

การพัฒนาเครื่องตรวจสอบความอ่อนแก่ของมะพร้าว น้ำหอม Development of Aromatic Coconut be aged Tester

อนันต์ โสภิน วุฒิชัย วิจิตรกุลสวัสดิ์ และ อนุสรณ์ สาธุเสน

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 นางลิ้นจี่ พุ่มหาเมฆ สาทร กรุงเทพมหานคร 10120.

โทร : 02-2879600 E-mail: anan.s@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาเครื่องตรวจสอบความอ่อนแก่ของมะพร้าว น้ำหอมว่ามีเนื้อในลักษณะใด เพื่อลดการสูญเสียในการตรวจสอบจากวิธีการสังเกต ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย โดยใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิก อาศัยหลักการการดูดกลืนและสะท้อนสัญญาณของมะพร้าว น้ำหอมที่มีความอ่อนแก่ที่แตกต่างกัน โดยการนำสัญญาณที่สะท้อนจากมะพร้าว น้ำหอมมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลถึงความสัมพันธ์ของระดับสัญญาณที่ได้รับกับลักษณะเนื้อของมะพร้าว น้ำหอม โดยทำการแบ่งช่วงระดับสัญญาณตามความสัมพันธ์กับเนื้อมะพร้าวและนำค่าที่ได้มาแสดงผลว่ามะพร้าว น้ำหอมลูกนั้นมีเนื้อลักษณะใด จากการทดสอบมีความถูกต้อง 70%

คำสำคัญ : มะพร้าว น้ำหอม มะพร้าวอ่อน การทดสอบความอ่อนแก่มะพร้าว น้ำหอม

ABSTRACT

This research is to present the development of aromatic coconut be aged tester what kind to endosperm? to reduce the loss of detection from the observation method. This method is a non-destructive examination using ultrasonic sound waves. Based on the principle of absorption and reflection of the coconut, the aromatic coconut is different. The signal from the aromatic coconut was used to analyze the relationship of the signal level with the texture of the aromatic coconut. The signal level was divided according to the relationship with coconut endosperm and the results show that the aromatic coconut has any endosperm. What are the characteristics of aromatic coconut? The test was 70% accurate.

Keywords : aromatic coconut, young coconut, aromatic coconut be aged test

1. บทนำ

คนไทยรู้จักใช้น้ำและเนื้อมะพร้าวในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาวและหวานในชีวิตประจำวัน มะพร้าวน้ำหอมถูกจัดว่าเป็นพืชที่สำคัญและถือเป็นเอกลักษณ์ของชาติ เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีมูลค่าส่งออกหลายร้อยล้านบาทต่อปี และเป็นมะพร้าวพื้นเมืองที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย ปัจจุบันจัดเป็นพืชสงวนห้ามส่งออกในรูปผลแก่ น้ำมะพร้าวมีกลิ่นหอมคล้ายใบเตย โดยความหอมนั้นมาจาก ละอองเกสรตัวผู้ที่มาผสม (Xenia effect)



ภาพที่ 1 ต้นมะพร้าวน้ำหอม

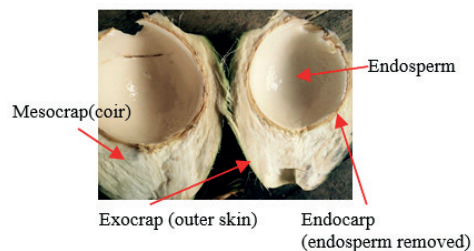
ในการผลิตมะพร้าวน้ำหอมเพื่อการบริโภคนั้น มะพร้าวน้ำหอมที่ได้นั้นจะแบ่งตามระดับเนื้อมะพร้าวออกมา 3 ระดับ ได้แก่ มะพร้าวอ่อนเนื้อ 1 ชั้น เนื้อบางใสเหมือนวุ้น น้ำไม่ค่อยหวาน น้ำมีความเปรี้ยวและซ่าลิ้น มะพร้าวอ่อนเนื้อชั้นครึ่ง หรือที่เรียกว่า เนื้อกึ่ง เนื้อมะพร้าวจะอ่อนนุ่ม ด้านในขาว ด้านนอกใสเป็นวุ้น น้ำมะพร้าวหวานหอมกำลังดี และมะพร้าวอ่อนเนื้อ 2 ชั้น มีเนื้อหนา น้ำมะพร้าวหวานมาก นิยมนำไปทำมะพร้าวเผา ทำอาหาร ทำขนมต่างๆ ความหวานประมาณ 6.6-7 เปอร์เซ็นต์ บริกซ์ (brix) สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จึงได้มี

การกำหนดมาตรฐานของมะพร้าวน้ำหอมไว้ [7] เพื่อเป็นการรักษามาตรฐานและคุณภาพของมะพร้าวน้ำหอม

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องตรวจสอบความอ่อนแก่ของมะพร้าวน้ำหอม ซึ่งศึกษาจากความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ส่งออกไปและได้รับกลับมากับความอ่อนแก่ของมะพร้าวน้ำหอม โดยใช้ตัวตรวจจับแบบอัลตราโซนิกส่งสัญญาณและรับสัญญาณ [2][9] ซึ่งสัญญาณที่ได้จากมะพร้าวน้ำหอมแต่ละลูกจะได้รับสัญญาณที่ต่างกันตามความอ่อนแก่ของมะพร้าว โดยทำการสังเกตและเก็บข้อมูลจากเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ได้รับเปรียบเทียบกับชนิดของเนื้อมะพร้าวนั้นๆ

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะพร้าวน้ำหอม



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของมะพร้าว

ผลของมะพร้าวประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- เอพิคาร์ปหรือเอกโซคาร์ป (Epicarp or Exocarp) คือ เปลือกนอก
- มีโซคาร์ป (Mesocarp) หรือใยมะพร้าว
- เอนโดคาร์ป (Endocarp) หรือกะลามะพร้าว ซึ่งจะมีรูสีกัลอยู่ 3 รู สำหรับงอก

- เอนโดสเปิร์ม (Endosperm) หรือที่เราเรียกว่าเนื้อมะพร้าว

ภายในมะพร้าวจะมีน้ำมะพร้าว ซึ่งเมื่อมะพร้าวแก่ เอนโดสเปิร์มก็จะดูดเอาน้ำมะพร้าวไปหมด ขณะที่มะพร้าวยังอ่อน ชั้นเอนโดสเปิร์ม (เนื้อมะพร้าว) ภายในผลมีลักษณะบางและอ่อนนุ่ม ภายในมีน้ำมะพร้าว ซึ่งในระยะนี้เรามักสอยเอามะพร้าวลงมารับประทานน้ำและเนื้อ เมื่อมะพร้าวแก่ซึ่งสังเกตได้จากการที่เปลือกนอกเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ชั้นเอนโดสเปิร์มก็จะหนาและแข็งขึ้น จนในที่สุดมะพร้าวก็หล่นลงจากต้น

วิธีการคัดเลือกมะพร้าวอ่อนโดยวิธีการดั้งเดิมว่ามะพร้าวน้ำหอมนี้มีเนื้อลักษณะ สามารถรวมรวบวิธีการสังเกตได้ ดังนี้

1. ดูที่สีเปลือกตรงกลางลูกรอบลูกมะพร้าว โดยจะแบ่งออกตามชนิดของมะพร้าว ถ้ายังไม่สี คือ 1 ชั้น หรืออ่อนกว่ายังใช้ไม่ได้ ถ้าเป็นสีน้ำตาลชัดเจน คือ 2 ชั้น ถ้าเป็นสีน้ำตาลชัดเจน และมีร่องแตกเล็ก คือ 3 ชั้น หากมะพร้าวต้นสูงๆ จะดูลำบาก
2. ใช้วิธีนับทะเลาย ต้องเป็นทะเลายที่ 6 จากจันทัดลูกอ่อนแล้ว วิธีการนี้ทำได้ยากหากมะพร้าวขาดคอ (ไม่มีการแทงจันทัด หรือหยุดให้ลูก) หรือต้นสูงๆ
3. ใช้การดูทะเลายที่สูงกว่าแนวตรงกับทะเลายที่ต้องการ ถ้าทะเลายบนลูกโตเท่ากับัน ทะเลายล่างก็ตัดได้พอดี เนื้อนุ่มกำลังดีไม่หนา ไม่บางไป วิธีการนี้ทำได้ยากหากมะพร้าวขาดคอ (เหมือนข้อที่ 2)
4. ดูที่สีของเปลือกที่ติดกับกับข้าวของลูกมะพร้าว สีเขียวไปทางขาวแสดงว่าอ่อน สีเขียวอ่อนไม่ขาวพอใช้ได้ สีเขียวอ่อนไปทางเขียวแก่กำลังดี สี

เขียวแก่เหมือนสีของเปลือกลูกแสดงว่าแก่แล้ว หากมะพร้าวต้นสูงก็ดูลำบาก

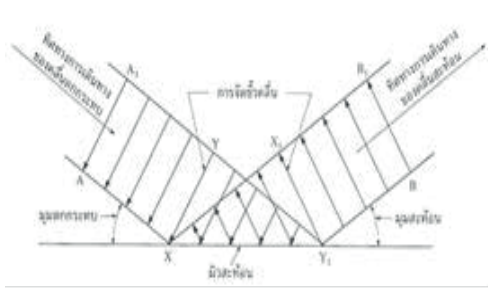
5. ใช้วิธีสอยมา 1 ลูก จากทะเลาย โดยสอยลูกที่ติดกับต้น จะเป็นลูกที่อ่อนที่สุดในทะเลาย วิธีนี้ให้ผลที่แน่นอน แต่จะเสียมะพร้าวลูกที่สอยลงมาผ่าดู (กรณีอ่อนเกินไป) แต่หากผู้ปลูกไม่มีประสบการณ์ในการดูมะพร้าวว่าอ่อนหรือแก่ การตัดลงมาก็จะทำให้เสียมะพร้าวนั้นไปถ้าอ่อนไป หรือถ้าแก่ไปก็ใช้ไม่ได้

มะพร้าวน้ำหอมที่มีขนาดความอ่อนแก่ไม่เท่ากัน จะมีผิวของมะพร้าวที่แตกต่างกัน ความแข็งของกะลาที่แตกต่างกัน และปริมาณน้ำมะพร้าวที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการคิดหาวิธีการที่จะทดสอบความอ่อนแก่ของมะพร้าวโดยวิธีไม่ทำลาย เพื่อทำการคัดแยกมะพร้าวน้ำหอมเหล่านั้นว่ามีความอ่อนแก่ในลักษณะใด และมีเนื้อมะพร้าวในระดับใด โดยมีการแสดงผลเป็นระดับของความอ่อนแก่เป็น 5 ระดับ ได้แก่ มะพร้าวอ่อนมากยังไม่มีเนื้อ มะพร้าวอ่อนเนื้อ 1 ชั้น มะพร้าวอ่อนเนื้อชั้นครึ่ง มะพร้าวอ่อนเนื้อ 2 ชั้น และมะพร้าวแก่ โดยการใช้ตัวตรวจจับมาทำการทดสอบ และวิเคราะห์ผลของมะพร้าวน้ำหอม ขณะที่ยังอยู่ในทะเลายว่ามีระดับความอ่อนแก่ของเนื้อในระดับใด เพื่อให้ได้ระดับของความหวานของน้ำ และเนื้อตามต้องการ

2.2 คลื่นเสียง (Sound Wave)

เสียงนั้นเป็นคลื่นประเภทที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่และเป็นคลื่นตามยาว ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานภายในอากาศ เสียงนั้นมีสมบัติ 4 อย่าง คือ

1. การสะท้อน เป็นสมบัติของคลื่นที่เมื่อคลื่นเคลื่อนที่มากระทบฉากกั้นแล้วจะเกิดการสะท้อนกลับไปในระนาบเดิม



ภาพที่ 3 คุณสมบัติการสะท้อนของคลื่น

2. การหักเห เป็นสมบัติของคลื่นที่จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดหรือมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน

3. การแทรกสอด เป็นสมบัติของคลื่นที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีคลื่น 2 คลื่นเคลื่อนที่มาพบกันจะทำให้เกิดการแทรกสอด

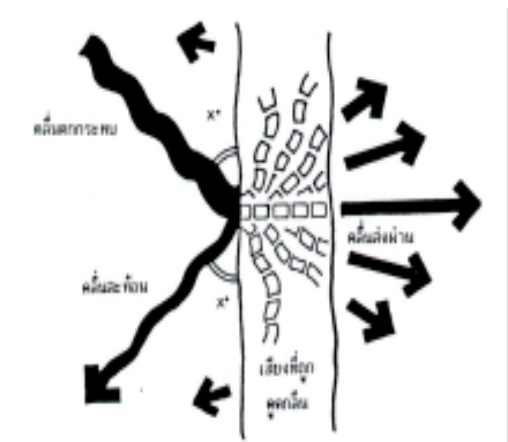
4. การเลี้ยวเบน จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่มากระทบกับฉากกั้นที่มีช่องว่างบางส่วนที่คลื่นสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้

ตามปกติหูคนสามารถได้ยินเสียงในช่วงความถี่ 20 เฮิรตซ์ ถึง 20,000 เฮิรตซ์ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20,000 เฮิรตซ์นั้น เรียกว่าคลื่นเหนือเสียงหรืออัลตราโซนิก (Ultrasonic Wave) ส่วนเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ เรียกว่าคลื่นใต้เสียงหรืออินฟราโซนิก (Infrasonic Wave) สมบัติอื่นๆของเสียง

1. ธรรมชาติและความดันของเสียง เสียงเป็นคลื่นความดัน (Pressure Wave) จะต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านอากาศ ของแข็งหรือของเหลว แต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศได้

2. อัตราเร็วเสียง อัตราเร็วเสียงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติตัวกลางที่เสียงเคลื่อนที่ผ่าน ได้แก่ ความหนาแน่น ความยืดหยุ่น เป็นต้น โดยปกติเสียงเดินทางในของแข็งได้ดีที่สุด รองลงมาคือของเหลวและก๊าซ นอกจากนี้อัตราเร็วเสียงยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของตัวกลางที่เสียงเคลื่อนที่ผ่าน โดยพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราเร็วเสียงจะมีค่ามากขึ้น สำหรับตัวกลางที่เป็นอากาศ

3. ความเข้มเสียง และระดับความเข้มเสียง ในขณะที่เสียงเคลื่อนที่จะมีการถ่ายทอดพลังงานไปให้กับวัตถุที่เสียงตกกระทบ โดยอัตราการถ่ายทอดพลังงานของเสียง ต่อพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของเสียง เรียกว่าความเข้มเสียง (Intensity) หรืออาจกล่าวได้ว่า ความเข้มเสียง หมายถึง กำลังของเสียงจากแหล่งกำเนิดที่ตกกระทบบนพื้นที่ 1 ตารางหน่วยในแนวตั้งฉากที่พิจารณา ระดับความเข้มเสียง (Intensity Level) เป็นตัวเลขเปรียบเทียบกับความเข้มเสียงในหน่วยเดซิเบล



ภาพที่ 4 ปรากฏการณ์สะท้อน ดูดกลืนและส่งผ่านเสียงของวัตถุ [14]

2.2.1 การสะท้อนของเสียง (Sound Reflection)

การสะท้อนของเสียงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. ชนิดของวัสดุ วัสดุที่เป็นฉนวนสะท้อนเสียงส่งผลต่อการสะท้อนของเสียง เพราะว่าวัสดุแต่ละชนิดนั้นมีคุณสมบัติในการดูดซับและสะท้อนเสียงที่ไม่เท่ากัน เช่น เหล็กนั้นสามารถสะท้อนเสียงได้ดีกว่าไม้ เพราะว่าอะตอมของเหล็กนั้นมีอิสระในการเคลื่อนที่มากกว่า ทำให้สามารถส่งต่อพลังงานได้ดีกว่า

2. รูปร่างและรูปทรงของพื้นผิวของฉนวนสะท้อนเสียง ส่งผลต่อการสะท้อนของเสียงเพราะว่ารูปร่าง และรูปทรงของฉนวนที่แตกต่างกันนั้น จะส่งผลให้เสียงนั้นสะท้อนไปในทิศทางต่างๆ ที่แตกต่างกัน และอาจก่อให้เกิดหน้าคลื่นที่แตกต่างกัน

3. ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังฉนวนสะท้อนส่งผลต่อการสะท้อนของเสียง เพราะว่าถ้าหากว่าฉนวนสะท้อนนั้นอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงมากนั้นจะส่งผลให้พลังงานในเสียงนั้นลดลงและจะทำให้การสะท้อนเสียงนั้นเกิดได้น้อยลง

4. ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงส่งผลต่อการสะท้อนของเสียง เพราะว่าความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงนั้นคือพลังงานที่จะถูกส่งต่อไปในตัวกลาง ซึ่งถ้าหากพลังงานที่จะถูกสะท้อนนั้นมีมากจะส่งผลทำให้การสะท้อนนั้นเกิดขึ้นได้ดีและชัดเจนยิ่งขึ้น

กฎการสะท้อนของเสียง มีอยู่ 2 ข้อ คือ

- มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน
- คลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกันเสมอ

2.2.2 การส่งผ่านเสียง (Sound Transmission)

เมื่อคลื่นเสียงตกกระทบวัสดุกันเสียง วัสดุนั้นจะเกิดการสั่นตัว ซึ่งการสั่นตัวในลักษณะนี้เป็นสาเหตุให้อากาศที่อยู่ใกล้เสียงวัสดุดังกล่าวทั้งสองด้านมีการสั่นตัวตามไปด้วย ส่งผลให้วัสดุที่คลื่นเสียงตกกระทบนั้น ประพฤติตัวเหมือนแหล่งกำเนิดเสียงอันใหม่ ซึ่งสนามเสียงใหม่อันเกิดจากวัสดุนี้ จะมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานเสียงตอนแรก ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานของคลื่นเสียงที่ตกกระทบวัสดุนั้นเสียง ถูกใช้ไปสำหรับทำให้วัสดุนั้นเกิดการสั่นตัวโดยลักษณะสมบัติของวัสดุนั้นเสียงนั้น สามารถบ่งบอกได้ด้วย ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน (Transmission Loss) ซึ่งค่านี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละชนิด [13] โดยค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่านสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2 [8]

$$TL = L_2 - L_1 + 10 \log \frac{S}{A_2} \quad (1)$$

เมื่อ TL คือ ค่าการสูญเสียพลังงานเสียงขณะส่งผ่าน, dB

L_1 คือ ค่าเฉลี่ยระดับความดังเสียงในห้องกำเนิดเสียง, dB

L_2 คือ ค่าเฉลี่ยระดับความดังเสียงในห้องรับเสียง, dB

S คือ พื้นที่แผ่นวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ, m^2

A_2 คือ ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงของห้องรับเสียงหลังจากติดตั้งแผ่นวัสดุ, m^2

2.2.3 การดูดซับเสียง (Sound Absorption)

การดูดซับเสียง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงผลรวมของพลังงานเสียงที่ลดน้อยลงเมื่อผ่านตัวกลางใดๆ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การดูดกลืนเสียง คือความสามารถของวัสดุในการดูดกลืนพลังงานเสียงและเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน [10] โดยวัสดุที่สามารถดูดซับคลื่นเสียงได้ดีจะเป็นวัสดุจำพวกเส้นใย (Fibrous) และวัสดุพรุน (Porous) เมื่อเสียงกระทบวัสดุใดๆ เสียงส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่งผ่านเข้าไปในวัสดุนั้น จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุ ดัชนีที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงของวัสดุแต่ละชนิด คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficients) คลื่นเสียงที่ผ่านเข้าไปในวัสดุที่เสียงนั้นตกกระทบจะมีพลังงานลดลงเนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานความร้อน โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficients, α) สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2 [8]

$$\alpha = \frac{A_2 - A_1}{S} \quad (2)$$

เมื่อ A_2 คือ ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงของห้องหลังจากนำ วัสดุเข้าไปติดตั้งภายใน, m^2

A_1 คือ ค่าความสามารถในการดูดซับเสียงของห้องทดลองก่อนนำแผ่นวัสดุเข้าไปติดตั้ง, m^2

S คือ ขนาดของแผ่นวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ, m^2

โดยค่าความสามารถในการดูดซับเสียง (Sound Absorption) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 [8]

$$A_n = 0.9210V \frac{d}{c} \quad (3)$$

เมื่อ A_n คือ ค่าความสามารถในการดูดซับเสียง, m^2

V คือ ปริมาตรของห้องที่ใช้ในการทดลอง, m^3

d คือ อัตราการสลายตัวของพลังงานเสียง

(Rate of decay), $\frac{dB}{sec}$

c คือ ความเร็วเสียง, $\frac{m}{s}$

ความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนในการสะท้อนเสียงนั้นอาจส่งผลให้มีการดูดซับเสียงทั้งหมดหรือปริมาณเสียงสะท้อนกลับมากในระดับที่แตกต่างกันได้ [4] เพราะว่าการเดินทางของคลื่นจากตัวกลางที่ต่างชนิดกันนั้นจะทำให้คลื่นเกิดการหักเหบางส่วนและในการหักเหเหล่านั้นหากว่าคลื่นเสียงนั้นเดินทางไปยังฉนวนตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศมากๆ จึงจะเกิดการสะท้อนกลับหมดของคลื่นเสียง แต่ถ้าหากว่าความหนาแน่นของฉนวนที่รับคลื่นนั้นลดลง คลื่นเสียงบางส่วนอาจจะถูกดูดกลืนไป ทำให้ความดังของเสียงที่สะท้อนกลับมานั้นลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามนั้น หากว่าเราปรับให้วัสดุที่ใช้เป็นฉนวนสะท้อนคลื่นเสียงนั้นมีความหนาแน่นมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นได้มากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ความดังของเสียงที่สะท้อนกลับมานั้นเพิ่มมากขึ้น

2.3 อัลตราโซนิก

ในปัจจุบันอัลตราโซนิกมีหลายแบบขึ้นอยู่กับหลักการที่ใช้แบบที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่

- แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง
- แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล เป็นระบบเปิด ต้องใช้แรงดันทางไฟฟ้าสูง
- แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

3. การออกแบบ

3.1 สมมติฐานในการตรวจสอบมะพร้าว

จากคุณสมบัติเบื้องต้น การใช้ตัวตรวจจับในการสร้างสัญญาณส่งเข้าไปที่ผลมะพร้าว ก็จะได้ผลของสัญญาณสะท้อนกลับที่แตกต่างกัน [3, 4, 13] ตามลักษณะของผลมะพร้าวที่มีความอ่อนแก่แตกต่างกันไป คือ

- มะพร้าวอ่อนมาก น้ำมาก มีความหวานน้อย
- มะพร้าวอ่อนกำลังดี น้ำค่อนข้างมาก หวานกำลังดี
- มะพร้าวค่อนข้างแก่ น้ำน้อย หวานมาก

ดังนั้นในการตรวจสอบสามารถทำการตรวจสอบจากลักษณะของมะพร้าวได้จากส่วนต่างๆ ดังนี้ คือ

1. เปลือก ถ้ามะพร้าวอ่อนเปลือกจะอ่อนนุ่มด้วย ถ้ามะพร้าวแก่เปลือกก็จะเริ่มแข็ง ถ้าตรวจสอบจากเปลือกก็จะตั้งข้อสันนิษฐานได้ว่า เมื่อมะพร้าวอ่อนสัญญาณสะท้อนกลับจะต่ำ เนื่องจากเปลือกมะพร้าวจะดูดซับสัญญาณได้ดี ถ้าสัญญาณสะท้อนกลับสูง แสดงว่ามะพร้าวเริ่มแก่เปลือกแข็ง จึงมีการสะท้อนกลับของสัญญาณค่อนข้างสูง
2. กะลามะพร้าว มะพร้าวถ้าอ่อนมากๆ กะลายังไม่แข็งสามารถทานได้ มะพร้าวอ่อนกะลามีความแข็งเล็กน้อยและมะพร้าวแก่กะลามีความแข็งมาก ถ้าตั้งข้อสมมติฐานกับกะลา จะได้ว่าถ้ามะพร้าวอ่อนการสะท้อนกลับของสัญญาณจะต่ำเนื่องจากกะลามะพร้าวจะดูดซับสัญญาณได้มาก ถ้ามะพร้าวอ่อนจะดูดซับได้บางส่วนและถ้ามะพร้าวแก่สัญญาณจะสะท้อนกลับสูงเนื่องจากกะลาแข็งมากสัญญาณไม่สามารถผ่านไปได้ หรือผ่านไปได้้น้อยมาก
3. น้ำมะพร้าว ถ้ามะพร้าวอ่อนมากน้ำมะพร้าวจะเต็มลูก ความหวานค่อนข้างน้อยจะค่อนข้างเปรี้ยว ดังนั้นสัญญาณจะถูกดูดกลืนไปได้มาก มะพร้าวอ่อนน้ำมะพร้าวค่อนข้างเต็มลูกความหวานปานกลาง สัญญาณจะถูกดูดกลืนได้ในระดับหนึ่งและถ้ามะพร้าวแก่ น้ำมะพร้าวจะไม่เต็มลูก ความหวานมาก แต่สัญญาณจะสะท้อนกลับได้สูง

ดังนั้นในการตรวจสอบด้วยตัวตรวจจับจะใช้การส่งสัญญาณเข้าไปในผลมะพร้าวและตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับว่าอยู่ในระดับใด และมีรูปแบบของสัญญาณอย่างไร และทำการวิเคราะห์ผลจากการสะท้อนของสัญญาณที่รับได้ เพื่อทำการแบ่งระดับความอ่อนแก่ของมะพร้าว โดยจะทำการแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ

1. มะพร้าวอ่อนมาก ยังไม่มีเนื้อมะพร้าว หรือที่เรียกกันว่ามะพร้าวแห้ง กะลา มะพร้าวยังอ่อนมาก น้ำเปรี้ยว ไม่นิยมรับประทาน แต่สามารถนำกะลามะพร้าวไปทำอาหารได้ เช่น แกงเผ็ด เป็นต้น
2. มะพร้าวอ่อนเนื้อ 1 ชั้น หรือ มะพร้าวชั้นเดียว คือ มะพร้าวที่เริ่มจะสร้างเนื้อภายในกะลา เนื้อจะมีลักษณะเป็นวุ้นบางๆ ประมาณครึ่งผล ไม่เหมาะในการบริโภค ผลมะพร้าวมีอายุหลังจากจันทันประมาณ 170 วัน น้ำมะพร้าวยังไม่หวาน น้ำมีความเปรี้ยวและขาล้น วัดความหวานได้ประมาณ 5.0-5.6 เปอร์เซ็นต์บริกซ์
3. มะพร้าวอ่อนเนื้อชั้นครึ่ง หรือที่เรียกว่าเนื้อกึ่ง เนื้อมะพร้าวจะอ่อนนิ่ม ด้านในขาว ด้านนอกใสเป็นวุ้น มะพร้าวเริ่มสร้างเนื้อมากขึ้นจนเกือบเต็มกะลา แต่บริเวณส่วนชั้นของผลยังคงมีลักษณะเป็นวุ้นอยู่บ้าง เริ่มบริโภคได้ น้ำมะพร้าวหวานหอมกำลังดี ผลมะพร้าวมีอายุหลังจากจันทันประมาณ 180-185 วัน น้ำเริ่มหวานขึ้น วัดความหวานได้ประมาณ 6.0-6.6 เปอร์เซ็นต์บริกซ์

4. มะพร้าวอ่อนเนื้อ 2 ชั้น มีเนื้อหนาเต็มกะลา น้ำมะพร้าวหวานมาก นิยมนำไปทำมะพร้าวเผา ทำอาหาร ทำขนมต่างๆ ผลมะพร้าวมีอายุหลังจากจันทันประมาณ 200-210 วัน วัดความหวานประมาณ 6.6-7 เปอร์เซ็นต์บริกซ์
5. มะพร้าวแก่ หรือมะพร้าวห้าว เนื้อหนาน้ำน้อย ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคน้ำ และเนื้อมะพร้าว จะนิยมนำเนื้อมะพร้าวไปชูดคั้นเอาน้ำกะทิ เพื่อใช้ทำขนมหรืออาหารคาว



มะพร้าวอ่อนมาก



มะพร้าวอ่อนเนื้อ 1 ชั้น



มะพร้าวอ่อนเนื้อชั้นครึ่ง



มะพร้าวอ่อนเนื้อ 2 ชั้น



มะพร้าวแก่

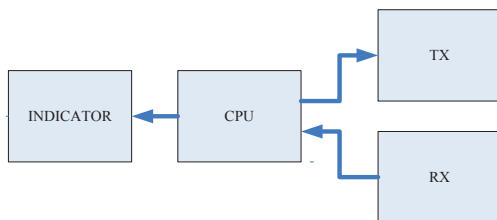
ภาพที่ 5 ลักษณะของเนื้อมะพร้าวน้ำหอม

ความถ่วงจำเพาะของผลมะพร้าว แรงที่ใช้ในการปอกเปลือก (Husk rupture force) และความแน่นของเปลือกผล (Husk firmness)

ลดลงตามอายุผลที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ความถี่สั่นพ้อง (Resonant frequency) แรงที่ใช้เปิดกะลา (Husk rupture force) ความแน่นของเปลือก (Shell firmness) ปริมาณ SSC ความหนาเนื้อ น้ำหนักเนื้อสด และแห้งเพิ่มขึ้นตามอายุผลที่มากขึ้น [11] ทั้งนี้ความหนาเนื้อเป็นลักษณะที่สัมพันธ์กับความบริบูรณ์ของผลมากที่สุด อาศัยความสัมพันธ์ร่วมของลักษณะต่างๆ ดังกล่าว และ [11] ได้สร้าง Multivariate partial least squares model ที่มีค่า $R^2 = 0.991$ และได้ทำนายความบริบูรณ์ของผลจากลักษณะของความถี่สั่นพ้อง ได้ต้นแบบที่มีความแม่นยำสูงมีค่า $R^2 = 0.927$

3.2 การออกแบบชุดทดสอบ

การออกแบบชุดทดสอบนั้น ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง วงจรสร้างความถี่ วงจรรับความถี่ หน่วยแสดงผล ดับล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทำงาน



ภาพที่ 6 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องตรวจสอบความอ่อนแก่ของมะพร้าว น้ำหอม

ในการออกแบบชุดทดสอบได้นำโมดูลอัลตราโซนิกแบบเปียโซอิเล็กทริก มาสร้างเป็นชุดทดสอบ ถึงแม้จะมีกำลังส่งและรับที่ต่ำ เนื่องจากต้องการเน้นให้ชุดทดสอบมีราคาถูก สามารถสร้างได้ง่ายต้นทุนในการสร้างที่ต่ำ



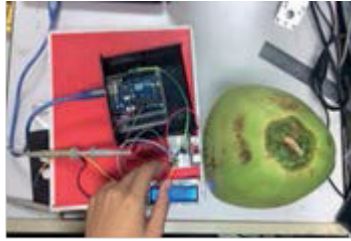
ภาพที่ 7 อัลตราโซนิกที่ใช้ในการทดสอบ

4. การทดสอบ

การทดลองกับชุดต้นแบบเครื่องตรวจสอบความอ่อนแก่ของมะพร้าว น้ำหอม ซึ่งได้ทำการทดสอบด้วยชุดทดสอบอัลตราโซนิก [10] ที่สร้างขึ้นมา โดยได้มีการทดลองส่งและรับ และทำการวัดสัญญาณเพื่อหาค่าสัญญาณที่อัลตราโซนิกส่งสัญญาณคลื่นเสียงไปยังมะพร้าวและสะท้อนกลับมายังภาครับ วัดความหนาของกะลา และเนื้อ จากนั้นทำการบันทึกค่าสัญญาณที่ได้จากภาคส่งและภาครับ ซึ่งจะทำให้เราทราบถึงระดับของคลื่นเสียงที่ถูกดูดกลืนและสะท้อนกลับมาจากมะพร้าว แล้วจึงนำค่าที่ได้มาทำการแจกแจงและวิเคราะห์ผลที่ได้เทียบกับการผ่าดูเนื้อมะพร้าว เพื่อแยกแยะข้อมูลที่ได้ จากนั้นจึงทำการกำหนดช่วงระดับสัญญาณที่ได้จากการทดสอบ เพื่อแสดงผลว่ามะพร้าวที่วัดได้มีความอ่อนหรือแก่ตามช่วงระดับสัญญาณที่กำหนดไว้

4.1 ผลการทดสอบหาข้อมูล

การทดสอบนี้ทำการทดสอบกับมะพร้าวจำนวน 100 ลูก โดยมีมะพร้าวเนื้ออ่อนมาก จำนวน 3 ลูก เนื้อ 1 ชั้น 21 ลูก เนื้อชั้นครึ่ง 39 ลูก เนื้อ 2 ชั้น 24 ลูก และแก่ 13 ลูก เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่สะท้อนกลับ [12] กับเนื้อมะพร้าวว่ามีเนื้ออยู่ในระดับใด และทำการบันทึกข้อมูลของสัญญาณ ลักษณะของเนื้อมะพร้าว ความหนาของกะลา ความหนาของเนื้อมะพร้าว

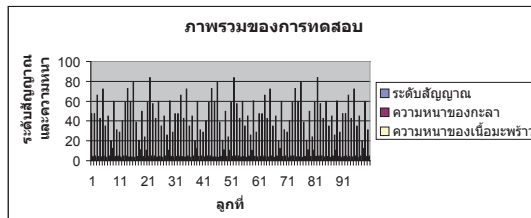


ภาพที่ 8 การทดสอบด้วยสัญญาณอัลตราโซนิก
เพื่อทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้น

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการทดสอบเพื่อหาข้อมูลในมะพร้าวที่มีเนื้อแต่ละแบบ

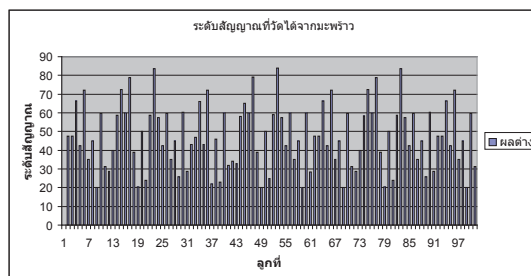
ระดับสัญญาณ	ลักษณะเนื้อมะพร้าว	เนื้อมะพร้าว	ความหนา กะลา ม.ม.	ความหนา เนื้อ ม.ม.
		อ่อนมาก	3.86	3.1
		เนื้อ 1 ชั้น	3.5	4.14
		เนื้อชั้นครึ่ง	3.3	5.2
		เนื้อ 2 ชั้น	3.0	5.62
		แตก	2.56	10.7

จากการทดสอบมะพร้าวจำนวน 100 ลูก
ได้ระดับสัญญาณ ตั้งแต่ 20-84 มิลลิโวลต์ ความหนา
ของกะลา 2.2-4.8 มิลลิเมตร และความหนาของเนื้อ
มะพร้าว 3.1-12.3 มิลลิเมตร



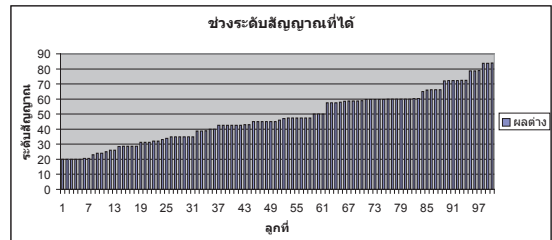
ภาพที่ 9 กราฟแสดงภาพรวมของผลการทดสอบ
ทั้งหมด

ภาพที่ 9 เป็นกราฟแสดงข้อมูลจากการ
ทดสอบของมะพร้าวทั้ง 100 ลูก ทั้งระดับสัญญาณที่
วัดได้ ความหนาของกะลา และความหนาของเนื้อ
มะพร้าว เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของ
ข้อมูลต่างๆ ที่ได้ เปรียบเทียบกับชนิดของเนื้อ
มะพร้าว



ภาพที่ 10 กราฟแสดงผลของสัญญาณจากมะพร้าว
แต่ละลูก

ภาพที่ 10 แสดงค่าผลของระดับสัญญาณที่
วัดได้จากสัญญาณสะท้อนกลับจากมะพร้าวทั้ง 100
ลูก เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับเนื้อและน้ำมะพร้าว



ภาพที่ 11 กราฟแสดงผลต่างสัญญาณจากมะพร้าว
แต่ละลูกเมื่อนำข้อมูลมาจัดเรียง

ภาพที่ 11 เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวัด
ทดสอบและนำมาจัดเรียงระดับสัญญาณเปรียบเทียบกับ
ชนิดของเนื้อและน้ำมะพร้าว เพื่อนำมาจัดแบ่ง
ช่วงสัญญาณตามลักษณะของเนื้อมะพร้าว

จากการทดสอบด้วยอัลตราโซนิกและได้ทำ
การบันทึกผลการทดสอบจำนวน 100 ลูก ลักษณะ
สัญญาณที่ได้นั้นมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ
กับเนื้อมะพร้าว คือ ถ้ามะพร้าวอ่อนระดับสัญญาณที่
ได้รับจะต่ำ และถ้ามะพร้าวมีความแก่ขึ้นระดับ
สัญญาณที่ได้รับก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย สอดคล้องกับ
สมมติฐานที่ว่า ถ้ามะพร้าวอ่อนเปลือกมะพร้าวจะมี
ความชื้นสูงและหนา กะลาจะอ่อน ทำให้มีการดูด
กลืนสัญญาณมากการสะท้อนกลับของระดับสัญญาณ
ต่ำ แต่ถ้ามะพร้าวมีความแก่เพิ่มขึ้น ความชื้นของ
เปลือกจะลดลง และกะลาจะแข็งขึ้น ทำให้มีการดูด
กลืนสัญญาณได้น้อยการสะท้อนกลับของระดับ
สัญญาณมากขึ้น สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์
ของระดับสัญญาณ ได้ดังสมการที่ 4

$$y = \frac{64}{100}x + 20 \quad (5)$$

จากข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์และจัดเรียง
ข้อมูลใหม่ เราสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของ
ระดับสัญญาณกับเนื้อมะพร้าว และนำมาจัดแบ่งช่วง

ของระดับสัญญาณตามลักษณะของเนื้อมะพร้าว ได้
ดังนี้

➤ ค่าความแตกต่างระดับสัญญาณ

- 0-20 = แก่
- 21-40 = เนื้อ 2 ชั้น
- 41-60 = เนื้อชั้นครึ่ง
- 61-80 = เนื้อ 1 ชั้น
- 81-100 = อ่อนมาก

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน

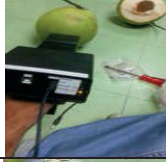
เมื่อได้เครื่องต้นแบบแล้วได้ทำการทดสอบ
ซ้ำในรูปแบบเดิม คือ ทำการใช้เครื่องทดสอบ ทำการ
ทดสอบมะพร้าวน้ำหอมจำนวน 100 ลูก และทำการ
บันทึกผล เปรียบเทียบกับลักษณะที่แท้จริงของ
มะพร้าวน้ำหอม ดังรูปที่ 12 โดยมะพร้าวที่นำมา
ทดสอบนี้แบ่งเป็นมะพร้าวเนื้ออ่อนมาก จำนวน 5
ลูก เนื้อ 1 ชั้น 30 ลูก เนื้อชั้นครึ่ง 40 ลูก เนื้อ 2 ชั้น
20 ลูก และ เนื้อแก่จำนวน 5 ลูก

จากผลการทดสอบมะพร้าวน้ำหอมจำนวน
100 ลูก ผลปรากฏว่าผลการทดสอบตรงกับลักษณะ
เนื้อมะพร้าวจำนวน 70 ลูก และผิดพลาดไป 1 ระดับ
จำนวน 30 ลูก ดังนั้นประสิทธิภาพความถูกต้อง คือ

$$\eta = \frac{\text{results}}{100} \times 100\% \quad (6)$$

$$\eta = \frac{70}{100} \times 100 = 70\%$$

ตารางที่ 2 ภาพตัวอย่างการทดสอบชนิดของเนื้อ
มะพร้าวที่ได้

การทดสอบ	ผลที่ได้	ลักษณะเนื้อ	เนื้อ
	เนื้อ 1 ชั้น		เนื้อชั้น ครึ่ง
	เนื้อ 1 ชั้น		เนื้อชั้น ครึ่ง
	เนื้อ 2 ชั้น		เนื้อ 2 ชั้น
	เนื้อ 2 ชั้น		เนื้อ 2 ชั้น
	เนื้อ 1 ชั้น		เนื้อ 1 ชั้น

5. สรุปผล

ผลสรุปจากการพัฒนาเครื่องตรวจสอบ
มะพร้าวน้ำหอม อุปสรรคที่เกิดขึ้น ปัญหา ความ
ผิดพลาดที่เกิดขึ้น และข้อเสนอแนะในการพัฒนา
เพื่อให้เครื่องตรวจสอบความอ่อนแก่ของมะพร้าว
น้ำหอมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก
ที่สุด

5.1 ผลสรุปในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล ดิบจากมะพร้าวน้ำหอม

ผลสรุปว่าตัวตรวจจับแบบอัลตราโซนิก มี
ผลการทดสอบที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะของ
มะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญมากที่สุด และสามารถใช

งานได้เหมาะสมที่สุด ทำให้ได้ข้อมูลดิบที่ได้และสอดคล้องกับแนวทางสมมติฐาน

5.2 ผลสรุปในขั้นตอนการทดสอบด้วยเครื่องต้นแบบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อแยกแยะข้อมูล และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ เพื่อทำการแบ่งช่วงของระดับสัญญาณที่วิเคราะห์ผลไว้ หลังจากนั้นทำการทดสอบผลด้วยมะพร้าว น้ำหอมอีกจำนวน 100 ลูก ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบได้ผลที่ถูกต้อง 70% ผิดพลาด 30% แต่ยังไม่มีความไม่เสถียรของผลที่ได้ เนื่องจากค่าที่ทำการแบ่งช่วงแสดงผลของมะพร้าวว่ามีเนื้อเป็นเนื้อแบบไหนมีค่าใกล้เคียงกันมาก

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

- 5.3.1 สัญญาณที่ส่งออกไปมีการเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากันในแต่ละครั้ง
- 5.3.2 อัลตราโซนิกที่ใช้มีกำลังงานน้อยเกินไปที่จะทะลุผ่านเปลือกมะพร้าว ขึ้นนอกจนไปถึงชั้นในได้แต่มีข้อดีที่ราคาไม่สูงมาก
- 5.3.3 ในการทดสอบมะพร้าวแต่ละลูกมีขนาดของผลไม่เท่ากัน ความหนาของเปลือกและกะลาไม่เท่ากัน ทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนได้ง่าย
- 5.3.4 การแยกแยะความแตกต่างของเนื้อมะพร้าวในขั้นตอนการเก็บข้อมูล บางครั้งตัดสินใจได้ยากกว่าจะให้ป็นเนื้อแบบใด เพราะลักษณะเนื้อมีความใกล้เคียงกัน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มส่งเสริมการผลิตไม้ยืนต้น มะพร้าว น้ำหอม.
- [2] โกสินทร์ จันทไทย และวุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ เครื่องต้นแบบสำหรับตรวจหาความแก่อ่อนของทุเรียนแบบไม่ทำลายด้วยการใช้อุลตราโซนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2545.
- [3] ณัฐพงศ์ สว่างเมือง และคณะผู้วิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โครงการการพัฒนาวิธีการใช้คลื่นเสียงเพื่อช่วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายอื่นๆ ในการตรวจสอบคุณภาพของมังคุด ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2554.
- [4] บุรฉัตร วิริยะ การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของวัสดุพีชแห้งและเส้นใยแก้ว สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2544.
- [5] พีรพงษ์ แสงวนวงศ์กุล และคณะ โครงการการตรวจสอบคุณภาพและความบริสุทธิ์ของผลมะพร้าวอ่อนแบบไม่ทำลายด้วยเทคนิค NIRs เพื่ออุตสาหกรรมส่งออก กันยายน พ.ศ. 2554.
- [6] ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- [7] มกอช. 15-2550 มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- [8] American National Standard. (1998). Annual Book of ASTM Standards: Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method: C423-90a. Volume 4.06. New York: Clearance Center.
- [9] Miflora M. Gatchalian, Sonia Y. De Leon and Toshimasa Yano. Measurement of young coconut (*Cocos nucifera*, L) maturity by sound waves. *Journal of Food Engineering*. Volume 23, Issue 3, 1994, Page 253-276. Science Direct.
- [10] Olivo, C.T. and T.P. Olivo. (1978). *Fundamentals of Applied Physics*. New York. Delmar Publishers.
- [11] Terdwongworakul, A., S. Chaiyapong, B. Jarimopas and W. Meeklangsaen. 2009. Physical properties of fresh young Thai coconut for maturity sorting. *Biosystems Engineering*. 103(2): 208-216.
- [12] Terdwongworakul, A., Jarimopas, B., Chaiyapong, S., Singh, S. P., Singh, J. Determination of physical, acoustical, mechanical, and chemical properties of fresh young coconut fruit for maturity separation. *Journal of Testing and Evaluation* Volume 38, Issue 1, January 2010.
- [13] Thumann A, Miller RM. (1986). *Fundamental of noise control engineering*. Georgia: Fairmont Press.
- [14] Webb, J.D. (1976). *Physics of Sound*. In R.I. Woods MHHVE (ed.). *Noise Control in Mechanical Service*. New York. John Wiley & Sons.