

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้

ACOUSTIC TESTER OF FRUIT

โดย

นายวุฒิชัย โขศิริธิดา

นางสาวสิรินันท์ วรรณรัตน์

นายเอกดิษฐ์ ศิริวิวัฒน์

วันที่
09/05/2549

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 62654

วัน,เดือน,ปี..... 21 ส.ค. 2549

b..... 116271582
i.....

ปฏิญานีพจน์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ประจำปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้

ACOUSTIC TESTER OF FRUIT

ผู้จัดทำ

1. นายวุฒิชัย โชติศรีลี้อชา รหัสประจำตัว 45010732
2. นางสาวสิรินันท์ วรรณรัตน์ รหัสประจำตัว 45010832
3. นายเอกศิษฐ์ ศิริวิจิรววัฒน์ รหัสประจำตัว 45010983



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองหาคุณสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้

นายวุฒิชัย ไชติศรีลี้อา	45010732
นางสาวสิรินันท์ วรรณรัตน์	45010832
นายเอกศิษฐ์ ศิริวิจิรวัดณ์	45010983
ดร.สุวณี บุญมั่ง	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
อ.วสุ อุดมเพทายกุล	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.วีระชัย ลีัมพรชัยเจริญ	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548	

บทคัดย่อ

ชุดทดลองหาคุณสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้เป็นชุดทดลองที่ใช้ทดสอบกับพื้นผิวผลไม้แบบไม่ทำลาย โดยอาศัยหลักการสั่นสะเทือนผ่านพื้นผิวผลไม้ ซึ่งชุดทดลองประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือน ,ส่วนรับสัญญาณ และส่วนแสดงผล ส่วนของแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือนนั้นใช้ Solenoid เป็นตัวกำเนิดแรงสั่นสะเทือนซึ่งจะทำหน้าที่เคาะผิวของผลไม้ 1 ครั้งต่อการวิเคราะห์ความถี่บนผิวผลไม้ 1 ตำแหน่ง ส่วนรับสัญญาณจะใช้ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์เป็นตัวรับสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะโดย Solenoid และส่วนแสดงผลนั้นได้พัฒนาโปรแกรมด้วยโปรแกรม LabVIEW 7.1 ซึ่งออกแบบให้สามารถรับสัญญาณเสียงจากไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์เข้ามาวิเคราะห์และแสดงผลเป็นกราฟออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ในการทดสอบและปรับเทียบเครื่องได้ใช้เครื่อง Oscilloscope ในการปรับเทียบแล้วจึงนำมาทดสอบกับผลไม้ ซึ่งได้ทดสอบกับผลไม้ 2 ชนิดคือ สับปะรดและแตงโม ในการทดสอบได้แบ่งผลไม้ออกเป็น 2 กลุ่มที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด คือผลสุกและผลดิบ และผลการทดสอบที่ได้คือ ผลไม้ที่สุกนั้นจะมีความถี่ต่ำกว่าผลไม้ดิบ ทั้งนี้เนื่องจากว่าผลไม้สุกมีคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสภายในที่ต่างกัน

ACOUSTIC TESTER OF FRUIT

Wuttichai Chotesriluecha	45010732
Sirinun Wannarat	45010832
Eakadit Siriwachirawat	45010983
Suwanee Boonmung	Advisor
Wasu Udompetaikul	Advisor
Weerachai Limpornchaichalern	Advisor
2005	

ABSTRACT

Acoustic tester of fruit is the lab kit, which uses for test with fruit's skin by means of the vibrational principle. This lab kit comprises 3 important parts that are a part of generating the vibration force, receiving the signal, and showing the output. The vibration source used the solenoid for producing an impulse vibrational force knocking the fruit's skin to analyze the frequency response on the fruit's skin. The signal receiving part used the condenser microphone to set the knocking sound signal. The part of showing the output was developed using the LabVIEW 7.1 program that was designed for efficiently receiving the sound signal to analyze and show the output on the computer. The oscilloscope was used for calibration procedure and, for testing on fruit, two types of fruits namely the pineapples and the watermelons were utilized. In addition, these fruits were classified into two groups: mature and immature fruits. Experimental results indicated that the mature fruits had lower resonant frequency than the immature ones, which might be due to the difference in textural properties of fruits with different state of maturity.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้ก็คือ คร.สุวณี บุญมั่ง, อาจารย์ยั่วสุ อุดมเพทายกุล และอาจารย์วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่คอยให้ความดูแลเอาใจใส่ แนะนำและช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ อาจารย์เชื้อ และอาจารย์ธีรวัตร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัด และระบบควบคุม ที่ให้คำปรึกษา แนะนำและความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือปรับเทียบ

ขอขอบพระคุณ คุณโชติรส แซ่เล่า และคุณอภิรดี แซ่เล่า สำหรับความช่วยเหลือในการหาแดงโมที่จังหวัดสุพรรณบุรี

ขอขอบคุณอาจารย์และเพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรสำหรับความช่วยเหลือที่ดีเสมอมา

และต้องขอขอบคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจดูแลเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าจะขอระลึกพระคุณอันสุดประมาณและกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายวุฒิชัย โชติศรีลีอชา 45010732

นางสาวสิรินันท์ วรรณรัตน์ 45010832

นายเอกศิษฐ์ ศิริวัชรวิวัฒน์ 45010983

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 การสั่นสะเทือน	3
2.1.1 ประเภทของการสั่นสะเทือน	3
2.1.2 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน	3
2.1.3 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วง (Undamped Free Vibration)	4
2.1.4 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่มีความหน่วง (Damped Free Vibration)	4
2.1.5 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (Force Vibration)	5
2.1.6 ความถี่สั่นพ้อง (Resonance Frequency)	5
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเสียงสะท้อนกับคุณสมบัติภายในของผลไม้	6
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อกับความสุกแก่	6
2.4 อุปกรณ์กำเนิดการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์รับสัญญาณการสั่นสะเทือน	6
2.4.1 โซลินอยด์ (Solenoid)	6
2.4.2 ไมโครโฟน (Microphone)	8
2.5 ความรู้เบื้องต้นของพอร์ดชานน	10
2.6 การตรวจเอกสาร	11
บทที่ 3 หลักการออกแบบชุดทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้	
3.1 ส่วนกำเนิดการสั่นสะเทือน	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
3.2 ส่วนรับสัญญาณ	14
3.3 ส่วนประมวลผล	14
3.4 ส่วนโครงสร้างของชุดทดลอง	15
3.4.1 การออกแบบครั้งที่ 1	15
3.4.2 การออกแบบครั้งที่ 2 (เครื่องต้นแบบ)	16
บทที่ 4 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของชุดทดลอง	
4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม	18
4.1.1 ส่วนของ Front Panel	19
4.1.2 ส่วนของ Block Diagram	20
บทที่ 5 การทดลอง	
5.1 การปรับเทียบเครื่อง	23
5.2 การทดลองหาแรงที่โซลินอยด์กระทำกับผลไม้	27
5.3 การทดลองหาค่าแอมป์รับเสียงสะท้อนที่เหมาะสม	28
5.4 การทดลองหาวัสดุเคลือบที่เหมาะสม	32
5.5 การทดลองหาวัสดุที่ใช้เป็นฐานรองรับที่เหมาะสม	35
5.6 การทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้	37
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการทดลอง	44
6.2 ข้อเสนอแนะ	45
ภาคผนวก ก	46
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	55
ภาคผนวก ง	59
ภาคผนวก จ	63
เอกสารอ้างอิง	67

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 5.1 ความถี่จากโปรแกรม LabVIEW 7.1 และจากเครื่อง Oscilloscope	25
ตารางที่ 5.2 แรงกระทำที่มากที่สุดเมื่อใช้วัสดุต่างกัน	27
ตารางที่ 5.3 ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่นของแสงโมที่ใช้ในการทดลอง	28
ตารางที่ 5.4 ความถี่กับแอมพลิจูดที่ได้ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งไมโครโฟนที่ 0, 90, 180 และ 270 องศา	30
ตารางที่ 5.5 ค่าความถี่และแอมพลิจูดของหัวเคาะยาง, อะคิลิก	33
ตารางที่ 5.6 ค่าความถี่ของแสงโมเมื่อใช้ฐานรองรับเป็นอะคิลิกและไมโครไฟเบอร์	36
ตารางที่ 5.7 ความถี่ที่ได้จากการเคาะ 4 ตำแหน่งในแนวเส้น Equator ของแสงโมคิบ อายุ 17 วัน พันธุ์จินตหราโดยเฉลี่ย	39
ตารางที่ 5.8 ความถี่ที่ได้จากการเคาะ 4 ตำแหน่งในแนวเส้น Equator ของแสงโมสุก อายุ 28 วัน พันธุ์จินตหราโดยเฉลี่ย	39
ตารางที่ 5.9 ความถี่ที่ได้จากการเคาะ 4 ตำแหน่งในแนวเส้น Equator ของสับประคิบพันธุ์ปัดดาเวียโดยเฉลี่ย	41
ตารางที่ 5.10 ความถี่ที่ได้จากการเคาะ 4 ตำแหน่งในแนวเส้น Equator ของสับประคูกพันธุ์ปัดดาเวียโดยเฉลี่ย	42
ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองแสงโมคิบ (อายุ 17 วัน) พันธุ์จินตหรา	47
ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองแสงโมสุก (อายุ 28 วัน) พันธุ์จินตหรา	48
ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองสับประคิบพันธุ์ปัดดาเวีย	49
ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองสับประคูกพันธุ์ปัดดาเวีย	50

สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 การสั่นแบบมีความหน่วง	5
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของโซลินอยด์	7
รูปที่ 2.3 ทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของเส้นสัญญาณต่าง ๆ ของพอร์คานาน	10
รูปที่ 2.5 แสดงอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องวัดความแม่นยำของแดงโม	11
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรทำงานของโซลินอยด์โดยรับสัญญาณจากพอร์คานานของคอมพิวเตอร์	13
รูปที่ 3.2 โครงสร้างของชุดทดลองในการออกแบบครั้งที่ 1	15
รูปที่ 3.3 ขนาดของโครงสร้างชุดทดลองในการออกแบบครั้งที่ 1	15
รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างเครื่องต้นแบบที่เสร็จแล้ว	16
รูปที่ 3.5 แสดงขนาดของเครื่องต้นแบบ	17
รูปที่ 4.1 Front panel ของโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการทดลอง	18
รูปที่ 4.2 Block Diagram ในส่วน Sound Format	20
รูปที่ 4.3 Block Diagram ในส่วนการประมวลผล	21
รูปที่ 4.4 Block Diagram ในส่วนควบคุมพอร์คานาน	22
รูปที่ 5.1 แสดง การปรับเทียบด้วยเครื่อง Oscilloscope	24
รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบกราฟที่ได้จาก Oscilloscope และกราฟที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW 7.1	26
รูปที่ 5.3 แสดงแดงโมที่ใช้ในการทดลอง	28
รูปที่ 5.4 แสดงการจัดวางตำแหน่งไมโครโฟนโดยที่ (ก) 0 องศา (ข) 90 องศา (ค) 180 องศา (ง) 270 องศา	30
รูปที่ 5.5 แสดงหัวอะคติก ขาง และหัวเหล็ก	32
รูปที่ 5.6 กราฟ Time Domain และ Frequency Domain ของแดงโมลูกที่ 1 เมื่อ (ก) หัวขาง (ข) หัวอะคติก (ค) หัวเหล็ก	34
รูปที่ 5.7 แสดงฐานรองรับอะคติก และ ไมโคร ไฟเบอร์	35
รูปที่ 5.8 แสดง Time domain และ frequency domain เมื่อ (ก) ฐานรองรับเป็นอะคติก (ข) ฐานรองรับเป็น ไมโครไฟเบอร์	37
รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบความถี่กับแอมพลิจูดของแดงโมคียบกับแดงโมสุก	40
รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบความถี่กับแอมพลิจูดของสับประคียบและสับประคสุก	43
รูปที่ ข.1 กราฟจากการทดลองแดงโมคียบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 1	52
รูปที่ ข.2 กราฟจากการทดลองแดงโมคียบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 2	52

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ ข.3 กราฟจากการทดลองแดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 3	52
รูปที่ ข.4 กราฟจากการทดลองแดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 4	52
รูปที่ ข.5 กราฟจากการทดลองแดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 5	53
รูปที่ ข.6 กราฟจากการทดลองแดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 1	53
รูปที่ ข.7 กราฟจากการทดลองแดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 2	53
รูปที่ ข.8 กราฟจากการทดลองแดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 3	53
รูปที่ ข.9 กราฟจากการทดลองแดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 4	54
รูปที่ ข.10 กราฟจากการทดลองแดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 5	54
รูปที่ ค.1 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 1	56
รูปที่ ค.2 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 2	56
รูปที่ ค.3 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 3	56
รูปที่ ค.4 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 4	56
รูปที่ ค.5 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 5	57
รูปที่ ค.6 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 1	57
รูปที่ ค.7 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 2	57
รูปที่ ค.8 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 3	57
รูปที่ ค.9 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 4	58
รูปที่ ค.10 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 5	58
รูปที่ ง.1 แดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 1	60
รูปที่ ง.2 แดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 2	60
รูปที่ ง.3 แดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 3	60
รูปที่ ง.4 แดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 4	60
รูปที่ ง.5 แดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 5	61
รูปที่ ง.6 แดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 1	61
รูปที่ ง.7 แดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 2	61
รูปที่ ง.8 แดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 3	61
รูปที่ ง.9 แดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 4	62
รูปที่ ง.10 แดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 5	62
รูปที่ จ.1 สับประคิบลูกที่ 1	64
รูปที่ จ.2 สับประคิบลูกที่ 2	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ จ.3 สับประคติบลูกที่ 3	64
รูปที่ จ.4 สับประคติบลูกที่ 4	64
รูปที่ จ.5 สับประคติบลูกที่ 5	65
รูปที่ จ.6 สับประคตูกลูกที่ 1	65
รูปที่ จ.7 สับประคตูกลูกที่ 2	65
รูปที่ จ.8 สับประคตูกลูกที่ 3	65
รูปที่ จ.9 สับประคตูกลูกที่ 4	66
รูปที่ จ.10 สับประคตูกลูกที่ 5	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันความต้องการผลไม้ที่มีคุณภาพสูง เพื่อใช้ในการส่งออกและในกระบวนการแปรรูป มีปริมาณมากขึ้น ผลไม้ที่จะเข้าสู่กระบวนการแปรรูปหรือการส่งออกจะต้องมีการคัดแยกอย่างมีคุณภาพและรวดเร็ว การคัดแยกผลไม้ไม่เพียงแต่พิจารณาคุณภาพภายนอก เช่น สี ความสมบูรณ์ของเปลือก และขนาดเท่านั้น ยังต้องคำนึงถึงคุณภาพเนื้อภายใน เช่น ความเป็นโพรง ความสมบูรณ์ของเนื้อในและความสุกแก่อีกด้วย ซึ่งการคัดแยกโดยพิจารณาคุณสมบัติดังกล่าว มีหลายวิธี ได้แก่ การคัดแยกแบบทำลายเนื้อ เช่น การเจาะ การผ่านเปลือก และการคัดแยกแบบไม่ทำลายเนื้อ เช่น การเคาะฟังเสียง การใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic) การใช้แมชชีนวิชัน (Machine Vision) และการวิเคราะห์เสียงสะท้อนของผลไม้

อุตสาหกรรมในประเทศไทยส่วนใหญ่ ยังคงใช้แรงงานคนในการคัดแยก โดยวิธีที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับชนิดผลไม้ เช่น มะละกอ ส้ม จะใช้วิธีคัดจากสีของเปลือก หรือถ้าเป็นผลไม้เปลือกแข็ง เช่น แดงโม สับปะรด ฯลฯ จะใช้วิธีการคัดแยกด้วยการเคาะฟังเสียง ซึ่งวิธีนี้จะต้องใช้ความชำนาญ เป็นอย่างมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานไม่ดีเท่าที่ควร

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์เสียงสะท้อนของผลไม้ ทำให้ทราบว่า การเกิดการสั่นสะเทือนส่วนใหญ่ มักจะมีการเกิดเสียงตามมาด้วย ดังนั้นการวิเคราะห์เสียงสะท้อนของผลไม้ อาจจะวัดการสั่นสะเทือน หรือวัดเสียงที่เกิดจากการสั่นสะเทือน ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป การวัดเสียงจะมีข้อดีตรงที่กระทำได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องเอาตัวอุปกรณ์การวัดไปติดอยู่กับวัตถุใดๆที่ต้องการวัด แต่การวัดระดับเสียงก็มักมีปัญหาของเสียงอื่นนอกเหนือจากเสียงที่เราต้องการมาสอดแทรกบดบัง แต่การวัดการสั่นสะเทือนจะสามารถวัดเฉพาะเจาะจงลงไป ณ ตำแหน่งที่ต้องการวัดได้

ดังนั้นจึงทำให้เกิดแนวคิดในการออกแบบและสร้างชุดทดลองหาคุณสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้ซึ่งชุดทดลองนี้สามารถตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลไม้นำมาตรวจสอบและยังมีความแม่นยำในการตรวจวัด สามารถแสดงผลออกมาให้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลได้อย่างรวดเร็ว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.2 สร้างชุดทดลองหาคุณสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้

1.2.2 พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุม แสดงผล และสามารถประมวลผลได้

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้เครื่องทดสอบคุณสมบัติของผลไม้โดยไม่ทำลายที่ใช้งานได้จริง

1.3.2 เพื่อเป็นแนวทางในการค้นคว้าพัฒนาต่อไป

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษาการทำงานพื้นฐานของเครื่องวัดการสั่นสะท้อนของผลไม้

1.4.2 สร้างเครื่องที่สามารถใช้งานได้จริง

1.4.3 พัฒนาโปรแกรมที่ใช้กับชุดทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน คือ ปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นแรงภายในหรือแรงภายนอกก็ได้

2.1.1 ประเภทของการสั่นสะเทือน

แบ่งได้เป็นสองประเภท คือ

(1) การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration) คือ การเคลื่อนที่กลับไปมาของมวลในระบบภายใต้การกระทำของแรงภายในระบบ โดยปราศจากแรงภายนอกกระทำ ความถี่ดังกล่าวจะเรียกว่า “ความถี่ธรรมชาติ” (Natural Frequency) ซึ่งอาจมีความถี่เดียวหรือหลายความถี่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของการสั่นสะเทือน

(2) การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (Force Vibration) คือ การเคลื่อนที่กลับไปมาของมวลในระบบอันเกิดจากแรงภายนอก และการสั่นสะเทือนนี้เป็นไปตามลักษณะของแรงภายนอกและความถี่ของแรงที่มากระตุ้นระบบ หากความถี่ของแรงภายนอกที่มากระทำนั้นตรงกับความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของระบบเข้าก็จะทำให้เกิดปรากฏการณ์สั่นพ้อง (Resonance) ขึ้น นั่นคือขนาดของการสั่นสะเทือนถูกขยายใหญ่ขึ้นอย่างมาก

2.1.2 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสามารถกระทำโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้น แล้วนำผลเฉลยทางคณิตศาสตร์มาพิจารณา เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องซึ่งจะมีผลต่อขนาดของการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนที่นำมาวิเคราะห์มีทั้งการสั่นสะเทือนที่มีความหน่วง และไม่มีความหน่วง

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้บรรยายปรากฏการณ์การสั่นสะเทือนนั้นจำนวนพิกัดอิสระ (Independent Coordinate) ที่ใช้ในการบรรยายการเคลื่อนที่ของระบบ จะถูกเรียกว่าจำนวนลำดับขั้นความเสรี (Degree of Freedom) ของระบบนั้นๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าอนุภาคอิสระเคลื่อนที่ไปในสามมิติ อนุภาคก็จะมีลำดับขั้นความเสรีเท่ากับ 3 เพราะต้องการพิกัด x , y , z ในการกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของอนุภาค ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ใน 3 มิติ ต้องการลำดับชั้นความเร็วเท่ากับ 6 กล่าวคือ ใช้พิกัด x, y, z ในการกำหนดตำแหน่ง ส่วนมุมอีกสามมุมในการกำหนดลักษณะการหมุนของวัตถุเกร็งรอบแกน x, y, z ด้วย นอกจากนั้นสำหรับวัตถุยืดหยุ่นที่ยาวต่อเนื่อง (Continuous Elastic Body) นั้น ต้องใช้จำนวนพิกัดเป็นอนันต์ในการบรรยายการเคลื่อนที่หรือตำแหน่งของวัตถุดังกล่าว (6 พิกัด สำหรับตำแหน่งแต่ละตำแหน่งบนวัตถุต่อเนื่อง) อย่างไรก็ตาม ในหลายๆกรณี การวิเคราะห์ระบบดังกล่าวจะสามารถกระทำได้ โดยการใช้อนุมิตฐานและการประมาณการใช้ระบบดังกล่าวมีลำดับชั้นความเร็วเป็นจำนวนนับได้ และเป็นที่น่าสนใจว่าในหลายๆกรณี การวิเคราะห์ระบบดังกล่าวสามารถกระทำได้อย่างแม่นยำ โดยการสมมติให้ระบบมีการเคลื่อนที่ที่มีลำดับชั้นความเร็วเท่ากับหนึ่ง

ดังนั้นในการศึกษาพฤติกรรมพื้นฐานของการสั่นสะเทือนจึงจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่มีลำดับชั้นความเร็วเท่ากับหนึ่งมาบรรยาย เพื่อศึกษาผลการตอบสนองในโหมด (Mode) โดโหมดหนึ่งเท่านั้น

2.1.3 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วง (Undamped Free Vibration)

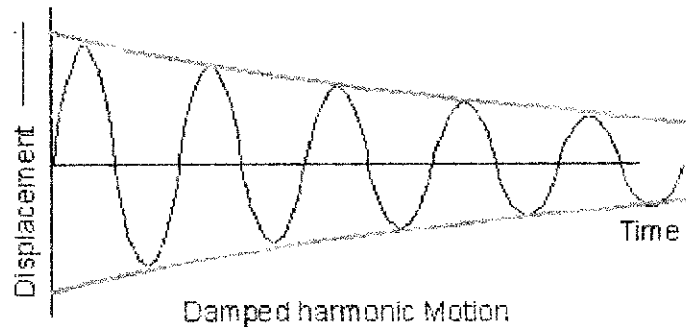
การสั่นสะเทือนโดยทั่วไป จะมีการสูญเสียพลังงานหรือมีความหน่วงอยู่โดยธรรมชาติ การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วง คือ การสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงภายในโดยไม่มีแรงภายนอกมากระทำ และเป็นการสั่นสะเทือนอุดมคติในทางทฤษฎีที่ไม่มีการสูญเสียพลังงานหรือไม่มีความหน่วง จุดประสงค์หลักของการศึกษาพฤติกรรมของการสั่นสะเทือนแบบนี้ก็คือ การคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติของระบบ

2.1.4 การสั่นสะเทือนแบบอิสระที่มีความหน่วง (Damped Free Vibration)

ระบบการสั่นสะเทือนแบบอิสระที่ไม่มีความหน่วงนั้นเป็นระบบทางอุดมคติ ระบบต่างๆ ที่ใช้งานอยู่จริงจะมีความหน่วงแฝงอยู่ ซึ่งความหน่วงนี้จะเป็นตัวที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของระบบไป ถ้าปริมาณของพลังงานสูญเสียเนื่องจากความหน่วงนี้มีค่ามาก ในการวิเคราะห์ระบบก็จะต้องนำเอาความหน่วงนี้มาคิดด้วย ความหน่วงที่จะทำการวิเคราะห์และพิจารณาในที่นี้จะเป็นความหน่วงแบบหนืด (Viscous Damping)

การหน่วงแบบหนืดนี้จะก่อให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความเร็วของการเคลื่อนที่ของมวล ในการสั่นสะเทือนที่เป็นจริงนั้น การสั่นสะเทือนจะลดลงเรื่อยๆจนหยุดนิ่ง ดังรูปที่

2.1



Damped harmonic Motion
รูปที่ 2.1 การสั่นแบบมีความหน่วง

2.1.5 การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้น (Force Vibration)

การสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นเป็นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากแรงภายนอกมากระตุ้น และการสั่นสะเทือนจะเป็นไปตามลักษณะของแรงภายนอกและความถี่ของแรงที่มากระตุ้นระบบ ลักษณะของแรงภายนอกที่มากระตุ้นระบบมีได้หลายรูปแบบ อาทิ การกระตุ้นในลักษณะฮาร์มอนิก (Harmonic) การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกเป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในรูปของคลื่นไซน์ (Sine) หรือ โคไซน์ (Cosine) ในลักษณะคาบ หรือในลักษณะสุมเป็นต้น

เมื่อระบบถูกกระตุ้นด้วยแรงภายนอกแบบฮาร์มอนิก การสั่นสะเทือนของระบบจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับแรง คือ จะสั่นสะเทือนด้วยความถี่เดียวกับความถี่ที่มากระตุ้น

2.1.6 ความถี่สั่นพ้อง (Resonance Frequency)

ความหมายของความถี่สั่นพ้อง (Resonance Frequency) คือ เสียงก้ำกอนหรือการพ้องเสียง เป็นลักษณะของเสียงหรือคลื่นอย่างหนึ่งที่เกิดจากการที่มีคลื่นความถี่ใหม่เกิดขึ้นมาในช่วงความถี่เสียงเดิมที่มีอยู่ และความถี่ใหม่มีความถี่เท่ากับความถี่เดิม จึงทำให้มีความเข้มเพิ่มขึ้นจากเดิม หรือแอมพลิจูดของการสั่นจะมีค่าสูงกว่าปกติ ทำให้ได้ยินเสียงดังกว่าเดิม ซึ่งในบางครั้งเสียงที่เกิดขึ้นใหม่นั้นอาจจะมีค่าต่ำกว่าระดับการได้ยิน แต่เมื่อรวมกับเสียงอื่นๆที่มีความถี่เดียวกันแล้วก็เกิดความเข้มขึ้นมีผลให้วัตถุที่อยู่ใกล้มีการสั่นสะเทือนทำให้เกิดเสียงดัง

การสั่นพ้องของผลไม้เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่สามารถระบุคุณภาพของผลไม้ได้ การตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ใช้ความถี่สั่นพ้องเป็นตัววัดคุณภาพนี้มีประโยชน์เนื่องจากสามารถตรวจสอบผลผลิตได้โดยไม่ต้องทำให้เกิดความเสียหายกับผลผลิตนั้นๆ ทำให้สามารถประกันคุณภาพผลผลิตได้

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเสียงสะท้อนกับคุณสมบัติภายในของผลไม้

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการหาคุณสมบัติภายในของผลไม้โดยไม่ทำลาย {1,3} ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของความแน่นเนื้อกับน้ำหนักและความถี่ธรรมชาติ ไว้ดังสมการ

$$S=f^2m^{2/3} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ S = ความแน่นเนื้อ

f = ความถี่ธรรมชาติลำดับที่หนึ่งหรือสอง

m = มวลของผลไม้ที่ทำการทดสอบ

ซึ่งผลไม้ที่ใช้ในงานวิจัยนั้นๆ ได้ใช้ผลไม้ในการทดสอบแตกต่างกันไปเช่น แอปเปิล แดงโมมะเขียวเทศ ลูกท้อ ฯลฯ

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อกับความสุกแก่

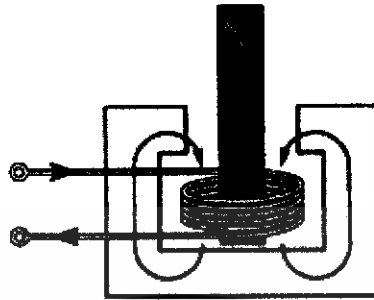
ความแน่นเนื้อ (Flesh Firmness) ของผักและผลไม้ สามารถใช้ทำนายอายุ (วัย) ของผลิตผลนั้นๆ ได้ผลไม้ที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีขนาดเล็กเรียงอัดตัวกัน จะมีความแน่นเนื้อสูงกว่าพวกที่มีขนาดของเซลล์ใหญ่ เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเซลล์น้อย เมื่อผลไม้เจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะเข้าสู่ช่วงความแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological Maturity) จากนั้นกระบวนการสุกจึงเริ่มเกิดขึ้น แป้งที่เก็บสะสมอยู่ในเซลล์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล ซึ่งอาจสังเกตได้จากผลไม้เมื่อสุกจะมีรสหวานขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็เกิดการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ อันเนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ เพคติก (Pectic Enzyme) โดยเอนไซม์ดังกล่าวจะย่อยสลายคอลเลนไคมา (Collenchyma) ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อ และเอนไซม์ชนิดนี้จะอยู่ในรูปไม่ละลายน้ำเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการนิ่มของผักและผลไม้ ทำให้ความแน่นเนื้อของ ผลไม้ชนิดนี้ต่ำลง

2.4 อุปกรณ์กำเนิดการสั่นสะเทือนและอุปกรณ์รับสัญญาณการสั่นสะเทือน

2.4.1 โซลินอยด์ (Solenoid)

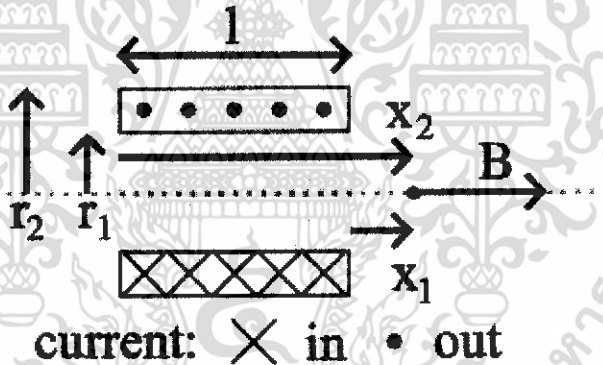
หลักการการทำงานของโซลินอยด์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดตัวนำใดๆ ที่ขดเป็นวงๆ หลายวงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดแต่ละขดจะอยู่ในทิศทางเสริมกันและก่อกำเนิดเป็นเส้นแรงของสนามแม่เหล็กถาวรแท่งหนึ่งและสนามแม่เหล็กก็จะหมุนเวียนอยู่ในเหล็กอ่อนรูปตัวซี ตรงกลางของขดลวดจะมีแกนกระตุ่งทำจากเหล็ก ดังรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3

ในโซลินอยด์ไฟกระแสตรง โดยกระแสที่ไหลในขดลวด จะค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าแกนกระทุ้งจะอยู่ในตำแหน่งใดก็ตาม สำหรับโซลินอยด์ไฟสลับ กระแสในขณะที่แกนกระทุ้งอยู่นอกขดลวดจะมีค่าสูง และเมื่อแกนกระทุ้งถูกคูดเข้ามาจนสุดขดลวด กระแสจะลดต่ำลง



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของโซลินอยด์

การคำนวณค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากโซลินอยด์



รูปที่ 2.3 ทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

$$B = \mu_0 ni/l \dots\dots\dots(2)$$

- เมื่อ B = สนามแม่เหล็ก (เทสลา)
- μ_0 = ค่าคงที่ = 1.26×10^{-6} H/m or Tm/A, 1.26×10^{-4} Tcm/A หรือ 4.95×10^{-5} Tin/A
- i = กระแสไฟฟ้าในขดลวด (แอมแปร์)
- n = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)
- l = ความยาวของขดลวดโซลินอยด์ (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ไมโครโฟน

เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นเสียง (Sound Wave) หรืออากาศจากแหล่งกำเนิดเสียง เช่น เสียงพูด เสียงเพลง เสียงเครื่องดนตรี เป็นต้น ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าความถี่เสียงไหลไปตามสายไมโครโฟนสู่เครื่องขยายเสียง ไมโครโฟนแบ่งตามวัสดุที่ใช้ได้เป็น 6 ชนิดคือ

(1) ไมโครโฟนชนิดคาร์บอน (Carbon Microphone) ไมโครโฟนชนิดนี้ให้เสียงที่มีคุณภาพไม่ค่อยดี ปัจจุบันใช้ในเครื่องโทรศัพท์เท่านั้น

(2) ไมโครโฟนชนิดคริสตัล (Crystal Microphone) ไมโครโฟนที่มีราคาถูก น้ำหนักเบาแต่ไม่ทนต่อสภาพความร้อน หรือความชื้นสูง เพราะอาจทำให้คริสตัลเสื่อมได้ ไมโครโฟนแบบนี้ให้กำลังไฟฟ้าออกมาสูงจึงไม่ต้องอาศัยหม้อแปลง (Transformer) ในตัวของไมโครโฟนช่วยแต่อย่างไร สามารถส่งสัญญาณไปยังเครื่องขยายเสียงได้โดยตรง สามารถใช้สายไมโครโฟนต่อยาวออกไปได้ไม่เกิน 25 ฟุต เพราะถ้าพ่วงสายยาวกว่านี้จะทำให้มีสัญญาณอื่นมารบกวนได้และทำให้สัญญาณจากไมโครโฟนอ่อนลงมาก

(3) ไมโครโฟนชนิดเซรามิก (Ceramic Microphone) มีลักษณะการออกแบบหรือหลักการทำงานคล้ายกับไมโครโฟนชนิดคริสตัล ต่างกันที่วัสดุเซรามิกมีคุณภาพดีกว่าคริสตัล เพราะทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นมากกว่า

(4) ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ (Condenser Microphone) เป็นไมโครโฟนที่กำลังนิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน สามารถรับเสียงได้ไวมาก มีราคาแพงและมักติดอยู่กับเครื่องบันทึกเสียงต่างๆ ไป

(5) ไมโครโฟนชนิดริบบอน (Ribbon or Velocity Microphone) เป็นไมโครโฟนที่บอบบาง เสียง่ายไม่มีโคอะเฟรม การทำงานอาศัยการสั่นสะเทือนของแผ่นริบบอน มีลักษณะบางเบา และจึงตั้งอยู่ระหว่างแม่เหล็กถาวรกำลังสูงและจะทำงานทันทีเมื่อได้รับการสั่นสะเทือนเป็นไมโครโฟนที่มีคุณภาพสูงและควบคุมสัญญาณได้ดีที่สุด (Highest Fidelity) แต่ไม่ค่อยนิยมใช้กันมาก เพราะมีข้อเสียคือ ไม่เหมาะต่องานสถานที่ แม่แต่เสียงลมพัดก็จะรับเสียงเอาไว้หมดอาจแก้ไขได้โดยใช้วัสดุกันลม เป็นกระบอกฟองน้ำสวมครอบแต่ก็ไม่ได้ผลนัก นอกจากนี้ยังมีปัญหาอื่นๆ อีก เช่น สัญญาณไฟฟ้าที่ได้ออกมาค่อนข้างต่ำ (Low Output) ต้องใช้เครื่องขยายเสียงที่มีกำลังแรง และคุณภาพสูง ถ้าพูดใกล้มากเสียงลมหายใจจะกลบเสียงที่พูด ไมโครโฟนชนิดนี้ไม่นิยมใช้นอกสถานที่ มักพบในสถานีส่งวิทยุโทรทัศน์และบันทึกเสียง

(6) ไมโครโฟนชนิดไดนามิก (Dynamic Microphone) เป็นแบบที่ได้รับความนิยมมากเพราะให้คุณภาพเสียงดีเหมือนธรรมชาติ มีความทนทานเหมาะสมกับการกระจายเสียงหรือระบบเสียงหลายประเภท แต่ราคาค่อนข้างสูง

ข้อมูลที่ควรทราบของไมโครโฟนคือ

(1) อิมพีแดนซ์ (Impedance) หมายถึงตัวเลขที่บอกค่าความต้านทานของไมโครโฟนที่เกิด ขึ้นขณะที่มีสัญญาณไฟฟ้าความถี่เสียง หรือกระแสสลับไหลผ่านมีหน่วยเป็น โอห์ม แบ่งเป็น 2 พวก คือ

- อิมพีแดนซ์สูง หรือมีค่าความต้านทานสูง (High Impedance) จะมีค่าอยู่ในช่วง 5, 10, 50 หรืออาจถึง 100 กิโลโอห์ม ($K\Omega$) จะให้กำลังของสัญญาณออกมาต่ำ (Low Power Output) มีเสียงรบกวนได้ง่าย เช่นเสียงฮัม ยิ่งถ้าต่อสายยาวๆ หรือเกินกว่า 25 ฟุต ก็ยังทำให้สูญเสียกำลังของสัญญาณมากขึ้น คุณภาพของเสียงจะลดลงด้วย ใช้ต่อร่วมกับเครื่องขยายเสียงโดยต่อช่องที่ช่อง High Impedance

- อิมพีแดนซ์ต่ำหรือมีค่าความต้านทานต่ำ (Low Impedance) มีค่าอิมพีแดนซ์อยู่ในช่วง 200 ถึง 600 โอห์มซึ่งมีคุณภาพดีให้กำลังของสัญญาณออกสูง (High Power Output) ไม่มีเสียงรบกวนสามารถใช้กับสายยาวๆ ได้แต่จะมีความไวในการรับเสียงต่ำใช้ต่อร่วมกับเครื่องขยายเสียงที่ช่อง Low Impedance

(2) ผลในการตอบสนองความถี่ของเสียง (Frequency Response) คือความสามารถของไมโครโฟนในการรับความถี่ของคลื่นเสียงได้กว้างและมีความเรียบมากน้อย ซึ่งไมโครโฟนแต่ละชนิดก็จะออกแบบมาเพื่อใช้ในลักษณะงานต่างๆ กัน ฉะนั้น จึงมีความสามารถในการตอบสนองความถี่ต่าง ๆ กัน มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hertz : Hz) เช่น ไมโครโฟน สำหรับพูดในที่ชุมนุมชน ประกาศสั่งงาน การเรียนการสอนในห้องเรียน จะใช้ช่วงการตอบสนองความถี่ต่ำ ๆ และแคบ ๆ ก็พอ เช่น 300-5,000 เฮิรตซ์ แต่ถ้าต้องการคุณภาพของเสียงที่เรียบและแยกความถี่ได้กว้างขึ้น ควรอยู่ในช่วง 70-10,000 เฮิรตซ์ ถ้าต้องการคุณภาพของเสียงที่ดีเยี่ยมนอกจากเสียงพูดแล้ว ยังมีเสียงดนตรีด้วย ควรต้องใช้ไมโครโฟนที่ให้ผลตอบสนองความถี่ที่กว้างและเก็บความถี่ได้ละเอียดยิ่งขึ้น ควรอยู่ในช่วง 50-15,000 เฮิรตซ์ แต่ราคาก็จะค่อนข้างแพงตามคุณภาพไปด้วย

(3) ความไวในการรับเสียงของไมโครโฟน (Sensitivity) คือความสามารถในการรับความแรงของคลื่นเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงจากระยะทางไกลๆ ใกล้เคียงๆ กัน นั่นเองไมโครโฟนที่มีความไวสูงจะสามารถรับเสียงเบาๆ และอยู่ไกลออกไปได้ ไมโครโฟนความไวต่ำ ต้องขยับคลื่นเสียงดังๆ และใกล้ๆ มีหน่วยเป็น เดซิเบล (Decibel: dB) โดยวัดจากสัญญาณที่ได้ออกจากไมโครโฟนผ่านเข้าไปเครื่องขยายเสียง เช่น -90 dB -60 dB -45 dB เป็นต้น ค่าติดลบมาก จะมีความไวกว่า ค่าติดลบน้อย เช่น -90 dB มีความไวกว่า -60 dB เป็นต้น

2.5 ความรู้เบื้องต้นของพอร์ตขนาน

พอร์ตขนาน หรือ Parallel Port นั้นเดิมเรียกว่า Printer Port เพราะการใช้งานส่วนใหญ่กับพอร์ตขนานเป็นการใช้งานโดยต่อกับพริ้นเตอร์เป็นหลัก โดยที่พอร์ตขนานนั้นสามารถให้ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลได้รวดเร็วกว่าพอร์ตอนุกรมราว 8-10 เท่า ซึ่งสามารถส่งข้อมูลขนาน 8 บิตได้เลย

ลักษณะหัวต่อของพอร์ตขนานจะเป็นแบบ D-type 25 pin ตัวเมียจะอยู่หลังเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป ปกติแล้วจะใช้ในการติดต่อกับเครื่องพริ้นเตอร์

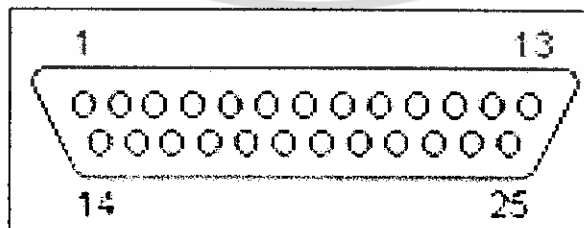
อย่างไรก็ตามนอกจากพอร์ตขนานจะใช้ติดต่อกับเครื่องพริ้นเตอร์แล้วยังสามารถใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ชนิดอื่นๆ ได้อีก ซึ่งการใช้พอร์ตขนานในการเชื่อมต่อนั้นถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลายมาก ทั้งนี้เพราะสามารถรับและส่งข้อมูลในลักษณะขนานได้ ทำให้นำไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้เป็นอย่างดี อีกทั้งลักษณะแรงดันที่จ่ายออกมาก็เป็น TTL โดยสัญญาณลอจิก "1" จะเท่ากับ 5 โวลต์ และลอจิก "0" จะเท่ากับ ศูนย์โวลต์ ทำให้ง่ายในการออกแบบวงจรและการประยุกต์ใช้งาน

ข้อเสียก็คือไม่สามารถทำงานในระยะทางไกลๆ ได้เพราะจะเกิดความคิดพลาดของข้อมูลได้ง่ายเนื่องจากแรงดันไม่สม่ำเสมอ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในเรื่องของสายเพราะต้องใช้สายสัญญาณหลายเส้น

พอร์ตขนานของเครื่องคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยสัญญาณทั้งหมด 25 เส้นสัญญาณ แต่ใช้งานกันจริงๆ 17 เส้นสัญญาณ โดยสัญญาณจะแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะหน้าที่ของสัญญาณ ประกอบด้วย

- Data Port ก็จะส่งค่าได้อย่างเดียวซึ่งมีจำนวน 8 เส้นสัญญาณ คือ pin 2 ถึง pin 9
- Status Port คือเป็นพอร์ตที่อ่านได้อย่างเดียวไม่สามารถเขียนข้อมูลได้จำนวน 5 เส้นสัญญาณ คือ pin 10, 11, 12, 13 และ 15
- Control Port จำนวน 4 เส้นสัญญาณ คือ pin 1, 14, 16 และ 17
- Ground Port จำนวน 8 เส้นสัญญาณ คือ pin 18 ถึง pin 25

ตำแหน่งของเส้นสัญญาณต่าง ๆ ของพอร์ตขนานแสดงดังรูปที่ 2.4



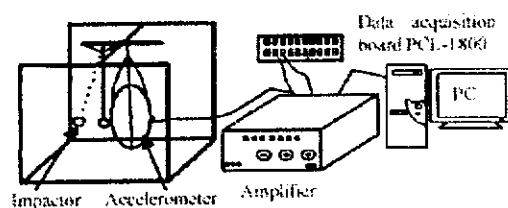
รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของเส้นสัญญาณต่าง ๆ ของพอร์ตขนาน

เหตุผลในการเลือกใช้งานพอร์คขนาน

1. ความเข้ากันได้กับคอมพิวเตอร์ เพราะพอร์คขนานนั้นใช้งานกับพีซีแทบทุกรุ่น ซึ่งพอร์คขนานนั้นถือเป็นพอร์คมาตรฐาน ใครจะนำมาประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ ก็ได้ ไม่จำเป็นต้องเป็นพริ้นเตอร์อย่างเดียว ทำให้เราไม่ต้องกังวลว่าสร้างวงจรแล้วจะไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้
2. ความประหยัด การใช้งานพอร์คขนานจะช่วยลดความจำเป็นในการที่ต้องการการ์ดเข้าไปเสียบในเมนบอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งถือว่ามีจำนวนช่องเสียบที่ค่อนข้างจำกัดทำให้การนำไปใช้งานประหยัดทั้งเนื้อที่ และอึดหยุ่นมากเมื่อต้องใช้งานกับเครื่องอื่น ๆ อีก ทั้งปัจจุบันอุปกรณ์ที่สนับสนุน ชิ้นส่วนอะไหล่เกี่ยวกับพอร์คขนานก็มีมากทำให้หาซื้อได้ง่าย
3. ความปลอดภัย การที่สร้างอุปกรณ์แล้วเชื่อมต่อด้วยพอร์คขนานนั้นช่วยให้เราไม่ต้องถอดเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเสียบการ์ดอื่น ๆ ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายระหว่างการทำงาน
4. งานที่ต้องการช่องสัญญาณกว้าง และเร็ว การใช้งานพอร์คขนานทำให้เราส่งข้อมูลแบบขนานซึ่งทำให้ส่งข้อมูลพร้อม ๆ กัน การทำงานจึงรวดเร็วกว่าพอร์คอนุกรม (แต่อาจให้ระยะใช้งานที่สั้นกว่าพอร์คอนุกรม)

2.6 การตรวจเอกสาร

Jamal et al. (2005) ได้ทำการหาค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของแตงโมโดยใช้ตัวกำเนิดการสั่นสะเทือนเป็นลูกตุ้มทรงกลมขนาด 30 mm. ที่ทำจากวัสดุแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ไม้, ยาง และเหล็ก ตัวรับสัญญาณใช้เพียโซอิเล็กทริก เปลี่ยนการสั่นสะเทือนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ผ่านเครื่องขยายสัญญาณ และผ่าน PCL-1800 เข้าคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลค่าที่ส่งออกมาได้จากรูปที่ 2.5 จากงานวิจัยนี้ ได้บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความแข็ง (Stiffness Factor) กับความถี่ธรรมชาติและมวลของผลไม้ โดยที่เมื่อสัมประสิทธิ์ความแข็งเพิ่มขึ้นความถี่ธรรมชาติก็เพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.5 แสดงอุปกรณ์ต่างๆของเครื่องวัดความแน่นเนื้อของแตงโม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jamal et al. (2005) ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ธรรมชาติที่ได้จากเสียงสะท้อนและความแน่นเนื้อ (Firmness) ของแตงโม เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น เมื่อความถี่ธรรมชาติเพิ่มขึ้น ความแน่นเนื้อก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ของความถี่ธรรมชาติกับสัมประสิทธิ์ความแข็ง (Stiffness Factor) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งสามารถหาได้จาก $S = f^2 m^{2/3}$ จากสมการบอกถึงความสัมพันธ์ของความถี่ธรรมชาติและน้ำหนักของผลไม้มั้ที่ทำการทดสอบกับค่าความแข็ง

Iglesias et al. (2004) ได้หาคุณสมบัติภายในของแตงโมไร้เมล็ดโดยใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียง โดยใช้การเคาะเป็นตัวกำเนิดการสั่นสะเทือนและใช้ไมโครโฟนเป็นตัวรับสัญญาณ โดยที่แตงโมกลวงจะมีความถี่ต่ำกว่าแตงโมเนื้อแน่น และความหนาแน่นของแตงโมกลวงจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าแตงโมเนื้อแน่น

Yamamoto et al. (1980, 1981) ได้พัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายสำหรับการวัดคุณภาพเนื้อสัมผัสของแอปเปิล และแตงโมโดยอาศัยคลื่นเสียงสะท้อน (Acoustic Response) ผลไม้มั้โดยใช้ไมโครโฟนเป็นตัวรับสัญญาณ พวกเขาพบว่าความถี่สั่นพ้องของแอปเปิลและแตงโมจะลดลงตามระยะเวลาที่เก็บ และดัชนีความแน่นเนื้อ (Firmness Index) สามารถแสดงเป็นฟังก์ชันของความถี่สั่นพ้อง, น้ำหนัก และความหนาแน่นของผลไม้มั้ได้

Harker et al. (2002) ได้ทำการทดลองหาค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ผลไม้มั้เกิดความเสียหายโดยใช้เพเนโตรมิเตอร์ (Penetrometer) โดยผลการทดลองสรุปได้ว่าแรงที่ทำให้แตงโมเสียหายคืออยู่ที่ 5.6 นิวตัน, สับปะรด 7.2 นิวตัน, สตรอเบอร์รี่ 7.0 นิวตัน และ แอปเปิล 36.2 นิวตัน

เครื่องหาคุณสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้มั้สามารถทำได้หลายวิธีแตกต่างกันไป เช่น Wang et al. (2003) วิเคราะห์เสียงสะท้อนของผลไม้มั้โดยใช้ Piezoelectric ติดที่ผิวของผลไม้มั้เป็นตัวรับเสียงสะท้อน ใช้ลูกค้อนเป็นตัวกำเนิดการสั่นสะเทือน จากนั้นนำความถี่ที่ได้ไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติภายใน สำหรับ Gollas et al. (2003) ใช้ Fruit Accelerometer เป็นตัวรับเสียงสะท้อน และใช้เครื่องสั่น (Shaker) เป็นตัวทำให้ผลไม้มั้เกิดการสั่นสะเทือน และ Yamamoto et al. (1980,1981) ใช้ไมโครโฟนเป็นตัวรับเสียงสะท้อน เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น Piezoelectric จะต้องติดกับผิวของผลไม้มั้ ทำให้เสียเวลาแต่จะไม่มีสัญญาณแทรกจากอุปกรณ์อื่นๆ ไมโครโฟนใช้งานง่ายไม่ต้องติดกับผิวของผลไม้มั้ แต่เสียงสะท้อนที่ออกจากผลไม้มั้จะต้องผ่านช่องว่างของอากาศก่อนที่จะเข้าไมโครโฟน ทำให้การวิเคราะห์เสียงสะท้อนเป็นไปได้ยากขึ้น

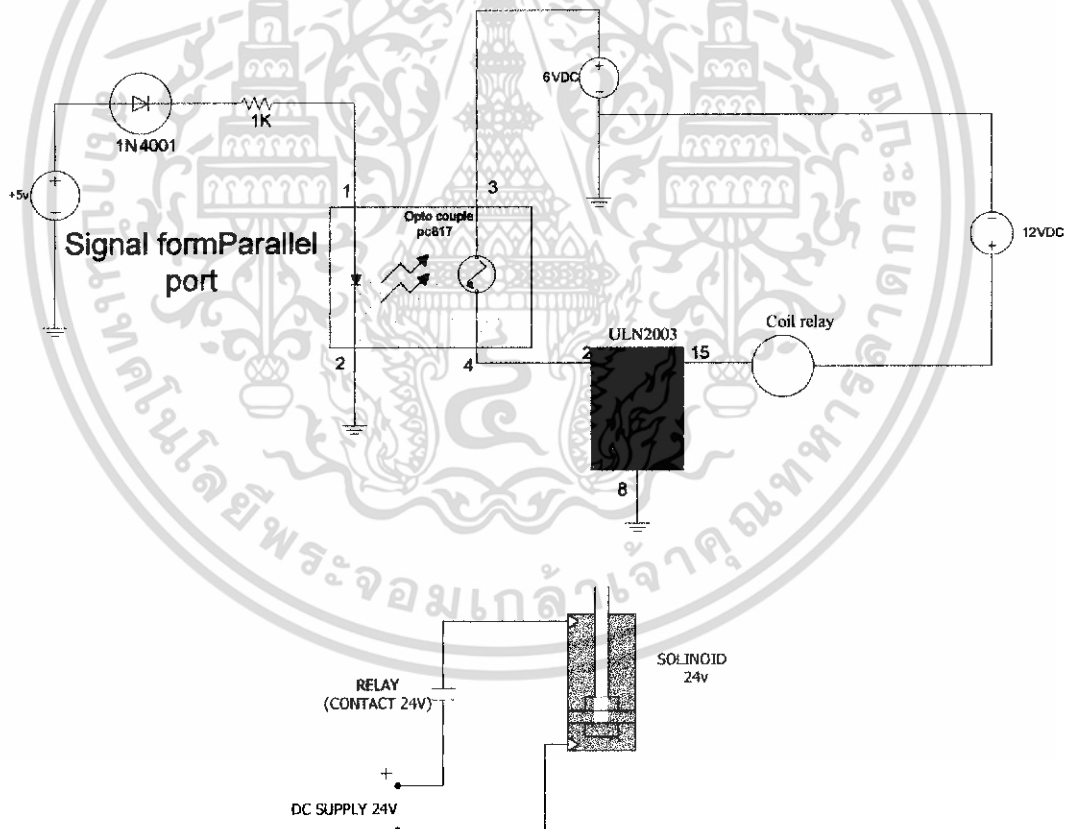
บทที่ 3

หลักการออกแบบชุดทดลองหาสมบัติเสียดทานของผลไม้

3.1 ส่วนกำเนิดการสั่นสะเทือน

ในโครงการนี้ใช้โซลินอยด์ชนิดใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 โวลต์เป็นตัวเคาะผิวของผลไม้ เพื่อให้เกิดการสั่นสะเทือน

เนื่องจากโซลินอยด์เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องมีวงจรไฟฟ้ามาควบคุมการทำงานของตัวโซลินอยด์ โดยวงจรที่ควบคุมโซลินอยด์นี้ถูกออกแบบมาโดยจะต้องรับสัญญาณจากพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์จึงสามารถทำงานได้ โดยการควบคุมโซลินอยด์ให้ทำงานจะควบคุมจากโปรแกรม LabVIEW 7.1 ส่งสัญญาณผ่านพอร์ตขนาน โดยตัวอย่างวงจรดังรูปที่ 3.1 และโซลินอยด์จะถูกควบคุมโดยโปรแกรม LabVIEW 7.1



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรทำงานของโซลินอยด์โดยรับสัญญาณจากพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปิดสวิตช์แล้วกระแสไฟฟ้าที่มาจาก Supply 12 V จะไปรออยู่ที่ Coil Relay 12 V ซึ่ง Relay นี้ยังอยู่ในสถานะ NO (Normal Open) อยู่ ส่วนกระแสไฟฟ้าจาก Supply 6 V จะไปรออยู่ที่ขาที่ 3 ของ Opto Couple เบอร์ PC817 ซึ่งจะยังไม่สามารถผ่านไปยังขาที่ 4 ได้ซึ่งเป็นคุณสมบัติของ Opto Couple โขลินอยด์ในวงจรนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อมีสัญญาณจากพอร์ตขนาน ซึ่งสัญญาณจากพอร์ตขนานนี้มีแรงดันไฟฟ้า +5 V เมื่อมีการสั่งงานจากโปรแกรม LabVIEW 7.1 สัญญาณไฟฟ้าจะออกมาทางพอร์ตขนานผ่านไดโอดเบอร์ 1N4001 การติดตั้งไดโอดนี้เพื่อป้องกันกระแสย้อนกลับไปสร้างความเสียหายให้กับคอมพิวเตอร์ เมื่อสัญญาณจากพอร์ตขนานผ่านไดโอดมาแล้วจะไปเข้าขาที่ 1 ของ Opto Couple PC817 และออกไปลงกราวด์ที่ขา 2 เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านขาที่ 1 ไปยัง ขาที่ 2 แล้ว Opto Couple จะยอมให้กระแสไฟฟ้าขาที่ 3 ไหลผ่านไปยังขาที่ 4 เพื่อไปเข้า IC เบอร์ ULN2003 และไปเข้า Coil Relay 12 V เมื่อ Relay มีกระแสไฟฟ้ามาครบ 2 ด้านแล้ว หน้า Contact ของ Relay จะสัมผัสกัน ซึ่งตอนนี้ Relay จะอยู่ในสถานะ NC (Normal Close) เมื่อครบวงจรแล้วแรงดันไฟฟ้า 24 V จาก DC Supply 24 V จะเข้า Solenoid เพื่อให้ Solenoid 24 V ทำงาน

3.2 ส่วนรับสัญญาณ

ใช้ไมโครโฟนในการรับสัญญาณที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของผลไม้ โดยมีรายละเอียดของไมโครโฟนที่ใช้ดังนี้

ชนิด : ไมโครโฟนชนิดคอนเดนเซอร์ (Condenser Microphone)

ผลในการตอบสนองความถี่ของเสียง (Frequency Response) : ประมาณ 100 – 16000 เฮิรตซ์

(Hz)

ความไวในการรับเสียงของไมโครโฟน (Sensitivity) : 0 เดซิเบล (dB)

อิมพีแดนซ์ (Impedance) : 350 โอห์ม (Ohms)

ขนาด : เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 8 มิลลิเมตร

น้ำหนัก : 4.05 กรัม

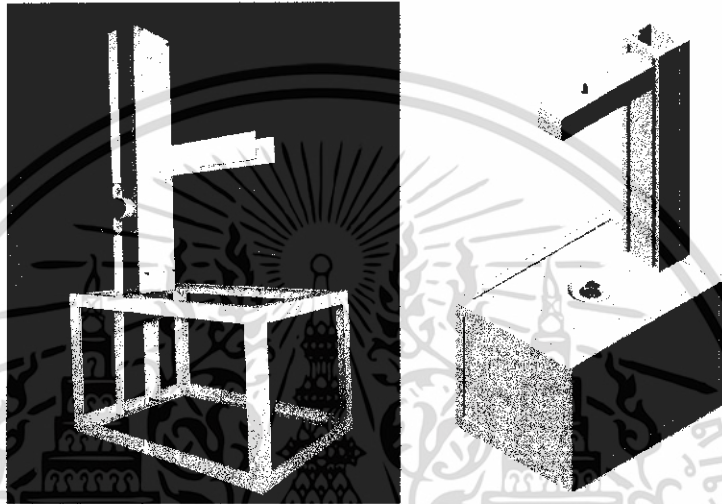
3.3 ส่วนประมวลผล

ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล AMD Duron Processor 995 MHz, ความจุแรม 384 MB

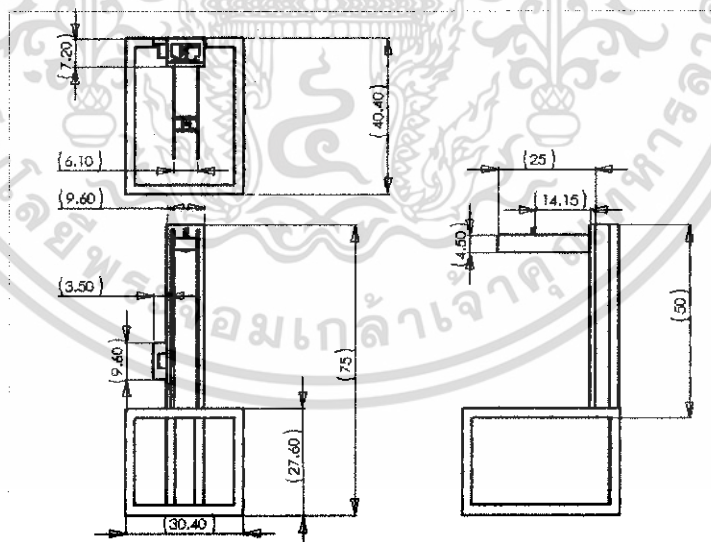
3.4 ส่วนโครงสร้างของชุดทดลอง

3.4.1 การออกแบบครั้งที่ 1

การออกแบบครั้งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.2 จะติดตั้งโซลินอยด์ไว้กับก้านอะคลิกด้านบน และไมโครโฟนไว้ด้านล่างกับฐานรองรับผลไม้ โดยก้านอะคลิกที่ติดตั้งโซลินอยด์จะสามารถปรับระยะได้ตามความสูงของผลไม้ ซึ่งควบคุมด้วยมอเตอร์ Gearbox วัสดุที่ใช้ในการปิดเครื่องและฐานรองรับผลไม้ใช้อะคลิก ขนาดของตัวเครื่องแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของชุดทดลองในการออกแบบครั้งที่ 1



รูปที่ 3.3 ขนาดของโครงสร้างชุดทดลองในการออกแบบครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

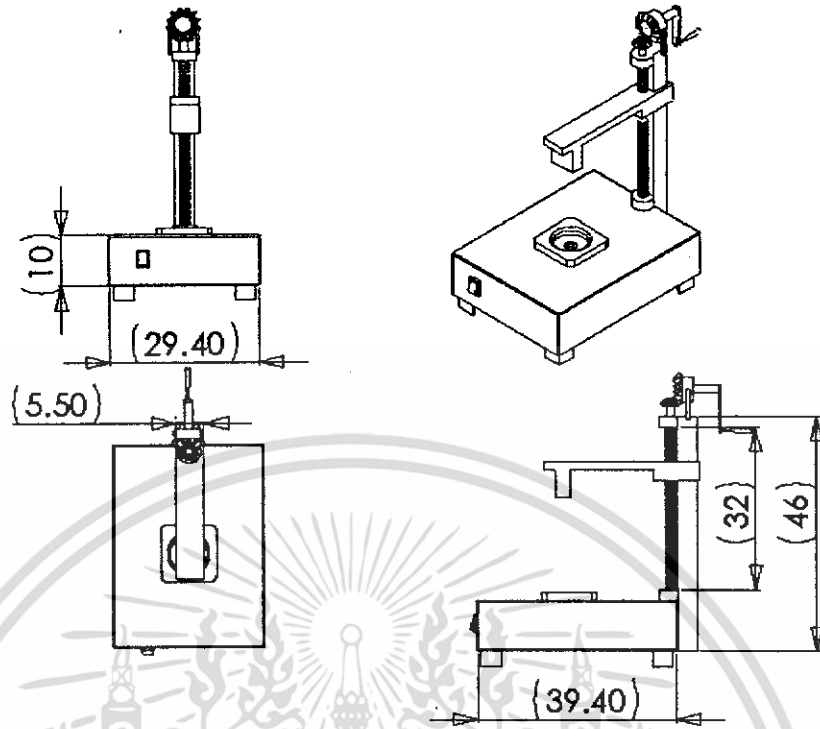
ข้อดี ชุดทดลองนี้ใช้กับคอมพิวเตอร์ และวงจรไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดไฟรั่วได้ แต่อะกลิกมีความเป็นฉนวน จึงมีความปลอดภัยในการใช้งาน, สะดวก รวดเร็วในการปรับระยะเคาะ เนื่องจากใช้มอเตอร์ปรับระยะ, ฐานรองรับทำจากอะกลิก ทำความสะอาดง่ายเมื่อใช้งานกับผลไม้ที่มียางและน้ำ ข้อเสีย มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก เคลื่อนย้ายไม่สะดวก ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน

3.4.2 การออกแบบครั้งที่ 2 (เครื่องต้นแบบ)

ส่วนของโครงสร้างชุดทดลองประกอบด้วย ส่วนเคาะ ซึ่งทำด้วยก้านอลูมิเนียม มีโชลินอยด์ติดอยู่ที่ปลายก้าน ส่วนปรับระยะความสูงของก้านเคาะโดยใช้มือหมุนให้ก้านเคาะเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวตั้ง โครงสร้างทำจากเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว หุ้มด้วยสังกะสี ฐานรองรับทำจากอะกลิก ติดตั้งไมโครโฟนอยู่ใต้ฐานรองรับ ตรงกับโชลินอยด์แสดงดังรูปที่ 3.4 และขนาดของตัวเครื่องต้นแบบแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างเครื่องต้นแบบที่เสร็จแล้ว



รูปที่ 3.5 แสดงขนาดของเครื่องต้นแบบ

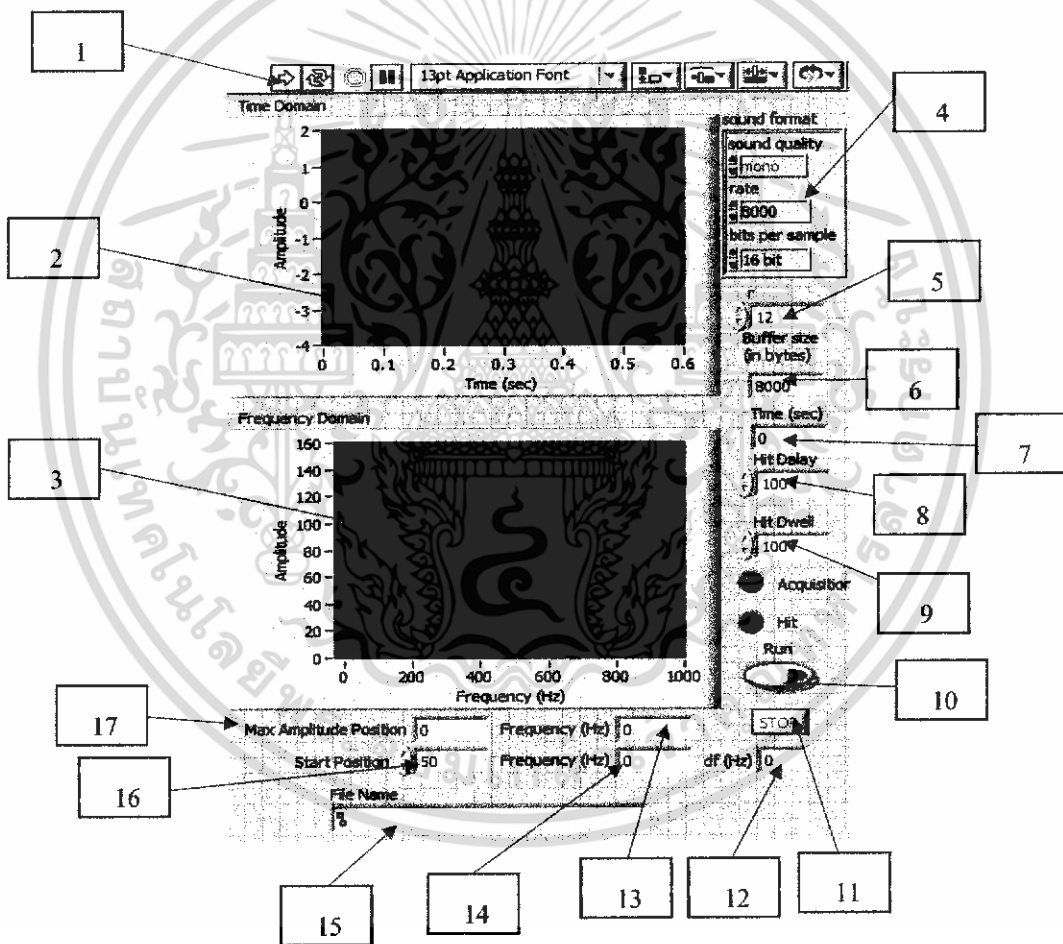
ข้อดี ขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายสะดวก, สามารถปรับระยะขึ้นลงได้ละเอียดกว่าใช้มอเตอร์, ส่วนฐานมีความแข็งแรงรับน้ำหนักผลไม้ได้มาก, จุดจับยึดสองตำแหน่งทำให้ผลไม้ไม่ขยับเมื่อเกาะ, ก้านอลูมิเนียมติดกับโซลินอยด์มีความแข็งแรง สามารถใช้กดบนผลไม้เพื่อให้ผลไม้ไม่ขยับเขยื้อนได้ดี, ทำความสะอาดง่าย

ข้อเสีย การปรับระยะจะเกิดเสียงดัง และมีความผิดพลาดเล็กน้อย

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของชุดทดลอง

4.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม

ใช้โปรแกรม LabVIEW 7.1 ในการควบคุมการทำงานของโซลินอยด์และใช้สำหรับแสดงสัญญาณที่รับจากไมโครโฟน ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (Front Panel) แสดงดังรูปที่ 4.1 และโปรแกรมควบคุมจะเขียนในส่วนของ Block Diagram ดังรูปที่ 4.2 ในส่วนของโปรแกรมนี้นเขียนโดยอาจารย์อัฐ อุดมแพทยกุล



รูปที่ 4.1 Front panel ของโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ส่วนของ Front Panel

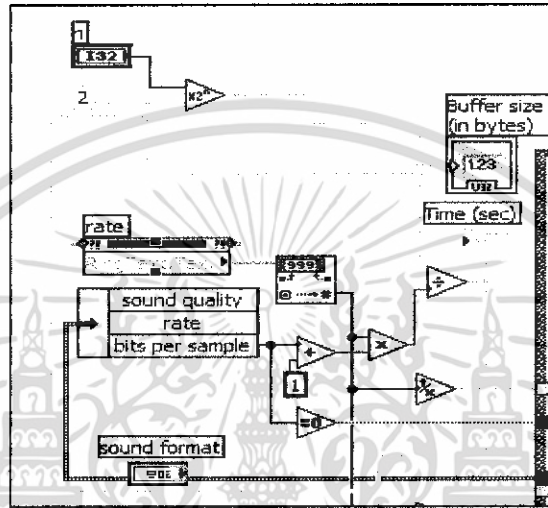
1. เป็นปุ่มคำสั่ง Run ของตัวโปรแกรม LabVIEW เมื่อคลิกปุ่มนี้แล้วตัวโปรแกรมจะยังไม่มีการทำงานใดๆ แต่พร้อมที่จะรับคำสั่งต่าง ๆ
2. เป็นหน้าจอแสดงผลของกราฟ ระหว่างเวลา (Time) กับ แอมพลิจูด (Amplitude)
3. เป็นหน้าจอแสดงผลของกราฟ ระหว่างความถี่ (Frequency) กับ แอมพลิจูด (Amplitude)
4. เป็นในส่วนของ Sound Format คือเป็นการกำหนดรายละเอียดของสัญญาณเสียงดังนี้
 - 4.1 Sound Quality เป็นการเลือกชนิดของสัญญาณเสียงคือมีทั้งแบบ Monual (Mono) และ Stereo
 - 4.2 Rate เป็นการตั้งค่าอัตราการรับข้อมูลที่เป็นสัญญาณเสียงในการทดลองซึ่งสามารถรับค่าได้ทั้งหมด 4 ค่าด้วยกันคือ 8000, 11025, 22050 หรือ 44100
 - 4.3 Bit Per Sample เป็นการตั้งค่าความละเอียดของเสียงว่าต้องการที่ 8 หรือ 16 บิต (Bit) โดยค่า 16 บิต จะมีความละเอียดมากกว่า 8 บิต
5. เป็นส่วนที่สามารถเพิ่มหรือลดการกำหนดช่วงเวลาของสัญญาณเสียงที่นำมาวิเคราะห์ (Buffer Size) โดยในตัวโปรแกรมกำหนดให้ค่าเริ่มต้น(Default Value)อยู่ที่ 12
6. เป็นส่วนแสดงค่าของ Buffer Size ในหน่วย Bytes ซึ่งเมื่อเราเริ่มกด Run โปรแกรมแล้วค่า Buffer Size จะอยู่มีค่าเริ่มต้น (Default Value) ที่ 8192 ไบต์ (Bytes)
7. เป็นส่วนแสดงค่าของ Buffer Size ในหน่วยวินาที ซึ่งเมื่อเราเริ่มกด Run โปรแกรมแล้วค่าเริ่มต้น (Default Value) จะอยู่ที่ 0.512 วินาที
8. เป็นส่วนที่กำหนดค่าในการถ่วงเวลาเพื่อสั่งให้โซลินอยด์ทำงาน ซึ่งมีค่าเริ่มต้น (Default Value) อยู่ที่ 100 มิลลิวินาที
9. เป็นส่วนที่กำหนดค่าว่าเมื่อโซลินอยด์ทำการเกาะแล้วให้ค้างอยู่ในตำแหน่งนั้นเป็นเวลาเท่าใด ซึ่งมีค่าเริ่มต้น (Default Value) อยู่ที่ 100 มิลลิวินาที
10. เป็นปุ่มเริ่มการทำงานของโปรแกรม (หรือคลิกปุ่ม Enter บนคีย์บอร์ด)
11. เป็นปุ่มหยุดการทำงานของโปรแกรม (หรือคลิกปุ่ม Esc บนคีย์บอร์ด)
12. เป็นค่าคงที่ในการคูณเข้ากับค่าตำแหน่งเริ่มต้น (ในที่นี้ตำแหน่งเริ่มต้นคือ 50) จะได้เป็นค่าความถี่เริ่มต้น ซึ่งค่าเริ่มต้น (Default Value) ของ df นี้คือ 1.953
13. เป็นส่วนที่แสดงค่าความถี่ของตำแหน่งที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุด
14. เป็นส่วนที่แสดงค่าความถี่เริ่มต้น
15. เป็นส่วนที่มีไว้สำหรับใส่ชื่อไฟล์ในการทดลองและที่อยู่ของไฟล์นั้นตัวอย่างเช่น C:\lab4KI_001 หมายถึง เราทำการจัดเก็บข้อมูลของไฟล์ชื่อ 1_001 ในโฟลเดอร์ lab4K ซึ่งอยู่ในครีฟ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. เป็นค่าตำแหน่งเริ่มต้นของการทดลองที่เราสามารถกำหนดได้ ซึ่งได้มีการกำหนดให้มีค่าเริ่มต้น (Default Value) อยู่ที่ 50
17. เป็นส่วนที่แสดงค่าของตำแหน่งที่มีค่าแอมพลิจูดสูงสุด

4.1.2 ส่วนของ Block Diagram

ส่วนที่ 1 Sound Format



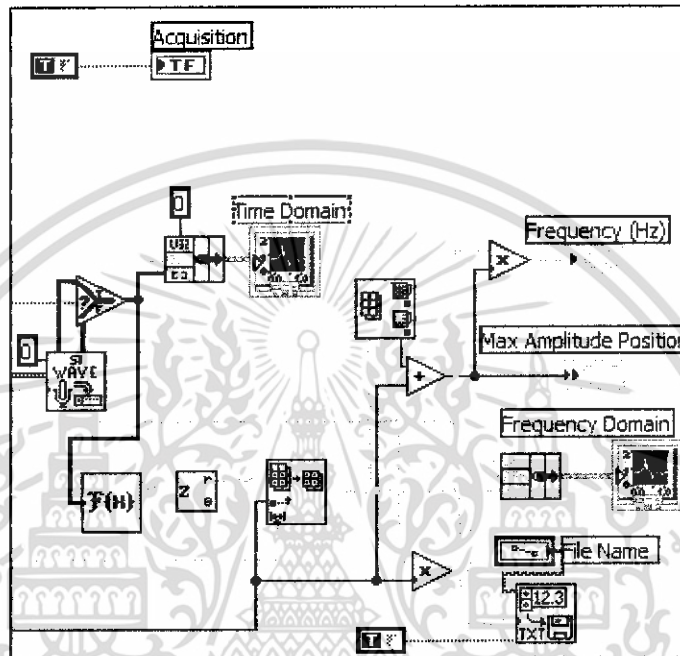
รูปที่ 4.2 Block Diagram ในส่วน Sound Format

ในส่วนของ Sound Format แสดงดัง รูปที่ 4.2 เมื่อเรารับสัญญาณเสียงมาจากไมโครโฟนแล้ว เราจะต้องนำข้อมูลดิบที่ได้มานั้นมาจัดรูปแบบให้เหมาะสมก่อนที่จะเข้าไปสู่ส่วนที่สอง คือ ส่วนประมวลผล โดยเริ่มจาก ชุดคำสั่ง Sound Format ในชุดคำสั่งนี้จะมีการกำหนดค่าต่างๆ 3 ชนิดด้วยกันคือ 1) Sound Quality เป็นการเลือกชนิดของสัญญาณเสียงคือมีทั้งแบบ Monual (Mono) และ Stereo 2) Rate เป็นการตั้งค่าอัตราการรับข้อมูลที่เป็นสัญญาณเสียงในการทดลองซึ่งสามารถรับค่าได้ทั้งหมด 4 ค่าด้วยกันคือ 8000, 11025, 22050 หรือ 44100 3) Bit Per Sample เป็นการตั้งค่าความละเอียดของเสียงว่าต้องการที่ 8 หรือ 16 บิต โดยค่า 16 บิต จะมีความละเอียดมากกว่า 8 บิต

ส่วนต่อมาเป็นส่วนของการกำหนดช่วงเวลาของสัญญาณเสียงที่นำมาวิเคราะห์ (Buffer Size) โดยที่ค่าของ Buffer Size (In Bytes) จะอยู่ในรูปของเลขยกกำลังของ 2 ซึ่งเกิดจากการใช้ชุดคำสั่ง Scale by Power of 2 ซึ่งค่าของตัวเลขยกกำลังสามารถกำหนดได้ในส่วนของ Front Panel เพราะฉะนั้นเราจึงสามารถที่จะเพิ่มหรือลดค่า Buffer Size ได้ โดยค่า Buffer Size เริ่มต้น (Default Value) อยู่ที่ 8192 Bytes และค่าของตัวเลขยกกำลังมีค่าเริ่มต้น (Default Value) อยู่ที่ 12

ในการกำหนดค่า Rate นั้นค่าที่กำหนดไปโปรแกรมจะวิเคราะห์ว่าเป็นค่าที่อยู่ในรูปของ Text File ดังนั้นเราจึงต้องทำการแปลง Text File เป็น ตัวเลขหรือ (Number) โดยใช้คำสั่ง Decimal String to Number

ส่วนที่ 2 การประมวลผล

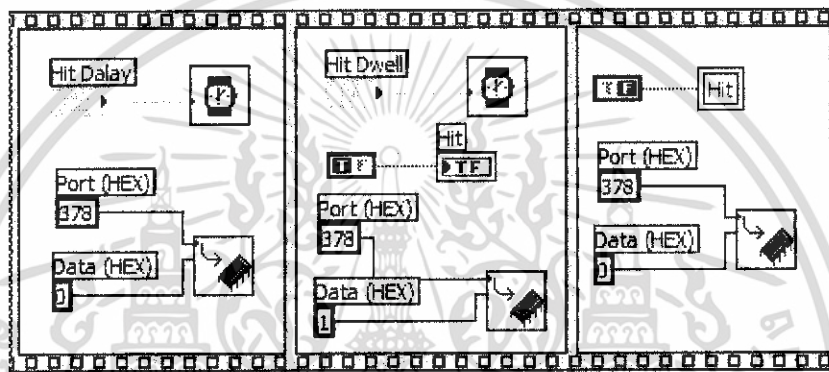


รูปที่ 4.3 Block Diagram ในส่วนการประมวลผล

ในส่วนของการประมวลผลแสดงดังรูปที่ 4.3 Sound Read Waveform.vi จะรับค่าต่าง ๆ ที่ได้จากส่วนที่ 1 ทั้ง Sound Format, Buffer Size และ กำหนดค่าคงที่ให้ Device เท่ากับ 0 โดย Output ที่ได้จาก Sound Read Waveform.vi จะมี 2 ชนิดด้วยกันคือ 1. Mono 8-bit 2. Mono 16-bit โดยขึ้นอยู่กับ การกำหนดค่า Bit Per Sample ในส่วนที่ 1 และจะมีฟังก์ชัน Select เพื่อใช้ในการคัดเลือก ซึ่งในตัวโปรแกรมนี้จะใช้ค่า Mono 16-bit เพื่อใช้งานตลอด แล้วนำค่าที่ได้ไปแสดงผลเป็นค่า Rang (แกน Y) ในกราฟรูปแบบ Time Domain ต่อไป แต่เมื่อนำไปแสดงผลเป็นกราฟในรูปแบบ Frequency Domain จะต้องนำข้อมูลที่ได้จากฟังก์ชัน Select ไปทำการแปลงเป็น FFT (Fast Fourier Transform) ชนิด Real FFT ซึ่งค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของจำนวนเชิงซ้อน ดังนั้นเมื่อต้องการจะหาค่าแอมพลิจูด จะต้องแปลงเป็น Polar โดยใช้ฟังก์ชัน Complex to Polar จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเข้าฟังก์ชัน Array Subset ซึ่งค่า Subarray ที่ได้จากฟังก์ชันนี้จะถูกนำไปเป็นค่า Rang (แกน Y) ของกราฟ Frequency Domain ต่อไป

ค่า Subarray ที่ได้จากฟังก์ชัน Array Subset จะถูกนำไปเข้าสู่ฟังก์ชัน Write To Spreadsheet File.vi เพื่อทำการจัดเก็บข้อมูล โดยในฟังก์ชันนี้จะกำหนดค่า True ในส่วนของ Transpose เพื่อที่ข้อมูลที่จัดเก็บได้จะจัดเรียงตำแหน่งข้อมูลในแนวนิ่ง เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปเปิดใช้ในโปรแกรม Microsoft Office Excel ได้ครบทั้งหมดเพราะตัวโปรแกรม LabVIEW เก็บข้อมูลไว้ 2000 ข้อมูลถ้าเปิดในโปรแกรม Microsoft Office Excel ในแวนอนจะสามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 256 ข้อมูลดังนั้นจึงจะต้องเก็บข้อมูลไว้ในแนวนิ่งเพราะ Microsoft Office Excel สามารถเก็บข้อมูลในแนวนิ่งได้ทั้งหมด 65536 ข้อมูล

ส่วนที่ 3 ส่วนควบคุมพอร์ตขนาน



รูปที่ 4.4 Block Diagram ในส่วนควบคุมพอร์ตขนาน

ส่วนควบคุมพอร์ตขนานแสดงดังรูปที่ 4.4 ในส่วนแรกเป็นชุดคำสั่งในการหน่วงเวลาในการสั่งการทำงานของโซลินอยด์โดยเราสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้โดยใช้คำสั่ง Wait ซึ่งเป็นการหน่วงเวลาการทำงานของพอร์ตขนาน การควบคุมการทำงานของพอร์ตขนานถูกควบคุมโดยชุดคำสั่ง Out Port.vi ซึ่งตัวเลข 378 นั้นเป็น ที่อยู่ (Address) ของพอร์ตขนานโดยการหยุดการทำงานของพอร์ตขนานนั้นทำได้โดยใส่เลข 0 เข้าไป (Write Value)

ส่วนที่สองเป็นชุดคำสั่งในการให้โซลินอยด์เกาะแล้วยังคงค้างอยู่ที่ตำแหน่งสุดท้ายตามที่กำหนดเวลาไว้โดยใช้คำสั่ง Wait อีกเช่นกันแต่ในส่วนของการ Write Value จะใส่เลข 1 เข้าไปเพื่อเป็นการสั่งให้โซลินอยด์ทำงานค้างอยู่ตามเวลาที่กำหนด ซึ่งในช่วงเวลาในการเริ่มทำงานจนถึงสุดท้ายการทำงานของโซลินอยด์จะมีหลอดไฟ Hit ติดอยู่

ส่วนที่สามเป็นส่วนสั่งการให้โซลินอยด์กลับไปสู่สถานะปกติคือไม่ทำงานโดยใส่ค่า 0 ลงไปใน Write Value และจะมีคำสั่งให้หลอดไฟ Hit ที่ติดอยู่ในส่วนที่สองดับลง

บทที่ 5

การทดลอง

ในส่วนของ การทดลองนี้มีทั้งหมด 6 การทดลอง ได้แก่ การปรับเทียบเครื่อง, การทดลองหาแรงที่โซลินอยด์กระทำกับผลไม้, การทดลองหาค่าแอมป์รับเสียงสะท้อนที่เหมาะสม, การทดลองหาวัสดุเคาะที่เหมาะสม, การทดลองหาวัสดุที่ใช้เป็นฐานรองรับที่เหมาะสม และการทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้ ในการทดลองทั้ง 6 การทดลองนี้จะแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นการทดลองเพื่อให้ชุดทดลองสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและเป็นข้อมูลในการปรับปรุง และส่วนที่สองเป็นการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติภายในจากเสียงสะท้อนของผลไม้เพื่อนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์และเก็บเป็นฐานข้อมูลต่อไป

5.1 การปรับเทียบเครื่อง

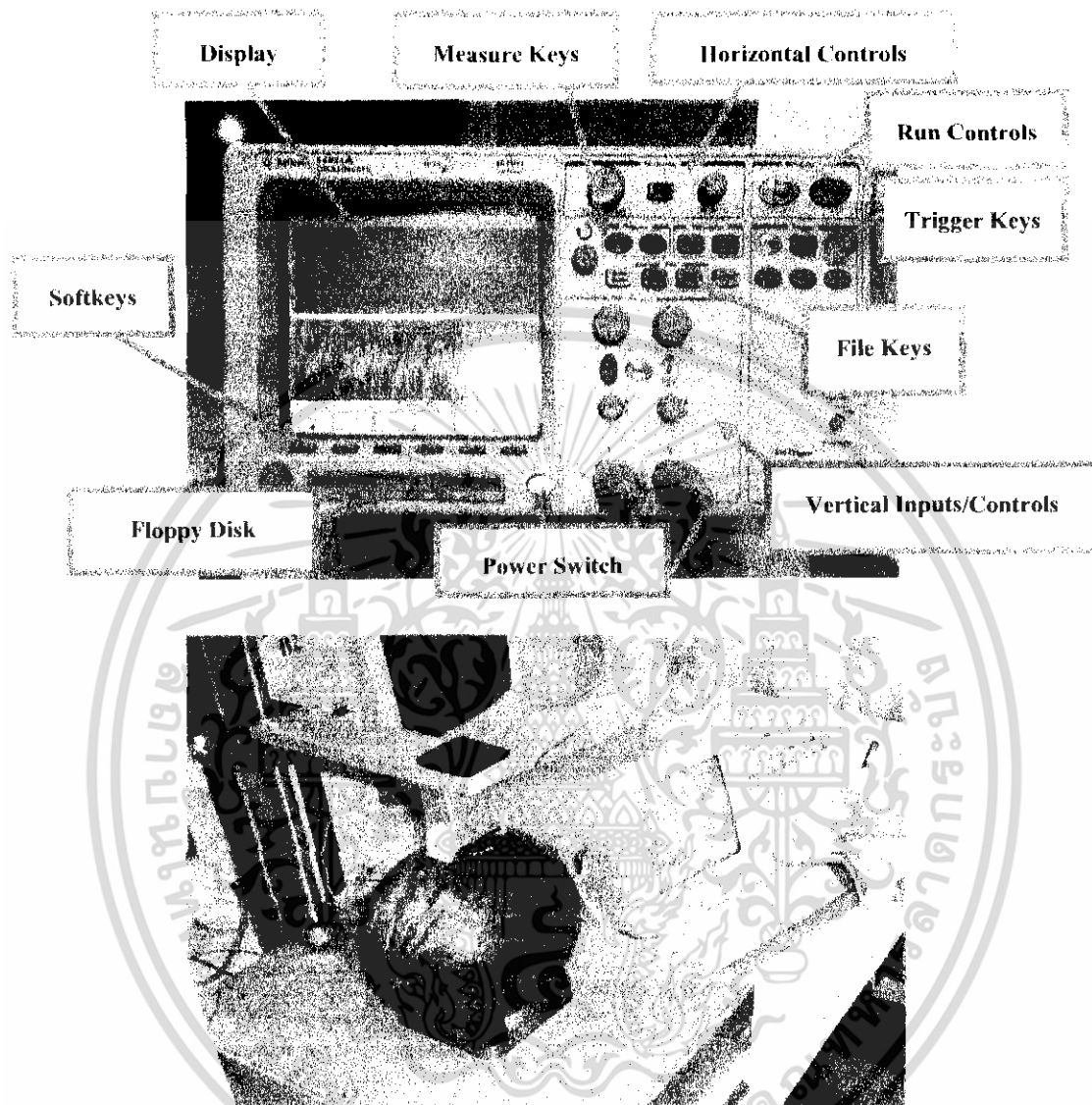
การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความถูกต้องในการรับสัญญาณของไมโครโฟนและการแสดงผลของความถี่ในโปรแกรม LabVIEW 7.1 การปรับเทียบนี้ใช้เครื่อง Oscilloscope ยี่ห้อ Agilent รุ่น 54621A แสดงดังรูปที่ 5.1 เป็นเครื่องปรับเทียบ ซึ่งในการทดลองจะใช้สาย Probe ต่อเข้ากับขั้วสัญญาณของไมโครโฟนที่ต่ออยู่กับ Sound Card ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อให้รับสัญญาณเสียงและแสดงผลออกมาพร้อมกัน เปรียบเทียบสัญญาณความถี่ที่ได้ว่ามีค่าถูกต้องหรือไม่ ในการทดลองนี้ใช้แอมป์ 5 ลูก โดยทำการเคาะ 4 ตำแหน่งรอบลูก

5.1.1 วิธีการปรับเทียบ

- (1) นำแอมป์มาวางบนชุดทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้
- (2) นำสาย Probe ไปติดกับขั้วสัญญาณของไมโครโฟนที่ติดอยู่กับ Sound Card
- (3) ที่หน้าจอ Display จะมีสัญญาณที่ได้รับจากไมโครโฟนปรากฏอยู่ ทำการปรับสัญญาณให้พอดีกับคลื่นความถี่ที่ได้รับได้ โดยใช้ปุ่ม Horizontal Control และ Vertical Inputs/Control
- (4) ปรับ Oscilloscope ให้รับสัญญาณที่ละลูก เพื่อให้ดูสัญญาณได้ง่ายขึ้น โดยการปรับในส่วน of Trigger Controls กดปุ่ม Mode /Coupling และปรับ Level
- (5) ในส่วนของ Measure Keys กดปุ่ม Quick Meas ที่ปุ่ม Softkeys กด Measure และเลือก Frequency
- (6) กด Run ที่โปรแกรม LabVIEW 7.1 เพื่อให้โซลินอยด์ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) เมื่อสัญญาณจากไมโครโฟนเข้าเครื่อง Oscilloscope สัญญาณจะนิ่งอยู่ที่หน้าจอ หนึ่ง ระยะเวลาหนึ่ง กดปุ่ม Run/Stop ในส่วนของ Run Controls



รูปที่ 5.1 แสดง การปรับเทียบด้วยเครื่อง Oscilloscope

(8) ความถี่ที่ได้จะแสดงในหน้าจอ Display

(9) บันทึกใน Floppy Disk กด Quick Print

(10) บันทึกค่าความถี่ที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW 7.1 และจากเครื่อง Oscilloscope

(11) แดงโม 1 ลูก จะทดลองทั้งหมด 4 ตำแหน่งในแนวเส้น Equator เมื่อครบ 4

ตำแหน่งแล้วจึงเปลี่ยนเป็นแดงโมลูกถัดไป จนครบ 5 ลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ผลการทดลอง

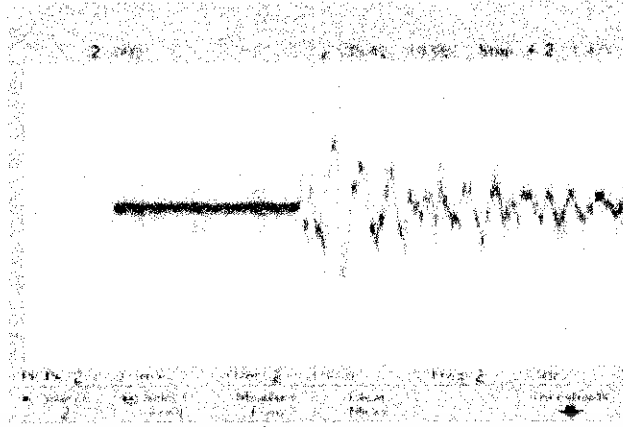
ความถี่ที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW 7.1 และจากเครื่อง Oscilloscope แสดงดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ความถี่จากโปรแกรม LabVIEW 7.1 และจากเครื่อง Oscilloscope

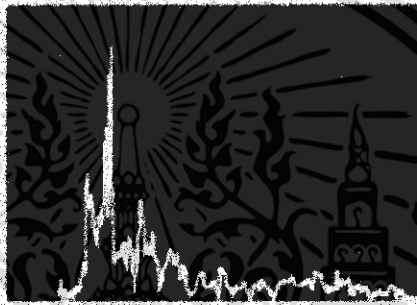
ลูกที่	ความถี่ (Hz)									
	LabVIEW 7.1					Oscilloscope				
	1	2	3	4	เฉลี่ย	1	2	3	4	เฉลี่ย
1	230	312	228	234	251	227	313	233	227	250
2	320	288	240	224	268	323	290	241	220	269
3	212	284	265	234	249	213	286	267	235	250
4	226	222	216	224	222	227	220	215	223	221
5	262	258	262	256	260	260	255	260	256	258

จากการเปรียบเทียบค่าความถี่ของผลแดงโมทั้ง 5 ลูกโดยมีการเปลี่ยนวัสดุรองรับจากแผ่นอะคลิกรรรมดาเป็นแผ่นไมโครไฟเบอร์ และจุดจับยึดค้ำบนเสริมแถบซิลิโคน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และจะมีความต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากสัญญาณที่เข้าคอมพิวเตอร์นั้นต้องผ่าน Sound Card และประกอบกับการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ ต่างจากเครื่อง Oscilloscope ที่รับสัญญาณและแสดงผลออกมาโดยตรง จึงทำให้ค่าที่ได้ออกมานั้นต่างกันบ้างเล็กน้อย นอกจากนี้ค่า Resolution ที่แตกต่างกันของทั้งสองวิธีอาจทำให้ค่าความถี่ที่ได้แตกต่างกันด้วย

จากรูปกราฟที่ได้จากเครื่อง Oscilloscope จะได้เป็นกราฟของแอมพลิจูดกับเวลา แต่เนื่องจากในเครื่อง Oscilloscope ที่ใช้ในการเปรียบเทียบนี้มีฟังก์ชันของ FFT ดังนั้นเราจึงสามารถหาความถี่ได้ที่แอมพลิจูดสูงสุดได้เลย และจะแสดงค่าความถี่ออกมาเป็นตัวเลขดังรูปที่ 5.2 (ก) ส่วนความถี่ที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW 7.1 แสดงดังรูปที่ 5.2 (ข) ดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบความถี่ได้ง่าย และสะดวก



(ก) กราฟที่ได้จาก Oscilloscope



(ข) กราฟที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW 7.1

รูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบกราฟที่ได้จาก Oscilloscope และกราฟที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW 7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลองหาแรงที่โซลินอยด์กระทำกับผลไม้

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่าแรงที่กระทำกับผลไม้โดยใช้หัวยาง, อะคลิก และเหล็ก เพื่อให้ทราบว่าแรงที่กระทำนี้เป็นการทำลายผลไม้หรือไม่ โดยใช้ตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์ช่วยในการหาค่าแรง

5.2.1 วิธีการทดลอง

- (1) นำตาชั่งอิเล็กทรอนิกส์มาวางไว้บนชุดทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้
- (2) ปรับระยะเคาะให้เท่ากับระยะที่ใช้เคาะเดิม
- (3) เปลี่ยนหัวโซลินอยด์ให้เป็นหัวยาง
- (4) กด Run ในโปรแกรม LabVIEW 7.1 เพื่อส่งโซลินอยด์เคาะ
- (5) บันทึกค่าความถี่ที่ได้ ทำซ้ำ 3 ครั้ง และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย
- (6) เปลี่ยนหัวโซลินอยด์ให้เป็นหัวอะคลิก
- (7) ทำซ้ำข้อที่ (4) และ (5)
- (8) ถอดหัวอะคลิกออก ใช้หัวเหล็กของโซลินอยด์ในการเคาะ
- (9) ทำซ้ำข้อที่ (4) และ (5)

5.2.2 ผลการทดลอง

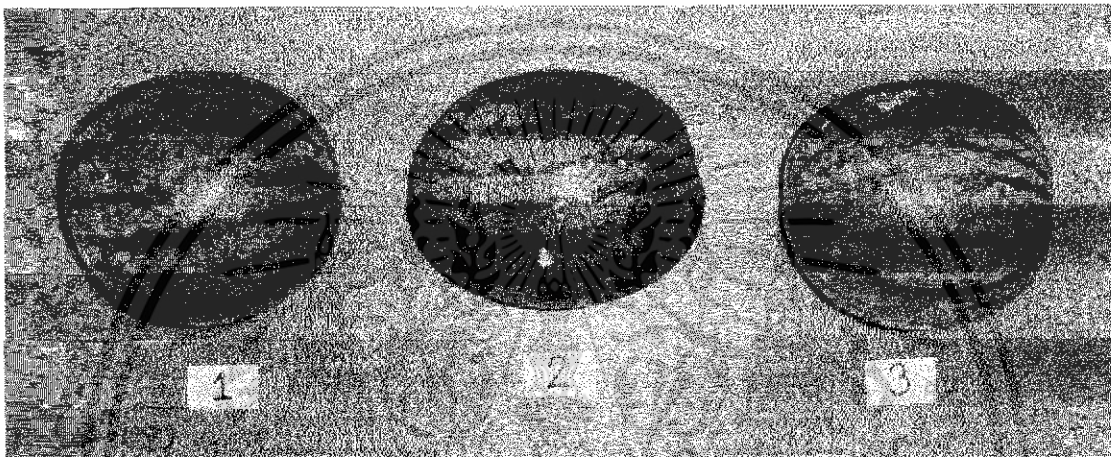
ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.2 สังเกตได้ว่าเมื่อเคาะที่ระยะเดียวกันพบว่าโซลินอยด์หัวเหล็กมีแรงกระทำมากที่สุด รองลงมาคือ อะคลิก และน้อยที่สุดคือยาง ดังนั้นหัวเหล็กจึงให้แอมพลิจูดสูงสุดที่ไม่ทำให้ผลไม้เกิดความเสียหาย เนื่องจากค่าแรงสูงสุดที่ทำให้แดงโมเสียมมีค่าประมาณ 5.6 N {5}

ตารางที่ 5.2 แรงกระทำที่มากที่สุดเมื่อใช้วัสดุต่างกัน

วัสดุ	แรง (N)			
	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	เฉลี่ย
ยาง	0.28	0.24	0.26	0.260
อะคลิก	0.35	0.36	0.34	0.350
เหล็ก	0.56	0.53	0.54	0.543

5.3 การทดลองหาตำแหน่งรับเสียงสะท้อนที่เหมาะสม

การทดลองนี้เพื่อหาตำแหน่งรับเสียงสะท้อนที่เหมาะสมในการติดตั้งไมโครโฟน ซึ่งการติดตั้งไมโครโฟนควรติดตั้งตำแหน่งที่มีแอมพลิจูดสูงสุด และได้รับสัญญาณจากการสั่นสะเทือนของผลไม้อย่างแท้จริง โดยแดงโมที่ใช้ในการทดลองเป็นแดงโมพันธุ์จินตหรา แสดงดังรูปที่ 5.3 มีอายุ น้ำหนัก และขนาดใกล้เคียงกัน 3 ลูก ใช้โซลินอยด์หัวเหล็กในการทดลอง ไมโครโฟนสามารถเปลี่ยนตำแหน่งเป็น 0, 90, 180 และ 270 องศา ในแนวเส้น Equator ได้



รูปที่ 5.3 แสดงแดงโมที่ใช้ในการทดลอง

5.3.1 วิธีการทดลอง

(1) นำแดงโมที่ต้องการทดลองไปหา ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร และความหนาแน่น ค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร และ ความหนาแน่นของแดงโมที่ใช้ในการทดลอง

ลูกที่	1	2	3
กว้าง (cm)	151	150	154
ยาว (cm)	170	184	158
น้ำหนัก (g)	2218	2032	2218
ปริมาตร (cm ³)	2200	1950	2200
ความหนาแน่น (g/cm ³)	1.01	1.04	1.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาในการหาปริมาตรหาจากแรงลอยตัว โดยการนำผลไม้ที่ต้องการหา ปริมาตรมาชั่งน้ำหนัก และน้ำหนักที่ได้คือแรงลอยตัวคูณด้วยแรงดึงดูดของโลก ($Gravity = 9.807 \text{ m/s}^2$) นำไปแทนค่าหาปริมาตรจากสูตร

$$F = \rho V g \dots \dots \dots (3)$$

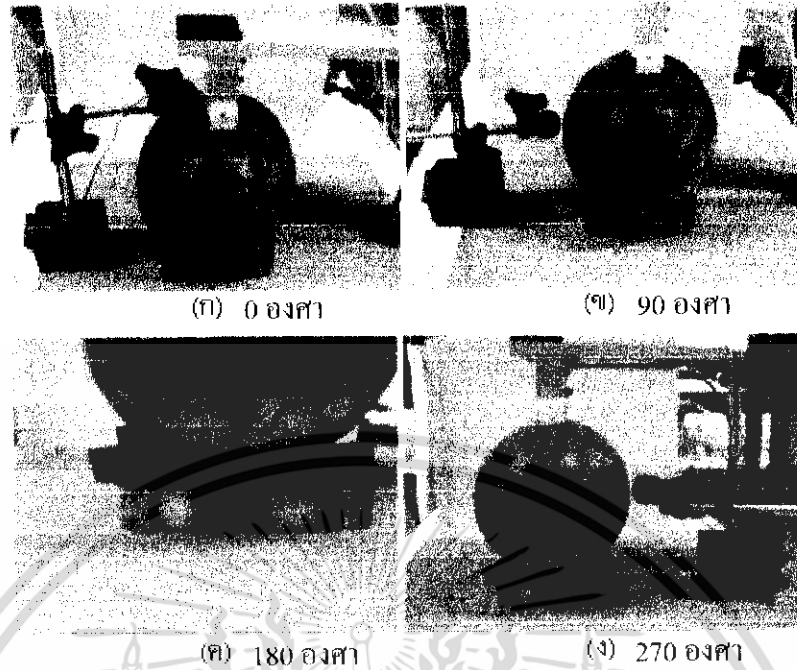
เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของน้ำ
 V = ปริมาตรของผลไม้
 g = แรงดึงดูดของโลก

การหาความหนาแน่นของผลไม้ หาได้จากสูตร

$$\rho = m/V \dots \dots \dots (4)$$

เมื่อ m = มวลของผลไม้
 V = ปริมาตรของผลไม้

- (2) นำเตงโมลูกที่ 1 วางบน ชุดทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้
- (3) ปรับระยะเกาะให้พอดี โดยหมุนก้านเกาะให้จิลิโคนติดกับผิวของเตงโม
- (4) นำไมโคร โฟนไปไว้ที่ตำแหน่ง 0 องศาทำกับ โซลินอยด์ ดังรูป ที่ 5.4 (ก)
- (5) กด Run ในโปรแกรม LabVIEW 7.1 เพื่อสั่งโซลินอยด์เกาะ
- (6) บันทึกค่าความถี่และแอมพลิจูด ทำซ้ำที่ตำแหน่งเดียวกัน 3 ครั้ง และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย
- (7) เปลี่ยนตำแหน่งไมโคร โฟนไปที่ 90 องศาทำกับ โซลินอยด์ ดังรูปที่ 5.4 (ข) ทำซ้ำในข้อ (4) และข้อ (5)
- (8) เปลี่ยนตำแหน่งไมโคร โฟนไปที่ 180 องศาทำกับ โซลินอยด์ ดังรูปที่ 5.4 (ค) ทำซ้ำในข้อ (4) และข้อ (5)
- (9) เปลี่ยนตำแหน่งไมโคร โฟนไปที่ 270 องศาทำกับ โซลินอยด์ ดังรูปที่ 5.4 (ง) ทำซ้ำในข้อ (4) และข้อ (5)
- (10) ทำเช่นเดียวกันนี้กับเตงโมลูกที่ 2 และลูกที่ 3



รูปที่ 5.4 แสดงการจัดวางตำแหน่งไมโครโฟนโดยที่ (ก) 0 องศา (ข) 90 องศา (ค) 180 องศา
(ง) 270 องศา

5.2.2 ผลการทดลอง

ความถี่กับแอมพลิจูดที่ได้ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งไมโครโฟนที่ 0, 90, 180 และ 270 องศา แสดงในตารางที่ 5.4

จากตารางที่ 5.4 ทำให้ทราบว่าเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งไมโครโฟน ที่ 90 และ 270 จะได้แอมพลิจูดที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือ 0 องศา และแอมพลิจูดที่มากที่สุดคือที่ 180 องศา ความถี่ที่ได้เมื่อเลาะที่ตำแหน่งเดียวกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.4 ความถี่กับแอมพลิจูดที่ได้ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งไมโครโฟนที่ 0, 90, 180 และ 270 องศา

ลูกที่เครื่อง ที่	0°							
	ความถี่ (Hz)				แอมพลิจูด			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1	250	252	250	250.7	5400	5400	6600	5800
2	250	300	300	283.3	7600	3000	3450	4683
3	244	240	242	242	3500	3200	3000	3233

(ก) ตำแหน่งไมโครโฟนที่ 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ความถี่กับแอมพลิจูดที่ได้ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งไมโครโฟนที่ 0, 90, 180 และ 270 องศา (ต่อ)

90°								
ลูกที่เครื่อง ที่	ความถี่ (Hz)				แอมพลิจูด			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1	250	252	250	250.7	1190	1020	990	1067
2	284	288	286	286	1300	1400	1350	1350
3	256	254	244	251.3	1250	905	1350	1168

(ข) ตำแหน่งไมโครโฟนที่ 90 องศา

180°								
ลูกที่เครื่อง ที่	ความถี่ (Hz)				แอมพลิจูด			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1	218	210	210	212.7	4500	4500	6100	5033
2	214	210	214	212.7	6000	6000	6100	6033
3	250	212	250	237.3	8200	9000	8200	8467

(ค) ตำแหน่งไมโครโฟนที่ 180 องศา

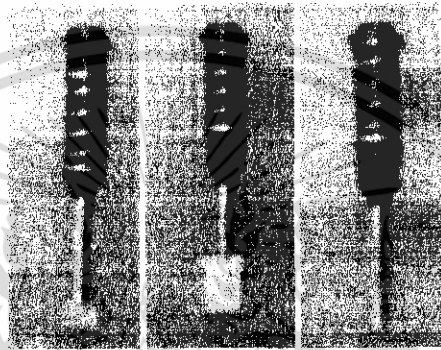
270°								
ลูกที่เครื่อง ที่	ความถี่ (Hz)				แอมพลิจูด			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1	246	248	248	247.3	1900	800	795	1165
2	300	300	300	300	1800	1100	1200	1367
3	252	318	244	271.3	1400	1125	1125	1217

(ง) ตำแหน่งไมโครโฟนที่ 270 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดลองหาวัสดุเกาะที่เหมาะสม

การทดลองนี้เพื่อหาวัสดุเกาะที่เหมาะสมสำหรับผลไม้ เนื่องจากวัสดุที่แตกต่างกันอาจให้ความถี่และแอมพลิจูดที่ได้แตกต่างกัน ในการทดลองนี้จะใช้แสงโม 3 ลูก (เป็นแสงโมที่ใช้ในการทดลองในหัวข้อที่ 5.3) วัสดุที่ใช้เกาะมี 3 ชนิดคือ ยาง, อะคลิกและเหล็ก แสดงดังรูปที่ 5.5 ในการทดลองนี้ให้ไมโครโฟนรับสัญญาณในตำแหน่งตรงข้ามกับโซลินอยด์ (ทำมุม 180 องศากับโซลินอยด์)



รูปที่ 5.5 แสดงหัวอะคลิก ยาง และหัวเหล็ก

5.4.1 วิธีการทดลอง

- (1) นำยางที่จะใช้สำหรับเกาะผลไม้มาติดที่หัวโซลินอยด์ดังรูปที่ 5.5
- (2) นำแสงโมลูกที่ 1 วางบนชุดทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้
- (3) ปรับระยะเกาะให้พอดี โดยหมุนก้านเกาะให้ซิติโคนติดกับผิวของแสงโม
- (4) กด Run ในโปรแกรม LabVIEW 7.1 เพื่อส่ง โซลินอยด์เกาะผลแสงโม
- (5) บันทึกค่าความถี่ และแอมพลิจูดทำซ้ำที่ตำแหน่งเดียวกัน 3 ครั้ง และนำค่าที่ได้มาหา

ค่าเฉลี่ย

- (6) เปลี่ยนเป็นแสง โมลูกที่ 2 ทำตามข้อที่ (2) ถึงข้อที่ (5)
- (7) เปลี่ยนเป็นแสง โมลูกที่ 3 ทำตามข้อที่ (2) ถึงข้อที่ (5)
- (8) เปลี่ยนหัวโซลินอยด์ให้เป็นหัวอะคลิก
- (9) เปลี่ยนแสงโมเป็นลูกที่ 1 ทำตามข้อที่ (2) ถึงข้อที่ (5)
- (10) เปลี่ยนแสงโมเป็นลูกที่ 2 ทำตามข้อที่ (2) ถึงข้อที่ (5)
- (11) เปลี่ยนแสงโมเป็นลูกที่ 3 ทำตามข้อที่ (2) ถึงข้อที่ (5)
- (12) ถอดหัวอะคลิกออก ใช้หัวเหล็กของโซลินอยด์ในการเกาะ
- (13) เปลี่ยนแสงโมเป็นลูกที่ 1 ทำตามข้อที่ (2) ถึงข้อที่ (5)
- (14) เปลี่ยนแสงโมเป็นลูกที่ 2 ทำตามข้อที่ (2) ถึงข้อที่ (5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(15) เปลี่ยนแรงแม่เป็นลูกที่ 3 ทำตามข้อที่ (2) ถึงข้อที่ (5)

5.4.2 ผลการทดลอง

ค่าความถี่และแอมพลิจูดที่เกิดจากการใช้หัวเคาะยาง, อะคิลิก และเหล็ก แสดงดังตาราง 5.5 และกราฟ Time Domain และ Frequency Domain ที่ได้จากโปรแกรม LabVIEW 7.1 แสดงดังรูปที่ 5.6

จากข้อมูลตารางที่ 5.5 และกราฟที่ได้แสดงดังรูปที่ 5.6 พิจารณาที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนวัสดุที่ใช้เคาะความถี่ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่ค่าแอมพลิจูดมีค่าแตกต่างกันมาก โดยหัวยางมีค่าแอมพลิจูดต่ำสุด รองลงมาคืออะคิลิก และสูงที่สุดคือหัวเหล็ก

ตารางที่ 5.5 ค่าความถี่และแอมพลิจูดของหัวเคาะยาง, อะคิลิก และเหล็ก

ลูกที่	180°							
	ความถี่ (Hz)				แอมพลิจูด			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1	218	218	216	217.3	5100	5900	5600	5533
2	210	212	212	211.3	5000	4000	4300	4433
3	216	214	214	214.7	5300	5400	5700	5467

(ก) ค่าความถี่และแอมพลิจูดของหัวเคาะยาง

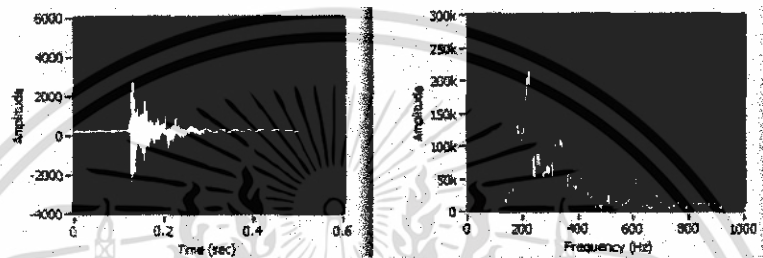
ลูกที่	180°							
	ความถี่ (Hz)				แอมพลิจูด			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1	218	210	210	212.7	4500	4500	6100	5033
2	214	210	214	212.7	6000	6000	6100	6033
3	250	212	250	237.3	8200	9000	8200	8467

(ข) ค่าความถี่และแอมพลิจูดของหัวเคาะอะคิลิก

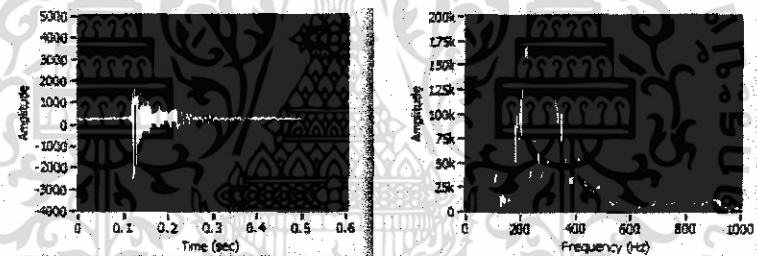
ตารางที่ 5.5 ค่าความถี่และแอมพลิจูดของหัวเคาะยาง, อะคลิก และเหล็ก (ต่อ)

ลูกที่	180°							
	ความถี่ (Hz)				แอมพลิจูด			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
1	214	214	214	214	9000	10000	10000	9667
2	212	210	210	210.7	9000	9000	10000	9333
3	282	330	280	297.3	10500	10130	10130	10253

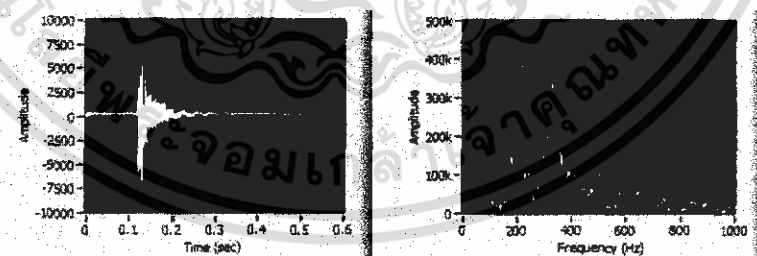
(ค) ค่าความถี่และแอมพลิจูดของหัวเคาะเหล็ก



(ก) กราฟ Time Domain และ Frequency Domain ที่เกิดจากการเคาะด้วยหัวยาง



(ข) กราฟ Time Domain และ Frequency Domain ที่เกิดจากการเคาะด้วยหัวอะคลิก



(ค) กราฟ Time Domain และ Frequency Domain ที่เกิดจากการเคาะด้วยหัวเหล็ก

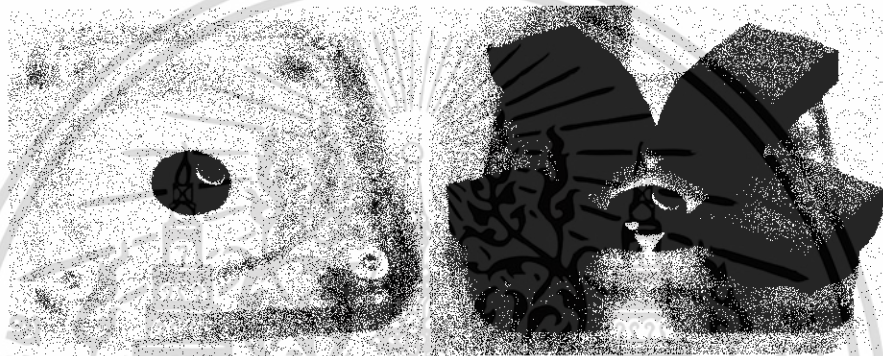
รูปที่ 5.6 กราฟ Time Domain และ Frequency Domain ของแท่งโมลูกที่ 1 เมื่อ (ก) หัวยาง

(ข) หัวอะคลิก (ค) หัวเหล็ก

5.5 การทดลองหาวัสดุที่ใช้เป็นฐานรองรับที่เหมาะสม

เนื่องจากฐานรองรับมีผลต่อความถี่ธรรมชาติอย่างมาก ฐานรองรับที่มีจุดสัมผัสกับผลไม้แตกต่างกัน วัสดุฐานรองรับที่แตกต่างกันก็ผลให้ความถี่ที่ได้แตกต่างกันด้วย ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองหาฐานรองรับที่เหมาะสมสำหรับชุดทดลองนี้

ในการทดลองนี้ใช้แฉงโม 5 ลูกที่มีขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกันมาใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความถี่ที่ได้เมื่อใช้ฐานรองรับอะกลิกและไมโครไฟเบอร์ ดังรูปที่ 5.7 แฉงโม 1 ลูกเกาะ 4 จุดในแนวเส้น Equator โดยใช้แฉงโมลูกเดียวกันเกาะ โดยวางบนฐานอะกลิก และวางบนฐานไมโครไฟเบอร์



รูปที่ 5.7 แสดงฐานรองรับอะกลิก และไมโครไฟเบอร์

5.5.1 วิธีการทดลอง

- (1) นำแฉงโมที่ต้องการทดลองไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
- (2) นำแฉงโมวางบน ฐานรองรับอะกลิกของชุดทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้
- (3) ปรับระยะเกาะให้พอดี โดยหมุนก้านเกาะให้จลิตโคนติดกับผิวของแฉงโม
- (4) กด Run ในโปรแกรม LabVIEW 7.1 เพื่อส่งโซลินอยด์เกาะ
- (5) บันทึกค่าความถี่ และแอมพลิจูด
- (6) หมุนแฉงโมไป 90 องศาในแนวเส้น Equator ทำตามข้อที่ (3) ถึง (5)
- (7) หมุนแฉงโมไป 180 องศาในแนวเส้น Equator ทำตามข้อที่ (3) ถึง (5)
- (8) หมุนแฉงโมไป 270 องศาในแนวเส้น Equator ทำตามข้อที่ (3) ถึง (5)
- (9) สำหรับแฉงโมลูกที่ 2 ถึงลูกที่ 5 ทำตามข้อที่ (3) ถึงข้อที่(8)เช่นเดียวกับแฉงโมลูกที่1
- (10) นำไมโครไฟเบอร์มาติดกับอะกลิกที่เป็นส่วนของฐานรองรับดังรูปที่ 5.7
- (11) ทำการทดลองกับแฉงโมลูกที่ 1 ถึงลูกที่ 5 ตั้งแต่ข้อที่ (2) ถึงข้อที่ (9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 ผลการทดลอง

ค่าความถี่ของแตรโมเมื่อใช้ฐานรองรับเป็นอะคิลิกและไมโครไฟเบอร์แสดงดังตารางที่ 5.6 เมื่อเปลี่ยนฐานรองรับจากอะคิลิกเป็นไมโครไฟเบอร์ ความถี่ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากและจากรูปที่ 5.8 ในส่วนของกราฟ Time Domain จะเห็นว่าเมื่อใช้ฐานเป็นไมโครไฟเบอร์จะมีสัญญาณรบกวนน้อยลง ทำให้กราฟของแอมพลิจูดกับความถี่ที่ได้ชัดเจนกว่าและง่ายต่อการวิเคราะห์

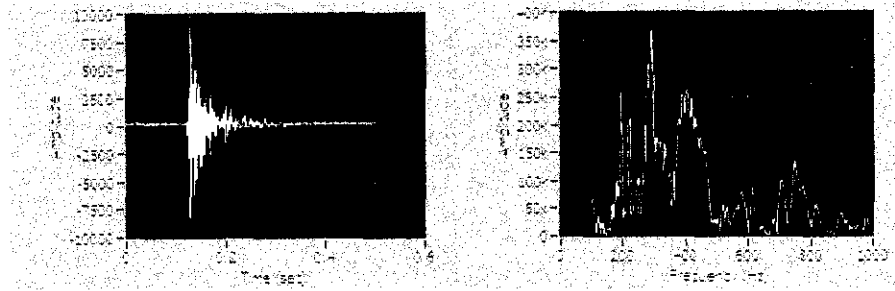
ตารางที่ 5.6 ค่าความถี่ของแตรโมเมื่อใช้ฐานรองรับเป็นอะคิลิกและไมโครไฟเบอร์

ลูกที่	น้ำหนัก(g)	ความถี่ (Hz)				เฉลี่ย
		1	2	3	4	
1	1.75	216	178	178	218	197.5
2	1.85	218	216	216	212	215.5
3	1.40	212	248	248	248	239.0
4	1.60	218	220	218	220	219.0
5	1.60	292	292	290	220	272.0

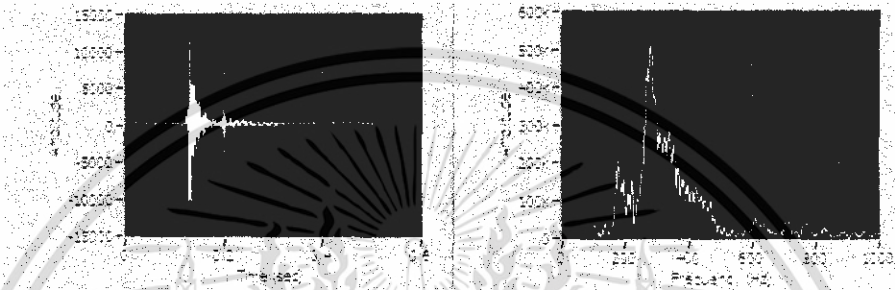
(ก) ค่าความถี่ของแตรโมเมื่อใช้ฐานรองรับเป็นอะคิลิก

ลูกที่	น้ำหนัก(g)	ความถี่ (Hz)				เฉลี่ย
		1	2	3	4	
1	1.75	276	302	302	220	275.0
2	1.85	214	216	216	214	215.0
3	1.40	218	220	218	218	218.5
4	1.60	248	256	258	248	252.5
5	1.60	282	276	278	278	278.5

(ข) ค่าความถี่ของแตรโมเมื่อใช้ฐานรองรับเป็นไมโครไฟเบอร์



(ก) Time Domain และ Frequency Domain เมื่อใช้ฐานรองรับเป็นอะกติก



(ข) Time Domain และ Frequency Domain เมื่อใช้ฐานรองรับเป็นไมโครโฟนเบอร์รูปที่ 5.8 แสดง Time Domain และ Frequency Domain เมื่อ (ก) ฐานรองรับเป็นอะกติก

(ข) ฐานรองรับเป็นไมโครโฟนเบอร์

5.6 การทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาว่าคลื่นเสียงสะท้อนที่ได้จากการเคาะผลไม้และคุณสมบัติเนื้อในของผลไม้มีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร โดยการทดลองนี้จะใช้ผลไม้ทั้งหมด 2 ชนิดคือ แดงโมพันธุ์จินดหราอายุ 17 วัน 10 ผล และอายุ 28 วัน 10 ผล และสับประรดพันธุ์ปัดดาเวียดิบ 10 ผล และสุก 10 ผล ในการแบ่งความดิบ สุกของสับประรดจะใช้วิธีการสังเกตจากสีของเปลือก ถ้าสับประรดมีเปลือกสีเขียวทั้งหมดจะอยู่ในกลุ่มดิบ และสับประรดที่มีเปลือกสีเหลืองทั้งหมดจะอยู่ในกลุ่มสุก ผลไม้ที่อยู่ในกลุ่มทดลองเดียวกัน ควรจะมีขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกัน

5.6.1 วิธีการทดลอง


(1) นำสายพอร์คชานานเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับชุดทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้ และต่อสายไมโครโฟนกับเครื่องคอมพิวเตอร์

(2) นำผลไม้ที่ต้องการทดลองมาวางไว้บนเครื่อง ปรับระยะก้านเคาะให้เหมาะสม โดยให้หัวชลิโคนสัมผัสกับผิวของผลไม้ เพื่อจับยึด

(3) เปิดสวิทช์ที่ชุดทดลองหาสมบัติเสียงสะท้อนของผลไม้

(4) เปิดโปรแกรม LabVIEW 7.1 เปิดไฟล์ Acquisition System Final.vi

(5) กำหนดค่าต่างๆในโปรแกรมตามหัวข้อที่ 4.1.1

(6) กด  เพื่อสั่งให้โปรแกรมทำงาน


(7) กด  เพื่อสั่งให้โซลินอยด์เคาะ

(8) กด Save file เพื่อใช้ไปเปิดในโปรแกรม Microsoft Excel โดย File ที่บันทึกนี้จะเก็บค่าแอมพลิจูด กับ Position เอาไว้ โดยที่ค่าแรกจะเป็นค่าแอมพลิจูดของ Start Position และจะเก็บค่าต่อไปอีก 2000 ตำแหน่งต่อจากตำแหน่ง Start Position ถ้าต้องการเปลี่ยนจากค่า Position เป็นความถี่ให้นำค่า Position ไปคูณกับค่า df (Hz) ที่แสดงในส่วนของ Front Panel

(9) เปลี่ยนตำแหน่งเคาะ โดยหมุนแดงโม 90 องศา ในแนว Equator แล้วเคาะจนครบ 4 จุดรอบลูก เพื่อหาค่าเฉลี่ย

(10) นำผลไม้ไปชั่งน้ำหนัก, หาปริมาตรด้วยการแทนที่น้ำ, วัดขนาดกว้าง ยาว, คำนวณหาความหนาแน่น

(11) นำผลไม้เพื่อดูความสมบูรณ์ของเนื้อใน เก็บผลไว้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

(12) เมื่อต้องการหยุดโปรแกรมกด 

5.6.2 ผลการทดลอง

(1) แดงโมพันธุ์จินตหราอายุ 17 วัน 10 ลูก และ 28 วัน 10 ลูก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.7 และตารางที่ 5.8 ตามลำดับ และตารางแสดงผลการทดลองโดยละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวก ก จากผลการทดลอง แดงโมคิบมีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 2266.2 ± 264 กรัม มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 1.0769 ± 0.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าความถี่เฉลี่ย 361.9 ± 22.62 Hz (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้คำนวณโดยตัดค่าความถี่ที่ 683.50 Hz ออกไป เนื่องจากแดงโมลูกนี้มีความตึงผิวที่แตกต่างจากลูกอื่น) แดงโมสุกมีค่าน้ำหนักเฉลี่ย 1820 ± 282 กรัม มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 1.1006 ± 0.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าความถี่เฉลี่ย 218.9 ± 10.73 Hz

ตารางที่ 5.7 ความถี่ที่ได้จากการเคาะ 4 ตำแหน่งในแนวเส้น Equator ของแฉกโมคิบ อายุ 17 วัน พันธุ์จินคหราโดยเฉลี่ย

ลูกที่	น้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ขนาด (mm)		ค่าเฉลี่ยความถี่สั้นพ้อง (Hz)
			กว้าง	ยาว	
1	2497	1.044	150.70	199.50	301.00
2	2735	1.098	163.40	194.50	310.50
3	2338	0.939	147.00	190.00	683.50
4	2143	1.045	143.80	178.50	332.50
5	1930	1.013	138.70	172.00	339.50
6	2135	1.215	143.40	178.80	343.50
7	2563	1.117	154.00	196.50	365.50
8	2188	1.067	151.50	182.70	300.00
9	1948	1.140	135.75	190.20	307.00
10	2185	1.091	148.30	173.80	336.00

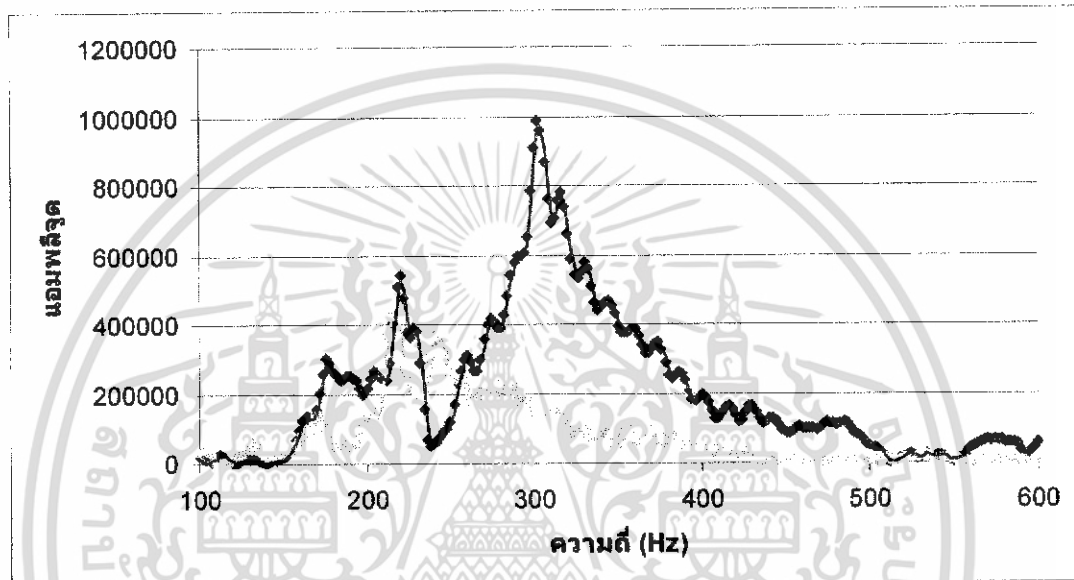
ตารางที่ 5.8 ความถี่ที่ได้จากการเคาะ 4 ตำแหน่งในแนวเส้น Equator ของแฉกโมสุกอายุ 28 วัน พันธุ์จินคหราโดยเฉลี่ย

ลูกที่	น้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ขนาด (mm)		ค่าเฉลี่ยความถี่สั้นพ้อง (Hz)
			กว้าง	ยาว	
1	1850	0.997	153.25	164.44	215.00
2	2050	0.976	150.00	183.00	204.50
3	1400	0.843	128.77	139.65	218.50
4	2050	1.235	152.00	164.00	204.50
5	2150	1.420	151.50	172.00	218.00
6	2200	1.609	155.34	173.20	214.00
7	1650	1.024	150.50	149.20	239.00
8	1550	0.882	132.00	158.15	231.00
9	1550	1.024	144.17	149.15	220.00
10	1750	0.996	146.00	152.70	224.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางผลการทดลองเราจะนำแดงโมสுகและคิบที่มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกันโดยนำแดงโมคิบลูกที่ 6 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.215 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และแดงโมสுகลูกที่ 4 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.235 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของความถี่สั่นพ้อง แสดงดังรูปที่ 5.9

จากรูปที่ 5.9 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความถี่ระหว่างแดงโมคิบ (อายุ 17 วัน) และแดงโมสுக (อายุ 28 วัน) จะเห็นได้ว่าที่ค่าแอมพลิจูดสูงสุด ค่าความถี่สั่นพ้องของแดงโมคิบอยู่ที่ 338 Hz ส่วนแดงโมสுகที่มีค่าความถี่สั่นพ้องอยู่ที่ 212 Hz



— แแดงโมสுக (อายุ 28 วัน)

— แแดงโมคิบ (อายุ 17 วัน)

รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบความถี่กับแอมพลิจูดของแดง โมคิบกับแดง โมสுக

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) สัมประสิทธิ์ปริมาตรของ 10 ลูก และลูก 10 ลูก ผลการทดลองสัมประสิทธิ์แสดง
 คังตารางที่ 5.9 และสัมประสิทธิ์แสดงคังตารางที่ 5.10 ในส่วนของตารางแสดงผลการทดลองโดย
 ละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 5.9 ความถี่ที่ได้จากการเคาะ 4 ตำแหน่งในแนวเส้น Equator ของสัมประสิทธิ์พันธุ์
 ปริมาตรโดยเฉลี่ย

ลูกที่	น้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ขนาด (mm)		ค่าเฉลี่ยความถี่ สั้นพ้อง (Hz)
			กว้าง	ยาว	
1	2029.25	0.945	136.00	180.00	308
2	2048.42	0.962	137.00	185.00	283
3	2138.17	1.018	128.75	155.00	328
4	2202.53	1.030	124.50	167.00	329
5	1626.99	1.010	128.50	164.50	325
6	1742.01	1.158	136.50	173.50	339
7	1830.24	0.986	133.85	175.00	316
8	1828.66	1.018	124.70	162.00	341
9	1742.06	0.991	132.70	165.00	376
10	1756.78	0.994	116.00	177.70	390

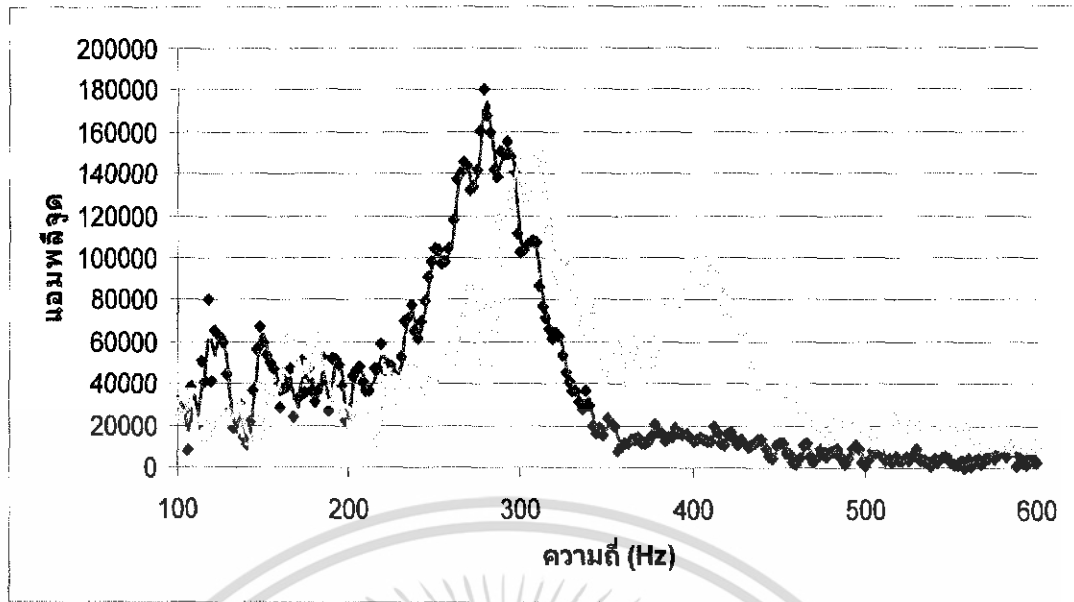
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ความถี่ที่ได้จากการเคาะ 4 ตำแหน่งในแนวเส้น Equator ของสับประคตูก พันธุ์
ปีศาจเวียโดยเฉลี่ย

ลูกที่	น้ำหนัก (g)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ขนาด(mm)		ค่าเฉลี่ยความถี่ สั้นพ้อง (Hz)
			กว้าง	ยาว	
1	1219.46	0.945	115.40	141.00	275
2	1198.63	0.962	115.30	156.35	280
3	1335.84	1.018	120.50	150.00	281
4	1402.27	1.030	115.15	149.40	281
5	1281.53	1.010	116.00	132.00	245
6	1276.78	1.158	117.00	139.65	257
7	1306.93	0.986	114.90	156.90	257
8	1279.14	1.018	116.00	142.30	274
9	1326.84	0.991	118.00	150.00	222
10	1308.06	0.994	122.70	146.50	224

จากตารางผลการทดลองเราจะนำสับประคตูกและคียบที่มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน โดยนำ
แดงโมคิบลูกที่ 4 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.030 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และแดงโมคิบลูกที่ 5
ซึ่งมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.030 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของ
ความถี่สั้นพ้อง แสดงดังรูปที่ 5.10

จากรูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความถี่ระหว่างสับประคคียบ และสับประคตูก
จะเห็นได้ว่าที่ค่าแอมพลิจูดสูงสุด ค่าความถี่สั้นพ้องของสับประคคียบอยู่ที่ 329 Hz ส่วนแดงโมคิบที่มี
ค่าความถี่สั้นพ้องอยู่ที่ 281 Hz



 สับประตูดอก
 สับประตูดิบ

รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบความถี่กับแอมพลิจูดของสับประตูดิบและสับประตูดอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ได้สรุปได้ดังนี้

1. ที่ตำแหน่งรับสัญญาณ 0, 90, 180 และ 270 องศา ให้ค่าความถี่ที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ตำแหน่ง 180 องศา มีค่าแอมพลิจูดสูงสุด ดังนั้นตำแหน่งนี้จึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งไมโครโฟน เนื่องจากสัญญาณที่ได้มีค่าแอมพลิจูดสูงแสดงในกราฟจะสามารถวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น แต่ถ้านำเลือกตำแหน่งการรับสัญญาณที่แอมพลิจูดต่ำ อาจทำให้สัญญาณรบกวนจากแหล่งอื่นที่มีแอมพลิจูดสูงกว่าเข้ามารบกวนได้ ทำให้ความถี่ที่มีแอมพลิจูดสูงสุดอาจไม่ใช่ความถี่ของผลไม้ที่ต้องการ จึงทำให้วิเคราะห์ความถี่ที่ได้เป็นไปได้ยากขึ้น

2. วัสดุที่ใช้ทำการเคาะผลไม้ มี 3 ชนิด คือ ขาง, อะคิลิก และเหล็ก จากการทดลองพบว่าเมื่อเคาะที่ตำแหน่งเดียวกัน ในผลไม้ลูกเดียวกัน ความถี่ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าแอมพลิจูดแตกต่างกัน โดย ขางจะมีแอมพลิจูดน้อยที่สุด รองลงมาคือ อะคิลิก และมากที่สุดคือเหล็ก ดังนั้นจึงเลือกใช้หัวเหล็ก เพื่อให้มีแอมพลิจูดสูงสุด

3. แรงที่โซลินอยด์กระทำกับผลไม้ โดยที่หัวของโซลินอยด์คือ ขาง, อะคิลิก และเหล็ก พบว่าโซลินอยด์หัวเหล็กมีแรงกระทำมากที่สุด รองลงมาคือ อะคิลิก และขาง ตามลำดับ ซึ่งแรงกระทำของโซลินอยด์นี้ไม่ทำให้ผลไม้บอบช้ำ ดังนั้นจึงเลือกโซลินอยด์หัวเหล็กในการทดลองเพื่อให้เกิดแรงกระทำสูงสุด และได้แอมพลิจูดสูงสุด

4. ฐานรองรับแผงโมที่เหมาะสมควรเป็นวัสดุแข็งเกร็ง แต่เนื่องจากจุดทดลองนี้ใช้ไมโครโฟนติดตั้งไว้ที่ฐาน เมื่อใช้วัสดุแข็งเกร็งเป็นฐานรอง จะทำให้มีความถี่แทรกเข้ามาเนื่องจากการสั่นสะเทือนของตัวฐานรองเข้าไปในไมโครโฟน ดังนั้นจึงใช้ฐานฟองน้ำเพื่อช่วยดูดซับแรงไม่ให้ฐานเกิดการสั่นสะเทือนไปด้วย เมื่อพิจารณาจากความถี่ที่ได้เปรียบเทียบกับ พบว่าความถี่ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก กราฟที่ได้จากการใช้ฐานฟองน้ำพบว่ามีความถี่รบกวนน้อยกว่า

5. การเปรียบเทียบด้วยเครื่อง Oscilloscope จากตารางบันทึกผลการทดลอง พบว่าความถี่ที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งค่าความแตกต่างนี้เกิดจากการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ และ Sound Card

6. การหาคุณสมบัติเชิงสะท้อนของแผงโมคิบ ได้ค่าเฉลี่ยความถี่อยู่ที่ 361.90 ± 22.62 Hz มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 7 % ส่วนแผงโมคิบได้ค่าเฉลี่ยความถี่อยู่ที่ 218.9 ± 10.74 Hz มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 5% ซึ่งค่าความถี่นี้แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด คือมากกว่า 100 Hz และ

การหาคุณสมบัติเสียงสะท้อนของสับประคิบ ได้ค่าเฉลี่ยความถี่อยู่ที่ 333.5 ± 31.12 Hz ความคลาดเคลื่อนประมาณ 9% สับประคิบมีค่าความถี่เฉลี่ยอยู่ที่ 259.6 ± 22.81 Hz ความคลาดเคลื่อนประมาณ 9% ค่าเฉลี่ยของสับประคิบและตุกมีค่าต่างกันประมาณ 80 Hz และค่าความคลาดเคลื่อนของแดงโมและสับประคิบมีค่าน้อยกว่า 20% ถือว่าเครื่องนี้สามารถแยกความถี่ของแต่ละของผลไม้ได้ และจากการทดลองพบว่าค่าความถี่ขึ้นอยู่กับความแน่นเนื้อ ถ้าผลไม้ที่ทำการทดสอบมีความแน่นเนื้อมาก (คิบ) ค่าความถี่ที่ได้จะมีค่าสูง สำหรับผลไม้ที่มีความแน่นเนื้อน้อย (ตุก) ค่าความถี่ที่ได้จะมีค่าความถี่ต่ำ ในการเคาะผลไม้หนึ่งลูกอาจจะได้ความถี่ต่างกันบ้างขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเนื้อใน เช่น สับประคิบ ถ้าเคาะโคนตาจะได้อาความถี่สูง แต่ถ้าเคาะโคนตำแหน่งที่มีความซ้าจะได้อาความถี่ต่ำ หรือเมื่อเคาะโคนร่องระหว่างตาความถี่ที่ได้จะมีค่าไม่แน่นอนเมื่อทำการทดลองซ้ำ อีกทั้งการปรับระยะเคาะของแดงโมสามารถใช้ระยะห่างของโซลินอยด์กับผิวของแดงโมระยะเดียวกันได้ตลอดทั้งลูก แต่สับประคิบไม่สามารถทำได้เนื่องจากผิวของสับประคิบมีความขรุขระสูง เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งเคาะก็ต้องเปลี่ยนระยะของโซลินอยด์ด้วย

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงชุดปรับระยะเคาะให้สามารถปรับเลื่อนขึ้น ลงได้ระยะที่แม่นยำมากขึ้น และเปลี่ยนชุดเลื่อนตัวเคาะให้สามารถเลื่อนขึ้น ลงได้เร็วยิ่งขึ้น
2. ไมโครโฟนควรมีค่าความไว (Sensitivity) น้อยๆ เพื่อให้รับเฉพาะสัญญาณที่ต้องการเท่านั้น ในการทดลองนี้ใช้ไมโครโฟนที่มีค่าความไวมากเกินไปทำให้มีสัญญาณเสียงจากแหล่งอื่นเข้ามา
3. จานรองรับควรจะมีจุดสัมผัสกับผิวผลไม้ที่น้อยที่สุด เพื่อเวลาทำการเคาะไปที่ผิวผลไม้ จะได้อาความถี่ธรรมชาติที่แท้จริงออกมาอย่างชัดเจน
4. ปรับปรุงหัวเคาะให้เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิด เช่น สับประคิบ ควรใช้หัวเคาะที่มีขนาดเล็กเพื่อให้โคนเฉพาะตำแหน่งที่ต้องการ เนื่องจากผิวของสับประคิบมีความขรุขระมากถ้าใช้หัวเคาะขนาดใหญ่จะทำให้โคนบริเวณผิว และตา ซึ่งจะได้ความถี่หลายค่าต่อการเคาะ 1 ตำแหน่ง แต่สำหรับผลไม้ชนิดอื่นที่มีผิวโค้งเรียบ การใช้หัวเคาะที่มีขนาดเล็กจะทำให้เกิดการถล่มของหัวเคาะ ทำให้ความถี่ที่ได้เกิดการคลาดเคลื่อน
5. พัฒนาโปรแกรมให้สามารถบันทึกข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างสะดวก เช่น การบันทึกข้อมูลให้เป็นรูปแบบของ Microsoft Access เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Nourain Jamal, Ying Yi-bi, Wang Jian-ping, Rao xiu-qin and Yu Chao-gang. 2005. "Firmness evaluation of melon using its vibration characteristic and finite element analysis." *Journal of Zhejiang University Science*. : pp. 483-490.
2. J. Golias, L. Bejcek, P. Gratz and S. Klusacek. 2003. "Mechanical resonance method for evaluation of peach fruit firmness." *Hort.SCI*. : pp 1-6.
3. Jun Wang, Bin Teng and Yong Yu. 2004. "Pear dynamic characteristics and firmness detection." *Eur Food Res Technol*. : pp. 218:289-294.
4. B. Diezma-Iglesias, M. Ruiz-Altisent and P. Barreiro. 2004. "Detection of internal quality in seedless watermelon by acoustic impulse response." Rural Engineering Department. Physical Properties Laboratory. Polytechnic University of Madrid. : pp 221-230.
5. F. Roger Harker, Karen Lau and F Anne Gunson. 2002. "Juiciness of fresh : a time-intensity study" The Horticulture and Food Research Institute of New Zealand Ltd. : pp 55-60.
6. เศษ พุทธเจริญทอง. 2548. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. พิมพ์ครั้งที่ 4. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
7. อภิชาติ ภูพิลล. 2546. เริ่มต้นเขียนโปรแกรมคิดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บริษัท ด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด
8. เกษสาคร พรหมล้วน. 2543. "การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสุก-แก่ของมะม่วงน้ำดอกไม้โดยใช้ระบบการสั่นสะเทือน." ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
9. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2548. ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นเนื้อกับความสุกแก่. [online]. Available : <http://202.28.17.1/article/atc37/atc00138.html#012>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองเตงไม้ดิบ (อายุ 17 วัน) พันธุ์จินตหรา

ลูกที่	น้ำหนัก (g)	แรงลอยตัว (kg)	ปริมาตร (cm ³)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	ขนาด (mm)		ความถี่ต้นพ้อง (Hz)				เฉลี่ย
					กว้าง	ยาว	1	2	3	4	
1	2497	2.45	2392.58	1.04	150.70	199.50	302	302	300	300	301
2	2735	2.55	2490.23	1.10	163.40	194.50	310	312	310	310	310
3	2338	2.55	2490.23	0.94	147.00	190.00	676	678	678	702	683
4	2143	2.10	2050.78	1.05	143.80	178.50	332	304	358	336	332
5	1930	1.95	1904.30	1.01	138.70	172.00	448	304	304	302	339
6	2135	1.80	1757.81	1.22	143.40	178.80	338	352	340	344	343
7	2563	2.35	2294.92	1.12	154.00	196.50	366	366	366	364	365
8	2188	2.10	2050.78	1.07	151.50	182.70	300	300	300	300	300
9	1948	1.75	1708.98	1.14	135.75	190.20	308	308	312	300	307
10	2185	2.05	2001.95	1.09	148.30	173.80	342	336	336	330	336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองแดงโมสกุ (อายุ 28 วัน) พันธุ์จินตหรา

ลูกที่	น้ำหนัก (g)	แรงลอยตัว (kg)	ปริมาตร (cm ³)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	ขนาด (mm)		ความถี่สั่นพ้อง (Hz)				เฉลี่ย
					กว้าง	ยาว	1	2	3	4	
1	1850	1.90	1855.47	0.10	153.25	164.44	214	216	216	214	215
2	2050	2.25	2099.61	0.98	150.00	183.00	208	196	212	202	204
3	1400	1.45	1660.16	0.84	128.77	139.65	218	220	218	218	218
4	2050	3.10	1660.16	1.24	152.00	164.00	214	194	198	212	204
5	2150	2.40	1513.67	1.42	151.50	172.00	218	220	216	218	218
6	2200	2.50	1367.19	1.61	155.34	173.20	214	212	216	214	214
7	1650	1.70	1611.33	1.02	150.50	149.20	238	240	238	240	239
8	1550	1.55	1757.81	0.88	132.00	158.15	216	246	216	246	231
9	1550	1.60	1513.67	1.02	144.17	149.15	220	222	216	222	220
10	1750	1.75	1757.81	0.10	146.00	152.70	216	220	216	246	224

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองสับประดคิปปั้นรูปตัดเวรี

ลูกที่	น้ำหนัก (g)	แรงลอยตัว (kg)	ปริมาตร (cm ³)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	ขนาด (mm)		ความถี่สั่นพ้อง (Hz)				เฉลี่ย
					กว้าง	ยาว	1	2	3	4	
1	2029	2.20	2148.44	0.94	136.00	180.00	304	308	310	310	308
2	2048	2.18	2128.91	0.96	137.00	185.00	302	310	228	290	283
3	2138	2.15	2099.61	1.02	128.75	155.00	330	328	330	324	328
4	2202	2.19	2138.67	1.03	124.50	167.00	328	330	332	324	329
5	1626	1.65	1611.33	1.01	128.50	164.50	328	328	322	320	325
6	1742	1.54	1503.91	1.16	136.50	173.50	354	348	326	326	339
7	1830	1.90	1855.47	0.99	133.85	175.00	322	322	310	308	316
8	1828	1.84	1796.88	1.02	124.70	162.00	322	310	310	422	341
9	1742	1.80	1757.81	0.99	132.70	165.00	370	374	380	380	376
10	1756	1.81	1767.58	0.99	116.00	177.70	376	372	436	374	390

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองกับประรดสุกพันธุ์ปัตตาเวีย

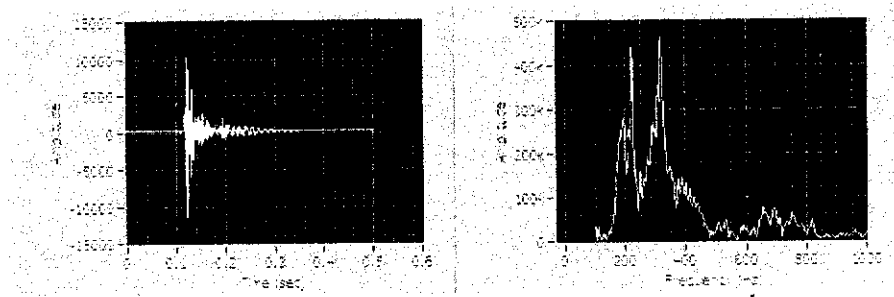
ลูกที่	น้ำหนัก (g)	แรงลอยตัว (kg)	ปริมาตร (cm ³)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	ขนาด (mm)		ความถี่สั่นพ้อง (Hz)				เฉลี่ย
					กว้าง	ยาว	1	2	3	4	
1	1219.46	1.30	1269.53	0.96	115.40	141.00	270	274	278	278	275
2	1198.63	1.28	1250.00	0.96	115.30	156.35	282	282	278	278	280
3	1335.84	1.35	1318.36	1.01	120.50	150.00	288	284	276	276	281
4	1402.27	1.39	1357.42	1.03	115.15	149.40	278	266	290	288	281
5	1281.53	1.30	1269.53	1.01	116.00	132.00	246	252	236	244	245
6	1276.78	1.29	1259.77	1.01	117.00	139.65	250	254	268	256	257
7	1306.93	1.30	1269.53	1.03	114.90	156.90	218	266	272	270	257
8	1279.14	1.29	1259.77	1.06	116.00	142.30	272	270	272	282	274
9	1326.84	1.35	1318.36	1.01	118.00	150.00	248	254	190	194	222
10	1308.06	1.32	1289.06	1.02	122.70	146.50	214	218	218	244	224

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

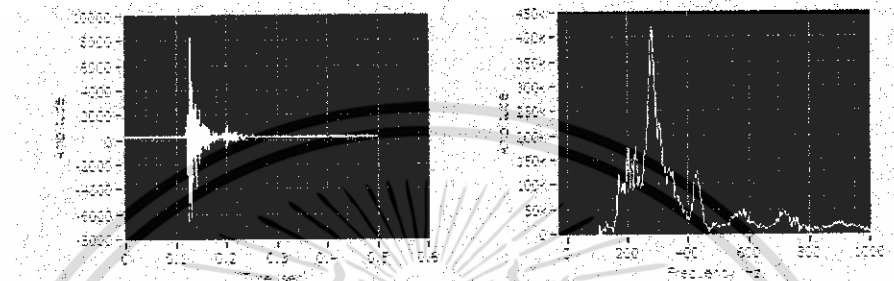


ภาคผนวก ข
กราฟที่ได้จากการทดลองหาสมบัติเสียง
สะท้อนของแท่งโมพันธุ์จินตหรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



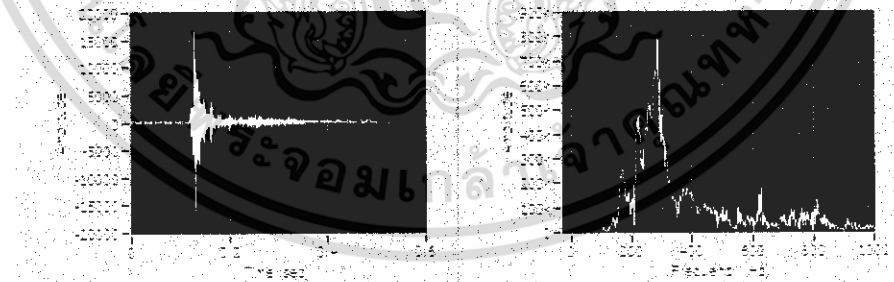
รูปที่ ข.1 กราฟจากการทดลองแดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 1



รูปที่ ข.2 กราฟจากการทดลองแดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 2

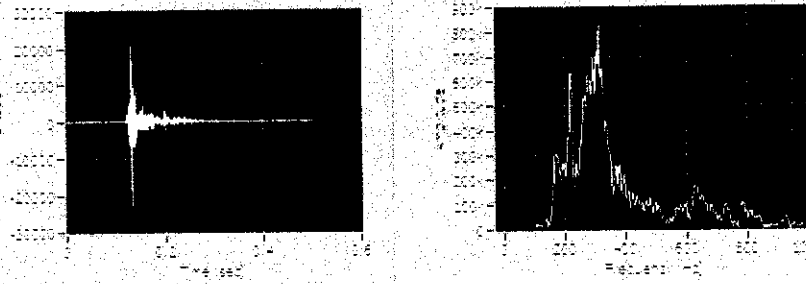


รูปที่ ข.3 กราฟจากการทดลองแดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 3

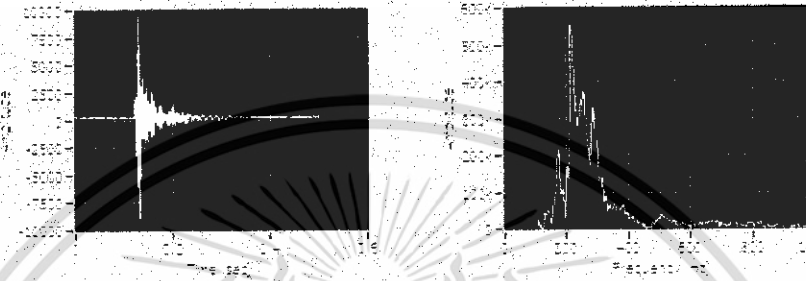


รูปที่ ข.4 กราฟจากการทดลองแดงโมดิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



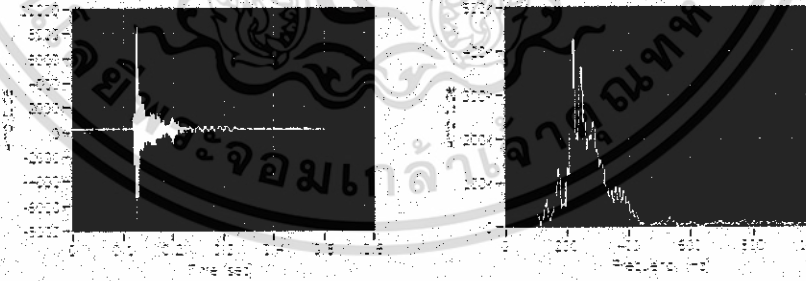
รูปที่ ข.5 กราฟจากการทดลองแดงโมคิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 5



รูปที่ ข.6 กราฟจากการทดลองแดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 1

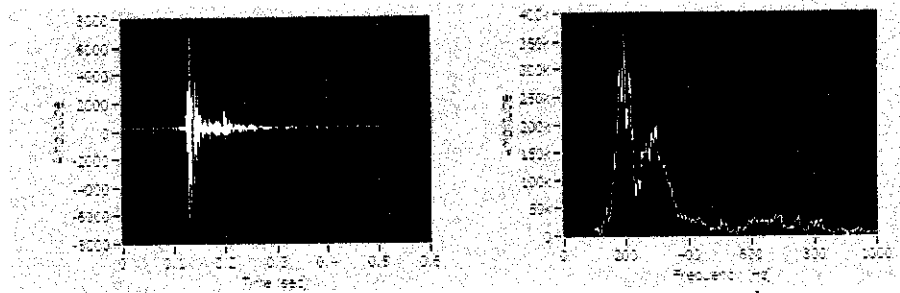


รูปที่ ข.7 กราฟจากการทดลองแดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 2

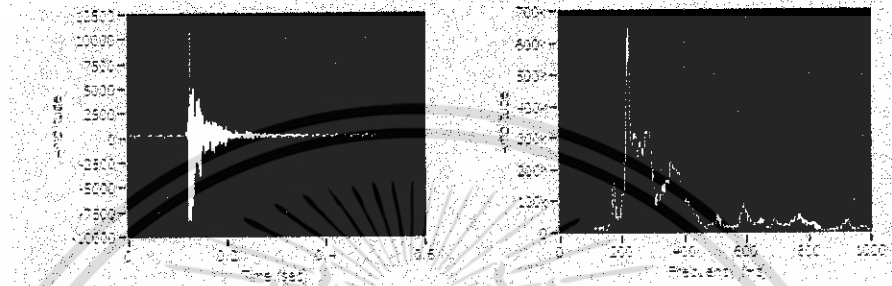


รูปที่ ข.8 กราฟจากการทดลองแดงโมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.9 กราฟจากการทดลองแดงไมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 4



รูปที่ ข.10 กราฟจากการทดลองแดงไมสุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 5

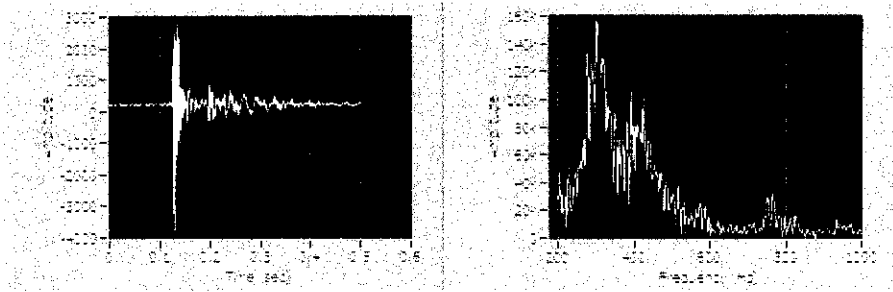


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

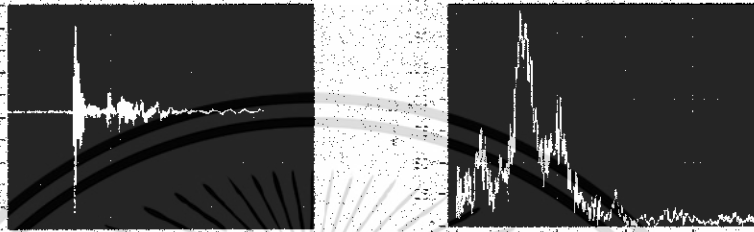


ภาคผนวก ก
กราฟที่ได้จากการทดลองหาสมบัติเสียง
สะท้อนของสับประรดพันธุ์ปัตตาเวีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 1



รูปที่ ค.2 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 2

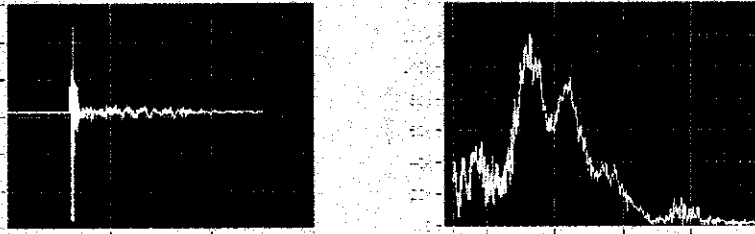


รูปที่ ค.3 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 3

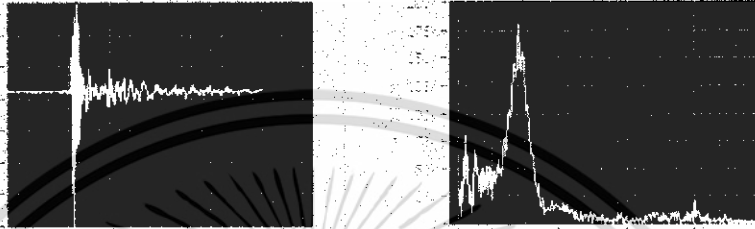


รูปที่ ค.4 กราฟจากการทดลองสับประคิบลูกที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



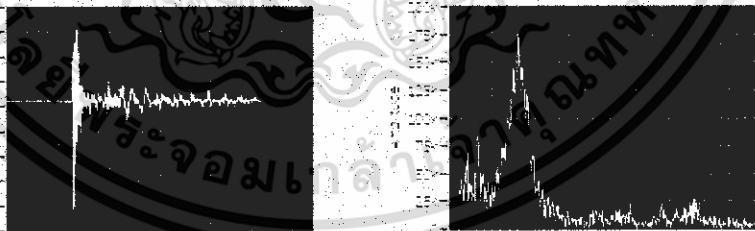
รูปที่ ค.5 กราฟจากการทดลองสับประคติบลูกที่ 5



รูปที่ ค.6 กราฟจากการทดลองสับประคตูกลูกที่ 1

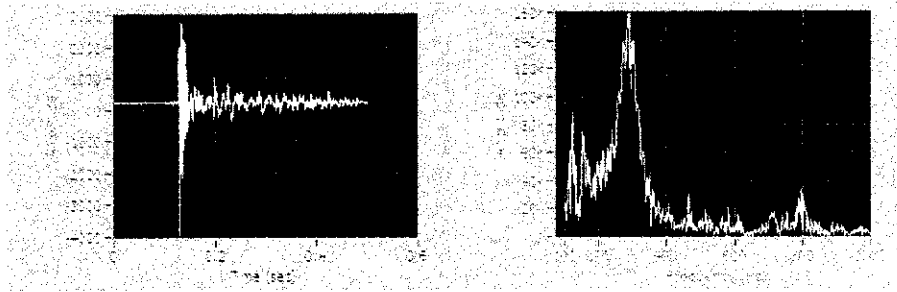


รูปที่ ค.7 กราฟจากการทดลองสับประคตูกลูกที่ 2

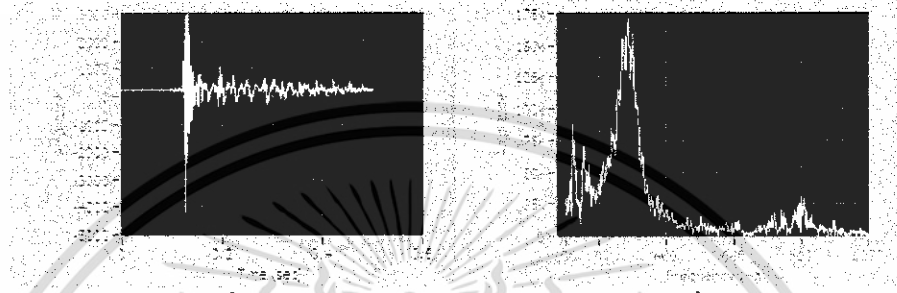


รูปที่ ค.8 กราฟจากการทดลองสับประคตูกลูกที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.9 กราฟจากการทดลองสับประตูกฎที่ 4



รูปที่ ค.10 กราฟจากการทดลองสับประตูกฎที่ 5



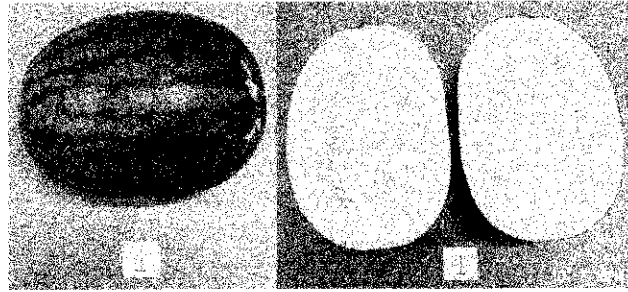
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

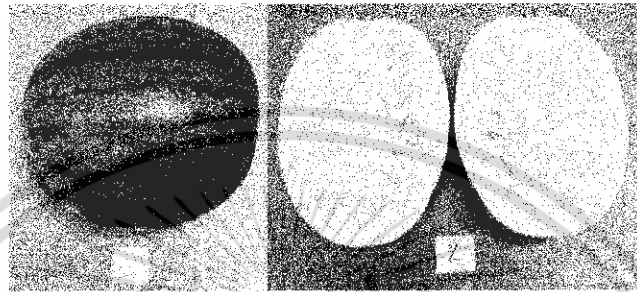
รูปถ่ายความสมบูรณ์เนื้อหาภายในของแท่งโม
พันธู์จินตหราที่ใช้ทดลอง



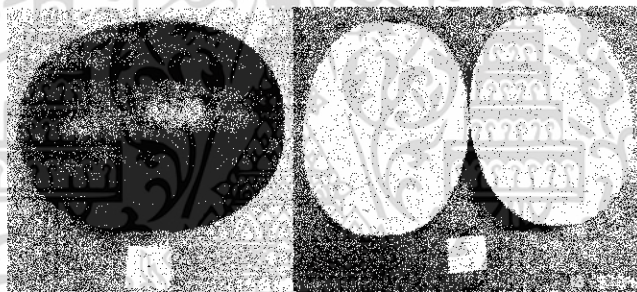
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



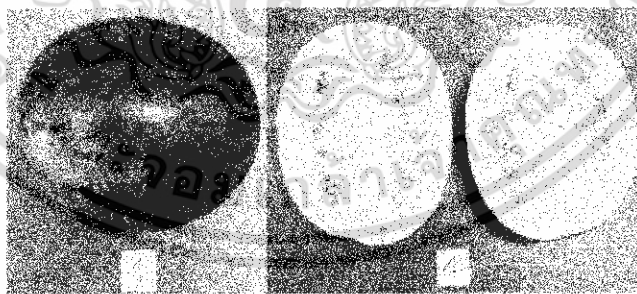
รูปที่ ง.1 แสดงโมคิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 1



รูปที่ ง.2 แสดงโมคิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 2

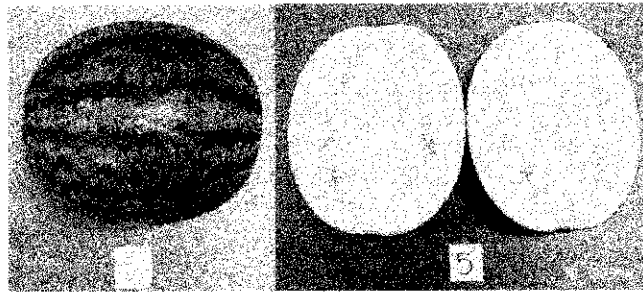


รูปที่ ง.3 แสดงโมคิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 3

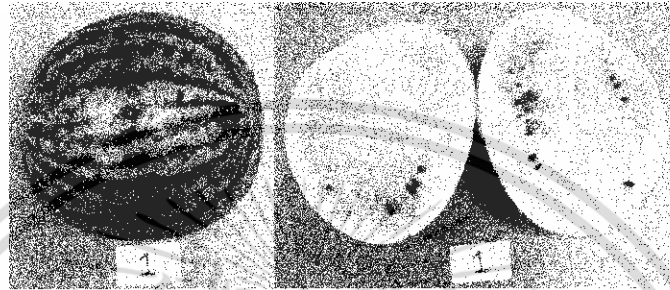


รูปที่ ง.4 แสดงโมคิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๕.๕ แดงโมคิบ (อายุ 17 วัน) ลูกที่ 5



รูปที่ ๕.๖ แดงโมตุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 1

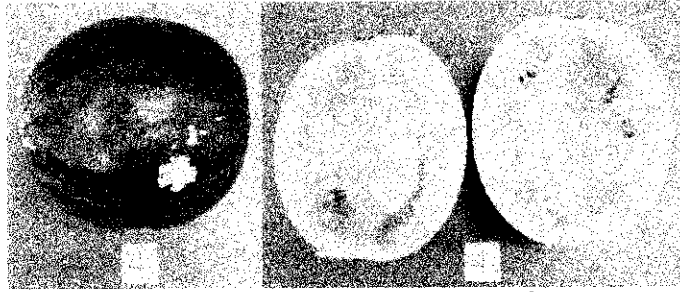


รูปที่ ๕.๗ แดงโมตุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 2

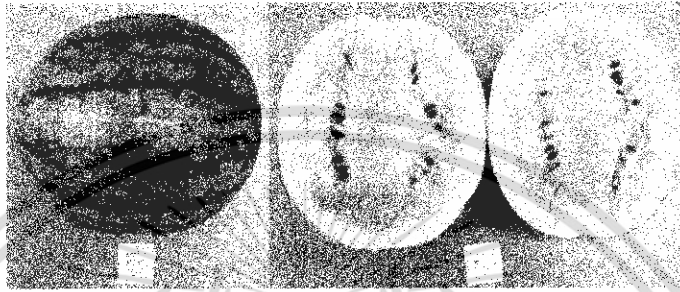


รูปที่ ๕.๘ แดงโมตุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.9 แดง โมตุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 4



รูปที่ 9.10 แดง โมตุก (อายุ 28 วัน) ลูกที่ 5

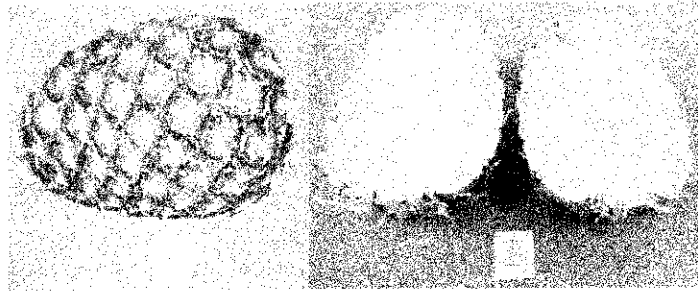
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

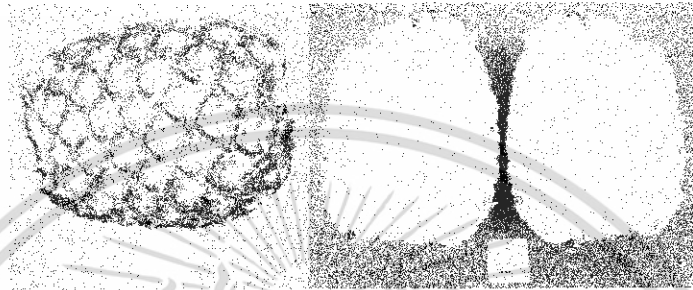
รูปถ่ายความสมบูรณ์เนื้อหาของ
สัปดาห์พันธุ์ปศุสัตว์ที่ใช้ทดลอง



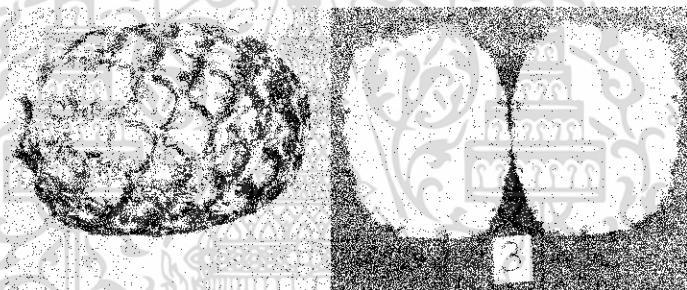
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



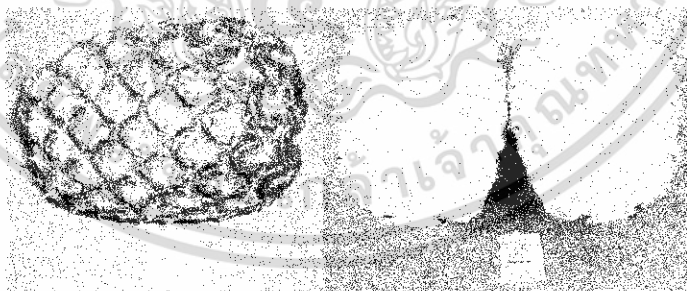
รูปที่ จ.1 สับประคติบลูกที่ 1



รูปที่ จ.2 สับประคติบลูกที่ 2

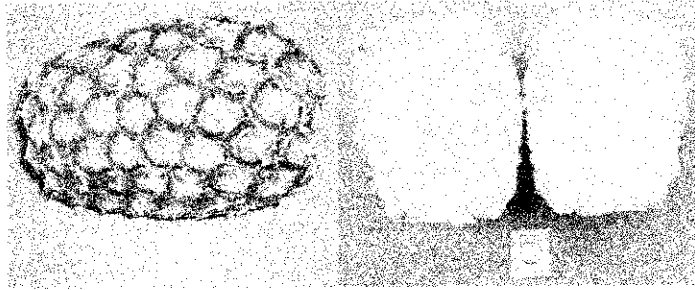


รูปที่ จ.3 สับประคติบลูกที่ 3

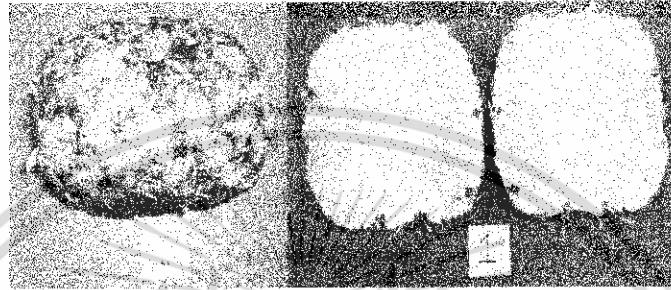


รูปที่ จ.4 สับประคติบลูกที่ 4

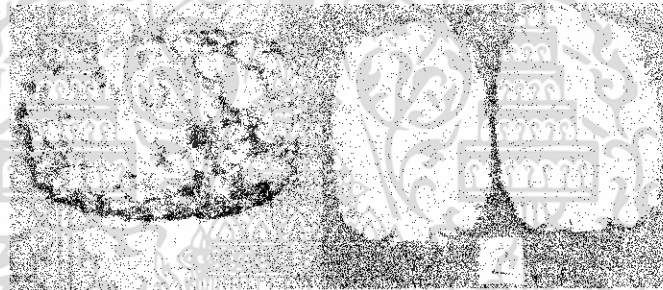
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



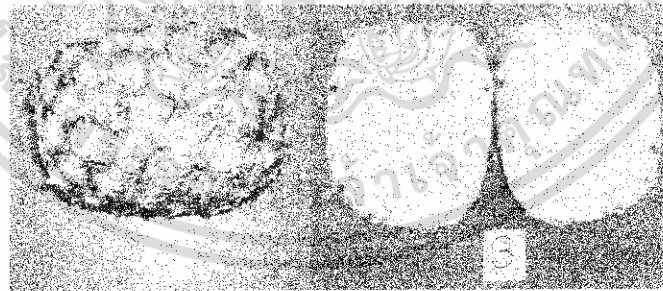
รูปที่ ๖.๕ สับประคติบลูกที่ ๕



รูปที่ ๖.๖ สับประคตูกลูกที่ ๑

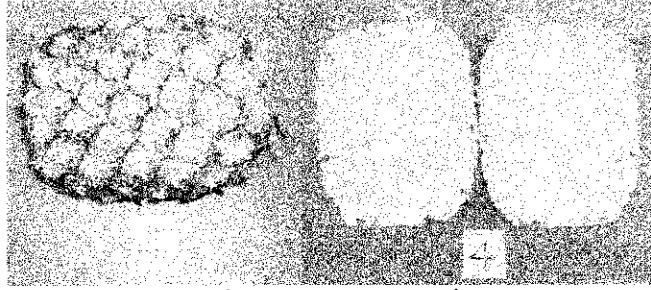


รูปที่ ๖.๗ สับประคตูกลูกที่ ๒

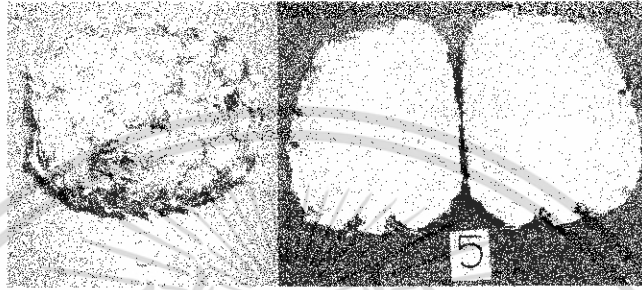


รูปที่ ๖.๘ สับประคตูกลูกที่ ๓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.9 สับประคตลูกที่ 4



รูปที่ จ.10 สับประคตลูกที่ 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้