

การจำแนกความแน่นเนื้อของแตงโมแบบไม่ทำลายด้วยการวิเคราะห์การสลายตัวของเสียง

Non-Destructive Watermelon Firmness Classification Using Acoustic Decay Analysis

ธนกร ลิ้มสุวรรณ* ปิยะมาศ ดวงบุตร วิลาสินี บัวแย้ม กันตภณ แก้วทิพย์ และ สุชิน ไตรรงค์จิตเหมาะ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี thanakorn.l@ubu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการประเมินความแน่นเนื้อของแตงโมแบบไม่ทำลายด้วยการวิเคราะห์การสลายตัวของพลังงานเสียงจากการเคาะ ระบบต้นแบบประกอบด้วย Raspberry Pi สำหรับควบคุมกลไกการเคาะและบันทึกเสียงและทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาด้วยภาษา Python โดยใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์แบบช่วงเวลาสั้น (Short-Time Fourier Transform; STFT) เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในโดเมนความถี่ตามเวลาและคำนวณค่าคงที่การสลายตัวเชิงเอกซ์โพเนนเชียล (k) และค่าคงที่เวลาเสียง (τ) การทดลองกับแตงโมพันธุ์ Thumb Up จำนวน 24 ผล ครอบคลุม 3 ระดับความสุก พบว่าการวิเคราะห์ด้วย Fast Fourier Transform (FFT) ไม่สามารถจำแนกกลุ่มความแน่นเนื้อได้อย่างชัดเจน ขณะที่ค่าการสลายตัว k จากการแปลงฟูเรียร์แบบช่วงเวลาสั้นแสดงความสัมพันธ์เชิงผกผันกับความแน่นเนื้ออย่างมีนัยสำคัญ ($R^2=0.5708$) ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าหลักการนี้มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้พัฒนาเป็นระบบคัดแยกแตงโมอัตโนมัติที่มีความรวดเร็ว แม่นยำ และไม่ทำลายผลผลิต

คำสำคัญ: แตงโม, ความแน่นเนื้อ, การวิเคราะห์เสียง, การแปลงฟูเรียร์แบบช่วงเวลาสั้น, การสลายตัวเชิงเอกซ์โพเนนเชียล

Abstract

This study proposes a non-destructive approach to evaluate the ripeness and firmness of watermelons by analyzing the decay characteristics of acoustic tapping signals. The prototype system utilizes a Raspberry Pi to control tapping and record sound, while signal processing is performed in Python using the Short-Time Fourier Transform (STFT) to track time-frequency energy variations. The decay constant (k) and acoustic time constant (τ) are estimated through exponential decay modeling. Experiments were conducted on 24 “Thumb Up” watermelons representing three ripeness levels. Results reveal that the maximum frequency magnitude from the conventional Fast Fourier Transform (FFT) fails to differentiate firmness groups effectively, whereas the decay constant k derived from STFT exhibits a significant inverse correlation with firmness ($R^2=0.5708$). These findings demonstrate the potential of the proposed method for integration into rapid, accurate, and

non-destructive automated sorting systems, with promising implications for agricultural quality assessment.

Keywords: watermelon, firmness, acoustic analysis, short-time Fourier transform, exponential decay

1. บทนำ

แตงโม (*Citrullus lanatus*) เป็นพืชล้มลุกที่ได้รับความนิยมบริโภคอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งถือเป็นหนึ่งในแหล่งผลิตสำคัญของภูมิภาค คุณภาพของแตงโมมักพิจารณาจากรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัส โดยวิธีการประเมินที่ใช้กันทั่วไปในภาคเกษตรคือ การสังเกตลักษณะภายนอกและการตรวจสอบความแน่นของเนื้อด้วยการตบหรือเคาะผลแตงโมด้วยฝ่ามือ วิธีดังกล่าวต้องอาศัยประสบการณ์และทักษะเฉพาะของผู้ประเมิน จึงมีความเสี่ยงต่อความคลาดเคลื่อนจากความแตกต่างของระดับความชำนาญ

เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว ได้มีการศึกษาพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพแตงโมแบบไม่ทำลาย (Non-destructive Testing; NDT) ในหลายแนวทาง เช่น การใช้ near infrared spectroscopy (NIR) ตรวจวัดความสุกที่ให้ความแม่นยำถึง 92.5% [1] การถ่ายภาพด้วยไมโครเวฟร่วมกับอาร์เรย์เสาอากาศ Coplanar Vivaldi เพื่อประเมินระดับความเข้มข้นของน้ำตาล [2] การวิเคราะห์ฟังก์ชันการตอบสนองความถี่ (Frequency Response Function; FRF) เพื่อประเมินความแน่นเนื้อซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสุกของผล [3] การตรวจจับความสุกด้วยสเปกโตรัมส่งผ่านแบบกระจาย NIR ซึ่งมีอัตราการจัดจำแนกถูกต้อง 88.1% [4] รวมถึงการใช้คุณลักษณะ Teager Energy Operator (TEO) ในการจำแนกแตงโมสุกด้วยความแม่นยำ 83.35% [5]

แม้ว่าวิธีการดังกล่าวบางส่วนจะให้ผลแม่นยำสูง แต่ส่วนใหญ่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูง อีกทั้งการวิเคราะห์สัญญาณเสียงเคาะในโดเมนความถี่เพียงอย่างเดียวก็ยังไม่เพียงพอต่อการจำแนกความสุกอย่างแม่นยำ ด้วยเหตุนี้ การศึกษาที่นำเสนอการวิเคราะห์สัญญาณเสียงเคาะแตงโมโดยใช้ สเปกโตรแกรม (Spectrogram) และการคำนวณค่าคงที่การสลายตัวของพลังงานเสียง [6] จากการแปลง Short-Time Fourier Transform (STFT) โดยได้มีการพัฒนาระบบสำหรับเคาะและบันทึกเสียงเคาะแตงโม พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของสเปกโตรแกรมกับความแน่นเนื้อของแตงโม

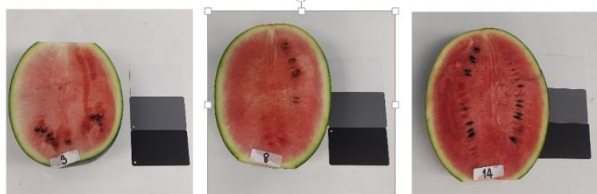
2. หลักการและการทดลอง

2.1 การรวบรวมตัวอย่างแตงโม

การจำแนกแตงโมด้วยความแน่นเนื้อจะสามารถจำแนกได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่

- แตงโมความแน่นเนื้อต่ำหรือแตงโมอ่อน จะมีลักษณะเนื้อที่แข็งกรอบ สีเนื้อชมพูอ่อนถึงแดงอ่อน เนื้อมีความหวานปานกลาง ($^{\circ}\text{Bx} < 8$) เม็ดมีสีขาวหรือน้ำตาลอ่อนและยังนิ่มอยู่
- แตงโมความแน่นเนื้อปานกลางหรือแตงโมแก่ มีสีเนื้อแดงเข้ม ความชุ่มฉ่ำสูงขณะยังคงความกรอบ และมีความหวานมาก ($8 \leq ^{\circ}\text{Bx} \leq 10$) เม็ดมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ
- แตงโมความแน่นเนื้อสูงหรือแตงโมแก่จัด มีเนื้อสีแดงเข้มจัด เนื้อนิ่มมาก ไม่มีความกรอบ ความหวานเข้มจัดและอาจเน่าได้หากเก็บไว้นานเกินไป

ในการทดลองนี้ เลือกใช้แตงโมพันธุ์ห่มอำพโดยคัดเลือกแตงโมที่มีขนาดใกล้เคียงกันมีน้ำหนัก ระหว่าง 2.5-3.5 กก. จำนวน 24 ลูก โดยแบ่งแตงโมออกเป็น 3 กลุ่มตามระดับความอ่อนแก่ ได้แก่ ระดับอ่อน 8 ลูก ระดับแก่ 8 ลูก และระดับแก่จัด 8 ลูก โดยจะมีช่วงเวลาเก็บเกี่ยวของแต่ละระดับห่างกันประมาณ 7 วัน และใช้การสังเกตที่ขั้วมีเอเกะของผลแตงโมประกอบการตัดสินใจ ซึ่งแตงโมที่ขั้วมีเอเกะยังสดจะอยู่ในระดับอ่อน ส่วนแตงโมที่ขั้วแห้งป็นสดจะอยู่ในระดับแก่ และแตงโมที่ขั้วแห้งและหลุดออกง่ายจะอยู่ในระดับแก่จัด จากรูปที่ 1 แสดงลักษณะเนื้อของแตงโมแต่ละระดับที่ใช้ในการทดลองนี้ รูปที่ 1 (ก) คือเนื้อแตงโมระดับอ่อน รูปที่ 1 (ข) คือเนื้อแตงโมระดับแก่ และรูปที่ 1 (ค) คือเนื้อแตงโมระดับแก่จัด



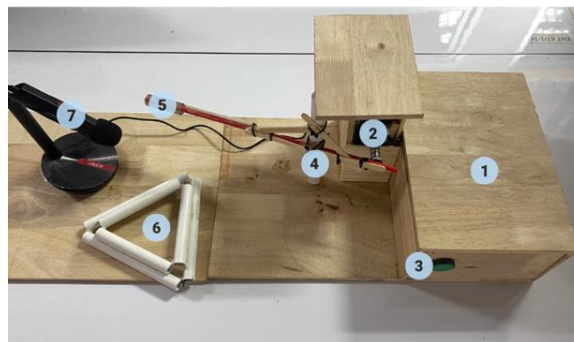
รูปที่ 1 ลักษณะเนื้อของแตงโม
(ก) ระดับอ่อน (ข) ระดับแก่ (ค) ระดับแก่จัด

2.2 เครื่องเคาะแตงโมและบันทึกเสียง

เครื่องเคาะแตงโมและบันทึกเสียงตามรูปที่ 2 ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. กล้องไม้ขนาด 28x17x10 เซนติเมตร ภายในบรรจุ Raspberry Pi 4 ที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลควบคุมการทำงานของเครื่อง
2. โซลีนอยด์ 12 VDC/8A ขนาด 6.4x3.2x3.8 เซนติเมตร บรรจุในกล่องหมายเลข 2 ทำหน้าที่ควบคุมไม้เคาะแตงโม
3. สวิตช์เปิดปิดแหล่งจ่ายไฟ Switching Power Supply (12V/10A) ที่บรรจุในกล่องหมายเลข 1

4. แกนหมุนทำจากพลาสติกเป็นจุดหมุนของไม้เคาะแตงโม
5. ไม้เคาะแตงโมทำจากพลาสติก ปลายหุ้มด้วยท่ออย่างใส
6. ฐานวางแตงโมทำจากท่อพีวีซีขนาด 3 นิ้ว
7. ไมโครโฟนรุ่น UK-179 ทำหน้าที่รับเสียงเคาะซึ่งสามารถตอบสนองความถี่ 70 Hz-10 kHz ความไวสูง (-58dB) และเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi 4 เพื่อบันทึกเสียงด้วยอัตราสุ่มที่ 44.1 kHz ในรูปแบบไฟล์ .wav

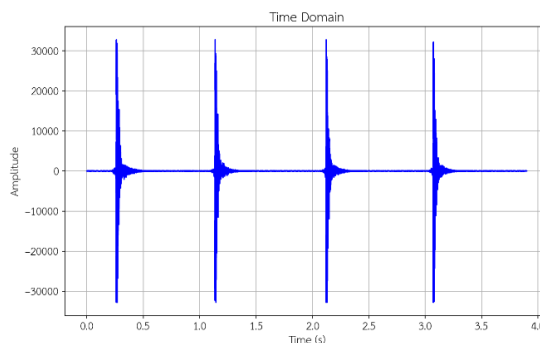


รูปที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องเคาะแตงโมและบันทึกเสียง

ในการทดลอง แตงโมจะถูกวางบนฐานวางแตงโมหมายเลข 6 โดยที่ไม้เคาะจะอยู่ห่างจากแตงโมเป็นระยะ 26 เซนติเมตร และติดตั้งไมโครโฟนในตำแหน่งที่ใกล้กับลูกแตงโม (7) ในฝั่งเดียวกับตำแหน่งของการเคาะ ซึ่งเป็นการบันทึกเสียงสะท้อนจากการเคาะ (Reflective mode) ที่จำลองมาจากการเคาะของผู้ค้า

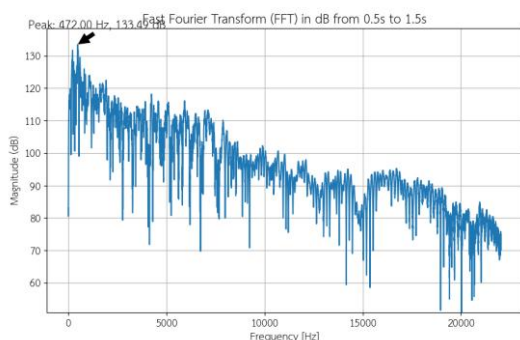
2.3 การบันทึกและวิเคราะห์เสียงเคาะแตงโม

ในการศึกษานี้ ได้พัฒนาระบบบันทึกเสียงและวิเคราะห์สัญญาณด้วยภาษา Python แตงโมแต่ละลูกถูกจัดวางในแนวตั้งและทำเครื่องหมายตำแหน่งการเคาะไว้ที่ด้านข้างของผลโดยมีมุมต่างกัน 60 องศา รวมทั้ง 6 ตำแหน่งรอบแตงโม ให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของผลแตงโม และเก็บข้อมูลเสียง โดยทำการเคาะแตงโมต่อเนื่อง 4 ครั้งในตำแหน่งเดียวกัน เว้นระยะห่างระหว่างการเคาะแต่ละครั้ง 0.8 วินาที รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างสัญญาณเสียงเคาะแตงโมจำนวน 4 ครั้ง



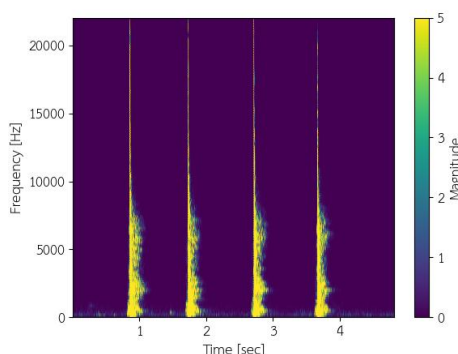
รูปที่ 3 ตัวอย่างสัญญาณเสียงเคาะแตงโม

การวิเคราะห์เสียงเคาะด้วยการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform; FFT) ดังแสดงในรูปที่ 4 จะแสดงระดับพลังงานสเปกตรัมของความถี่ได้เพียงในลักษณะรวมตลอดช่วงเวลาของสัญญาณที่สนใจ ทำให้ทราบองค์ประกอบความถี่ที่สำคัญของเสียงเคาะ แต่ไม่สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของความถี่นั้นในแต่ละช่วงเวลาได้



รูปที่ 4 ตัวอย่างสเปกตรัมความถี่ของเสียงเคาะแตงโม

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว จึงนำเทคนิคการแปลงฟูเรียร์แบบช่วงเวลาสั้น (Short-Time Fourier Transform; STFT) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงานของสัญญาณในโดเมนความถี่ภายในช่วงเวลาสั้นๆ โดยการแบ่งสัญญาณออกเป็นหลายหน้าต่างเวลา (time windows) และคำนวณ FFT ในแต่ละช่วง ทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในความถี่ต่าง ๆ ตามเวลาได้อย่างละเอียด

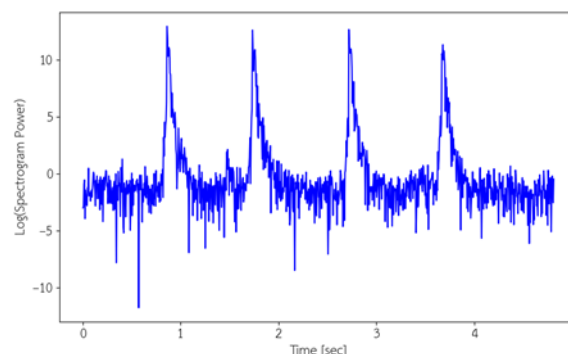


รูปที่ 5 ตัวอย่างสเปกโตรแกรมของเสียงเคาะแตงโม

การสร้างกราฟสเปกโตรแกรม (Spectrogram) ใช้ฟังก์ชัน `signal.spectrogram` จากไลบรารี SciPy เพื่อคำนวณค่าพลังงานสเปกตรัม (Spectrogram Power) และระบุความถี่ที่มีค่าพลังงานสูงสุดในแต่ละช่วงเวลา ผลลัพธ์ช่วยให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความถี่ และระดับพลังงานของสัญญาณเสียงได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างสเปกโตรแกรมของเสียงเคาะแตงโมแสดงในรูปที่ 5 โดยแกนนอนแทนเวลา (วินาที) แกนตั้งแทนความถี่ (Hz) และระดับสีแสดง Magnitude หรือพลังงานเสียง

2.4 การวิเคราะห์การสลายตัวของเสียง

เมื่อได้ภาพสเปกโตรแกรมแล้วจะทำการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานของค่าความถี่ที่มีพลังงานสูงสุด ยกตัวอย่างเช่นจากสเปกโตรแกรมแสดงดังรูปที่ 5 ความถี่ 469.86 Hz เป็นความถี่ที่มีพลังงานสูงสุด ซึ่งสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานของความถี่ดังกล่าวได้ดังรูปที่ 6

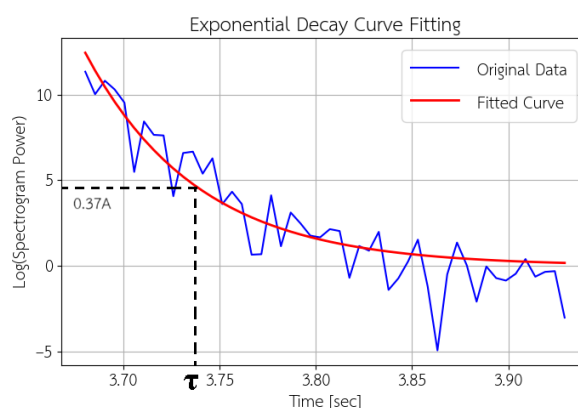


รูปที่ 6 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานของความถี่ที่สนใจ

จากรูปที่ 6 เมื่อทำการพิจารณาการลดลงหรือการสลายของระดับพลังงานจากค่าพลังงานสูงสุดของการเคาะแต่ละครั้ง โดยการเปลี่ยนแปลงนี้ของการเคาะหนึ่งครั้งแสดงในรูปที่ 7 (เส้นสีน้ำเงิน) จากนั้นทำการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) (เส้นสีแดง) ด้วยฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลเชิงผกผัน (Inverse Exponential Function) [7] ซึ่งเป็นรูปแบบผกผันของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล ดังสมการที่ (1)

$$y(t) = Ae^{-kt} \quad (1)$$

โดยที่ y ค่าพลังงานเสียงเสียงที่เวลา t (วินาที) A ค่าพลังงานเสียงเริ่มต้น และ k คือค่าคงที่การสลายพลังงานเสียง



รูปที่ 7 ตัวอย่างการปรับเส้นโค้งด้วยฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลเชิงผกผัน

โดยค่าคงที่การสลายตัว k จะแสดงอัตราการสลายตัวของพลังงาน และเป็นตัวบ่งชี้คุณสมบัติเชิงกลของเนื้อเยื่อคือความแน่นเนื้อ จากเสียงที่บันทึกได้จากการเคาะแตงโม สำหรับการใช้วิเคราะห์ค่า k สามารถแปลง

เป็นค่าคงที่เวลาเสียง (τ) เป็น $\tau = 1/k$ ซึ่งแสดงเวลาสำหรับสัญญาณเสียงที่สลายตัวเหลือ 37% ($1/e$) ของพลังงานเริ่มต้น

2.5 การวัดความแน่นเนื้อของแตงโม

ในการวัดความแน่นเนื้อของแตงโมในการทดลองนี้ทำได้โดยใช้เครื่องวัดความแน่นของผลไม้ (Fruit Penetrometer) รุ่น GY-3 มีหน่วยวัดเป็น kg/cm^2 ในการวัดจะตัดเปลือกแตงโมจากผิวลงมา 1 นิ้ว แล้วใช้เครื่องวัดกดลงบนพื้นที่ตัด ดังรูปที่ 8 ทำการวัด 6 ครั้ง รอบข้างผลแตงโมช่วงละ 60 องศาและบันทึกผลการวัด



รูปที่ 8 ตัวอย่างการวัดความแน่นของแตงโมด้วยเครื่องวัดความแน่นเนื้อ

3. ผลการทดลอง

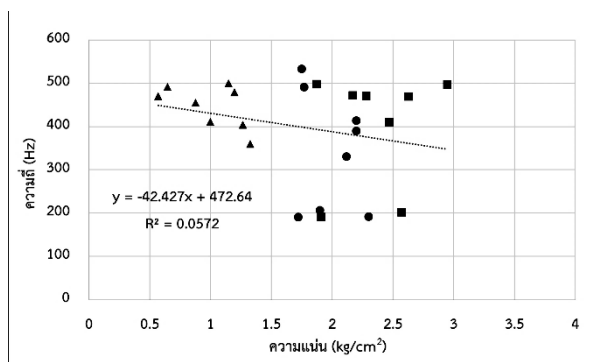
จากผลการทดลองวัดเสียงเคาะของแตงโม 24 ลูก เคาะลูกละ 6 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 4 ครั้ง เมื่อหาค่าความถี่ที่มีขนาดสูงสุดของการเคาะแต่ละครั้งจากสเปกตรัมดังรูปที่ 4 และหาค่า k และค่า τ ดังรูปที่ 7 จากนั้นนำไปหาค่าเฉลี่ยของแต่ละลูกและค่าเฉลี่ยของแตงโมในกลุ่มเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าความถี่ที่มีพลังงานสูงสุดไม่แสดงแนวโน้มชัดเจนในการจำแนกระดับความสุก โดยกลุ่มอ่อนมีค่าเฉลี่ย 401.3 ± 129.3 Hz กลุ่มแก่ 343.4 ± 136.5 Hz และกลุ่มแก่จัด 445.8 ± 49.6 Hz ในขณะที่ค่าคงที่การสลายตัวของพลังงานเสียง (k) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความสุก คือ 23.0 ± 4.8 , 28.6 ± 2.1 และ 33.4 ± 2.7 (1/s) ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าคงที่เวลาเสียง (τ) ซึ่งคำนวณจาก $1/k$ ลดลงจาก 43.5 ± 7.1 , 35.0 ± 2.6 และ 30.0 ± 2.4 ms ตามลำดับ สอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อที่ลดลงจาก 2.35 ± 0.33 , 2.00 ± 0.21 และ 1.01 ± 0.25 kg/cm^2 แสดงให้เห็นว่าแตงโมอ่อนที่เนื้อแข็งจะคงพลังงานเสียงได้นานกว่าและมีการสลายตัวช้ากว่าแตงโมที่เนื้อนิ่มกว่า

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์คุณสมบัติของเสียงเคาะแตงโมแต่ละกลุ่ม

กลุ่มตัวอย่างแตงโม	ความถี่ที่มีพลังงานสูงสุด (Hz)	ค่าคงที่การสลายตัว k (1/s)	ค่าคงที่เวลา τ (ms)	ความแน่นเนื้อ (kg/cm^2)
อ่อน	401.3 ± 129.3	23.0 ± 3.8	43.5 ± 7.1	2.35 ± 0.33
แก่	343.4 ± 136.2	28.6 ± 2.1	35.0 ± 2.6	2.00 ± 0.21
แก่จัด	445.8 ± 49.6	33.4 ± 2.7	30.0 ± 2.4	1.01 ± 0.25

*ค่าในตารางแสดงในรูปแบบ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่มีพลังงานสูงสุดกับความแน่นเนื้อของแตงโมดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่า กลุ่มแตงโมระดับอ่อน (สัญลักษณ์สี่เหลี่ยม) มีค่าความแน่นระหว่าง $1.87\text{--}2.95$ kg/cm^2 และมีช่วงความถี่ $202.63\text{--}498.37$ Hz กลุ่มแตงโมระดับแก่ (สัญลักษณ์วงกลม) มีค่าความแน่นระหว่าง $1.75\text{--}2.30$ kg/cm^2 และมีช่วงความถี่ $206.97\text{--}533.31$ Hz ส่วนกลุ่มแตงโมระดับแก่จัด (สัญลักษณ์สามเหลี่ยม) มีค่าความแน่นระหว่าง $0.57\text{--}1.33$ kg/cm^2 และมีช่วงความถี่ $359.23\text{--}499.11$ Hz จากการกระจายตัวของข้อมูลพบว่าช่วงความถี่ของทั้งสามกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นกับความถี่ที่มีค่าพลังงานสูงสุดให้ค่า R^2 เพียง 0.0572 ซึ่งเป็นค่าต่ำมาก แสดงว่าไม่สามารถใช้จำแนกกลุ่มความแน่นของแตงโมได้ด้วยค่าความถี่เพียงอย่างเดียว

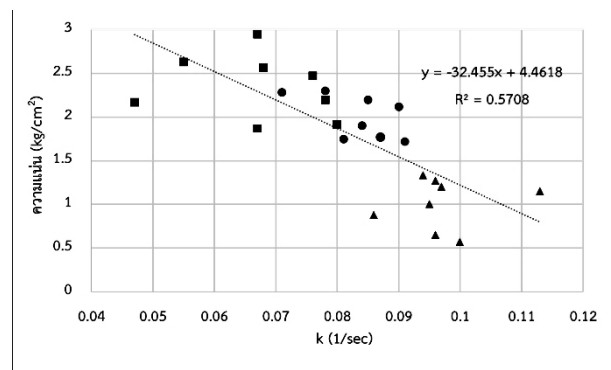


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่มีพลังงานสูงสุดกับค่าความแน่นเนื้อของแตงโม

การวิเคราะห์ค่าคงที่การสลายตัวของพลังงานเสียง (k) พบว่าแตงโมระดับอ่อนมีการสลายพลังงานช้ากว่าแตงโมที่สุกกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับความแน่นเนื้อที่ลดลงตามระดับความสุก [8] โดยค่า k เพิ่มขึ้นจาก 23.0 ในแตงโมอ่อน เป็น 28.6 และ 33.4 ในแตงโมแก่และแก่จัด ขณะที่ค่าคงที่เวลาเสียง ($\tau = 1/k$) ลดลงจาก 43.5 เป็น 35.0 และ 30.0 มิลลิวินาที และความแน่นเนื้อลดลงจาก 2.35 เป็น 2.00 และ 1.01 kg/cm^2 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแตงโมที่มีความแน่นสูงจะคงพลังงานเสียงได้นานกว่า

จากผลการทดลองในรูปที่ 10 แตงโมอ่อน (สัญลักษณ์สี่เหลี่ยม) มีความแน่น $1.87\text{--}2.95$ kg/cm^2 และอัตราลดทอน $0.047\text{--}0.091$ แตงโม

แก่ (วงกลม) มีความแน่น 1.75–2.30 kg/cm² และอัตราลดทอน 0.071–0.091 ส่วนต่อมิลลิเมตร (สามเหลี่ยม) มีความแน่น 0.57–1.33 kg/cm² และอัตราลดทอน 0.086–0.115



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแน่นเนื้อของแตงโมกับค่าที่การสลายตัวของพลังงานเสียง (k)

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแน่นเนื้อกับอัตราลดทอนพลังงานเสียงมีแนวโน้มแปรผกผัน กล่าวคือ เมื่อความแน่นเนื้อลดลง อัตราลดทอนพลังงานเสียงจะเพิ่มขึ้น โดยความสัมพันธ์นี้สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น $y = -32.455x + 4.4618$ และ $R^2 = 0.5708$ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้การวิเคราะห์การสลายตัวของพลังงานเสียงเพื่อประมาณค่าความแน่นเนื้อและระดับความสุกของแตงโมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองยืนยันว่าความแน่นของแตงโมมีความสัมพันธ์กับระดับความสุก กล่าวคือ เมื่อแตงโมสุกมากขึ้น ความแน่นจะลดลงจากระดับอ่อนไปสู่ระดับแก่และแก่จัดตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอ้างอิง [3] นอกจากนี้ แนวทางดังกล่าวยังมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในระบบคัดแยกผลผลิตแบบอัตโนมัติที่ต้องการความรวดเร็วและแม่นยำ [9] อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องขยายการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมแตงโมพันธุ์อื่น รวมถึงแตงโมที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน

4. สรุป

งานวิจัยนี้พัฒนาระบบประเมินความแน่นเนื้อของแตงโมแบบไม่ทำลาย โดยใช้ Raspberry Pi ควบคุมการเคาะและบันทึกเสียง ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณด้วยภาษา Python วิเคราะห์ด้วยเทคนิค STFT เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของ FFT ในการจำแนกระดับความแน่น ผลการทดลองพบว่าค่าที่การสลายตัวของพลังงานเสียงมีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับความแน่นเนื้อ และสามารถสะท้อนระดับความสุกของแตงโมได้อย่างชัดเจน แสดงถึงศักยภาพของวิธีนี้ในการพัฒนาระบบคัดแยกแตงโมแบบอัตโนมัติ สำหรับงานวิจัยในอนาคต มีแผนศึกษาการประยุกต์ใช้กับแตงโมพันธุ์และขนาดที่หลากหลายมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] E. R. Arboleda, K. M. Parazo, and C. M. Pareja, "Watermelon ripeness detector using near infrared spectroscopy" *Jurnal Teknologi dan Sistem Kompute.*, pp. 317–322, 2020.
- [2] J. Garvin, F. Abushakra, Z. Choffin, B. Shiver, Y. Gan, L. Kong, and N. Jeong, "Microwave imaging for watermelon maturity determination" *2023 Icurrent Research in Food Science*, 100412.
- [3] R. Abbaszadeh, A. Rajabipour, Y. Ying, M. J. Mahjoob, and H. Ahmadi, "Nondestructive determination of watermelon flesh firmness by frequency response" *Food Science and Technology*, pp. 637–640, 2015.
- [4] D. Jie, W. Zhou, and X. Wei "Nondestructive detection of maturity of watermelon by spectral characteristic using NIR diffuse transmittance technique" *Scientia Horticulturae*, Volume 157, November 2019.
- [5] R. Rajan, and R. S. Reshma, "Non-destructive classification of watermelon ripeness using acoustic cues" *Science and Technology for Society, Energy and Environment*, CRC Press, 2018.
- [6] K. Thompson, "Machine learning approaches for agricultural quality assessment," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 187, article 106245, August 2021.
- [7] J. Martinez and C. Rodriguez, "Exponential decay modeling in acoustic fruit analysis," *Journal of Food Engineering*, vol. 315, pp. 110–125, 2022.
- [8] P. Anderson, "Viscoelastic properties of watermelon tissue," *Agricultural Physics*, vol. 18, no. 1, pp. 45–58, January 2022.
- [9] R. Wilson and A. Davis, "Automated fruit sorting technologies: A comprehensive review," *Journal of Agricultural Automation*, vol. 12, no. 4, pp. 201–218, April 2023.