

การวิเคราะห์ความถี่เพื่อประเมินความสุกดิบของผลไม้บนพื้นฐานของน้ำหนัก ใน
กรณีศึกษาของทุเรียนหมอนทอง

FREQUENCY ANALYSIS FOR ESTIMATE FRUIT RIPENESS BASED ON
WEIGHT: A CASE STUDY OF MONTHONG DURIAN



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FREQUENCY ANALYSIS FOR ESTIMATE FRUIT RIPENESS BASED ON
WEIGHT: A CASE STUDY OF MONTHONG DURIAN



DUJSADEEPORN YAEMROD

NARAVIT PHUECHSING

ILADA PATHUMSIRIWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKABANG
ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การวิเคราะห์ความถี่เพื่อประเมินความสุกดิบของผลไม้บนพื้นฐาน
ของน้ำหนัก ในกรณีศึกษาของทุเรียนหมอนทอง
FREQUENCY ANALYSIS FOR ESTIMATE FRUIT RIPENESS
BASED ON WEIGHT: A CASE STUDY OF MONTHONG DURIAN

นักศึกษาผู้จัดทำ

นางสาวดุชนิพร แยมรอด รหัสนักศึกษา 60010351
นายณรวิชัย พิษสิงห์ รหัสนักศึกษา 60010510
นางสาวไอลดา ปทุมสิริวรรณ รหัสนักศึกษา 60011202

ปริญญา
สาขาวิชา
ปีการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
วิศวกรรมการวัดคุม
2563

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ	

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การวิเคราะห์ความถี่เพื่อประเมินความสุกดิบของผลไม้บนพื้นฐาน
ของน้ำหนัก ในกรณีศึกษาของทุเรียนหมอนทอง

FREQUENCY ANALYSIS FOR ESTIMATE FRUIT RIPENESS
BASED ON WEIGHT: A CASE STUDY OF MONTHONG DURIAN

นักศึกษาผู้จัดทำ

นางสาวดุชนิพร แยมรอด รหัสนักศึกษา 60010351

นายณรวิชญ์ พิษสิงห์ รหัสนักศึกษา 60010510

นางสาวไอลดา ปทุมสิริวรรณ รหัสนักศึกษา 60011202

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตน์นะ

ปีการศึกษา

2563

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการวิเคราะห์ความถี่ เพื่อประเมินความสุกดิบของผลไม้บนพื้นฐานของน้ำหนัก ในกรณีศึกษาของทุเรียนหมอนทอง เพื่อเพิ่มความสะดวกในการแยกแยะความสุกดิบของทุเรียนหมอนทองสำหรับผู้ที่ไม่มีความเชี่ยวชาญในการเลือกทุเรียนหมอนทอง โดยปริญญานิพนธ์นี้ได้เลือกทุเรียนหมอนทองที่มีน้ำหนักในช่วง 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม เส้นรอบวงประมาณ 56.5 เซนติเมตร และความสูงประมาณ 25 เซนติเมตร มาเป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง ซึ่งทำการเคาะทุเรียนหมอนทองโดยใช้อุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 ชนิด แบ่งเป็นชนิดที่ใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าดูดยกโลหะ เพื่อเป็นการกำหนดค่าแรงในการเคาะให้มีความเท่ากัน ชนิดที่ใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง และชนิดที่ใช้กระดิ่งประติมากรรมเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่ โดยทำการกำหนดตำแหน่งที่เคาะเป็นบริเวณกลางพูของทุเรียนหมอนทอง จากนั้นจะใช้ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ในการรับสัญญาณเสียงจากการเคาะโดยมีการใช้งานร่วมกับโปรแกรม MATLAB ผ่าน MATLAB App Designer เพื่อบันทึกเสียงเคาะผลไม้จากอุปกรณ์เคาะ ซึ่งสัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และถูกวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว สำหรับส่วนของการกำหนดค่าตัดสินใจเพื่อแบ่งแยกความสุกและดิบของทุเรียนหมอนทองนั้น ถูกกำหนดโดยจะเปรียบเทียบระหว่างกราฟความถี่เสียงของทุเรียนหมอนทองสุกและกราฟความถี่เสียงของกลุ่มทุเรียนดิบ โดยใช้ค่าความถี่ที่สูงที่สุดของทุเรียนหมอนทองสุกเพื่อแบ่งแยกความสุกและดิบของทุเรียนหมอนทองด้วยอุปกรณ์กำเนิดเสียงชนิดที่ 3 เนื่องจากให้ผลการทดลองที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.26 ซึ่งค่าความถี่ที่สูงที่สุดของทุเรียนหมอนทองสุกคือ 403 เฮิร์ตซ์ โดยกล่าวคือหากความถี่ที่วิเคราะห์ได้จากทุเรียนหมอนทองมีค่าน้อยกว่า 403 เฮิร์ตซ์ ถือว่าเป็นทุเรียนสุกพร้อมรับประทาน แต่หากความถี่ที่วิเคราะห์ได้มีค่ามากกว่า 403 เฮิร์ตซ์ ถือว่าทุเรียนดิบ

Thesis Title	FREQUENCY ANALYSIS FOR ESTIMATE FRUIT RIPENESS BASED ON WEIGHT: A CASE STUDY OF MONTHONG DURIAN
Authors	Ms. Dujsadeeporn Yaemrod Mr. Naravit Phuechsing Ms. Ilada Pathumsiriwan
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Witsarut Sriratana
Year	2020

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to study the analysis of the ripeness and rawness of durian by using the sound of knocking to facilitate the identification of durian ripeness for people who do not have expertise in durian selection. In this thesis, a Monthong durian with a weight of 2 to 2.5 kg, a circumference of approximately 56.5 cm, and a height of approximately 25 cm. was chosen as a sample for the experiment. By knocking the durian using 3 different sound generating devices, divided into types that use the principle of electromagnetism to lift metal. In order to determine the equal force in each knock, the type that uses a rubber-tipped stick was used as a sound-generating device, and the last one is a type that uses a percussion device for generating sound with a constant force. Also, determining where the knock is in the middle of the durian lobe. The condenser microphone was then used to pick up the sound signal from knocking, and it was used in conjunction with MATLAB through the MATLAB App Designer to record knocking sounds from percussion instruments. The received audio signal is contained in a type of wav file and analyzed through the Fast Fourier Transform (FFT). The determination of the ripeness and raw material of the Durian varieties of Monthong is determined by a comparison between the sound frequency graph of the ripe Monthong durian and the raw Monthong Durian graph. The highest frequency of ripe Monthong durian was used to differentiate the ripeness and rawness of Monthong durian from type 3 sound generating device because it gave the test result with a percentage of error of about 0.26, where the highest frequency value of ripe Monthong durian was 403 Hz. In other words, if the frequency analyzed from the Monthong durian is less than 403 Hz, it is considered as a ready-to-eat durian. But if the analyzed frequency is greater than 403 Hz, it is considered raw as a durian.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความกรุณาอย่างดียิ่งจาก รศ.ดร.วิศรุต ศรีรัตนะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการทำปริญญานิพนธ์มาโดยตลอดและขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดจนชี้แนวทางแก้ไขข้อบกพร่องจนทำให้ประสบผลสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณสวนทุเรียน SW Garden จังหวัดจันทบุรี ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับทุเรียนหมอนทองในการทดลอง และขอขอบคุณร้านวงกบ ประตุ สยามวู้ด ที่ให้อุปกรณ์และความช่วยเหลือในการทำกระถางประดิษฐ์

ทางคณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบพระคุณในความกรุณาจากคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้คำแนะนำปรึกษาแก่ปริญญานิพนธ์ อีกทั้งขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ให้ความเกื้อหนุนเรื่องสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำปริญญานิพนธ์ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีทั่วไป	3
2.1.1 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing).....	3
2.1.2 ทูเรียน.....	3
2.1.3 นิยามที่ใช้ในมาตรฐานสินค้าเกษตรของทูเรียน	4
2.1.4 คุณภาพของทูเรียนในมาตรฐานสินค้าเกษตร.....	4
2.1.5 ขนาดของทูเรียนในมาตรฐานสินค้าเกษตร.....	4
2.1.6 วิธีวิเคราะห์สำหรับผลทูเรียนแก่ได้ที่ โดยลักษณะภายนอก	5
2.1.7 วิธีวิเคราะห์สำหรับผลทูเรียนแก่ได้ที่ โดยลักษณะภายในของแต่ละพันธุ์.....	5
2.2 ทฤษฎีทางด้านฮาร์ดแวร์.....	5
2.2.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier).....	5
2.2.2 วงจรคุมค่าแรงดัน (Voltage regulator).....	6
2.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	7
2.3 ทฤษฎีทางด้านซอฟต์แวร์.....	8
2.3.1 ฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform)	8

สารบัญ (ต่อ)

2.3.2 ภาษาของไมโครคอนโทรลเลอร์	8
(Microcontroller Programming Language)	
2.3.3 MATLAB.....	8
2.3.4 Microsoft Excel	9
2.4 ทฤษฎีทางด้านสถิติ	10
2.4.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือมัธยฐานเลขคณิต (Arithmetic Mean ; $\bar{x}$).....	10
2.4.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation ; $S.D.$).....	10
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.5.1 เครื่องวัดความสุกของผลไม้แบบไม่ทำลาย.....	11
โดยใช้การประมวลผลสัญญาณเสียงเคาะ	
2.5.2 เครื่องวัดความสุกแก่ทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยน้ำหนักแห้ง	11
2.5.3 หาดัชนีความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง	11
โดยใช้ความถี่ธรรมชาติและความแข็งแกร่ง	
2.5.4 การวัดความแน่นของเสียงแอปเปิ้ลแบบไม่ทำลาย	12
(Nondestructive sonic firmness measurement of apples)	
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	13
3.1 แนวคิดและหลักการ	13
3.1.1 ปัญหาที่พบ	13
3.1.2 แนวคิด	13
3.2 ขั้นตอนดำเนินงาน	14
3.3 การพัฒนาการออกแบบและหลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง	14
3.3.1 การพัฒนาการออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 1	14
3.3.2 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1	15
3.3.3 ส่วนฮาร์ดแวร์ของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 1	16
3.3.4 การพัฒนาการออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 2.....	16
3.3.5 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 2	17
3.3.6 ส่วนฮาร์ดแวร์ของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 2	17
3.3.7 การพัฒนาการออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 3.....	17
3.3.8 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 3	18

สารบัญ (ต่อ)

3.3.9 ส่วนฮาร์ดแวร์ของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 3	18
3.3.10 ส่วนซอฟต์แวร์ของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง	19
3.4 การออกแบบและหลักการทำงานของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้	19
3.4.1 การออกแบบชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้	19
3.4.2 หลักการทำงานของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้	20
3.4.3 ส่วนฮาร์ดแวร์ของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้	20
3.4.4 ส่วนซอฟต์แวร์ของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้	22
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	23
4.1 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากไมโครโฟน กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า	23
4.1.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า	23
4.1.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า	24
4.1.3 ผลการทดลอง กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า	24
4.2 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากไมโครโฟน	27
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก (ตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าทุเรียนหมอนทอง)	
4.2.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก	27
โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 1	
4.2.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก ...	27
(ตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าทุเรียนหมอนทอง)	
4.2.3 ผลการทดลอง กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก	28
(ตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าทุเรียน)	
โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1	
4.3 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากไมโครโฟน	35
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว (ตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าทุเรียนหมอนทอง)	
4.3.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว	35
โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1	
4.3.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว	35

สารบัญ (ต่อ)

4.3.3 ผลการทดลอง กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว	36
(ตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าทุเรียน)	
4.4 การวิเคราะห์การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก	41
4.4.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก....	41
4.4.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก ..	42
4.4.3 ผลการทดลอง การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	43
4.5 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากทุเรียนหมอนทอง	44
กรณีใช้กระเบื้องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่ (เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 2)	
4.5.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ กรณีใช้กระเบื้องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์	44
ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	
4.5.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ กรณีใช้กระเบื้องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์	45
ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	
4.5.3 ผลการทดลอง กรณีใช้กระเบื้องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์	46
ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	
4.6 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากทุเรียนหมอนทอง	48
กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง (เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 3)	
4.6.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง.....	48
4.6.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	49
4.6.3 ผลการทดลอง กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	49
4.7 การทดลองเพื่อเลือกและวิเคราะห์ค่าตัดสินใจสำหรับการวิเคราะห์ความสุกดิบของ ทุเรียนหมอนทอง	52
4.7.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์	52
4.7.2 วิธีทางซอฟต์แวร์	53
4.7.3 ผลการทดลอง เพื่อเลือกและวิเคราะห์ค่าตัดสินใจ	53
สำหรับการวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง	
4.7.4 กำหนดค่าตัดสินใจ เพื่อแบ่งแยกความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง	54

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย

57

5.1 สรุปผลการวิจัย	57
--------------------------	----

สารบัญ (ต่อ)

5.2 ข้อเสนอแนะเชิงทฤษฎีจากการวิจัย.....	58
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก.....	62
ก.1 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องเคาะ.....	62
ก.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์ความสุกและดิบของทุเรียน	64
ภาคผนวก ข.....	71
ข.1 กรณีใช้กระต๋องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	71
ข.2 กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	74

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรเรียงกระแส	6
2.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรคุมค่าแรงดัน	6
4.1 แสดงความถี่เสียง กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า	25
4.2 แสดงความถี่เสียง กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก..... โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1	28
4.3 แสดงความถี่เสียง กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว..... โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1	36
4.4 แสดงแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย เมื่อวางตุ้มน้ำหนัก	43
0.5 กิโลกรัม, 1.0 กิโลกรัม, 1.5 กิโลกรัม และ 2 กิโลกรัม บนเครื่องชั่งน้ำหนัก	
4.5 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 1	46
กรณีใช้กระดิ่งประติษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	
4.6 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 2.....	47
กรณีใช้กระดิ่งประติษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	
4.7 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 1.....	50
กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	
4.8 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 2.....	50
กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	
4.9 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 3.....	50
กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	
4.10 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 4	51
กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	
4.11 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 5	51
กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	
4.12 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนหมอนทองสุก.....	53
กรณีใช้กระดิ่งประติษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	
4.13 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนหมอนทองสุก.....	54
กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรเรียงกระแส	6
2.2 วงจรคุมค่าแรงดัน	6
2.3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3	7
3.1 แสดงขั้นตอนการทำงาน.....	14
3.2 การออกแบบเครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1	15
3.3 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1	15
3.4 การออกแบบเครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 2	16
3.5 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 2	17
3.6 การออกแบบเครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 3	18
3.7 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 3	18
3.8 ส่วนซอฟต์แวร์ของเครื่องเคาะทุเรียน	19
3.9 การออกแบบชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้	19
3.10 หลักการทำงานของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้	20
3.11 วงรขยายการวัด AD524CD	21
3.12 ส่วนซอฟต์แวร์ของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้	22
4.1 การทดสอบการแยกแยะความถี่เสียงของไมโครโฟนโดยให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า.....	23
4.2 โปรแกรมการทดสอบการแยกแยะความถี่เสียงของไมโครโฟน	24
กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่าโดยใช้ฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว	
4.3 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า	25
200 เฮิรตซ์ และ 300 เฮิรตซ์	
4.4 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า	26
400 เฮิรตซ์ และ 500 เฮิรตซ์	
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง	26
และความถี่ที่วัดค่าได้จากไมโครโฟน	
4.6 การทดสอบการแยกแยะความถี่เสียงของไมโครโฟน	27
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 1	
4.7 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด	29
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1	
ที่ปริมาตรของน้ำ 0 มิลลิลิตร และ 200 มิลลิลิตร	

สารบัญรูป (ต่อ)

4.8 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด.....	30
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 400 มิลลิลิตร และ 600 มิลลิลิตร	
4.9 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด.....	31
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 800 มิลลิลิตร และ 1,000 มิลลิลิตร	
4.10 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด	32
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 1,200 มิลลิลิตร และ 1,400 มิลลิลิตร	
4.11 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด	33
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 1,600 มิลลิลิตร และ 1,800 มิลลิลิตร	
4.12 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด	34
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 2,000 มิลลิลิตร	
4.13 แสดงความถี่เสียง กรณีให้ปริมาตรที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก.....	34
4.14 การทดสอบการแยกแยะความถี่เสียงของไมโครโฟน.....	35
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 1	
4.15 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด	37
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 0 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร	
4.16 ความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด	38
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 200 มิลลิลิตร และ 300 มิลลิลิตร	
4.17 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด	39
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 400 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร	
4.18 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด	40
กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 600 มิลลิลิตร และ 700 มิลลิลิตร	

สารบัญรูป (ต่อ)

4.19	แสดงความถี่เสียง กรณีให้ปริมาตรที่แตกต่างกันในขวดแก้ว	41
4.20	การทดสอบการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกจากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก	42
4.21	โปรแกรมทดสอบการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกจากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก	42
4.22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกและจำนวนที่สูม	43
4.23	การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากทุเรียนหมอนทอง.....	44
	กรณีใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	
4.24	โปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ความถี่และดิบของทุเรียน	45
	โดยใช้โปรแกรม MATLAB ผ่าน MATLAB App Designer	
4.25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนลูกที่ 1 และ 2	47
	เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว กรณีใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	
4.26	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักทุเรียนลูกที่ 1 และ 2	47
	เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว กรณีใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	
4.27	การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากทุเรียนหมอนทอง.....	48
	กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	
4.28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนลูกที่ 1 ถึง 5	51
	เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	
4.29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักทุเรียนลูกที่ 1 ถึง 5	52
	เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	
4.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนหมอนทองสุก.....	54
	เทียบกับจำนวนวันหลังซื้อ กรณีใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	
4.31	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนหมอนทองสุก	55
	เทียบกับจำนวนวันหลังซื้อ กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง	
4.32	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนลูกที่ 1 และ 2	55
	เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยวและมีการกำหนดค่าตัดสินใจ กรณีใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่	

สารบัญรูป (ต่อ)

- 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนลูกที่ 1 ถึง 5 56
เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยวและมีการกำหนดค่าตัดสินใจ กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็น
อุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาของงานวิจัย

ทุเรียนถือเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญต่อภาคการเกษตรของประเทศไทย ในปัจจุบันประเทศไทยผลิตและส่งออกทุเรียนเป็นอันดับ 1 ของโลก สร้างรายได้มากเป็นอันดับที่ 2 ในสินค้ากลุ่มไม้ผล รองจากมะม่วง จากข้อมูลคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) พบว่าในปี 2560 การขยายตัวเฉลี่ยของมูลค่าทุเรียนในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 21.2 ต่อปี จึงสะท้อนถึงราคาที่เพิ่มขึ้นที่สอดคล้องกับกระแสนิยมบริโภคทุเรียนที่เติบโตขึ้นจากในและนอกประเทศในช่วงที่ผ่านมา [1] ทั้งนี้ตลาดส่งออกหลักของไทย ได้แก่ จีน และอินโดนีเซีย

การส่งออกทุเรียนของไทยในตลาดจีน มีมาตรการในการนำเข้าทุเรียนเข้มงวดเป็นพิเศษในเรื่องโรคและแมลง เช่น เพลี้ยแป้ง ราดำ และมด ส่งผลให้ชาวสวนต้องจัดการดูแลเรื่องเหล่านี้เป็นพิเศษ อีกทั้งสวนทุเรียนต้องได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP (Good Agricultural Practices) นอกจากนี้ปัญหาสำคัญที่ถูกดำเนินการแก้ไขเป็นประจำทุกปี คือ ปัญหาการบิดเบือนจากเกษตรกรและผู้รับซื้อทุเรียน จึงส่งผลให้กลไกการตลาดบิดเบือนเพื่อผลประโยชน์ทางการค้าและลดทอนความเชื่อมั่นต่อคุณภาพทุเรียนไทยในระยะยาว และอาจเสียส่วนแบ่งตลาดส่งออกทุเรียนในระยะยาว โดยเฉพาะประเทศจีนที่ซื้อทุเรียนจากประเทศไทยมากที่สุด ซึ่งปัญหาเหล่านี้ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อเศรษฐกิจของประเทศ จึงจำเป็นต้องอาศัยการคัดคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลาย เช่น การสังเกตก้านผล การสังเกตหนาม การสังเกตรอยแยกระหว่างพู การชิมปลิง และสุดท้ายคือการเคาะเปลือกหรือกรีดหนาม โดยเมื่อทำการเคาะเปลือกผลทุเรียนที่ดิบจะมีเสียงดังหลวม ๆ เสียงหนักหรือเบาแตกต่างกันไป โดยจะขึ้นอยู่กับพันธุ์และอายุของต้นทุเรียน แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ต้องอาศัยผู้มีประสบการณ์และผู้ที่มีความชำนาญเท่านั้นจึงจะสามารถแยกแยะความสุกได้ [2]

จากปัญหาข้างต้นจึงเกิดเป็นแนวคิดในการแยกแยะความสุกดิบของผลไม้ โดยประมวลผลสัญญาณเสียงเคาะที่ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลายร่วมกับการวิเคราะห์น้ำหนัก เพื่อเป็นการเพิ่มความสะดวกในการแยกแยะความสุกดิบของผลไม้ ในกรณีศึกษาของทุเรียนหมอนทอง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อให้โปรแกรม MATLAB สามารถประมวลผลและแยกแยะความสุกดิบของทุเรียนหมอนทองได้บนพื้นฐานของการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว
- 2) เพื่อศึกษาการทำงานของเซ็นเซอร์ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ชนิดโพลีเอสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เพื่อเพิ่มความสะดวกในการแยกแยะความสุกดิบของทุเรียนให้กับผู้ที่ไม่มีความเชี่ยวชาญในการฟังเสียงเคาะทุเรียน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ทุเรียนหมอนทองที่เป็นพันธุ์ทางการค้าทั่วไปที่มีน้ำหนักต่อผลไม่น้อยกว่า 2 กิโลกรัม และไม่มากกว่า 2.5 กิโลกรัม มีเส้นรอบวงประมาณ 56.5 เซนติเมตร และมีความสูงประมาณ 25 เซนติเมตร
- 2) สามารถแยกแยะความสุกและดิบของผลไม้ในกรณีศึกษาของทุเรียนหมอนทองได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำเครื่องมือที่ได้ออกแบบไปใช้วัดระดับความสุกของทุเรียนหมอนทองได้
- 2) เครื่องมือที่ได้ทำการออกแบบไว้จะสามารถเป็นแนวทางให้ผู้ที่มีความสนใจนำไปพัฒนาได้ในอนาคต
- 3) สามารถประมวลผลและแยกแยะความสุกดิบของทุเรียนหมอนทองได้บนพื้นฐานของการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็วในโปรแกรม MATLAB ได้

1.5 แผนการดำเนินงาน

- 1) ทำการเขียนรายงานข้อเสนอโครงการ (Proposal)
- 2) ทำการออกแบบวงจรที่จะใช้ในปริญญานิพนธ์
- 3) ทำการเลือกและศึกษาเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในการประกอบปริญญานิพนธ์
- 4) ทำการเขียนโปรแกรมและทดลองวงจรแต่ละส่วนแยกกันต่างหาก
- 5) ประกอบชิ้นงานส่วนฮาร์ดแวร์ (Hardware) ทั้งหมดและเริ่มจำลองการทำงาน
- 6) เก็บข้อมูลเสียงตัวอย่างและทำการประมวลผลเสียงด้วย MATLAB
- 7) ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างซอฟต์แวร์สำเร็จรูปในการประมวลผลผ่าน MATLAB App Designer ของโปรแกรม MATLAB
- 8) จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์
- 9) จัดทำโปสเตอร์
- 10) นำเสนอปริญญานิพนธ์ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีทั่วไป

2.1.1 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing)

การทดสอบแบบไม่ทำลาย หมายถึง กรรมวิธีที่ใช้ค้นหารอยบกพร่องหรือความผิดปกติที่มีอยู่ในชิ้นงาน ทั้งที่เป็นอันตรายต่อการใช้งานหรือไม่เป็นอันตรายต่อการใช้งาน โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงาน ซึ่งรอยบกพร่องหรือความผิดปกติใด ๆ จะเรียกโดยรวมว่าความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) โดยที่การทดสอบแบบไม่ทำลายนั้น มีผู้ริเริ่มและทดลองนำมาใช้งานแล้วทั้งในประเทศและต่างประเทศ สำหรับในบรรดาวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายทั้งหมด วิธีที่ใช้คลื่นเสียงความถี่สูงเป็นที่เชื่อถือมากกว่าวิธีอื่น ๆ เพราะมีมาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศอังกฤษรับรองการทดสอบวิธีดังกล่าวมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2517 ดังนั้นหากสามารถตัดสินผลของการตรวจสอบโดยใช้การตรวจสอบโดยความถี่สูงได้แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้การตรวจสอบโดยวิธีอื่นอีก [3]

กระบวนการทดสอบแบบไม่ทำลาย เป็นส่วนหนึ่งของฟังก์ชันการควบคุมคุณภาพขั้นสูง อีกทั้งยังสนับสนุนเทคนิคการวิเคราะห์โดยไม่ทำลายอื่น ๆ ซึ่งหมายถึงการทดสอบพื้นผิวของผิวและผลไม้อย่างไม่ส่งผลกระทบต่อผลไม้และคุณภาพของผลไม้นอกจากนี้การทดสอบแบบไม่ทำลายยังให้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของผลไม้นั้น เช่น โครงสร้างทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ดังนั้นการประยุกต์ใช้การทดสอบแบบไม่ทำลายโดยเป็นการประมวลผลจากสัญญาณเสียงเคาะจึงเป็นแนวทางที่ดีที่สุดสำหรับการตรวจวัดความสุกและดิบของผลไม้นั้น

2.1.2 ทูเรียน

ทุเรียนเป็นไม้ผลในวงศ์ไม้ทุเรียน (Bombacaceae) ในสกุลทุเรียน (Durio) โดยทุเรียนเป็นไม้ผลยืนต้นไม่มีการผลัดใบ ทรงพุ่มแผ่กว้าง มีความสูง 20-40 เมตร (เพาะเมล็ด) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ปลายใบแหลม มีก้านใบสีน้ำตาลบนใบสีเขียวแก่ถึงเขียวเข้ม ด้านใต้ใบเป็นสีน้ำตาล เส้นใบทุเรียนสานกันมีลักษณะเป็นร่างแห โดยใบของทุเรียนในแต่ละพันธุ์ก็จะมีขนาดแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์นั้น ๆ อีกทั้งดอกมีลักษณะคล้ายระฆัง เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ซึ่งทุเรียนมักออกดอกเป็นช่อ ช่อละ 1-30 ดอก และนอกจากนี้ผลทุเรียนจะมีลักษณะเป็นหนามแหลมแข็ง เปลือกหนา โดยในแต่ละพันธุ์จะมีลักษณะของผลแตกต่างกันออกไป เช่น พันธุ์กลม (ก้านยาวและกระดุม) พันธุ์ก้านป้าน (หมอนทองและทองย้อย) ฯลฯ ในแต่ละผลมีลักษณะแบ่งเป็นพูในแต่ละพูจะมีเนื้อทุเรียนและมีเมล็ดอยู่ภายใน เนื้อของทุเรียนมีสีจําปาหรือเนื้อสีเหลืองอ่อน ขึ้นอยู่กับสภาพของดินและพันธุ์ของทุเรียน [4]

2.1.3 นิยามที่ใช้ในมาตรฐานสินค้าเกษตรของทุเรียน

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานสินค้าเกษตรของทุเรียน [5] มีดังต่อไปนี้

- 1) แกน (hard pulp) หมายถึง เนื้อทุเรียนบางส่วนที่มีลักษณะแข็ง และมีสีอ่อนกว่าปกติ
- 2) เต่าเผา (tip burn) หมายถึง ปลายเนื้อทุเรียนบางส่วนที่หุ้มเมล็ดมีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลไหม้ได้
- 3) ซึ่ม (water core / wet core) หมายถึง ไส้กลางของผลฉ่ำน้ำ
- 4) พุสมบูรณ์ (fertile lobe) หมายถึง ลักษณะของพูทุเรียนที่เป็นพูเต็มตลอดความยาวของผล

2.1.4 คุณภาพของทุเรียนในมาตรฐานสินค้าเกษตร

ผลทุเรียนทุกชิ้นคุณภาพต้องเป็นไปตามข้อกำหนด [5] ดังต่อไปนี้ เว้นแต่จะมีข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละชั้นคุณภาพและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามที่ระบุไว้

- 1) เป็นทุเรียนทั้งผลที่มีข้อผล
- 2) ตรงตามพันธุ์
- 3) สด
- 4) สะอาด ปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้
- 5) ไม่มีรอยแตกที่เปลือก
- 6) ไม่มีศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อลักษณะภายนอกของผลทุเรียน
- 7) ไม่มีร่องรอยความเสียหายเนื่องมาจากศัตรูพืชที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อทุเรียน
- 8) ไม่มีความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ และ/หรืออุณหภูมิสูง
- 9) ไม่มีกลิ่นแปลกปลอม และ/หรือรสชาติที่ผิดปกติ

2.1.5 ขนาดของทุเรียนในมาตรฐานสินค้าเกษตร

มีการกำหนดน้ำหนักต่อผลของผลทุเรียนที่เป็นพันธุ์ทางการค้าทั่วไปในมาตรฐานสินค้าเกษตร [5] ดังนี้

- 1) พันธุ์ชะนี ไม่น้อยกว่า 1.5 กิโลกรัม และไม่มากกว่า 4.5 กิโลกรัม
- 2) พันธุ์หมอนทอง ไม่น้อยกว่า 1.5 กิโลกรัม และไม่มากกว่า 6 กิโลกรัม
- 3) พันธุ์ก้านยาว ไม่น้อยกว่า 1.5 กิโลกรัมและไม่มากกว่า 4 กิโลกรัม
- 4) พันธุ์กระดุมทอง ไม่น้อยกว่า 1.3 กิโลกรัม และไม่มากกว่า 4 กิโลกรัม
- 5) พันธุ์วอลทองจันทร์ ไม่น้อยกว่า 1.5 กิโลกรัม และไม่มากกว่า 4.5 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) พันธุ์พวงมณี ไม่น้อยกว่า 1.0 กิโลกรัม
- 7) พันธุ์หลงลับแล ไม่น้อยกว่า 1.0 กิโลกรัม
- 8) พันธุ์อื่น ๆ ที่เป็นพันธุ์ทางการค้า ไม่น้อยกว่า 0.5 กิโลกรัม

2.1.6 วิธีวิเคราะห์สำหรับผลทุเรียนแก่ได้ที่ โดยลักษณะภายนอก

วิธีวิเคราะห์สำหรับผลทุเรียนแก่ได้ที่ โดยลักษณะภายนอก [5] มีดังนี้

- 1) ก้านผลแข็ง สีเข้ม เมื่อสัมผัสผิวก้านผลจะรู้สึกสากมือ บริเวณรอยต่อระหว่างก้านผลซึ่งเรียกว่าปลิงจะบวมโต
- 2) ปลายหนามแห้ง มีสีน้ำตาล ร่องหนามห่าง เมื่อบีบปลายหนามเข้าหากันจะรู้สึกถึงความยืดหยุ่นมาก
- 3) สังเกตเห็นรอยเป็นแนวยาวบริเวณกลางพูได้ชัดขึ้น ยกเว้นพันธุ์ก้านยาว

2.1.7 วิธีวิเคราะห์สำหรับผลทุเรียนแก่ได้ที่ โดยลักษณะภายในของแต่ละพันธุ์

วิธีวิเคราะห์สำหรับผลทุเรียนแก่ได้ที่ โดยลักษณะภายในของแต่ละพันธุ์ [5] มีดังนี้

- 1) กระดุมทอง : เนื้อมีสีเหลือง เมล็ดสีน้ำตาล โดยมีจำนวนวันสุกหลังการเก็บเกี่ยวในสภาพธรรมชาติประมาณ 4 ถึง 5 วัน
- 2) ชะนี : เนื้อมีสีเหลือง เมล็ดสีน้ำตาลปนครีม โดยมีจำนวนวันสุกหลังการเก็บเกี่ยวในสภาพธรรมชาติประมาณ 4 ถึง 5 วัน
- 3) หมอนทอง : เนื้อมีสีเหลืองอ่อน เมล็ดสีน้ำตาลปนครีม โดยมีจำนวนวันสุกหลังการเก็บเกี่ยวในสภาพธรรมชาติประมาณ 6 ถึง 9 วัน

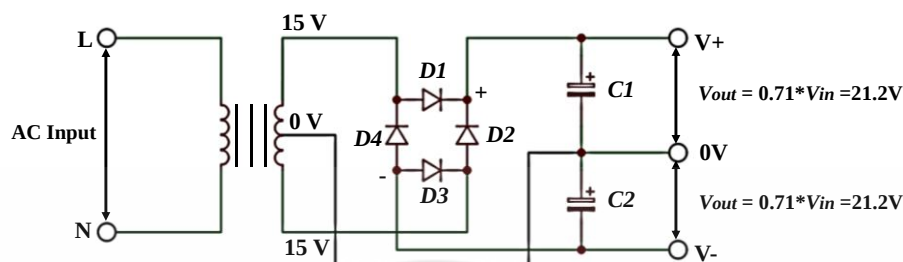
2.2 ทฤษฎีทางด้านฮาร์ดแวร์

2.2.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

วงจรเรียงกระแส : ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ไดโอดเป็นอุปกรณ์หลักของวงจร ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้เรกติไฟเออร์เต็มคลื่นโดยใช้หม้อแปลงมีแทป กลาง (Full Wave Rectifier by Center-tapped Transformer) [6]

สำหรับปริญญานิพนธ์นี้จะนำไดโอด 4 ตัวมาต่อกันในลักษณะบริดจ์ เพื่อใช้เป็นวงจรเรกติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น ส่งผลให้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรนี้จะมีค่าเป็น 2 เท่าของสัญญาณอินพุต ซึ่งวงจรเรียงกระแสที่ต่อใช้งานนี้ ประกอบด้วย หม้อแปลงใช้ในการแปลงจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยต่อร่วมกับวงจรกรองกระแสที่ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากหม้อแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ราบเรียบตามต้องการ ซึ่ง

นอกจากนี้ยังให้เป็นแหล่งจ่ายไฟแบบคู่ (Dual Power Supply) โดยให้ไฟบวก กราวด์ และไฟลบ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแส

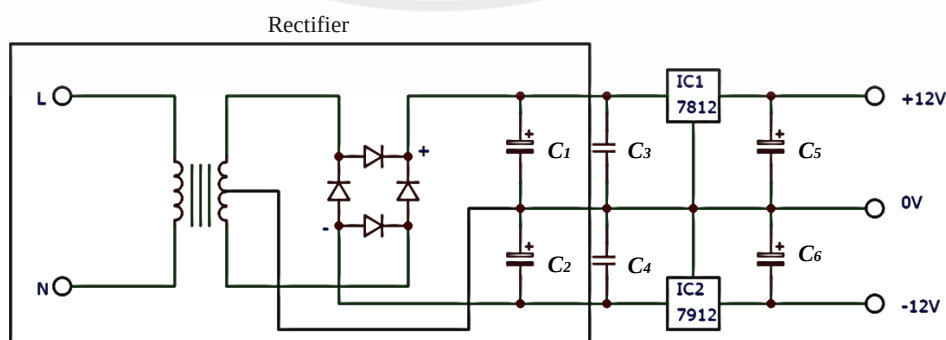
ตารางที่ 2.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรเรียงกระแส

อุปกรณ์	อุปกรณ์ที่ใช้ในปริยฐานิพนธ์
$D1, D2, D3, D4$	IN 4007 LGE
$C1, C2$	2200 uF, 25V
หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)	15V

2.2.2 วงจรคุมค่าแรงดัน (Voltage regulator)

วงจรคุมค่าแรงดัน : ทำหน้าที่ควบคุมค่าแรงดันเอาต์พุตให้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้คงที่ ในขณะที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด อาจใช้หลักการของซีเนอร์ไดโอด หรือ ไอ.ซี. คุมค่าแรงดัน แต่อย่างไรก็ตามการใช้ซีเนอร์ไดโอดจะเหมาะสมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าไม่สูงมาก [7]

สำหรับปริยฐานิพนธ์นี้เลือกใช้ IC L7812CV ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแรงดันเอาต์พุตได้ (Fixed Linear Voltage Regulator) โดยจะให้ค่าแรงดันเอาต์พุต 12 V และใช้ IC L7912CV ในการให้ค่าแรงดันเอาต์พุต -12 V ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรคุมค่าแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรคุมค่าแรงดัน

อุปกรณ์	อุปกรณ์ที่ใช้ในปริณญาณิพนธ์
C3, C4	100 uF, 16V
C5, C6	220 uF, 16V
IC1	L7812CV
IC2	L7912CV

2.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

สำหรับปริณญาณิพนธ์นี้เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เนื่องจากมีราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจกต์และไลบรารีต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นมาถูกอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก เพราะเป็นขนาดที่เหมาะสมกับการเริ่มต้นการเรียนรู้ Arduino โดยบอร์ด Arduino Uno R3 มีคุณสมบัติของบอร์ด [8] ดังนี้

- 1) ใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328
- 2) ใช้แรงดันไฟฟ้าเลี้ยงไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 5 โวลต์
- 3) แรงดันไฟฟ้าป้อนที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 อยู่ในช่วง 7-12 โวลต์
- 4) มีพอร์ตดิจิทัลอินพุต/เอาต์พุต (Digital I/O) จำนวน 14 พอร์ต
- 5) พอร์ตอนาล็อกอินพุต (Analog Input) จำนวน 6 พอร์ต
- 6) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าแต่ละพอร์ตได้ 40 มิลลิแอมป์
- 7) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าในพอร์ต 3.3 V ได้ 50 มิลลิแอมป์
- 8) มีพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรม 32 กิโลไบต์
- 9) พื้นที่หน่วยความจำชั่วคราวแบบ SRAM 2 กิโลไบต์
- 10) มีพื้นที่หน่วยความจำถาวรแบบ EEPROM 1 กิโลไบต์
- 11) ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 16 เมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 2.3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

(ที่มา : <https://kuongshun.com/products/uno-r3-board-ch340-for-arduino> สืบค้นวันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีทางด้านซอฟต์แวร์

2.3.1 ฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform)

สำหรับปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็วผ่านโปรแกรม MATLAB เพื่อแยกความถี่ (Frequency) ออกจากรูปคลื่น (Waveform) โดยจะมีการกำหนดจำนวนของการสุ่มตัวอย่าง (Number of sample) ผ่านการเขียนโปรแกรม ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการกำหนดค่าเป็น 512, 1024, 2048, 4096 และ 8192 [9]

2.3.2 ภาษาของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Programming Language)

เนื่องจากปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 จึงทำให้ในส่วนการเขียนโปรแกรมสำหรับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จำเป็นต้องเขียนโปรแกรมโดยมีการใช้ภาษา Arduino เนื่องจากความสะดวกต่อการใช้งาน ทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างลึกซึ้งสามารถเขียนโปรแกรมสั่งงานได้ [10]

ภาษาของ Arduino อ้างอิงตามภาษา C/C++ จึงกล่าวได้ว่าการเขียนโปรแกรมสำหรับ Arduino (ซึ่งก็รวมถึงบอร์ด Arduino) คือการเขียนโปรแกรมภาษา C โดยเรียกใช้ฟังก์ชันและไลบรารีของ Arduino

โครงสร้างโปรแกรมของ Arduino แบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

- 1) ฟังก์ชัน setup() : คือส่วนต้นของโปรแกรมที่ใช้ในการประกาศ หรือตั้งค่าการทำงานในส่วนการเริ่มต้นทำงาน และใช้กำหนดโหมดการทำงานของขาต่าง ๆ และกำหนดการสื่อสารแบบอนุกรม
- 2) ฟังก์ชัน loop() : คือส่วนของโปรแกรมหลักที่ต้องวนทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น อ่านค่าอินพุต ประมวลผล สั่งงานเอาต์พุต ฯลฯ โดยส่วนกำหนดค่าเริ่มต้น เช่น ตัวแปรจะต้องเขียนที่ส่วนหัวของโปรแกรมก่อนถึงตัวฟังก์ชัน นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงตัวพิมพ์ เล็กและใหญ่ของตัวแปรและชื่อฟังก์ชันให้ถูกต้อง

2.3.3 MATLAB

เป็นโปรแกรมเพื่อการคำนวณและแสดงผลที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรง คือการเขียนคำสั่งเข้าไปที่ละคำสั่งเพื่อให้โปรแกรมประมวลผลไปเรื่อย ๆ หรือสามารถที่จะรวบรวมชุดคำสั่งเป็นโปรแกรมก็ได้ และนัยสำคัญอย่างหนึ่งของ MATLAB คือข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บในลักษณะของแถวลำดับ โดยในแต่ละตัวแปรจะได้รับการแบ่งเป็นส่วนย่อยเล็ก ๆ ขึ้น ซึ่งการใช้ตัวแปรเป็นแถวลำดับ โดยความสามารถหลักของโปรแกรมแมตแล็บ [11] มีดังนี้

- 1) ควบคุมการทำงานด้วยชุดคำสั่งและยังสามารถรวบรวมชุดคำสั่งเป็นโปรแกรม

- 2) ลักษณะการเขียนโปรแกรมจะใกล้เคียงกับการเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ จึงง่ายกว่าการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาชั้นสูง เช่น C, FORTRAN และอื่น ๆ
- 3) สามารถในการเขียนกราฟและรูปภาพทั้ง 2 มิติและ 3 มิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 4) สามารถทำไดนามิกส์ลิงก์ (Dynamic Link) ร่วมกับโปรแกรมอื่น ๆ ได้ รวมทั้ง Word, Excel, และอื่น ๆ ที่ร่วมทำงานอยู่บน วินโดว์ (windows)
- 5) มีทูลบ็อกซ์ (toolbox) พิเศษสำหรับผู้ใช้ในการใช้งานเฉพาะทาง

สำหรับปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้โปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์และประมวลผลการทำงานในส่วนการวิเคราะห์ความถี่เสียงจากการเคาะทุเรียนหมอนทอง เนื่องจาก MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่มีการทำงานเชิงโต้ตอบ อีกทั้งยังสามารถคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว และยังสามารถคำนวณเชิงตัวเลขนับเมอริคอลคอมพิวเตอร์ตั้ง (Numerical Computing) แสดงผลกราฟฟิก และเขียนแอปพลิเคชัน นอกจากนี้แมตแล็บยังประกอบด้วยภาษาคอมพิวเตอร์, ทูลบ็อกซ์ กลุ่มฟังก์ชันสำเร็จรูป และฟังก์ชันพื้นฐานจำนวนมาก จึงทำให้การวิเคราะห์สามารถทำได้หลากหลายวิธี

2.3.4 Microsoft Excel

เป็นโปรแกรมประเภทสเปรดชีต (Spreadsheet) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลบนแผ่นตารางงาน คล้ายกับการเขียนลงไปบนสมุดที่มีการตีตารางทั้งแนวนอนและแนวตั้ง โดยที่ช่องตารางจะมีชื่อประจำแต่ละช่อง จึงทำให้ง่ายต่อการป้อนข้อมูลและแก้ไขข้อมูล นอกจากนี้ยังสะดวกต่อการคำนวณและการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ อีกทั้งยังสามารถจัดข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างเป็นหมวดหมู่ยิ่งขึ้น โดยคุณสมบัติที่สำคัญในโปรแกรมเอ็กเซล [12] มีดังนี้

- 1) ความสามารถด้านการคำนวณ : สามารถป้อนสูตรการคำนวณทางคณิตศาสตร์ อีกทั้งผลลัพธ์ของการคำนวณจะเปลี่ยนแปลงตามอินพุตที่ป้อนเข้ามา
- 2) ความสามารถด้านการใช้ฟังก์ชัน : สามารถป้อนฟังก์ชัน เช่น ฟังก์ชันตัวอักษรตัวเลขวันที่ และฟังก์ชันเกี่ยวกับการเงินหรือการตัดสินใจ
- 3) ความสามารถในการสร้างกราฟ : สามารถนำข้อมูลในตารางมาสร้างเป็นกราฟได้ เช่น กราฟแท่งและกราฟวงกลม
- 4) ความสามารถในการตกแต่งตารางข้อมูล : สามารถตกแต่งตารางข้อมูลหรือกราฟข้อมูลด้วยภาพสีและรูปแบบตัวอักษรต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความสวยงามและแยกแยะข้อมูลได้ง่ายขึ้น
- 5) ความสามารถในการจัดเรียงลำดับ : สามารถคัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่ต้องการมาวิเคราะห์ได้
- 6) ความสามารถในการพิมพ์งานออกทางเครื่องพิมพ์ : สามารถพิมพ์ข้อมูลและรูปภาพหรือกราฟทางเครื่องพิมพ์ได้ จึงทำให้ง่ายต่อการสร้างรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ความสามารถในการแปลงข้อมูลในตารางให้เป็นเว็บเพจเพื่อนำมาแสดงในโฮมเพจ สำหรับปริิณญาณิพนธ์นี้เลือกใช้ Microsoft Excel สำหรับเก็บข้อมูลของค่าจากการวัดต่าง ๆ ในลักษณะของตาราง เนื่องจากมีความสามารถในการคำนวณและสร้างกราฟจากข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

2.4 ทฤษฎีทางด้านสถิติ

สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) เป็นสถิติที่ใช้ในการสรุปบรรยายซึ่งค่าสถิติที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่ออธิบายลักษณะลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของทุเรียน [13]

2.4.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือมัชฌิมเลขคณิต (Arithmetic Mean ; $\bar{x}$)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิตหรือมัชฌิมเลขคณิต : เป็นค่ากลางที่ได้จากการนำเอาข้อมูลแต่ละตัวของหน่วยสังเกตมารวมกัน แล้วนำผลรวมที่ได้มาหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด โดยค่าเฉลี่ยของประชากร แทนด้วย สัญลักษณ์ คือ μ (มิว) และสัญลักษณ์ของค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง คือ $\bar{x}$

สูตร ค่าเฉลี่ยของประชากร

$$\mu = \frac{\sum x_i}{N} \quad (1.1)$$

ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1.2)$$

เมื่อ x_i คือ ค่าสังเกตของหน่วยสังเกตแต่ละหน่วยสังเกต (ข้อมูลแต่ละคน)

$\sum x_i$ คือ ผลรวมของค่าข้อมูลทั้งหมด

N คือ จำนวนประชากรทั้งหมด

n = จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

2.4.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation ; $S.D.$)

เป็นค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของข้อมูลแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ย หรือโดยเฉลี่ยแล้วข้อมูลแต่ละตัวมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ย มากน้อยเพียงใด ถ้าห่างมากแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก, ถ้าห่างน้อยแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อย โดยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร แทนด้วยสัญลักษณ์ คือ σ (ซิกม่า) และสัญลักษณ์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง คือ $S.D.$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (1.3)$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (1.4)$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 เครื่องวัดความสุขของผลไม้แบบไม่ทำลายโดยใช้การประมวลผลสัญญาณเสียงเคาะ

ผู้วิจัย : อธิพล ผลิตวานนท์, พีรพงษ์ สมบุญยอด, วารุณี บัณฑิตย์

งานวิจัยนี้เสนอการวัดความสุขของผลไม้แบบไม่ทำลาย ด้วยการประมวลผลเสียงเคาะ ซึ่งยังสามารถกำหนดขนาดของแรงในการเคาะและตำแหน่งในการเคาะให้คงที่ได้ โดยเสียงเคาะจะถูกบันทึกผ่านไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ เพื่อนำไปประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลเสียงเคาะจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปข้อมูลดิจิทัล โดยข้อมูลจะถูกประมวลผลด้วยเทคนิคการการแบ่งช่วงย่อยแบบหน้าต่าง (Windowing) ซึ่งแต่ละช่วงย่อยจะถูกทำการประมวลผลด้วยวิธีการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล ข้อมูลที่ได้จะถูกแสดงในรูปฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function) เพื่อกำหนดค่าสำหรับตัดสินใจระดับความสุขของผลไม้ [14]

2.5.2 เครื่องวัดความสุขแก่ทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยน้ำหนักแห้ง

ผู้วิจัย : ชูศักดิ์ ขวประดิษฐ์ และ ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการหาน้ำหนักแห้งแบบมาตรฐานซึ่งเป็นการทดสอบแบบทำลาย โดยใช้คุณสมบัติทางไฟฟ้ากับน้ำหนักแห้งของทุเรียน ซึ่งได้มีการทำการทดสอบวิเคราะห์ความสัมพันธ์และเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของผลการรววัดน้ำหนักแห้ง ตลอดจนหาความแม่นยำของเครื่องมือวัด, ความสามารถในการวัดซ้ำ, และช่วงการวัดที่เหมาะสม [15]

2.5.3 หาดัชนีความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยใช้ความถี่ธรรมชาติและความแข็งก้าน

ผู้วิจัย : ญัฐวุฒิ เนียมสอน และอนุพันธุ์ เทววงศ์วรกุล

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการวัดปัจจัยที่สัมพันธ์กับความแก่ทุเรียนแบบไม่ทำลาย เพื่อนำไปประเมินค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง ซึ่งเป็นดัชนีความอ่อนและความแก่ของทุเรียนที่ได้จากวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดแบบทำลาย โดยนำทุเรียนหมอนทองจากพื้นที่ปลูกเดียวกัน และมีอายุหลังวันดอกบานแตกต่างกัน 7 ช่วงอายุ มาวัดด้วยวิธีการวัดแบบไม่ทำลาย 2 แบบ คือ การวัดความแข็งก้านผลด้วยเครื่องวัดความแข็งก้านผล และการวัดความถี่ธรรมชาติด้วยเครื่องเคาะเก็บสัญญาณเสียง จากนั้นจะเอาเนื้อทุเรียนไปอบในตู้อบร้อนเพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้ง [16]

2.5.4 การวัดความแน่นของเสียงแอปเปิ้ลแบบไม่ทำลาย (Nondestructive sonic firmness measurement of apples)

ผู้วิจัย : Abbot, J.A., D.R.Massie, B.L.Upchurch and W.R.Hruschka

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการวัดความแน่นของเสียงแอปเปิ้ลแบบไม่ทำลาย เมื่อนำแอปเปิ้ลลูกหนึ่งไปทำให้เกิดการสั่นที่ขนาดการสั่นน้อย ๆ ความถี่ธรรมชาติหลาย ๆ ค่าจะปรากฏให้เห็นที่ผลของการตอบสนอง ค่าความถี่ธรรมชาติค่าที่สอง (F_2) ถูกค้นพบที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นเนื้อ และจะมีค่าลดลงสม่ำเสมอขณะที่แอปเปิ้ลนิ่มมากขึ้นหรือสูญเสียความหนาแน่นเนื้อ ความถี่ธรรมชาติมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับน้ำหนัก (m) ของผลไม้ ซึ่งหมายความว่าผลไม้ 2 ลูกที่มีความหนาแน่นเท่ากัน ผลไม้ลูกที่หนักกว่าจะมีความถี่ธรรมชาติค่าที่สองน้อยกว่า ดังนั้นเพื่อเป็นการชดเชยความแปรผันตามน้ำหนัก [17]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แนวคิดและหลักการ

จากการศึกษาและค้นคว้าหลายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการวัดความสุกดิบของผลไม้แบบไม่ทำลายนั้นสามารถใช้วิธีการได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้คลื่นอัลตราโซนิก การใช้คลื่นไมโครเวฟ ใช้วิธีการสั่นสะเทือน หรือการใช้เสียง แต่วิธีการที่ได้กล่าวมานั้นก็มีข้อจำกัดตรงที่ว่ามีค่าใช้จ่ายมากและการติดตั้งอุปกรณ์ที่ต้องพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านนั้น ดังนั้นปริญญาณิพนธ์นี้จึงมีแนวคิดในการวัดความสุกดิบของผลไม้แบบไม่ทำลาย ด้วยวิธีการนำสัญญาณเสียงจากการเคาะมาประมวลผล ซึ่งเป็นวิธีที่ค่อนข้างนิยมในการวัดความสุกดิบของผลไม้ที่สามารถทำได้ง่ายและไม่จำเป็นต้องมีความรู้เฉพาะด้าน

3.1.1 ปัญหาที่พบ

จากการศึกษาวิจัยหลายงานที่ผ่านมาพบว่า การวิเคราะห์ความสุกดิบของผลไม้ด้วยการวิเคราะห์สัญญาณเสียงนั้น มีปัญหาอยู่ที่ตำแหน่งของการเคาะ เนื่องจากหากเคาะผลไม้บนหลายตำแหน่งที่ต่างกันนั้น จะได้สัญญาณเสียงที่ออกมาแตกต่างกันแม้ว่าจะเป็นผลไม้เดียวกันก็ตาม ปัญหานี้เกิดมาจากรูปทรงของผลไม้ที่มีความไม่แน่นอน มีความแตกต่างกันไปในแต่ละลูก อีกทั้งแรงจากการเคาะด้วยมือ นั้นจะมีแรงกระทบที่ไม่เท่ากันในแต่ละการเคาะก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้สัญญาณเสียงที่ได้มีความแตกต่างกันอีกด้วย

3.1.2 แนวคิด

แนวคิดสำหรับปริญญาณิพนธ์นี้ มีดังนี้

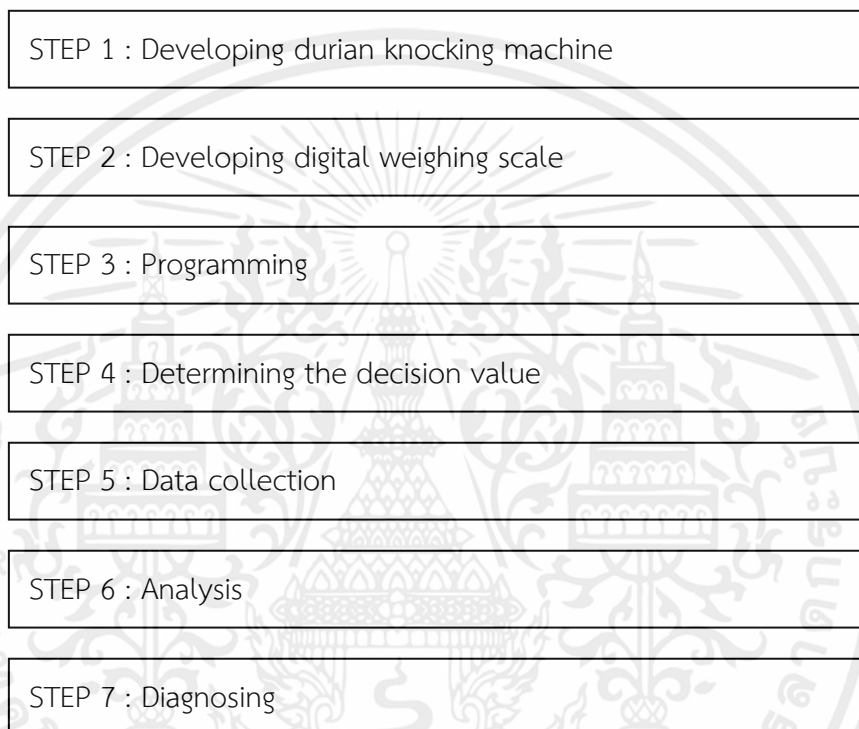
- 1) วิธีที่ใช้ศึกษาค้นคว้า : ปริญญาณิพนธ์นี้เป็นปริญญาณิพนธ์แบบการทดลอง
- 2) การเลือกข้อมูล : กำหนดให้มีการเคาะบริเวณกลางกลางพูของทุเรียนเท่านั้น เนื่องจากการค้นคว้าจากหลายแหล่งนั้นพบว่า บริเวณกลางพูของทุเรียนนั้นเป็นบริเวณที่จะเกิดโพรงอากาศ และมีเปลือกบางกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นการเคาะบริเวณกลางพูของทุเรียนจึงสามารถบ่งชี้ความสุกของทุเรียนได้
- 3) เครื่องมือและวิธีการ : ทำการวัดความสุกของผลไม้โดยมีการใช้อุปกรณ์ 3 ชนิด เพื่อเปรียบเทียบและเลือกอุปกรณ์ที่ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุด
- 4) วิธีวิเคราะห์ข้อมูล : สัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะจะถูกบันทึกด้วยไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์และถูกส่งไปที่อุปกรณ์แปลงสัญญาณเสียง เพื่อเก็บเป็นไฟล์เสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวิเคราะห์บนโปรแกรมMATLAB โดยใช้ฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว และโปรแกรม Arduino IDE สำหรับบันทึกค่าน้ำหนักและแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากเครื่องชั่งน้ำหนัก

3.2 ขั้นตอนดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานจะถูกแสดง ดังรูปที่ 3.1

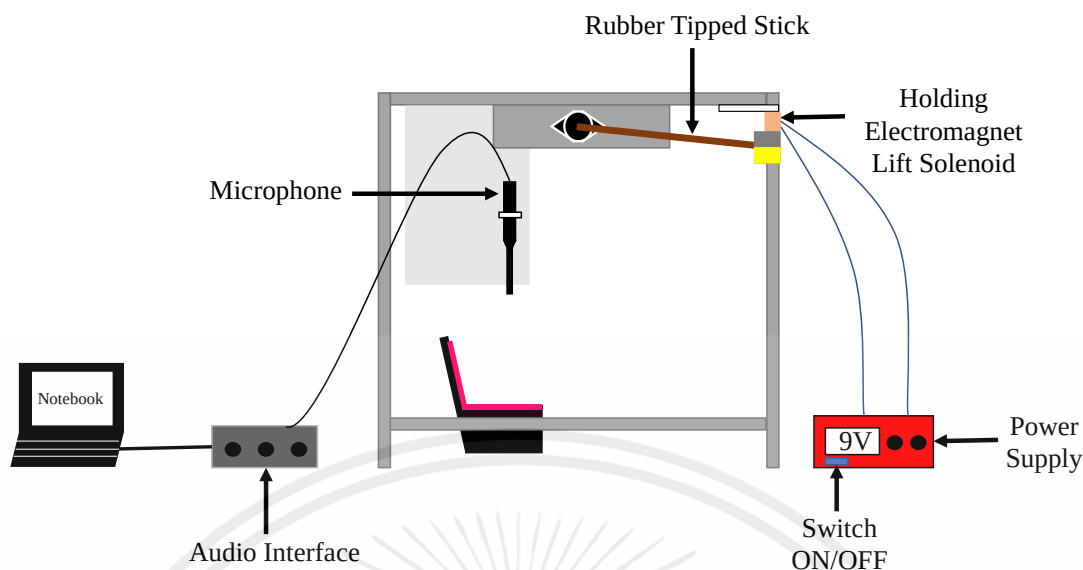


รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทำงาน

3.3 การพัฒนาการออกแบบและหลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง

3.3.1 การพัฒนาการออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 1

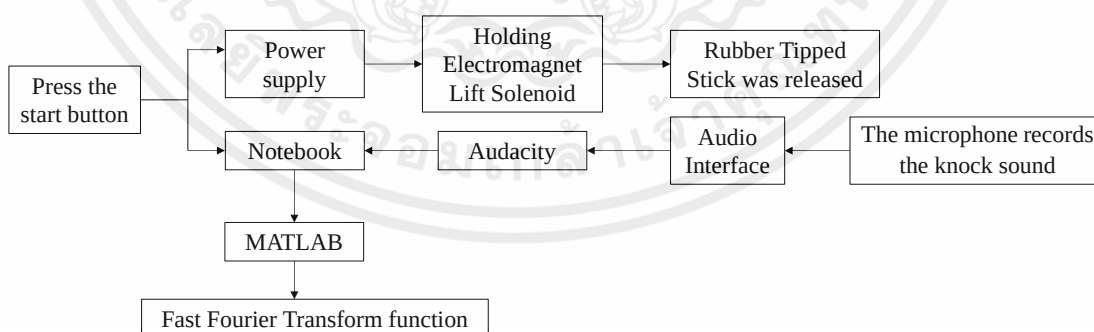
สำหรับการออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทองในรุ่นที่ 1 จะเป็นการใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าดูดยกโลหะ (Holding Electromagnet Lift Solenoid) เพื่อกำหนดค่าแรงในการเคาะให้มีความเท่ากันในทุก ๆ ครั้งของการเคาะ โดยจะทำการกดสวิตช์เพื่อตัดไฟแม่เหล็กไฟฟ้าดูดยกโลหะเพื่อปล่อยไม้เคาะลงมา วิธีนี้ทำให้ทุก ๆ ครั้งของการเคาะในทุเรียนหมอนทองผลเดิมมีแรงในการเคาะที่เท่ากัน เนื่องจากมีมุมในการเคาะที่เท่ากัน และนอกจากนี้ จะทำการหุ้มหัวไม้เคาะด้วยยางเพื่อให้มีสัมผัสและเสียงคล้ายไม้เคาะทุเรียนในปัจจุบัน ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 1

3.3.2 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1

หลักการทำงานของเครื่องนี้จะเริ่มจากการปุ่มเริ่มทำงานที่ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Power Supply) ซึ่งเป็นการตัดไฟของแม่เหล็กไฟฟ้าดูดยกโลหะเพื่อที่จะทำการปล่อยไม้เคาะลงมา จากนั้นจะใช้ไมโครโฟนในการรับสัญญาณเสียงจากการเคาะผ่านอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและโปรแกรม Audacity ที่ถูกติดตั้งไว้ในโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ โดยสัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นจะอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และถูกอัปโหลดเข้าไปในโปรแกรม MATLAB จากนั้นจะทำการนำไฟล์เสียงมาวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว เพื่อนำสัญญาณเสียงมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์และวิเคราะห์ผล ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 1

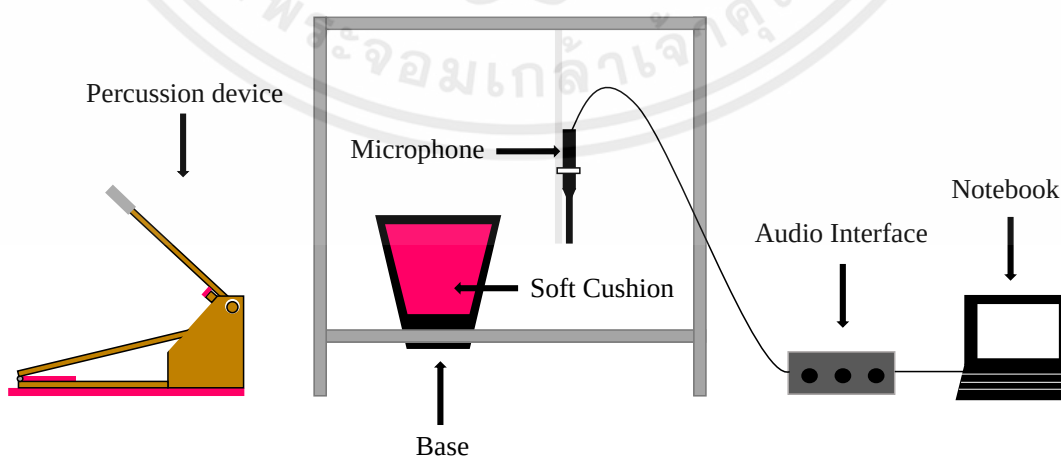
3.3.3 ส่วนฮาร์ดแวร์ของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 1

เครื่องเคาะทุเรียนหมอนทองที่ได้ออกแบบ ประกอบด้วย

- 1) แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ขนาด 0 ถึง 24 โวลต์ โดยปรับไฟเป็น 9 โวลต์ เพื่อใช้สำหรับจ่ายแรงดันให้กับแม่เหล็กไฟฟ้าดูดยกโลหะ
- 2) แม่เหล็กไฟฟ้าดูดยกโลหะ สำหรับดูดยกไม้เคาะทุเรียน
- 3) ตลับลูกปืน (Bearing) สำหรับยึดไม้เคาะทุเรียนให้มีการหมุนอย่างอิสระ
- 4) ไมโครโฟน (Microphone) สำหรับรับสัญญาณเสียงจากการเคาะ
- 5) อุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Audio Interface) สำหรับจ่ายแรงดัน 48 โวลต์ ให้กับไมโครโฟน
- 6) กระจกสำหรับวางทุเรียนหมอนทอง เพื่อให้มีตำแหน่งการเคาะที่คงที่และหุ้มด้วยยางเทอร์โมพลาสติกเพื่อลดเสียงจากการกระทบกันของทุเรียนหมอนทองกับกระจก
- 7) ไม้เคาะทุเรียน ตัวด้ามทำจากพลาสติกและหุ้มยางพาราที่หัวไม้

3.3.4 การพัฒนาการออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 2

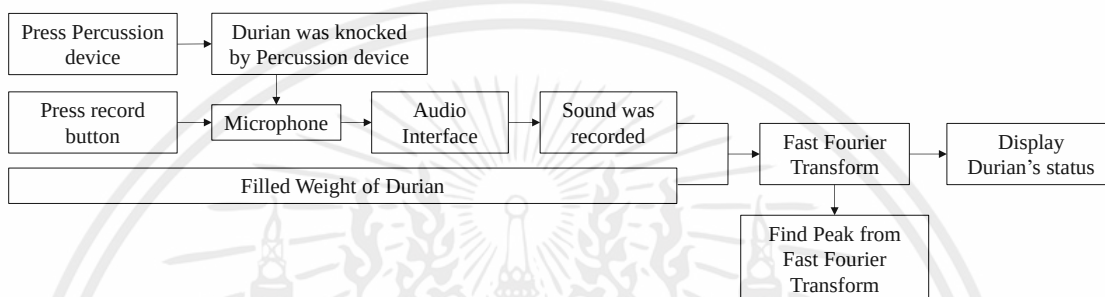
สำหรับการออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทองในรุ่นที่ 2 จะใช้หลักการของกระดิ่งประดิษฐ์ โดยจะมีการกำหนดตำแหน่งระยะห่างระหว่างกระดิ่งประดิษฐ์กับทุเรียนหมอนทองให้มีระยะเท่ากัน เพื่อเป็นการกำหนดแรงในการเคาะให้เท่ากันในทุกครั้งของการเคาะ และจะทำการกดลงไปที่คานของกระดิ่งประดิษฐ์ด้วยตำแหน่งการกดที่เท่ากัน หากใช้วิธีนี้ก็将会ทำให้ทุก ๆ ครั้งของการเคาะในทุเรียนหมอนทองผลเดิมมีแรงในการเคาะที่เท่ากัน เนื่องจากมีตำแหน่งและระยะการวางที่เท่ากัน นอกจากนี้จะทำการประยุกต์ใช้ไม้หวายหุ้มยางที่ใช้เคาะทุเรียนทั่วไปมาใช้แทนหัวกระดิ่งที่ขายตามท้องตลาด เพื่อให้ได้เสียงเคาะที่คล้ายกับเสียงเคาะทุเรียนในปัจจุบัน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 2

3.3.5 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 2

หลักการทำงานของเครื่องนี้จะเริ่มจากการกดปุ่มบันทึกเสียงจากซอฟต์แวร์ ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นจาก MATLAB ผ่าน MATLAB App Designer โดยจะทำให้ไมโครโฟนที่เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณเสียง ทำงานร่วมกับอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเริ่มบันทึกเสียงเคาะผลไม้ด้วยอุปกรณ์เคาะกระเดื่องประดิษฐ์ ซึ่งสัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นจะอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และจะถูกวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว เพื่อนำสัญญาณเสียงที่ได้รับมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์และแสดงสถานะของทุเรียนหมอนทอง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 2

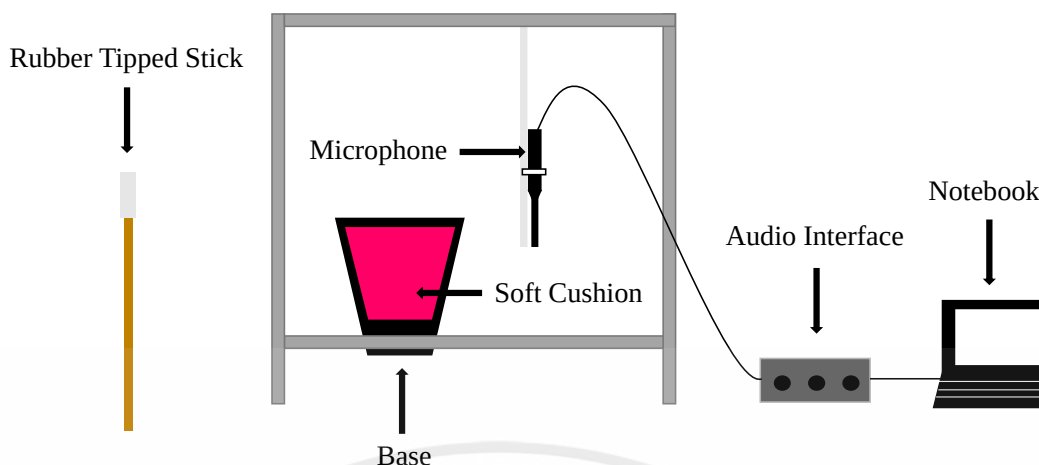
3.3.6 ส่วนฮาร์ดแวร์ของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 2

เครื่องเคาะทุเรียนหมอนทองที่ได้ออกแบบ ประกอบด้วย

- 1) ไมโครโฟน สำหรับรับสัญญาณเสียงจากการเคาะ
- 2) อุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับจ่ายแรงดัน 48 โวลต์ ให้กับไมโครโฟน
- 3) กระถางสำหรับวางทุเรียนหมอนทอง เพื่อให้มีตำแหน่งการเคาะที่คงที่และหุ้มด้วยยางเทอร์โมพลาสติกเพื่อลดเสียงจากการกระทบกันของทุเรียนหมอนทองกับกระถาง
- 4) อุปกรณ์กระเดื่องประดิษฐ์ใช้เป็นอุปกรณ์ก่อกำเนิดเสียงเคาะ ตัวฐานทำจากไม้และนำไม้หวายหุ้มยางที่ใช้เคาะทุเรียนตามหัวไปมาประยุกต์

3.3.7 การพัฒนาการออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 3

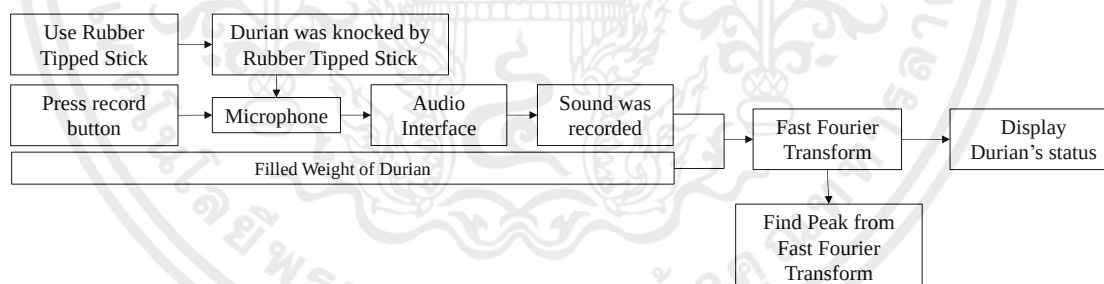
สำหรับการออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทองในรุ่นที่ 3 จะใช้ไม้หวายหุ้มยางทั่วไปที่ใช้สำหรับเคาะทุเรียนเพื่อให้ได้เสียงที่คล้ายกับเสียงเคาะตามร้านขายทุเรียนทั่วไป แต่จะมีการกำหนดตำแหน่งการเคาะเป็นบริเวณกลางพู เนื่องจากในตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่เปลือกค่อนข้างบางจึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมกับการเคาะมากที่สุด ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การออกแบบเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 3

3.3.8 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 3

หลักการทำงานของเครื่องนี้จะเริ่มจากการกดปุ่มบันทึกเสียงจากซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจาก MATLAB ผ่าน MATLAB App โดยจะทำให้ไมโครโฟนที่เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณเสียง ทำงานร่วมกับอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเริ่มบันทึกเสียงเคาะผลไม้ด้วยไม้เคาะทุเรียน ซึ่งสัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นจะอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และจะถูกวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว เพื่อนำสัญญาณเสียงที่ได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์และแสดงสถานะของทุเรียนหมอนทอง ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 หลักการทำงานของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 3

3.3.9 ส่วนฮาร์ดแวร์ของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 3

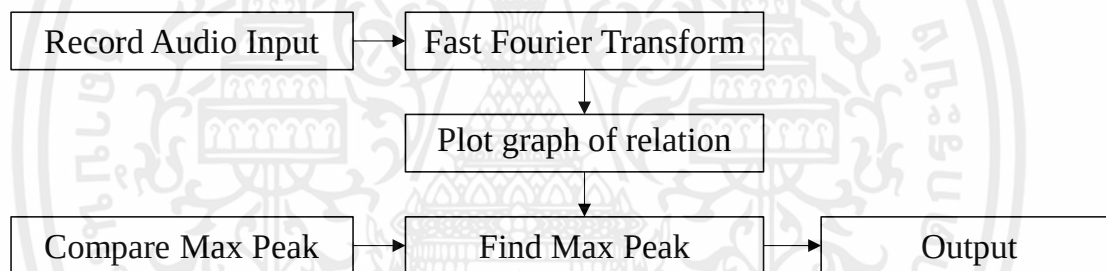
เครื่องเคาะทุเรียนหมอนทองที่ได้ออกแบบ ประกอบด้วย

- 1) ไมโครโฟน สำหรับรับสัญญาณเสียงจากการเคาะ
- 2) อุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับจ่ายแรงดัน 48 โวลต์ ให้กับไมโครโฟน

- 3) กระถางสำหรับวางทุเรียนหมอนทอง เพื่อให้มีตำแหน่งการเคาะที่คงที่และหุ้มด้วยยางเทอร์โมพลาสติกเพื่อลดเสียงจากการกระทบกันของทุเรียนหมอนทองกับกระถาง
- 4) ไม้หวายหุ้มยางสำหรับเคาะทุเรียนทั่วไป เป็นอุปกรณ์ก่อกำเนิดเสียงเคาะซึ่งทำให้ได้เสียงในการนำมาวิเคราะห์

3.3.10 ส่วนซอฟต์แวร์ของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ความถี่เสียงผ่านซอฟต์แวร์เพื่อแบ่งแยกความถี่ของทุเรียนหมอนทอง โดยเมื่อได้ทำการบันทึกสัญญาณเสียงเคาะเข้ามาเป็นอินพุตแล้ว สัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นจะอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และจะถูกวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว เพื่อนำสัญญาณเสียงมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ และจากนั้นโปรแกรมจะทำการหาพีคที่สูงที่สุดของกราฟจากการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว โดยจะมีการเปรียบเทียบพีคที่สูงที่สุดกับค่าตัดสินใจที่กำหนดไว้ เพื่อเป็นการแบ่งแยกความถี่และระดับของทุเรียน ดังรูปที่ 3.8

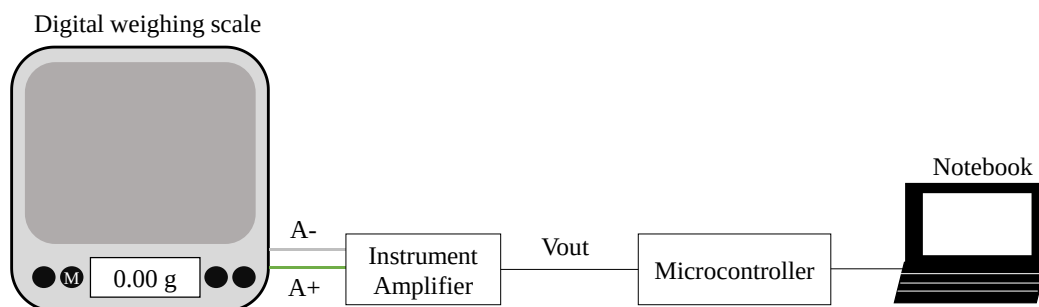


รูปที่ 3.8 ส่วนซอฟต์แวร์ของเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง

3.4 การออกแบบและหลักการทำงานของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้

3.4.1 การออกแบบชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้

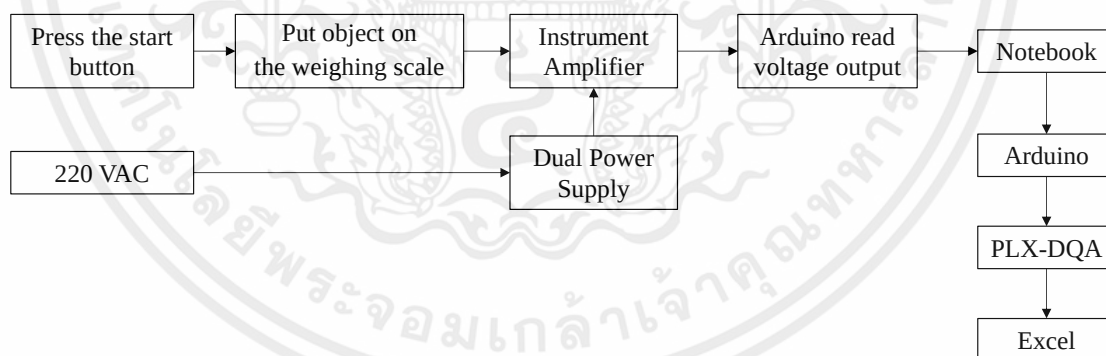
สำหรับการออกแบบชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้ จะเลือกใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลที่มีย่านการวัดช่วง 0 ถึง 3000 กรัม เนื่องจากขอบเขตของงานวิจัยได้กำหนดไว้ว่าจะเลือกใช้ทุเรียนหมอนทองที่มีชั่งน้ำหนัก 2.0 ถึง 2.5 กิโลกรัม และเลือกใช้วงจรขยายการวัด AD524CD เนื่องจากค่าแรงดันที่อ่านได้จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนักเป็นหน่วยมิลลิโวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยมากทำให้ Arduino ที่ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถรับค่าได้ จึงต้องทำการขยายสัญญาณให้อยู่ในย่านการวัด 0 ถึง 5 โวลต์ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การออกแบบชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้

3.4.2 หลักการทำงานของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้

หลักการทำงานของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้จะเริ่มจากการกดปุ่มเริ่มต้นการทำงานที่เครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อเริ่มทำการวัดค่าน้ำหนัก จากนั้นจะใช้วงจรขยายการวัด AD524CD ในการรับสัญญาณผ่านสาย A+ และ A- ของเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อทำการขยายสัญญาณที่ออกมาจากหน่วยมิลลิโวลต์ ให้อยู่ในย่านการวัด 0 ถึง 5 โวลต์ สำหรับอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะทำการเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกผ่านโปรแกรม Arduino IDE และ PLX-DQA ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับบันทึกข้อมูลที่อ่านได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะถูกบันทึกผ่าน Microsoft Excel ซึ่งจะเก็บข้อมูลโดยทำการสุ่มตัวอย่างข้อมูลเป็นจำนวน 100 ค่า แล้วนำค่าที่เก็บได้ทั้งหมดคิดเป็นค่าเฉลี่ยเพียงหนึ่งค่า จากนั้นวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก ดังรูปที่ 3.10



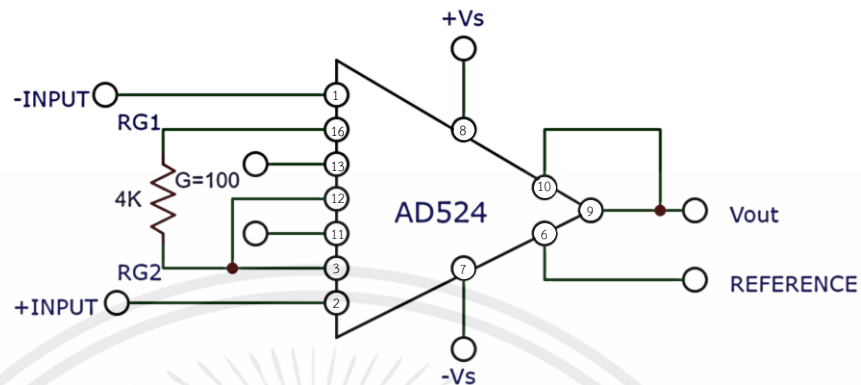
รูปที่ 3.10 หลักการทำงานของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้

3.4.3 ส่วนฮาร์ดแวร์ของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้

ชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้ที่ได้ออกแบบ ประกอบด้วย

- 1) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล : ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 3000 กรัม
- 2) วงจรขยายการวัด AD524CD : เพื่อรับสัญญาณอนาล็อกจากสาย A+ และ A- ของเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อขยายสัญญาณและส่งต่อไปที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถ

อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก โดยมีการต่อวงจรขยายการวัด ดังรูปที่ 3.11 โดยมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.11 วงจรขยายการวัด AD524CD

ขั้นตอนที่ 1 : จากเอกสารข้อมูล (Data Sheet) ของวงจรขยายการวัด AD524CD ได้ระบุการคำนวณค่า Gain ตามสมการดังนี้

$$\text{Gain Equation} = \left[\frac{40,000}{R_G} + 1 \right] \pm 20\% \quad (1.5)$$

ขั้นตอนที่ 2 : จากเอกสารข้อมูล ของวงจรขยายการวัด AD524CD

กรณี $G = 10$ ได้มีการคำนวณค่า R_G เท่ากับ $4444.44 \, \Omega$

กรณี $G = 100$ ได้มีการคำนวณค่า R_G เท่ากับ $404.04 \, \Omega$

กรณี $G = 1000$ ได้มีการคำนวณค่า R_G เท่ากับ $40.04 \, \Omega$

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณค่า Gain Equation ในที่นี้ได้เลือกต่อ $G = 100$ ดังนั้นจึงเลือก R_G เท่ากับ $404.04 \, \Omega$ แทนค่าในสมการ *Gain Equation* จะได้

$$\text{Gain Equation} = \left[\frac{40,000}{4000 || 404.04} + 1 \right] \pm 20\% \quad (1.6)$$

ดังนั้น

$$\text{Gain Equation} = 109 \pm 20\% \quad (1.7)$$

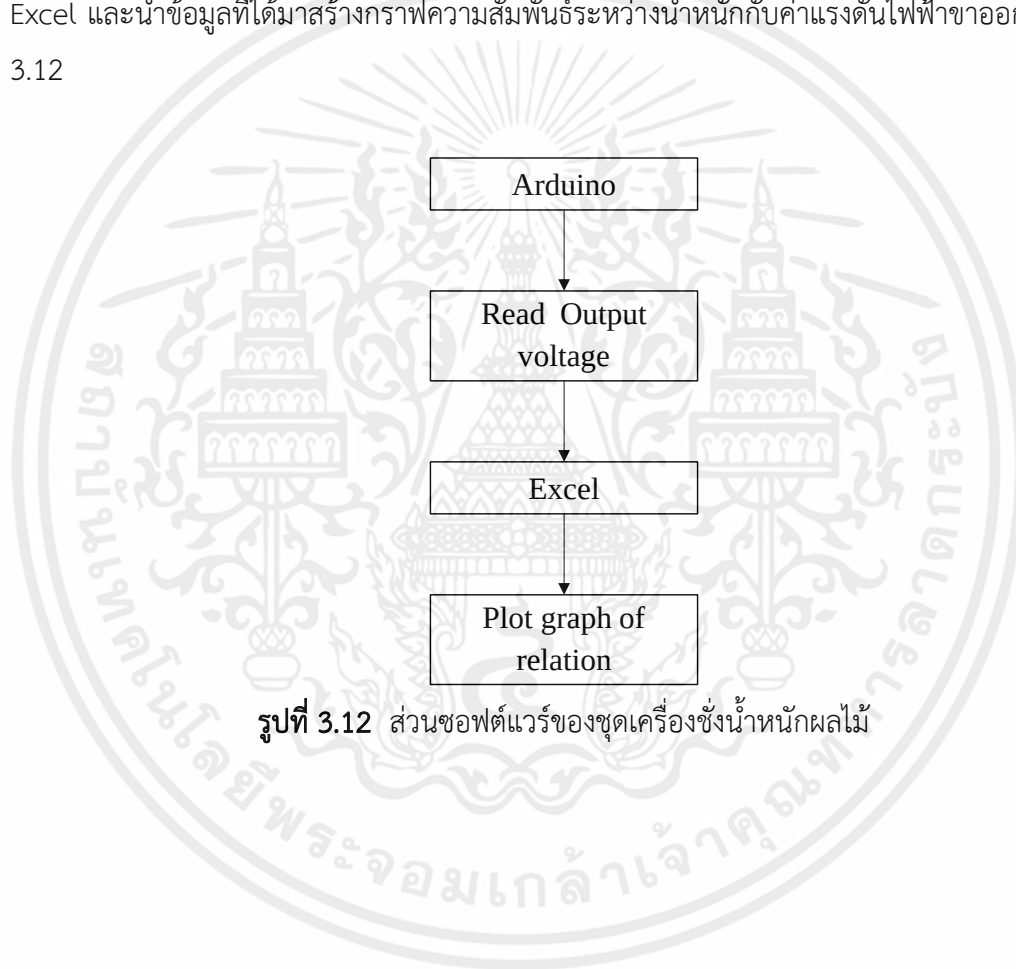
3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 : อ่านและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) วงจรแหล่งจ่ายไฟแรงดันคู่ (Dual Power Supply Circuit) : เพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟบวก ลบ และกราวด์ สำหรับจ่ายแรงดันให้กับวงจรขยายการวัด ซึ่งประกอบด้วยวงจรแยก 2 ส่วน คือ วงจรเรกติไฟร์และวงจรคุมค่าแรงดัน

3.4.4 ส่วนซอฟต์แวร์ของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้

เมื่อมีการชั่งน้ำหนักบนชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก จะทำให้ Arduino UNO R3 ที่ซึ่งทำหน้าที่เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ เริ่มทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกผ่านโปรแกรม Arduino IDE และ PLX-DQA ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับบันทึกข้อมูลที่อ่านได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่าน Microsoft Excel และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ส่วนซอฟต์แวร์ของชุดเครื่องชั่งน้ำหนักผลไม้

บทที่ 4

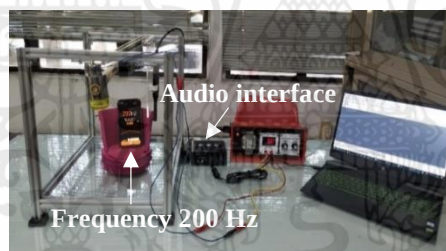
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากไมโครโฟน กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า

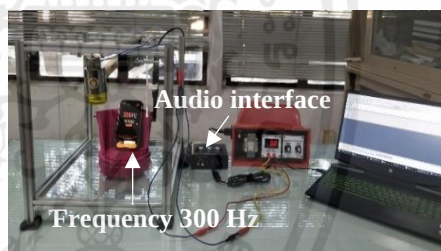
4.1.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า

เป็นการทดสอบการแยกแยะความถี่เสียงของไมโครโฟน โดยให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า เพื่อวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัด มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ใช้โทรศัพท์มือถือเป็นแหล่งกำเนิดความถี่เสียง โดยติดตั้งแอปพลิเคชันความถี่เสียง Frequency และเลือกความถี่เสียงที่ต้องการ
- 2) วางโทรศัพท์มือถือบนกระถางสำหรับวางทุเรียน จากนั้นใช้ไมโครโฟนในการรับสัญญาณเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงผ่านอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและถูกบันทึกด้วยโปรแกรม Audacity บนโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4.1



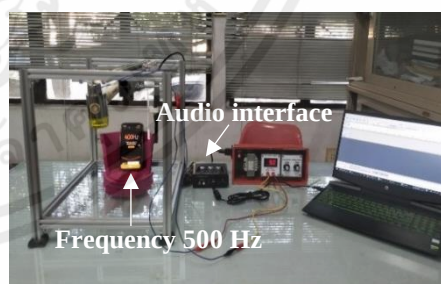
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.1 การทดสอบการแยกแยะความถี่เสียงของไมโครโฟน กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า

- (ก) กรณีให้ความถี่เสียง 200 เฮิรตซ์
- (ข) กรณีให้ความถี่เสียง 300 เฮิรตซ์
- (ค) กรณีให้ความถี่เสียง 400 เฮิรตซ์
- (ง) กรณีให้ความถี่เสียง 500 เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า

- 1) สัญญาณเสียงจากการเคาะ : จะผ่านตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยใช้อัตราสุ่มเสียง 44,100 จุด/วินาที และความละเอียด 16 บิต
- 2) เขียนโปรแกรม : เขียนโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าความถี่เสียง 200 เฮิรตซ์ 300 เฮิรตซ์ 400 เฮิรตซ์ และ 500 เฮิรตซ์ ที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดความถี่เสียง โดยใช้โปรแกรม MATLAB และคำสั่งฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 4.2

```
clear;
close all;
clc;

for i=200:100:500
    [x,Fs]=audioread(strcat(num2str(i),'.wav'));
    N=length(x);
    t=(0:N-1)/Fs;
    L=length(x);
    NFFT = 2^nextpow2(L);
    f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
    Y = fft(x,NFFT)/L;

    plot(f,2*abs(Y(1:NFFT/2+1)))
    title(strcat('Single-Sided Amplitude Spectrum of y(t) ',num2str(i),' Hz'))
    xlabel('Frequency (Hz)')
    ylabel('|Y(f)|')
    figure;
end
```

รูปที่ 4.2 โปรแกรมการทดสอบการแยกแยะความถี่เสียงของไมโครโฟน กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่าโดยใช้ฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว

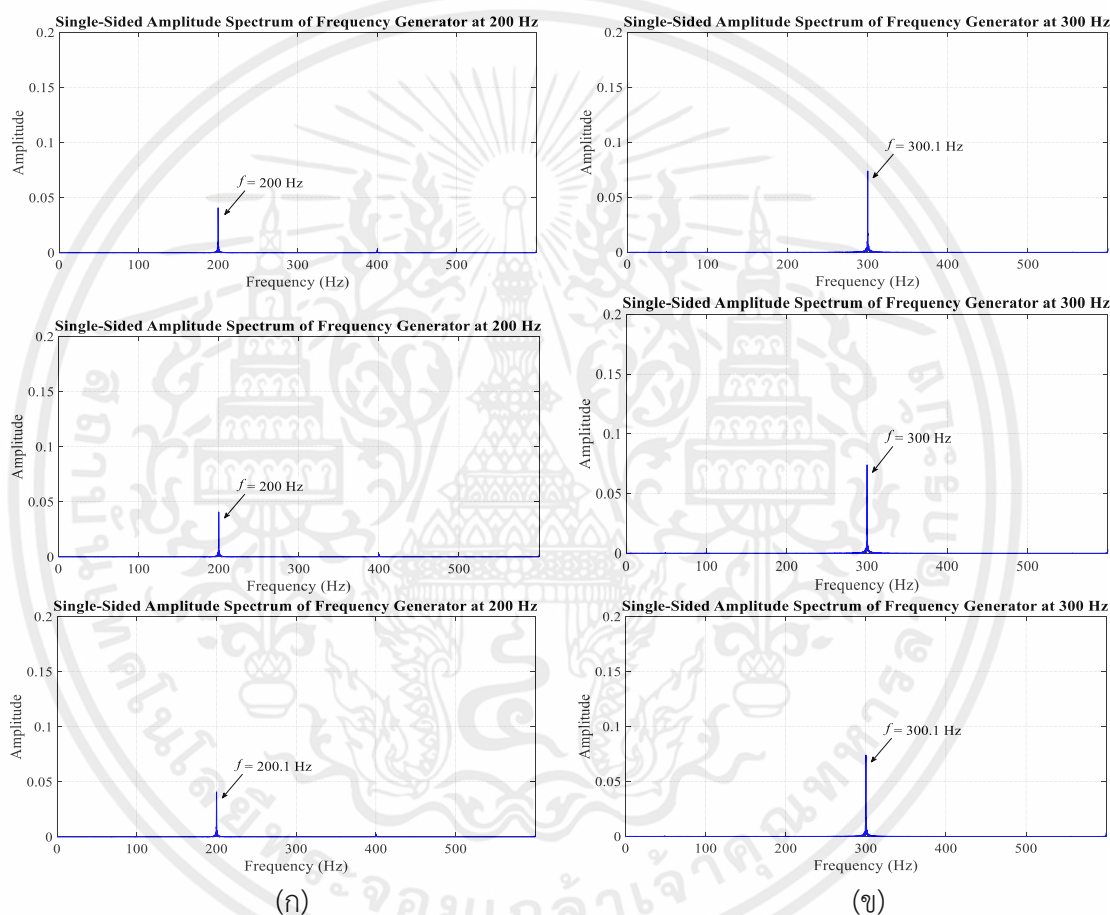
- 3) ทดสอบความสามารถในการทวนซ้ำ : ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งเพื่อดูความสามารถในการทวนซ้ำของเครื่องมือวัด ที่ซึ่งแสดงถึงระดับความถูกต้องที่ใกล้เคียงกันของผลการวัดที่ได้จากการวัดหลายครั้ง โดยการวัดทั้งหมดต้องอยู่ภายใต้วิธีการวัด ผู้ทำการวัด และสภาวะแวดล้อมเดียวกัน หรือการแสดงถึงความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด
- 4) หาค่าเฉลี่ยรวมของความถี่เสียงที่ได้จากการเคาะ
- 5) หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

4.1.3 ผลการทดลอง กรณีให้ความถี่เสียงที่ทราบค่า

จากวิธีทางฮาร์ดแวร์และเขียนโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ความถี่เสียง 200 เฮิรตซ์ 300 เฮิรตซ์ 400 เฮิรตซ์ และ 500 เฮิรตซ์ ที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดเสียง โดยใช้โปรแกรม MATLAB และคำสั่งฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว ได้สรุปผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงความถี่เสียง กรณีให้ความถี่ที่ทราบค่า

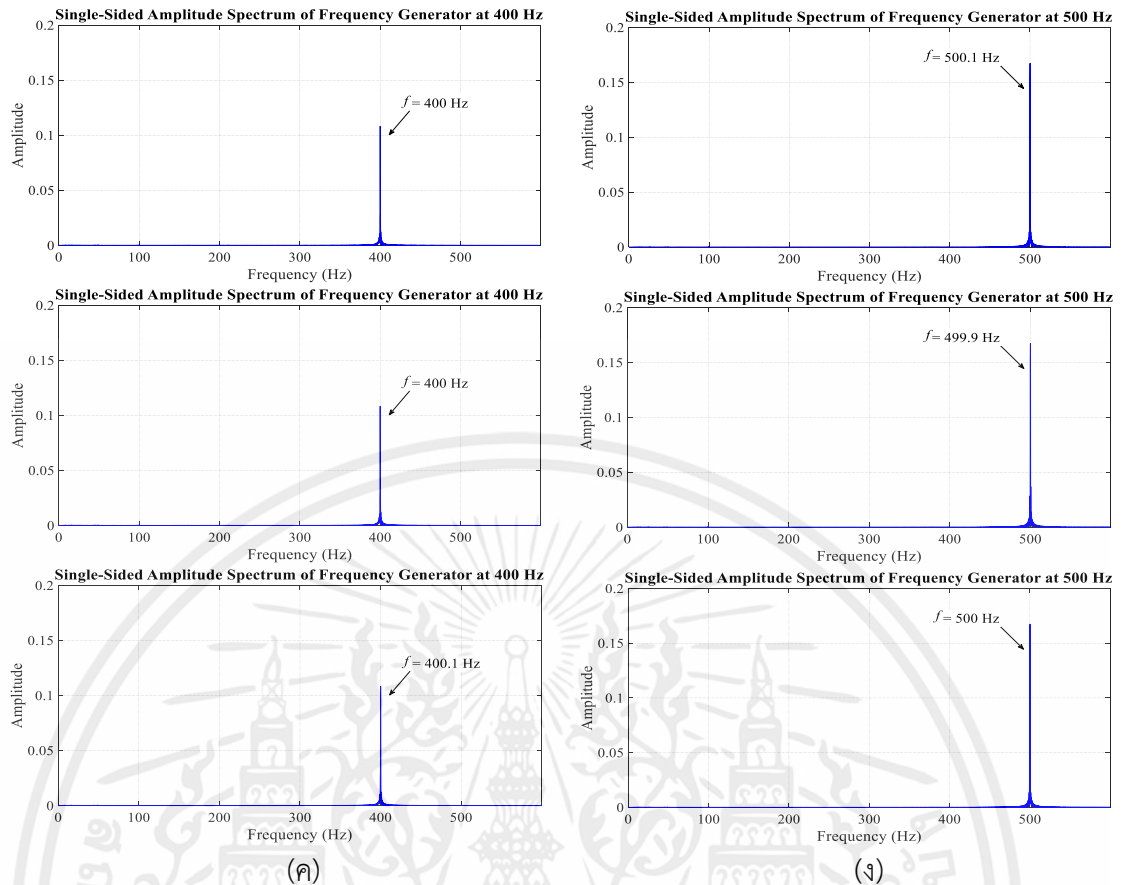
ความถี่เสียงที่ทราบค่า (Hz)	ความถี่เสียง (Hz)			ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
200	200.0	200.0	200.1	200.033	0.0222
300	300.1	300.0	300.1	300.067	0.0148
400	400.0	400.0	400.1	400.033	0.0111
500	500.1	499.9	500.0	500.000	0.0133



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ความถี่ที่ทราบค่า 200 เฮิรตซ์ และ 300 เฮิรตซ์

(ก) กรณีให้ความถี่เสียง 200 เฮิรตซ์

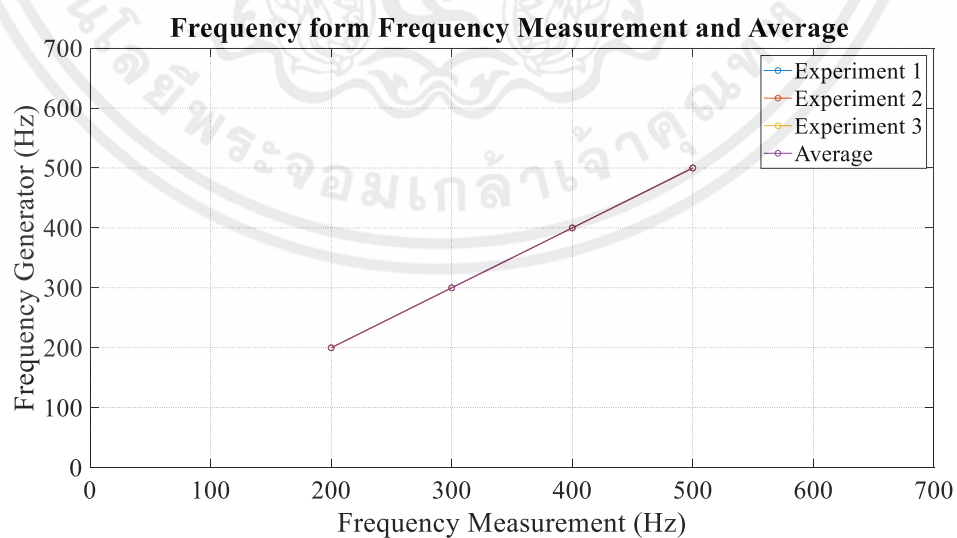
(ข) กรณีให้ความถี่เสียง 300 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ความถี่ที่ทราบค่า 400 เฮิรตซ์ และ 500 เฮิรตซ์

(ค) กรณีให้ความถี่เสียง 400 เฮิรตซ์

(ง) กรณีให้ความถี่เสียง 500 เฮิรตซ์



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงและความถี่ที่วัดค่าได้จากไมโครโฟน

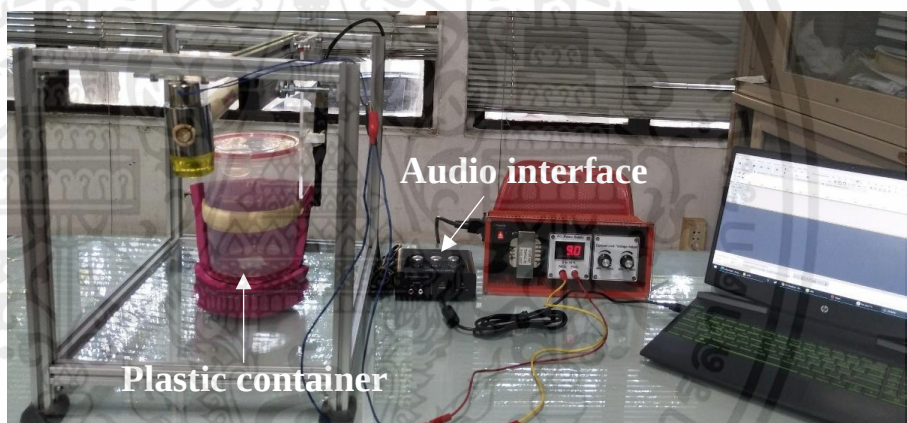
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากไมโครโฟน กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก (ตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าทุเรียนหมอนทอง)

4.2.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 1

เป็นการทดสอบความสามารถในการจำแนกความถี่เสียงของไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ โดยกำหนดให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติกที่เป็นตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าทุเรียนหมอนทอง เพื่อที่จะวิเคราะห์แนวโน้มสำหรับการวิเคราะห์ความถี่ของทุเรียนหมอนทอง โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) บรรจุน้ำปริมาตรตั้งแต่ 0 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร
- 2) วางกระบอกพลาสติกบนกระถางสำหรับวางทุเรียนหมอนทอง โดยกำหนดตำแหน่งของการวางและระยะการวางให้คงที่ เพื่อให้แรงเคาะจากไม้เคาะมีค่าคงที่ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การทดสอบการแยกแยะความถี่เสียงของไมโครโฟน กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน หมอนทอง รุ่นที่ 1

4.2.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก (ตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าทุเรียนหมอนทอง)

- 1) สัญญาณเสียงจากการเคาะ : จะผ่านตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยใช้อัตราสุ่มเสียง 44,100 จด/วินาที และความละเอียด 16 บิต
- 2) เขียนโปรแกรม : เขียนโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าความถี่เสียงที่ปริมาตร 0 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร โดยใช้โปรแกรม MATLAB และคำสั่งฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 4.2
- 3) ทดสอบความสามารถในการทวนซ้ำ : ทำการเคาะซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งเพื่อดูความสามารถในการทวนซ้ำของเครื่องมือวัด ที่ซึ่งแสดงถึงระดับความถูกต้องที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกันของผลการวัดที่ได้จากการวัดหลายครั้ง โดยการวัดทั้งหมดต้องอยู่ภายใต้วิธีการวัด ผู้ทำการวัด และสภาวะแวดล้อมเดียวกัน หรือการแสดงถึงความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด

- 4) หาค่าเฉลี่ยรวมของความถี่เสียงที่ได้จากการเคาะ
- 5) หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

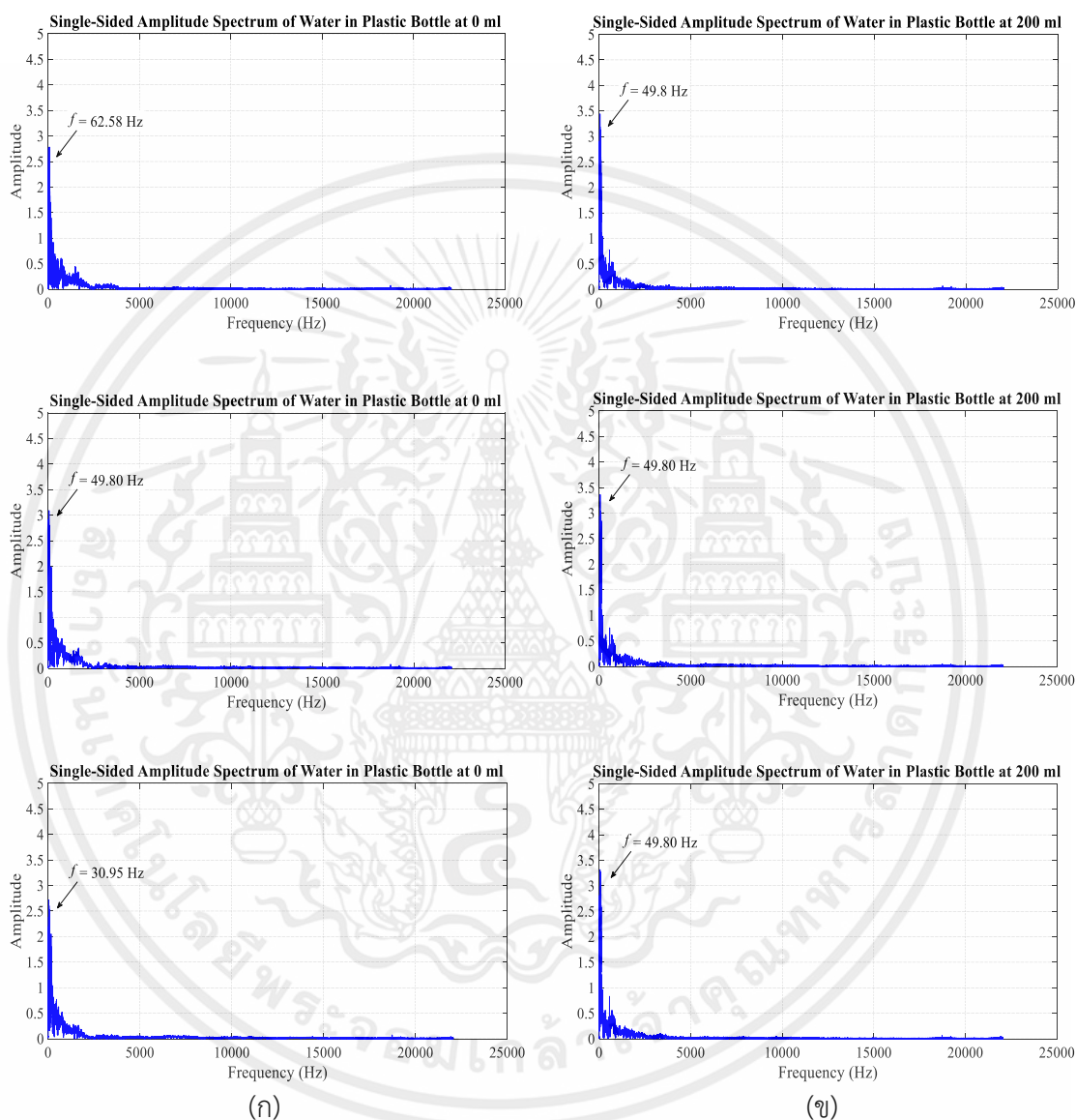
4.2.3 ผลการทดลอง กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก (ตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าทุเรียน) โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1

กระบวนการทดลองเริ่มจากการกดสวิทช์ ON ที่แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นการตัดไฟของแม่เหล็กไฟฟ้าดูดยกโลหะ เพื่อทำการปล่อยไม้เคาะลงมาที่ภาชนะพลาสติกที่บรรจุปริมาตรของน้ำตั้งแต่ 0 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร จากนั้นใช้ไมโครโฟนในการรับสัญญาณเสียงจากการเคาะผ่านอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและโปรแกรม Audacity ที่ถูกติดตั้งไว้ในโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ โดยสัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นจะอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และถูกอัปโหลดเข้าในโปรแกรม MATLAB จากนั้นจะทำการนำไฟล์เสียงมาวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว เพื่อนำสัญญาณเสียงมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด โดยพิจารณาจากค่าที่สูงที่สุดของกราฟ จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงความถี่เสียง กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะ โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1

ปริมาตร (mL)	ความถี่เสียง (Hz)			ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่ 3		
0	62.58	49.80	30.95	47.777	23.4792
200	49.8	49.80	49.80	49.800	0.0000
400	71.33	71.33	71.33	71.330	0.0000
600	64.94	66.95	66.95	66.280	1.3478
800	66.95	66.95	66.95	66.950	0.0000
1000	67.29	66.62	66.62	66.843	0.4453
1200	70.66	68.30	68.64	69.200	1.4066
1400	72.34	72.00	72.34	72.226	0.2095
1600	71.33	71.33	71.33	71.330	0.0000
1800	69.98	70.32	70.66	70.320	0.3223
2000	66.28	75.03	75.03	72.113	5.3929

จากกระบวนการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเคาะที่ภาชนะพลาสติก ซึ่งบรรจุปริมาตรของน้ำ 0 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.7 (ก) และเมื่อทำการเพิ่มปริมาตรของน้ำเป็น 200 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียง และแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.7 (ข)

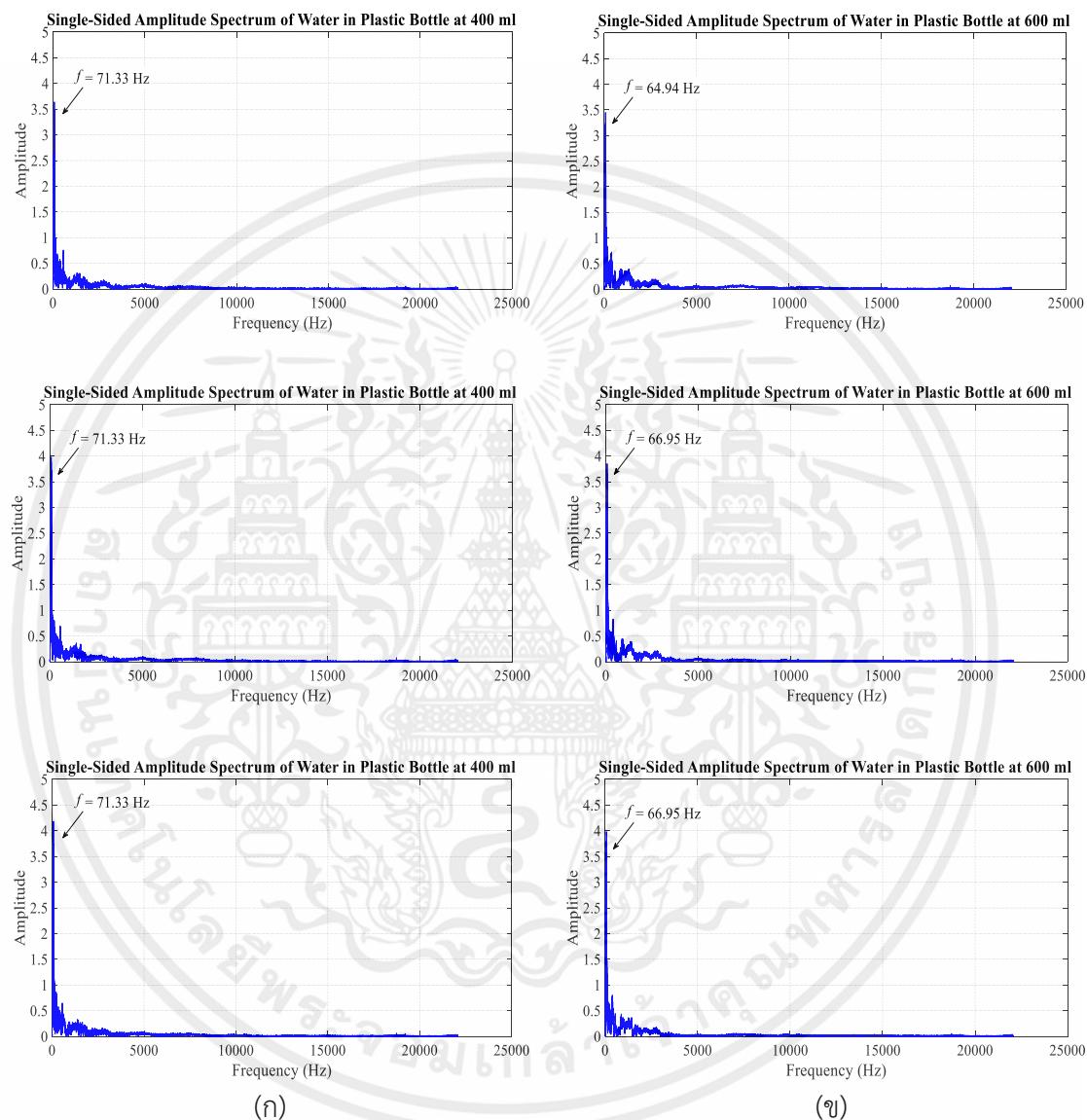


รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 0 มิลลิลิตร และ 200 มิลลิลิตร

(ก) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 0 มิลลิลิตร

(ข) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 200 มิลลิลิตร

จากกระบวนการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเคาะที่ภาชนะพลาสติก ซึ่งบรรจุปริมาตรของน้ำ 400 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.8 (ก) และเมื่อทำการเพิ่มปริมาตรของน้ำเป็น 600 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.8 (ข)

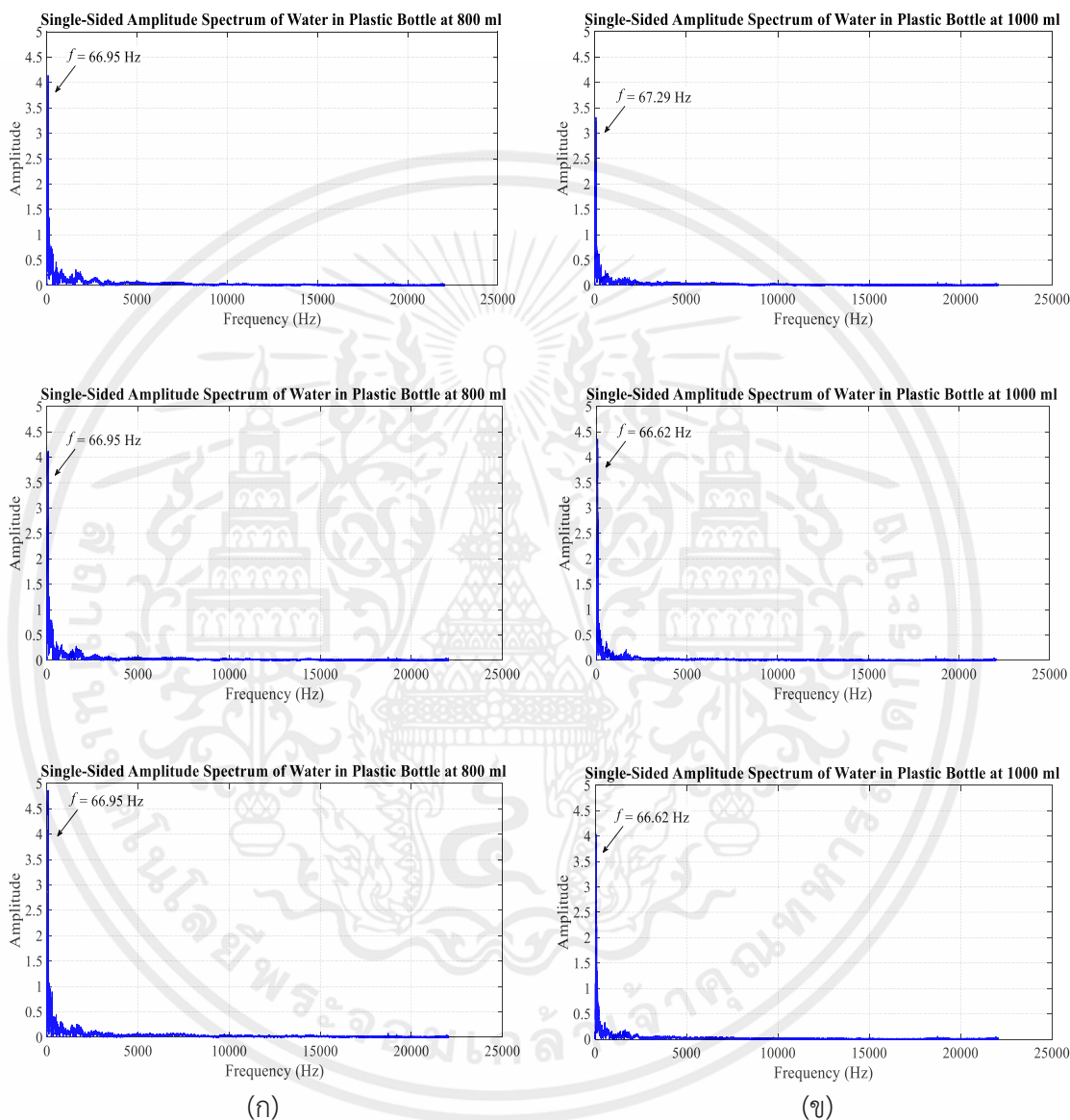


รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 400 มิลลิลิตร และ 600 มิลลิลิตร

(ก) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 400 มิลลิลิตร

(ข) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 600 มิลลิลิตร

จากกระบวนการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเคาะที่ภาชนะพลาสติก ซึ่งบรรจุปริมาตรของน้ำ 800 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.9 (ก) และเมื่อทำการเพิ่มปริมาตรของน้ำเป็น 1,000 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.9 (ข)

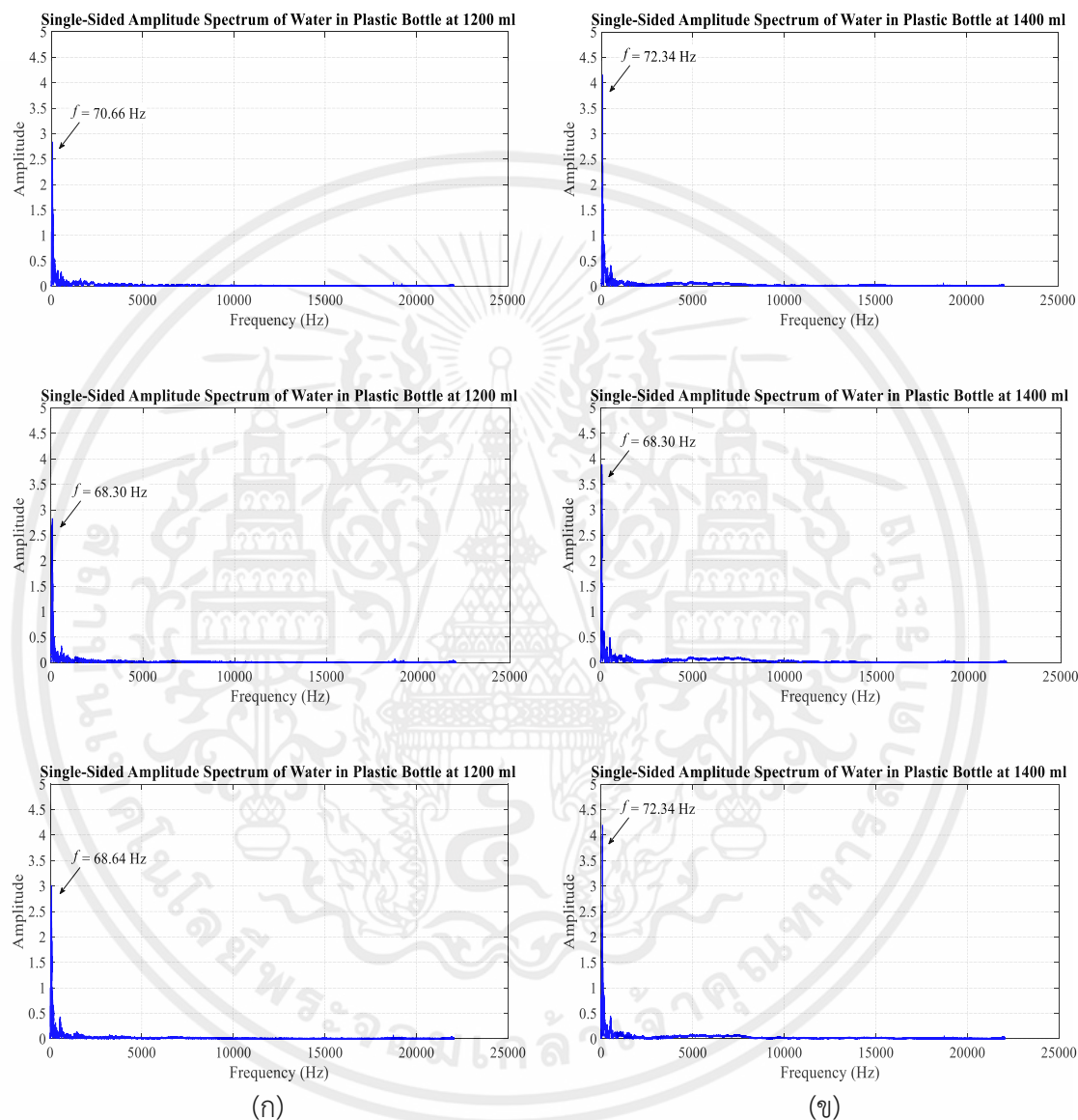


รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูดกรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 800 มิลลิลิตร และ 1,000 มิลลิลิตร

(ก) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 800 มิลลิลิตร

(ข) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 1,000 มิลลิลิตร

จากกระบวนการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเคาะที่ภาชนะพลาสติก ซึ่งบรรจุปริมาตรของน้ำ 1,200 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.10 (ก) และเมื่อทำการเพิ่มปริมาตรของน้ำเป็น 1,400 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.10 (ข)

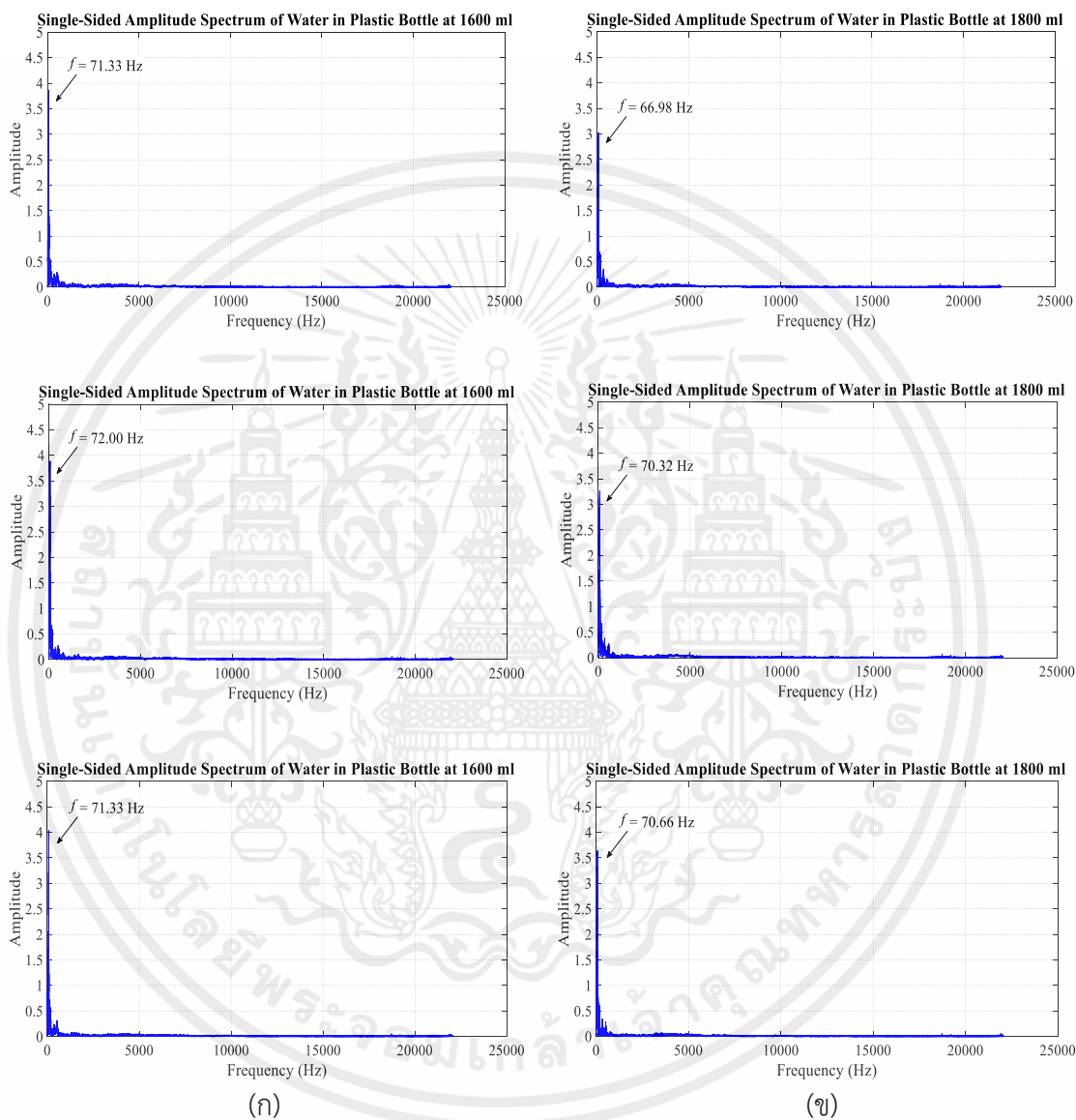


รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 1,200 มิลลิลิตร และ 1,400 มิลลิลิตร

(ก) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 1,200 มิลลิลิตร

(ข) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 1,400 มิลลิลิตร

จากกระบวนการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเคาะที่ภาชนะพลาสติก ซึ่งบรรจุปริมาตรของน้ำ 1,600 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.11 (ก) และเมื่อทำการเพิ่มปริมาตรของน้ำเป็น 1,800 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.11 (ข)

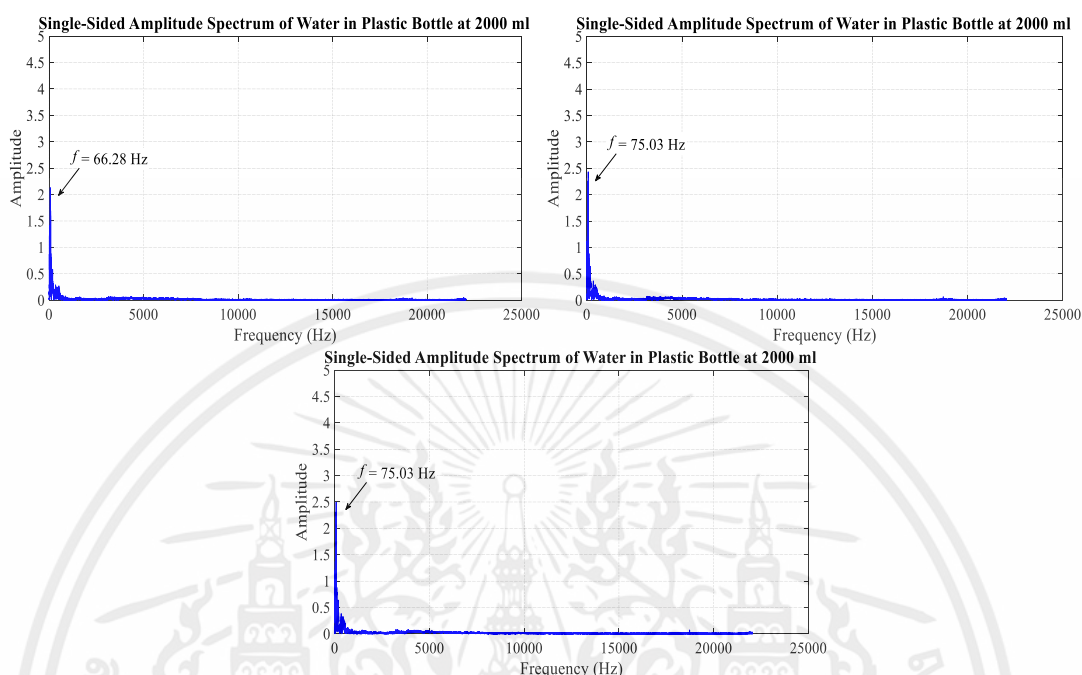


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 1,600 มิลลิลิตร และ 1,800 มิลลิลิตร

(ก) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 1,600 มิลลิลิตร

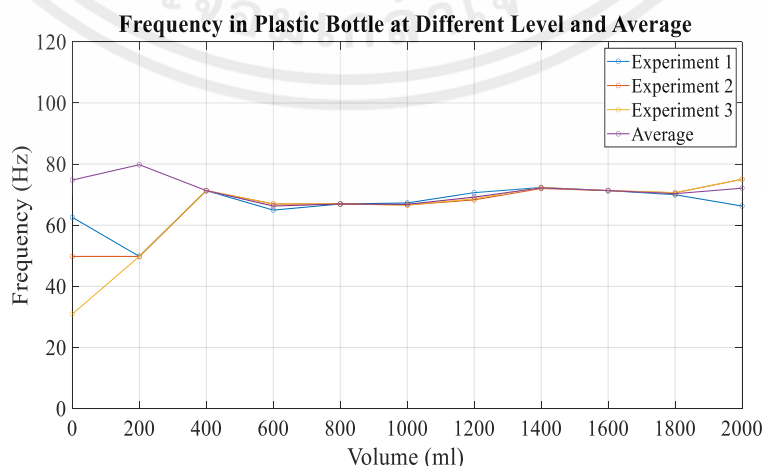
(ข) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 1,800 มิลลิลิตร

จากกระบวนการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเคาะที่ภาชนะพลาสติก ซึ่งบรรจุปริมาตรของน้ำ 2,000 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 2,000 มิลลิลิตร

จากกระบวนการทดลองข้างต้น จะสามารถหาความสัมพันธ์ของความถี่เสียงเมื่อทำการเคาะที่ภาชนะพลาสติกซึ่งบรรจุปริมาตรของน้ำตั้งแต่ 0 มิลลิลิตร ถึง 2,000 มิลลิลิตร ได้ว่าในช่วงที่บรรจุน้ำปริมาตร 0 มิลลิลิตร ถึง 400 มิลลิลิตร จะไม่สามารถตรวจวัดความถี่เสียงได้ แต่เมื่อบรรจุน้ำปริมาตรมากกว่า 400 มิลลิลิตรขึ้นไป ทำให้สามารถตรวจวัดความถี่เสียงได้ โดยจะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงความถี่เสียง กรณีให้ปริมาตรที่แตกต่างกันในภาชนะพลาสติก

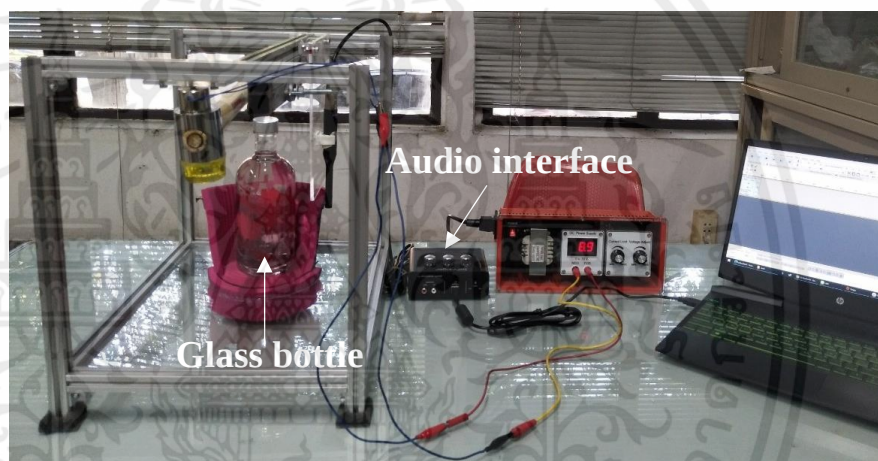
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากไมโครโฟน กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว (ตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าทุเรียนหมอนทอง)

4.3.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1

เป็นการทดสอบการแยกแยะความถี่เสียงของไมโครโฟน โดยกำหนดให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้วที่เป็นตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าทุเรียนหมอนทอง เพื่อเป็นการวิเคราะห์แนวโน้มสำหรับการวิเคราะห์ความสுகติบของทุเรียนหมอนทอง มีขั้นตอนดังนี้

- 1) บรรจุน้ำปริมาตรตั้งแต่ 0 มิลลิลิตร ถึง 700 มิลลิลิตร
- 2) วางขวดแก้วบนกระถางสำหรับวางทุเรียนหมอนทอง โดยกำหนดตำแหน่งของการวางและระยะการวางให้คงที่ เพื่อให้แรงเคาะจากไม้เคาะมีค่าคงที่ ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การทดสอบการแยกแยะความถี่เสียงของไมโครโฟน กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 1

4.3.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว

- 1) สัญญาณเสียงจากการเคาะ : จะผ่านตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยใช้อัตราสุ่มเสียง 44,100 จุด/วินาที และความละเอียด 16 บิต
- 2) เขียนโปรแกรม : เขียนโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าความถี่เสียงที่ปริมาตร 0 มิลลิลิตร ถึง 700 มิลลิลิตร โดยใช้โปรแกรม MATLAB และคำสั่งฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 4.2
- 3) ทดสอบความสามารถในการทวนซ้ำ : ทำการเคาะซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อดูความสามารถในการทวนซ้ำของเครื่องมือวัด ซึ่งแสดงถึงระดับความถูกต้องที่ใกล้เคียงกันของผลการวัดที่ได้จากการวัดหลายครั้ง โดยการวัดทั้งหมดต้องอยู่

ภายใต้วิธีการวัด ผู้ทำการวัด และสภาวะแวดล้อมเดียวกัน หรือการแสดงถึงความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด

- 4) หาค่าเฉลี่ยรวมของความถี่เสียงที่ได้จากการเคาะ
- 5) หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

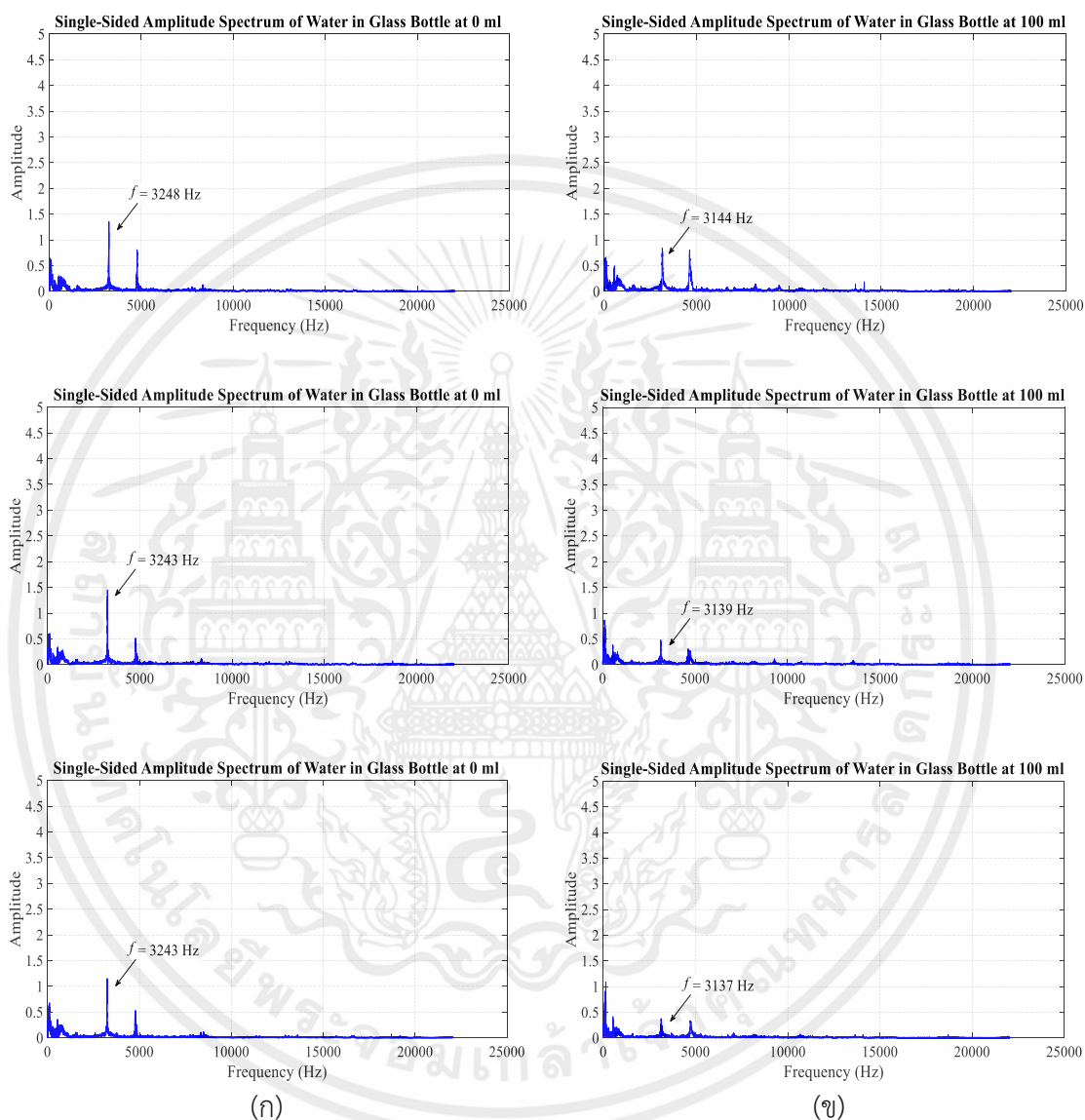
4.3.3 ผลการทดลอง กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว (ตัวอย่างของวัสดุที่มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าทุเรียน)

กระบวนการทดลองเริ่มจากการกดสวิตช์ ON ที่แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นการตัดไฟของแม่เหล็กไฟฟ้าดูดยกโลหะ เพื่อที่จะทำการปล่อยไม้เคาะลงมาที่ขวดแก้ว ซึ่งบรรจุปริมาตรของน้ำตั้งแต่ 0 มิลลิลิตร ถึง 700 มิลลิลิตร จากนั้นใช้ไมโครโฟนในการรับสัญญาณเสียงจากการเคาะผ่านอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และโปรแกรม Audacity ใน โน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ โดยสัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นจะอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และถูกอัปโหลดไปเข้าในโปรแกรม MATLAB จากนั้นทำการนำไฟล์เสียงมาวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว เพื่อนำสัญญาณเสียงมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ซึ่งจะสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงความถี่เสียง กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1

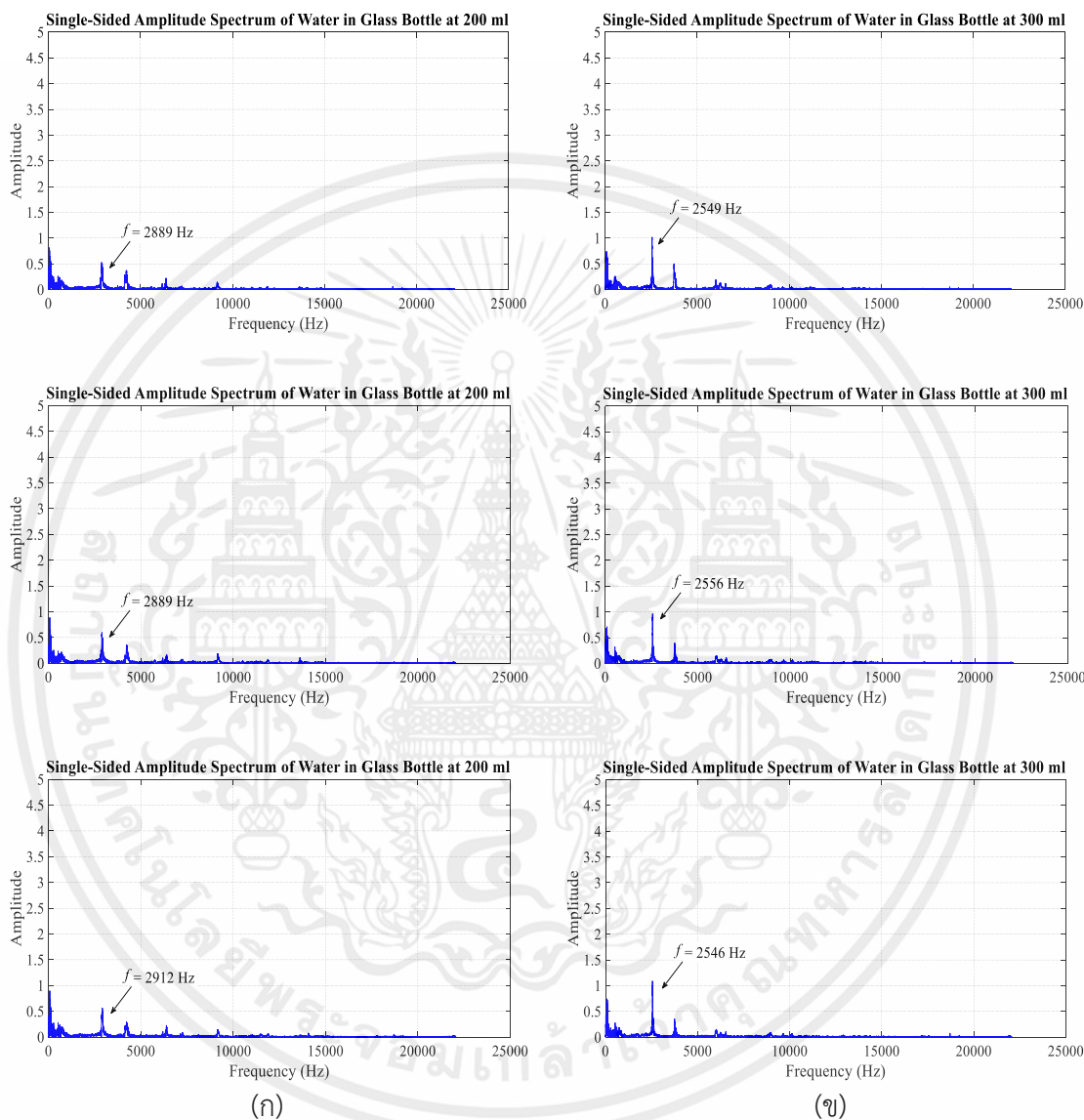
ปริมาตร (mL)	ความถี่เสียง (Hz)			ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0	3248	3243	3243	3245	0.0719
100	3144	3139	3137	3140	0.0849
200	2889	2889	2912	2897	0.3567
300	2549	2556	2546	2550	0.1438
400	2300	2304	2305	2303	0.0868
500	2136	2136	2137	2136	0.0156
600	2024	2025	2024	2024	0.0165
700	2001	2001	2002	2001	0.0167

จากกระบวนการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเคาะที่ขวดแก้ว ซึ่งบรรจุน้ำปริมาตร 0 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.15 (ก) และเมื่อทำการเพิ่มปริมาตรของน้ำเป็น 100 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.15 (ข)



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 0 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร
 (ก) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 0 มิลลิลิตร
 (ข) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 100 มิลลิลิตร

จากกระบวนการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเคาะที่ขวดแก้ว ซึ่งบรรจุน้ำปริมาตร 200 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.16 (ก) และเมื่อทำการเพิ่มปริมาตรของน้ำเป็น 300 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.16 (ข)

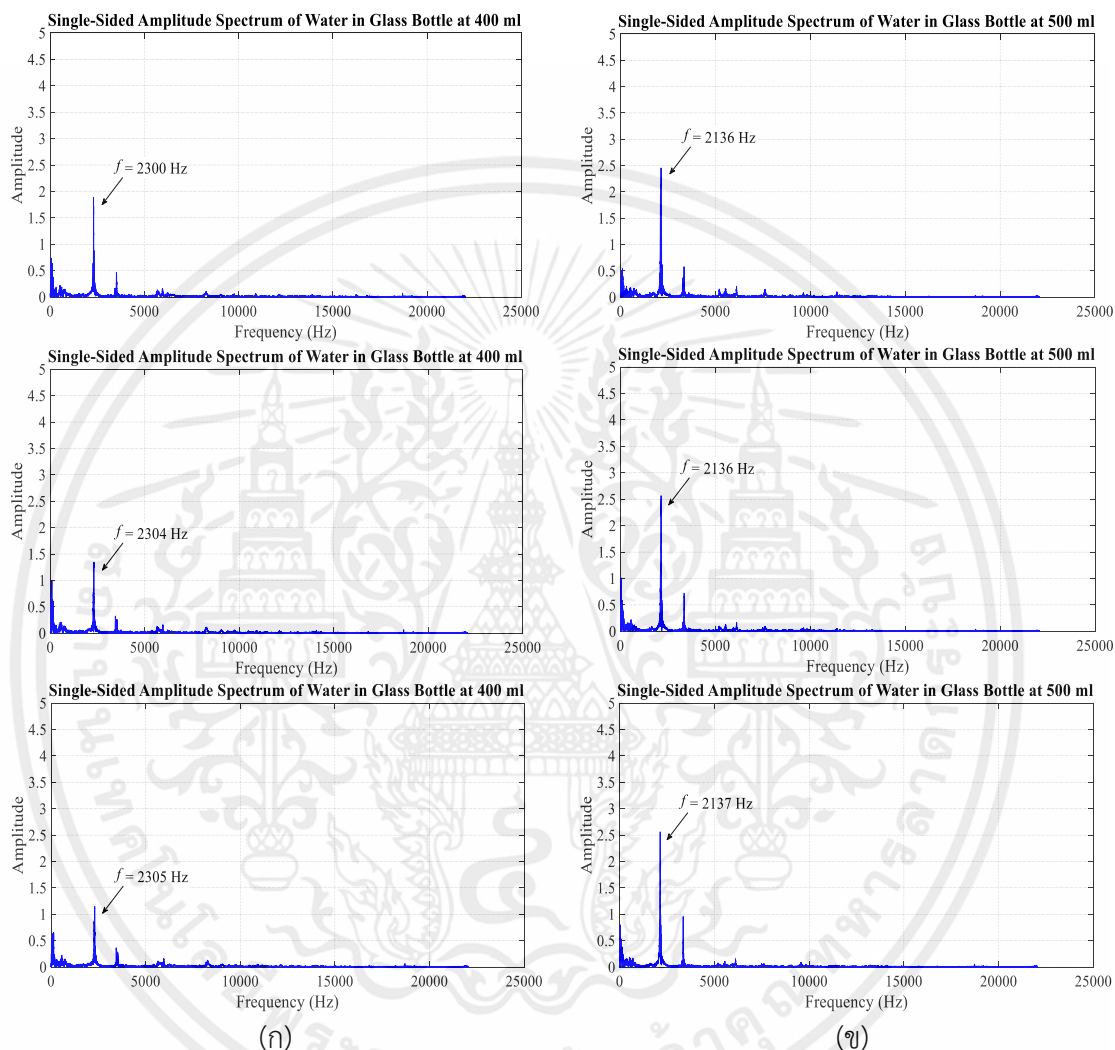


รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 200 มิลลิลิตร และ 300 มิลลิลิตร

(ก) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 200 มิลลิลิตร

(ข) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 300 มิลลิลิตร

จากกระบวนการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเคาะที่ขวดแก้ว ซึ่งบรรจุน้ำปริมาตร 400 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.17 (ก) และเมื่อทำการเพิ่มปริมาตรของน้ำเป็น 500 มิลลิลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียง และแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.17 (ข)

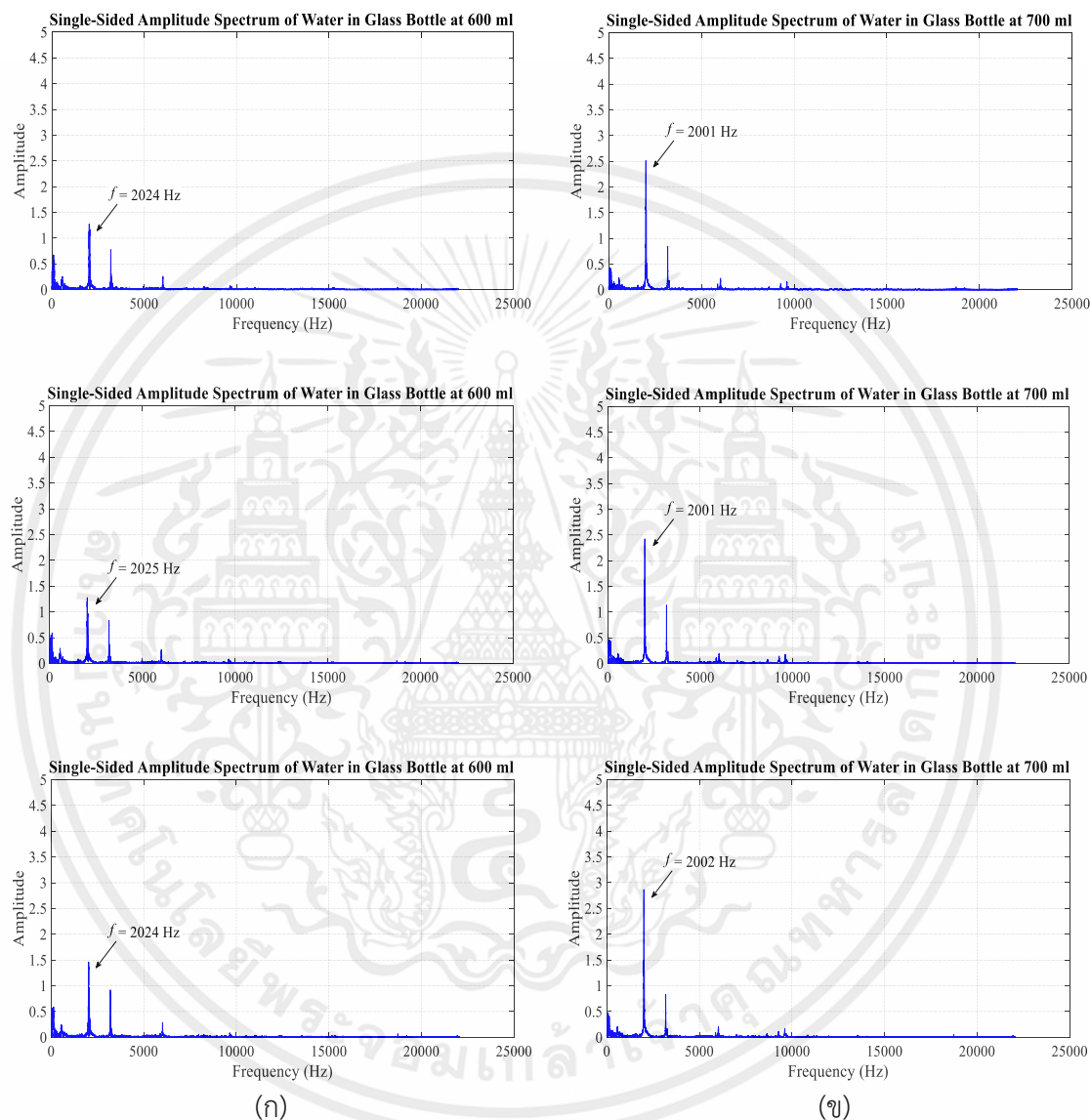


รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 400 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร

(ก) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 400 มิลลิลิตร

(ข) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 500 มิลลิลิตร

จากกระบวนการทดลองข้างต้น เมื่อทำการเคาะที่ขวดแก้ว ซึ่งบรรจุน้ำปริมาตร 600 มิลลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.18 (ก) และเมื่อทำการเพิ่มปริมาตรของน้ำเป็น 700 มิลลิตร จะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.18 (ข)

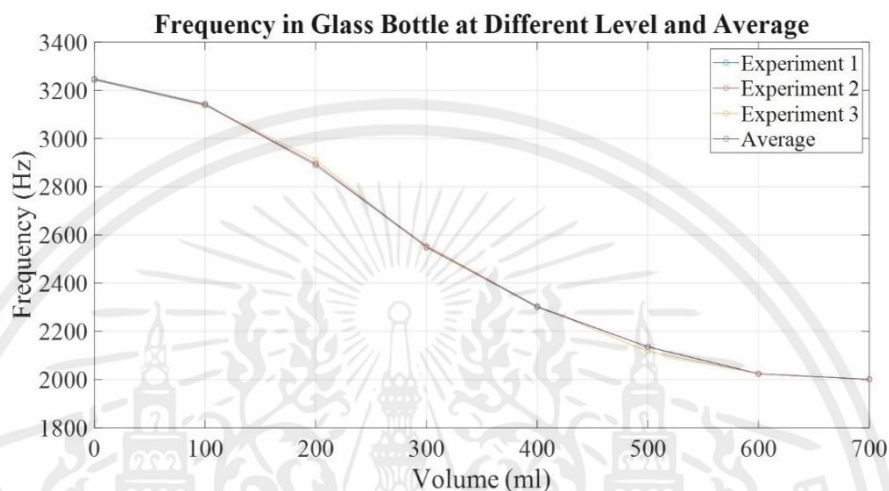


รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงและแอมพลิจูด กรณีให้ปริมาตรของน้ำที่แตกต่างกันในขวดแก้ว โดยใช้เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 1 ที่ปริมาตรของน้ำ 600 มิลลิตร และ 700 มิลลิตร

(ก) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 600 มิลลิตร

(ข) กรณีให้ปริมาตรของน้ำ 700 มิลลิตร

จากกระบวนการทดลองข้างต้น จะสามารถหาความสัมพันธ์ของความถี่เสียงเมื่อทำการเคาะที่ขวดแก้วซึ่งบรรจุปริมาตรของน้ำตั้งแต่ 0 มิลลิลิตร ถึง 700 มิลลิลิตร ได้ว่าความถี่เสียงที่ตรวจวัดได้แปรผกผันกับกับปริมาตรน้ำที่บรรจุลงไป กล่าวคือในขณะที่บรรจุปริมาตรของน้ำตั้งแต่ 0 มิลลิลิตร ถึง 700 มิลลิลิตร จะมีความถี่เสียงลดลง ตรงข้ามกับปริมาตรของน้ำที่ถูกบรรจุเพิ่มขึ้น โดยจะให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและแอมพลิจูด ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงความถี่เสียง กรณีให้ปริมาตรที่แตกต่างกันในขวดแก้ว

4.4 การวิเคราะห์การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก

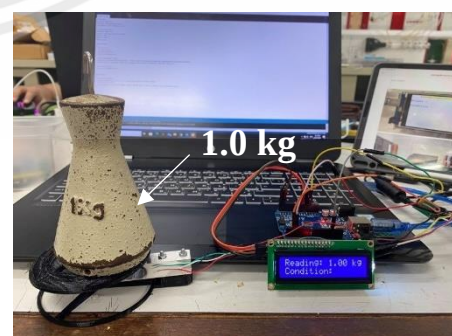
4.4.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก

เป็นการทดสอบการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัด มีขั้นตอนดังนี้

- 1) วางตุ้มน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม, 1.0 กิโลกรัม, 1.5 กิโลกรัม และ 2 กิโลกรัม บนเครื่องชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.20
- 2) ทำการชั่งน้ำหนักทั้งหมด 8 ครั้ง



(ก)

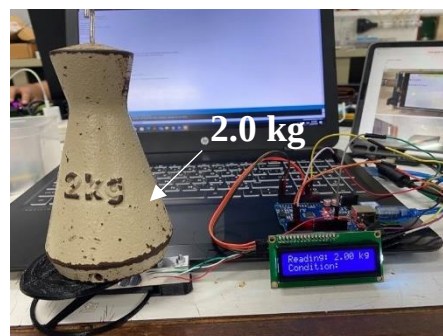


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(8)



(9)

รูปที่ 4.20 การทดสอบการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก

- (ก) กรณีวางตุ้มน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม
- (ข) กรณีวางตุ้มน้ำหนัก 1.0 กิโลกรัม
- (ค) กรณีวางตุ้มน้ำหนัก 1.5 กิโลกรัม
- (ง) กรณีวางตุ้มน้ำหนัก 2.0 กิโลกรัม

4.4.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก

- 1) สัญญาณแรงดันเอาต์พุต : ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 สำหรับอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก โดยความละเอียดในการอ่านค่าของ Arduino คือ 10 บิต
- 2) เขียนโปรแกรม : เขียนโปรแกรมเพื่อทำการรับค่าแรงดันเอาต์พุตจากวงจรขยายสัญญาณที่รับค่ามาจากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.21

```
int analogInput = 0;
float vout = 0.0;
float vin = 0.0;
float R1 = 10000.0; // resistance of R1 (10K) -see text!
float R2 = 1000.0; // resistance of R2 (1K) - see text!
int value = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(analogInput, INPUT);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,TIMER,Input Value,Reading Value");
  Serial.println("RESETIMER");
}
void loop()
{
  // read the value at analog input
  value = analogRead(analogInput);
  vout = (value * 4.7) / 1024.0; // see text
  vin = vout / (R2/(R1+R2));
  if (vin>0.05)
  {
    Serial.print("DATA,TIME,VALUE,");
    Serial.println(vin);
    delay(100);
  }
}
```

รูปที่ 4.21 โปรแกรมทดสอบการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก

- 3) การเก็บข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่างข้อมูล เป็นจำนวน 100 ค่า
- 4) หาค่าเฉลี่ย

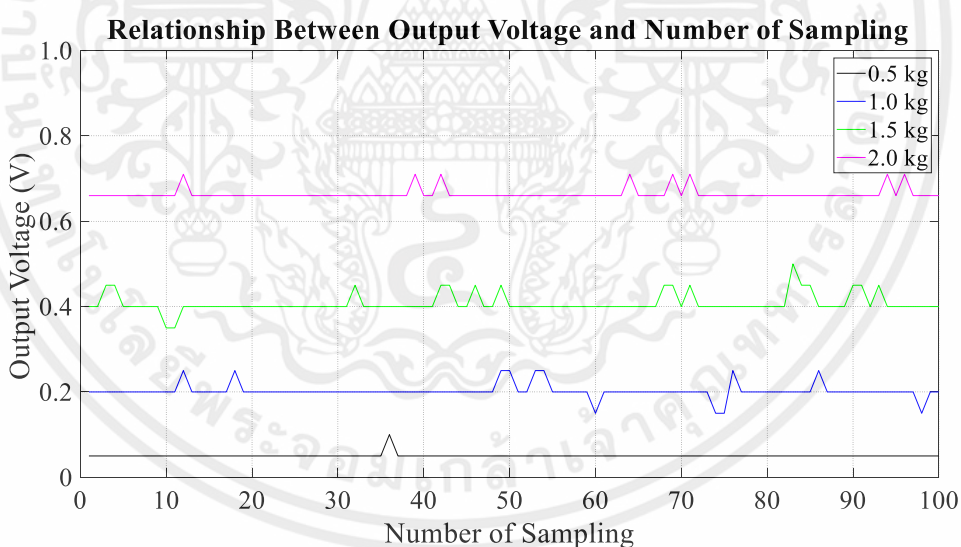
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลการทดลอง การอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าขาออก จากชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก

กระบวนการทดลองเริ่มจากวางตุ้มน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม, 1.0 กิโลกรัม, 1.5 กิโลกรัม, และ 2 กิโลกรัม ลงบนเครื่องชั่งน้ำหนัก โดยทำการชั่งน้ำหนักทั้งหมด 8 ครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้งจะเลือกทำการเก็บข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่าง เป็นจำนวน 100 ค่า แล้วนำค่าที่เก็บได้ทั้งหมดมาคิดเป็นค่าเฉลี่ยเพียงหนึ่งค่า และบันทึกผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาพล็อตกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.22

ตารางที่ 4.4 แสดงแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย เมื่อวางตุ้มน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม, 1.0 กิโลกรัม, 1.5 กิโลกรัม และ 2 กิโลกรัม บนเครื่องชั่งน้ำหนัก

น้ำหนัก (kg)	แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย (V)								ค่าเฉลี่ย (V)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	
0.5	0.0615	0.0520	0.0505	0.0535	0.0530	0.0500	0.0515	0.0510	0.05288
1.0	0.2011	0.1955	0.2076	0.1980	0.1931	0.2000	0.2015	0.2030	0.19998
1.5	0.3993	0.4017	0.3978	0.3993	0.4080	0.4049	0.4024	0.4075	0.40261
2.0	0.6680	0.6645	0.666	0.6587	0.6612	0.6550	0.6476	0.6642	0.66065



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกและจำนวนที่สุ่ม

4.5 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากทุเรียนหมอนทอง กรณีใช้กระต๋องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่ (เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 2)

4.5.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ กรณีใช้กระต๋องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

เป็นการวิเคราะห์ความถี่เสียงจากการเคาะ โดยใช้กระต๋องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มสำหรับการวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียน โดยมีขั้นตอนดังนี้

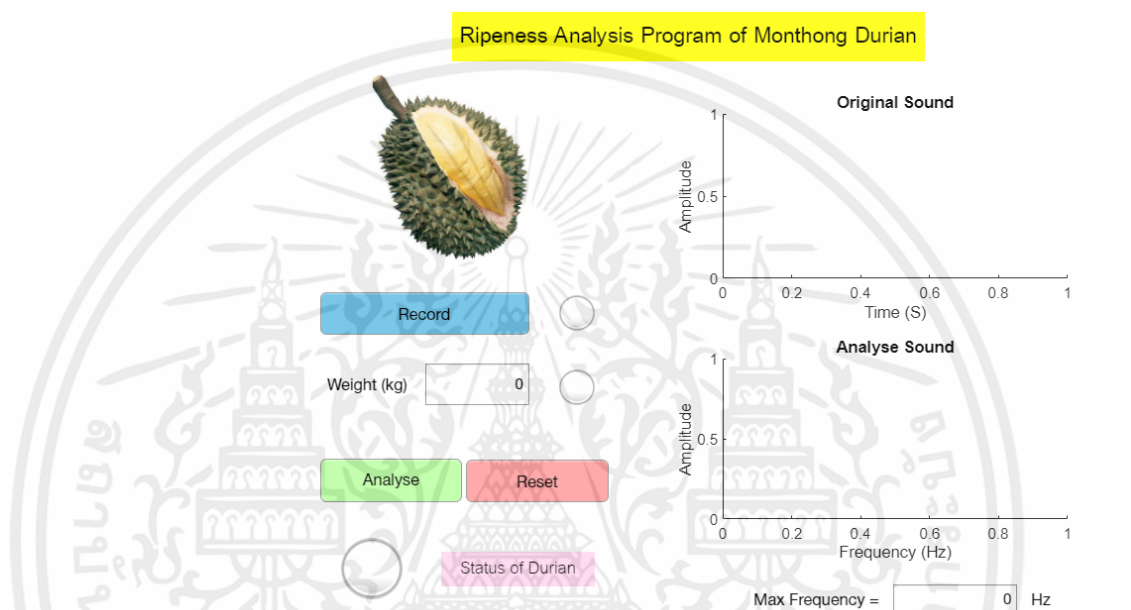
- 1) เลือกทุเรียนหมอนทองที่มีน้ำหนักในช่วง 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม
- 2) วางทุเรียนหมอนทองบนกระถางสำหรับวางทุเรียน โดยกำหนดตำแหน่งของการวางและระยะการวางให้คงที่ เพื่อให้แรงเคาะจากไม้เคาะมีค่าคงที่ ดังรูปที่ 4.23
- 3) ใช้อุปกรณ์เคาะทุเรียนกระต๋องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่
- 4) กำหนดตำแหน่งที่เคาะเพื่อวัดความถี่เสียงเป็นบริเวณกลางพู โดยตำแหน่งที่ตรวจวัดความถี่เสียงจะอยู่ตรงข้ามกับตำแหน่งที่เคาะนี้ เนื่องจากคลื่นเสียงมีการเดินทางเป็นเส้นตรง



รูปที่ 4.23 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากทุเรียนหมอนทอง กรณีใช้กระต๋องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

4.5.2 วิธีทางซอฟต์แวร์ กรณีใช้กระเบื้องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

- 1) สัญญาณเสียงจากการเคาะ : จะผ่านตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยใช้อัตราสุ่มเสียง 44,100 จุด/วินาที และความละเอียด 16 บิต
- 2) เขียนโปรแกรม : เขียนโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ความถี่และดัดของทุเรียน ช่วงน้ำหนัก 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม โดยใช้โปรแกรม MATLAB ผ่าน MATLAB App Designer และคำสั่งฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 โปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ความถี่และดัดของทุเรียน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ผ่าน MATLAB App Designer

- 3) ทดสอบความสามารถในการทวนซ้ำ : ทำการเคาะซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อดูความสามารถในการทวนซ้ำของเครื่องมือวัด ซึ่งแสดงถึงระดับความถูกต้องที่ใกล้เคียงกันของผลการวัดที่ได้จากการวัดหลายครั้ง โดยการวัดทั้งหมดต้องอยู่ภายใต้วิธีการวัด ผู้ทำการวัด และสภาวะแวดล้อมเดียวกัน หรือการแสดงถึงความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด
- 4) หาค่าเฉลี่ยรวมของความถี่เสียงที่ได้จากการเคาะ
- 5) หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
- 6) สร้างกราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงที่ตรวจวัดได้และจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว
- 7) กำหนดค่าตัดสินใจ เพื่อแบ่งแยกความถี่และดัดของทุเรียนหมอนทอง

4.5.3 ผลการทดลอง กรณีใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

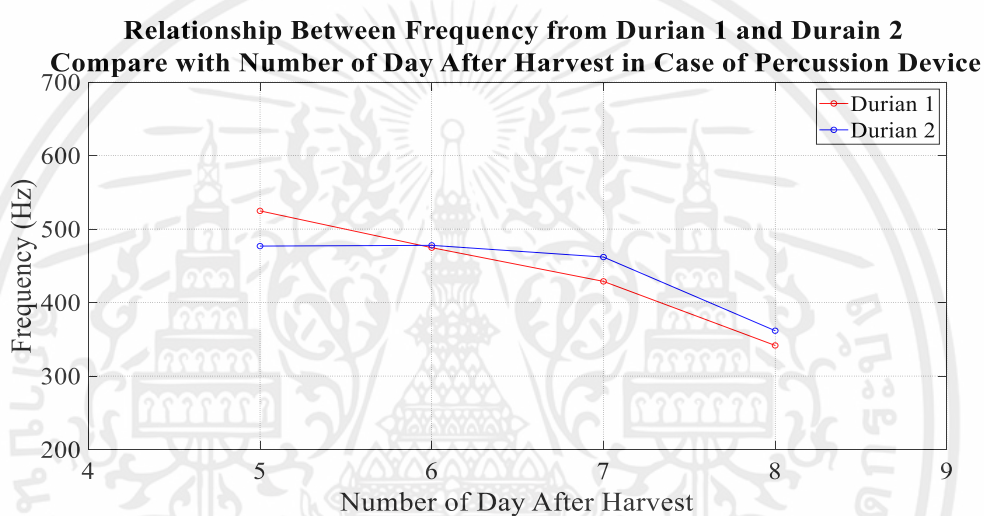
กระบวนการทดลองเริ่มจากคัดเลือกทุเรียนหมอนทองที่มีน้ำหนักในช่วง 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม และวางทุเรียนหมอนทองบนกระถาง โดยกำหนดตำแหน่งและระยะการวางให้คงที่ เพื่อให้แรงเคาะจากไม้เคาะมีค่าคงที่ ขั้นตอนต่อมาเป็นการเคาะทุเรียนหมอนทองโดยใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง ซึ่งมีการกำหนดตำแหน่งที่เคาะเป็นบริเวณกลางพู จากนั้นจะใช้ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ เนื่องจากมีความไวต่อเสียงและสามารถตอบสนองความถี่ในช่วง 20 เฮิรตซ์ ถึง 6 กิโลเฮิรตซ์ ในการรับสัญญาณเสียงจากการเคาะซึ่งสำหรับในส่วนของการใช้งานซอฟต์แวร์จะเริ่มจากการกดปุ่มบันทึกเสียงผ่าน MATLAB App Designer จะทำให้ไมโครโฟนที่เป็นอุปกรณ์ในการรับสัญญาณเสียง ซึ่งจะทำงานร่วมกับอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเริ่มบันทึกเสียงเคาะทุเรียนจากอุปกรณ์เคาะกระดิ่งประดิษฐ์ โดยที่สัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นจะอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และจะถูกวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว เพื่อนำสัญญาณเสียงที่ได้รับมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์และแสดงสถานะของทุเรียนหมอนทอง ซึ่งจะสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนหมอนทองลูกที่ 1 และ 2 เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว ดังรูปที่ 4.25 และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนลูกที่ 1 และ 2 เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว ดังรูปที่ 4.26 ซึ่งจะพบว่าผลการทดลองมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูง จึงไม่ใช้เครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 2 ทำการทดลองต่อ

ตารางที่ 4.5 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 1 กรณีใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

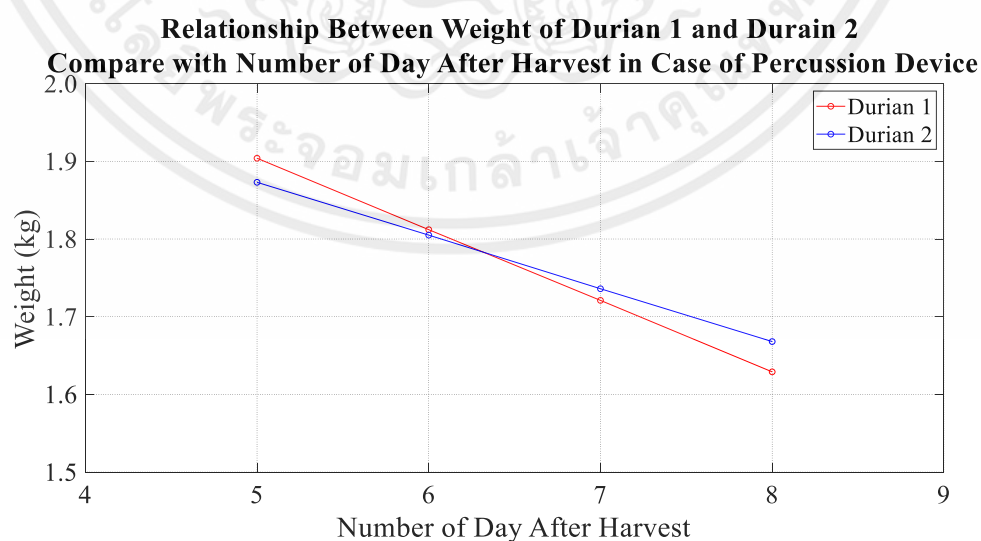
จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)					ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
5	1.904	534.6	530.6	499.7	507.8	551.0	524.74	3.1976
6	1.812	475.3	457.8	493.3	479.1	468.0	474.68	1.9864
7	1.721	431.8	416.1	454.5	417.4	424.4	428.83	2.6695
8	1.629	336.2	359.1	351.4	325.9	335.7	341.64	3.1835

ตารางที่ 4.6 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 2 กรณีใช้กระต๋องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)					ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
5	1.873	500.2	434.4	467.3	498.1	484.2	476.85	4.3612
6	1.805	474.2	470.0	493.6	479.2	472.2	477.85	1.4354
7	1.736	471.9	472.5	433.2	451.9	480.0	461.91	3.3523
8	1.668	335.7	348.8	331.9	451.4	340.7	361.70	9.9151



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนลูกที่ 1 และ 2 เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว กรณีใช้กระต๋องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักทุเรียนลูกที่ 1 และ 2 เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว กรณีใช้กระต๋องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

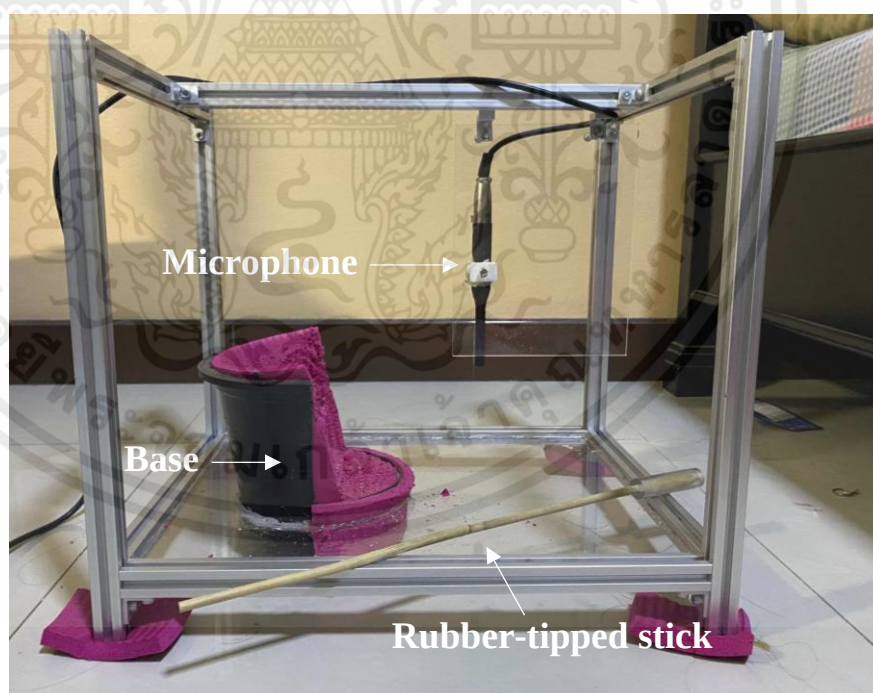
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากทุเรียนหมอนทอง กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง (เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 3)

4.6.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์ กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

เป็นการวิเคราะห์ความถี่เสียงจากการเคาะ โดยใช้ไม้เคาะทุเรียนทั่วไปเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มสำหรับการวิเคราะห์ความสีกติบของทุเรียนหมอนทอง โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เลือกทุเรียนหมอนทองที่มีน้ำหนักในช่วง 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม
- 2) วางทุเรียนหมอนทองบนกระถาง โดยกำหนดตำแหน่งของการวางและระยะการวางให้คงที่ ดังรูปที่ 4.27
- 3) ไม้เคาะทุเรียน เป็นไม้หวายทึ่มที่มีความยาวประมาณ 42 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ใช้ในการเคาะผลทุเรียน โดยจะต้องไม้เคาะแรงจนเกินไปเพราะอาจทำให้ทุเรียนชำได้
- 4) กำหนดตำแหน่งที่เคาะเพื่อวัดความถี่เสียงเป็นบริเวณกลางพู โดยตำแหน่งที่ตรวจวัดความถี่เสียงจะอยู่ตรงข้ามกับตำแหน่งที่เคาะนี้ เนื่องจากคลื่นเสียงมีการเดินทางเป็นเส้นตรง



รูปที่ 4.27 การวิเคราะห์ความถี่เสียงจากทุเรียนหมอนทอง กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 วิธีการซอฟต์แวร์ กรณีใช้ไมเคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

- 1) สัญญาณเสียงจากการเคาะ : จะผ่านตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยใช้อัตราสุ่มเสียง 44,100 จุด/วินาที และความละเอียด 16 บิต
- 2) เขียนโปรแกรม : เขียนโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์ความถี่และระดับของทุเรียนช่วงน้ำหนัก 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม โดยใช้โปรแกรม MATLAB ผ่าน MATLAB App Designer และคำสั่งฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 4.24
- 3) ทดสอบความสามารถในการทวนซ้ำ : ทำการเคาะซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อดูความสามารถในการทวนซ้ำของเครื่องมือวัด ซึ่งแสดงถึงระดับความถูกต้องที่ใกล้เคียงกันของผลการวัดที่ได้จากการวัดหลายครั้ง โดยการวัดทั้งหมดต้องอยู่ภายใต้วิธีการวัด ผู้ทำการวัด และสภาวะแวดล้อมเดียวกัน หรือการแสดงถึงความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด
- 4) หาค่าเฉลี่ยรวมของความถี่เสียงที่ได้จากการเคาะ
- 5) หาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
- 6) สร้างกราฟความสัมพันธ์ของความถี่เสียงที่ตรวจวัดได้และจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว
- 7) เลือกค่าตัดสินใจ เพื่อแบ่งแยกความถี่และระดับของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง

4.6.3 ผลการทดลอง กรณีใช้ไมเคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

กระบวนการทดลองเริ่มจากการคัดเลือกทุเรียนหมอนทองที่มีน้ำหนักในช่วง 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม และวางทุเรียนหมอนทองบนที่วางกระถาง ขั้นตอนต่อมาเป็นการเคาะทุเรียนหมอนทองโดยใช้ไมเคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง ซึ่งมีการกำหนดตำแหน่งที่เคาะเป็นบริเวณกลางพู จากนั้นจะใช้ไมโครโฟนคอนเดนเซอร์ เพราะมีความไวต่อเสียงและสามารถตอบสนองความถี่ในช่วง 20 เฮิรตซ์ถึง 6 กิโลเฮิรตซ์ ในการรับสัญญาณเสียงจากการเคาะซึ่งสำหรับในส่วนของการใช้งานซอฟต์แวร์จะเริ่มจากการกดปุ่มบันทึกเสียงผ่าน MATLAB App Designer โดยจะทำให้ไมโครโฟนที่เป็นอุปกรณ์ในการรับสัญญาณเสียง ซึ่งทำงานร่วมกับอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเริ่มบันทึกเสียงเคาะผลไม้จากอุปกรณ์เคาะ โดยที่สัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นจะอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และจะถูกวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็วเพื่อนำสัญญาณเสียงที่ได้รับมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์และแสดงสถานะของทุเรียนโดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.7 ถึง 4.11 และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนหมอนทองลูกที่ 1 ถึง 5 เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว ดังรูปที่ 4.28 และแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนหมอนทองลูกที่ 1 ถึง 5 เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว ดังรูปที่ 4.29

ตารางที่ 4.7 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 1 กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)					ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
5	1.904	499.3	499.9	497.2	497.8	454.7	489.77	2.8661
6	1.812	473.6	454.1	454.1	473.6	458.0	462.68	1.8886
7	1.721	402.1	402.1	402.4	402.4	402.7	402.35	0.0429
8	1.629	331.8	331.2	331.8	291.0	336.2	324.38	4.1165

ตารางที่ 4.8 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 2 กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)					ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
5	1.873	485.4	484.8	484.2	484.8	485.6	484.97	0.0890
6	1.805	479.5	483.6	484.0	479.5	483.4	482.00	0.4160
7	1.736	453.5	454.1	453.5	453.5	451.3	453.18	0.1685
8	1.668	248.8	248.3	249.1	248.8	248.7	248.73	0.0881

ตารางที่ 4.9 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 3 กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

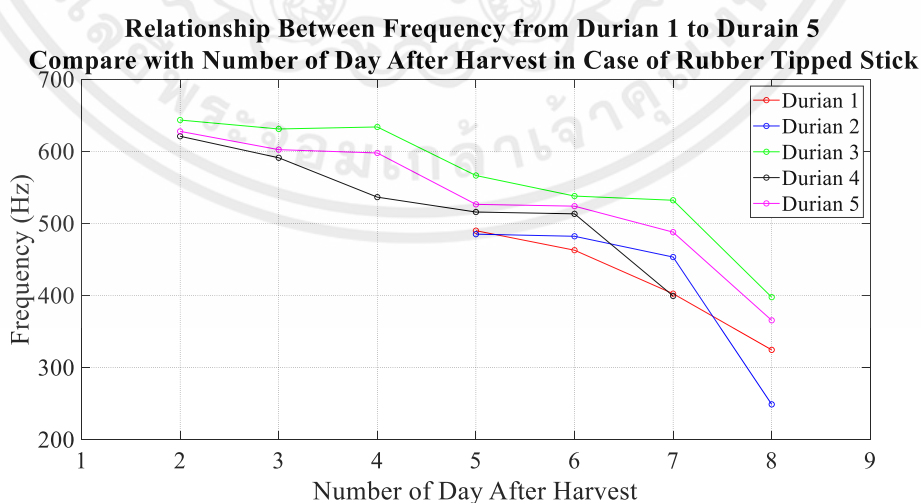
จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)					ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
2	2.135	651.9	631.5	650.9	651.9	630.3	643.31	1.5404
3	2.079	630.1	623.0	628.2	626.5	646.8	630.92	1.0065
4	2.003	633.4	630.1	635.0	637.0	633.1	633.73	0.2895
5	1.951	573.3	571.0	572.9	578.2	581.1	575.32	2.7120
6	1.892	528.9	539.7	539.3	541.0	540.3	537.82	0.6633
7	1.814	530.2	530.5	530.2	531.2	538.0	532.00	0.4524
8	1.712	397.2	399.5	396.2	396.6	397.9	397.49	0.2465

ตารางที่ 4.10 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 4 กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)					ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
2	2.269	620.3	620.6	621.0	621.3	620.6	620.79	0.0493
3	2.195	599.5	590.9	588.0	587.0	589.3	590.94	0.5771
4	2.083	537.3	538.0	538.0	537.3	530.9	536.31	0.4064
5	1.983	516.5	517.7	514.8	514.8	514.5	515.66	0.2235
6	1.887	513.2	513.5	512.2	513.2	513.5	513.15	0.0703
7	1.832	399.8	400.1	399.5	396.9	399.5	399.19	0.2298

ตารางที่ 4.11 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 5 กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

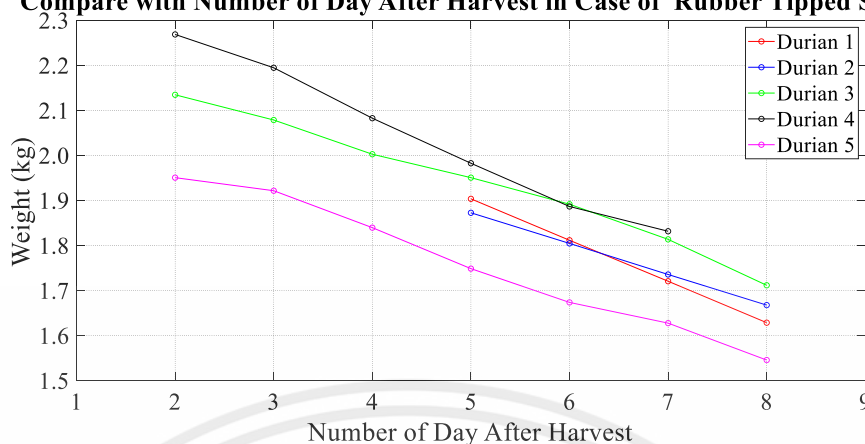
จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)					ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
2	1.951	637.3	632.0	631.7	627.3	609.7	627.60	1.1600
3	1.922	608.7	608.0	595.0	590.7	608.7	602.22	1.2447
4	1.840	590.3	601.7	593.0	601.3	601.7	597.60	0.7965
5	1.749	526.3	526.7	526.3	526.0	526.3	526.32	0.0289
6	1.674	523.3	523.7	524.7	523.7	523.7	523.82	0.0672
7	1.628	488.0	488.0	487.7	487.3	487.7	487.74	0.0426
8	1.546	365.7	365.0	365.7	364.7	365.7	365.36	0.1117



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนลูกที่ 1 ถึง 5 เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Relationship Between Weight of Durian 1 to Durian 5
Compare with Number of Day After Harvest in Case of Rubber Tipped Stick**



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักทุเรียนลูกที่ 1 ถึง 5 เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว
กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

4.7 การทดลองเพื่อเลือกและวิเคราะห์ค่าตัดสินใจสำหรับการวิเคราะห์ความสุกดิบของ ทุเรียนหมอนทอง

4.7.1 วิธีทางฮาร์ดแวร์

เป็นการวิเคราะห์ความถี่เสียงจากการเคาะทุเรียนหมอนทองสุก โดยมีการใช้กระดิ่ง
ประติษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่ (เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 2) และไม้เคาะทุเรียน
เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง (เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 3) เพื่อเลือกและวิเคราะห์ค่าตัดสินใจสำหรับ
การวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เลือกทุเรียนหมอนทองที่สุกพร้อมรับประทานและมีน้ำหนักในช่วง 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม
- 2) วางทุเรียนหมอนทองบนกระถางสำหรับ โดยกำหนดตำแหน่งของการวางและระยะการวางให้คงที่
- 3) ไม้เคาะทุเรียน เป็นไม้หวายหุ้มยางมีความยาวประมาณ 42 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ใช้ในการเคาะผลทุเรียน โดยจะต้องไม้เคาะแรงจนเกินไปเพราะอาจทำให้ทุเรียนชำได้
- 4) กระดิ่งประติษฐ์ เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่
- 5) กำหนดตำแหน่งที่เคาะเพื่อวัดความถี่เสียงเป็นบริเวณกลางพู โดยตำแหน่งที่ตรวจวัดความถี่เสียงจะอยู่ตรงข้ามกับตำแหน่งที่เคาะนี้ เนื่องจากคลื่นเสียงมีการเดินทางเป็นเส้นตรง

4.7.2 วิธีทางซอฟต์แวร์

- 1) สัญญาณเสียงจากการเคาะ : จะผ่านตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยใช้อัตราสุ่มเสียง 44,100 จุด/วินาที และความละเอียด 16 บิต
- 2) เขียนโปรแกรม : เขียนโปรแกรมเพื่อเพื่อเลือกและวิเคราะห์ค่าตัดสนใจสำหรับการวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง โดยใช้โปรแกรม MATLAB และคำสั่งฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 4.2
- 3) ทดสอบความสามารถในการทวนซ้ำ : ทำการเคาะซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อดูความสามารถในการทวนซ้ำของเครื่องมือวัด ซึ่งแสดงถึงระดับความถูกต้องที่ใกล้เคียงกันของผลการวัดที่ได้จากการวัดหลายครั้ง โดยการวัดทั้งหมดต้องอยู่ภายใต้วิธีการวัด ผู้ทำการวัด และสภาวะแวดล้อมเดียวกัน หรือการแสดงถึงความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด
- 4) หาค่าเฉลี่ยรวมของความถี่เสียงที่ได้จากการเคาะ
- 5) หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- 6) กำหนดค่าตัดสนใจ เพื่อแบ่งแยกความสุกและดิบของทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากความถี่เสียงของทุเรียนหมอนทองสุกและกราฟที่ได้จากความถี่เสียงของทุเรียนลูกที่ 1, 2, 3, 4 และ 5

4.7.3 ผลการทดลอง เพื่อเลือกและวิเคราะห์ค่าตัดสนใจสำหรับการวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง

เป็นการวิเคราะห์ความถี่เสียงจากการเคาะทุเรียนหมอนทองสุก โดยมีการใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่ (เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 2) และไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง (เครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 3) เพื่อเลือกและวิเคราะห์ค่าตัดสนใจสำหรับการวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง โดยจากผลการทดลองในตารางที่ 4.12 และ 4.13 สามารถนำไปสร้างกราฟเพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ค่าตัดสนใจสำหรับการวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทองได้

ตารางที่ 4.12 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนหมอนทองสุก กรณีใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

จำนวนวัน หลังซื้อ	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)					ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
1	-	400.3	427.3	429.1	435.1	422.5	422.86	2.1681
2	-	402.0	401.5	394.6	401.7	406.2	401.23	0.6593

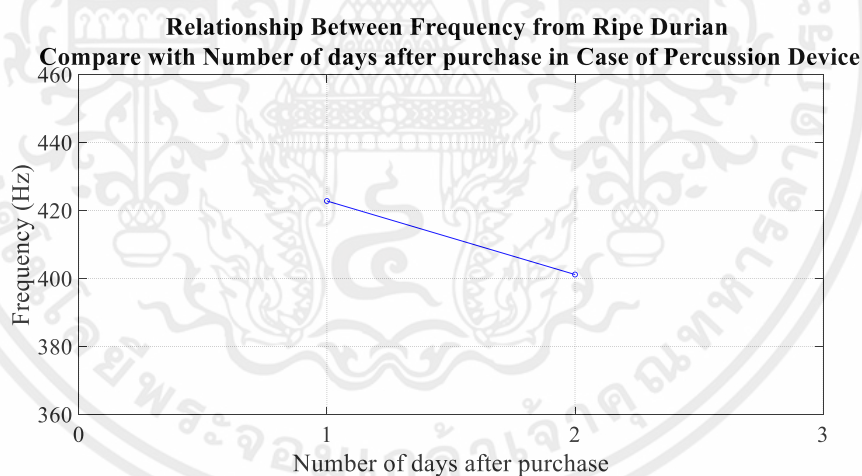
ตารางที่ 4.13 แสดงความถี่เสียงของทุเรียนหมอนทองสุก กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

จำนวนวัน หลังซื้อ	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)					ค่าเฉลี่ย (Hz)	Error (%)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5		
1	-	403.15	403.6	401.1	404.2	401.7	402.75	0.2682
2	-	400.4	401.1	401.1	401.1	400.9	400.92	0.0539

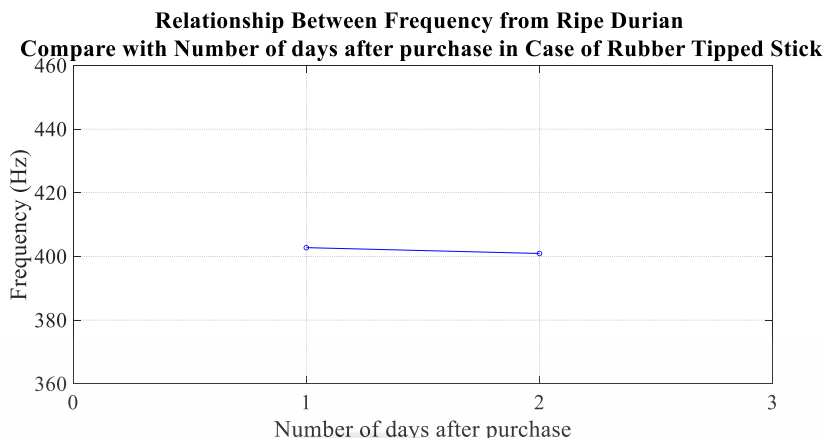
4.7.4 กำหนดค่าตัดสินใจ เพื่อแบ่งแยกความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง

การกำหนดค่าตัดสินใจเพื่อแบ่งแยกความสุกและดิบของทุเรียนหมอนทอง เป็นการทำการเปรียบเทียบระหว่างกราฟความถี่เสียงของทุเรียนหมอนทองสุกและกราฟความถี่เสียงของทุเรียนหมอนทองลูกที่ 1, 2, 3, 4 และ 5

สำหรับกรณีใช้กระดิ่งประติษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่ สามารถกำหนดค่าตัดสินใจได้จากดังรูปที่ 4.30 ซึ่งค่าความถี่ที่สูงที่สุดของทุเรียนหมอนทองสุกคือ 426.975 เฮิร์ตซ์ และสำหรับกรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง สามารถกำหนดค่าตัดสินใจได้จากจากรูปที่ 4.31 ซึ่งค่าความถี่ที่สูงที่สุดของทุเรียนหมอนทองสุกคือ 402.575 เฮิร์ตซ์

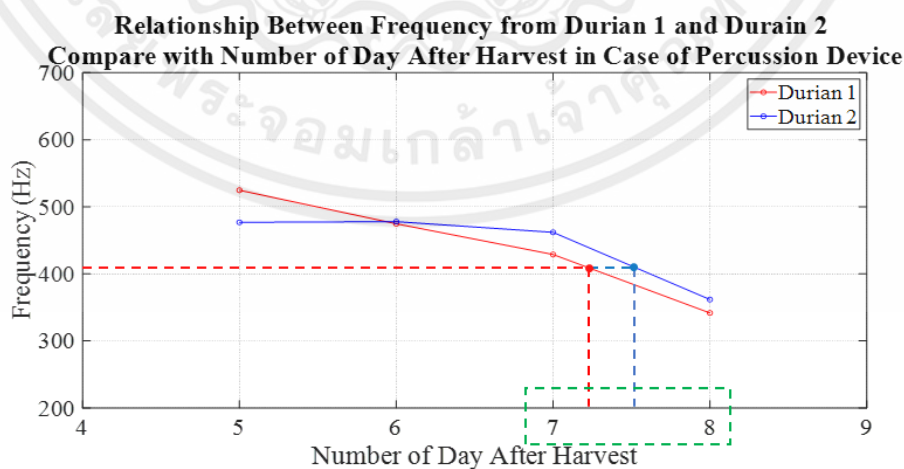


รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่วัดได้จากทุเรียนหมอนทองสุก เทียบกับจำนวนวันหลังซื้อ กรณีใช้กระดิ่งประติษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่



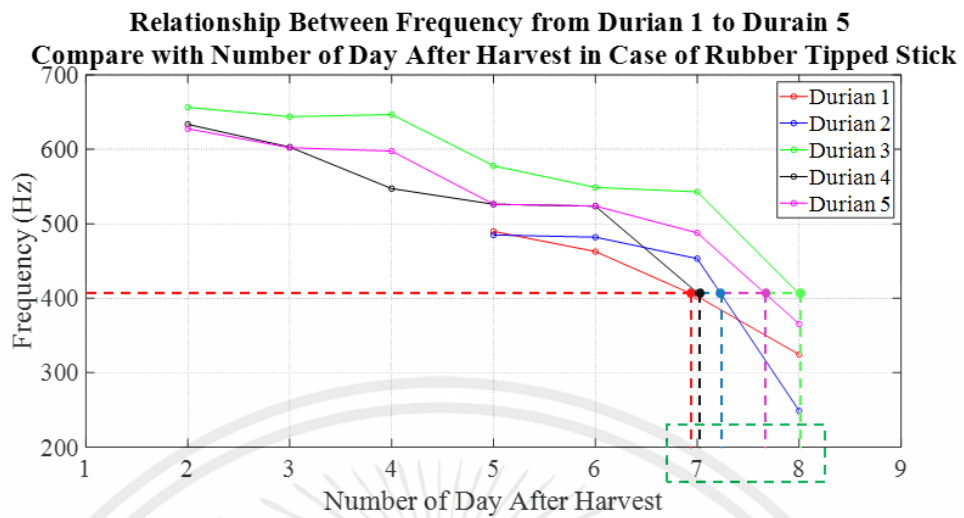
รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่วัดได้จากทุเรียนหมอนทองสุก เทียบกับจำนวนวันหลังซื้อ กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

จากการทดลองพบว่าเครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 3 มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 2 ดังนั้นในส่วนของการกำหนดค่าตัดสินใจจะใช้ค่าความถี่ที่สูงที่สุดของทุเรียนหมอนทองสุกที่ได้จากเครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 3 คือ 402.75 เฮิร์ตซ์ ซึ่งประมาณได้เป็น 403 เฮิร์ตซ์ เพื่อแบ่งแยกความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง ซึ่งจะอธิบายได้ว่าเมื่อความถี่ที่วิเคราะห์ได้จากทุเรียนหมอนทองมีค่าน้อยกว่า 403 เฮิร์ตซ์ จะถือว่าทุเรียนหมอนทองสุกและพร้อมรับประทาน แต่หากความถี่ที่วิเคราะห์ได้มีค่ามากกว่า 403 เฮิร์ตซ์ จะถือว่าทุเรียนหมอนทองดิบ ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.32 และ 4.33 ว่าทุเรียนหมอนทองจะมีความถี่น้อยกว่า 403 เฮิร์ตซ์ ในช่วง 7 ถึง 8 วัน หลังเก็บเกี่ยว ซึ่งใกล้เคียงกับวิธีวิเคราะห์สำหรับผลทุเรียนแก่ได้ที่โดยลักษณะภายในของแต่ละพันธุ์ ตามที่สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติได้กำหนดไว้ในมาตรฐานทุเรียน ข้อย่อยที่ 3 ซึ่งกล่าวว่าทุเรียนหมอนทองจะมีจำนวนวันสุกหลังการเก็บเกี่ยวในสภาพธรรมชาติประมาณ 6 ถึง 9 วัน



รูปที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนหมอนทองลูกที่ 1 และ 2 เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยวและมีการกำหนดค่าตัดสินใจ กรณีใช้กระดิ่งประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนลูกที่ 1 ถึง 5 เทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยวและมีการกำหนดค่าตัดสินใจ กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการทดลองแยกระดับของความสุกดิบของผลไม้ ในกรณีศึกษาของทุเรียนหมอนทอง ซึ่งจากรูปที่ 4.26 และ 4.30 จะเห็นได้ว่าความถี่ที่ตรวจวัดได้จากทุเรียนลูกที่ 1 ถึง 5 แปรผกผันกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว ทั้งในกรณีที่ใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงและกรณีที่ใช้กระดิ่งประติษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่ โดยทุเรียนหมอนทองที่เพิ่งถูกเก็บเกี่ยวจะมีความถี่สูงและความถี่เสียงจะลดลงเมื่อจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น จึงสามารถตั้งข้อสังเกตได้ว่าทุเรียนหมอนทองที่สุกนั้นจะมีความถี่ที่ต่ำกว่าทุเรียนหมอนทองที่เพิ่งถูกเก็บเกี่ยว

นอกจากนี้ยังได้ทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักมาเปรียบเทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว โดยเมื่อสังเกตได้จากรูปที่ 4.27 และ 4.31 พบว่าน้ำหนักจะลดลงเมื่อจำนวนวันหลังการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุที่น้ำหนักของทุเรียนหมอนทองลดลงคือ ทุเรียนหมอนทองจะมีการคายน้ำออกและเกิดการหดตัวของเนื้อทุเรียนหมอนทองหลังเก็บเกี่ยว จึงเป็นเหตุให้น้ำหนักลดลงเมื่อจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น

สำหรับการทดลองนี้เราได้จัดทำการเคาะทุเรียนหมอนทอง โดยใช้อุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 ชนิด แบ่งเป็นชนิดที่ใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าดูดยกโลหะ เพื่อกำหนดค่าแรงในการเคาะให้มีความเท่ากัน ชนิดที่ใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง และชนิดที่ใช้กระดิ่งประติษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่ โดยผลการทดลองของอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด พบว่าอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงชนิดที่ 1 ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ในการทดลองเนื่องจากไมโครโฟนไม่สามารถรับความถี่ของเสียงจากการเคาะด้วยอุปกรณ์ชนิดนี้ได้ แต่อุปกรณ์กำเนิดเสียงชนิดที่ 2 และ 3 มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันทั้งด้านของความถี่เสียงและน้ำหนักเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนวันหลังเก็บเกี่ยว แต่ได้เลือกใช้ผลการทดลองของอุปกรณ์กำเนิดเสียงชนิดที่ 3 เนื่องจากอุปกรณ์กำเนิดเสียงชนิดที่ 3 นั้นให้ผลการทดลองที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.26 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปรกรณ์กำเนิดเสียงชนิดที่ 2 ที่มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 4.77 โดยในกระบวนการแบ่งแยกความสุกดิบของทุเรียนหมอนทองจะทำการสร้างค่าตัดสินใจขึ้นมา 1 ค่า คือ 403 เฮิร์ตซ์ โดยถ้าหากความถี่เสียงของทุเรียนหมอนทองน้อยกว่า 403 เฮิร์ตซ์ ทุเรียนหมอนทองลูกนั้นจะถือว่าสุกพร้อมรับประทาน แต่ถ้าหากมากกว่า 403 เฮิร์ตซ์ นั้นเราจะจัดให้ทุเรียนหมอนทองนั้นอยู่ในสถานะดิบ

5.2 ข้อเสนอแนะเชิงทฤษฎีจากการวิจัย

การทดลองช่วงเริ่มแรกได้มีการทดลองโดยใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าดูดยกโลหะในการเคาะและพบว่าเสียงที่ได้ออกมานั้นไมโครโฟนไม่สามารถรับเสียงได้ จึงได้มีการพัฒนาเครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 2 ซึ่งใช้หลักการกระเดื่องโดยมีการประดิษฐ์เป็นกระเดื่องที่ใช้ไม้เคาะทุเรียนทั่วไปเป็นหัวเคาะ แต่เนื่องจากไม่สามารถเชื่อมั่นความแม่นยำของกระเดื่องประดิษฐ์ได้มากนัก และได้ทำการพัฒนาเป็นเครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 3 ไปพร้อมกัน คือเป็นการเคาะทุเรียนโดยใช้ไม้เคาะทุเรียนทั่วไปร่วมกับคน และพบว่าผลการทดลองจากการใช้ไม้เคาะทุเรียนร่วมกับคนนั้น มีแนวโน้มของกราฟที่น่าเชื่อถือมากกว่าการใช้กระเดื่องประดิษฐ์ เนื่องจากกระเดื่องประดิษฐ์นั้นให้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนมากเกินไป นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะว่าการใช้ไม้เคาะทุเรียนร่วมกับคนนั้นจะต้องเคาะตรงบริเวณกลางทุเรียนโดยตรง เพราะหากเคาะโดนบริเวณอื่นที่ไม่ใช่เนื้อทุเรียนนั้นจะได้ค่าจากการทดลองที่ผิดเพี้ยนไปค่อนข้างมาก และถ้าหากสามารถปรับปรุงพฤติกรรมในการเคาะได้ก็จะไม่มีปัญหาในการทดลอง โดยในส่วนแรงที่ใช้ในการเคาะทุเรียนนั้น ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการทดลองระหว่างการเคาะเบากับการเคาะแรง ซึ่งจากการทดลองจะพบว่าการเคาะเบากับแรงมีแนวโน้มของกราฟที่เหมือนกันเพียงแต่แตกต่างกันที่แอมพลิจูดของความดังเท่านั้น และนอกจากนี้เพื่อเพิ่มความสามารถในการแยกแยะระดับความสุกดิบของทุเรียนหมอนทองได้มากขึ้น อาจทำการทดสอบหาความหวานหรือระดับน้ำตาลของทุเรียนร่วมด้วย

บรรณานุกรม

- [1] ศิรดา ศิริเบญจพฤกษ์. 2560. **ทุเรียนไทยกับความท้าทายที่ไม่ควรมองข้าม**. [Online]. Available : https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/Southern/ResearchPaper/Challenging_of_Durian.PDF (สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2563)
- [2] **อุปสรรคการส่งออกทุเรียนไทย**. 2557. [Online]. Available : <https://www.ryt9.com/s/beco/2021959> (สืบค้นวันที่ 27 กันยายน 2563)
- [3] ผศ.วชิระ มีทอง. 2558. **การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (NON DESTRUCTIVE TESTING)**. [Online]. Available : <https://digital.lib.kmutt.ac.th/magazine/issue5/articles/article3.html> (สืบค้นวันที่ 30 กันยายน 2563)
- [4] **กรมวิชาการเกษตร**. 2558. [Online]. Available : <https://www.doa.go.th/share/showthread.php?tid=2439&highlight=ทุเรียน> (สืบค้นวันที่ 5 ตุลาคม 2563)
- [5] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2557. **มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 3-2556 ทุเรียน**. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (สืบค้นวันที่ 15 ตุลาคม 2563)
- [6] **วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit)**. 2562. [Online]. Available : <https://powerelectronics-21052112.blogspot.com/2019/05/rectifier-circuit.html> (สืบค้นวันที่ 22 ตุลาคม 2563)
- [7] ดร.มนูญ ชื่นชม. 2563. **บทที่ 4 วงจรคุมค่าแรงดัน**. [Online]. Available : <http://www.g-tech.ac.th/vdo/ELECTRICdoc/> (สืบค้นวันที่ 25 ตุลาคม 2563)
- [8] ครูสุริยา ศรีวิเศษ. 2561. **บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3**. [Online]. Available : <https://sites.google.com/site/mikhorkhxnthorllexr1/bxrd-mikhor-khxnthorllexr-arduino-uno-r3> (สืบค้นวันที่ 1 พฤษภาคม 2563)
- [9] PROSOUND. 2563. **5 นาที เข้าใจ FFT ในโปรแกรมวัดเสียง**. [Online]. Available : <https://www.atprosound.com/fast-fourier-transform/> (สืบค้นวันที่ 9 พฤษภาคม 2563)
- [10] ทันพงษ์ ภูรักษ์. 2555. **เอกสารประกอบการสอนวิชาไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น**. [Online]. Available : http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_3.pdf?fbclid=IwAR3CD8pUMI3GM4ziFIdCDjSJhSL2OJJ-oiSdl_OFEco2uCPXBI4PKJLOik0 (สืบค้นวันที่ 17 พฤษภาคม 2563)
- [11] Handyman. 2552. **MatLab**. [Online]. Available : vicomscience.blogspot.com (สืบค้นวันที่ 7 มกราคม 2564)

- [12] Ariya Kmewma. 2559. **บทที่ 3. ความรู้เบื้องต้นโปรแกรม Microsoft excel 2010**. [Online]. Available : https://ariyakmewma.blogspot.com/p/blog-page_15.html (สืบค้นวันที่ 18 มกราคม 2564)
- [13] ดร.สุทิน ชนะบุญ. 2563. **บทที่ 1 สถิติกับการวิจัย**. [Online]. Available : <http://www.kkpho.go.th/i/index.php/component/attachments/download/1927> (สืบค้นวันที่ 22 มกราคม 2564)
- [14] อธิพล ผลิตวานนท์, พิรพงษ์ สมบุญยอด และวารุณี บัณฑิตย์. 2551. “เครื่องวัดความสุขของผลไม้แบบไม่ทำลายโดยใช้การประมวลผลสัญญาณเสียงเคาะ.” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยบูรพา. (สืบค้นวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2564)
- [15] ชูศักดิ์ ขวประดิษฐ์ และปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร. 2555. “เครื่องวัดความสุขแก่ทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยน้ำหนักแห้ง” มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (สืบค้นวันที่ 4 มีนาคม 2564)
- [16] ณัฐวิภา เนียมสอน และ อนุพันธ์ เทิดวงศ์วรกุล. 2546. “การหาดัชนีความสุขแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยใช้ความถี่ธรรมชาติและความแข็งแรงก้าน” วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สืบค้นวันที่ 12 มีนาคม 2564)
- [17] Abbot, J.A., D.R.Massie, B.L.Upchurch and W.R.Hruschka. 2538. **Nondestructive sonic firmness measurement of apples**. ASAE 38(5) : 1461-1466 (สืบค้นวันที่ 10 เมษายน 2564)



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

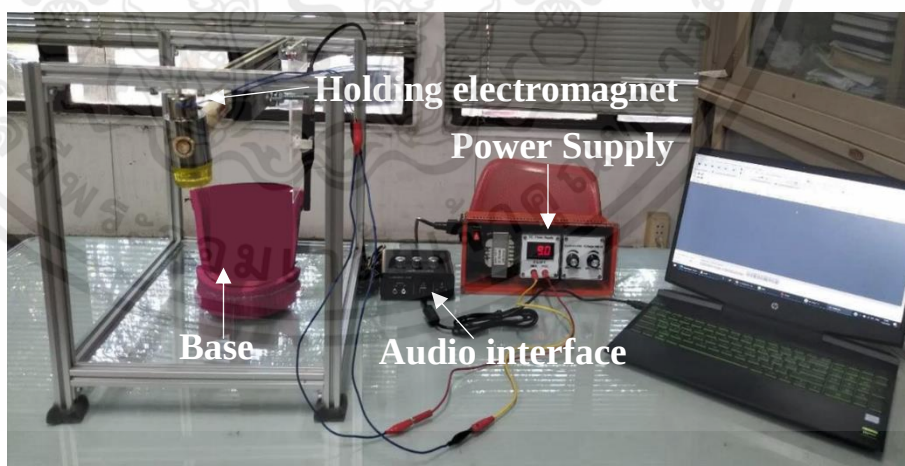
ขั้นตอนการใช้งานเครื่องเคาะทุเรียนและโปรแกรมวิเคราะห์ความ สுகติบของทุเรียนหมอนทอง

ก.1 ขั้นตอนการใช้งานเครื่องเคาะ

ก.1.1 การติดตั้งเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 1

ทำการติดตั้งเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทองรุ่นที่ 1 ตามที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ ก.1 ซึ่งประกอบด้วย

- 1) แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ขนาด 0 ถึง 24 โวลต์ โดยปรับไฟเป็น 9 โวลต์ เพื่อใช้สำหรับจ่ายแรงดันให้กับแม่เหล็กไฟฟ้าดุดยกลโหะ
- 2) แม่เหล็กไฟฟ้าดุดยกลโหะ สำหรับดุดยกลค้อนเคาะผลไม้
- 3) ตลับลูกปืน สำหรับยึดค้อนให้มีการหมุนอย่างอิสระ
- 4) ไมโครโฟน สำหรับรับสัญญาณเสียงจากการเคาะ
- 5) อุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับจ่ายแรงดัน 48 โวลต์ ให้กับไมโครโฟน
- 6) กระจกสำหรับทุเรียนหมอนทอง เพื่อให้มีตำแหน่งการเคาะที่คงที่และหุ้มด้วยยางเทอร์โมพลาสติกเพื่อลดเสียงจากการกระทบกันของทุเรียนหมอนทองกับกระจก



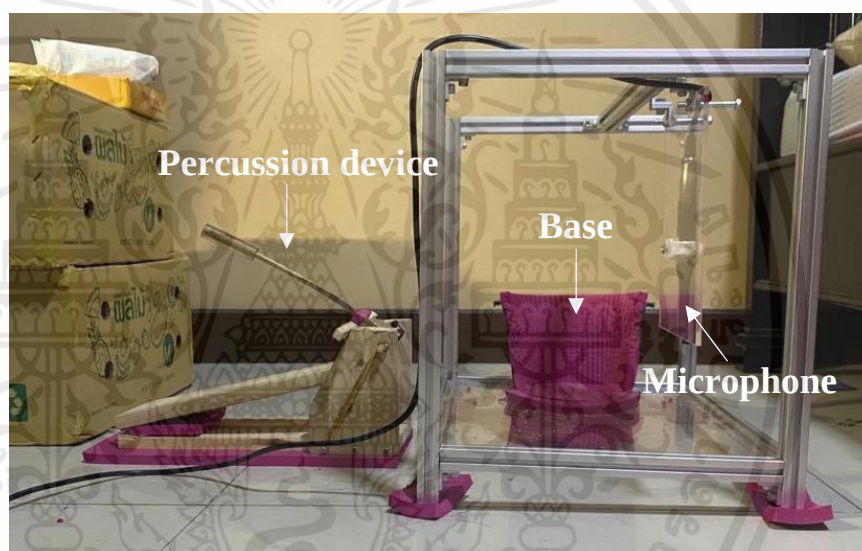
รูปที่ ก.1 การติดตั้งเครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1.2 การติดตั้งเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทอง รุ่นที่ 2

ทำการติดตั้งเครื่องเคาะทุเรียนหมอนทองรุ่นที่ 2 ตามที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ ก.2 ซึ่งประกอบด้วย

- 1) ไมโครโฟน สำหรับรับสัญญาณเสียงจากการเคาะ
- 2) อุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับจ่ายแรงดัน 48 โวลต์ ให้กับไมโครโฟน
- 3) กระจกสำหรับวางทุเรียน เพื่อให้มีตำแหน่งการเคาะที่คงที่และหุ้มด้วยยางเทอร์โมพลาสติกเพื่อลดเสียงจากการกระทบกันของทุเรียนกับกระจก
- 4) อุปกรณ์เคาะ (กระดิ่งประดิษฐ์) เป็นอุปกรณ์ก่อกำเนิดเสียงเคาะซึ่งทำให้ได้เสียงในการนำมาวิเคราะห์

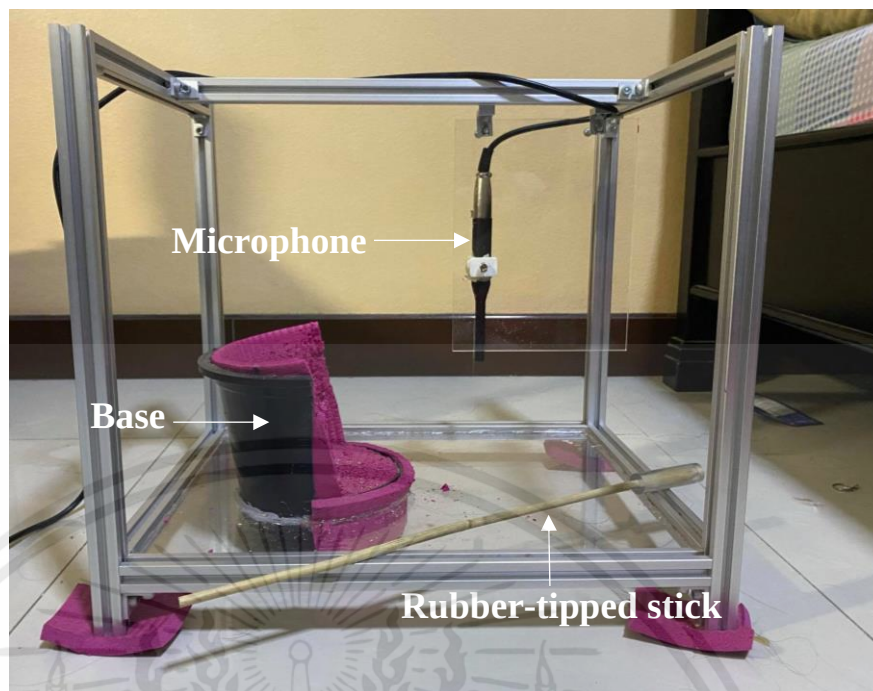


รูปที่ ก.2 การติดตั้งเครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 2

ก.1.3 การติดตั้งเครื่องเคาะทุเรียน รุ่นที่ 3

ทำการติดตั้งเครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 3 ตามที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ ก.3 ซึ่งประกอบด้วย

- 1) ไมโครโฟน สำหรับรับสัญญาณเสียงจากการเคาะ
- 2) อุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล สำหรับจ่ายแรงดัน 48 โวลต์ ให้กับไมโครโฟน
- 3) กระจกสำหรับวางทุเรียน เพื่อให้มีตำแหน่งการเคาะที่คงที่และหุ้มด้วยยางเทอร์โมพลาสติกเพื่อลดเสียงจากการกระทบกันของทุเรียนกับกระจก
- 4) ไม้เคาะทุเรียน ใช้เป็นอุปกรณ์ก่อกำเนิดเสียงเคาะซึ่งทำให้ได้เสียงในการนำมาวิเคราะห์

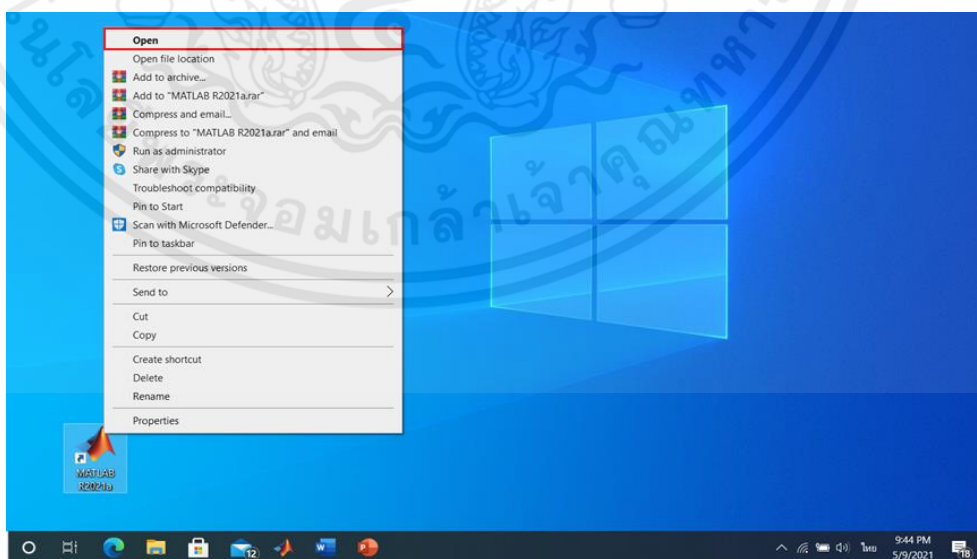


รูปที่ ก.3 การติดตั้งเครื่องเคาะทุเรียนรุ่นที่ 3

ก.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์ความสุกและดิบของทุเรียน

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์ความสุกและดิบของทุเรียน มีดังนี้

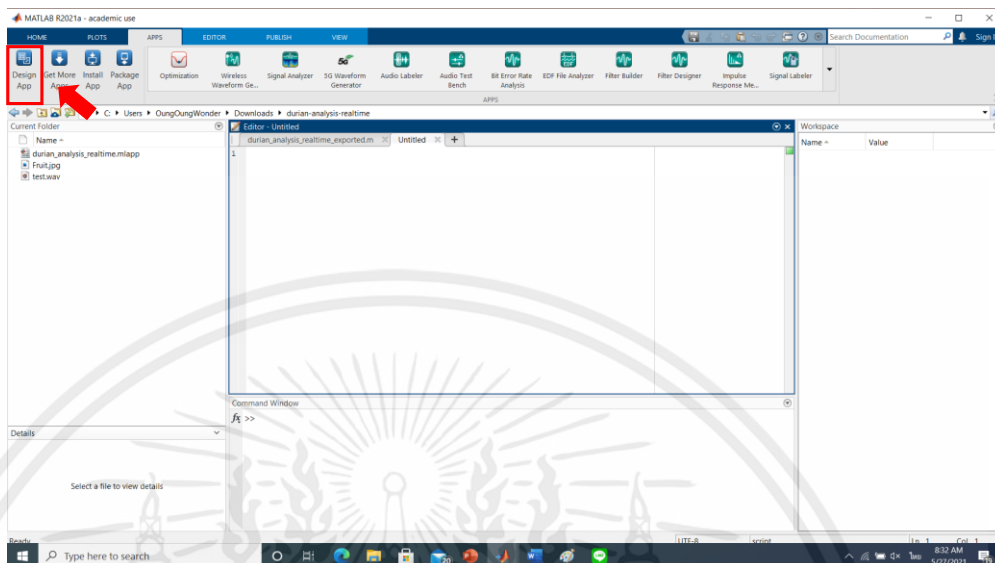
- 1) โปรแกรมวิเคราะห์ความสุกและดิบของทุเรียน ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม MATLAB ผ่าน MATLAB App Designer ซึ่งสามารถเริ่มต้นการใช้งานโดยเปิดโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 ขั้นตอนการใช้งานโดยเปิดโปรแกรม MATLAB

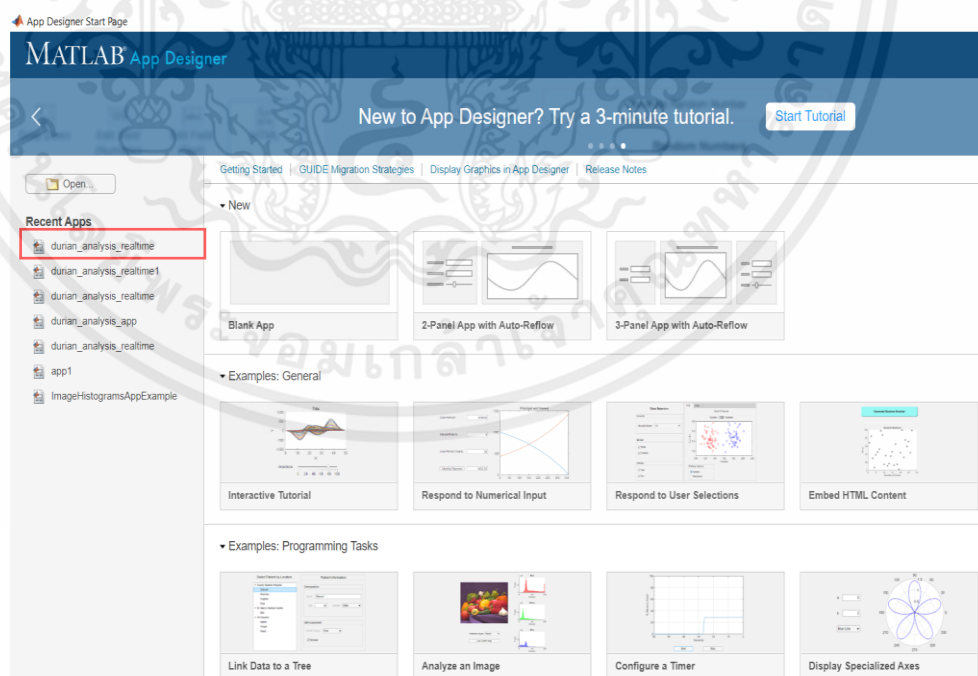
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) จะมีหน้าต่างสำหรับเลือกเมนูการใช้งานภายในโปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถเปิดใช้งานหน้าต่าง MATLAB App Designer ดังรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.5 ขั้นตอนการใช้งานหน้าต่าง MATLAB App Designer

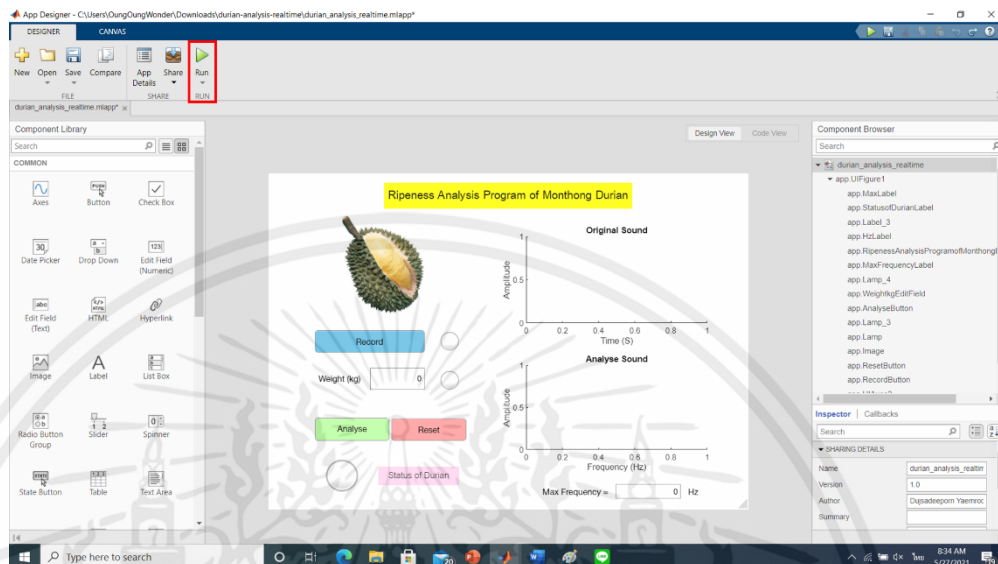
- 3) เมื่อปรากฏหน้าต่าง MATLAB App Designer แล้วกดเปิดไฟล์โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทองที่ถูกเขียนไว้สำเร็จรูปแล้ว ดังรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 ขั้นตอนการเปิดไฟล์โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง

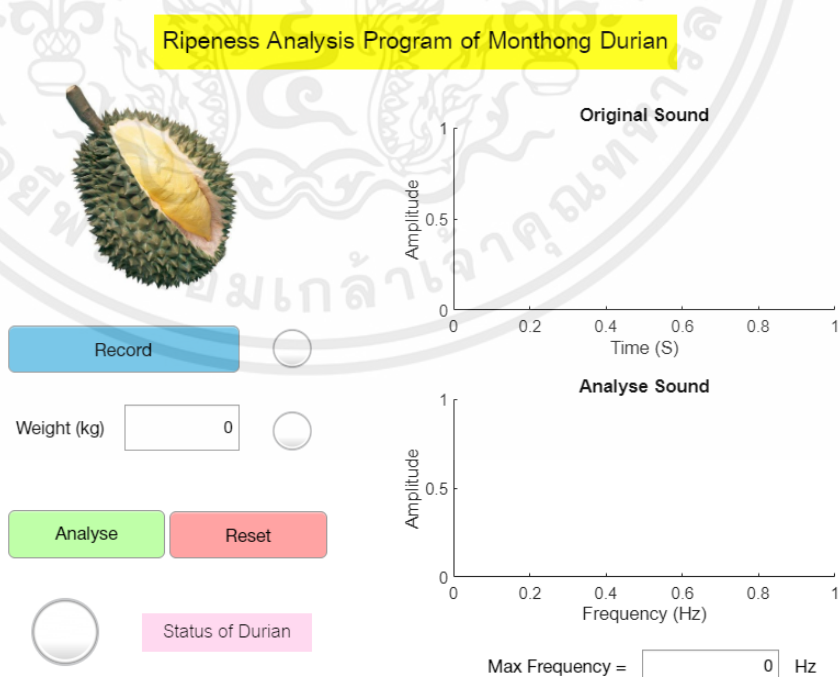
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) จะปรากฏหน้าต่างโปรแกรมวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทองที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นกดปุ่ม Run เพื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรม ดังรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.7 หน้าต่างโปรแกรมวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทองที่ได้ออกแบบ

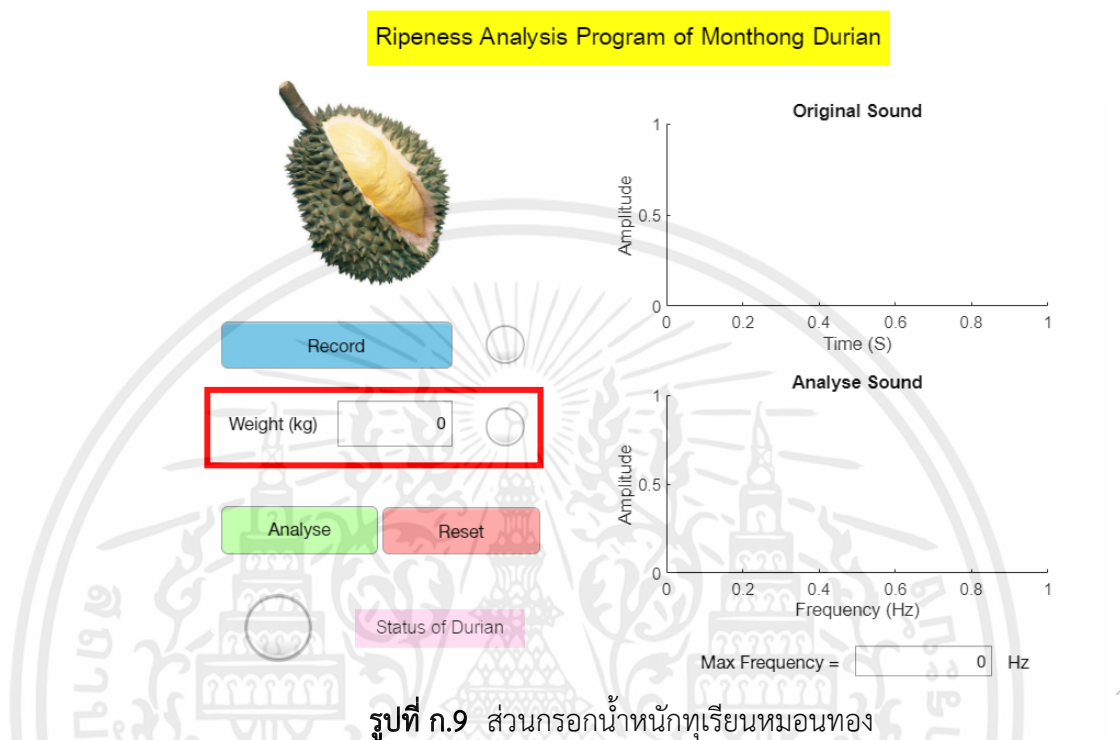
- 5) จากนั้นจะขึ้นหน้าต่างโปรแกรมวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง ที่จะใช้สำหรับการประมวลผลสัญญาณเสียงเคาะ ดังรูปที่ ก.8



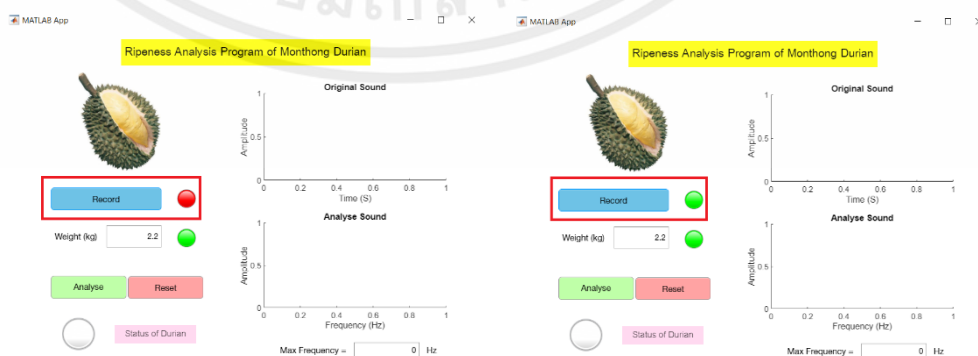
รูปที่ ก.8 โปรแกรมวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) เพื่อการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นของโปรแกรมวิเคราะห์ความสุกดิบของทุเรียนหมอนทอง สามารถกรอกน้ำหนักทุเรียนหมอนทองได้ทุกน้ำหนักแต่ช่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมนี้นี้คือช่วง 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม ดังรูปที่ ก.9

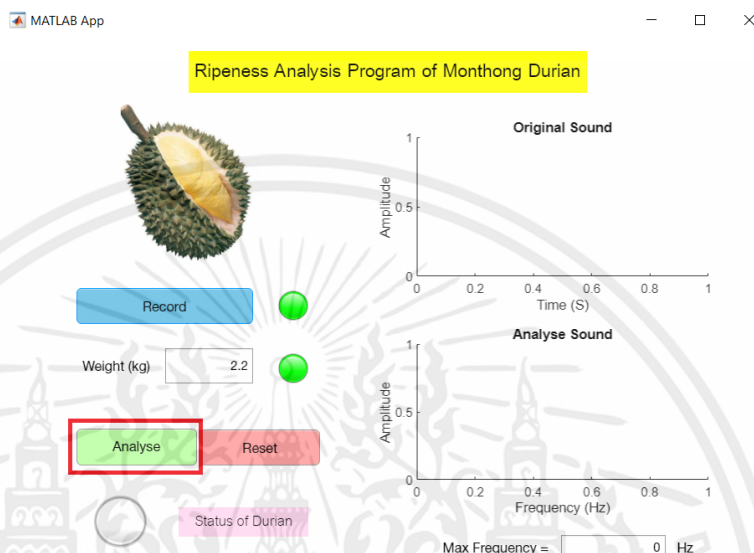


- 7) กดปุ่มบันทึกเสียง (Record) เพื่อเริ่มบันทึกสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะทุเรียนหมอนทองเป็นเวลา 3 วินาที เมื่อได้รับสัญญาณเสียงจากการเคาะด้วยอุปกรณ์เคาะ โดยโปรแกรมจะแสดงสีแดงเมื่อเริ่มทำการบันทึก และจะแสดงสีเขียวเมื่อโปรแกรมทำการบันทึกสำเร็จ ซึ่งเมื่อกดปุ่มบันทึกจะสามารถบันทึกสัญญาณเสียงนั้นได้ไฟล์เสียงนามสกุล wav ดังรูปที่ ก.10



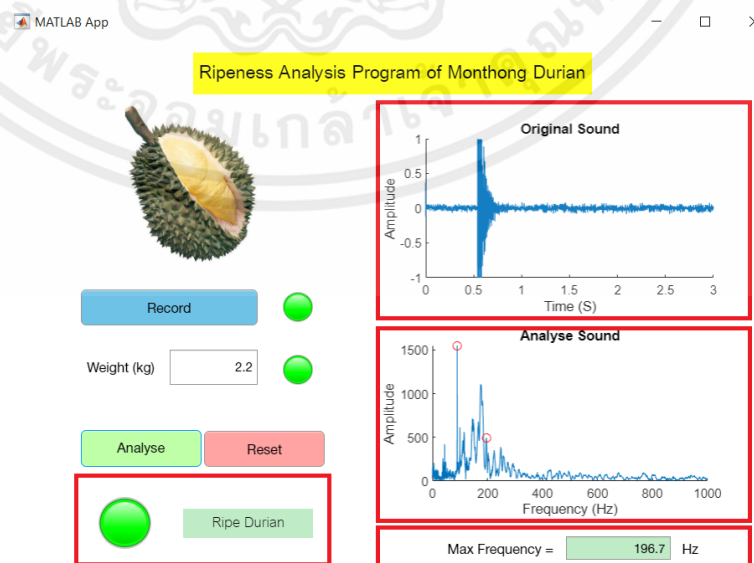
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8) กดปุ่มวิเคราะห์/แยกแยะเสียงเคาะทุเรียนหมอนทอง เพื่อเรียกดูไฟล์เสียงและวิเคราะห์/แยกแยะไฟล์เสียงที่ได้บันทึกแล้วอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav เมื่อเรียกไฟล์มาแล้วจะแสดงบนหน้าต่างโปรแกรมเช่นเดียวกับเสียงที่ได้จากการเคาะ โดยจะแสดงผลการประมวลผลและสถานะทุเรียนหมอนทองต่อไป ดังรูปที่ ก.11



รูปที่ ก.11 ขั้นตอนการใช้การปุ่มวิเคราะห์/แยกแยะ

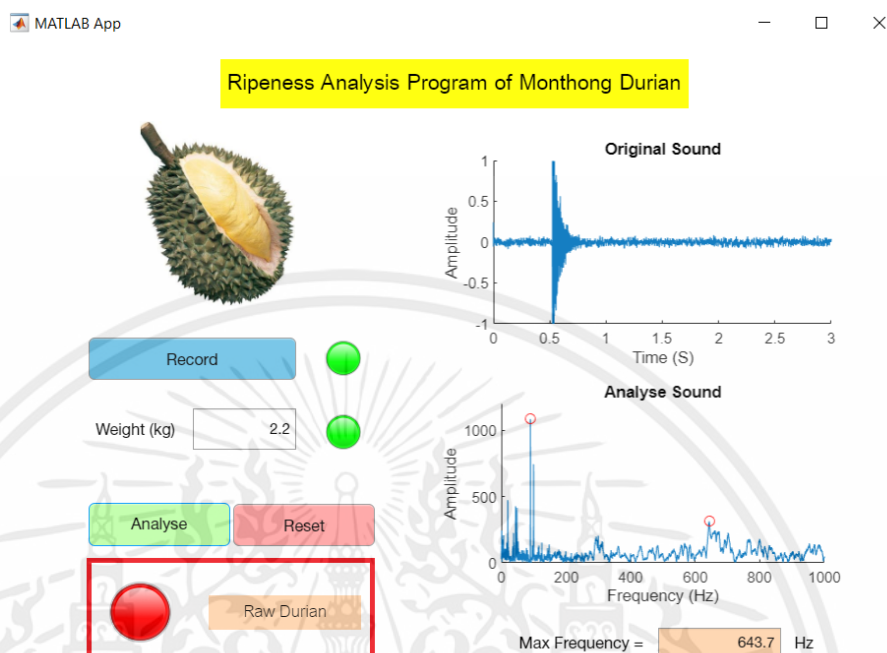
- 9) เมื่อโปรแกรมได้บันทึกสัญญาณเสียงและมีการกรอกค่าน้ำหนักของทุเรียนหมอนทองเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะแสดงสัญญาณเสียงต้นกำเนิด (Original Sound) ที่มีความยาว 3 วินาที นอกจากนี้ยังแสดงสัญญาณเสียงที่ถูกวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว พร้อมค่าความถี่เสียงของทุเรียนหมอนทอง (Max Frequency) และสถานะของทุเรียนหมอนทองอีกด้วย



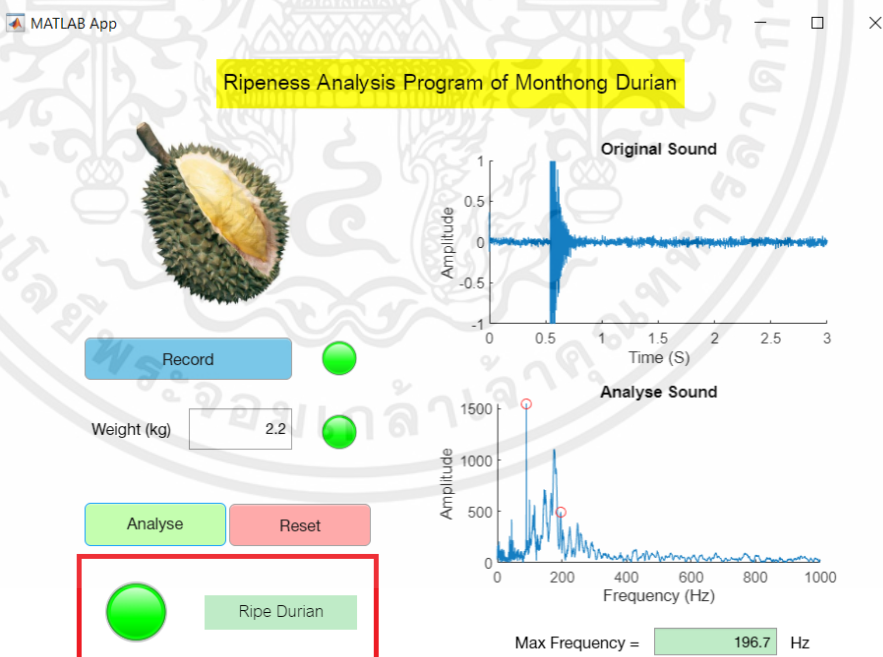
รูปที่ ก.12 แสดงผลการประมวลผลสัญญาณเสียงเคาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 10) การแสดงผลสถานะของทุเรียนหมอนทองด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่ของทุเรียนหมอนทองนี้สามารถแสดงสถานะได้ 2 ระดับ คือ สุกและดิบ



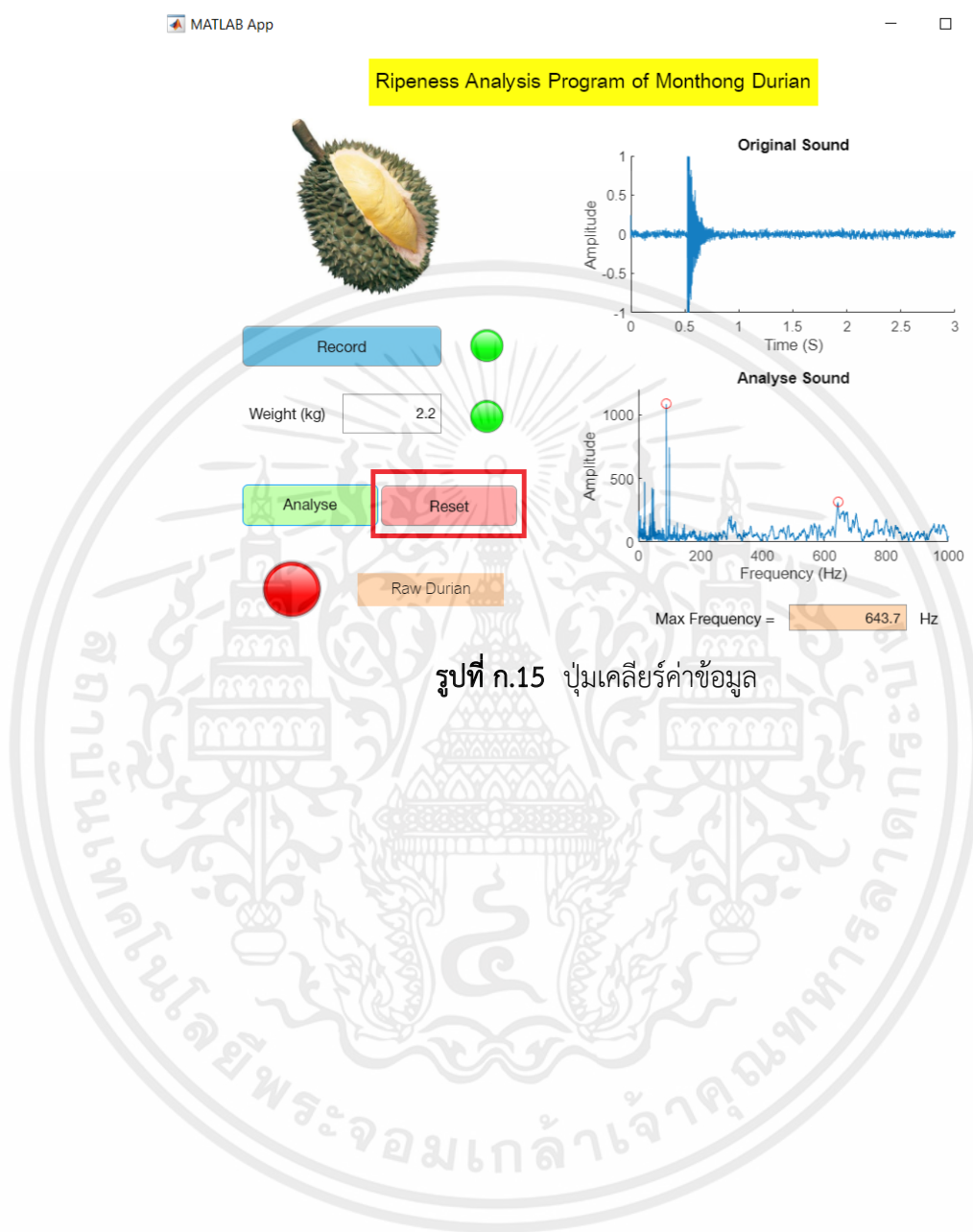
รูปที่ ก.13 สถานะของทุเรียนดิบ



รูปที่ ก.14 สถานะของทุเรียนหมอนทองสุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 11) เมื่อประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้วและต้องการจะเคลียร์ค่าข้อมูลสามารถทำได้โดยกดปุ่มเคลียร์ค่า (Reset)



รูปที่ ก.15 ปุ่มเคลียร์ค่าข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ข.1 กรณีใช้กระเดื่องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

กระบวนการทดลองเริ่มจากการเลือกทุเรียนหมอนทองที่มีน้ำหนักในช่วง 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม และวางทุเรียนหมอนทองบนกระถาง โดยกำหนดตำแหน่งและระยะการวางให้คงที่ เพื่อให้แรงเคาะจากไม้เคาะมีค่าคงที่ ขั้นตอนต่อมาเป็นการเคาะทุเรียนหมอนทองโดยใช้กระเดื่องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง ซึ่งมีการกำหนดตำแหน่งที่เคาะเป็นบริเวณกลางพู จากนั้นจะใช้ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ เพราะมีความไวต่อเสียงและสามารถตอบสนองความถี่ในช่วง 20 เฮิรตซ์ ถึง 6 กิโลเฮิรตซ์ ในการรับสัญญาณเสียงจากการเคาะซึ่งสำหรับในส่วนของการใช้งานซอฟต์แวร์จะเริ่มจากการกดปุ่มบันทึกเสียงผ่าน MATLAB App Designer โดยจะทำให้ไมโครโฟนที่เป็นอุปกรณ์ในการรับสัญญาณเสียงและทำงานร่วมกับอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเริ่มบันทึกเสียงเคาะผลไม้จากอุปกรณ์เคาะกระเดื่องประดิษฐ์ ซึ่งสัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นจะอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และจะถูกวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็วเพื่อนำสัญญาณเสียงที่ได้รับมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์และแสดงสถานะของทุเรียนหมอนทอง ซึ่งจะสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 แสดงความถี่เสียงและน้ำหนักของทุเรียนลูกที่ 1 และลูกที่ 2 กรณีใช้กระเดื่องประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียงด้วยแรงที่คงที่

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 1		ทุเรียนลูกที่ 2	
		น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)
7	1	1.904	638.3	1.873	583.1
	2	1.904	615.7	1.873	583.1
	3	1.904	638.6	1.873	583.1
	4	1.904	639.6	1.873	582.7
	5	1.904	638.6	1.873	583.4
	6	1.904	638.6	1.873	584.8
	7	1.904	638.3	1.873	601.2
	8	1.904	615.7	1.873	583.8
	9	1.904	638.6	1.873	583.4

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 1		ทุเรียนลูกที่ 2	
		น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)
	10	1.904	639.6	1.873	595.7
	11	1.904	616.1	1.873	600.1
	12	1.904	638.6	1.873	584.3
	13	1.904	638.6	1.873	588.7
	14	1.904	616.1	1.873	581.6
	15	1.904	616.1	1.873	582.7
	ค่าต่ำสุด (Hz)	1.904	615.7	1.873	581.6
	ค่าสูงสุด (Hz)	1.904	639.6	1.873	601.2
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)	0	11.132244	0	6.607160618
8	1	1.812	572.6	1.805	571.3
	2	1.812	572.6	1.805	571.3
	3	1.812	572.6	1.805	572.0
	4	1.812	572.3	1.805	569.3
	5	1.812	572.6	1.805	569.3
	6	1.812	584.1	1.805	571.3
	7	1.812	572.6	1.805	571.3
	8	1.812	572.6	1.805	583.4
	9	1.812	572.6	1.805	570.6
	10	1.812	572.3	1.805	571.3
	11	1.812	572.6	1.805	583.4
	12	1.812	571.3	1.805	571.3
	13	1.812	572.0	1.805	583.4
	14	1.812	572.0	1.805	583.4
	15	1.812	571.3	1.805	572.0
	ค่าต่ำสุด (Hz)	1.812	571.3	1.805	569.3
	ค่าสูงสุด (Hz)	1.812	584.1	1.805	583.4
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)	0	3.0841685	0	5.729057099
9	1	1.721	520.2	1.736	568.6
	2	1.721	520.2	1.736	569.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 1		ทุเรียนลูกที่ 2	
		น้ำหนัก	ความถี่เสียง	น้ำหนัก	ความถี่เสียง
		(kg)	(Hz)	(kg)	(Hz)
	3	1.721	520.2	1.736	561.2
	4	1.721	520.2	1.736	561.2
	5	1.721	520.2	1.736	561.2
	6	1.721	537.9	1.736	582.7
	7	1.721	575.7	1.736	582.7
	8	1.721	537.2	1.736	582.1
	9	1.721	536.6	1.736	582.1
	10	1.721	529.8	1.736	582.7
	11	1.721	547.8	1.736	568.6
	12	1.721	505.1	1.736	582.1
	13	1.721	505.1	1.736	582.1
	14	1.721	505.8	1.736	568.6
	15	1.721	505.1	1.736	569.3
ค่าต่ำสุด (Hz)		1.721	505.1	1.736	561.2
ค่าสูงสุด (Hz)		1.721	575.7	1.736	582.7
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)		0	19.31929	0	8.906952875
10	1	1.629	405.1	1.668	404.4
	2	1.629	404.4	1.668	405.1
	3	1.629	405.1	1.668	405.1
	4	1.629	404.4	1.668	405.1
	5	1.629	405.1	1.668	405.1
	6	1.629	404.4	1.668	450.4
	7	1.629	352.6	1.668	450.4
	8	1.629	351.3	1.668	450.4
	9	1.629	404.4	1.668	450.4
	10	1.629	404.4	1.668	451.1
	11	1.629	450.4	1.668	352.3
	12	1.629	450.4	1.668	351.7
	13	1.629	450.4	1.668	484.5
จำนวนวัน	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 1		ทุเรียนลูกที่ 2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังเก็บเกี่ยว	น้ำหนัก	ความถี่เสียง	น้ำหนัก	ความถี่เสียง
	(kg)	(Hz)	(kg)	(Hz)
14	1.629	450.4	1.668	483.2
15	1.629	450.4	1.668	484.5
ค่าต่ำสุด (Hz)	1.629	351.3	1.668	351.7
ค่าสูงสุด (Hz)	1.629	450.4	1.668	484.5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)	0	32.738863	0	43.23231045

ข.2 กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

กระบวนการทดลองเริ่มจากการเลือกทุเรียนหมอนทองที่มีน้ำหนักในช่วง 2 ถึง 2.5 กิโลกรัม และวางทุเรียนหมอนทองบนที่กระถาง ขั้นตอนต่อมาเป็นการเคาะทุเรียนหมอนทองโดยใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง ซึ่งมีการกำหนดตำแหน่งที่เคาะเป็นบริเวณกลางพู จากนั้นจะใช้ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ ในการรับสัญญาณเสียงจากการเคาะซึ่งสำหรับในส่วนของการใช้งานซอฟต์แวร์จะเริ่มจากการกดปุ่มบันทึกเสียงผ่าน MATLAB App Designer โดยจะทำให้ไมโครโฟนที่เป็นอุปกรณ์ในการรับสัญญาณเสียงและทำงานร่วมกับอุปกรณ์สำหรับบันทึกเสียงและแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เริ่มบันทึกเสียงเคาะจากการเคาะทุเรียนหมอนทองด้วยไม้เคาะทุเรียน โดยสัญญาณเสียงที่ได้รับนั้นจะอยู่ในไฟล์เสียงนามสกุล wav และจะถูกวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว เพื่อนำสัญญาณเสียงมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์และแสดงสถานะของทุเรียนหมอนทอง ซึ่งจะสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ ข.2 และ ข.3

ตารางที่ ข.2 แสดงความถี่เสียงและน้ำหนักของทุเรียนลูกที่ 1 และ 2 กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 1		ทุเรียนลูกที่ 2	
		น้ำหนัก	ความถี่เสียง	น้ำหนัก	ความถี่เสียง
		(kg)	(Hz)	(kg)	(Hz)
7	1	1.904	601.6	1.873	584.8
	2	1.904	621.2	1.873	584.1
	3	1.904	621.2	1.873	583.4
	4	1.904	590.1	1.873	584.1
	5	1.904	547.8	1.873	585.1
	6	1.904	621.2	1.873	584.8
	7	1.904	621.2	1.873	548.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 1		ทุเรียนลูกที่ 2	
		น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)
	8	1.904	547.8	1.873	584.8
	9	1.904	538.2	1.873	548.4
	10	1.904	601.4	1.873	584.8
	ค่าต่ำสุด (Hz)	1.904	538.2	1.873	548.4
	ค่าสูงสุด (Hz)	1.904	621.2	1.873	585.1
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)	0	33.97633327	0	15.22403436
8	1	1.812	570.6	1.805	577.7
	2	1.812	547.1	1.805	582.7
	3	1.812	547.1	1.805	583.1
	4	1.812	570.6	1.805	577.7
	5	1.812	551.8	1.805	582.4
	6	1.812	571.3	1.805	582.7
	7	1.812	572.6	1.805	582.4
	8	1.812	572	1.805	582.7
	9	1.812	584.1	1.805	583.1
	10	1.812	571.3	1.805	583.1
	ค่าต่ำสุด (Hz)	1.812	547.1	1.805	577.7
	ค่าสูงสุด (Hz)	1.812	584.1	1.805	583.1
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)	0	12.5676171	0	2.15571592
9	1	1.721	484.5	1.736	546.4
	2	1.721	484.5	1.736	547.1
	3	1.721	484.8	1.736	546.4
	4	1.721	484.8	1.736	546.4
	5	1.721	485.2	1.736	543.7
	6	1.721	485.2	1.736	543.7
	7	1.721	484.5	1.736	546.4
	8	1.721	484.5	1.736	544.4
	9	1.721	484.5	1.736	544.4
	10	1.721	484.8	1.736	544.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 1		ทุเรียนลูกที่ 2	
		น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)
ค่าต่ำสุด (Hz)		1.721	484.5	1.736	543.7
ค่าสูงสุด (Hz)		1.721	485.2	1.736	547.1
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)		0	0.283039063	0	1.317447026
10	1	1.629	399.7	1.668	299.8
	2	1.629	399.0	1.668	299.1
	3	1.629	399.7	1.668	300.1
	4	1.629	350.6	1.668	299.8
	5	1.629	405.1	1.668	243.6
	6	1.629	349.9	1.668	299.8
	7	1.629	350.6	1.668	300.1
	8	1.629	399.7	1.668	300.1
	9	1.629	494.6	1.668	300.3
	10	1.629	399.0	1.668	300.3
ค่าต่ำสุด (Hz)		1.629	349.9	1.668	243.6
ค่าสูงสุด (Hz)		1.629	494.6	1.668	300.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)		0	42.29096173	0	17.8175943

ตารางที่ ข.3 แสดงความถี่เสียงและน้ำหนักของทุเรียนลูกที่ 3, 4 และ 5 กรณีใช้ไม้เคาะทุเรียนเป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดเสียง

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 3		ทุเรียนลูกที่ 4		ทุเรียนลูกที่ 5	
		น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)
3	1	2.135	665.2	2.269	633	1.951	637.3
	2	2.135	644.4	2.269	633.3	1.951	632
	3	2.135	664.2	2.269	633.7	1.951	631.7
	4	2.135	665.2	2.269	634	1.951	627.3
	5	2.135	643.2	2.269	633.3	1.951	609.7
	6	2.135	665.2	2.269	635	1.951	588.7
	7	2.135	665.2	2.269	633.7	1.951	624.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 3		ทุเรียนลูกที่ 4		ทุเรียนลูกที่ 5	
		น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)
	8	2.135	665.2	2.269	637	1.951	632.3
	9	2.135	644.4	2.269	634.3	1.951	629.3
	10	2.135	664.2	2.269	632.3	1.951	630.7
	ค่าต่ำสุด (Hz)	2.135	643.2	2.269	632.3	1.951	588.7
	ค่าสูงสุด (Hz)	2.135	665.2	2.269	637	1.951	637.3
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)	0	10.1157	0	1.29632	0	14.5393
4	1	2.079	643	2.195	611.7	1.922	608.7
	2	2.079	633.3	2.195	603	1.922	608
	3	2.079	627	2.195	600	1.922	595
	4	2.079	628	2.195	599	1.922	590.7
	5	2.079	635	2.195	601.3	1.922	646
	6	2.079	660.3	2.195	600	1.922	608.7
	7	2.079	672.3	2.195	599.7	1.922	608.3
	8	2.079	632.3	2.195	594.7	1.922	607.7
	9	2.079	635.7	2.195	598	1.922	607.7
	10	2.079	635.3	2.195	601	1.922	608.7
	ค่าต่ำสุด (Hz)	2.079	627	2.195	594.7	1.922	590.7
	ค่าสูงสุด (Hz)	2.079	672.3	2.195	611.7	1.922	646
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)	0	14.707	0	4.40585	0	14.5488
5	1	2.003	647.3	2.083	576.7	1.84	590.3
	2	2.003	646.3	2.083	548.3	1.84	601.7
	3	2.003	667.7	2.083	549	1.84	593
	4	2.003	643	2.083	549	1.84	601.3
	5	2.003	649.3	2.083	548.3	1.84	601.7
	6	2.003	698.3	2.083	577	1.84	602.3
	7	2.003	652.3	2.083	566.3	1.84	601.3
	8	2.003	648	2.083	548.3	1.84	601.7
	9	2.003	650	2.083	549.3	1.84	603
	10	2.003	646	2.083	541.7	1.84	601.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 3		ทุเรียนลูกที่ 4		ทุเรียนลูกที่ 5	
		น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)
ค่าต่ำสุด (Hz)		2.003	643	2.083	541.7	1.84	590.3
ค่าสูงสุด (Hz)		2.003	698.3	2.083	577	1.84	603
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)		0	16.6987	0	12.8975	0	4.35308
6	1	1.951	535.3	1.983	527	1.749	526.3
	2	1.951	623.7	1.983	528.3	1.749	526.7
	3	1.951	636.7	1.983	525.3	1.749	526.3
	4	1.951	585	1.983	525.3	1.749	526
	5	1.951	658.7	1.983	525	1.749	526.3
	6	1.951	626.3	1.983	525.7	1.749	526.7
	7	1.951	582.7	1.983	525.3	1.749	527
	8	1.951	648.3	1.983	525	1.749	526
	9	1.951	538.7	1.983	525	1.749	526.3
	10	1.951	636.7	1.983	525.7	1.749	527
ค่าต่ำสุด (Hz)		1.951	535.3	1.983	525	1.749	526
ค่าสูงสุด (Hz)		1.951	658.7	1.983	528.3	1.749	527
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)		0	44.3145	0	1.07311	0	0.36878
7	1	1.892	539.7	1.887	523.7	1.674	523.3
	2	1.892	523.3	1.887	524	1.674	523.7
	3	1.892	523.7	1.887	522.7	1.674	524.7
	4	1.892	523.3	1.887	523.7	1.674	523.7
	5	1.892	523	1.887	524	1.674	523.7
	6	1.892	524	1.887	523.7	1.674	523
	7	1.892	523.3	1.887	523.7	1.674	523.3
	8	1.892	522.7	1.887	524	1.674	523
	9	1.892	523	1.887	524	1.674	523.7
	10	1.892	523	1.887	524.3	1.674	524.7
ค่าต่ำสุด (Hz)		1.892	522.7	1.887	522.7	1.674	523
ค่าสูงสุด (Hz)		1.892	539.7	1.887	524.3	1.674	524.7
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)		0	5.21366	0	0.42895	0	0.60516

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนวัน หลังเก็บเกี่ยว	ครั้งที่	ทุเรียนลูกที่ 3		ทุเรียนลูกที่ 4		ทุเรียนลูกที่ 5	
		น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)	น้ำหนัก (kg)	ความถี่เสียง (Hz)
8	1	1.814	524.3	1.832	399.7	1.628	488
	2	1.814	549	1.832	399.7	1.628	488
	3	1.814	548	1.832	399.3	1.628	487.7
	4	1.814	547.7	1.832	407.7	1.628	487.3
	5	1.814	548.7	1.832	407.7	1.628	487.7
	6	1.814	548	1.832	410	1.628	488
	7	1.814	547.7	1.832	408.7	1.628	487.3
	8	1.814	547.7	1.832	408	1.628	487.7
	9	1.814	540.7	1.832	408.3	1.628	487.7
	10	1.814	540.7	1.832	407.7	1.628	487.7
ค่าต่ำสุด (Hz)		1.814	524.3	1.832	399.3	1.628	487.3
ค่าสูงสุด (Hz)		1.814	549	1.832	410	1.628	488
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)		0	7.6696	0	4.2752	0	0.25582
9	1	1.712	365.3	-	-	1.546	365.7
	2	1.712	366.7	-	-	1.546	365
	3	1.712	366.3	-	-	1.546	365.7
	4	1.712	366.3	-	-	1.546	364.7
	5	1.712	405.3	-	-	1.546	365.7
	6	1.712	407.7	-	-	1.546	365
	7	1.712	404.3	-	-	1.546	365.3
	8	1.712	404.7	-	-	1.546	366.3
	9	1.712	406	-	-	1.546	364.7
	10	1.712	405.7	-	-	1.546	365
ค่าต่ำสุด (Hz)		1.712	365.3	-	-	1.546	364.7
ค่าสูงสุด (Hz)		1.712	407.7	-	-	1.546	366.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Hz)		0	20.4029	-	-	0	0.52377

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้