะทำให้ได้เต้าหู้ที่กรอบนอกนุ่มใน เต้าหู้ชนิดนี้เหมาะที่จะนำไปผัดกับก๋วยเตี๋ยวขาว ทอดจิ้มน้ำจิ้มเปรี้ยวหวาน ทอดกินกับน้ำพริกกะปิหรือทอดจิ้มกับน้ำจิ้มซีฟู้ดก็ได้ เต้าหู้ชนิดขาวอ่อน ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่อนนุ่มกว่าเต้าหู้เหลืองนึ่ง กรรมวิธีการผลิตเหมือนกับเต้าหู้เหลืองนึ่งจะต่างกันเพียงเวลาในการทำน้อยกว่า เต้าหู้ชนิดนี้นิยมนำไปทำเป็นแกงจืด เต้าหู้นึ่งหรือสแตกเต้าหู้ เต้าหู้ชนิดห่อผ้า วิธีการทำเหมือนกับเต้าหู้ชนิดขาวอ่อน ต่างกันเพียงการบรรจุหีบห่อที่นำมาห่อผ้าแล้วมัดทำให้แข็งและคงรูปร่างได้ดีมากขึ้นเมื่อนำไปทำอาหาร ส่วนใหญ่จะนำไปทำเต้าหู้ทรงเครื่องหรือแกงจืด

2.3.1.2 เต้าหู้ชนิดแข็ง

เต้าหู้ชนิดขาวแข็ง ทำจากน้ำเต้าหู้ผสมกับดึกเกลือ (แมกนีเซียมซัลเฟต) ที่ช่วยทำให้เกิดการตกตะกอนเมื่อตกตะกอนแล้วจึงนำไปใส่ในผ้าขาวที่ปูอยู่ในบล็อก พอสะเด็ดน้ำแล้วจึงห่อให้เป็นก้อนแล้วทำให้สะเด็ดน้ำอีกครั้งก็จะได้เป็นเต้าหู้ขาวแข็ง เต้าหู้ชนิดเหลืองแข็ง วิธีการทำนำเต้าหู้ขาวแข็งไปหมักในเกลือแล้วจึงนำไปต้ม พร้อมทั้งใส่ขมิ้นให้เป็นสีเหลืองเคลือบบริเวณผิวของเต้าหู้ ทำให้เนื้อเต้าหู้ชนิดนี้แข็งและมีความยืดหยุ่นกว่าชนิดขาวแข็ง ส่วนใหญ่นำไปทำผัดไทย หมี่กะทิ ผัดถั่วงอก ผัดขลุกลูกกวน้ำพริกเผาหรือนำไปผสมเป็นเครื่องถ้วยเตี้ยवलอด เต้าหู้ชนิดทอด มีส่วนประกอบคล้ายกับเต้าหู้ขาวแข็งแต่มีสัดส่วนและเทคนิคที่แตกต่างกัน เนื้อสัมผัสที่ได้จากเต้าหู้ชนิดนี้มีความอ่อนนุ่มกว่าเต้าหู้ขาวแข็ง เมื่อนำไปทอดแล้วจะพองตัวมากกว่าและภายในจะมีเนื้อเต้าหู้อยู่ไม่พองหรือคลวง โดยมากจะใส่ในอาหารประเภทต้ม (พะโล้ ต้มผัดจับฉ่าย แกงต่างๆ และลูกชิ้นแคะ) เต้าหู้ชนิดซีอิ้วดำ วิธีทำนำเต้าหู้ชนิดเหลืองแข็งไปเกี่ยวกับซีอิ้วดำและเครื่องเทศสมุนไพรต่างๆ เพื่อให้เกิดกลิ่นหอมและรสชาติที่แตกต่าง โดยใส่น้ำตาลทรายแดงทำให้มีรสชาติที่กลมกล่อมสามารถเก็บไว้ได้นานกว่าเต้าหู้ชนิดอื่นๆ เพราะมีความชื้นน้อย ถ้าเก็บใส่ช่องฟรีซจะเก็บไว้ได้นานหลายเดือน นิยมนำไปย่างกับเกลือไฟ ผัดกับคอกก๊วยซ่าย ใส่ในอาหารเจแทนเนื้อหมูในพะโล้เจหรือทานเป็นอาหารว่างก็ได้

2.3.1.3 เต้าหู้หลอด

เป็นเต้าหู้เนื้อนุ่มมีสองชนิดคือ ชนิดที่ทำมาจากถั่วเหลืองล้วนและชนิดที่ทำจากไข่ไก่ (เรียกว่าเต้าหู้ไข่ซึ่งไม่มีส่วนผสมของถั่วเหลืองแต่อย่างใด) นิยมนำมาใส่ในแกงจืด สุกียากี้ ทำเต้าหู้อบ เต้าหู้ตุ๋นหรือนำมาคลุกกับแป้งข้าวโพดแล้วทอด

2.3.1.4 เต้าหู้พวง

เป็นเต้าหู้หั่นเป็นชิ้นแล้วทอด ร้อยเชือกขายเป็นพวงใช้ใส่ในก๋วยเตี๋ยวเย็นตาโฟและพะโล้

2.3.1.5 เต้าหู้โมเมน

เป็นการผลิตแบบญี่ปุ่นเช่นกัน เนื้อเหมือนเต้าหู้ขาวอ่อนสามารถนำไปประกอบอาหารได้

เช่นเดียวกับเต้าหู้ขาวอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

2.4.1 วิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares method, PLS) เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร ในการสร้างตัวแบบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของตัวแปรสังเกตได้ (observed variable) โดยอาศัยตัวแปรแฝง (Latent Variable) การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ในการสร้างตัวแปรแบบเคมีเมตริกซ์ (chemometrics) และสเปกโทรเมตริก (spectrometric) (Boulesteix and Strimmer, 2006) และเรียกวิธีการนี้ว่า PLS-Regression หรือ PLS-R (partial least squares regression) ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงสถิติที่มีประสิทธิภาพสามารถรับมือกับข้อมูลที่มีจำนวนมิติมาก (มากกว่าจำนวนตัวอย่าง) ตัวแปรรบกวนจำนวนมาก ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเอง (collinearity) และมีค่าสูญหายในชุดข้อมูล นอกจากนี้ยังไม่มีข้อสมมุติเบื้องต้นเกี่ยวกับการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน (Johansson et al., 2003)

2.4.2 วิธี cross-validation test วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมในการทำงานวิจัย เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลเนื่องจากผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ การวัด ประสิทธิภาพด้วยวิธี cross-validation นี้จะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นหลายส่วน (มักจะแสดงด้วยค่า k) เช่น 5-fold cross-validation คือ การแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 ส่วน โดยที่แต่ละส่วนมีจำนวนข้อมูลเท่ากัน หรือ 10-fold cross-validation คือ การแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ส่วน โดยที่แต่ละส่วนมีจำนวนข้อมูลเท่ากัน หลังจากนั้นข้อมูลหนึ่งส่วนจะใช้เป็นตัวทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล ทำวนไปเช่นนี้จนครบจำนวนที่แบ่งไว้ (เอกสิทธิ์, 2558)

2.4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) เป็นค่าที่นำมาใช้วัดว่าตัวแบบสมการเชิงเส้นที่ได้มานั้นมีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ แต่อย่างไรก็ตามการมองเฉพาะค่า R^2 อย่างเดียวอาจไม่สามารถตอบได้ว่าตัวแบบสมการนั้นเหมาะสมหรือไม่ แต่ต้องมีการพิจารณาค่า R^2 ร่วมกับการวิเคราะห์แผนภาพเศษเหลือ และตัวสถิติอื่นๆ (สุวดี, 2014)

2.4.4 ความน่าเชื่อถือของการประมาณการโดยใช้ regression (root mean square error of calibration, RMSEC) และสามารถวัดได้จาก standard error of calibration (SEC) หรือ residual standard deviation (ณรงค์พันธุ์, 2549)

2.4.5 ความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (root mean square error of cross validation, RMSECV) เป็นการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้สมการ calibration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับค่าที่วิเคราะห์ได้ (measured value or true value) ถ้ามีค่าที่แตกต่างน้อยแสดงว่าสมการ calibration ใช้ทำการประเมินนี้มีประสิทธิภาพ ให้ค่าที่สามารถยอมรับได้ (ณรงค์พันธุ์, 2549)

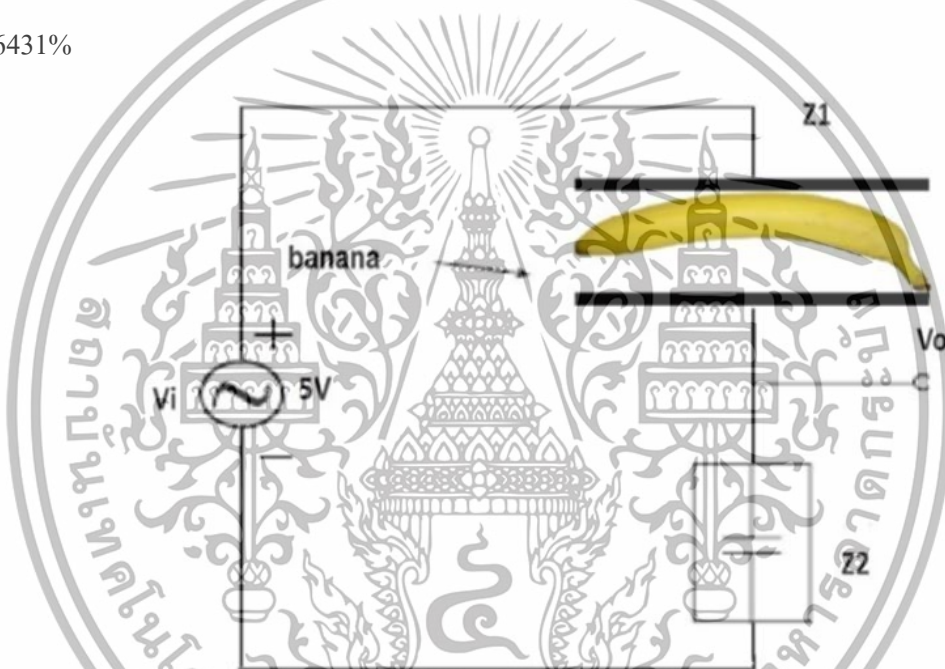
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 Kuson and Terdwongworakul (2012) ศึกษาการประเมินผลของการวัดช่วงการเจริญเติบโตของทุเรียน โดยใช้การวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบทำลายน้อยที่สุด จะทำโดยการใช้อิมพีแดนซ์สเปกโทรสโกปีเชิงเคมีไฟฟ้า ซึ่งการประเมินคุณสมบัติต่างๆ ของผลไม้โดยไม่ทำลายหรือทำลายน้อยที่สุด เป็นเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์มากกับอุตสาหกรรมและการส่งออกก่อนการจำหน่ายสู่ผู้บริโภคให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นข้อมูลความต้านทานไฟฟ้าของก้านและเปลือกได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็น EIS พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะทำนายความสุกโดยมีการอ้างอิงจากน้ำหนักแห้ง พารามิเตอร์ที่ได้รับการคัดเลือกจะมาจาก stepwise regression ค่าความต้านทานของรอยต่อระหว่างก้านหรือ CS และค่าความจุของเปลือกจะทำให้การทำนายสมบูรณ์ที่สุด ในการจัดรูปแบบสมการ โมเดลของทุเรียนที่สุกและยังไม่สุกแบบ 5EIS พารามิเตอร์ (ZmaxLP, CminRI, CmaxRI, RpkRI, XmaxRI) ผลของประสิทธิภาพก่อนข้างคีความถูกต้องโดยรวมคือ 83.3% และ 5EIS พารามิเตอร์ยังเป็นวิธีวัดที่ทำลายน้อยที่สุด แม้ว่าการทำนายจะมีความถูกต้องปานกลางแต่เป็นเทคนิคที่ง่ายต่อการวัดโดยการกำหนดให้วัดเพียง 3 ที่คือ ก้านส่วนล่าง รอยต่อระหว่างก้านและเปลือก

2.5.2 การตรวจสอบความเป็นกรดของส้มตระกูลการ์ตโดยใช้การวัดความต้านทานทางไฟฟ้า การวัดความต้านทานทางไฟฟ้าสามารถตรวจสอบความเป็นกรดของส้มตระกูลการ์ต (Garut citrus fruit) ขึ้นอยู่กับความถี่และค่าทางไฟฟ้า มีผลต่อค่าความเป็นกรดอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรดนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า ความต้านทานต่อน้ำหนัก ปฏิกริยาต่อน้ำหนัก การเหนี่ยวนำต่อน้ำหนัก และความต้านทานต่อน้ำหนักของส้มตระกูลการ์ตลดลงเมื่อค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความจุต่อน้ำหนักของส้มตระกูลการ์ตเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอช ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและค่าทางไฟฟ้าประมาณการโดยใช้หลายการถดถอย ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความถี่ 1 MHz ดังนั้นการวัดความต้านทานทางไฟฟ้าของส้มตระกูลการ์ตมีประสิทธิภาพสูงในการทำนายความเป็นกรดของส้มตระกูลการ์ตโดยไม่ทำลาย (Juansah et al., 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การทำนายคุณภาพกล้วยสุกในช่วงขั้นตอนการใช้ระบบการตรวจวัดตัวเก็บประจุ Soltani et al. (2010) ศึกษาตัวเก็บประจุของกล้วยเพื่อเป็นการประเมินความสุกของผลกล้วย เพื่อศึกษาการควบคุมการรักษาสุก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความถี่คลื่นไซน์ที่มีตัวอย่างแผ่นขนานเก็บประจุ ถูกใช้ในการขยายความแตกต่างในความจุทางไฟฟ้าที่เกิดจากการนำของผลกล้วยเข้าไปในเซ็นเซอร์ ผลกล้วยถูกส่งไปวัดก่อนการรักษาเอทิลีนในวันแรกและหลังการรักษาเป็นเวลาห้าวัน มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มีคุณภาพของผลกล้วย ผลไม้สีเขียวกล้วยสุกมี permittivity มีขนาดใหญ่มากกว่าผลที่เต็มสุก permittivity ที่ลดลงเป็นผลมาจากขั้นตอนที่สุก ความถี่ที่ดีที่สุดของคลื่น ไซน์คือ 1 MHz permittivity ที่ความถี่นี้เปลี่ยนจาก 1.7433% สำหรับกล้วยสีเขียว ส่วนกล้วยสุกจะ 1.6431%



ภาพที่ 2.2 แสดงภาพวงจรการวัดตัวเก็บประจุของกล้วย (capacitance sensing system)

ที่มา: Soltani et al. (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุดิบ

3.1.1.1 เซลล์ผงสำเร็จรูปยี่ห้อ imperial

3.1.1.2 ถั่วเหลืองยี่ห้อเอโร

3.1.2 อุปกรณ์

3.1.2.1 ชุดถ้วยพร้อมแท่งวัด

3.1.2.2 กระจกอนพลาสติก

3.1.2.3 ถ้วยพลาสติกแบบเจาะรู

3.1.2.4 ถ้วยกระเบื้องเซรามิก

3.1.2.5 ผ้าขาวบาง

3.1.2.6 ซ้อนพลาสติก

3.1.2.7 หัววัด P/0.5R

3.1.2.8 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

3.1.2.9 เทอร์โมมิเตอร์

3.1.2.10 กระจกบอกล้วยตวงพลาสติก 250 ml

3.1.2.11 แผ่นกระเบื้องขนาด 30.5x61.0x1 ซม

3.1.2.12 กระจกยทึบ

3.1.2.13 หัววัด P/25 cylinder

3.1.2.14 ชุดข้อต่อยาว + ฐานหกเหลี่ยม

3.1.2.15 หม้อขนาด 55 ซม

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (magnesium sulfate heptahydrate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 เครื่องมือ

- 3.1.4.1 เครื่อง LCR meter ยี่ห้อ GW Instek รุ่น LCR800
- 3.1.4.2 เครื่อง TA.HD plusC Texture Analyser
- 3.1.4.3 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 2 ตำแหน่ง
- 3.1.4.4 เตาแผ่นความร้อนไฟฟ้า imarflex IF-412
- 3.1.4.5 เครื่องปั่น PHILIPS รุ่น HR2118
- 3.1.4.8 โปรแกรม Unscrambler[®] version 9.7 (Camo, Oslo, Norway)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับวัดค่าทางไฟฟ้าที่เหมาะสมกับเยลลี่และเต้าหู้อ่อน

3.2.2 การเตรียมเยลลี่และการเตรียมเต้าหู้

3.2.2.1 การเตรียมเยลลี่

เริ่มจากการนำผงเยลลี่สำเร็จรูปยี่ห้อ imperial มาชั่งในปริมาณอัตราส่วนของผงที่แตกต่างกัน โดยเริ่มจากผงเยลลี่ 41.5 กรัม จนถึง 149.5 กรัม จากนั้นใส่น้ำอุ่นอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ปริมาตร 300 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน จนให้ผงเยลลี่ละลายหมด จากนั้น นำไปกรองด้วยผ้าดิบหรือผ้าขาวบาง ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายค่อยๆ หยอดผ่านตัวเองโดยไม่ต้องบีบ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง จากนั้นนำเข้าสู่เย็นอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.2.2.2 การเตรียมเต้าหู้

เริ่มจากการนำเมล็ดถั่วเหลืองยี่ห้อเอโรไปแช่น้ำ 4-5 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปั่นโดยใช้อัตราส่วนของถั่ว 250 กรัมต่อน้ำ 1.5 ลิตร ใช้ผ้าขาวบางกรองเพื่อแยกส่วนของกากถั่วเหลืองกับน้ำออกจากกัน นำส่วนที่เป็นน้ำมาต้มให้เดือด ตั้งไว้ประมาณ 20 นาที จากนั้นใส่ magnesium sulfate หรือดีเกลือลงไป ½ ช้อนโต๊ะคนให้เข้ากัน จะเกิดการแยกชั้นของตะกอนโปรตีนและน้ำ นำส่วนตะกอนของโปรตีนที่ห่อด้วยผ้าขาวบางมาใส่ในถ้วยที่เจาะรูไว้แล้ว นำถ้วยพลาสติกอีกใบมาวางข้างบน พร้อมกับนำแผ่นกระเบื้องมาวางทับข้างบนสุด ให้เกิดน้ำหนักขึ้นเพื่อรีดน้ำในตะกอนของโปรตีนออกตามช่วงเวลาต่างๆ เพื่อให้เกิดความแน่นเนื้อที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วัดค่าทางไฟฟ้า

นำชุดถ้วยพร้อมแท่งวัดประกอบเข้ากับเครื่อง LCR meter ยี่ห้อ GW Instek รุ่น LCR800 จากนั้นต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการติดตั้งโปรแกรมเพื่อสามารถเก็บค่าได้อัตโนมัติ 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 จากนั้นกดบันทึกผลที่วัดได้ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนความถี่และประเภทค่าทางไฟฟ้า

3.2.2 วัด Texture analysis

ใช้เครื่องวัด TA.HD plusC Texture Analyser

3.2.2.1 เซลล์ จะใช้หัววัด P/0.5R ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว ความเร็วในการทดสอบ 1.0 mm/s ความเร็วก่อนการทดสอบ 1.5 mm/s ความเร็วหลังการทดสอบ 1.0 mm/s ความลึกของการเจาะ 4 mm หน่วยของความแน่นเนื้อเป็น N

3.2.2.1 เต้าหู้ จะใช้หัววัด P/25 cylinder ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม ความเร็วในการทดสอบ 2.0 mm/s ความเร็วก่อนการทดสอบ 1.0 mm/s ความเร็วหลังการทดสอบ 2.0 mm/s ความลึกของการเจาะ 25 mm

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

กำหนดให้ ค่าความยาวคลื่นเป็นตัวแปรต้น (x) และกลุ่มเนื้อสัมผัสของเซลล์กับเนื้อสัมผัสของเต้าหู้เป็นตัวแปรตาม (y)

3.2.3.1. แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (prediction set) โดยแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลเท่าๆกัน โดยแบ่งเป็นกลุ่ม calibration set เป็นจำนวนไม่เกิน 70 เฟอร์เซ็นต์และแบ่งเป็นกลุ่ม prediction set เป็นจำนวนไม่ต่ำกว่า 30 เฟอร์เซ็นต์

3.2.3.2. นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยที่ได้ของแต่ละตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการทำ pretreatment ข้อมูลสเปกตรัมด้วยวิธีการต่างๆและสร้างสมการเพื่อใช้ในการคัดแยก

3.2.3.3. ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี partial least squares – discriminant analysis (PLS-DA) โดยเลือกสมการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการพิจารณา ที่ค่า R (coefficient of correlation) ให้มีค่าสูงสุด, RMSECV (root mean square error of cross validation) ต้องมีค่าต่ำที่สุด

และพิจารณาจาก factor ที่มีค่าต่ำที่สุดด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.4 จากข้อมูลกลุ่ม calibration เมื่อได้สมการ calibration มาให้นำสมการที่ได้ไปใช้ในการคัดแยกตัวอย่างในกลุ่ม Prediction set เพื่อดูความแม่นยำของ สมการ โดยใช้โปรแกรม The Unscambler (version 9.7, Camo, Oslo, Norway)

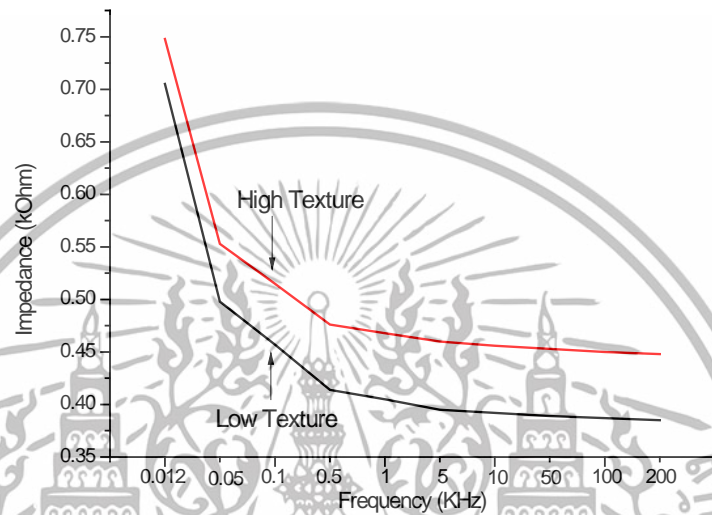


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

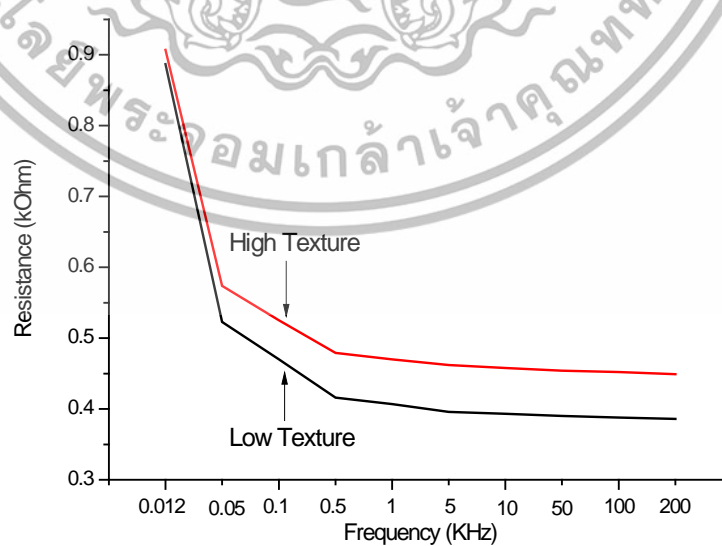
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 เยลลี่



ภาพที่ 4.1 เปรียบเทียบค่า impedance ของเยลลี่ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

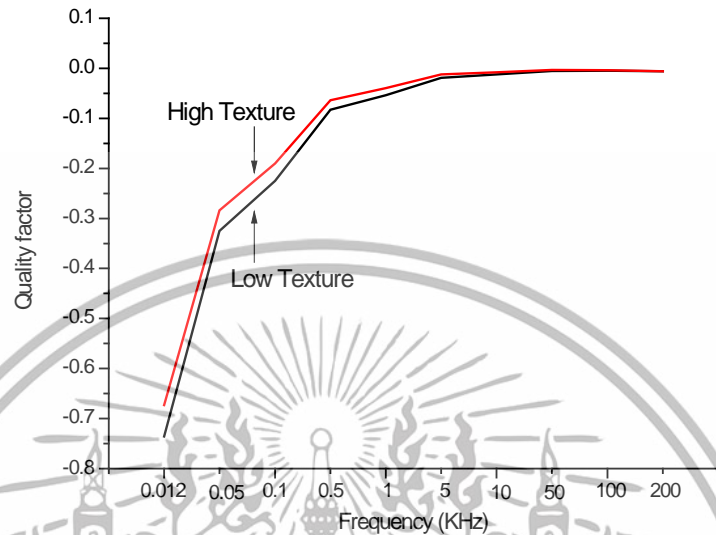
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเยลลี่ที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.1 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเยลลี่ที่มี texture สูงจะมีค่า impedance ที่สูงกว่าในทุกช่วง ความถี่ที่ texture ต่ำ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า resistance ของเยลลี่ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

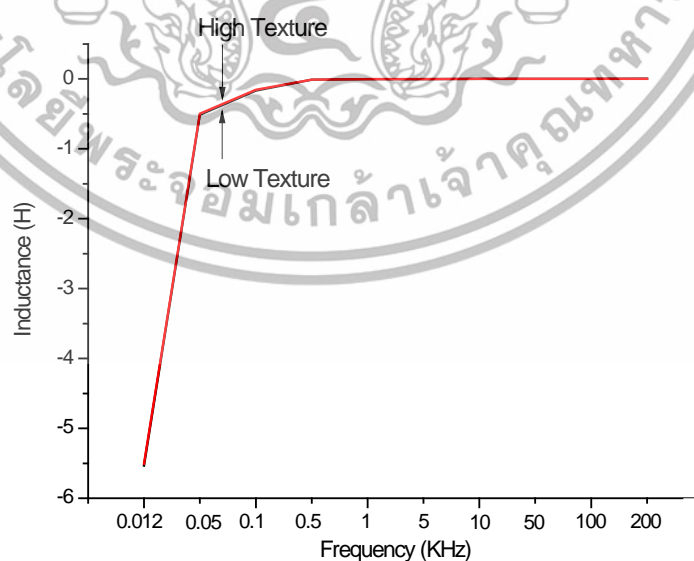
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเมล็ดที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.2 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเมล็ดที่มี texture สูงจะมีค่า resistance ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).



ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบค่า quality factor ของเมล็ด 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

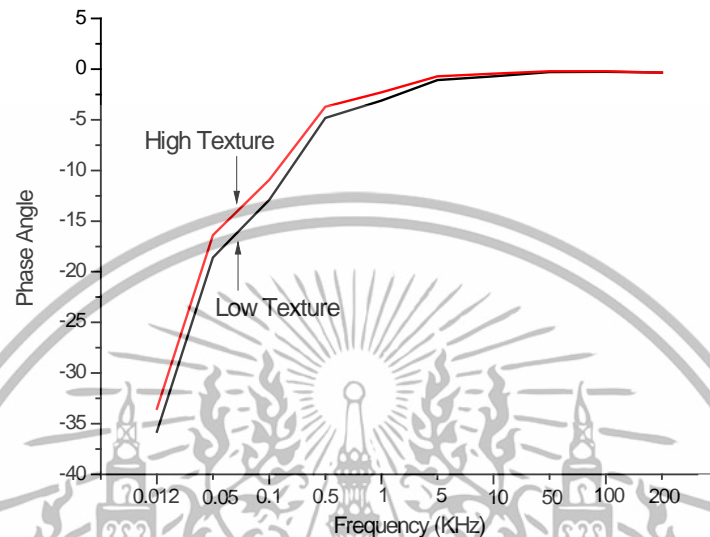
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเมล็ดที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.3 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเมล็ดที่มี texture สูงจะมีค่า quality factor ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบค่า inductance ของเมล็ด 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

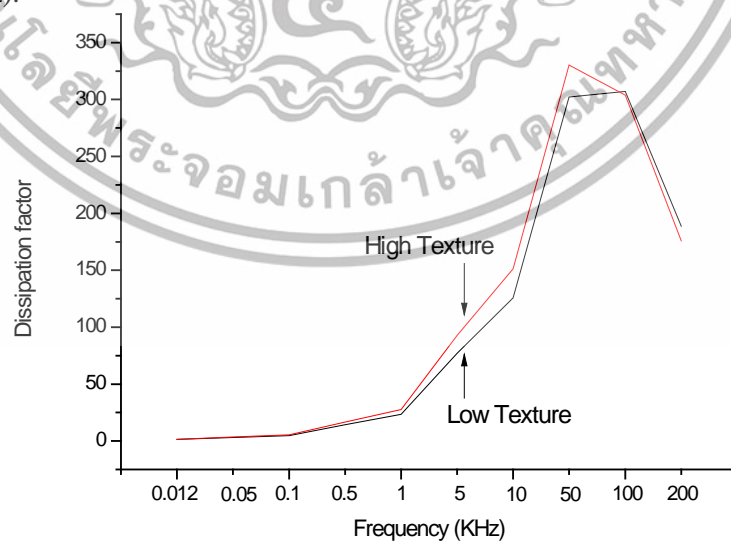
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเซลล์ที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.4 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเซลล์ที่มี texture สูงจะมีค่า inductance ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบค่า phase angle ของเซลล์ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

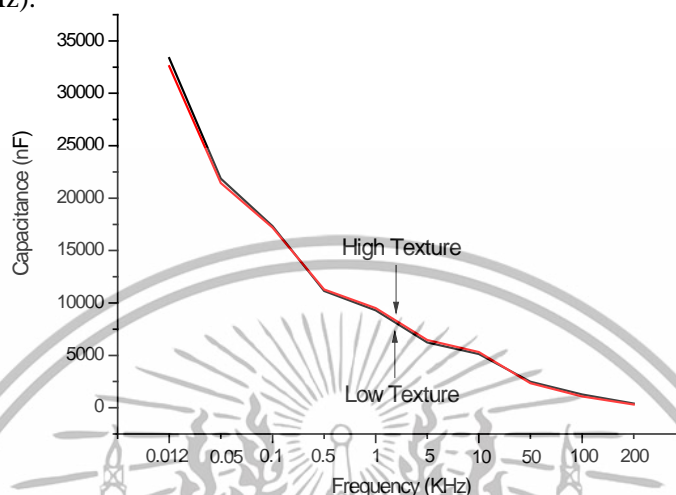
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเซลล์ที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.5 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเซลล์ที่มี texture สูงจะมีค่า phase angle ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของเซลล์ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเมล็ดที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.6 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเมล็ดที่มี texture สูงจะมีค่า dissipation factor ที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำ ในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า capacitance ของเมล็ด 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเมล็ดที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.7 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเมล็ดที่มี texture สูงจะมีค่า capacitance ที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำ ในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).

เปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างของ calibration และกลุ่มของ prediction ในตารางที่ 4.1 ช่วงของ prediction จะอยู่ในช่วงของ calibration ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ calibration และ prediction มีความคล้ายคลึงกัน

ตาราง 4.1 การเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างของ calibration และกลุ่มของ prediction ของเมล็ด

	Texture	
	Calibration Set	Prediction Set
N	99	49
Range (N)	16.50-43.10	16.70-42.80
Average (N)	0.26	0.27
SD (N)	0.12	0.12

^{*}N = number of samples, SD = standard deviation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าทางไฟฟ้าของความถี่ทั้งหมดที่ทำการทดสอบ (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 kHz) ถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรตาม แบบจำลองการสอบเทียบสำหรับพื้นผิวได้รับการพัฒนาโดยใช้ PLSR และตรวจสอบความถูกต้องโดยตัวอย่างในชุดการสอบเทียบ (จำนวนข้อมูล = 81) ข้อมูลจะถูกปรับและแก้ไขเพื่อนำมาใช้แบบดีที่สุดของตัวแบบ ผลการวิจัยพบว่าข้อมูลต้นฉบับให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดตามตารางที่ 4.2

ดังนั้นข้อมูลต้นฉบับ texture ของ calibration model จึงถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองการสอบเทียบในการศึกษา

ตาราง 4.2 การวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากการปรับและแก้ไขโดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในชุดการสอบเทียบของเซลล์

Pretreatment	N	F	R ²	RMSECV(N)
Original	81	14	0.666	0.132
Smoothing7	81	5	0.611	0.143
1 st Derivatives	81	14	0.634	0.137
2 nd Derivatives	81	14	0.656	0.133
SNV	81	14	0.588	0.145
MSC	81	10	0.553	0.152

R² = Coefficient of determination

F = Number of factors

RMSECV = root mean square error of cross validation

SNV = Standard normal variate

MSC = Multiplicative Scatter Correction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองการสอบเทียบสำหรับชุดการทำนาย (จำนวนข้อมูล = 39) เพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง ตาราง 4.3 แสดงผลลัพธ์ของประสิทธิภาพของแบบจำลอง ($R^2 = 0.666$ และ $RMSEC = 0.13$ N) และความแม่นยำของแบบจำลอง ($R^2 = 0.636$, $RMSEP = 0.13$ N) ซึ่งบ่งชี้ว่าแบบจำลองสามารถใช้ในการทำนายได้

ตาราง 4.3 ผลลัพธ์ทางสถิติของแบบจำลอง PLSR สำหรับ texture ของเมล็ด

Sample set	Texture				
	N	F	R^2	RMSEC(N)	RMSEP(N)
Calibration	81	14	0.666	0.13	-
Prediction	39	14	0.636	-	0.13



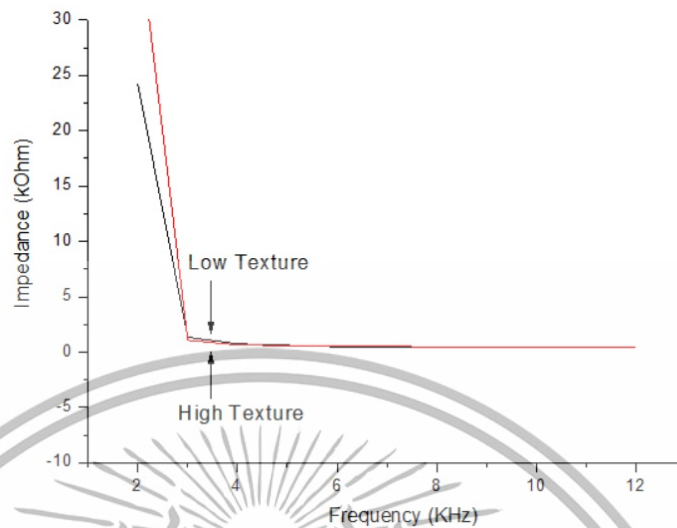
ภาพที่ 4.8 แผนการกระจายของพื้นผิวจริงและพื้นผิวที่คาดการณ์ไว้

ในชุดการสอบเทียบ (a) และในชุดการทำนาย (b)

รูปที่ 4.8 (a) แสดงประสิทธิภาพของโมเดลการสอบเทียบสำหรับพื้นผิวเมื่อทำการทดสอบกับตัวอย่างในชุดการสอบเทียบและรูปที่ 4.8 (b) แสดงความแม่นยำของโมเดลการสอบเทียบสำหรับพื้นผิวเมื่อทำการทดสอบกับตัวอย่างในชุดการทำนาย

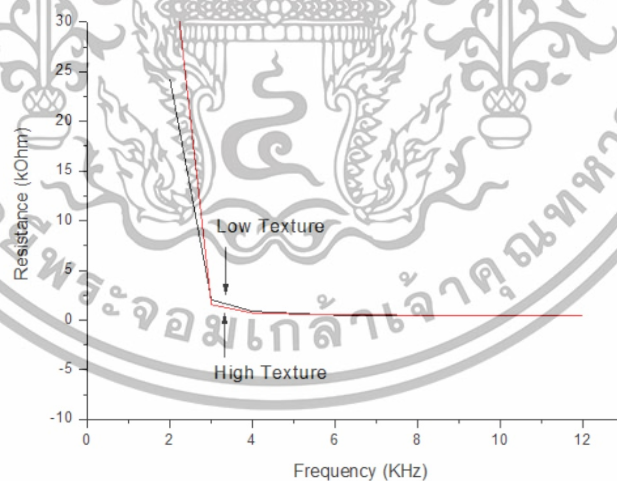
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เต้าหู้



ภาพที่ 4.9 เปรียบเทียบค่า impedance ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

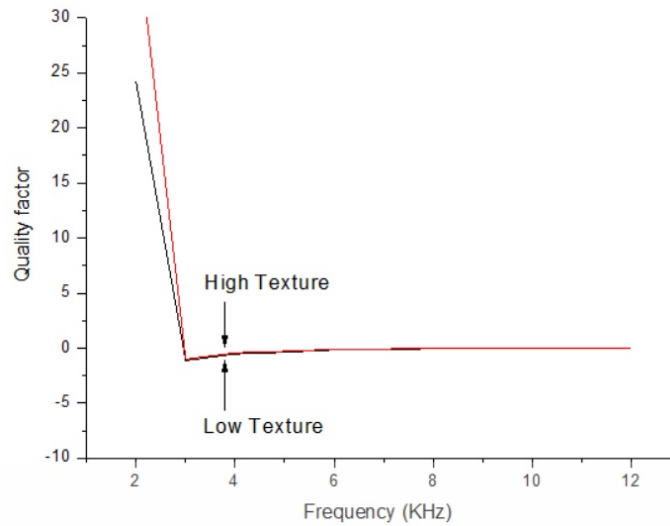
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเต้าหู้ที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.9 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเต้าหู้ที่มี texture สูงจะมีค่า impedance ที่ไม่แตกต่างอย่าง อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).



ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบค่า resistance ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

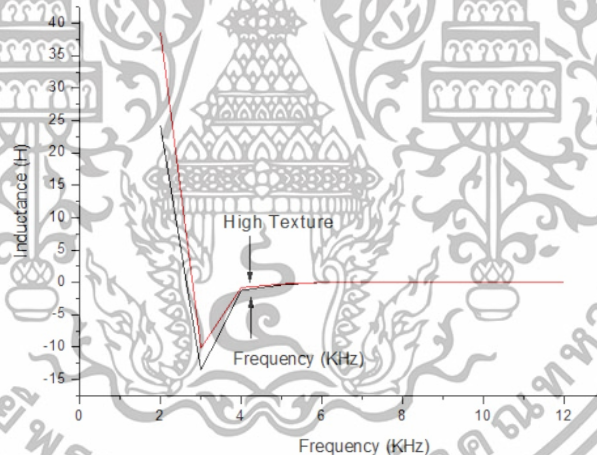
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเต้าหู้ที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.10 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเต้าหู้ที่มี texture สูงจะมีค่า resistance ที่ไม่แตกต่างอย่าง อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบค่า quality factor ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

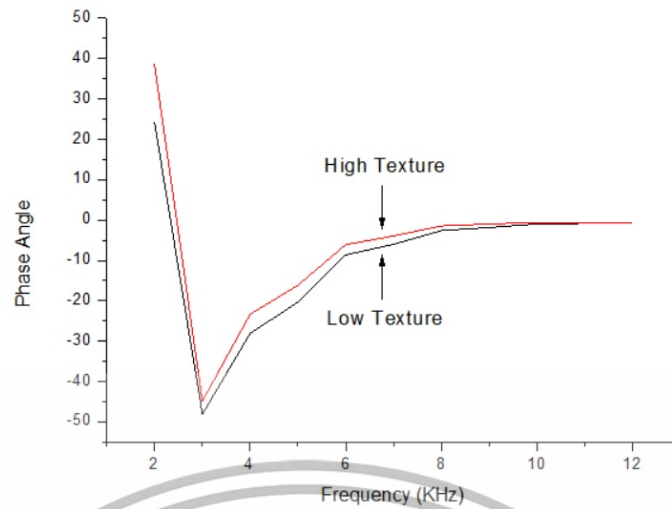
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเต้าหู้ที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.11 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเต้าหู้ที่มี texture สูงจะมีค่า quality factor ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).



ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบค่า inductance ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

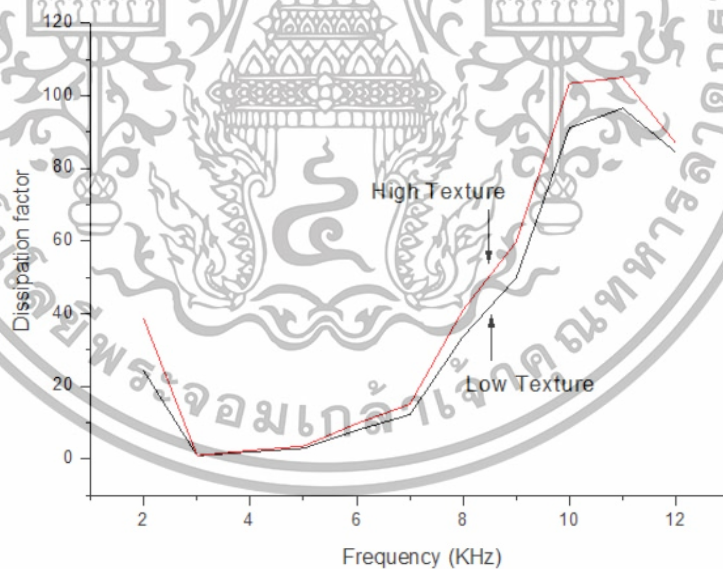
เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเต้าหู้ที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.12 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเต้าหู้ที่มี texture สูงจะมีค่า inductance ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบค่า phase angle ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเต้าหู้ที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.13 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเต้าหู้ที่มี texture สูงจะมีค่า phase angle ที่ไม่แตกต่าง อย่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).



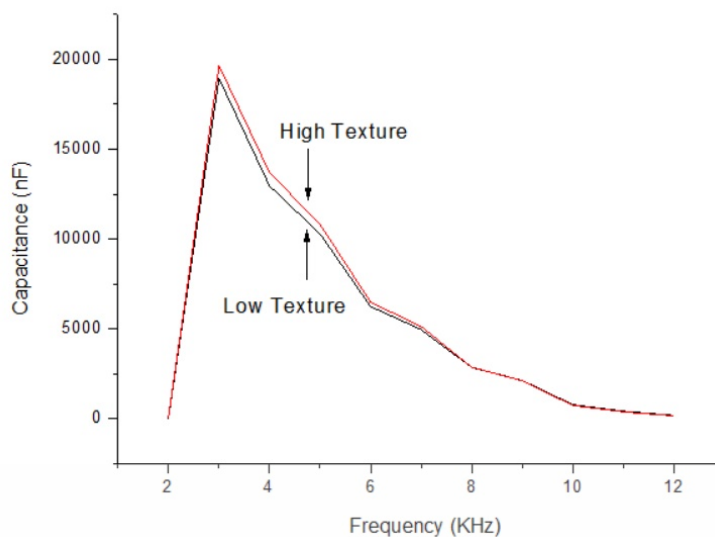
ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบค่า dissipation factor ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเต้าหู้ที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.14 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเต้าหู้ที่มี texture สูงจะมีค่า dissipation factor ที่แตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำในทุกความถี่

(0.012-200 kHz).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบค่า capacitance ของเต้าหู้ 2 กลุ่มที่มี texture ต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างของเต้าหู้ที่มี texture ต่างกัน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือที่มี texture สูงและ texture ต่ำ ในภาพที่ 4.15 ผลเปรียบเทียบพบว่า กลุ่มเต้าหู้ที่มี texture สูงจะมีค่า capacitance ที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเทียบกับกลุ่ม texture ต่ำ ในทุกความถี่ (0.012-200 kHz).

เปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างของ calibration และกลุ่มของ prediction ในตารางที่ 4.4 ช่วงของ prediction จะอยู่ในช่วงของ calibration ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ calibration และ prediction มีความคล้ายคลึงกัน

ตาราง 4.4 การเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างของ calibration และกลุ่มของ prediction ของเต้าหู้

	Texture	
	Calibration Set	Prediction Set
N	65	32
Range	10.44-48.34	16.20-48.15
Average	31.20	31.54
SD	8.96	8.69

N = number of samples, SD = standard deviation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าทางไฟฟ้าของความถี่ทั้งหมดที่ทำการทดสอบ (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 และ 200 kHz) ถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรตาม แบบจำลองการสอบเทียบสำหรับพื้นผิวได้รับการพัฒนาโดยใช้ PLSR และตรวจสอบความถูกต้องโดยตัวอย่างในชุดการสอบเทียบ (จำนวนข้อมูล = 65) ข้อมูลจะถูกปรับและแก้ไขเพื่อนำมาใช้แบบดีที่สุดของตัวแบบ ผลการวิจัยพบว่าข้อมูลที่ถูกรับและแก้ไขแบบ Smoothing5 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดตามตารางที่ 4.5

ดังนั้นมูลต้นฉบับ texture ของ calibration model จึงถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองการสอบเทียบในการศึกษา

ตาราง 4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากการปรับและแก้ไขโดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในชุดการสอบเทียบของเต้าหู้

Pretreatment	N	F	R ²	RMSECV(N)
Original	65	7	0.524	6.33
Smoothing5	65	5	0.578	5.91
1 st Derivatives	65	14	0.553	6.04
2 nd Derivatives	65	14	0.481	6.29
SNV	65	14	0.423	6.80

R² = Coefficient of determination

F = Number of factors

RMSECV = root mean square error of cross validation

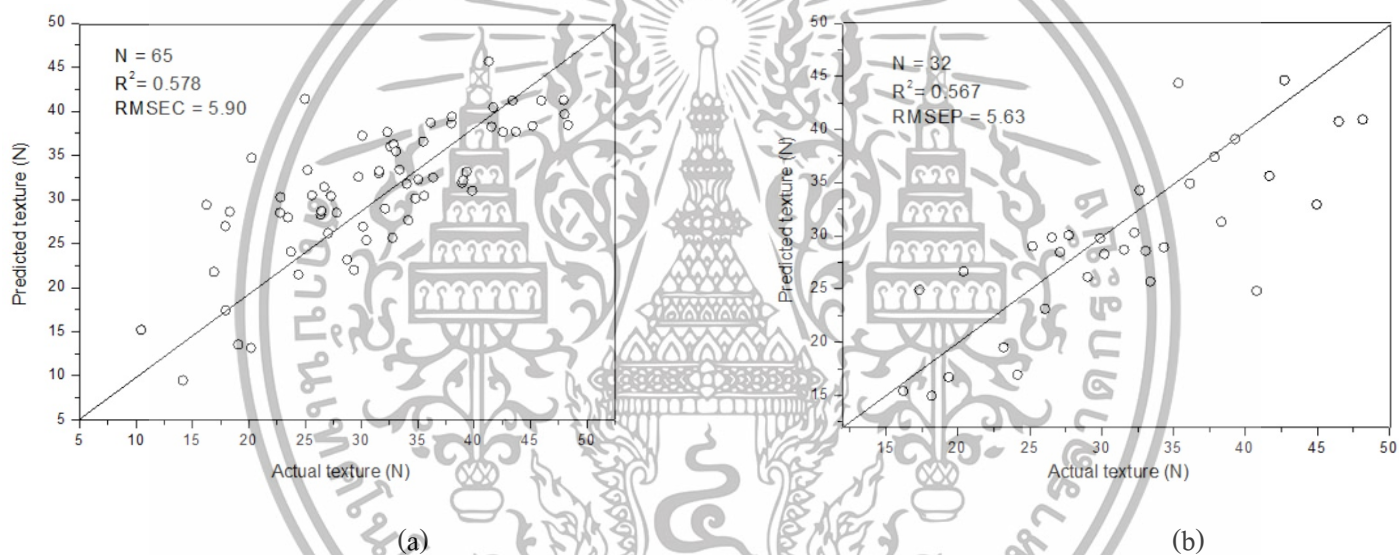
SNV = Standard normal variate

แบบจำลองการสอบเทียบสำหรับชุดการทำนาย (จำนวนข้อมูล = 32) เพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง ตารางที่ 4.6 แสดงผลลัพธ์ของประสิทธิภาพของแบบจำลอง (R² = 0.578 และ RMSECV = 5.90 N) และความแม่นยำของแบบจำลอง (R² = 0.567, RMSEP = 5.63 N) ซึ่งบ่งชี้ว่าแบบจำลองสามารถใช้ในการทำนายได้.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.6 ผลลัพธ์ทางสถิติของแบบจำลอง PLSR สำหรับ texture ของเต้าหู้

Sample set	Texture				
	N	F	R ²	RMSEC(N)	RMSEP(N)
Calibration	65	14	0.578	5.90	-
Prediction	32	14	0.567	-	5.63



ภาพที่ 4.16 แผนการกระจายของพื้นผิวจริงและพื้นผิวที่คาดการณ์ไว้

ในชุดการสอบเทียบ (a) และในชุดการทำนาย (b)

รูปที่ 4.16 (a) แสดงประสิทธิภาพของโมเดลการสอบเทียบสำหรับพื้นผิวเมื่อทำการทดสอบกับ

ตัวอย่างในชุดการสอบเทียบและรูปที่ 4.16 (b) แสดงความแม่นยำของโมเดลการสอบเทียบสำหรับ

พื้นผิวเมื่อทำการทดสอบกับตัวอย่างในชุดการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเรื่อง การทำนายเนื้อสัมผัสของเยลลี่และเต้าหู้อ่อนแบบไม่ทำลายโดยใช้สมการหลายตัวแปร ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1. ในการทำนายค่า Texture ของเยลลี่โดยการสร้างสมการจากตัวแปรอิสระหลายตัวแปร ได้แก่ capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factor และ phase angle และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความแน่นเนื้อ พบว่าการใช้ข้อมูลต้นฉบับให้ผลลัพธ์ดีที่สุดได้ค่า $R^2 = 0.64$, RMSEP = 0.13 N. สมการที่ได้สามารถนำมาใช้ทำนายได้ปานกลาง

5.2. ในการทำนายค่า Texture ของเต้าหู้โดยการสร้างสมการจากตัวแปรอิสระหลายตัวแปร ได้แก่ capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factor และ phase angle และคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความแน่นเนื้อ พบว่าการใช้ข้อมูลต้นฉบับให้ผลลัพธ์ดีที่สุดได้ค่า $R^2 = 0.57$, RMSEP = 5.63 N. สมการที่ได้สามารถนำมาใช้ทำนายได้ปานกลาง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการทำการทดลองอาจมีความผิดพลาดเนื่องมาจากการวัด ดังนั้นควรมีความระมัดระวังในการใช้เครื่องมือทุกครั้งเพื่อลดการคลาดเคลื่อนของการทดลองให้น้อยที่สุด

5.3.2 การใช้เครื่อง LCR800 ต้องทำการ calibrate เครื่องทุกครั้งก่อนทำการวัดค่าทางไฟฟ้า และต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้อง ระยะการเสียบลงไปในตัวอย่างควรเท่ากันทุกครั้ง เพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของค่าทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ณรงค์พันธุ์ รัตนปนัดดา. 2552. โปรตีนของแป้งสาลี. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<https://research.dusit.ac.th/menu/abstra/abstract/full/sci/narungpan/ch2.pdf>

นวนพลุต กิตติอมรกุล. 2558. บทที่ 6 วงจรกรองความถี่ (Filter circuit). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<https://navapadol.files.wordpress.com/2015/09/e0b89ae0b897e0b897e0b8b5e0b988-6.pdf>

สมศักดิ์ เสนาใหญ่. 2554. ความจุไฟฟ้า (capacitance). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

[http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/339-%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%88%E0%B8%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2+\(Capacitance\)?groupid=40](http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/339-%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%88%E0%B8%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2+(Capacitance)?groupid=40)

สุพจน์ ตุงคเสรวงศ. 2553. บทที่ 2 ตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้ามาตรฐานและตัวเก็บประจุไฟฟ้ามาตรฐาน

(Standard Inductor and Capacitor). มาตรฐานวิทยุ การสอบเทียบมาตรฐานไฟฟ้า. 2552: 063

สุวดี น้าพาเจริญ และชลธิชา จำรัสพร. 2557. R-Squared. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php

อดิศร มาตรฐานันนา. 2556. เฟสและเฟสเซอร์โคออร์ดิเนต. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<https://wiki.stjohn.ac.th/groups/poly1/wiki/06f38/>

เอกสิทธิ์ พิชรวงศ์ศักดิ์. 2558. การแบ่งข้อมูลเพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล. [ออนไลน์].

เข้าถึงได้จาก: <http://dataminingtrend.com/2014/data-mining-techniques/cross-validation/>

Boulesteix and Strimmer. 2006. Partial least squares method (PLS). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files/53810233/chapter2.pdf

Harrington, R. F. 2001. Time-Harmonic Electromagnetic Fields. New York. USA : Reissued

original 1961

Heaviside, O. 1886. The Electrician, p. 212. Devon. England: AMS Bookstore.

Johansson, D. et al. 2003. Partial least squares method (PLS). [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files/53810233/chapter2.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Juansah, J. I W. Budiastira, K. Dahlan and K.B. Seminar. 2012. The prospect of electrical impedance spectroscopy as nondestructive evaluation of citrus fruits acidity. *International journal of engineering & technology* 12(4): 1-8
- Kuson, P., A. Terdwongworakul. 2012. Minimally-destructive evaluation of durian maturity based on electrical impedance measurement. *Journal of Food Engineering* 116:50
- Ramo, S., J.R. Whinnery, and T. Van Duzer. 1994. *Fields and waves in communication electronics*. New York. USA: John Wiley and sons.
- Soltani, M., R. Alimardani and M. Omid. 2010. Prediction of banana quality during ripening stage using capacitance sensing system. *AJCS*, 4(6): 443-447.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.1 เตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.2 ผลิตภัณฑ์เฮลตี้และการทดสอบความแน่นเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.3 เตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.4 ผลิตภัณฑ์เต้าหู้อ่อนและการทดสอบความแน่นเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



January 22-24 2019

Japan

Hokkaido

ACENS
Asian Conference on
Engineering and Natural Sciences

ISFAS
International Symposium on
Fundamental and Applied Sciences




เจ้ากรรมนายเวร เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACENS-0313

Non-Destructive Prediction of Jelly for the Elderly Using Electrical Technique

Poonnada Onnom, Sontisuk Teerachaichayut

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

E-mail: ponnutcha_ice@hotmail.com, sontisuk.te@kmitl.ac.th

Abstract

Jutarat Saengtong (2017) reported that in the last decade, Thailand has become an increasingly aging society as the elderly population continues to grow. As people get older food texture become increasingly important since they can relate to health risks in the elderly and foods with softer textures have been developed to help the elderly who have trouble chewing or swallowing. A nondestructive technique to measure the softness of foods would be an important addition to the food manufacturing industry to help produce and market foods that are suitable for such elderly people. In this study, an electrical measuring technique was used to determine the texture of jelly, which was used as a model for soft foods. Jelly samples with different level of softness were produced, and the texture of each sample was taken using its electrical properties. These properties were capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factors and phase angle at various frequencies (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 and 200 kHz). Partial least squares regression (PLSR) was used to develop the calibration model for the texture. A set of 81 samples was used for calibration and a set of 39 samples was used for prediction and the original data were used to develop the model for texture. The performance of the model for the texture from the calibration set obtained had a coefficient of determination (R^2) of 0.67 and the root mean square error of cross-validation (RMSECV) of 0.13 N. The accuracy of the model in the prediction set had a R^2 of 0.64 and the root mean square error of prediction (RMSEP) of 0.13 N. It was therefore concluded that the electrical measuring technique tested be used to determine the texture of food such as jelly.

Keywords: nondestructive, calibration, prediction, accuracy, electricity

16. Background

In 2015, the proportion of the elderly population in Thailand was 15.8 percent, which was higher than the average for the rest of the world at 12.3 percent (United Nation, 2015). Also they predicted that the elderly population of Thailand will reach 25 percent in 2030. Chunharas, et al. (2012) commented that these changes indicate that Thailand will become an aged society. Phonnarit (2003) reported that due to the dietary habits of many elderly people, these changes will bring dietary problems to that could affect health as well as body

and mind of the elderly. Whenever the main systems of the human body have grown to their limitation, internal and external changes can lead to decay. For the elderly, the function of the nervous system is reduced. Problems with teeth are very common. The salivary glands secrete less, causing less effective chewing food in the mouth. When food reaches the stomach and small intestine, there can be problems of digestion and absorption because gastric juices in the stomach and small intestine are less, resulting in food being insufficiently digested (Supatra, 2012). Many elderly people prefer to consume soft foods in order to facilitate and improve digestion so the texture of food is a most important factor that impacts the health of the elderly and some **food factories have produced softer foods specifically for the elderly. A nondestructive technique that could be used on the production lines of food factories could be used for quality control of the texture particularly for the production of food products for the elderly. Electrical measurement techniques that are nondestructive, convenient and cheap have previously been used to measure the internal quality of fruits such as bananas (Sotalni, et al., 2010), durians (Kuson and Terd Wongworakul, 2012) and limes (Huong and Teerachaichayut, 2017). Therefore electrical measurement techniques were tested for their application in measuring the texture of soft foods with jelly used as a model for testing,**

17. Methods

Samples of jelly were produced by adjusting ingredients and process conditions in order to obtain the different textures. Each sample (200 ml) was filled into the same size of a plastic cap. A total of 120 samples with various textures were used in this study. The electrical parameters of each sample were measured. These were capacitance, inductance, impedance, resistance, dissipation factor, quality factors and phase angle at various frequencies (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100 and 200 kHz) as the independent variables were measured in a Precision LCR Meter (LCR 821, GW INSTEK, Taiwan). Texture of each sample, as the dependent variable, was determined using a TA-Plus texture analyzer (Lloyds Instruments, UK) fitted with a 0.5 inch diameter probe and a distance of 4 mm at a speed of 1.0 mm/s. All samples were divided into 2 sets one for calibration and one for prediction. Samples in the calibration set were used for developing the calibration model for texture using partial least squares regression (PLSR) and then cross validated. The performance of the model was validated by the coefficient of determination (R^2) and the root mean square error of calibration (RMSEC) at the lowest factors. The calibration model was tested for the accuracy by the samples in the prediction set. The accuracy of prediction was determined from the R^2 and the root mean square error of prediction (RMSEP). Microsoft Office Excel 2007 and Unscramble software (CAMO, Oslo, Norway) were used for the statistical analysis

18. Results

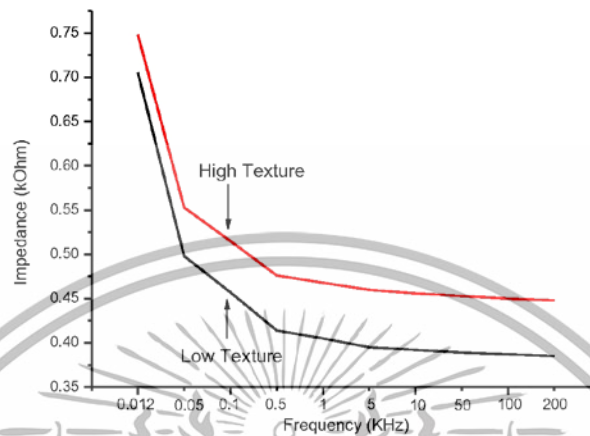


Fig. 1: Averaged impedance of the low texture jelly and the high texture jelly.

The samples of jelly were separated into two groups for high and low texture and shown in Fig. 1. The averaged impedance of samples in the group of high texture was significantly ($p < 0.05$) higher than those of in the group of low texture at all frequencies (0.012-200 kHz).

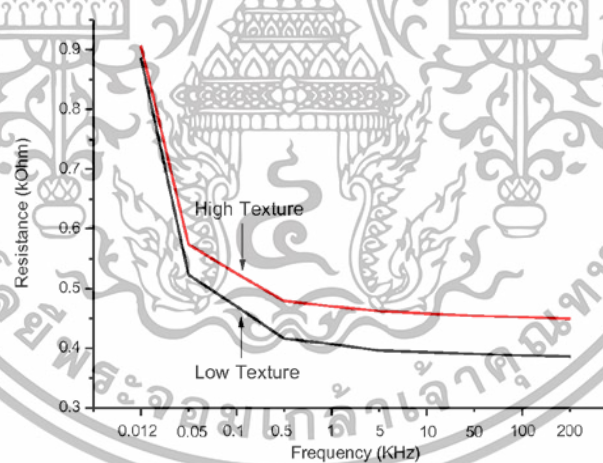


Fig. 2: Averaged resistance of the low texture jelly and the high texture jelly.

For resistance the averaged texture of each group is shown in Fig. 2. The results showed the averaged resistance of samples in the group of high texture was significantly ($p < 0.05$) higher than those of in the group of low texture at all frequencies (0.012-200 kHz).

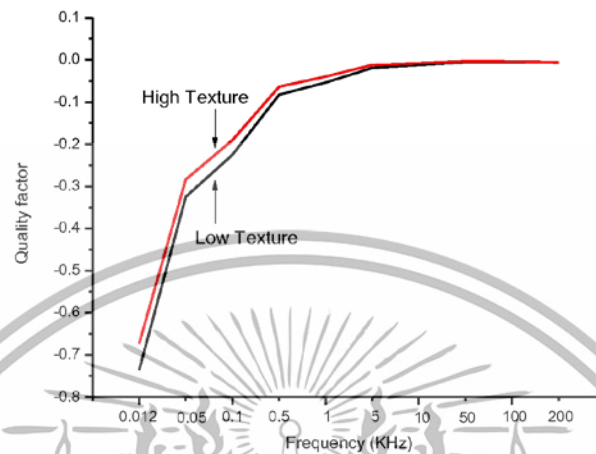


Fig. 3: Averaged quality factor of the low texture jelly and the high texture jelly.

The averaged texture of each group is shown in Fig. 3. The results showed the averaged quality factor of samples in the group of high texture was not significantly ($p>0.05$) different to those of in the group of low texture at all frequencies (0.012-200 kHz).

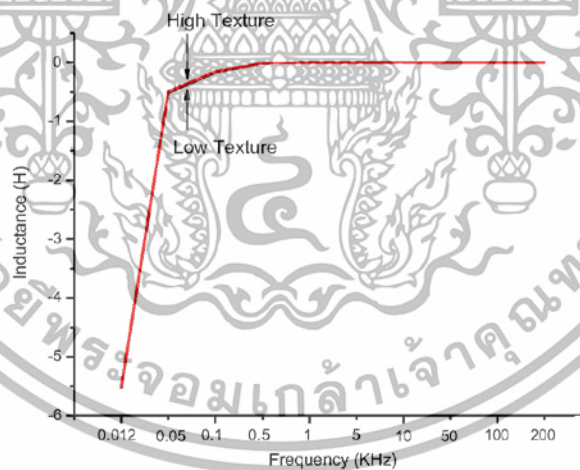


Fig. 4: Averaged inductance of the low texture jelly and the high texture jelly.

The averaged texture of each group is shown in Fig. 4. The results showed the averaged inductance of samples in the group of high texture was not significantly ($p>0.05$) different to those of in the group of low texture at all frequencies (0.012-200 kHz).

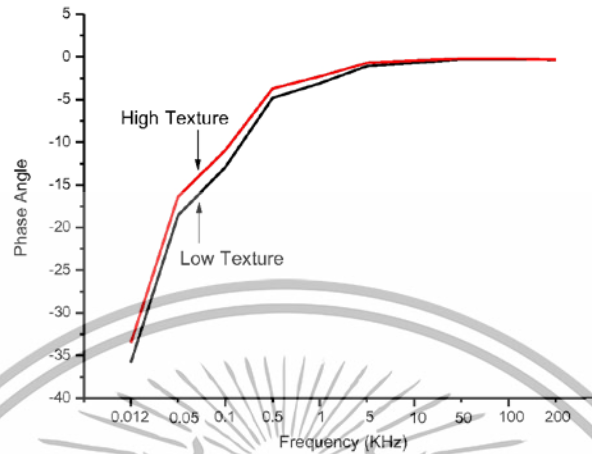


Fig. 5: Averaged phase angle of the low texture jelly and the high texture jelly.

The averaged texture of each group is shown in Fig. 5. The results showed the averaged phase angle of samples in the group of high texture was not significantly ($p > 0.05$) different to those of in the group of low texture at all frequencies (0.012-200 kHz).

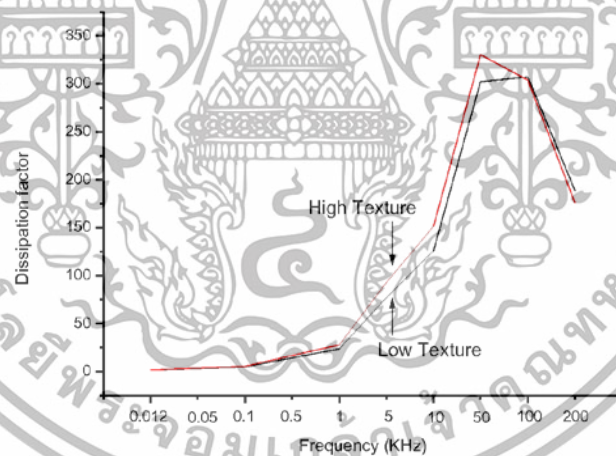


Fig. 6: Averaged dissipation factor of the low texture jelly and the high texture jelly.

The averaged texture of each group is shown in Fig. 6. The results showed the averaged dissipation factor of samples in the group of high texture was significantly ($p < 0.05$) different to those of in the group of low texture at all frequencies (0.012-200 kHz).

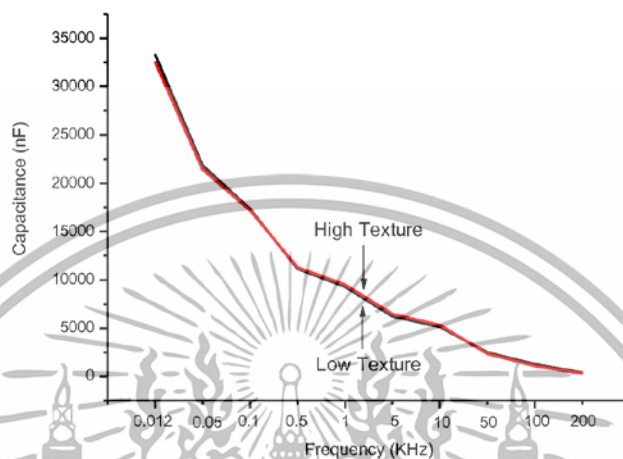


Fig. 7: Averaged capacitance of the low texture jelly and the high texture jelly.

The averaged texture of each group is shown in Fig. 7. The results showed the averaged capacitance of samples in the group of high texture was significantly ($p < 0.05$) different to those of in the group of low texture at all frequencies (0.012-200 kHz).

The characteristics of samples for texture in both the calibration set and the prediction set are shown in Table 1. The range of texture in the prediction set was within the range of those of the calibration set. The standard deviations of texture in the calibration set and in the prediction were similar.

Table 1: Description of texture in the calibration set and the prediction set.

	Texture	
	Calibration Set	Prediction Set
N	99	49
Range	16.50-43.10	16.70-42.80
Average	0.26	0.27
SD	0.12	0.12

N = number of samples, SD = standard deviation

The electrical parameters at all the frequencies tested (0.012, 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100, and 200 kHz) were used as the dependent variables. The calibration model for texture was developed using PLSR and then cross-validated by the samples in the calibration set (N=81). The data from

pretreatments were used in order to obtain the best conditions of the model. The results showed that original data gave the best results

for the calibration model for texture (Tables 2). Therefore, the original data were used for establishing the calibration model in this study.

Table 2: Statistical analysis of data from pretreatments by cross validation of the model for texture in the calibration set.

Pretreatment	N	F	R ²	RMSECV(N)
Original	81	14	0.666	0.132
Smoothing7	81	5	0.611	0.143
1 st Derivatives	81	14	0.634	0.137
2 nd Derivatives	81	14	0.656	0.133
SNV	81	14	0.588	0.145
MSC	81	10	0.553	0.152

R² = Coefficient of determination

F = Number of factors

RMSECV = root mean square error of cross validation

SNV = Standard normal variate

MSC = Multiplicative Scatter Correction

The calibration model for texture was tested in the prediction set (N=39) in order to evaluate the accuracy of the model. Tables 3 shows the results of the performance of the model (R² = 0.666 and RMSEC = 0.13 N) and the accuracy of the model (R² = 0.636, RMSEP = 0.13 N), which indicates that the model for texture could be used for prediction.

Table 3: Statistical results of the PLSR model for texture.

Sample set	Texture				
	N	F	R ²	RMSEC(N)	RMSEP(N)
Calibration	81	14	0.666	0.13	-
Prediction	39	14	0.636	-	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

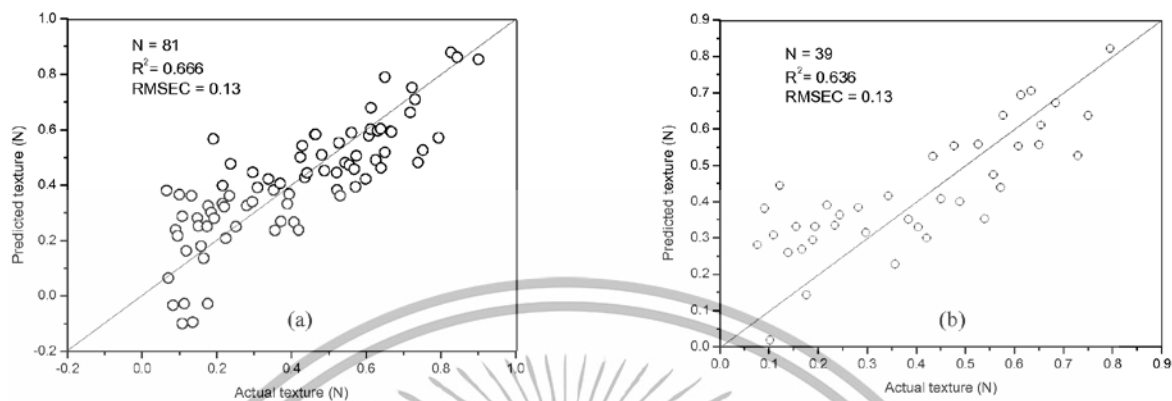


Fig. 8: Scatter plots of actual texture and predicted texture in the calibration set (a) and in the prediction set (b)

Fig. 8(a) shows the performance of the calibration model for texture when testing with samples in the calibration set and Fig. 8(b) shows the accuracy of the calibration model for texture when testing with samples in the prediction set.

3.1 Acknowledgments and Legal Responsibility

This research was funded by the Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology. The authors acknowledge the permission to use the laboratory and equipment at the Faculty of Agro-Industry, King Mongkut's Institute of Technology. We are grateful to Assoc. Prof. Panmanas Sirisomboon for technical help and Prof. A K Thompson for editing English language in this paper.

19. References

- Chanchanakit, K. (2016). Mahidol R2R e-Journal: Food and Nutrition for the Older adults. Retrieved from <http://doi.org/10.14456/jmu.2016.15>
- Chunharas, S. (2012). Report Thai Elderly Situation 2012. Bangkok, Thailand :Tqp company limited.
- 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.
- Saengtong, J. (2017). Elderly Society (completely): [Aging Society](https://www.tci-thaijo.org). Retrieved from <https://www.tci-thaijo.org>
- Sangruji, S. (2012). [Food & Nutrition for elderly](#). Bangkok, Thailand : Faculty of Medicine Siriraj Hospital.

United Nations. (2015). Department of Economic and Social Affairs,
Population Division: World Population Ageing 2015. Retrieved from
<http://www.un.org/en/development/desa/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสนธิสุข ธีระชัยชยุติ
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Sontisuk Teerachaichayut
- ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์
อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 0 2 329 8000 ต่อ 7267 โทรสาร 0 2329 8526 -7
E-mail : sontisuk.te@kmitl.ac.th
- 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.(เทคโนโลยี หลังการเก็บเกี่ยว)	เทคโนโลยีหลัง การเก็บเกี่ยว	มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุ
สถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วม
วิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

1. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2554. แท่งเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกแก้ว.
2. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2554. การตรวจสอบคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดย
วิธีการ ดูดคลื่นพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรดช่วงคลื่นสั้นแบบทะลุผ่าน.
3. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. การสกัดน้ำสับปะรดและผลิตเชื้อเพลิงแข็งชีวมวลจากเปลือกสับปะรด.
4. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2556. การตรวจสอบคุณภาพมังคุดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพการดูดคลื่น
พลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรด
5. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2556. การศึกษาปริมาณไนเตรทในเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย: วิเคราะห์เชิง
เปรียบเทียบโดยพิจารณาที่ตำแหน่งและระดับความสุกรสโกปี
6. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2557. การวิเคราะห์ภาพการดูดคลื่นพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความ
ละเอียดสูงสำหรับทำนายความสดของไข่ไก่
7. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2557.การทำนายความหนาแน่นของผลมังคุดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ
8. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2558. การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์
ภาพการดูดคลื่นพลังงานแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง
9. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2559. การทำนายคุณภาพของผลมะนาวแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทาง
ไฟฟ้า
10. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2559. การทำนายคุณภาพของข้าวโพดหวานแบบไม่ทำลายโดยเทคนิค
วิเคราะห์ภาพการดูดคลื่นพลังงาน
11. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2560. การทำนายคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิค
วิเคราะห์พหุตัวแปรจากคุณสมบัติทางไฟฟ้า
12. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2560. การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายสำหรับลูกชิ้นหมูโดยเทคนิคการ
วิเคราะห์การดูดคลื่นแสงย่านใกล้อินฟราเรด

งานวิจัยที่อยู่ระหว่างการดำเนินการ

1. เรื่อง การทำนายคุณภาพภายในของผลสับปะรดแบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิควิเคราะห์พหุตัวแปรจาก
คุณสมบัติทางไฟฟ้า ทูบงบประมาณแผ่นดิน พ.ศ. 2560. ความก้าวหน้า ร้อยละ 80
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายสำหรับลูกชิ้นหมูโดยเทคนิคการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด ทุนเงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร สจล. พ.ศ. 2560 ความก้าวหน้า ร้อยละ 80

ชื่องานวิจัยที่เผยแพร่

สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2535. อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ไทย: อะไรคืออะไร.วารสารการวิจัยและพัฒนา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 (1): 67-70.

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

สนธิสุข ชีระชัยชยติ, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์, เพ็ญศิริ อนันต์รักสกุล, พรภัทธา ศรีนรคุตร, ยุพาภรณ์ ทับนา โคน. 2536. การวิจัยเครื่องเคลือบแบบต่อเนื่องชนิดเคลือบเค็มสำหรับอาหารขบเคี้ยว. โครงการวิจัย ที่ ภ.32-06, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 36 หน้า

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

วารุณี ธนะแพสย์, สนธิสุข ชีระชัยชยติ, สุมาพร เกษมสำราญ, and Young Kil Kwon. 2548. การตรวจสอบคุณภาพภายในของส้มโดยวิธีไม่ทำลายด้วยเทคนิคแสงย่านใกล้อินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้น. สัมมนาวิชาการ วิทยาลัยการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 3, 10-11 ตุลาคม 2548, หน้า 57.

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนิษฐา แสงแก้ว และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, 2553. คุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกมังคุดภายหลังการตกกระทบ. วารสารอุตสาหกรรมเกษตรพระจอมเกล้า. 2(1): 27-35.

สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, วาโรณี ธนะแพสย์ และ ขนิษฐา แสงแก้ว. 2554. ความเป็นไปได้ในการคัดแยกผลมังคุดเปลือกแข็งแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิคการวิเคราะห์พหุตัวแปร. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 42 (1 พิเศษ): 143-146.

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

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

ศรัญญา วอขวา และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 2555. การศึกษาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในมังคุดเปลือกแข็งภายหลังการตกกระทบ. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 1, 7 กันยายน 2555, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 285-290.

สนธิสุข ชีระชัยชยุติ, รุติพงศ์ ทิพย์แก้ว, ชนกฤต ชุตระรัตน์ และรัชคม ลีลับ. 2556. เครื่องวัดความแน่นเนื้อของผลไม้แบบน้ำหนักกด. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2, 30 สิงหาคม 2556, คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 185-190.

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

ปิยะมาศ जानนอก, อิศยาภรณ์ การรุ่งเรือง, อรวรรณ ทองนาค, อัฐพิศ जानนอก, ภานุวัฒน์ ทรัพย์ปรง และ สนธิสุข ชีระชัยชยุติ. 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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.
- Teerachaichayut S., W. Thanapase, K. Shigefuji, 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. Kasemsumran, 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.
- 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 Thonngnak, 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.

Pattama Supaphon, Soraya Kerdpiboon, Yuporn Peuchkamut, Sontisuk Teerachaichayut, Pramoun Sriaklong , 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่เห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 Sineenart, Teerachaichayut Sontisuk. 2017. Non-destructive quality assessment of hens' eggs using hyperspectral images. *Journal of Food Engineering* doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.07.008.
- 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 × aurantifolia* (Cristm.) Swingle] 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.
- Poonnada Onnom and Sontisuk Teerachaichayut. 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- S Teerachaichayut, J Pansiri, P Nguanprasert and W Thepwapee. 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.
- Nutsinee Klinbumrung and Sontisuk Teerachaichayut. 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.
- Sineenart Sukthanaruk, Sirikarn Boonpiam and Sontisuk Teerachaichayut. 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.
- Nutsinee Klinbumrung and Sontisuk Teerachaichayut. 2019. Firmness prediction of guavas using near infrared hyperspectral imaging. *Proceedings of Asian Conference on Engineering and Natural Sciences (ACENS 2019)*, Hokkaido, Japan, 21-24 Jan 2019, 396-401.
- Sineenart Sukthanaruk and Sontisuk Teerachaichayut. 2019. Detection of adulteration in Thai Pathumthani fragrant rice by hyperspectral imaging. *Proceedings of Asian Conference on Engineering and Natural Sciences (ACENS 2019)*, Hokkaido, Japan, 21-24 Jan 2019, 300-307.
- Sontisuk Teerachaichayut, Napinda Panyaboon and Poonnada Onnom. 2019. Electrical measuring technique for freshness classification of sweet corn. *Proceedings of Asian Conference on Engineering and Natural Sciences (ACENS 2019)*, Hokkaido, Japan, 21-24 Jan 2019, 411-418.
- Poonnada Onnomand, Sontisuk Teerachaichayut. 2019. Non-destructive prediction of the texture of jelly for food for the elderly using electrical techniques. *Proceedings of Asian Conference on Engineering and Natural Sciences (ACENS 2019)*, Hokkaido, Japan, 21-24 Jan 2019, 402-410.