

รายงานผลงานวิจัยปีงบประมาณ 2537
เสนอคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

เรื่อง
การตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ด้วยระบบเสียง
Acoustic Test for
Fruit Quality Assurance

หัวหน้าโครงการ นายวิทยา ทิพย์สุวรรณพร
แทน นายภากร หุตสังกาศ
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
GC
595.5
เลขหมู่..... 05825
เลขทะเบียน..... 32242
วัน, เดือน, ปี 11 ส.ค. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความสุกของผลไม้ด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก

Piezoelectric Measurement for Ripeness Fruit

ศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การวัดความสุกของผลไม้แบบไม่ทำลาย โดยใช้ตัววัดแบบผลึกพิโซอิเล็กทริก และนำผลจากการวัดไปวิเคราะห์ ในการทดลองนี้เหมาะที่จะใช้วิเคราะห์การสุกของผลไม้ที่มีเปลือกแข็ง เช่น ทุเรียน มังคุด พิโซอิเล็กทริกเป็นตัววัดแรงสั่นสะเทือนมีช่วงการวัด 0 ถึง 50 g (gravity: $1g = 9.80665 \text{ m.s}^{-2}$) แบบแกนเดียวโดยอาศัยหลักการเปรียบเทียบอัตราเร่งของความสั่นสะเทือนของผลไม้ ได้ค่าเอาท์พุทเป็นประจุไฟฟ้า มีวงจรแปลงค่าประจุเป็นแรงดัน 0 ถึง 5 โวลต์ ผ่านทางวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8031 ทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลแบบ RS232 ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลข้อมูลของความสั่นสะเทือนตามจำนวนการสุ่มตัวอย่างสำหรับหาค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ยของการวัด และเก็บข้อมูลของการวัดนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการวัดครั้งต่อไป

Abstract

Piezoelectric Measurement for Ripeness Fruit is used for nondestructive method, analysis characteristics and internal quality of fruits. In this paper is apply to measure for durian, mangosteen etc. Piezoelectric is measured for vibration force that has range 0 to 50 g (gravity: $1g = 9.80655 \text{ m.s}^{-2}$) one-dimension and interest level the vibration of acceleration from durian. Signal output is capacitance convert to voltage 0-5 volt. It is converted to binary by A to D converter. We use microcontroller 8031 transfer data to IBM-PC for standard RS232. The microcomputer save data to file, calculate maximum, minimum, average data, compare with vibration from sample data of continue data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

โดยทั่วไปการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้จะใช้วิธีการคาดคะเนจากลักษณะภายนอก เช่น น้ำหนัก สี รูปร่าง และอื่นๆ ส่วนลักษณะภายใน เช่น เนื้อในของผลไม้ ส่วนประกอบทางเคมี กลิ่น รสชาติ และอื่นๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะอาศัยประสบการณ์ และความชำนาญในการพิจารณาการสุกของผลไม้ เพราะฉะนั้นจึงเป็นการยากในการสุ่มตัวอย่างให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำให้ผลไม้เสียหาย ในการวัดคุณภาพภายในของผลไม้ต้องใช้ข้อมูลที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง โดยใช้ตัวตรวจวัดร่วมกับไมโครคอมพิวเตอร์ทำนายคุณภาพภายในของผลไม้ ด้วยวิธีการนี้เราใช้ข้อมูลจากการวัด แล้วบันทึกลงบนเทปแล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลพื้นฐานเดิม วิธีการนี้ใช้หลักการของรีโซแนนซ์ของแรงสั่นสะเทือนซึ่งใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพภายใน อย่างเช่น ผลทุเรียน

วิธีการวิเคราะห์ผลตอบสนองอิมพัลส์ (Method of Analysis for impulse Response)

ในผลตอบสนองอิมพัลส์จากผลไม้ นั้น จะเป็นคลื่นธรรมชาติและไม่เที่ยงตรงพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ได้ถูกต้อง ดังนั้นการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนผลตอบสนองอิมพัลส์ วิธีการนี้ใช้ความถี่ธรรมชาติและค่าคงที่การหน่วง (Natural frequency และ Damping constant) ของตัวอย่างที่ไม่บอบสลายกับการแยกความถี่สูงจากกำลังสเปกตรัม (Power Spectrum) โดยวิธีของฟาสต์ฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม (Fast Fourier Transform)

ทฤษฎี

เราสมมติว่าผลตอบสนองอิมพัลส์คลื่นของผลไม้ที่ไม่บอบสลายเป็นคุณลักษณะของคลื่นไซน์ ซึ่งเริ่มต้น

ที่ $t = \tau$ และลดลงในแอมป์จูด เอ็กโปเนนเชียลกับเวลา ดังเช่น

$$y(t) = \begin{cases} 0 & t < \tau \\ A \exp[-\alpha(t-\tau)] \sin \omega_0(t-\tau) & \tau \leq t \end{cases} \quad (1-1)$$

เมื่อ $\omega_0 = 2\pi f_0$, f_0 คือ ความถี่ธรรมชาติ, α คือค่าคงที่แดมป์และ A คือค่าคงที่สัมพันธ์กับแอมพลิจูด หรือผลรวมของคลื่นไซน์ ดังเช่น

$$y(t) = \begin{cases} 0 & t < \tau \\ \sum_i A_i \exp[-\alpha_i(t-\tau)] \sin \omega_{i0}(t-\tau) & \tau \leq t \end{cases} \quad (1-2)$$

สเปกตรัมพลังงานนี้ หาได้โดยรากของค่าสัมบูรณ์ของฟูเรียร์ทรานฟอร์ม สำหรับสัญญาณเริ่มต้น และแสดงการกระจายพลังงานกับความถี่

$$E(\omega) = \text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)$$

$$\text{Re}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \cos \omega t dt \quad (1-3)$$

$$\text{Im}(\omega) = - \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \sin \omega t dt$$

สำหรับฟังก์ชัน (1-1) สเปกตรัมพลังงาน $E(\omega)$ เป็นการคำนวณ ดังนี้

$$E(\omega) = A^2 \omega^2 / [\omega^2 + \alpha_0^2 - \omega_0^2 + 4\alpha^2 \omega_0^2] \quad (1-4)$$

สเปกตรัมพลังงาน (1-4) มีค่าสูงสุด ของ

$$E(\omega)_{\max} = A^2 / 4 \alpha^2 \quad (1-5)$$

ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น

$$(2\pi f_{\max})^2 = (2\pi f_0)^2 - \alpha^2 \quad (1-6.1)$$

สมการ (1-6.1) แสดงความแตกต่างระหว่างความถี่ธรรมชาติ และความถี่สูงสุดของสเปกตรัมพลังงาน $E(\omega)$ คือขึ้นอยู่กับ ค่าแม่กปีจุดของค่าคงที่แด้มปีง α . ถ้า α มีสภาพเซตติไฟน์

$$\alpha \ll 2\pi f_{\max} \quad (1-7)$$

เมื่อ f_{\max} กลายเป็นเทียบเท่าโดยประมาณกับความถี่ธรรมชาติ f_0 การรวมสมการ (1-4) และ (1-5), นี้ประกอบจาก f_{\max} และ 2 ความถี่ของ f_a และ f_b เมื่อ $E(\omega)$ กลายเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด

$$\begin{aligned} \alpha^2 &= [-\omega_{\max}^2 + \sqrt{\omega_{\max}^4 + (\omega_a^2 - \omega_b^2)/4}]^2 \\ &= 2\pi^2 [-f_{\max}^2 + \sqrt{f_{\max}^4 + (f_a^2 - f_b^2)/4}]^2 \quad (1-8) \end{aligned}$$

ในกรณีของฟังก์ชัน (1-2) สเปกตรัมพลังงานนี้ยุ่งและมีค่า peak หลายอันแต่ละ peak ขึ้นอยู่กับ ความถี่ธรรมชาติ ถ้าค่า peak ไม่เขียนทับ, ความสัมพันธ์ระหว่าง i-th ความถี่ peak $f_{i\max}$ และ natural frequency f_{i0} นี้คล้ายกับสมการ (1-6)

$$\omega_{i\max}^2 \sim \omega_{i0}^2 - \alpha_i^2 \quad (1-9)$$

i.e.,

$$(2\pi f_{i\max})^2 = (2\pi f_{i0})^2 - \alpha_i^2 \quad (1-9.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ i -th peak ถ้า α_i มีสภาพที่พอใจ

$$\alpha_i \ll 2\pi f_{i\max} \quad (1-10)$$

$f_{i\max}$ กลายมาเป็นเทียบเท่าโดยประมาณกับ f_{i0}

ในการคำนวณแท้จริงของ power spectrum fourier transform ตัวแรกใช้สำหรับวิเคราะห์ค่าดิจิทัล จากค่า N ดิจิตอล ตัวอย่างที่ช่วงเวลาของ t เช่น $y(0)$, $y(t)$, $y(2t)$, ..., $y((N-1)t)$, ค่าของ power spectrum ที่ช่วงความถี่ของ f เช่น $s(0)$, $s(f)$, $s(2f)$, ..., $s((N-2)f/2)$ คำนวณได้ดังนี้

$$s(k\Delta f) = (R^2(k\Delta f) + I^2(k\Delta f))$$

$$R(k\Delta f) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y(n\Delta t) \cos(2\pi kn/N) \quad (1-11)$$

$$-I(k\Delta f) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y(n\Delta t) \sin(2\pi kn/N)$$

เมื่อ Δt = sampling interval

Δf = frequency resolution

N = block size of data

$k = 0, 1, 2, \dots, (N-2)/2$

ผลของความถี่ f ขึ้นอยู่กับ N และ Δt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta f = (N \Delta t)^{-1} \quad (1-12)$$

วิเคราะห์ความถี่กับผลของความถี่สูงหรือในความถี่กว้างนี้เป็นไปได้โดยปรับแต่งค่าของ N และ t ความสัมพันธ์ระหว่าง spectrum energy และ power spectrum นี้พิสูจน์ได้ดังนี้ถ้า ช่วง sampling Δt นี้เล็กน้อยมากเมื่อเทียบกับย่านความถี่ของ $y(t)$, และ $y(t)$ เสื่อมลงใน sampling period $0 \leq t \leq N \Delta t$, เมื่ออนุกรมกับสมการ (1-11) นี้สลับเปลี่ยนกับอินทิกรัล จาก $t = -\infty$ ถึง $t = +\infty$

$$\begin{aligned} R(k\Delta f) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y(n\Delta t) \cos(2\pi kn/N) \\ &= \frac{1}{N\Delta t} \sum_{n=0}^{N-1} y(n\Delta t) \cos(2\pi kn\Delta t) \Delta t \\ &= \Delta f \int_0^{N\Delta t} y(t) \cos(2\pi k\Delta f t) dt \\ &= \Delta f \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \cos(2\pi k\Delta f t) dt \\ &= \Delta f \operatorname{Re}(2\pi k\Delta f) \end{aligned} \quad (1-13)$$

$$-I(k\Delta f) = \Delta f \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \sin(2\pi k\Delta f t) dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= -\Delta f \operatorname{Im}(2\pi k \Delta f) \quad (1-14)$$

ในการเปรียบเทียบกับสมการ (1-3), power spectrum $s(k\Delta f)$ นี้สัมพันธ์กับ energy spectrum $E(\omega)$

$$\begin{aligned} s(k\Delta f) &= R^2 (k \Delta f) + I^2 (k \Delta f) \\ &= (\Delta f)^2 \operatorname{Re}^2 (2\pi k \Delta f) + \operatorname{Im}^2 (2\pi k \Delta f) \\ &= (\Delta f)^2 \cdot E(2\pi k \Delta f) \end{aligned} \quad (1-15)$$

ถ้าสภาพจำเป็นสมการ (1-13) (1-14) และ (1-15) นี้พอใจ เมื่อผลการทดลองสามารถวิเคราะห์โดยกำหนดให้ power spectrum นี้เทียบเท่า energy spectrum ยกเว้นค่าคงที่ $(\Delta f)^2$ นั่นคือสมการ (1-6) ถึง (1-10) สามารถใช้สำหรับคำนวณ ความถี่ natural และค่าคงที่ damping โดยป้องกัน f_{\max} ที่ ความถี่ peak ของ power spectrum

ในกรณีของสมการ (1-1) ค่าคงที่ damping สามารถคำนวณโดยวิธีอื่นอีก 2 วิธี จากสมการ (1-5)

$$\alpha = \frac{A \Delta f}{2\sqrt{E(\omega)_{\max}}} \quad (1-16)$$

โดยการแทนที่ของสมการ (1-15) ในสมการ (1-16) ค่าคงที่ damping กำหนดค่าสูงสุดของ power spectrum และค่าคงที่ A ของคลื่นเสียงกระทบเริ่มต้น (original impact sound wave)

$$\alpha = \frac{A \Delta f}{2\sqrt{s(k\Delta f)_{\max}}} \quad (1-17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2535/2558 ห้ามการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่ A นี้สัมพันธ์กับแอมพลิจูดเริ่มต้นและค่าโดยประมาณนี้ประกอบจากครึ่งของความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดกับต่ำสุดของคลื่นเสียงกระแทกเริ่มต้น

วิธีอื่นใช้ผลรวมของ power spectrum ภายใต้สภาพ $\omega_{\max}^2 \gg \alpha^2$ อินทิกรัลของ energy~spectrum คือ

$$\int_0^{\infty} E(\omega) d\omega = E(\omega)_{\max} \alpha \pi \quad (1-18)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างอินทิกรัลของ energy spectrum และ ผลรวมของ power spectrum นี้ได้มาจาก

$$\int_0^{\infty} E(\omega) d\omega = 2\pi \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta f) \Delta f \quad (1-19)$$

จากสมการ (1-15), (1-18) และ (1-19), ค่าคงที่ damping กำหนดโดยผลรวมของ power spectrum

$$\alpha = \frac{2\Delta f \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta f)}{s(k\Delta f)_{\max}} \quad (1-20)$$

วิธีการคำนวณสำหรับ natural frequency และ damping constant จากคลื่นเสียง Impulse response นี้สมมติให้เป็นคลื่น sinusoidal กับ exponential damping หรือผลรวมของคลื่น sinusoidal มันมาจากความแตกต่างระหว่าง natural frequency และ peak frequency ของ energy spectrum นี้ขึ้นอยู่กับค่าคงที่ damping และภายใต้สภาพที่แน่นอนของ power spectrum คำนวณจาก digital data นี้เทียบเท่ากับ energy spectrum ยกเว้นค่าคงที่ ดังนั้นในกรณีของค่า damping constant น้อยๆ natural

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

frequency สามารถประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้ peak frequency ของ power spectrum คำนวณโดยค่าเฉลี่ยของ fast fourier transform ค่าคงที่ damping สามารถคำนวณจาก peak frequency และค่าครึ่งความถี่ของ power spectrum

การทำงานของหัววัดพิโซอิเล็กทริก

เมื่อผลึกพิโซอิเล็กทริก ได้รับแรงกระทำหรือมีแรงกด จะให้ค่าประจุออกมา มากน้อยขึ้นกับ แรงที่กระทำประจุไฟฟ้าที่ได้ผ่านวงจรแปลงเป็น โวลเตจและขยาย สัญญาณเพื่อให้ได้ระดับโวลเตจ 0-5 โวลท่วงจรที่กล่าวถึงนี้จะรวมอยู่ในอุปกรณ์ชื่อ PiezoBeam Accelerometer มีตัวคัพเพลอร์ (Coupler) จ่ายแรงดันและกระแสคงที่ให้ โวลเตจจากคัพเพลอร์ ผ่านวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อก เป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต ไอ ซีเบอร์ ADC0804 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 ทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลแบบ RS232 ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลข้อมูลของระดับความสั่นสะเทือนตาม จำนวนการสุ่มตัวอย่างสำหรับหาค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ยของช่วงการวัด และเก็บ ข้อมูลของการวัดนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการวัดครั้งต่อไป ทำให้สามารถ พิจารณาถึงความเปลี่ยนแปลงของการสั่นสะเทือน ที่อาจเกิดขึ้นจากการตัดสินใจของผู้ ใช้งานได้ หรือแสดงผลระดับความสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่อง ผลึกพิโซอิเล็กทริกที่ใช้ ในการทดลองนี้เรียกว่า PiezoBeam Accelerometer เบอร์ 8630B50 แบบแกนเดียว ลักษณะเด่นก็คือมีขนาดกระทัดรัด น้ำหนักเบา มีความไวในการวัดสูง คือมีค่า 100mV/g เอาท์พุทแบบอิมพีแดนซ์ต่ำ แรงดันเอาท์พุทเป็นสัดส่วนกับค่าความสั่นสะเทือน

มีโครงสร้างที่เป็นอนุกรมกันแน่นและวงจรขยายประจุภายในรับกระแสไฟฟ้าค่าคงที่ 4 mA จากตัวคัพเพอร์โดยมีแรงดันไฟฟ้าจ่ายจากภายนอก 30 Vac และมีวงจรปรับแต่ง ค่าอิมพีแดนซ์สูง เป็นอิมพีแดนซ์ต่ำ มีค่าน้อยกว่า 100 โอห์ม สามารถใช้ได้กับสาย เคเบิลคู่หรือ โคอแอ็กเซียลต่อ ระหว่าง PiezoBeam Accelerometer กับคัพเพลอร์ที่อยู่ ใกล้เคียงไป การติดตั้งควรใช้ Petro wax เพื่อติด PiezoBeam Accelerometer กับเครื่อง จักรที่ต้องการวัดจะทำให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด จุดติดตั้งนั้นต้องราบเรียบและตั้งฉาก กับ PiezoBeam Accelerometer ระวังอย่าให้หล่น

ผลการตอบสนองความถี่ที่ต้องการจาก PiezoBeam Accelerometer เมื่อต่อกับ

คัพเพอร์สามารถคำนวณได้จาก สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

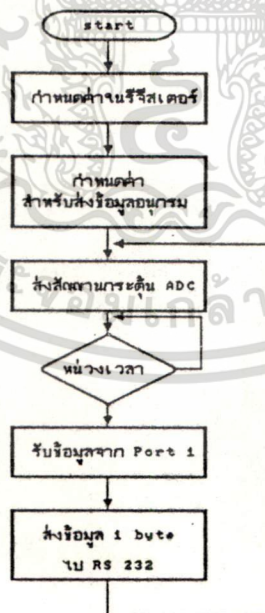
$$f_{\max} \text{ (kHz)} = \frac{0.32}{\text{piezo input current mA} - 1 \text{ (mA)}} \times \text{cable capacitance (}\mu\text{F)} \times \text{signal amplitude (V}_{pp}\text{)}$$

โดยกำหนดให้

- piezo input current 4 mA
- cable capacitance ขึ้นอยู่กับเบอร์และชนิดของสายนั้น ๆ
- Signal amplitude ขึ้นอยู่กับแรงดันเอาต์พุตที่ต้องการ 0 ถึง 5 โวลต์

โวลต์จากคัพเพอร์ 0 ถึง 5 โวลต์ผ่านวงจรแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิตไอซีเบอร์ ADC0804 แสดงดังรูปที่ 1

ข้อมูลจากวงจรเอทูดิจจะถูกอ่านทีละ 1 ไบต์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031 และส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ทันทีผ่านระบบ RS 232 และกลับไปอ่านข้อมูลใหม่การทำงานแสดงดังรูปที่ 1

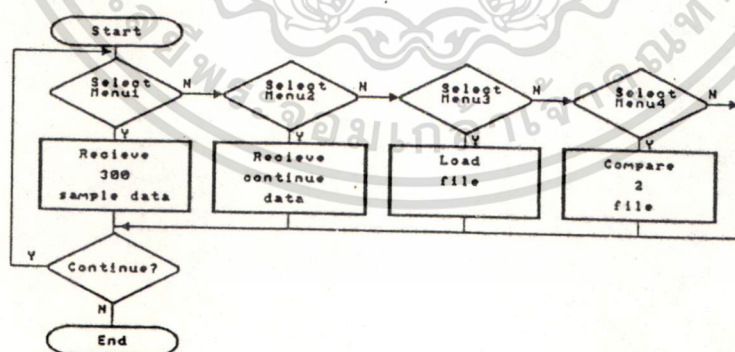


รูปที่ 1 แสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรมบนไมโครคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 2 แยกการทำงานดังนี้

1. ฟังก์ชันรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ละไบท์จำนวน 300 ไบท์ นำข้อมูลพล็อตกราฟ แสดงผลระดับความสั้นสะเทือน ประมวลผล หาค่าสูงสุด, ค่าต่ำสุด, ค่าเฉลี่ย ของข้อมูลและเก็บข้อมูลไว้ในไฟล์เพื่อเปรียบเทียบกับ ข้อมูลครั้งต่อไป
2. ฟังก์ชันรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์และพล็อตกราฟแสดงผลระดับคลื่น Impulse response sound อย่างต่อเนื่อง
3. ฟังก์ชันพล็อตกราฟแสดงผลระดับคลื่น Impulse response sound จากข้อมูลในไฟล์ที่ได้จัดเก็บไว้สามารถเรียกดูข้อมูลเพื่อ ให้ผู้ใช้งานโปรแกรมพิจารณาประวัติของคลื่น Impulse response sound ของทุเรียน ทำให้สามารถวิเคราะห์ความสุกหรือไม่สุกของทุเรียนได้ในการวัดครั้งต่อไป
4. ฟังก์ชันเปรียบเทียบระดับคลื่น Impulse response sound ของข้อมูลจากไฟล์ 2 ไฟล์ ที่จัดเก็บอาจเป็นข้อมูลที่วัดจากทุเรียนลูกเดียวกันหรือจุดเดียวกันนำมาทำการเปรียบเทียบกันโดยผู้ใช้ฟังก์ชันนี้ใช้ในการพิจารณาว่าทุเรียนสุกหรือยัง



รูปที่ 2 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

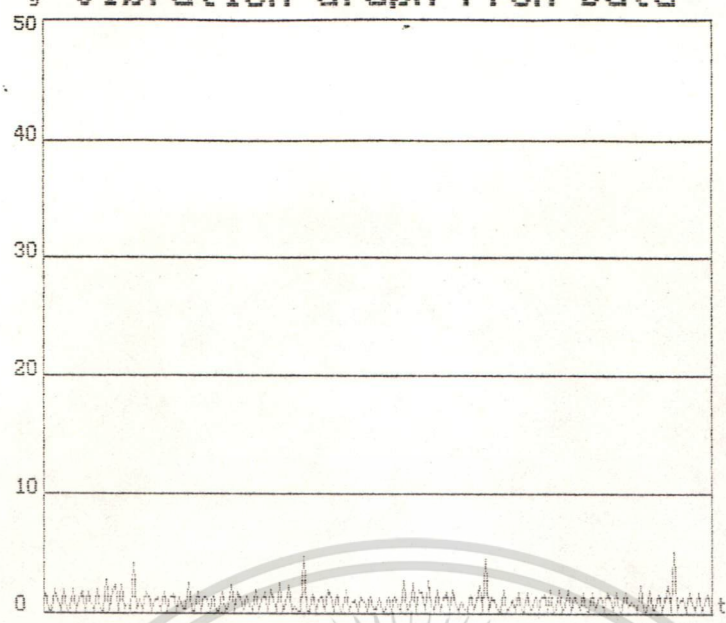
เมื่อนำเครื่องต้นแบบมาทำการวัดทุเรียนตั้งแต่ดิบจนถึงสุก (อายุประมาณ 50-124 วัน) แสดงการวัดระดับคลื่น Impulse response sound ของทุเรียนที่มีอายุต่าง ๆ กัน 3 ระดับ คือ

1. อายุระหว่าง 50-69 วัน
2. อายุระหว่าง 70-99 วัน
3. อายุระหว่าง 100-124 วัน

จากการวัดด้วยพีโซอิเล็กทริกทุเรียนอายุระหว่าง 50-69 วัน โดยได้ค่าเฉลี่ย Fast fourier transform = 2.22 , อายุ 70-99 วัน มีค่าเฉลี่ย = 2.41 และอายุระหว่าง 100-124 วัน มีค่าเฉลี่ย = 2.45

เมื่อพิจารณาจะพบว่าความสุกของทุเรียนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า Fast fourier transform ที่วัดได้ด้วยผลึกพีโซอิเล็กทริก สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวัดความสุกต่อไป

Vibration Graph From Data

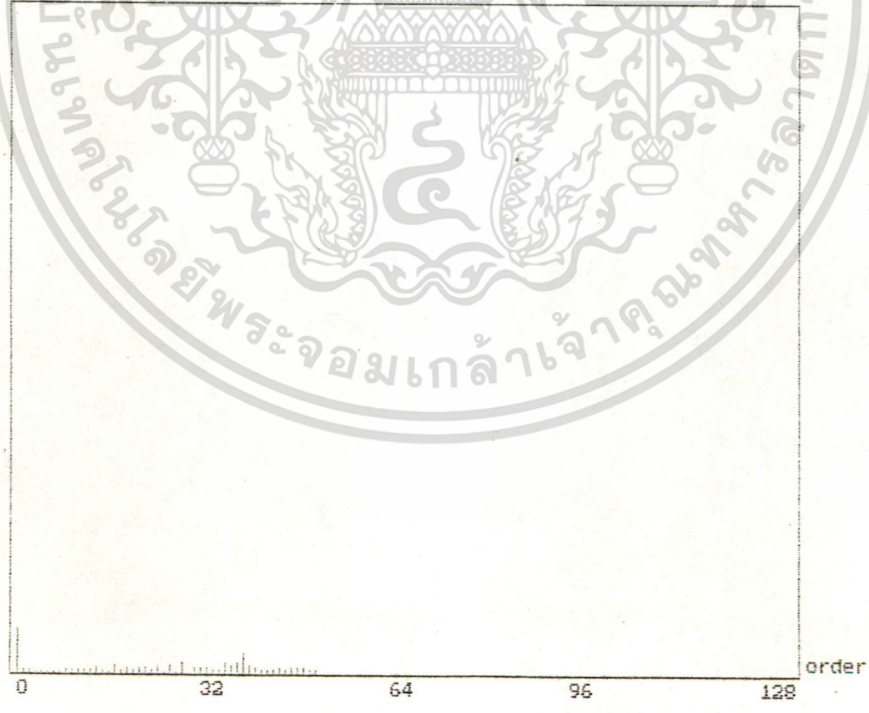


FILENAME	MACHINE NAME	dd/mm/yy	Location
t03.acc	durian	31/07/94	1

MAXIMUM VALUE	MINIMUM VALUE	AVERAGE VALUE
5.00	0.00	0.84

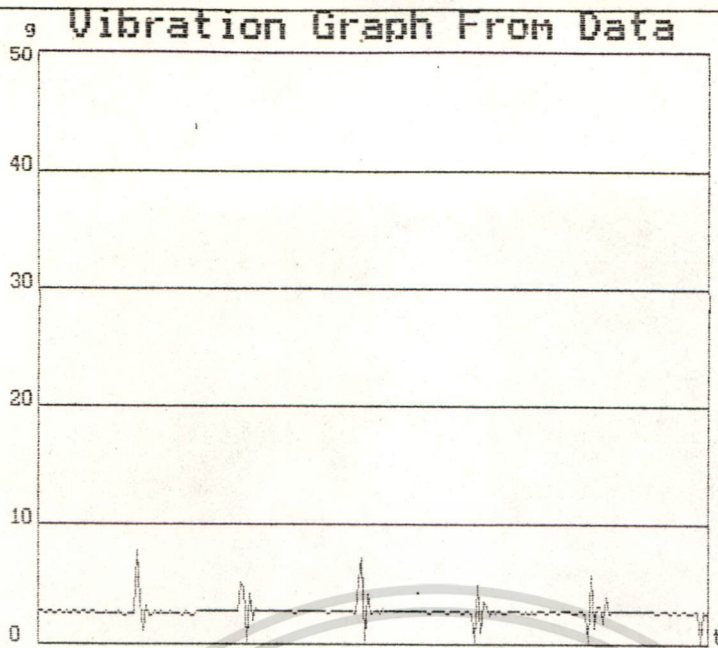
Amplitude

FOURIER ANALYSIS



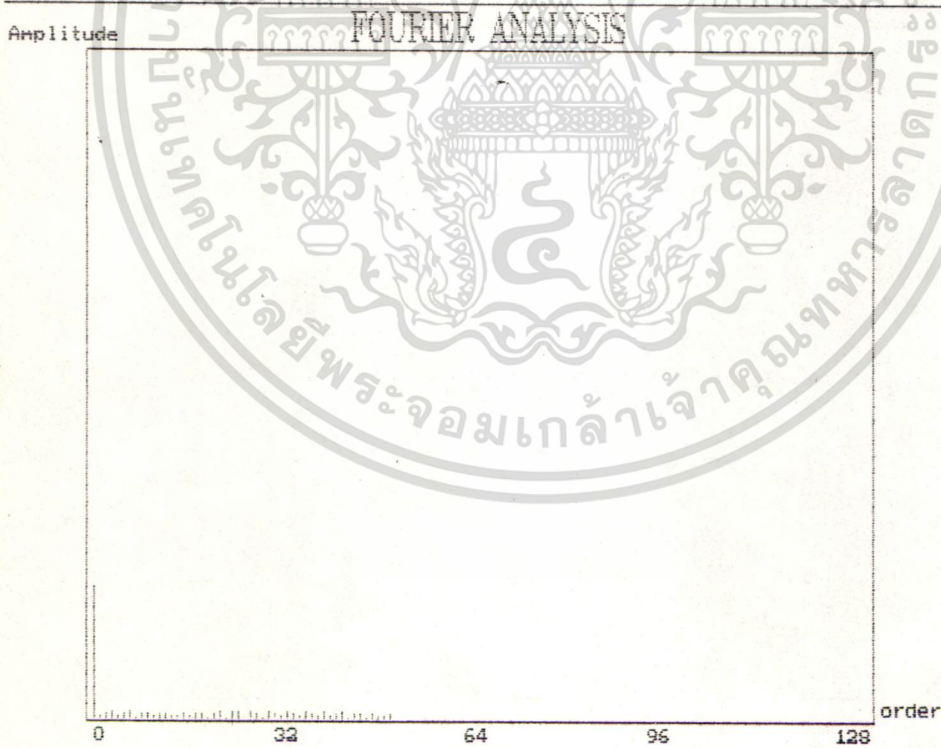
Date :31/07/94 Max amplitude : 0.68
 machine :durian Min amplitude : 0.01
 Measure point : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการฝึกอบรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3 แสดงผลการวัดทุเรียนที่มีอายุระหว่าง 50-69 วันด้วยพลิกพีโซอิเล็กทริก
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FILENAME	MACHINE NAME	dd/mm/yy	Location
t55.acc	durian	31/07/94	1

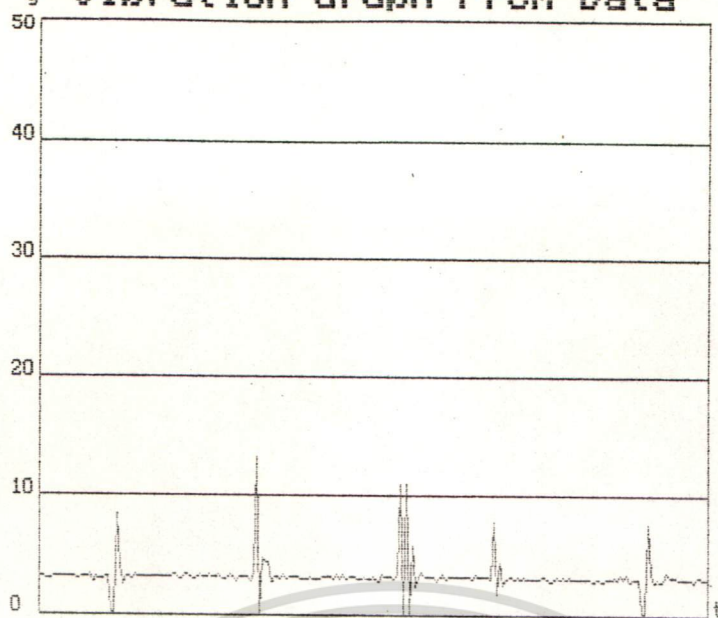
MAXIMUM VALUE	MINIMUM VALUE	AVERAGE VALUE
7.00	0.00	2.58



Date :31/07/94 Max amplitude : 2.13
 machine :durian Min amplitude : 0.01
 Measure point : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการฝึกอบรมเพื่ออรรถประโยชน์เท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า
 รูปที่ 4 แสดงผลการวัดทุเรียนที่มีอายุระหว่าง 70-99 วันด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vibration Graph From Data

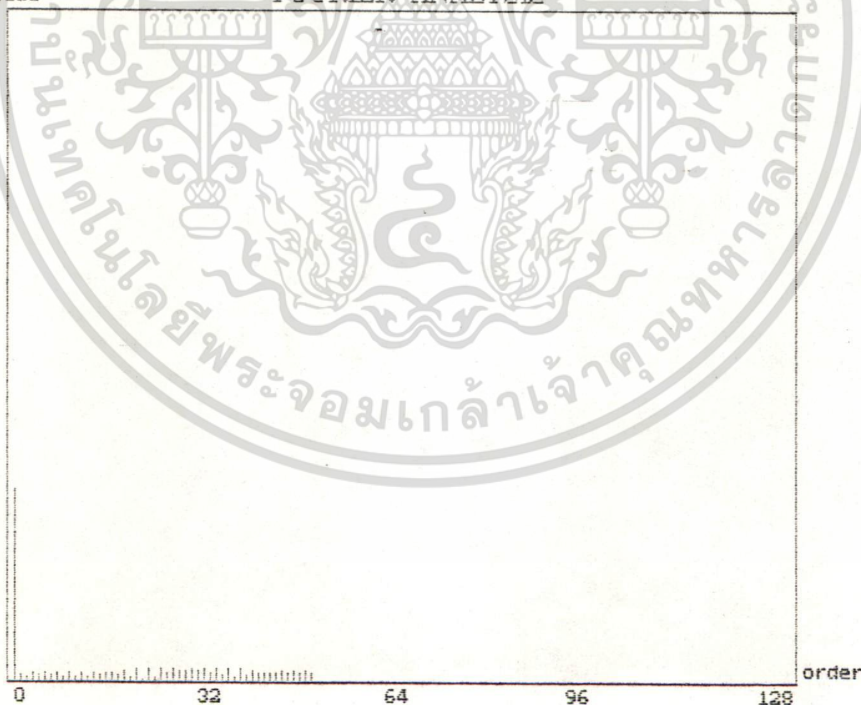


FILENAME	MACHINE NAME	dd/mm/yy	Location
t21.acc	durian	31/07/94	1

MAXIMUM VALUE	MINIMUM VALUE	AVERAGE VALUE
13.00	0.00	3.18

Amplitude

FOURIER ANALYSIS



Date : 31/07/94 Max amplitude : 3.05
 machine : durian Min amplitude : 0.03
 Measure point : 1

รูปที่ 5 แสดงผลการวัดที่เรียนที่มีอายุระหว่าง 100-124 วันด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เมื่อผู้ใดนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

การวิเคราะห์ผลทุเรียนในครั้งนี้เลือกใช้ทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่มีอายุ 50 ถึง 124 วัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงดิบ ช่วงใกล้สุก และช่วงสุก จะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับทฤษฎีการวิเคราะห์ด้วย Fast Fourier Transform แต่ผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงทางด้านกลไกทางเครื่องมือที่ใช้เกาะทุเรียนให้ได้มาตรฐาน และอีกประการหนึ่งคือ การประมวลผลทางคุณสมบัติทางเคมี เช่น ความหวานของเนื้อในของผลไม้ยังไม่มีความรู้มาเทียบกับการทดลองที่ได้ทำการทดสอบไปแล้ว ส่วนตัวตรวจวัดนั้นจากการวิเคราะห์แล้วน่าจะใช้คลื่นอุลตราโซนิกมาแทนผลึกพิโซอิเล็กทริก

ภาคผนวก

รายละเอียดของสัญลักษณ์ที่ใช้บ่อยๆ

- a : radius of an elastic sphere
- $E(\omega)$: energy spectrum
- E' : dynamic Young's modulus
- E'' : loss modulus
- f_i : i-th peak frequency of power spectrum (regarded as i-th natural frequency)
- f_0 : natural frequency
- f_{i0} : i-th natural frequency
- f_{\max} : peak frequency of energy spectrum or power spectrum
- $f_{i\max}$: i-th peak frequency of energy spectrum or power spectrum
- f_a, f_b : frequencies where energy spectrum or power spectrum becomes a half of its peak value
- f : frequency resolution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- (1) "Acouestic Impulse Response Method for Nondestructive Internal quality Measurement of Fruit and Vegetables",Hiromichi Yamamoto,JAPAN,1985.
- (2) "National Semiconductor",National Instruments, USA,1990.
- (3) "Signetics Microcontroller User's Guide", Signetic Company,USA,1989.
- (4) "Herbert Schildt,"C Power User's Guide",McGRAW-HILL,Berkley,USA,1988
- (5) Jame W. Dally,"Instrument for Engineering Measurement",Willey,Singapore,1984
- (6) Willis J.Tompjkins,"Interfacing Sensor to the IBM PC",Prentice-Hall, USA,1988
- (7) J.P. Holman,W.J. Gajda,Jr,"Experiment Methods for Engineers,McGRAW-HILL 1990,pp.417-438.
- (8) Ernest O. Doebelin,"Mesrument Systems Application and Design",McGRAW-HILL 1990,pp.319-341.
- (9) Joe Campbell,"C Programmer's Guid to Serial Communications",Howard W. Sams & Company,USA,1989.
- (10) "Manual Kistler Instrumente" Kkistler Instrumente AG,CH 8408 Winterthur K Switzerland,
- (11) วิทยา ทิพย์สุวรรณพร,จักรพงษ์ เกาเทียน ,ชัชชัย อุทัยวสิน,"การวัดความสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องจักรขนาดเล็กด้วยผลึกพิโซอิเล็กทริก" วิศวกรรมสาร ปีที่ 47, เล่มที่ 10 ตุลาคม 2537, หน้าที่ 64-68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้