

การวิเคราะห์ความสุกของทุเรียนโดยใช้ ฟาสต์ ฟูลเรียร์ ทรานฟอร์ม (FFT)

A study for ripeness of durian by Fast Fourier Transform (FFT)

สโรช ไทรเมฆ¹ จัตตพร หนวดคำ² วงศ์ฉัตร ปิยะรัฐ³

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

E-mail: saroj@fibo.kmutt.ac.th

Saroj SAIMEK¹ Juttuporn Nuadkum² Wongchat Piyarat³

^{1, 2, 3}Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's University of Technology Thonburi. 91 Pracha-u-tit Rd. Bangmod Tungkru Bangkok 10140

E-mail: saroj@fibo.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เป็นการศึกษาการวิเคราะห์ความสุกทุเรียนพันธุ์ชะนีโดยใช้สัญญาณเสียงซึ่งเกิดจากเคาะผลทุเรียนสัมพันธ์กับระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว และออกแบบวิธีการทดลองต่างๆ ให้สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายที่สุดแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้ ในขั้นตอนแรกคือการเก็บสัญญาณเสียง และการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว และทฤษฎีการแปลงเวฟเลต โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในขั้นตอนที่สองเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยนำค่าความถี่ให้ "maximum power spectrum" มาใช้วิเคราะห์เพื่อดูแนวโน้มการลดลงของความถี่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ผลที่ได้จากการทำโครงการ การแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณเสียงเพื่อให้สัญญาณอยู่ในรูป "power spectrum" ในโดเมนความถี่แสดงเป็นรูปแผนภูมิเชิงเส้น และเมื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณมาสังเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าผลการทดลองให้แนวโน้มความถี่ของเสียงทุเรียนลดลงตามระยะเวลาหลังเก็บเกี่ยวเป็นไปตามสมมติฐาน ปัญหาที่พบโดยส่วนมาก คือ สัญญาณเสียงพบว่าสัญญาณที่บันทึกได้ในช่วงที่ทุเรียนดิบอยู่มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของสัญญาณรบกวนและการกำจัดสัญญาณรบกวนทำได้เพียงระดับหนึ่งเพื่อป้องกันความผิดพลาดของสัญญาณ

คำหลัก: ฟูเรียร์แบบเร็ว, power spectrum

Abstract

This paper provided a non-destructive method to find how ripe durian, particularly Cha-nee type, is. We studied changed of echo-frequency of the durian after harvesting. In order to achieve appropriate frequencies, we utilized Fourier transformation and wavelet theory within MATLAB to analyze the echo-frequency.

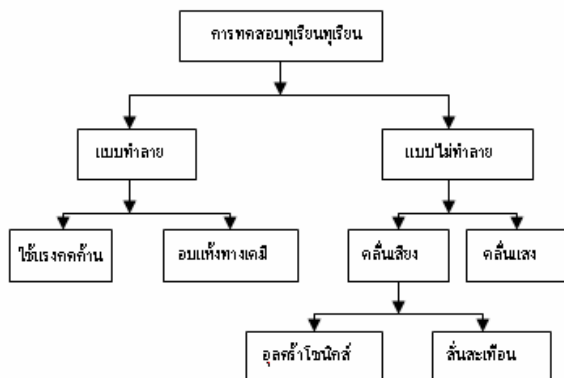
Our technique is to obtain "maximum power spectrum" of the frequency everyday after the harvesting and monitored how the maximum power spectrum at a particular frequency changed. We then plot the maximum power spectrum at a particular frequency changed with time, from there we noticed that the maximum power spectrum frequency reduced which was expected. One problem that we found was that the power spectrum was difficult to identify when the durian was fresh.

Keywords: power spectrum, Fourier transformation

1. บทนำ

จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศนั้น รัฐบาลได้เริ่มต้นนโยบายส่งเสริมการส่งออกทางด้านอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม พร้อมทั้งมีนโยบายที่จะให้ประเทศไทยเป็นผู้นำด้านผลิตภัณฑ์ทางเกษตรทำให้ภาคเอกชนมีความตื่นตัวต่อผลผลิตของตนเพื่อให้มีมาตรฐานทัดเทียมกับมาตรฐานการส่งออก ทุเรียนเป็นผลไม้ที่เป็นที่นิยมของคนไทยและเป็นผลไม้ที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจค่อนข้างสูง ซึ่งมีแนวโน้มที่จะขยายการส่งออกต่อไปอีกมากจึงถูกกำหนดให้เป็นผลไม้ที่จะต้องเร่งรัดเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อการส่งออกและในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทุเรียนไทยประสบปัญหาเรื่องคุณภาพที่ตกต่ำ เนื่องจากมีทุเรียนที่อ่อนกว่าความต้องการปะปนไปกับทุเรียนที่สุกตามต้องการ ดังนั้นโครงการนี้จึงจัดทำขึ้นมาเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการคัดเลือกผลทุเรียนสุกให้อยู่ในระดับที่มีมาตรฐานความถูกต้องสูงขึ้น โดยโครงการนี้จะใช้ทฤษฎีฟูเรียร์ เรืองฟูเรียร์ซีรี่ , การแปลงฟูเรียร์ และ "Digital Signal Processing(DSP)" และสร้างซอฟต์แวร์ โดยใช้หลักการจากทฤษฎีดังกล่าว ด้วยโปรแกรม "Matlab" หลังจากนั้นจะทำการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บผลจากเสียง

สะท้อนที่เกิดจากการเคาะผลทุเรียนและแสดงผลในรูปของสัญญาณความถี่ โดยจะทำการเก็บผลจากทุเรียนที่ถูกตัดลงมาก่อนที่จะสุกซึ่งจะทำการเก็บผลในช่วงเวลาก่อนสุกที่แตกต่างกันจนกระทั่งสุก เพื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกับความสุกของทุเรียน และพิจารณาว่าทุเรียนมีความสุกมากน้อยเพียงใดวิธีการทดสอบทุเรียนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะด้วยกันคือ การทดสอบแบบทำลาย “Destructive Test” เป็นวิธีการทดสอบที่มุ่งทำลายกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเพื่อพิสูจน์ผล แล้วนำผลที่ได้จากการทดสอบกลุ่มตัวอย่างไปตีความหมายกลุ่มประชากรทั้งหมด



รูปที่ 1 วิธีการทดสอบผลทุเรียนทั้งแบบทำลายและไม่ทำลาย

ส่วนการทดสอบวิธีที่สอง คือ การทดสอบแบบไม่ทำลาย “Non-destructive Test” โดยมุ่งหลีกเลี่ยงการทำลายกลุ่มตัวอย่างให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือรูปร่างไปจากเดิม และสามารถใช้ทดสอบได้กับทุกหน่วยประชากร ทำให้การประเมินผลมีความถูกต้องมากขึ้น

2. วิธีการทดลอง

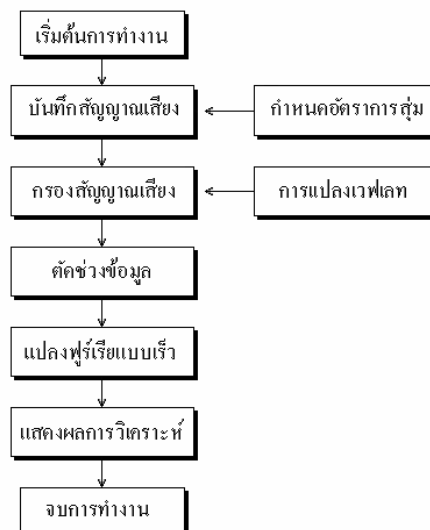
(1) การคัดเลือกผลทุเรียนตัวอย่างมีเงื่อนไขว่าทุเรียนที่นำมาวิเคราะห์ต้องใช้เวลาอีก 5 วันจึงจะสุกโดยวิธีการที่ใช้ 2 วิธีดังนี้ 1.ในการนับวันที่ทุเรียนสุกหลังจากดอกของทุเรียนปฐินธิ มีหลักการดังนี้เนื่องจากทุเรียนที่ทำการศึกษา เป็นทุเรียนพันธุ์ชะนี จากข้อมูลทางการเกษตรพบว่าทุเรียนพันธุ์ชะนีหลังจากปฐินธิแล้ว ประมาณ 110 วัน จะเป็นเวลาที่เหมาะกับการเก็บเกี่ยวเพื่อนำไปขาย 2.จากความชำนาญของชาวสวนทำให้ทราบว่ ลักษณะทางกายภาพของผลทุเรียนสามารถบ่งบอก ถึงอายุทุเรียนที่สามารถเก็บเกี่ยวได้

(2) การวิเคราะห์เสียงทุเรียนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน 1. การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์ และไมโครโฟน 2.ส่วนการใช้โปรแกรม “MATLAB” เพื่อการวิเคราะห์สัญญาณเสียงโดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 2.

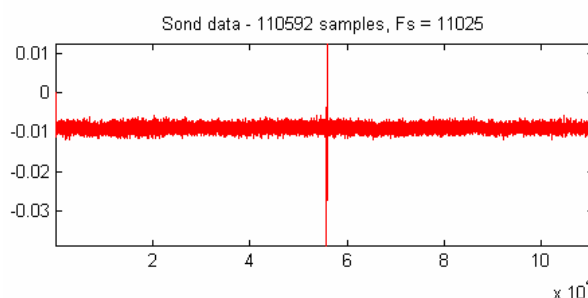
การทำงานของซอฟต์แวร์แบ่งเป็นสอง ช่วงด้วยกัน ในช่วงแรกเป็นการบันทึกสัญญาณเสียงโดยใช้ไมโครโฟนในการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าโปรแกรมจะบันทึกค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ได้รับมาด้วยอัตราการสุ่มที่ 11025 เป็นเวลา 10 วินาทีในรูปสัญญาณไม่

ต่อเนื่องเชิงเวลา พบว่าสัญญาณที่ได้รับมีค่าน้อยและเกิดสัญญาณรบกวนปะปนดังรูปที่ 3

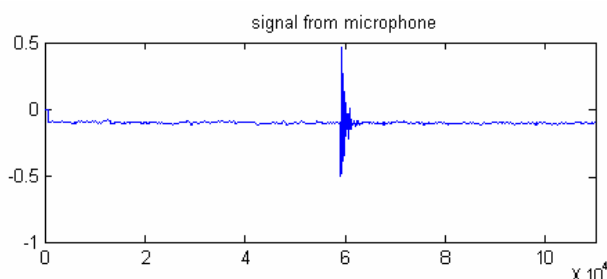
ดังนั้นจึงต้องมีการกรองสัญญาณและตัดช่วงสัญญาณโดยวิธีการแปลงเวฟเลท “Wavelet Transform”



รูปที่ 2. ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

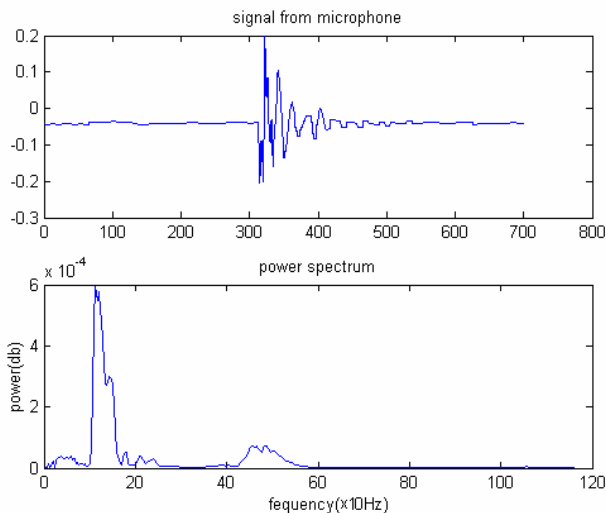


รูปที่ 3 การแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้ไมโครโฟน



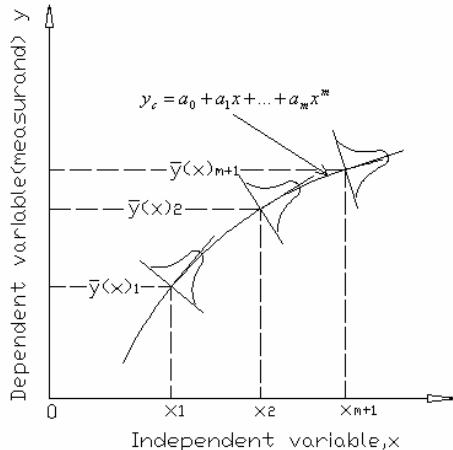
รูปที่ 4 การกรองสัญญาณและตัดช่วงสัญญาณโดยวิธีการแปลงเวฟเลท “Wavelet Transform”

แล้วจึงแปลงสัญญาณในรูปโดเมนเวลาให้อยู่ในรูปโดเมนความถี่โดยการแปลงฟูรีเยร์แบบเร็ว “Fast Fourier Transform(FFT)”



รูปที่ 5 การแปลงสัญญาณในรูปโดเมนเวลาให้อยู่ในรูปโดเมนความถี่ โดยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว “Fast Fourier Transform(FFT)”

(3) การวิเคราะห์ผลการทดลองผลวิเคราะห์สัญญาณจะต้องนำไป ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ข้อมูลทางสถิติอีกครั้งหนึ่งเพื่อ หาแนวโน้มสัญญาณของเสียงทุเรียนเมื่ออายุมากขึ้น และลักษณะของข้อมูลสถิติที่ใช้ในโครงงานได้แก่ การวิเคราะห์เชิงถดถอยเป็นเทคนิคทางสถิติมีจุดประสงค์คือการคำนวณหาค่า “parameter” ของฟังก์ชันที่ทำให้ฟังก์ชันเหมาะสมกับข้อมูล



รูปที่ 6 แนวโน้มสัญญาณของเสียงทุเรียนเมื่ออายุมากขึ้น

ในการคำนวณหาฟังก์ชันใช้วิธี “Least-Square Regression Analysis” เพื่อหาสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันเทคนิคของการวิเคราะห์นี้มีเป้าหมายที่จะลดค่าผลรวมของค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงจากผลการทดลอง “actual data” กับค่าของตัวแปรตาม y_c

$$y_c = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m \quad (1)$$

สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$D = \sum_{i=1}^N (y_i - y_{ci})^2 \quad (2)$$

ให้ $dD = 0$ เพราะฉะนั้นจะได้

$$\frac{\partial D}{\partial a_0} = 0 = \frac{\partial}{\partial a_0} \left\{ \sum_{i=1}^N [y_i - (a_0 + a_1x + \dots + a_mx^m)]^2 \right\}$$

$$\vdots$$

$$\frac{\partial D}{\partial a_m} = 0 = \frac{\partial}{\partial a_m} \left\{ \sum_{i=1}^N [y_i - (a_0 + a_1x + \dots + a_mx^m)]^2 \right\} \quad (3)$$

ในโครงงานนี้ใช้สมการเอ็กซ์โพเนนเชียล “exponential equation” เป็นสมการของเส้นแนวโน้มความถี่เสียงทุเรียน

$$y = ae^{bx} \quad (4)$$

ในการหาสัมประสิทธิ์ (a, b) นั้นจำเป็นต้องทำให้สมการ อยู่ในรูปของสมการโพโลโนเมียล ดังนั้นเขียนได้เป็น

$$\ln y = \ln a + bx \ln e$$

↓

$$Y = A + BX \quad (5)$$

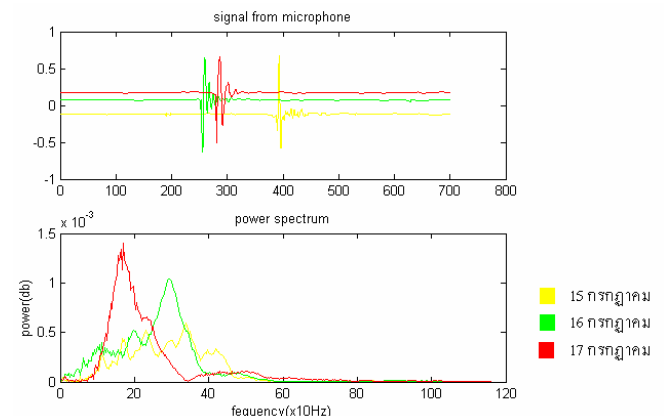
ดังนั้นสามารถหาสัมประสิทธิ์ของสมการจาก $A = a_0$ และ $B = a_1$

$$A = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - \sum x_i^2 \sum y_i}{(\sum x_i)^2 - N \sum x_i^2} \quad (6)$$

$$B = \frac{\sum x_i \sum y_i - N \sum x_i y_i}{(\sum x_i)^2 - N \sum x_i^2} \quad (7)$$

3. ผลการทดลอง

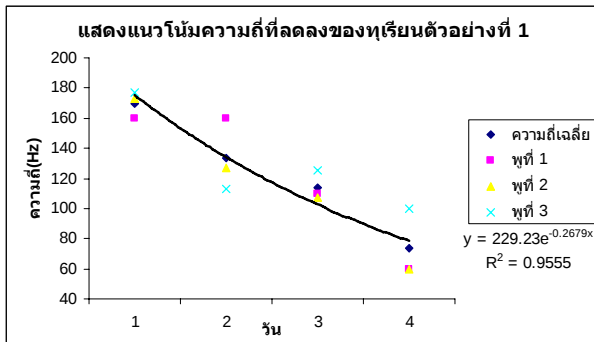
ในหัวข้อนี้แสดงผลการทดลองจากการวิเคราะห์ 2 ขั้นตอนขั้นตอนแรกเป็นผลการแปลงสัญญาณเสียงในรูปโดเมนเวลา เป็นสัญญาณเสียงในรูปโดเมนความถี่เพื่อหาความถี่ที่ให้ค่า “maximum power spectrum” ของเสียงทุเรียน



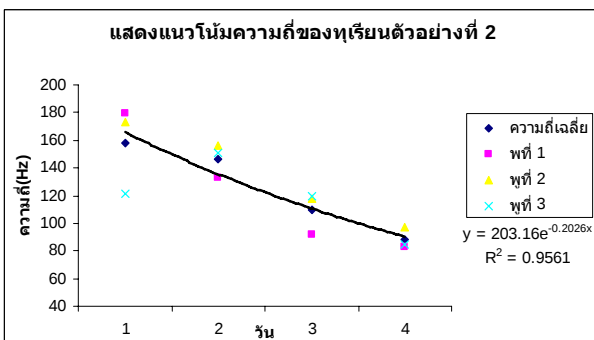
รูปที่ 8 แสดงสัญญาณเสียงที่ได้ผ่านไมโครโฟน

จากรูปเป็นแผนภูมิตัวอย่างที่น่าสัญญาณผ่านกระบวนการวิเคราะห์ที่ได้ออกแบบไว้ พบว่าค่าความถี่ที่ให้ค่า “Maximum power spectrum” ของสัญญาณเสียงมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนวันเพิ่มขึ้นตามสมมติฐาน และเมื่อทุเรียนมีอายุมากขึ้นจะมีเสียงโพรกขึ้น(ดังขึ้น)พบว่าความดัง/เบาของเสียงมีความสัมพันธ์กับค่า “power spectrum” จากการทดลองกลุ่มตัวอย่างทุเรียนพันธุ์ชะนีทั้งหมด 6 ตัวอย่างเพื่อศึกษาพฤติกรรม

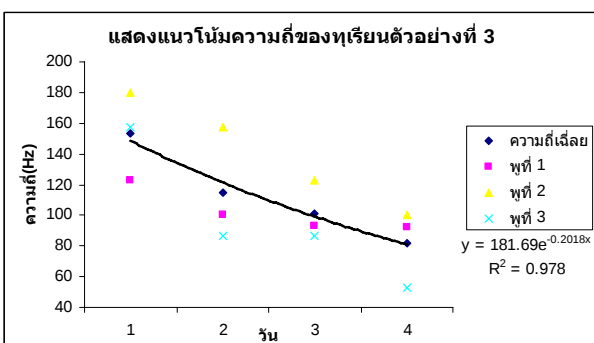
เปลี่ยนแปลงความถี่สัญญาณเสียงทุเรียน ณ ความถี่ที่มีให้ค่า “maximum power spectrum” แล้วนำผลการทดลองมาศึกษาพบว่า ทุเรียนทุกลูกสุกในวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2545 ซึ่งเร็วกว่าที่คาดไว้ 1 วัน บางลูกสุกก่อนที่คาด 2 วัน และบางลูกแต่ละพูสุกไม่เท่ากัน ในการวิเคราะห์ความถี่เสียงของทุเรียนแต่ละตัวอย่างมีแนวโน้มความถี่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว เป็นไปตามสมการถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลดังแสดงได้ดังนี้



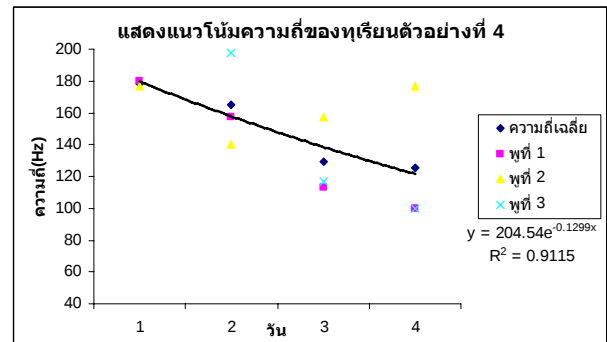
รูปที่ 9 ตัวอย่างที่ 1 ได้ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงความถี่กับระยะเวลาหลังเก็บเกี่ยว เป็นไปตามสมการ $y = 229.23e^{-0.2679x}$



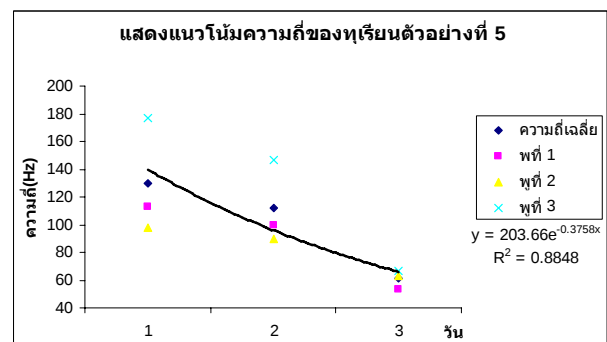
รูปที่ 10 ตัวอย่างที่ 2 ได้ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงความถี่กับระยะเวลาหลังเก็บเกี่ยว เป็นไปตามสมการ $y = 203.16e^{-0.2026x}$



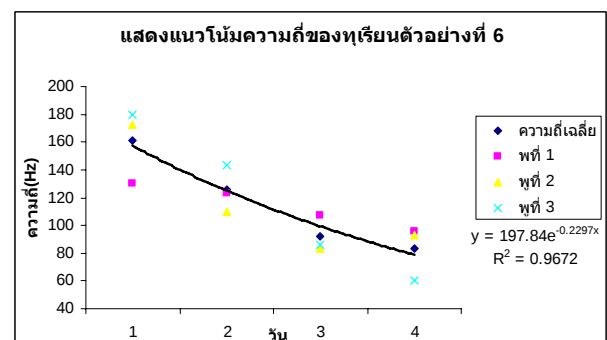
รูปที่ 11 ตัวอย่างที่ 3 ได้ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงความถี่กับระยะเวลาหลังเก็บเกี่ยว เป็นไปตามสมการ $y = 181.69e^{-0.2018x}$



รูปที่ 12 ตัวอย่างที่ 4 ได้ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงความถี่กับระยะเวลาหลังเก็บเกี่ยว เป็นไปตามสมการ $y = 204.54e^{-0.1299x}$



รูปที่ 13 ตัวอย่างที่ 5 ได้ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงความถี่กับระยะเวลาหลังเก็บเกี่ยว เป็นไปตามสมการ $y = 203.66e^{-0.3758x}$



รูปที่ 14 ตัวอย่างที่ 6 ได้ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงความถี่กับระยะเวลาหลังเก็บเกี่ยว เป็นไปตามสมการ $y = 197.84e^{-0.2297x}$

อภิปรายผลการทดลองจากผลการวิเคราะห์สัญญาณเสียงซึ่งแสดงในภาคผนวก ค. แสดงให้เห็นว่าจากการแปลงเวฟเลทสัญญาณรบกวนและจำนวนสัญญาณมีค่าลดลง ผลวิเคราะห์หลังการแปลงฟูเรียร์แสดงในรูปแผนภูมิความถี่ที่ให้ค่า “maximum power spectrum” อยู่ในช่วง 40 – 400Hz และระดับความเข้มเสียงมีผลต่อค่า “power spectrum” ของสัญญาณเสียง ผลการเก็บข้อมูลด้วยตารางนั้นสังเกตได้ว่า ทุเรียนตัวอย่างจากการสุ่มสุกช้าเร็วไม่เท่ากัน การทดลองการลดลงของความถี่เสียง

สัมพันธ์กับระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว และพบว่าความถี่เสียงกลุ่มตัวอย่างลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งให้ค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูลเฉลี่ย 94.3%

4. สรุปผลการทดลอง

ในโครงการนี้ ทำการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เกิด “maximum power spectrum” ของสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะทุเรียนสัมพันธ์กับระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว และออกแบบวิธีการทดลองต่างๆให้สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายที่สุด อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บสัญญาณเสียงเป็นไมโครโฟนแปลงสัญญาณการสั่นสะเทือนเสียงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ข้อมูลสัญญาณจะถูก บันทึกในรูปค่าสัญญาณต่อ ช่วงช่วงเวลาในการเก็บสัญญาณ(หรือ จำนวนการเก็บข้อมูล ต่อ อัตราการสุ่ม “sampling”) และใช้กระบวนการแปลงเวฟเลท ในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่มีการปะปนเข้ามาขณะเก็บสัญญาณ กระบวนการช่วงนี้พบว่า สัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะผลทุเรียนที่ยังดิบอยู่มีค่าน้อยมาก เมื่อกำจัดสัญญาณรบกวนแล้วจากนั้นเป็นกระบวนการตัดช่วงสัญญาณเพื่อนำช่วงที่เกิดสัญญาณเสียงมาวิเคราะห์ โดยผ่านกระบวนการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว “Fast Fourier Transform” เป็นค่า “maximum power spectrum” ในฐานความถี่ “Frequency Domain” เพื่อเก็บผลการทดลอง ผลการทดลองให้แนวโน้มความถี่ของเสียงทุเรียนลดลงตามระยะเวลาหลังเก็บเกี่ยว ซึ่งหมายถึงเนื้อทุเรียนกับเปลือกเกิดช่องว่างมากขึ้นหรือความหนาแน่นของเนื้อทุเรียนลดลงทุกวัน และเนื้อทุเรียนเมื่อกดลงไปแล้วต้องไม่แข็งจนกินไม่ได้และต้องมีกลิ่นหอม

4.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง

สำหรับโครงการนี้ปัญหาที่พบโดยส่วนมาก คือ สัญญาณเสียงพบว่าสัญญาณที่บันทึกได้ในช่วงที่ทุเรียนดิบอยู่มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของสัญญาณรบกวนและการกำจัดสัญญาณรบกวนทำได้เพียงระดับหนึ่ง เพื่อป้องกันความผิดพลาดของสัญญาณทำให้สัญญาณที่ผ่านการแปลงฟูเรียร์ในรูปของโดเมนความถี่ที่มีค่าของสัญญาณรบกวนตามมาเช่นกัน ตำแหน่งที่เคาะก็เป็นเหตุสำคัญในการเกิดสัญญาณเสียงที่ไม่ชัดเจน จะสังเกตได้ว่าพ่อค้าหรือแม่ค้าขายทุเรียนจะเคาะทุเรียนจนได้รับฟังเสียงที่ชัดเจนที่สุดแล้วจึงพิจารณาถึงความสุกของทุเรียน

4.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ปัญหาที่พบจากการทดลองดังนี้

1. การเคาะทุเรียนมีต่อผลสัญญาณมากที่สุดดังนั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดเงื่อนไขการเคาะผลทุเรียน เช่น ตำแหน่งเคาะ
2. ยังพบว่าความเข้มเสียงของทุเรียนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งคาดว่าสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาความสุกของทุเรียนได้เช่นกัน
3. ควรมีการสร้างเครื่องเคาะผลทุเรียน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งเคาะผลทุเรียน และแรงที่ใช้ในการเคาะผลทุเรียน
4. การวิเคราะห์เสียงโดยใช้การแปลงเวฟเลท เป็นอีกแนวทางที่สามารถนำมาประยุกต์เพื่อการวิเคราะห์สัญญาณเสียงได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นฤพล ฟ้าทวีพร “ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของก้านและอายุของผลทุเรียน” ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน 2533
- [2] พลกร นันทเอกพงศ์ “ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งของก้านและอายุของผลทุเรียนพันธุ์ชะนีและหมอนทอง” ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน , 2533
- [3] บัญญัติ จริโมภาส และคณะ “รายงานการวิจัยโครงการควบคุมคุณภาพทุเรียนตัดอ่อน” สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ 2530
- [4] อนุพันธ์ เทอดวรวงศ์กุล “การเปลี่ยนแปลงดัชนีความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียนพันธุ์หมอนทองระหว่างการพัฒนาบนต้น”, ปริญญาานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน 2541
- [5] วุฒิวัฒน์ คงรัตนประเสริฐ “การตรวจหาความแก่อ่อนทุเรียนโดยการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับการใช้อัลตราโซนิกส์” วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2543
- [6] Paul M . Embress and Damon Danieli “Algorithms for Digital Signal Processing.” Pentice-Hall ,1999.
- [7] Edward.W.Kamen ,”Introduction to Signals and Systems ,2nd Edition,” Prentic-Hall ,1900, pp.384-491.
- [8] มนัส สังวรศิลป์ “คู่มือการใช้งาน MATLAB” สำนักพิมพ์อินโฟเพรส หน้า 17-18 2543
- [9] สุธรรม ศรีเกษม “MATLABเพื่อการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม” สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย-รังสิต ,หน้า 254-279 2543
- [10] http://www.doae.go.th/plant/du_/durian.html
- [11] <http://www.thai.net/udagco/mature.durian.html>