



การศึกษาวิธีการวัดเพื่อตรวจจับการเกิดยางและเนื้อแก้วขึ้นในผลมังคุด
Study of Internal Gummy and Translucent Fruit Detecting Methods of Mangosteen
(*Garcinia mangostana* Linn.)

ฤทธิศักดิ์ จริตงาม
Rittisak Jaritngam

เลขที่	S8379.1125 (33) 2543 ค.1
Order Key	28835
Bib Key	177628
	10.0.A.2543

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Master of Engineering Thesis in Electrical Engineering
Prince of Songkla University
2543

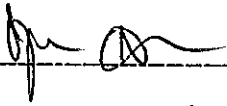
ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาวิธีการวัดเพื่อตรวจจับการเกิดยางและเนื้อแก้วขึ้นในผลมังคุด

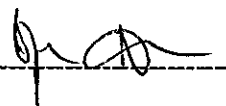
ผู้เขียน นาย ฤทธิศักดิ์ จริตงาม


สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

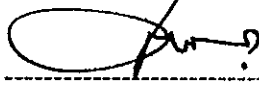
คณะกรรมการที่ปรึกษา


คณะกรรมการสอบ

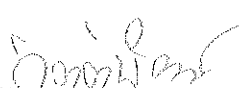
-----ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล)

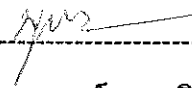
-----ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล)

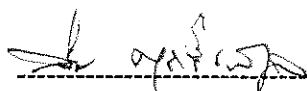
-----กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สายัณห์ สดุดี)

-----กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สายัณห์ สดุดี)


-----กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพัฒน์ ตันตระกูลโรจน์)

-----กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพัฒน์ ตันตระกูลโรจน์)

-----กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

-----กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สนั่น สุภธีร์สกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

-----
(รองศาสตราจารย์ ดร. นพรัตน์ บำรุงรักษ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาวิธีการวัดเพื่อตรวจจับการเกิดยางและเนื้อแก้วขึ้นในผลมังคุด
ผู้เขียน นาย ฤทธิศักดิ์ จริตงาม
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาวิธีการวัดเพื่อตรวจจับการเกิดยางและเนื้อแก้วขึ้นในผลมังคุด โดยได้ประยุกต์ใช้วิธีการทางไฟฟ้าในการคัดแยกมังคุดที่มีปัญหา ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากในปัจจุบันการส่งออกมังคุดมีปัญหาเกี่ยวกับการเกิดยางไหลและเกิดเนื้อแก้วขึ้นภายในผลมังคุดซึ่งทำให้คุณภาพของมังคุดสำหรับการส่งออกมีคุณภาพต่ำส่งผลให้ราคาขายของมังคุดต่ำลงด้วย ดังนั้นเพื่อที่จะลดปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการคัดแยกมังคุดที่เกิดยางไหลและเนื้อแก้วภายในผลออกก่อนที่จะทำการส่งออกและเนื่องจากการเกิดยางไหลและเนื้อแก้วไม่สามารถสังเกตเห็นได้จากภายนอกผลมังคุดจะต้องทำการผ่าผลมังคุดดูเท่านั้นจึงจะทราบได้ ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้เกิดความล่าช้าและทำให้มูลค่าของมังคุดลดลง ดังนั้นการตรวจจับการเกิดยางไหลและเนื้อแก้วภายในผลมังคุดได้โดยไม่ต้องผ่าผลมังคุดดูจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการส่งออกมังคุด วิธีการวัดทางไฟฟ้าที่จะนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจจับในที่นี้มีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ

1. วิธีการวัดค่าอิมพีแดนซ์
2. วิธีการวัดความสามารถในการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ
3. วิธีการวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะ

จากการพิจารณาผลการคัดแยกด้วยวิธีการวัดทั้ง 3 วิธีเปรียบเทียบกับวิธีการลายน้ำซึ่งเป็นวิธีที่ได้มีผู้เสนอไว้ก่อนหน้านี้แล้วว่าเหมาะสำหรับใช้คัดแยกมังคุดที่เกิดเนื้อแก้วได้ พบว่าวิธีการวัดค่าอิมพีแดนซ์เหมาะสำหรับคัดแยกผลมังคุดที่เน่าออกได้โดยสามารถคัดแยกออกได้ถูกต้องถึง 83 % ส่วนวิธีการวัดความสามารถในการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟนั้นสามารถใช้คัดแยกมังคุดที่มีปัญหาได้เช่นกันแต่เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องยังมีค่าต่ำมากและวิธีสุดท้ายคือวิธีการวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะซึ่งวิธีนี้ยังแบ่งย่อยออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ วิธีการวิเคราะห์กำลังเชิงสเปกตรัมและวิธีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ฮอไตรเกรสซีฟซึ่งวิธีการวิเคราะห์กำลังเชิงสเปกตรัมสามารถใช้คัดแยกมังคุดที่ดีได้ถูกต้องถึง 89 % ขณะที่วิธีการลายน้ำสามารถคัดได้ 85 % และวิธี

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟสามารถใช้คัดแยกมัจจุตที่เกิดอย่างไหลได้ถูกต้องถึง 80 % ในขณะที่วิธีการลายน้ําสามารถคัดได้เพียง 40 % และนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำวิธีการลายน้ําวิธีการวิเคราะห์กำลังเชิงสเปคตรัมและวิธีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟมาทำการวิเคราะห์ร่วมกันจะสามารถใช้คัดแยกมัจจุตทั้งผลดีและผลเสียได้ถูกต้องมากขึ้นกว่าทุกวิธีโดยมีความถูกต้องประมาณ 78 %

Thesis Title Study of Internal Gumming and Translucent Fruit Detecting Methods
 of Mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.)

Author Mr. Rittisak Jaritngam

Major Program Electrical Engineering

Academic Year 2000

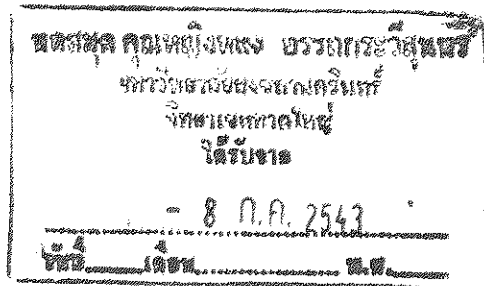
Abstract

This thesis presents the study of internal - gumming and translucent flesh detecting method of mangosteens fruits by applying electrical method. So far, the problems of mangosteen exportation have been due to low quality because of gumming and translucent. To avoid these problems, it is necessary to detect gumming and translucent mangosteen fruits before export. However, it is not convenient to detect internal disorder of mangosteen fruits by non-destructive method, only cutting it for checking that is tardy and decreasing its valuation. So gumming and translucent detecting without destruction is necessary. In this experiment, 3 electrical methods for detection were used as follows:

1. The measurement of impedance method
2. The measurement of microwave absorption method
3. The measurement from knocking sound method

From comparing the results of these 3 methods and the measurement of mass to volume method which is presented previously being appropriate to detect the translucent mangosteens. From the result, it was found that the measurement of impedance method was appropriate to detect the rotten mangosteens with 83% percent correction. By the way, the measurement of microwave absorption method could detect low quality fruits, but it was low correction percentage. The measurement from knocking sound method were divided in 2 sub-methods as 1) the power spectrum analysis and 2) the autoregressive model analysis. The first sub-method could detect

good mangosteens with 89% correction, whereas the measurement of mass to volume could detect good mangosteens with 85 % correction. Another sub-method could detect the gumming mangosteens with 80% percent correction, whereas the measurement of mass to volume could detect the gumming mangosteen with 40%. From the results, it is suggested that combine method of these 2 sub-methods and the measurement of mass to volume method is an appropriate method with 78 % correction of measurement.



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ ลิ้มสกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ช่วยให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการแก้ปัญหา รวมทั้งกรุณาให้คำชี้แนะพื้นฐานในความรู้ด้านวิศวกรรม ตลอดจนกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สายัณห์ สดุดี ในการให้คำแนะนำและให้ข้อมูลเอกสารพร้อมทั้งความรู้ในด้านมั่งคุด ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จไปได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพัฒน์ ต้นตระกูลโรจน์ที่ให้คำปรึกษา และช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร. สนั่น ศุภธีรสกุล ที่ให้คำปรึกษา และช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้ทุนบัณฑิตศึกษาภายในประเทศ สำหรับเป็นทุนการศึกษาและทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ภายในภาค จนทำให้งานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณเพื่อนๆปริญญาโทวิศวกรรมไฟฟ้าทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจตลอดมาในช่วงที่กำลังศึกษา

สุดท้ายนี้ขอโน้มระลึกถึงพระคุณ คุณบิดา มารดา และพี่ชายทั้งสองคนที่ส่งเสริมและให้กำลังใจอีกทั้งยังอุปถัมภ์ทางการศึกษามาโดยตลอดจนประสบความสำเร็จ

ฤทธิศักดิ์ จริตงาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(12)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(14)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย	1
1.2 ตรวจเอกสาร	2
2. วัสดุและวิธีการทดลอง	11
2.1 การทดลองที่ 1 การวัดน้ำหนักต่อปริมาตร	11
2.2 การทดลองที่ 2 วิธีการวัดอิมพีแดนซ์	11
2.3 การทดลองที่ 3 การวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ	15
2.4 การทดลองที่ 4 การวัดสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะ	17
2.5 การวิเคราะห์โดยใช้สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ	22
2.6 การจำแนกโดยใช้วิธีการโครงข่ายประสาท	23
3. ผลการทดลอง	34
3.1 การจำแนกลักษณะของผลมังคุด	34
3.2 ผลการทดลองที่ 1 การวัดน้ำหนักต่อปริมาตร	37
3.3 ผลการทดลองที่ 2 การวัดอิมพีแดนซ์	40
3.4 ผลการทดลองที่ 3 การวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ	46
3.5 ผลการทดลองที่ 4 การวัดสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะ	57

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.6 การวิเคราะห์โดยการลายน้ํา ออโตรีเกรสซีฟ และการวิเคราะห์สเปคตรัม	75
4. สรุปผลการทดลอง	80
4.1 วิธีการวัดน้ําหนักต่อปริมาตร(การลายน้ํา)	80
4.2 วิธีการวัดอิมพีแดนซ์	80
4.3 การวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ	81
4.4 การวัดสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะ	81
4.5 ข้อเสนอแนะในการวิจัย	81
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก	86
ประวัติผู้เขียน	96

รายการตาราง

ตาราง	หน้า	
1.1	ดัชนีระดับสีผิวและลักษณะของผลมังคุด	2
1.2	การเปลี่ยนแปลงสีผิวของมังคุดเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง	4
2.1	ตัวอย่างการจัดข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่ายโดยวิธีการวัดกำลังเชิงสเปคตรัม	30
2.2	ตัวอย่างการจัดข้อมูลในการทดสอบโครงข่ายโดยวิธีการวัดกำลังเชิงสเปคตรัม	31
2.3	ตัวอย่างการจัดข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่ายโดยวิธีสัมประสิทธิ์ของอตรีเกรสซีฟ	32
2.4	ตัวอย่างการจัดข้อมูลในการทดสอบโครงข่ายโดยวิธีสัมประสิทธิ์ของอตรีเกรสซีฟ	33
3.1	ลักษณะและจำนวนผลมังคุดที่นำมาทดสอบทั้งหมด	37
3.2	ผลการคัดเลือกมังคุดด้วยวิธีการลอยน้ำ	39
3.3	เปอร์เซ็นต์ผลการคัดเลือกมังคุดด้วยวิธีการลอยน้ำ	40
3.4	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากการให้ความร้อนแก่ผลมังคุด	48
3.5	ลักษณะและจำนวนผลมังคุดที่นำมาทดสอบด้วยวิธีการวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ	56
3.6	เปอร์เซ็นต์ผลการคัดเลือกผลมังคุดด้วยวิธีการวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ	56
3.7	ผลการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทโดยข้อมูลของกำลังเชิงสเปคตรัม	64
3.8	ลักษณะและจำนวนผลมังคุดที่นำมาทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์สเปคตรัม	66
3.9	ผลการคัดเลือกมังคุดด้วยวิธีการวิเคราะห์สเปคตรัม	66
3.10	เปอร์เซ็นต์ผลการคัดเลือกมังคุดโดยโครงข่ายและใช้ข้อมูลของค่ากำลังเชิงสเปคตรัม	67
3.11	ตัวอย่างผลที่ได้จากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของอตรีเกรสซีฟโมเดล ลำดับที่ 1-10 ของผลมังคุดที่ปกติจำนวน 5 ผล	69
3.12	ตัวอย่างผลที่ได้จากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของอตรีเกรสซีฟโมเดล ลำดับที่ 1-10 ของผลมังคุดที่ผิดปกติจำนวน 5 ผล	71

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
3.13 ลักษณะและจำนวนผลมังคุดที่นำมาใช้ในการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาท โดยใช้ข้อมูล การหาสัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟทั้งหมด	72
3.14 ผลการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทโดยข้อมูลของสัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ	72
3.15 ผลการคัดเลือกมังคุดด้วยวิธีการออโตรีเกรสซีฟ	74
3.16 เปอร์เซนต์ผลการคัดเลือกผลมังคุดด้วยวิธีการออโตรีเกรสซีฟ	74
3.17 ผลการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทโดยใช้ 3วิธีร่วมกัน	75
3.18 ผลการคัดเลือกมังคุดโดยใช้ 3วิธีร่วมกัน	78
3.19 เปอร์เซนต์ผลการคัดเลือกผลมังคุดจากการวัดทั้ง 3 วิธี	78

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า	
2-1	รูปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์	13
2-2	วงจรที่ใช้วัดกระแสที่ไหลผ่านผลมังคุด	13
2-3	ภาพอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์	14
2-4	แรงดันของสัญญาณที่วัดได้จากผลมังคุดที่ความถี่ 1 kHz	15
2-5	รูปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดคลื่นไมโครเวฟ	16
2-6	ภาพอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดคลื่นไมโครเวฟ	16
2-7	รูปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะ	18
2-8	ภาพอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะ	18
2-9	ค่าความถี่รีโซแนนซ์สูงสุดสี่อันดับแรก	20
2-10	โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์ประสาท	24
2-11	โครงสร้างของ แบบจำลองการแพร่กลับ (Back Propgation)	25
3-1	ลักษณะของผลมังคุดปกติ	34
3-2	ลักษณะของผลมังคุดที่ผิดปกติไม่มาก	34
3-3	ลักษณะผลมังคุดที่มีลักษณะเนื้อขำ	35
3-4	ลักษณะผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว	35
3-5	ลักษณะผลมังคุดที่มีอาการยางไหล	36
3-6	ลักษณะผลมังคุดที่เกิดทั้งอาการยางไหลและอาการเนื้อแก้ว	36
3-7	ภาพการทดลองการวัดการลายน้ำของผลมังคุด	38
3-8	สัญญาณที่วัดได้ของมังคุดที่ปกติที่ความถี่ 1 kHz	41
3-9	สัญญาณที่วัดได้ของมังคุดที่เสียมากที่ความถี่ 1 kHz	41
3-10	ค่าแรงดันไฟฟ้าของมังคุดจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 1kHz	42
3-11	ค่าแรงดันไฟฟ้าของมังคุดจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 3 kHz	43
3-12	ค่าแรงดันไฟฟ้าของมังคุดจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 5 kHz	43
3-13	ค่าแรงดันไฟฟ้าของมังคุดจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 10 kHz	44
3-14	ค่าแรงดันไฟฟ้าของมังคุดจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 100 kHz	45

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3-15 ค่าแรงดันไฟฟ้าของมัลติคัทจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 300 kHz	45
3-16 ค่าแรงดันไฟฟ้าของมัลติคัทจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 500 kHz	46
3-17 ตำแหน่งที่ใช้วัดอุณหภูมิของผลมัลติคัท	47
3-18 อุณหภูมิด้านข้างเฉลี่ยกับระดับอากาศของมัลติคัท	54
3-19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านข้างกับน้ำหนัก	54
3-20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเส้นผ่านศูนย์กลาง	55
3-21 ตัวอย่างของ Power Spectrum ที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณที่ ปรากฏอยู่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์	59
3-22 ความสัมพันธ์ที่ได้ ระหว่าง Fmax1 กับ อากาศของมัลติคัท	60
3-23 ความสัมพันธ์ที่ได้ ระหว่าง Fmax2 กับ อากาศของมัลติคัท	61
3-24 ความสัมพันธ์ที่ได้ ระหว่าง Power Rate กับ อากาศของมัลติคัท	61
3-25 ความสัมพันธ์ที่ได้ ระหว่าง Power กับ อากาศของมัลติคัท	62
3-26 ความสัมพันธ์ที่ได้ ระหว่าง ค่าเฉลี่ยของกำลังเชิงสเปคตรัม กับ อากาศของมัลติคัท	62
3-27 ความสัมพันธ์ที่ได้ ระหว่าง ค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังเชิงสเปคตรัม กับ อากาศของมัลติคัท	63
3-28 แสดงค่าเอาท์พุทที่ได้จากโครงข่ายประสาทที่ hidden layer = 8	65
3-29 สัญญาณของผลมัลติคัทที่ปกติจำนวน 5 ผล	69
3-30 สัญญาณของผลมัลติคัทที่ผิดปกติจำนวน 5 ผล	71

ตัวย่อและสัญลักษณ์

-	=	negative of,or minus
%	=	percent
+	=	positive of,or plus
Hz	=	hertz
Max	=	maximum
V	=	volt
MHz	=	megahertz
KHz	=	kilohertz
GHz	=	gigahertz
mV	=	millivolt
°C	=	celsius
J	=	joule
A/D	=	analog-to-digital
P.Hi	=	Power high
P.Lo	=	Power low

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

มังคุดนับว่าเป็นราชินีของไม้ผลเมืองร้อนเนื่องจากมีรสชาติดีและผลสวย เป็นผลไม้เมืองร้อนชนิดหนึ่งซึ่งเป็นที่ยอมรับของตลาดต่างประเทศดังนั้นมังคุดจึงถูกจัดเป็นไม้ผลที่มีศักยภาพสูงในการส่งออกของประเทศไทย อย่างไรก็ตามเนื่องจากขาดความรู้ในการคัดเลือกผลที่มีคุณภาพสูงจึงทำให้การส่งออกถูกจำกัดลง มังคุดมีแหล่งผลิตใหญ่อยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ ประเทศไทย มาเลเซีย และ อินโดนีเซีย โดยเฉพาะประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตที่ใหญ่ที่สุดของโลก (สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคใต้, 2538) โดยการส่งออกนอกจากอยู่ในรูปผลไม้สดแล้ว ยังมีการส่งออกในรูปของผลไม้อบแห้ง มังคุดบรรจุกระป๋อง ตลอดจนมังคุดแช่เยือกแข็ง(ชลธิศา, 2540) แต่ปริมาณการส่งออกมังคุดของไทยอยู่ในระดับ 1-2 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตทั้งหมดภายในประเทศเท่านั้น ในขณะที่ความต้องการของตลาดในทวีปยุโรปและญี่ปุ่นมีสูงมาก(ดาราร, 2532) แต่เนื่องจากคุณภาพของมังคุดที่ผลิตได้ไม่ดีพอทำให้ไม่สามารถส่งออกตามความต้องการของตลาดได้ มังคุดซึ่งเป็นที่ต้องการของตลาดต้องมีผลขนาดสม่ำเสมอมีขนาดผลตั้งแต่ 100 กรัมขึ้นไป หรือประมาณ 8-10 ผลต่อกิโลกรัม ผลที่มีความสมบูรณ์ปราศจากร่องรอยการทำลายของโรคและแมลงมีผิวฉ่ำตามธรรมชาติภายในผลไม่มีอาการเนื้อแก้วและยางไหล เนื้อภายในมีสีขาวนวลรับประทาน (ศรีสังวาลย์, 2537) ซึ่งปัญหาเกี่ยวกับการผลิตเพื่อให้ได้ผลภายนอกตรงตามความต้องการของตลาดนั้นสามารถทำได้แล้วโดยเกษตรกรได้มีการปรับปรุงวิธีการบำรุงรักษาและดูแลให้ถูกต้องตามหลักวิชาการเพื่อสามารถผลิตมังคุดที่มีคุณภาพดีแต่ปริมาณและมูลค่าของการส่งออกของมังคุดยังไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้เท่าที่ควรทั้งนี้เนื่องจากขาดวิธีการในการคัดคุณภาพของผลมังคุดอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผลมังคุดสดที่ส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ เช่น มีผลที่เป็นเนื้อแก้ว (เนื้อผลมีลักษณะใสแข็ง) ปะปนกับผลที่มีเนื้อปกติ (เนื้อผลมีสีขาวฟู, นุ่ม) หรือมีผลดีปะปนกับผลที่เน่าเสีย(ธนะชัย, 2534) ดังนั้นถ้าสามารถหาวิธีตรวจสอบการเกิดเนื้อแก้วและยางไหลภายในผลมังคุดได้อย่างแม่นยำและรวดเร็วจะทำให้สามารถแก้ปัญหาความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อการส่งออกของผลมังคุดซึ่งจะช่วยให้การส่งออกมีมูลค่าสูงขึ้น

1.2 ตรวจเอกสาร

1.2.1 ลักษณะทั่วไปของมังคุด

มังคุด(*Garcinia mangostana* Linn.) จัดอยู่ในวงศ์ *Guttiferae* ผลทรงแบนเปลือกหนาและเมื่อผลยังอ่อนเปลือกจะมีสีเขียว พอเริ่มแก่จะมีลายเส้นสีแดงเรียกว่า สายเลือด เมื่อสุกจัดเปลือกจะมีสีม่วงดำ เนื้อภายในมีสีขาวนวล ลักษณะนุ่ม ฉ่ำน้ำ กลิ่นหอมชวนรับประทาน มีรสหวานอมเปรี้ยวแบ่งเป็นกลีบประมาณ 4-7 กลีบ และมีเมล็ดประมาณ 0-3 เมล็ดต่อผล โดยทั่วไปมังคุดจะออกผลปีละครั้ง เนื่องจากความแตกต่างของภูมิอากาศและพื้นที่ปลูกทำให้ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวมังคุดแตกต่างกัน โดยในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคมจะเป็นมังคุดที่เก็บเกี่ยวได้จากทางภาคตะวันออกส่วนเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคมจะเป็นมังคุดจากภาคใต้ (เกียรติเกษตรและคณะ, 2530)

1.2.1.1 ดัชนีและวิธีการเก็บเกี่ยวมังคุด

หลังจากมังคุดติดผลจนถึงสัปดาห์ที่ 12 จะมีการเปลี่ยนสีผิวที่เปลือกโดยในระยะแรกจะเกิดจุดประสีม่วงแดงกระจายอยู่บนเปลือกสีเหลืองทองอ่อน จากนั้นสีม่วงแดงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งผลสุกงอม เปลือกมีสีม่วงดำการเปลี่ยนแปลงสีผิวนี้อาจใช้เวลาเพียง 7 วัน โดยความเข้มของสีจะเพิ่มขึ้นทุกวันขณะเดียวกันยางในเปลือกจะลดลง(กวิศน์และสุรพงษ์, 2522) ได้แบ่งดัชนีแสดงระดับสีผิวของมังคุดออกเป็น 7ระดับคือระดับที่ 0 ถึงระดับที่ 6 ดังแสดงในตาราง 1.1

ตาราง 1.1 ดัชนีระดับสีผิวและลักษณะของผลมังคุด

ระดับสีที่	ลักษณะสีผิว	ปริมาณยาง	ความยากง่ายในการแยกเนื้อกับเปลือก	หมายเหตุ
0	ขาวเหลืองหรือแด้มสีเขียวอ่อน	มาก	ยาก	ยังไม่เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยว
1	เหลืองอ่อนมีจุดสีชมพูกระจายบางส่วน	มาก	ยาก	ยังไม่เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยว

ที่มา: ดัดแปลงมาจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ตาราง 1.1 (ต่อ)

ระดับ สีที่	ลักษณะสีผิว	ปริมาณ ยาง	ความยากง่าย ในการแยกเนื้อ กับเปลือก	หมายเหตุ
2	เหลืองอมชมพูมีจุดสีชมพู ปานกลางกระจายทั้งผล	ปาน กลาง	ยาก	เป็นระยะอ่อนที่สุดสำหรับ การเก็บเกี่ยวที่มีคุณภาพ
3	ชมพูสม่ำเสมอ	น้อยถึง น้อยมาก	ยากปานกลาง ถึงง่าย	เหมาะสำหรับส่งออกต่าง ประเทศ
4	แดงหรือน้ำตาลอมแดง	น้อยมาก ถึงไม่มี	ง่าย	เหมาะสำหรับส่งออกต่าง ประเทศ
5	ม่วงอมแดง	ไม่มี	ง่ายมาก	เป็นระยะรับประทานสด
6	ม่วงถึงดำ	ไม่มี	ง่ายมาก	เหมาะแก่การรับประทาน สด

การเก็บเกี่ยวผลมังคุดควรเก็บผลที่มีระยะเหมาะสมต่อการใช้บริโภค สำหรับการส่งออกในรูปผลสดนั้นควรเก็บในระยะที่เปลือกเริ่มมีการเปลี่ยนสีหรือเป็นสายเลือด โดยมังคุดทั้งสองวัยนี้เป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับตลาดที่อยู่ห่างไกล เมื่อถึงปลายทางมังคุดจะมีสีม่วงแดง ซึ่งเป็นวัยที่เริ่มรับประทานได้พอดี (สุรพงษ์, 2530) และสำนักประชาสัมพันธ์อะโกรคอมมิวนิตี้ (2535) รายงานว่าสีผิวของมังคุดจะเปลี่ยนแปลงทุกวันตั้งแต่เริ่มมีสายเลือดจนถึงผิวสีดำ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 7 วัน และหากเก็บมังคุดไว้ในอุณหภูมิห้องธรรมดาหลังจากผลดำแล้วจะเก็บได้ประมาณ 15 วัน จะเริ่มเน่า และมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของผลหลังการเก็บเกี่ยวดังตาราง 1.2

ตาราง 1.2 การเปลี่ยนแปลงสีผิวของมังคุดเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

วันที่	ระดับสีของผลมังคุด
0	เริ่มมีสายเลือด
1	เริ่มเปลี่ยนสี
2	สีเพิ่มขึ้น
3	สีชมพู
4	สีแดง
5	สีแดงเข้ม
6	สีม่วงแดง
7	สีดำ
8	สีดำ
9	สีดำ
10	สีดำ
11	สีดำ
12	สีดำ
13	สีดำ
14	สีดำ
15	เน่า

ที่มา: ดัดแปลงมาจากสำนักประชาสัมพันธ์ อะโกรคอมมิวนิตี้(2535)

1.2.2 การเกิดอาการผิดปกติในผลมังคุด

1.2.2.1 การเกิดอาการยางไหล

มังคุด(*Garcinia mangostana* Linn.) มีถิ่นกำเนิดแถบคาบสมุทรมลายู สำหรับในประเทศไทยภาคใต้จะเป็นแหล่งผลิตที่มีขนาดใหญ่ที่สุดมีพื้นที่เพาะปลูกคิดเป็น 67 % ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดซึ่งอยู่ในเขตจังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.5 – 7.0 เซนติเมตร เนื้อสีขาวขุ่น (Bailey, 1953) เมื่อผลยังดิบเปลือกมีสีเขียวทองอ่อนและมียางเหลืองอยู่มาก เมื่อผลเริ่มแก่จะเกิดจุดประสีม่วงแดงเป็นปื้นขึ้นบริเวณเปลือก เรียกว่า ' สายเลือด ' เมื่อผลสุกเต็มที่จะเป็นสีม่วงแดงจนถึงม่วงดำกระจายทั่วทั้งผลในเซลล์ของ

พืชที่เจริญเติบโตเต็มที่นั้นจะพบว่ามียางอยู่ในส่วนเยื่อหุ้มเซลล์ ประมาณ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผล โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่มีค่าพลังงานศักย์สูงไปยังตำแหน่งที่มีพลังงานศักย์ต่ำกว่าในสภาพสมดุลย์น้ำไม่เคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างเซลล์มักจะเกี่ยวข้องข้องกับกระบวนการแพร่ (osmosis) ในพืชดอก น้ำยาง (latex) จะอยู่ในเซลล์เดี่ยวหรือหลายเซลล์ต่อกัน มักจะเกิดใกล้ๆกับท่ออาหาร สีของน้ำยาง (latex) จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ในมังคุดเป็นสีเหลือง น้ำยางที่พบเป็นพวกสารประกอบของสารหลายอย่างที่พบมากที่สุดคือพวกรยาง (rubber) ซึ่งจะพบในไซโตพลาสซึม นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารอื่นๆได้แก่อัลคาลอยด์ น้ำตาล แป้ง แทนนิน โปรตีน และ ผลึก (Esau, 1977) จะเห็นได้ว่าท่อน้ำยางมีสารประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้มีความสามารถในการแพร่สูง มีแนวโน้มที่จะดูดน้ำจากเนื้อเยื่ออื่นๆได้ การได้รับน้ำเพิ่มขึ้นของต้นมังคุดอาจทำให้น้ำเข้าไปในท่อน้ำยางมากขึ้นท่อน้ำยางเกิดการขยายขนาดและเกิดการฉีกขาดขึ้นได้ ทำให้น้ำยางไหลออกจากท่อน้ำยาง เกิดอาการยางไหลภายในผลขึ้น ถ้าน้ำมากจะทำให้ความเข้มข้นของน้ำยางและความหนืดลดลงทำให้การไหลของน้ำยางเกิดเร็วขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำยางที่ไหลออกมาที่บริเวณที่เกิดการฉีกขาดของท่อน้ำยางมากขึ้นทำให้อาการรุนแรงของอาการยางไหลมากขึ้น

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับอาการยางไหลนี้ (ศรีสังวาลย์, 2537) พบว่าอาการยางไหลของผลมังคุดน่าจะมีสาเหตุมาจากปริมาณน้ำฝนที่ต้นมังคุดได้รับมากเกินไปและได้ทดลองนำผลมังคุดมาจากจังหวัดจันทบุรี ระยอง นนทบุรี ชุมพร และ นครศรีธรรมราช มาตรวจสอบอาการยางไหลโดยพบผลที่เป็นยาง 18.1, 9.5, 6.9, 14.8 และ 6.4 % ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาอาการผิดปกติของผลดังกล่าวตามช่วงเวลาที่เก็บเกี่ยวแล้วนำไปเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณน้ำฝน พบว่ามีจำนวนผลไม้ที่เกิดยางไหลและความรุนแรงของยางไหลนั้นสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนในช่วงที่เก็บผลมังคุดมาทดสอบแต่อาการยางไหลไม่แปรผันตามปริมาณน้ำฝน แต่เมื่อทำการทดลองให้น้ำเพิ่มขึ้นจากปกติผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเกิดยางไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากที่มีการให้น้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งอาการยางไหลนี้ได้ให้ข้อคิดเห็นว่าในท่อน้ำยางมีสารประกอบปริมาณมากที่ทำให้ความสามารถในการแพร่สูง ซึ่งมีแนวโน้มดูดน้ำจากเนื้อเยื่ออื่นๆได้ การได้รับน้ำเพิ่มขึ้นของต้นมังคุดอาจทำให้น้ำเข้าไปในท่อน้ำยางมากขึ้นจนท่อน้ำยางเกิดการขยายตัวจนเกิดการฉีกขาดทำให้น้ำยางไหลแทรกภายในผล ประกอบกับความหนืดของน้ำยางลดลงทำให้การไหลของน้ำยางเกิดเร็วขึ้นด้วย โดยไหลออกมาตามรอย

ชี้ขาดของท่อน้ำยาง ดังนั้นการเกิดอาการยางไหลน่าจะเกี่ยวข้องกับการที่มังคุดได้รับน้ำมากเกินไป

1.2.2.2 การเกิดอาการเนื้อแก้ว

การที่ผลมังคุดมีคุณภาพไม่ดี และมีผลเสียปะปนอยู่ด้วย อาจแบ่งสาเหตุออกได้ 2 ประเด็นใหญ่ๆ คือ ประเด็นแรกได้แก่ ผลมังคุดซึ่งทำการเก็บเกี่ยวมาแล้วไม่ได้ทำการคัดเลือก แบ่งแยกเอาผลเสียออกจากผลดี (สุรพงษ์, 2530) ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ การเปลี่ยนแปลงของเนื้อผลจากขาวชุนเป็นใส และจากเนื้อที่อ่อนนุ่มกลับกลายเป็นค่อนข้างแข็ง อาการดังกล่าวเรียกว่าอาการเนื้อแก้ว ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้จากภายนอก และอาจเป็นผลเสียสำหรับการส่งมังคุดเป็นสินค้าออก เพราะการควบคุมคุณภาพเป็นไปได้อย่างยาก โดยลักษณะของมังคุดเนื้อแก้วก็คือ เนื้อของมังคุดจะมีสีใสเป็นบางส่วนหรือเป็นไปทั้งหมดและเนื้อจะกรอบกว่าผลมังคุดทั่วไป การเกิดอาการเนื้อแก้วนั้น มักจะเกิดกับเมล็ดที่ใหญ่ที่สุดในผล ในขณะเดียวกันเปลือกด้านในสวนที่ติดกับเนื้อผลจะมีอาการฉ่ำน้ำด้วยและถ้าเป็นทั้งผลจะทำให้มังคุดเสียคุณภาพอาจทำให้เปลือกแข็ง และถือว่ามังคุดที่เป็นเนื้อแก้วนั้นเป็นมังคุดที่เสียต้องคัดออกถ้าส่งไปยังตลาดต่างประเทศ ซึ่งสาเหตุของมังคุดเนื้อแก้วยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดข้อสันนิษฐานเรื่องมังคุดเนื้อแก้วมีหลายประการเช่นเกิดจากการได้รับความกระทบกระเทือนหรือเกิดจากความไม่สมดุลย์ของธาตุอาหารแต่ยังไม่มีความชัดเจนโดยยอมรับและได้มีการศึกษาในขั้นต้น โดยพบว่าการเกิดเนื้อแก้วของผลมังคุดน่าจะมีส่วนสัมพันธ์กับการได้รับน้ำของต้นมังคุดดังนั้นจึงอาจตั้งสมมุติฐานของการเกิดเนื้อแก้วได้ว่ามังคุดเนื้อแก้วเกิดจากการที่มังคุดได้รับน้ำในสัดส่วนที่มากเกินไปจนกว่าผลมังคุดที่มีเนื้อปกติ (ธนะชัย, 2534)

1.2.2.3 การเกิดโรคในผลมังคุด

เชื้อราและแบคทีเรียมีอยู่ทั่วไปในสภาพแวดล้อมของผลผลิต เชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคกับผลผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวอยู่ในวงศ์ *Ascomycetes* และ *Imperfectfungi* การเข้าสู่ผลผลิตผลส่วนใหญ่เชื้อจุลินทรีย์จะเข้าทางช่องเปิดต่างๆตามธรรมชาติและทางบาดแผล ลักษณะการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์อาจแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

1.2.2.3.1 การเข้าทำลายทางช่องเปิด

เชื้อจุลินทรีย์สามารถเข้าสู่ภายในผลผลิตได้ตามช่องเปิดต่างๆ ตามธรรมชาติหรือตามบาดแผลที่มีอยู่ แต่เชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้อาจจะพักตัวและไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในเนื้อเยื่อพืชยังไม่เหมาะสม เชื้อเหล่านี้จะไม่เจริญเติบโตในช่วงแรก จนกระทั่งผลเริ่มสุกหรือเก็บไว้เป็นเวลานาน อาการของโรคก็จะค่อยๆปรากฏขึ้น เมื่อผลผลิตอ่อนแอลง

1.2.2.3.2 การเข้าทำลายผ่านทางคิวติเคิล

เชื้อราบางชนิดสามารถเข้าทำลายเซลล์ของพืชโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านช่องเปิดธรรมชาติ การเข้าทำลายอาจเกิดดังนี้ : เมื่อสปอร์ตกลงบนผลผลิตและมีสภาพอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม สปอร์จะงอกภายในไม่กี่ชั่วโมง โดยงอกเป็นท่อเรียกว่า *germ tube* และพัฒนาเป็นโครงสร้างที่มีผนังหนาเกาะติดแน่นกับผิวของผลผลิตโดยสารเมือกที่ *germ tube* สร้างขึ้นมา เรียกโครงสร้างทั้งหมดนี้ว่า *appressorium* ผนังของ *appressorium* จะหนาในทุกด้านยกเว้นช่องเล็กทางด้านที่ติดกับผิวผลผลิต ซึ่งจะมีแต่ผนังบางๆของ *germ tube* อยู่ติดกับผิวผลผลิตเท่านั้น เชื่อกันว่าเอนไซม์ต่างๆรวมทั้งคิวติเนส ซึ่งย่อยสลายคิวติน จะถูกสร้างขึ้นใน *appressorium* และส่งออกสู่ผิวของผลผลิตผ่านทางช่องเปิดนี้ เมื่อคิวติเคิลอ่อนแอลงเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวแล้ว *germ tube* จะงอกเป็นแท่งขนาดเล็กเรียกว่า *infection peg* ทะลุผ่านเข้าไปในเซลล์แล้ว *infection peg* ก็จะพัฒนาแบ่งตัวแตกกิ่งก้านสาขา แต่อาจไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ เนื่องจากการต้านทานของผลผลิต จึงพักตัวรออยู่จนกระทั่งความต้านทานของผลผลิตลดลง เรียกการเข้าทำลายแบบนี้ว่า *latent infection* (จริงแท้, 2537)

1.2.2.4 การเกิดอาการเปลือกแข็งในผลมังคุด

ลักษณะเปลือกแข็งของผลมังคุดเกิดจากการตอบสนองทางกายภาพของมังคุด เมื่อเกิดบาดแผล เพื่อลดการสูญเสียน้ำและการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ กลไกของการสมานแผลจะเริ่มจากการสร้างสารลิกนินขึ้น เพื่อสะสมในผนังเซลล์ของเซลล์ที่อยู่ติดกับผนังเซลล์ที่เกิดบาดแผล ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง เชื้อจุลินทรีย์บุกเข้าไปได้ยาก ต่อมาเนื้อเยื่อที่อยู่ได้ลงไปชั้นของ *cortex* เกิดการแบ่งตัว สร้างเป็นเซลล์สี่เหลี่ยมผืนผ้าพร้อมกับสร้างสาร *suberin* เข้าสะสมในผนังเซลล์ของเซลล์ใหม่จึงเกิดเป็น *periderm* ทำให้สามารถป้องกันการเสียน้ำและป้องกันเชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลาย ในบางกรณีเซลล์ที่อยู่ใต้เซลล์ที่เกิดบาดแผลจะตายลงเองเพื่อก่อให้เกิดเป็นแนวป้องกันมิให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญผ่านเข้าไปสู่เซลล์ที่อยู่ลึกลงไปเรียกการตอบสนองแบบนี้ว่า

hyper - sensitive (จริงแท้, 2537) เมื่อมังคุดถูกกระทบแรงขึ้นอัตราการคายน้ำจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากผลไม้เมื่อเกิดการซ้ำจะทำให้อัตราการหายใจ อัตราการคายน้ำและกลไกการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (ประสิทธิ์, 2527) และยังพบว่ามังคุดผลใหญ่มีร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลเล็กที่เป็นเช่นนี้เพราะการสูญเสียน้ำหนักเกิดจากการคายน้ำ(ในระยะเวลา 3 วัน) ซึ่งมังคุดผลใหญ่มีอัตราส่วนของพื้นที่การคายน้ำต่อน้ำหนักน้อยกว่ามังคุดผลเล็ก อย่างไรก็ตามน้ำหนักที่หายไปของมังคุดผลใหญ่มีค่าเฉลี่ย 4.95 กรัม ซึ่งสูงกว่าค่า 3.85 กรัมของมังคุดผลเล็ก

1.2.3 การปฏิบัติและการเก็บรักษามังคุดภายหลังการเก็บเกี่ยว

องค์อรและสุมาลี(2510) ได้ทดลองเก็บรักษาผลมังคุดเมื่อผลเริ่มเปลี่ยนสีที่อุณหภูมิ 12.7 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถเก็บรักษาไว้ได้ 1 เดือน โดยมังคุดยังคงคุณภาพเป็นที่น่าพอใจทั้งภายในและภายนอกรวมทั้งรสชาติไม่เปลี่ยนแปลง แม้มีการเน่าเสียบ้างก็ไม่มากนักเมื่อเทียบกับการเก็บที่อุณหภูมิห้องซึ่งพบว่าจะเน่าเสียทั้งหมดในเวลา 3 สัปดาห์ จากรายงานของ Martin (1980) พบว่ามังคุดที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้องได้รับการยอมรับร้อยละ 30 หลังจากเก็บไว้ 15 วัน เนื่องจากมังคุดเกิดเปลือกแข็ง สูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสควบคู่ไปกับเนื้อมีสีน้ำตาล อย่างไรก็ตามการเก็บรักษามังคุดสดให้มีคุณภาพดีควรเก็บในระยะที่เป็นสายเลือด โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษามังคุดคือ 13 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ควรบรรจุผลลงในถุงพลาสติกเจาะรู ถ้าเก็บรักษาไว้ในสภาพที่เหมาะสมแล้วมังคุดมีคุณภาพดี อยู่ได้นานถึง 4 สัปดาห์(สุรพงษ์, 2530)และจากรายงานของสำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคใต้(2538) กล่าวว่าตลาดต้องการมังคุดที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

1.2.3.1 ผลขนาดใหญ่ มีน้ำหนักตั้งแต่ 100 กรัมขึ้นไป ประมาณ 8-10 ผลต่อกิโลกรัม บางประเทศต้องการขนาด 200 กรัมต่อผล

1.2.3.2 ผิวของผลต้องสะอาด ไม่มีร่องรอยการทำลายของแมลงและโรคพืช ผิวฉนวนตามธรรมชาติ

1.2.3.3 เปลือกของผลหนาปานกลาง ไม่แข็ง เนื้อภายในมีสีขาว

1.2.3.4 ไม่มีอาการยางไหลที่เปลือก

1.2.3.5 ไม่มีอาการเนื้อเป็นแก้ว หรือ เนื้อซ้ำ เน่า

1.2.4 การตรวจจับอาการเนื้อแก้วในผลมังคุดที่ผ่านมา

จากรายงานการวิจัยที่ศึกษาถึงการเกิดอาการเนื้อแก้ว ได้แสดงให้เห็นว่าอาการผิดปกติดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากมีปริมาณน้ำในเนื้อผลมากขึ้นกว่าในเนื้อผลปกติ โดยที่น้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศในเนื้อผลมังคุด ซึ่งปกติจะเกิดขึ้นในช่วงที่ต้นมังคุดได้รับน้ำมากในฤดูเก็บเกี่ยวและเมื่อฝนตกชุกความรุนแรงของอาการเนื้อแก้วจะเกิดมากขึ้นโดยธนะชัย(2534)ได้นำวิธีการลายน้ำมาใช้ในการตรวจจับการเกิดอาการเนื้อแก้วขึ้นในผลมังคุดโดยพบว่าวิธีการลายน้ำเป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมที่น่าจะนำมาใช้คัดมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้วได้แต่ก็ยังพบว่าวิธีการลายน้ำนี้ไม่สามารถตรวจจับผลที่เกิดอาการยางไหลได้และในภาพรวมของวิธีการลายน้ำนี้สามารถคัดผลมังคุดในทุกระดับอาการได้ถูกต้องประมาณ 68 %

1.2.5 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.5.1 เพื่อศึกษาหาวิธีการวัดทางไฟฟ้า เพื่อตรวจจับการเกิดยางและเนื้อแก้วภายในผลมังคุด

1.2.5.2 เพื่อหาแนวทางการพัฒนาเครื่องคัดมังคุดที่มียางไหลและเนื้อแก้ว

1.2.6 ขอบเขตของการวิจัย

1.2.6.1 ศึกษาวิธีการวัดทางไฟฟ้า ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจจับการเกิดยางและเนื้อแก้วได้

1.2.6.2 ทำการทดลองวัดในวิธีต่างๆที่ได้ศึกษา

1.2.6.3 นำผลที่ได้ในข้อ 1.2.6.2 ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผลที่มียางและเนื้อแก้ว และไม่มียางและเนื้อแก้วรวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของผลที่ได้กับลักษณะการเกิดยาง

1.2.6.4 ศึกษาหาวิธีการที่จะใช้ในการจำแนกที่เหมาะสม

1.2.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1.2.7.1 ศึกษาลักษณะและสาเหตุที่ทำให้เกิดยางและเนื้อแก้วภายในผลมังคุด

1.2.7.2 ศึกษาวิธีการวัดที่เป็นไปได้ในการตรวจจับการเกิดยางและเนื้อแก้วภายในผลมังคุด

1.2.7.3 เตรียมอุปกรณ์ต่างๆที่จะใช้วัด

1.2.7.4 ทดลองวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้จากข้อ 1.2.7.2

1.2.7.5 ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลที่ได้ในแต่ละวิธี

1.2.7.6 รวบรวมผลที่ได้ซึ่งอาจจะมีมากกว่าหนึ่งวิธีมาทำการศึกษหาวิธีการที่จะนำตัวแปรเหล่านี้มาใช้ในการจำแนก

1.2.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1.2.8.1 ได้วิธีการวัดที่สามารถตรวจจับการเกิดยางและเนื้อแก้วภายในผลมังคุดโดยไม่ต้องผ่าผลมังคุด

1.2.8.2 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องคัดมังคุดที่มียางและเนื้อแก้วภายในผลซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการส่งออกต่อไป

บทที่ 2

วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 การทดลองที่ 1 การวัดน้ำหนักต่อปริมาตรหรือการลอยน้ำ

เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติของมังคุดกับ ความตึงจำเพาะของมังคุด ณะชัย(2539) ได้ศึกษาไว้และพบว่ามังคุดที่มีความตึงจำเพาะมากกว่า 1 ส่วนใหญ่จะเป็นเนื้อ แก้ว(อาการเนื้อแก้วจะเกิดก่อนยางไหล)โดยมังคุดที่ใช้ในการทดลองจัดซื้อจากตลาดในอำเภอ หาดใหญ่โดยในการทดลองแต่ละวิธีการวัดทางไฟฟ้าจะใช้ผลมังคุดจำนวน 100 ผลโดยมังคุดแต่ละผลจะใช้สำหรับทดสอบกับวิธีการวัดทางไฟฟ้าเพียงหนึ่งวิธีเพื่อป้องกันผลกระทบอันอาจจะเกิด จากวิธีการวัดทางไฟฟ้าวิธีอื่น ๆ ดังนั้นจึงใช้มังคุดในการทดลองทั้งหมด 300 ผล มังคุดที่ใช้ในการ ทดสอบวิธีการวัดทางไฟฟ้าแต่ละวิธีจะถูกนำไปทดสอบด้วยวิธีการลอยน้ำด้วยเพื่อนำผลการ จำแนกมาเปรียบเทียบกัน รายละเอียดของวิธีการทดลองแต่ละวิธีมีดังต่อไปนี้

2.1.1 นำผลมังคุดทั้งหมดมาทำการชั่งน้ำหนักผล และติดหมายเลขที่ผลทุกผล

2.1.2 นำผลมังคุดมาทำการลอยน้ำ สังเกตและบันทึกลักษณะการลอย จม ของมังคุด

2.1.3 ทำการผ่าผลมังคุดและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมังคุดทั้งผล

2.1.4 ถ่ายภาพของผลมังคุดและบันทึกอาการผิดปกติที่สังเกตได้

2.2 การทดลองที่ 2 วิธีการวัดอิมพีแดนซ์

จากรายงานของ Koh และ Melton L(1994) เกี่ยวกับการคัดคุณภาพของมะละกอด้วยการวัด ปริมาณน้ำตาลภายในผลโดยเทคนิคการวัดค่าอิมพีแดนซ์ส่วนผลมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้วและ ยางไหลจะมีปริมาณน้ำมากกว่าผลมังคุดที่ปกติประมาณร้อยละ 1.21 (ศรีสังวาลย์, 2537) ดังนั้น จากเหตุผลดังกล่าว ถ้ามังคุดที่ปกติและมังคุดที่ผิดปกติมีปริมาณน้ำที่ไม่เท่ากันแล้ว จึงคาดว่าน้ำ น่าจะเป็นตัวแปรที่สามารถนำมาแยกผลมังคุดที่ปกติและผิดปกติได้ ดังนั้นจึงต้องหาตัวแปรเพื่อที่ จะนำมาใช้อ้างอิงแทนปริมาณน้ำที่มีอยู่อย่างไม่เท่ากันภายในผลมังคุดข้างต้นและถ้าหาวิธีทาง ไฟฟ้ามาประยุกต์เพื่อที่จะใช้วัดปริมาณน้ำที่อยู่ภายในผลมังคุดโดยนำความสัมพันธ์ของตัวแปร

จากหลักการของทฤษฎีวงจรไฟฟ้า และจากความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า , กระแส และค่าอิมพีแดนซ์พบว่า ถ้าควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าคงที่ และสมมติให้ผลมั่งคุดมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ Z ดังนั้นถ้าผลมั่งคุดมีปริมาณน้ำภายในผลไม่เท่ากันย่อมส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์ของมั่งคุดแต่ละผลไม่เท่ากันด้วยนั่นคือค่ากระแสที่ได้ (เมื่อแรงดันไฟฟ้าคงที่) ก็ย่อมไม่เท่ากันและได้แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่จะนำมาใช้วัดอาการผิดปกติของผลมั่งคุดด้วยสมการที่ 2-1

$$|V| = |Z| |I| \quad (2-1)$$

หรือ

$$|I| = \frac{|V|}{|Z|}$$

เมื่อ

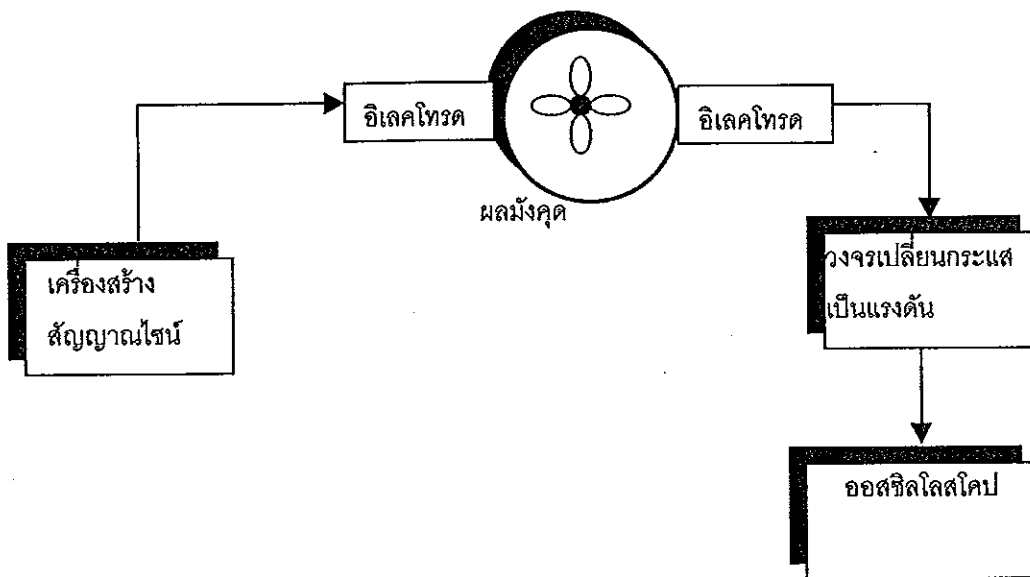
$$\begin{aligned} |V| & \text{ คือขนาดของแรงดันไฟฟ้าเอซีที่จ่ายผ่านผลมั่งคุด} \\ |I| & \text{ คือขนาดของกระแสไฟฟ้าเอซีที่ไหลผ่านผลมั่งคุด} \\ |Z| & \text{ คือขนาดอิมพีแดนซ์ของผลมั่งคุด} \end{aligned}$$

ถ้ากำหนดให้ $|V| = K$ เมื่อ $K :=$ ค่าคงที่

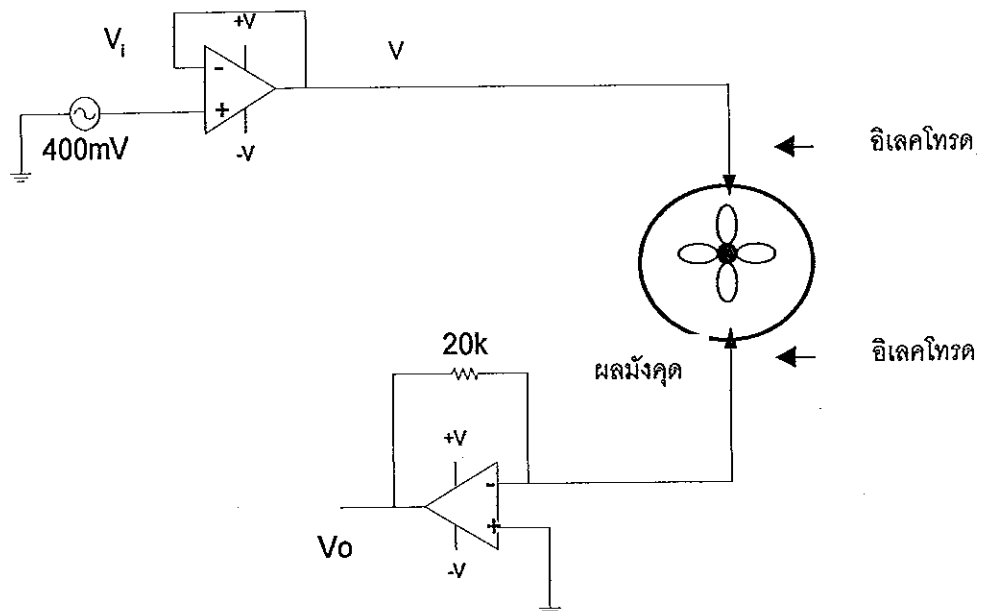
ดังนั้น

$$|I| = \frac{K}{|Z|} \quad (2-2)$$

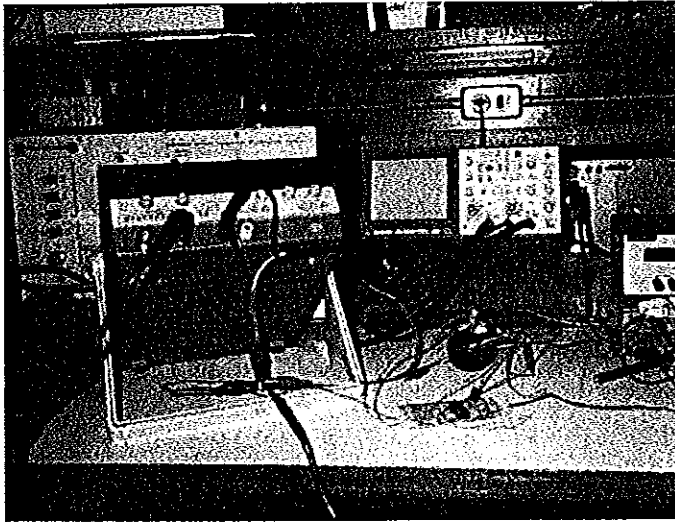
จากสมการดังกล่าวถ้ากำหนดให้ V คงที่ จะเห็นว่ากระแสจะแปรผกผันกับค่าอิมพีแดนซ์ และได้แสดงแผนภาพและวงจรการทดลองไว้ด้วยภาพประกอบ 2-1 และ 2-2 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2-1 อุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์



ภาพประกอบ 2-2 วงจรที่ใช้วัดกระแสที่ไหลผ่านผลม้งคุด



ภาพประกอบ 2-3 ภาพอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์

จากภาพประกอบ 2-2 เป็นวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันซึ่งมี การตอบสนองต่อความถี่ 50Hz-4MHz ซึ่งวงจรนี้ใช้ไอซี เบอร์ LF 351 ซึ่งประกอบด้วยออปแอมป์ 1 ตัวอยู่ใน ไอซี เบอร์นี้ต้องการไฟเลี้ยง $\pm 12V$ สัญญาณจากเครื่องสร้างสัญญาณไซน์ถูกป้อนเข้าสู่วงจร Buffer แล้วผ่านเข้าสู่ผลมั่งคุด ซึ่งกระแสที่ไหลผ่านผลมั่งคุดจะถูกป้อนเข้าสู่วงจรเปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันไฟฟ้าตามลำดับและทำการจับสัญญาณด้วย Oscilloscope โดยในการทดลองจะทำการปรับขนาดของแรงดันไฟฟ้า V_i ให้คงที่ที่ระดับ 400 mV และทำการปรับความถี่ตั้งแต่ 1kHz ถึง 1MHz พร้อมกับบันทึกค่าแรงดัน V_o และทำการทดลองเช่นนี้ซ้ำกันจนครบ 100 ผลซึ่งตัวอย่างของแรงดัน V_o แสดงไว้ในภาพประกอบ 2-4 และเราสามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลผ่าน มั่งคุดกับแรงดันเอาต์พุต (V_o) ซึ่งจะแปรผกผันกับค่า Z ตามสมการที่ 2-3 และ 2-4 ตามลำดับ

$$V_o = 20k \times |I| \quad (2-3)$$

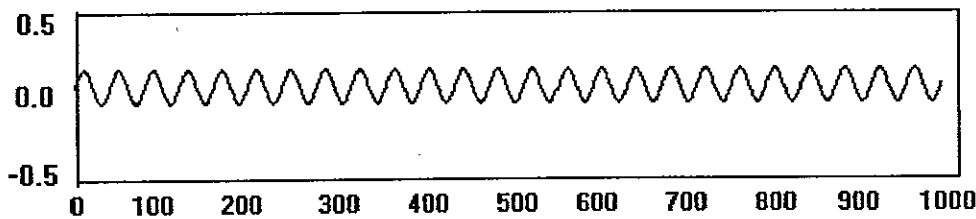
$$\text{เมื่อ } |I| = \frac{|V|}{|Z|} \quad (2-4)$$

$$\text{เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า} = 400 \text{ มิลลิโวลต์}$$

$$\text{ดังนั้น } |V_o| = \frac{20k \times 400mV}{|z|} \quad (2-5)$$

ดังนั้นในการวัดค่าอิมพีแดนซ์จะให้การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V_o) แทน ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากผลมั่งคุดแสดงไว้ในภาพประกอบ 2-4

แรงดัน (โวลต์)



จำนวนจุด

ภาพประกอบ 2-4 ตัวอย่างแรงดันของสัญญาณที่วัดได้จากผลมั่งคุดที่ความถี่ 1kHz

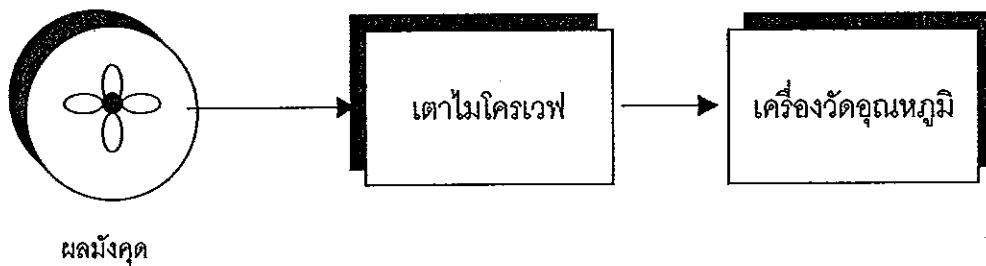
2.3 การทดลองที่ 3 การวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 1 GHz ถึง 300 GHz ซึ่งมีคุณสมบัติในการหักเห สะท้อนและเกิดการเลี้ยวเบนของคลื่นเมื่อมีการตกกระทบกับวัตถุตัวกลาง และสามารถทำให้เกิดความร้อนกับวัตถุที่มีโชโลหะ และวัตถุที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบได้เมื่อคลื่นได้แพร่กระจายเข้าสู่วัตถุนั้น(สุรชัย, 2536)และจากเหตุผลที่มั่งคุดผลที่ผิดปกติจะมีปริมาณน้ำมากกว่าผลที่ปกตินั้นคือน้ำจะเป็นตัวแปรที่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างผลมั่งคุดที่ปกติและผลที่ผิดปกติได้ดังนั้นความสามารถในการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟของมั่งคุดแต่ละระดับอาการก็นำที่จะแตกต่างกันด้วยจึงคิดว่าถ้าป้อนคลื่นไมโครเวฟที่ระดับเท่ากันให้แก่ผลมั่งคุดแล้วผลมั่งคุดที่ปกติและผิดปกติก็น่าจะให้อุณหภูมิที่แตกต่างกันด้วยและได้ทำการกำหนดวิธีวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟออกเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

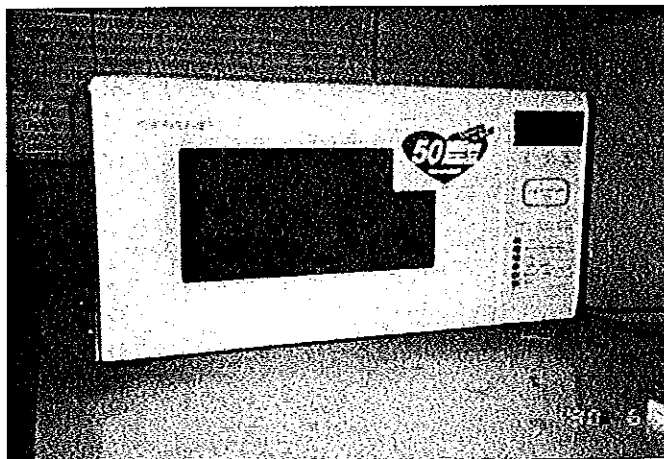
2.3.1 นำมังคุดมาเข้าเตาไมโครเวฟที่มีความถี่คลื่น 2,450 เมกกะเฮิรตซ์ และใช้กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ (ยี่ห้อ ซาร์ป รุ่น R - 3S56) เพื่อให้ความร้อนแก่ผลมังคุดที่ระดับความร้อนประมาณ ระดับกลาง (10%) เป็นเวลา 20 วินาทีโดยวางผลมังคุดในถ้วยพลาสติกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตรและสูงประมาณ 0.5 เซนติเมตรโดยวางไว้บริเวณส่วนกลางของถาดในเตาไมโครเวฟ

2.3.2 วัดอุณหภูมิที่บริเวณด้านข้างที่ตำแหน่งที่มีก๊อบใหญ่และที่หัวของผลมังคุดด้วยดิจิตอล เทอร์โมมิเตอร์ซึ่งแสดงค่าเป็นตัวเลขและสามารถทำการวัดได้โดยการแตะหัววัดบริเวณที่ต้องการ วัดและทำการทดลองซ้ำกันจนครบ 100 ผล ดังแสดงขั้นตอนการทดลองดังภาพประกอบ 2-5 และ 2-6 ตามลำดับ

2.3.3 นำค่าอุณหภูมิที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของ มังคุดที่ปกติและมังคุดที่ผิดปกติ



ภาพประกอบ 2-5 อุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดคลื่นไมโครเวฟ



ภาพประกอบ 2-6 ภาพอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดคลื่นไมโครเวฟ

2.4 การทดลองที่ 4 การวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะ

จากการศึกษาบทความต่างๆ พบว่าได้มีการนำวิธีการนี้ไปใช้ในการคัดคุณภาพของผลไม้หลายชนิดด้วยกัน เช่น การเกิดโพรงขึ้นในแตงโม (Sasao, 1985) ความหนาแน่นของผลแอปเปิล (Affeldt and Abbott, 1989) และความแก่ของผลทุเรียน (อนุพันธ์, 2540) เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการนี้จะเป็นการคัดคุณภาพโดยอาศัยการมีคุณภาพทางกายภาพของผลไม้ที่ดีและเสียไม่เหมือนกันดังนั้นวิธีการนี้จึงจะนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับการเกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลของผลมังคุดได้

ในการทดลองจะทำการเคาะมังคุดและนำเสียงที่ได้ผ่านเข้าสู่วงจรรขยายสัญญาณและบันทึกสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะโดยคอมพิวเตอร์ โดยประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังต่อไปนี้

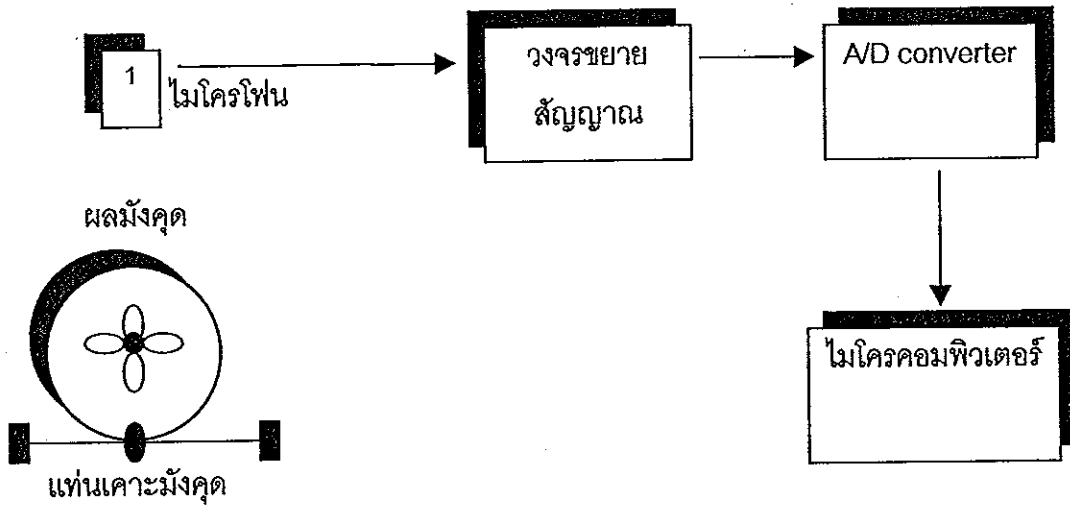
- ไมโครโฟน (ยี่ห้อ Uni – directional ซึ่งมีการตอบสนองต่อความถี่ 80 – 16,000 Hz) ทำหน้าที่รับสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะมังคุดแล้วแปลงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับวงจรรขยายโดยติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งตรงข้ามกับจุดที่เคาะผลมังคุด

- วงจรรขยาย ซึ่งมีอัตราขยายของวงจรรอยู่ในช่วงความถี่ 10Hz – 150kHz ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะผลมังคุด เพื่อให้มีขนาดแรงดันสูงขึ้นและเหมาะที่จะป้อนให้กับวงจรรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลโดยสัญญาณเสียงจะถูกสุ่มด้วยอัตรา 3000 ครั้ง/วินาที

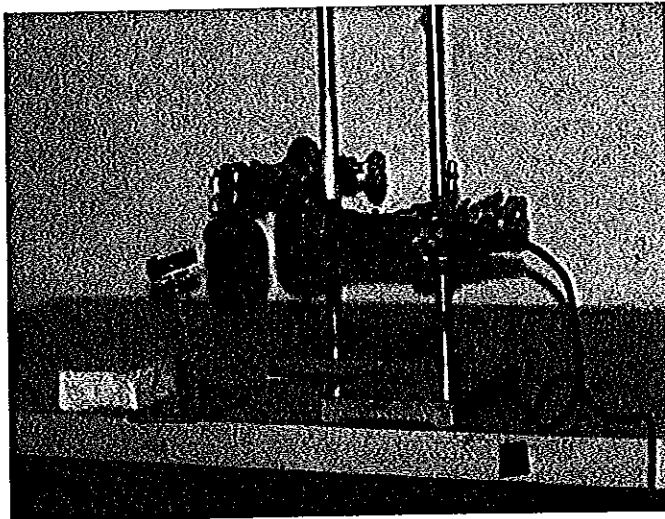
- การ์ดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (เป็นการ์ดของบริษัท NI รุ่น Lap PC+) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกที่ได้จากวงจรรขยายให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อป้อนให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ต่อไปโดยมีลักษณะเป็นการ์ดเสียบบนไมโครคอมพิวเตอร์

- ตัวเคาะมังคุดมีลักษณะเป็นสปริงโดยด้านหนึ่งยึดติดกับพื้นโต๊ะและอีกด้านหนึ่งเชื่อมด้วยเหล็กและหุ้มด้วยกระดาษกาวไว้ที่ปลายเหล็กดังภาพประกอบ 2-8 เพื่อลดแรงกระแทกที่เกิดจากตัวเคาะกับผลมังคุดและจะทำการเคาะโดยการจ้างสปริงมาที่ตำแหน่งอ้างอิงและปล่อยสปริงเพื่อเคาะผลมังคุด

แล้วประกอบเป็นชุดทดลองดังแสดงในภาพประกอบ 2-7 และ 2-8 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2-7 อุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะ



ภาพประกอบ 2-8 ภาพอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลองวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะ

2.4.1 การวิเคราะห์สัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะ

2.4.1.1 การหาค่ากำลังเชิงสเปกตรัม

เป็นการคำนวณค่ากำลังของสัญญาณที่ความถี่ต่างๆที่อยู่ในสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะผลมังกูด ค่าของกำลังที่ได้จะถูกเก็บเอาไว้ในแฟ้มข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณค่ากำลังเชิงสเปกตรัม $S_{xx}(f)$ จะเป็นไปตามสมการที่ 2-6 (National Instruments Corporation, 1993)

$$S_{xx}(f) = \frac{1}{n^2} |X|^2 \quad (2-6)$$

เมื่อ

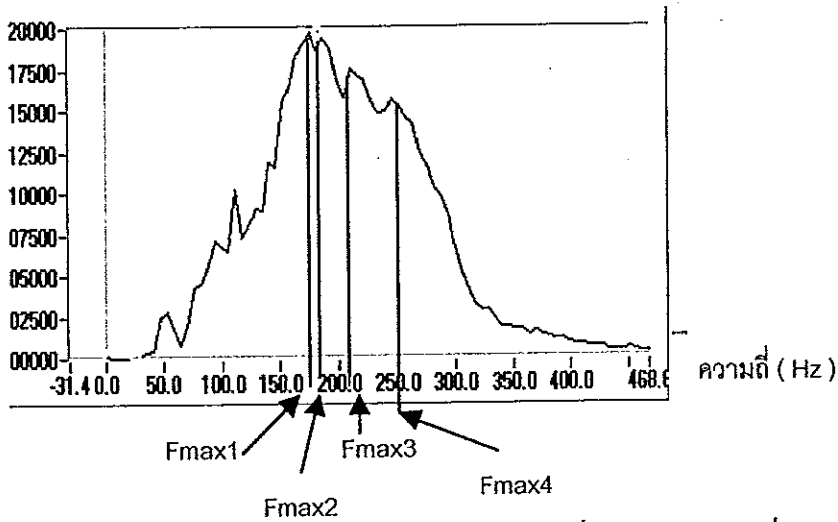
n = จำนวนจุดของสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งในการวิจัย $n = 512$ จุด

X = ฟาสท์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มของสัญญาณเวลาเต็มหน่วย $x(n)$

2.4.1.1.1 การวิเคราะห์โดยค่าความถี่ริโซแนนซ์

เป็นการคำนวณหาค่าความถี่ที่มีค่ากำลังสูงสุดอันดับแรกของสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะผลมังกูด ค่าของความถี่และค่าของกำลังที่ได้จะถูกเก็บเอาไว้ในแฟ้มข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ต่อไปซึ่งการวิเคราะห์ค่าความถี่สูงสุดอันดับแรกได้แสดงไว้ดังภาพประกอบ 2-9

Power spectrum (V^2)



ภาพประกอบ 2-9 ค่าความถี่รีโซแนนซ์สูงสุดสี่อันดับแรก

2.4.1.1.2 การวิเคราะห์โดยการหาอัตราส่วนของกำลัง

เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าผลรวมของค่ากำลังเชิงสเปกตรัมที่ความถี่ F_{max1} ถึงที่ความถี่ 1500 Hz ต่อ ค่าผลรวมของค่ากำลังเชิงสเปกตรัมที่ความถี่เริ่มต้นถึงที่ความถี่ F_{max1} และค่าของอัตราส่วนที่ได้จะถูกเก็บเอาไว้ในแฟ้มข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ต่อไปดังสมการที่ 2-10

$$Power \ rate = \frac{P.Hi}{P.Lo} \tag{2-10}$$

เมื่อ $P.Hi = \sum_{i=\eta_1}^{\eta_2-1} Sxx_i(f)$

$$P.Lo = \sum_{i=0}^{\eta_1-1} Sxx_i(f)$$

โดยที่ η_1 คือจุดที่มีความถี่เท่ากับ F_{max1}

2.4.1.1.3 การวิเคราะห์ค่ากำลังของสัญญาณ

เป็นการหาค่าผลรวมของกำลังเชิงสเปกตรัมตั้งแต่ความถี่เริ่มต้นจนถึงความถี่ 1500 Hz และค่าของกำลังที่ได้จะถูกเก็บเอาไว้ในแฟ้มข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ต่อไปดังสมการที่ 2-11(National Instruments Corporation, 1993)

$$Power = \sum_{i=0}^{n-1} Sxx_i(f) \quad (2-11)$$

2.4.1.1.4 ค่าเฉลี่ยของกำลังเชิงสเปกตรัม

ค่าเฉลี่ยของกำลังเชิงสเปกตรัมสามารถหาได้จากสมการที่ 2-12

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X_i \quad (2-12)$$

เมื่อกำหนดให้

μ = ค่าเฉลี่ยของกำลังเชิงสเปกตรัม

N = จำนวนข้อมูล

X_i = ค่ากำลังเชิงสเปกตรัมที่ความถี่ใดๆ

2.4.1.1.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังเชิงสเปกตรัม

เป็นการคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Divation) ของกำลังเชิงสเปกตรัมซึ่งสามารถหาได้จากสมการดังสมการที่ 2-13

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (2-13)$$

เมื่อ

S = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{X} = ค่าเฉลี่ยของกำลังเชิงสเปกตรัม

X_i = กำลังเชิงสเปกตรัมที่ความถี่ความถี่ใดๆ

2.5 การวิเคราะห์โดยใช้สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ

โดยทั่วไปสัญญาณเสียงใดๆ อาจถูกแทนด้วยสมการของโมเดลออโตรีเกรสซีฟได้ ซึ่งจะมีสมการพื้นฐานดังสมการที่ 2-14

$$Z(n) = - \sum_{k=1}^p a_k Y(n-k) + e(n) \quad (2-14)$$

เมื่อ $Z(n)$ เป็นสัญญาณจำลองที่ได้จากโมเดลออโตรีเกรสซีฟ

a_k เป็นค่าสัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ

$e(n)$ เป็นค่าความผิดพลาด

p เป็นอันดับของโมเดลออโตรีเกรสซีฟ

$Y(n-k)$ เป็นสัญญาณจริงที่การสุ่มครั้งที่ $n-k$

ความหมายของสมการที่ 2-14 คือ สัญญาณจำลองตัวที่ n จะขึ้นกับค่าของสัญญาณจริงในอดีต ตั้งแต่ตัวที่ $n-1$ จนถึง ตัวที่ $n-p$ ซึ่งสามารถเขียนใหม่ในรูปของแมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} Z_p \\ Z_{p-1} \\ \vdots \\ Z_{n-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} y_{p-1} & y_{p-2} & \dots & y_0 \\ y_p & y_{p-1} & \dots & y_1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n-2} & y_{n-3} & \dots & y_{n-p-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_p \\ e_{p-1} \\ \vdots \\ e_{n-1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{cccc} \Downarrow & & \Downarrow & \\ Z & & Y & \\ \text{หรือ} & Z & + Ya & = e \end{array} \quad (2-15)$$

เมื่อ Z แทน แมทริกซ์ของสัญญาณจำลอง

Y แทน แมทริกซ์ของสัญญาณจริงในอดีต

a แทน แมทริกซ์ของสัมประสิทธิ์โมเดลออโตรีเกรสซีฟ

e แทน แมทริกซ์ของค่าความผิดพลาด

ถ้า y_i เป็นสัญญาณจริงที่การสุ่มครั้งที่ i ดังนั้น ค่า Least Square มีค่าเท่ากับ

$$Q = \sum_{i=0}^{n-1} (y_i - z_i)^2 \quad (2-16)$$

และจากสมการที่ 2-16 เราสามารถเขียนสมการได้ใหม่

$$Q = \sum_{i=0}^{n-1} [y_i + \sum_{k=1}^p a_k y_{i-k}]^2 \quad (2-17)$$

ถ้าให้การเปลี่ยนแปลงของ Q มีค่าน้อยมากเทียบกับสัมประสิทธิ์ a_k ดังนั้น

$$\partial Q / \partial a_1 = \partial Q / \partial a_2 = \dots = \partial Q / \partial a_{k-1} = 0 \quad \text{ดังนั้น} \quad Y^T Y a = -Y^T y$$

เราสามารถหาค่า สัมประสิทธิ์ ของออโตรีเกรสซีฟ ได้ดังนี้

$$a = -(Y^T Y)^{-1} Y^T y \quad (2-18)$$

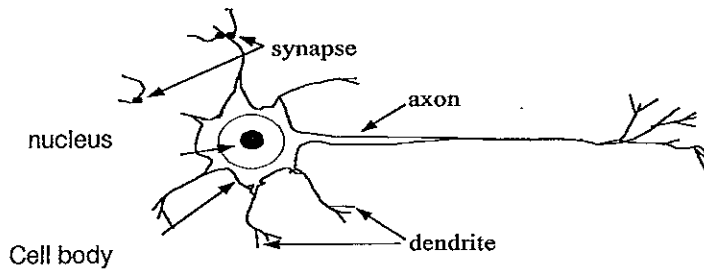
เมื่อ Y^T คือ ทรานสพอสแมทริกซ์ของ Y

y คือ เมทริกซ์ของสัญญาณจริงตัวที่ n

2.6 การจำแนกโดยใช้วิธีการโครงข่ายประสาท

ประโยชน์ของโครงข่ายประสาทที่นิยมใช้กันมากคือ การจำแนก (classification) หลักการพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเกิดจากการจำลองของระบบประสาทซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ดังต่อไปนี้ (ดูภาพประกอบ 2-10) (Kosugi, 1997)

- 1) ตัวเซลล์ ที่มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง
- 2) เซลล์ประสาทที่ยื่นออกไปรับหรือส่งสัญญาณจากเซลล์ประสาทเรียกว่า Axon
- 3) ส่วนที่ปลายกิ่งที่แตกออกเป็น ก้านย่อยๆ เรียกว่า Dendrite
- 4) ส่วนรอยต่อระหว่างก้านเซลล์ประสาทที่ต่างกันเรียกว่า Synapse



ภาพประกอบ 2-10 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์ประสาท
(ที่มา Kosugi, 1997)

จากภาพประกอบ 2-10 เราสามารถจำลองการทำงานของเซลล์ประสาทด้วย ฟังก์ชันพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้

$$Y = f\left(\sum_{i=0}^h W_i X_i - \theta\right) \quad (2-19)$$

เมื่อ

h = ตำแหน่งของข้อมูล

Y = ค่าของโครงข่ายประสาท

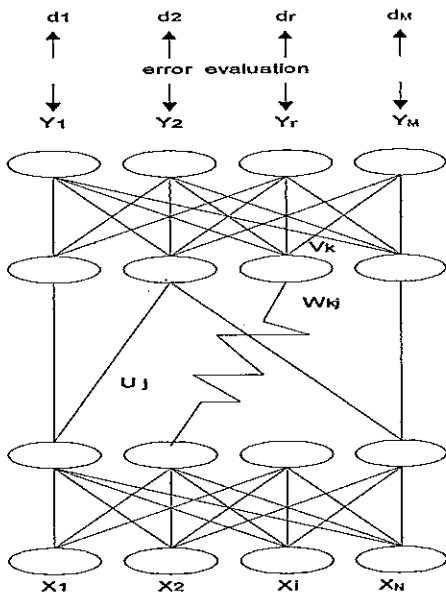
X_i = ข้อมูลอินพุตตำแหน่งที่ i

W_i = น้ำหนักของข้อมูลที่ i

θ = ค่าอ้างอิง

โดยที่ $f(n) = 1/(1+\exp(-n))$

จากสมการที่ 2-19 เป็นสมการพื้นฐานจำลองการทำงานของโครงข่ายระบบเซลล์ประสาท ค่าของโครงข่ายประสาทได้จากการหาฟังก์ชันของข้อมูลอินพุตคูณด้วยน้ำหนักของข้อมูลซึ่งสมการพื้นฐานนี้ได้มีการพัฒนาในลำดับต่อมาทำให้เกิดแบบจำลองของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทหลายแบบด้วยกันแต่แบบที่นิยมนำไปใช้ในการจำแนกสัญญาณไฟฟ้ากล้ามเนื้อคือแบบจำลองการแพร่กลับ (Back Propagation) ซึ่งเราจะนำมาใช้โดยมีโครงสร้างดังภาพประกอบ 2-11



Output layer

$$W_{rk}(t+1) = W_{rk}(t) + \eta \delta_r v_k; \delta_r = Y_r(1-Y_r)(d_r - Y_r)$$

η : learning coefficient

2nd hidden layer

$$W_{kj}(t+1) = W_{kj}(t) + \eta \delta_k u_j; \delta_k = Y_{kr}(1-Y_k) \sum \delta_r W_{rk}$$

1st hidden layer

$$W_{ji}(t+1) = W_{ji}(t) + \eta \delta_j x_i; \delta_j = u_j(1-u_j) \sum \delta_k W_{kj}$$

Input layer

ภาพประกอบ 2-11 โครงสร้างของ แบบจำลองการแพร่กลับ(Back Propagation)

(ที่มา Kukio,1997)

จากภาพประกอบ 2-11 โครงร่างแบบจำลองการแพร่กลับ จะประกอบด้วยเซลล์ประสาท เรียงกันอยู่อย่างน้อย 3 ชั้น ประกอบด้วยชั้นอินพุต, ชั้นซ่อน และชั้นเอาต์พุต

โดยที่ d_r = ค่าเอาต์พุตที่ใช้ในการฝึกสอน

y_r = ค่าเอาต์พุตที่ได้จากการประมวลผลของโครงข่ายประสาท ในชั้นเอาต์พุต

x_i = ข้อมูลอินพุต ลำดับที่ i ในชั้นอินพุต

u_j = ข้อมูลอินพุต ลำดับที่ j ในชั้นซ่อนที่ 1

v_k = ข้อมูลอินพุต ลำดับที่ k ในชั้นซ่อนที่ 2

W_{ji} = ค่าน้ำหนักของเซลล์ประสาท ลำดับที่ i กับ j ในระหว่างชั้นอินพุตกับชั้นซ่อนที่ 1

W_{kj} = ค่าน้ำหนักของเซลล์ประสาทลำดับที่ k กับ j ในระหว่างชั้นซ่อนที่ 1 กับชั้นซ่อนที่ 2

W_{rk} = ค่าน้ำหนักของเซลล์ประสาทลำดับที่ r กับ K ในระหว่างชั้นซ่อนที่ 2 กับ

ชั้นเอาต์พุต

การเรียนรู้แบบแพร่กลับ จะทำงานโดยใช้เทคนิคการปรับค่าน้ำหนักของเซลล์ในแต่ละชั้น เพื่อให้เอาต์พุตที่ได้ มีค่าความผิดพลาดในระดับหนึ่งที่สามารถยอมรับได้ การวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทจำเป็นต้องฝึกฝน (Train) โครงข่ายก่อนโดยการป้อนข้อมูลคู่อินพุต-เอาต์พุต เพื่อให้

โครงข่ายประสาททราบว่ามีอินพุตแบบนี้ เอาต์พุตต้องเป็นแบบนี้ ข้อมูลอินพุตที่ป้อนเข้าสู่โครงข่ายประสาทจะถูกประมวลผล และส่งผลลัพธ์ไปประมวลผลต่อในแต่ละชั้น จนให้ เอาต์พุตออกมา ค่าของ เอาต์พุตที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเอาต์พุตจริง ซึ่งค่า ความผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตทั้งสองนี้จะถูกนำกลับไปใช้ในการปรับค่า น้ำหนักแล้วคำนวณตามขั้นตอนต่อไป การคำนวณน้ำหนักในแต่ละชั้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

การคำนวณหาน้ำหนักในแต่ละชั้น

จากภาพประกอบ 2-11 แสดงโครงร่าง แบบจำลองการแพร่กลับ ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น การคำนวณเริ่มจากชั้นเอาต์พุต \Rightarrow ชั้นซ่อนที่ 2 \Rightarrow ชั้นซ่อนที่ 1 \Rightarrow ชั้นอินพุต ตามลำดับ ดังนั้นค่า น้ำหนักในแต่ละชั้นจะคำนวณได้ดังนี้ (Kosugi, 1997)

ชั้นเอาต์พุต : ค่าน้ำหนักที่ชั้นนี้จะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$W_{rk}(t+1) = W_{rk}(t) + \eta \delta_r v_k \quad (2-20)$$

กำหนดให้ v_k เป็นเอาต์พุตลำดับที่ k ในชั้นซ่อนที่ 2

η เป็น ค่าสัมประสิทธิ์ของการเรียนรู้ (Learning Coefficient)

δ_r เป็นฟังก์ชันความผิดพลาด (Error Function) ลำดับที่ r

W_{rk} เป็น น้ำหนักระหว่างชั้นเอาต์พุตกับชั้นซ่อนที่ 2

จากสมการที่ 2-20 สามารถคำนวณหาน้ำหนัก W_{rk} ตัวใหม่ได้จาก W_{rk} ตัวเดิม รวมกับ ผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์ของการเรียนรู้ (η) , ฟังก์ชันความผิดพลาดที่ r (δ_r) และ เอาต์พุตลำดับที่ k ของชั้นซ่อนที่ 2 ซึ่งค่าของ δ_r หาได้จากนำค่าเอาต์พุตลำดับที่ r ของชั้นเอาต์พุต กับ เอาต์พุตในการเรียนรู้ มาหาความสัมพันธ์ดังนี้

$$\delta_r = y_r(1-y_r)(d_r-y_r) \quad (2-21)$$

กำหนดให้ y_r เป็นเอาต์พุตลำดับที่ r ในชั้นเอาต์พุต

d_r เป็นค่าเอาต์พุตในการเรียนรู้ ที่นำมาใช้ในการเรียนรู้ ลำดับที่ r

ชั้นชอนที่ 2 : คำน้หนักในชั้นนี้จะคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$W_{kj}(t+1) = W_{kj}(t) + \eta \delta_k \mu_j \quad (2-22)$$

กำหนดให้ μ_j เป็นเอาต์พุตลำดับที่ j ของชั้นชอนที่ 1

δ_k เป็น ฟังก์ชันความผิดพลาดลำดับที่ k

W_{kj} เป็นน้ำหนักระหว่าง เซลล์ประสาทลำดับที่ k กับ j ในชั้นชอนที่ 1 กับชั้นชอนที่ 2

การคำนวณจะแทนที่น้ำหนักของ W_{kj} ด้วย W_{kj} ตัวเดิม กับ ผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์ในการเรียนรู้ (η) , ฟังก์ชันความผิดพลาดที่ k (δ_k) และ เอาต์พุตลำดับที่ k ของชั้นชอนที่ 1 ซึ่งค่าของ δ_k ได้จากนำค่าเอาต์พุตลำดับที่ k ของชั้นเอาต์พุต กับน้ำหนัก W_{rk} มาหาความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2-23

$$\delta_k = v_k(1-v_k) \sum \delta_r W_{rk} \quad (2-23)$$

ชั้นชอนที่ 1 : คำน้หนักในชั้นนี้จะคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$W_{ji}(t+1) = W_{ji}(t) + \eta \delta_j x_i \quad (2-29)$$

กำหนดให้ x_i เป็นอินพุตลำดับที่ i ของชั้นอินพุต

δ_j เป็นฟังก์ชันความผิดพลาดลำดับที่ j

W_{ji} เป็นน้ำหนักระหว่างชั้นอินพุตกับชั้นชอนที่ 1

จะเห็นว่าการคำนวณจะแทนที่น้ำหนัก W_{ji} ใหม่ ด้วยน้ำหนัก W_{ji} ตัวเดิม รวมกับผลคูณของค่าคงที่ของการเรียนรู้ (η) , ค่าความผิดพลาดลำดับที่ j (δ_j) และอินพุตลำดับที่ i ของ ชั้นอินพุต ซึ่งค่าของ δ_j ได้จากนำค่าเอาต์พุตลำดับที่ j ของชั้นชอนที่ 1 กับ น้ำหนัก W_{kj} มาหาความสัมพันธ์ดังนี้

$$\delta_j = \mu_j(1-\mu_j) \sum \delta_k W_{kj} \quad (2-30)$$

การคำนวณในแต่ละชั้น ค่าความผิดพลาดจะถูกส่งจากชั้นเอาต์พุต \Rightarrow ชั้นซ่อนที่ 2 \Rightarrow ชั้นซ่อนที่ 1 \Rightarrow ชั้นอินพุต ตามลำดับ น้ำหนักที่เชื่อมต่อกันของแต่ละเซลล์จะถูกปรับค่าไปตามความมากน้อยของสัญญาณค่าความผิดพลาดที่ได้รับ ขบวนการส่งค่าความผิดพลาดจะทำซ้ำๆ เพื่อให้โครงข่ายปรับค่าต่างๆที่จะทำให้ค่าของความผิดพลาดที่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดได้แล้วจึงหยุดการคำนวณหลังจากผ่านขบวนการเรียนรู้เพื่อให้เซลล์แต่ละชั้นทำการปรับค่าน้ำหนักของเซลล์ ในแต่ละชั้นจนได้ค่าที่เหมาะสม ในการเรียนรู้และจดจำลักษณะที่แตกต่างของสัญญาณอินพุตแล้ว จึงนำผลของการเรียนรู้ไปใช้ในการทดสอบข้อมูล(Data Test) เพื่อจำแนกข้อมูลสัญญาณอินพุตอื่นๆตามความต้องการ

ในการวิเคราะห์สัญญาณเพื่อจำแนกหาอาการผิดปกติของผลมังคุด จะใช้โปรแกรมโครงข่ายประสาท ของ Assoc.Prof. Yukio Kosugi เขียนด้วยภาษาซีและพัฒนาเพิ่มเติมโดยพิทักษ์ (2540) มาช่วยในการจำแนกหาสัญญาณที่ผิดปกติ โดยนำผลการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณของผลมังคุดลักษณะต่างๆมาใช้เป็นข้อมูล ในการวิเคราะห์สัญญาณ จะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชนิดคือ ผลปกติและผลผิดปกติซึ่งในการจำแนกลักษณะอาการผิดปกติของผลมังคุดโดยวิธีโครงข่ายประสาทจะต้องแบ่งข้อมูลที่มีอยู่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มข้อมูลสำหรับใช้ในการเรียนรู้ (Training) ประกอบด้วยผลมังคุดที่ปกติและผิดปกติประมาณครึ่งหนึ่งของมังคุดทั้งหมด

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มข้อมูลสำหรับใช้ในการทดสอบ (Testing) ประกอบด้วยผลมังคุดที่ปกติและผิดปกติประมาณครึ่งหนึ่งของมังคุดทั้งหมด

และกำหนดค่าเอาต์พุตที่ต้องการสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้เพื่อป้อนให้โครงข่ายโดยกำหนดให้มีจำนวน 2 เอาต์พุตคือ

- 0 1 หมายถึงผลมังคุดที่ปกติ
- 1 0 หมายถึงผลมังคุดที่ผิดปกติ

โดยกำหนดให้ผลการจำแนกที่ได้จากการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทที่คอลัมภ์ที่ 2 ของผลการจำแนกถ้ามีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ถือว่าเป็นผลมังคุดที่ปกติ และถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.5 ถือว่าเป็นผลที่ผิดปกติ ในการวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะผลมังคุดจะนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์กำลังเชิงสเปคตรัมและสัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟมาเป็นข้อมูลสำหรับเรียนรู้และทดสอบเพื่อป้อนให้กับโครงข่ายโดยมีการจัดเตรียมข้อมูลของทั้งสองวิธีดังกล่าวดังต่อไปนี้

- **วิธีการวิเคราะห์กำลังเชิงสเปกตรัม**

โดยนำข้อมูลดิบที่ได้มาทำการหาค่าสูงสุดในแต่ละคอลัมภ์ของข้อมูลดิบเหล่านั้น และนำค่าสูงสุดที่ได้ในแต่ละคอลัมภ์มาหารข้อมูลดิบตามแนวคอลัมภ์เดิมและกำหนดค่าสูงสุดในแต่ละคอลัมภ์เท่ากับ 1 ดังแสดงข้อมูลที่ใช้สำหรับเรียนรู้และทดสอบด้วยตาราง 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

หมายเหตุ

ก่อนการป้อนข้อมูลให้กับโครงข่ายต้องกำหนดค่าความผิดพลาดและจำนวนชั้นซ่อนให้กับโครงข่ายสำหรับในวิธีการวิเคราะห์กำลังเชิงสเปกตรัมนี้กำหนดให้ค่าความผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 0.001 และปรับเปลี่ยนจำนวนชั้นซ่อนไปเรื่อยๆจนได้ผลการจำแนกที่ดีที่สุดที่ 8 ชั้นซ่อน

- **วิธีการวิเคราะห์สัมพันธ์ออโตรีเกรสซีฟ**

นำข้อมูลที่ได้ไปสอนโครงข่ายประสาทโดยไม่มีการปรับข้อมูลซึ่งข้อมูลที่ใช้สำหรับเรียนรู้และทดสอบแสดงด้วยตาราง 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

หมายเหตุ

ก่อนการป้อนข้อมูลให้กับโครงข่ายต้องกำหนดค่าความผิดพลาดและจำนวนชั้นซ่อนให้กับโครงข่ายสำหรับในวิธีการวัดสัมพันธ์ออโตรีเกรสซีฟนี้กำหนดให้ค่าความผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 0.001 และปรับเปลี่ยนจำนวนชั้นซ่อนไปเรื่อยๆจนได้ผลการจำแนกที่ดีที่สุดที่ 8 ชั้นซ่อน

ตาราง 2.1 ตัวอย่างการจัดข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่ายโดยวิธีการวัดกำลังเชิงสเปคตรัม

	ข้อมูล							เป้าหมาย	
ผลที่ 1 →	0.10461	0.49785	0.42537	0.14146	0.52819	0.19391	0.61034	1	0
ผลที่ 2 →	0.23565	0.30311	0.51207	0.50519	0.43383	0.21854	0.35102	1	0
ผลที่ 3 →	0.08799	0.88724	0.33344	0.77652	0.6962	0.65894	0.33222	0	1
:	0.09517	1	0.57633	0.53544	0.74753	0.47067	0.53001	1	0
:	0.09139	0.83546	0.48532	1	1	0.58422	0.50803	0	1
:	1	0.45665	0.4495	0.5243	0.28631	0.37257	0.42452	1	0
:	0.79267	0.33786	0.46564	0.2927	0.22739	0.35024	0.53031	0	1
:	0.39162	0.25125	0.31729	0.25312	0.33372	0.34294	0.46363	1	0
:	0.41428	0.30965	0.3774	0.32852	0.29873	0.40889	0.55956	0	1
:	0.58912	0.4059	0.60477	0.60376	0.58274	0.42956	0.63322	1	0
:	0.49396	0.34337	0.44212	0.2909	0.2389	0.36589	0.4559	1	0
:	0.24962	0.34664	0.58524	0.41159	0.3206	0.37758	0.48181	1	0
:	0.63897	0.4059	0.58816	0.35094	0.34223	0.25151	0.64717	1	0
:	0.01888	0.01798	0.01522	0.00662	0.00852	0.02233	0.0047	0	1
:	0.00944	0.02623	0.02583	0.0447	0.01404	0.02275	0.0438	0	1
:	0.00869	0.01884	0.02352	0.00497	0.03038	0.01774	0.0144	0	1
:	0.01095	0.01824	0.0555	0.0146	0.04028	0.05281	0.04016	1	0
:	0.00076	0.01092	0.01599	0.00015	0.00391	0.01065	0.00621	0	1
:	0.02266	0.03535	0.07195	0.02513	0.03913	0.03715	0.03062	1	0
:	0.00642	0.00594	0.01691	0.0298	0.01013	0.00313	0.01743	0	1
:	0.02115	0.01118	0.01322	0.01415	0.01266	0.00626	0.01364	0	1
:	0.01699	0.01488	0.02352	0.00798	0.01427	0.02192	0.04335	0	1
:	0.03172	0.02615	0.04381	0.01881	0.01818	0.01899	0.01819	1	0
:	0.01662	0.02443	0.02813	0.02844	0.01864	0.01232	0.01713	1	0
:	0.00982	0.01359	0.01768	0.01971	0.00598	0.01962	0.01061	0	1
ผลที่ n →	0.01662	0.04481	0.09839	0.05493	0.05293	0.00313	0.1361	0	1

ตาราง 2.2 ตัวอย่างการจัดข้อมูลในการทดสอบโครงข่ายโดยวิธีการวัดกำลังเชิงสเปกตรัม

	ข้อมูล						
ผลที่ 1 →	0.84479	0.40315	0.57679	0.17938	0.18849	0.23482	0.41058
ผลที่ 2 →	0.77946	0.20196	0.32775	0.18721	0.66513	1	0.16475
ผลที่ 3 →	0.20242	0.49579	0.51837	0.44244	0.44189	0.56752	0.58048
:	0.40106	0.52125	1	0.60331	0.21128	0.41808	0.388
:	0.62538	0.59685	0.56972	0.43928	0.50564	0.21937	0.81525
:	0.33686	0.17375	0.47087	0.25839	0.21611	0.5239	1
:	0.23943	0.21375	0.21968	0.28427	0.20944	0.12899	0.74371
:	0.02153	0.76097	0.69547	0.60783	0.57376	0.69777	0.51228
:	0.02115	0.85584	0.63059	0.52054	0.56341	0.60488	0.50182
:	0.28701	0.47643	0.59447	0.48698	0.36479	0.54101	0.5629
:	0.00831	0.50611	0.48148	0.28713	0.49943	0.46567	0.50758
:	0.4037	0.31817	0.39047	0.44304	0.2244	0.20372	0.58518
:	0.0102	0.01333	0.03444	0.01069	0.02325	0.01628	0.01137
:	0.01624	0.01591	0.02629	0.00963	0.02025	0.01649	0.0241
:	0.02568	0.02856	0.03505	0.01911	0.04281	0.03486	0.04501
:	0.01209	0.01024	0.01061	0.00858	0.01151	0.02776	0.03243
:	0.02153	0.01471	0.04243	0.01866	0.05547	0.01524	0.01652
:	0.01209	0.02546	0.01168	0.00346	0.00829	0.0526	0.04744
:	0.00076	0.00284	0.05596	0.03612	0.04994	0.0167	0.01637
:	0.0136	0.01471	0.01937	0.01987	0.01542	0.01211	0.01243
:	0.0068	0.01256	0.03305	0.01851	0.02831	0.01628	0.01349
:	0.01624	0.01428	0.02521	0.02137	0.02071	0.02693	0.01895
:	0.00378	0.00671	0.01384	0.01023	0.01565	0.0096	0.01394
:	0.0102	0.01892	0.02706	0.01625	0.02486	0.01795	0.00834
:	0.00982	0.00447	0.01322	0.03567	0.05731	0.01628	0.02955
ผลที่ n →	0.00906	0.01841	0.13943	0.03567	0.01703	0.0286	0.02895

ตาราง 2.3 ตัวอย่างการจัดข้อมูลในการฝึกสอนโครงข่าย โดยใช้วิธี สัมประสิทธิ์ออกตรีเกรสซีฟ

	ข้อมูล						เป้าหมาย		
ผลที่ 1 →	0.897953	-0.84989	0.865019	-0.89627	0.878063	-0.8525	0.824514	1	0
ผลที่ 2 →	0.862427	-0.76912	0.742131	-0.74622	0.719735	-0.70041	0.693898	0	0
ผลที่ 3 →	0.913822	-0.88289	0.90407	-0.91692	0.87126	-0.82613	0.77165	0	1
:	0.851299	-0.75994	0.744318	-0.75407	0.725876	-0.7064	0.702678	0	1
:	0.879546	-0.81367	0.810357	-0.83018	0.811364	-0.7931	0.788412	0	0
:	0.875235	-0.80615	0.801086	-0.81306	0.781814	-0.74898	0.717411	0	0
:	0.911143	-0.86142	0.863099	-0.88135	0.855786	-0.82253	0.788921	0	0
:	0.848957	-0.72653	0.666143	-0.65787	0.644194	-0.63032	0.621983	0	0
:	0.828534	-0.71654	0.682316	-0.68797	0.667258	-0.65119	0.657902	0	0
:	0.819439	-0.73602	0.737742	-0.74976	0.71733	-0.69427	0.686162	0	1
:	0.829644	-0.7251	0.703039	-0.71293	0.685642	-0.65787	0.645517	0	1
:	0.776618	-0.64015	0.598253	-0.5998	0.575297	-0.55591	0.562948	0	0
:	0.863141	-0.78808	0.779172	-0.79366	0.773153	-0.75783	0.753563	0	1
:	0.919378	-0.85713	0.840628	-0.85014	0.83373	-0.83004	0.843127	0	0
:	0.727378	-0.58284	0.545006	-0.51831	0.470962	-0.45608	0.447083	0	1
:	0.827596	-0.71539	0.668078	-0.6645	0.649944	-0.63571	0.630889	0	0
:	0.79117	-0.64623	0.581675	-0.57098	0.55661	-0.55009	0.562894	0	1
:	0.865456	-0.7702	0.740419	-0.75369	0.745786	-0.74111	0.75113	0	0
:	0.957817	-0.92119	0.909163	-0.91899	0.907194	-0.90257	0.910329	0	0
:	0.842822	-0.72513	0.677257	-0.65371	0.60501	-0.57393	0.554441	0	0
:	0.762799	-0.60801	0.530965	-0.51717	0.516311	-0.52365	0.538369	0	1
:	0.874873	-0.7786	0.738945	-0.73695	0.715585	-0.69946	0.699182	0	0
:	0.933668	-0.8908	0.876744	-0.87543	0.846112	-0.81633	0.78578	0	0
:	0.806913	-0.66889	0.619223	-0.62442	0.614264	-0.61114	0.636357	0	1
:	0.69813	-0.50299	0.42461	-0.38225	0.348175	-0.37569	0.432918	0	0
ผลที่ n →	0.793759	-0.68165	0.651124	-0.62601	0.578413	-0.55721	0.543965	0	0

ตาราง 2.4 ตัวอย่างการจัดข้อมูลในการทดสอบโครงข่าย โดยใช้วิธี สัมประสิทธิ์คอโตรีเกรสซีฟ

	ข้อมูล						
ผลที่ 1 →	0.834723	-0.7575	0.76535	-0.79095	0.763881	-0.73117	0.704822
ผลที่ 2 →	0.68086	-0.51426	0.425918	-0.37934	0.361052	-0.38368	0.428251
ผลที่ 3 →	0.90784	-0.87962	0.908847	-0.92883	0.889579	-0.85049	0.79698
:	0.84648	-0.76067	0.750844	-0.76123	0.740023	-0.7339	0.731465
:	0.742745	-0.57086	0.49611	-0.45901	0.40874	-0.38347	0.381684
:	0.864761	-0.77546	0.752302	-0.75896	0.728688	-0.69282	0.664837
:	0.759376	-0.61077	0.560045	-0.55734	0.533239	-0.51643	0.53216
:	0.837559	-0.75235	0.747016	-0.75899	0.729948	-0.70955	0.695998
:	0.912178	-0.87884	0.906141	-0.94003	0.918475	-0.89259	0.863819
:	0.874148	-0.81569	0.829748	-0.86821	0.860173	-0.84402	0.834928
:	0.772365	-0.62987	0.586386	-0.59524	0.577489	-0.55842	0.567798
:	0.964071	-0.93621	0.919836	-0.90956	0.871115	-0.82705	0.773604
:	0.709291	-0.58697	0.532126	-0.51427	0.501706	-0.50595	0.513763
:	0.838599	-0.74541	0.730983	-0.74834	0.735074	-0.72742	0.731508
:	0.897231	-0.82795	0.80751	-0.8088	0.78432	-0.77152	0.770962
:	0.798351	-0.70416	0.700818	-0.70058	0.674409	-0.66926	0.65939
:	0.895915	-0.82943	0.820526	-0.85152	0.857805	-0.85685	0.863192
:	0.853791	-0.80081	0.828485	-0.85358	0.842674	-0.85186	0.84701
:	0.769453	-0.60452	0.551223	-0.53327	0.481808	-0.45476	0.45321
:	0.809488	-0.69447	0.672977	-0.67679	0.640729	-0.61297	0.591698
:	0.840524	-0.72733	0.69607	-0.70654	0.686581	-0.67036	0.66941
:	0.790952	-0.65363	0.56378	-0.52312	0.515184	-0.53796	0.558505
:	0.83612	-0.70493	0.641621	-0.62572	0.596581	-0.5751	0.576257
:	0.823929	-0.69331	0.65087	-0.64778	0.617462	-0.59999	0.59762
:	0.761875	-0.59694	0.535945	-0.51285	0.48372	-0.4835	0.490714
ผลที่ n →	0.837097	-0.70628	0.643298	-0.6225	0.590204	-0.57474	0.581248

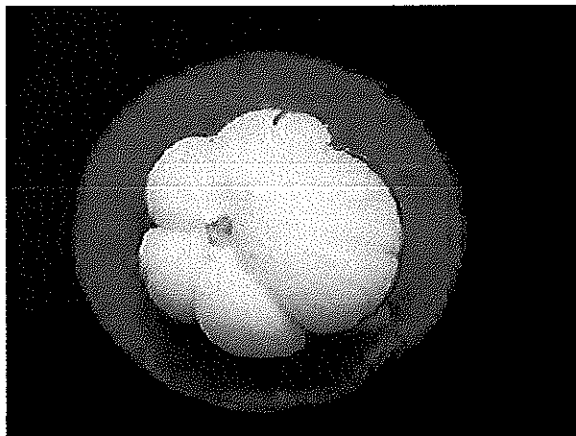
บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 การจำแนกลักษณะของผลมังคุด

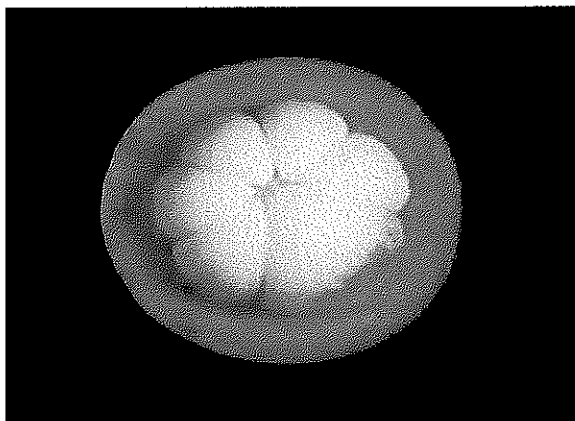
จากการผ่าผลมังคุดสามารถจำแนกลักษณะของผลมังคุดออกเป็น 6 ลักษณะดังนี้

3.1.1 ลักษณะผลมังคุดที่ดี คือลักษณะผลที่มีเนื้อสีขาวทั่วทั้งผลไม่มีลักษณะผิดปกติอื่นๆ เช่น มียางไหล และอาการเนื้อแก้วภายในผลดังภาพประกอบ 3-1



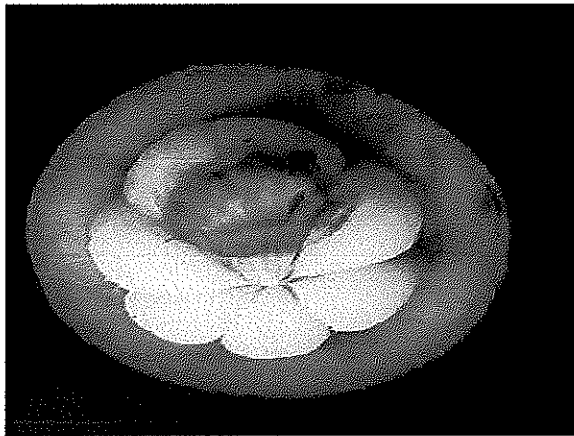
ภาพประกอบ 3-1 ลักษณะของผลมังคุดปกติ

3.1.2 ลักษณะผลมังคุดที่มีลักษณะผิดปกติไม่มาก(เกือบดี) คือ ลักษณะของผลที่เกิดอาการผิดปกติเพียงไม่มาก(ยาง,เนื้อแก้ว,ซ้ำ) ดังแสดงในภาพประกอบ 3-2



ภาพประกอบ 3-2 ลักษณะของผลมังคุดที่ผิดปกติไม่มาก

- 3.1.3 ลักษณะเนื้อช้ำคือลักษณะของผลที่มีอาการช้ำของเนื้อผลอันเนื่องมาจากสาเหตุอื่นซึ่งเกิดมาจากการที่มังคุดได้รับการกระทบ(ชลทิตา,2540)หรืออาจได้รับเชื้อโรค(จริงแท้, 2537) ดังแสดงในภาพประกอบ 3-3



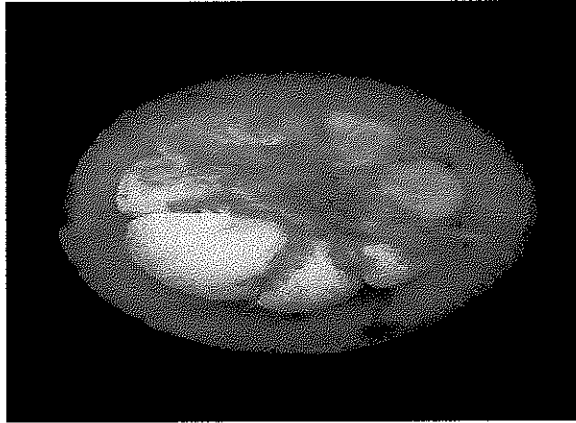
ภาพประกอบ 3-3ลักษณะผลมังคุดที่มีลักษณะเนื้อช้ำ

- 3.1.4 ลักษณะผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วคือลักษณะของผลที่มีสีขาวใสเป็นบางส่วนหรือทั้งผลและเนื้อจะกรอบกว่ามังคุดทั่วไป(ธนัชชัย, 2534)ดังแสดงในภาพประกอบ 3-4



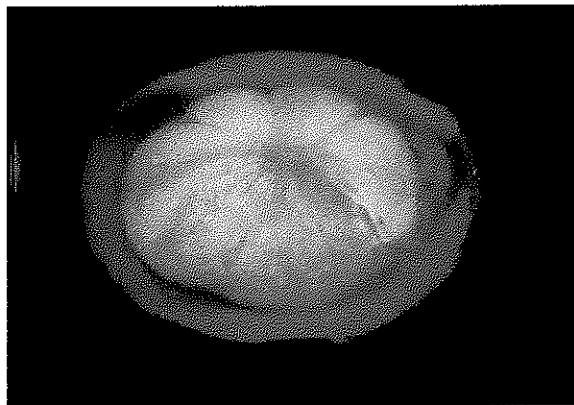
ภาพประกอบ 3-4ลักษณะผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว

3.1.5 ลักษณะผลมังคุดที่มีอาการยางไหลคือลักษณะของผลที่มียางสีเหลืองไหลดังแสดงในภาพประกอบ 3-5



ภาพประกอบ 3-5 ลักษณะผลมังคุดที่มีอาการยางไหล

3.1.6 ลักษณะผลมังคุดที่เกิดทั้งอาการยางไหลและอาการเนื้อแก้วควบคู่กันไปคือ ลักษณะของผลที่มีอาการยางไหลและอาการเนื้อแก้วเกิดขึ้นพร้อมกันดังแสดงในภาพประกอบ3-6



ภาพประกอบ3-6ลักษณะผลมังคุดที่เกิดทั้งอาการยางไหลและอาการเนื้อแก้ว

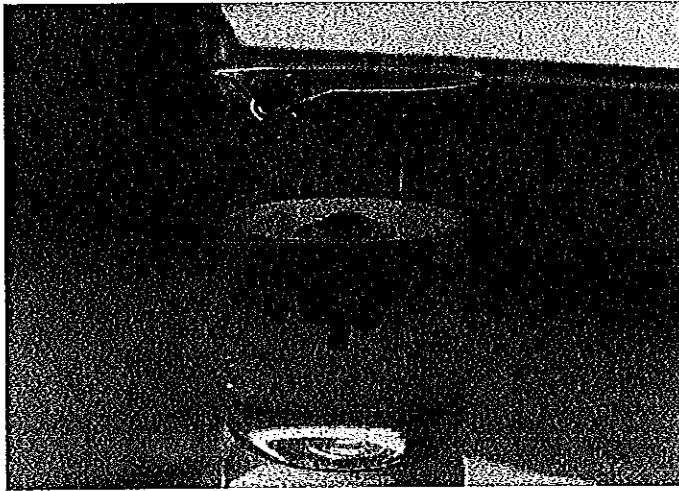
ตัวอย่างลักษณะอาการของผลมังคุดที่นำมาทดสอบในวิธีการวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะแยกเป็นอาการในระดับต่างๆพร้อมทั้งแสดงจำนวนมังคุดที่นำมาทดสอบได้แสดงไว้ในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ลักษณะและจำนวนผลมังคุดที่นำมาทดสอบทั้งหมด

ลักษณะผลมังคุด	จำนวนผลมังคุด
ดี	59
เกือบดี	11
ดีแต่เนื้อขำ	4
ยาง	8
แก้ว	10
ยาง + เนื้อแก้ว	8

3.2 ผลการทดลองที่ 1 การวัดน้ำหนักต่อปริมาตร

วิธีการนี้จะทำการทดลองโดยนำผลมังคุดมาทำการชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งและทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางพร้อมทั้งบันทึกหมายเลขที่ผลมังคุดทุกๆผลแล้วนำมังคุดไปลอยน้ำและสังเกตลักษณะการลอยและจมของมังคุดโดยคาดว่าผลมังคุดที่เสียหรือมีอาการผิดปกติที่น่าจะจมน้ำส่วนผลมังคุดที่ดีน่าจะลอยน้ำและศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติของมังคุดกับผลที่ได้จากการทดลองลอยน้ำของผลมังคุดโดยแสดงวิธีการทดลองด้วยวิธีการลอยน้ำดังภาพประกอบ 3-7



ภาพประกอบ 3-7 ภาพการทดลองการวัดการลายน้ำของผลมังคุด

จากผลการทดลองการลายน้ำของมังคุดสังเกตได้ว่ามังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วและอาการเนื้อแก้วกับยางไหลควบคู่กันส่วนใหญ่จะจมน้ำและมังคุดที่มีอาการปกติ และมังคุดที่เกิดยาง ให้ผลการทดลองได้ไม่ดีคือ แทนที่ผลมังคุดที่มีอาการยางไหลน่าจะจมน้ำแต่ผลการทดลองที่ได้จากการลายน้ำปรากฏว่ามังคุดที่เกิดยางโดยส่วนใหญ่จะลายน้ำ ส่วนมังคุดที่ปกติก็เช่นกันผลการลายน้ำตรงข้ามกับสมมุติฐานที่คาดไว้ ซึ่งได้แสดงผลการลายน้ำของมังคุดและเปอร์เซ็นต์ของการคัดเลือกไว้ในตาราง 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

หมายเหตุ

ผลมังคุดที่ได้แสดงไว้ในตาราง 3.2 เป็นผลมังคุดผลเดียวกับผลที่ใช้วัดโดยวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัม และวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ออตโตรีเกอร์สซีฟ เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี ซึ่งผลการทดลองการวิเคราะห์หิวเคราะห์สเปกตรัม และวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ออตโตรีเกอร์สซีฟ จะได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.5

ตาราง 3.2 ผลการคัดเลือกมังคุดด้วยวิธีการลอยน้ำ

ลักษณะผลมังคุด	จำนวนผลมังคุด	ลอยน้ำ	จมน้ำ
ดี	29	18	11
ยาง	5	3	2
แก้ว	4	0	4
ยางและเนื้อแก้ว	4	0	4

ตาราง 3.3 เปอร์เซ็นต์ผลการคัดเลือกมังคุดด้วยวิธีการลอยน้ำ

ลักษณะการคัดเลือก	เปอร์เซ็นต์การคัดเลือก
1. ความสามารถของการคัดเลือกผลดี	62.09
- ความถูกต้องของการคัดผลดี	85.71
- ความผิดพลาดของการคัดผลดี	14.29
2. ความสามารถของการคัดเลือกผลเสีย	76.92
- ความถูกต้องของการคัดยาง	40
- ความถูกต้องของการคัดเนื้อแก้ว	100
- ความถูกต้องของการคัดยางและเนื้อแก้ว	100
ความถูกต้องทั้งหมดของการคัดผลดีและผลเสีย	66.66

จากการทดลองดังตาราง 3.3 พบว่าวิธีการลอยน้ำเหมาะที่จะนำมาใช้คัดแยกผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว และ อาการเนื้อแก้วกับยางไหลควบคู่กันโดยสังเกตได้จากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว และ อาการเนื้อแก้วกับยางไหลควบคู่กันมีค่าถึง 100 เปอร์เซ็นต์แต่ก็ยังพบว่าวิธีการลอยน้ำนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้คัดผลมังคุดที่เกิดยางไหลซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และก็ยังพบว่าวิธีการลอยน้ำนี้ให้เปอร์เซ็นต์การคัดเลือกผลมังคุดที่มีอาการผิดปกติ (ยาง ,เนื้อแก้ว ,เนื้อแก้วกับยางควบคู่กัน) ได้ประมาณ 76.92 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่อิสระชัยได้เคยทำการทดลองไว้

หมายเหตุ

- เปอร์เซนต์ความสามารถของการคัดผลดีหรือผลเสีย = $\frac{\text{จำนวนผลมังคุดผลดีที่ลายน้ําหรือผลเสียที่จมน้ํา} \times 100}{\text{จำนวนผลมังคุดผลดีหรือผลเสียทั้งหมด}}$
- เปอร์เซนต์ความถูกต้องของการคัดผลดี = $\frac{\text{จำนวนผลมังคุดผลดีที่ลายน้ํา} \times 100}{\text{จำนวนผลมังคุดที่ลายน้ําทั้งหมด}}$
- เปอร์เซนต์ความถูกต้องทั้งหมด = $\frac{\text{จำนวนผลมังคุดผลดีที่ลายน้ํากับมังคุดผลเสียที่จมน้ํา} \times 100}{\text{จำนวนผลมังคุดทั้งหมด}}$
- เปอร์เซนต์ความถูกต้องของการคัดผลเสีย = $\frac{\text{จำนวนมังคุดผลเสียที่จมน้ํา} \times 100}{\text{จำนวนผลมังคุดที่จมน้ําทั้งหมด}}$

3.3 ผลการทดลองที่ 2 การวัดอิมพีแดนซ์

จากสมมุติฐานที่ว่าอากาศภายในและเนื้อแก้วเกิดจากการที่มังคุดได้รับน้ำมากเกินไปและถ้าน้ำเป็นสื่อในการนำไฟฟ้า ดังนั้นผลมังคุดที่เกิดยางและเนื้อแก้วน่าจะเป็นสื่อในการนำกระแสไฟฟ้าได้ดีด้วยโดยในเบื้องต้นจึงได้ทำการทดลองหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะทำการทดลองคือเริ่มจากตำแหน่งด้านข้างของผลมังคุด และที่ขั้วของผลมังคุดโดยแบ่งตำแหน่งทดสอบเบื้องต้นออกเป็น 4 ตำแหน่ง ที่ใช้ทดลองเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน คือ

- บริเวณผิวมังคุด
- เจาะเข้าไปในเปลือกมังคุดที่ระยะความลึก 3 มิลลิเมตร
- เจาะเข้าไปในเปลือกมังคุดที่ระยะความลึก 10 มิลลิเมตร
- เจาะเข้าไปในเปลือกมังคุดที่ระยะความลึก 13 มิลลิเมตร

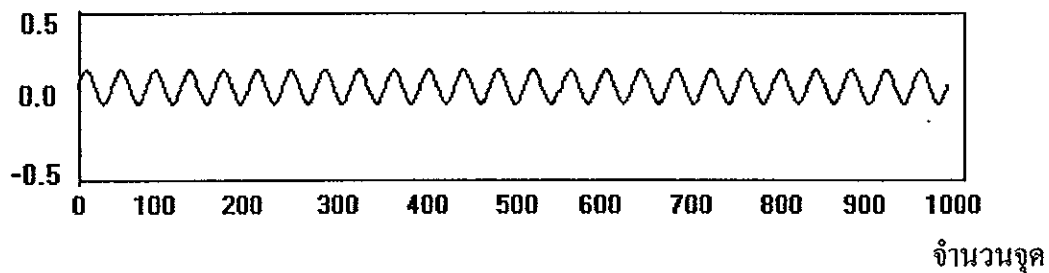
ซึ่งจากการทดลองพบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดที่น่าจะนำมาวัดด้วยวิธีนี้คือบริเวณขั้วของผลมังคุด และวัดที่ระยะความลึก 10 มิลลิเมตรจากเปลือกมังคุด โดยป้อนสัญญาณคงที่ที่มีขนาด 400 มิลลิโวลต์ เข้าสู่ผลมังคุดและทำการทดลองกับผลมังคุดทั้ง 100 ผลปรากฏว่าสัญญาณที่วัดได้ระหว่างมังคุดที่ปกติกับผลมังคุดที่มีอาการผิดปกติในระดับที่เกิดอาการเสียมาก (เน่า) สามารถสังเกตความ

แตกต่างของขนาดของสัญญาณได้อย่างชัดเจน ซึ่งสัญญาณที่วัดได้จาก ออสซิลโลสโคป แสดงไว้ดังภาพประกอบ 3-8 และ 3-9

หมายเหตุ

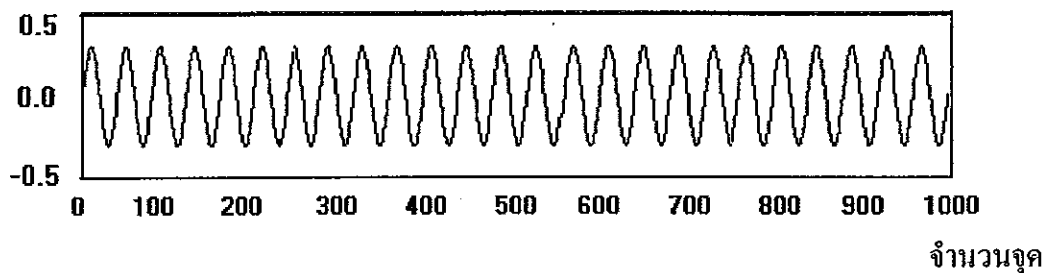
อิเล็กโทรดที่ใช้ในการเจาะผลมังคุดมีลักษณะเป็นเข็มทำด้วยอลูมิเนียมมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร

แรงดัน(โวลต์)



ภาพประกอบ 3-8 สัญญาณที่วัดได้ของมังคุดที่ปกติที่ความถี่ 1 kHz

แรงดัน(โวลต์)



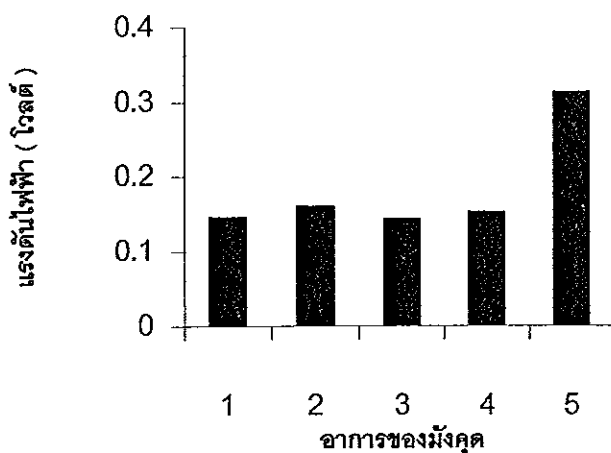
ภาพประกอบ 3-9 สัญญาณที่วัดได้ของมังคุดที่เสียมากที่ความถี่ 1 kHz

จากภาพประกอบ 3-8 และ 3-9 สังเกตได้อย่างชัดเจนว่าขนาดของสัญญาณที่วัดได้มีความแตกต่างกันระหว่างผลมังคุดที่ปกติและผลมังคุดที่เสียมาก (เน่า) โดยขนาดสัญญาณของมังคุดที่ปกติจะมีค่าต่ำกว่ามังคุดที่เสียมากอย่างชัดเจนซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลมังคุดที่เสียมากจะนำกระแสได้ดีกว่าผล

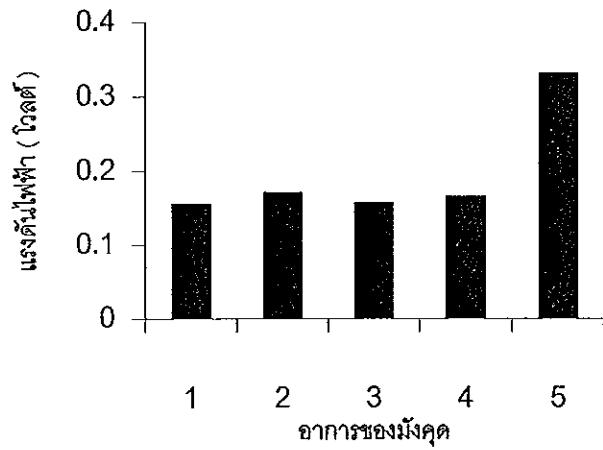
มัจจุคที่ปกติ และเมื่อนำค่าขนาดของสัญญาณที่วัดได้(ค่าแรงดันไฟฟ้า)ในแต่ละความถี่มาหาค่าเฉลี่ยที่ระดับอาการต่างๆของมัจจุค และนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับอาการของมัจจุคในระดับต่างๆ พบว่าที่ความถี่ต่ำๆ สามารถที่จะคัดแยกผลมัจจุคที่มีอาการเสียมากได้อย่างชัดเจนโดยจะพบที่ความถี่ตั้งแต่1kHz,3kHz,5kHz,10kHzตามลำดับโดยสังเกตได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของมัจจุคที่เสียมากจะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของมัจจุคที่ปกติและมัจจุคที่ผิดปกติในลักษณะอื่นๆดังแสดงค่าขนาดของสัญญาณเฉลี่ยที่วัดเทียบกับระดับอาการของมัจจุคดังภาพประกอบ 3-10ถึง 3-13

เมื่อกำหนดให้

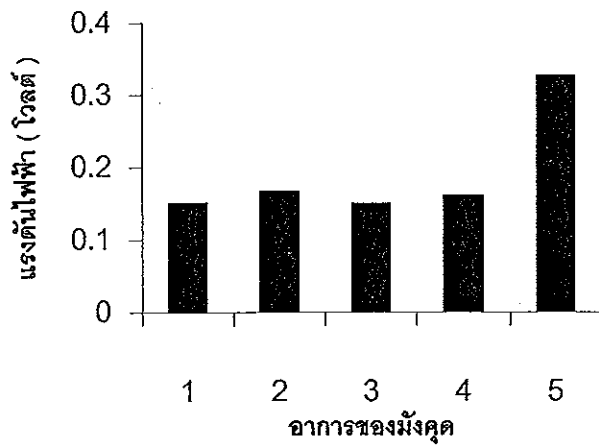
- อาการของมัจจุคระดับที่ 1 คือมัจจุคที่ปกติ
- อาการของมัจจุคระดับที่ 2 คือมัจจุคที่เกิดยาง
- อาการของมัจจุคระดับที่ 3 คือมัจจุคที่เป็นเนื้อแก้ว
- อาการของมัจจุคระดับที่ 4 คือมัจจุคที่เป็นทั้งยางและเนื้อแก้ว
- อาการของมัจจุคระดับที่ 5 คือมัจจุคที่เสียมาก (เน่า)



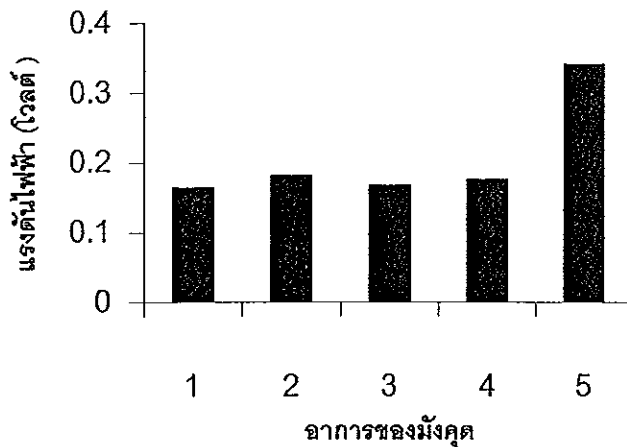
ภาพประกอบ 3-10 ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าของมัจจุคจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 1kHz



ภาพประกอบ 3-11 ค่าเฉลี่ยของแรงแต้นไฟฟ้าของม้งคูดจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 3kHz

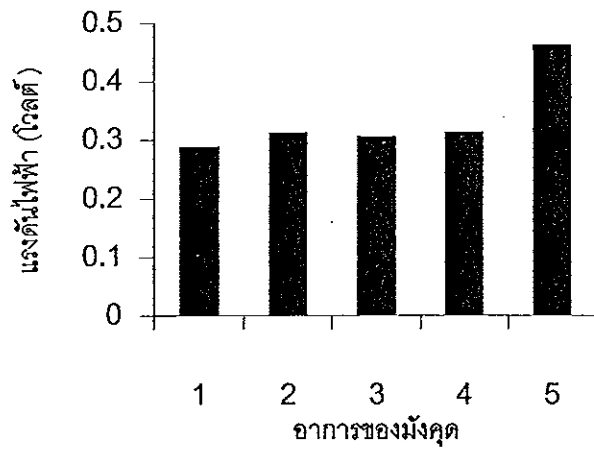


ภาพประกอบ 3-12 ค่าเฉลี่ยของแรงแต้นไฟฟ้าของม้งคูดจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 5kHz

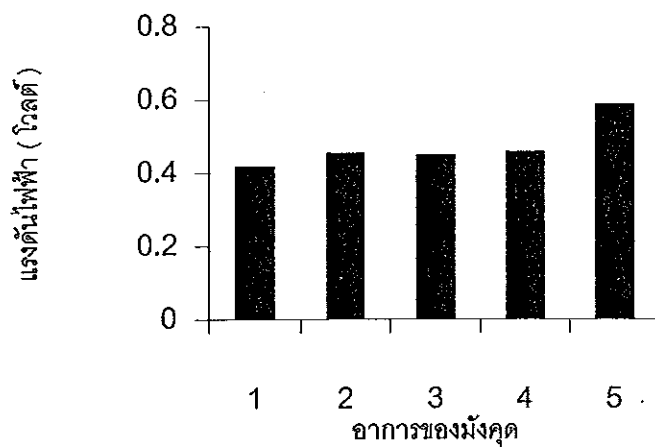


ภาพประกอบ 3-13 ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าของมังคุดจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 10kHz.

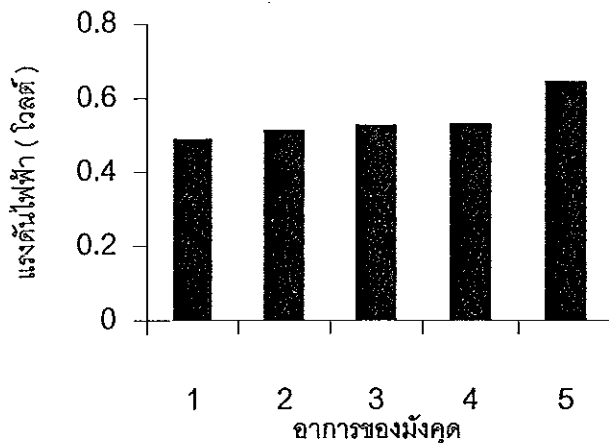
และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าของผลมังคุดที่ระดับอาการต่างๆที่ความถี่ 100 kHz 300 kHz และ 500 kHz ตามลำดับพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าที่ได้กับระดับอาการของมังคุดมีแนวโน้มที่จะเริ่มมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าที่ค่าความถี่อื่นๆซึ่งมีค่ากระจายและมีค่าแรงดันไฟฟ้าของมังคุดที่ระดับอาการต่างๆแตกต่างกันโดยได้แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วยภาพประกอบ 3-14 ถึง 3-16



ภาพประกอบ 3-14 ค่าเฉลี่ยของแรงแต้นไฟฟ้าของมังคุดจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 100kHz



ภาพประกอบ 3-15 ค่าเฉลี่ยของแรงแต้นไฟฟ้าของมังคุดจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 300kHz



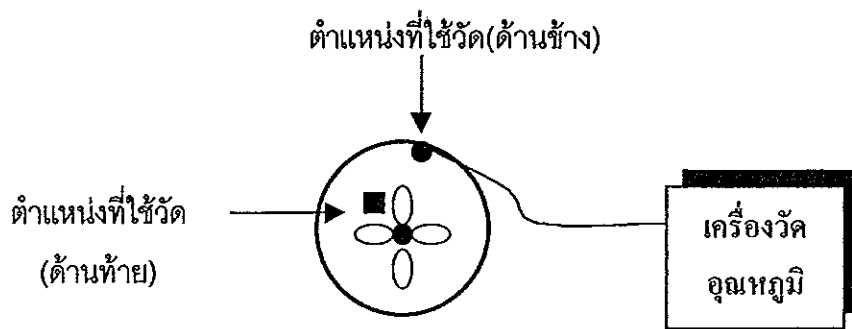
ภาพประกอบ 3-16 ค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าของม้วนจำนวน 100 ผลที่ความถี่ 500kHz

จากภาพประกอบ 3-10 ถึง 3-16 พบว่าการวัดด้วยวิธีนี้เหมาะที่จะวัดม้วนที่เน่าซึ่งจะสามารถวัดได้ที่ความถี่ต่างๆประมาณ 1kHz, 3kHz, 5kHz, 10kHz โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าของผลม้วนที่มีอาการเสียมากจะมีค่าสูงกว่าผลม้วนที่ระดับอาการอื่นๆอย่างชัดเจนและยังพบว่าที่ความถี่ 100 kHz, 300 kHz และ 500 kHz ผลม้วนที่ปกติและม้วนที่มีอาการผิดปกติจะเริ่มมีค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะแตกต่างกับความถี่อื่นๆนั่นคือค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ของผลม้วนจะมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน

3.4 ผลการทดลองที่ 3 การวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ

จากการทดลองโดยการวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟพบว่าอุณหภูมิของม้วนที่มีอาการผิดปกติมีแนวโน้มที่จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของผลม้วนที่ปกติ ซึ่งในการทดลองขั้นต้น ได้ทำการทดลองหาความร้อนที่เหมาะสมที่ไม่ทำลายคุณภาพของผลม้วนซึ่งสิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งสำหรับความร้อนที่ให้แก่ผลม้วนคือความร้อนที่ให้แก่ผลม้วนนั้นต้องไม่ทำให้ช่วงเวลาในการเก็บรักษาผลม้วน

นั้นเปลี่ยนไปหรือลดลงไปจากเดิม จากการทดลองหาความร้อนพื้นฐานที่เหมาะสมตั้งแต่ความร้อนที่ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง (อุณหภูมิ 3 ระดับจากเตาไมโครเวฟ) และเลือกหาเวลาที่เหมาะสมที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิจาก 3 ระดับข้างต้น และนำมาวัดอุณหภูมิกับผลมังคุดที่ตำแหน่งทั้งสองด้านของผลมังคุดแล้วนำมาหาค่าอุณหภูมิที่มีแนวโน้มมากที่สุดที่คาดว่าจะสามารถคัดแยกอากาศผิดปกติของผลมังคุดได้ ซึ่งตำแหน่งที่ใช้วัดอุณหภูมิแสดงได้ไว้ดังภาพประกอบ 3-17



ภาพประกอบ 3-17 ตำแหน่งที่ใช้วัดอุณหภูมิของผลมังคุด(ด้านข้างและด้านซ้าย)

และจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าความร้อนที่ระดับกลาง โดยใช้เวลาประมาณ 20 วินาทีที่มีแนวโน้ม หรือให้ผลที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับความร้อนที่ระดับอื่นๆ ดังนั้นจึงทำการทดลองให้ความร้อนแก่ผลมังคุดทั้ง 100 ผล โดยทำการวัดอุณหภูมิที่ด้านข้างและที่ซ้ายของผลมังคุดซึ่งผลการวัดอุณหภูมิแสดงไว้ดังตาราง 3.4

ตาราง 3.4 อุณหภูมิที่วัดได้จากการให้ความร้อนแก่ผลมังคุด

ผลที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)	อุณหภูมิ (°C)		หมายเหตุ
			ข้าง	ท้าย	
1	6.5	130	29.4	31.2	เนื้อแก้ว
2	5	64	30.3	33	ดี
3	5.2	70	28.4	34.5	ดี
4	5.2	78	28.7	32.8	แก้ว
5	5	66	28.1	32	ยาง 1 กลีบ
6	4	58	28.6	32.5	เกือบดียางที่ท้าย 1 จุด
7	5.7	90	29.6	34	ดี
8	5	64	29.2	32.9	ดี
9	5.2	78	30	33.1	ดี
10	4.8	63	29.8	33.5	แก้ว
11	4.8	58	29.9	33.4	ดี
12	4.7	61	30.5	34	แก้ว
13	4.9	70	29.7	33.9	ดี
14	5.6	78	30.5	35	ยาง 1 กลีบ
15	5.5	86	30.1	34.4	ดี
16	5.4	74	30.1	34	ดี
17	5.3	83	30	34.5	ดี
18	4.8	66	30.5	34.3	ดี
19	5	60	30.7	34.9	แก้ว

ตาราง 3.4 (ต่อ)

ผลที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)	อุณหภูมิ (°C)		หมายเหตุ
			ข้าง	ท้าย	
20	5.2	77	31.3	34.4	ดี
21	5.6	81	31.5	35.2	ดี
22	6.6	133	29.1	29.2	เนื้อแก้ว
23	5.8	98	27.5	27.6	เกือบดียางนิดเดียวที่ท้าย
24	6.5	130	28.6	29	ดี
25	6.3	132	28.3	29.5	ดี
26	6.2	112	29.4	31.7	ดี
27	6	109	29.9	29.9	เนื้อแก้วชัดเจน
28	6.2	147	28.1	28.5	ดี
29	5.3	178	29.1	28.2	ดี
30	6.1	110	29.5	31.8	ดี
31	6.2	103	29	29.7	ดี
32	5.8	101	28.4	30.3	ดี
33	6	115	27.9	29.1	เนื้อแก้วครึ่งผล
34	5.2	67	29.4	29.2	ดี
35	4.9	79	30.5	30.7	ดี
36	5.3	64	27.7	32.9	ดี
37	6.2	125	31.2	27.8	ดี
38	5.5	88	27.8	30	ดี

ตาราง 3.4 (ต่อ)

ผลที่	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	น้ำ หนัก (กรัม)	อุณหภูมิ (°C)		หมายเหตุ
			ข้าง	ท้าย	
39	5	75	28.6	29.9	ดี
40	5.2	78	30.1	29.3	ยางครึ่งผล
41	5.1	65	28.3	30	เนื้อแก้วครึ่งผล
42	5.9	100	28.6	29.2	เกือบดี(ยางนิดเดียว)
43	5.5	98	28.3	28.5	ดี
44	5.8	98	28.8	30.4	เนื้อแก้ว
45	5.6	108	30.8	28.7	เนื้อแก้ว
46	6.4	120	29.7	31.6	เนื้อแก้ว(ด้านล่างดี)
47	6.6	138	29.6	32.6	เนื้อแก้ว(ด้านบน)
48	6	123	29.2	28.8	เนื้อแก้ว(ด้านล่างดี)
49	6.6	140	31.3	29.9	เนื้อแก้ว(1 กليب)
50	5.3	80	31.3	30.4	ดี
51	6.2	118	30.5	30.9	เนื้อแก้วและมียาง(1 กليب)
52	5.8	108	31	30.6	เนื้อแก้ว (1 กليب)
53	5.2	80	30.1	31.5	เนื้อแก้ว (1 กليب)
54	6	90	29.2	30.8	ดี
55	5.7	88	29.8	30.8	เกือบดียางที่เปลือก
56	6.3	118	30.5	31.9	ยาง
57	5.5	95	30.2	31.8	ยาง + เนื้อแก้ว

ตาราง 3.4 (ต่อ)

ผลที่	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	น้ำ หนัก (กรัม)	อุณหภูมิ (°C)		หมายเหตุ
			ข้าง	ท้าย	
58	5.5	92	29.3	32.4	ยาง
59	5.2	72	31.5	29.1	ดี
60	5.5	95	31	31	เนื้อแก้วชัดเจน
61	5.6	90	30.8	31.8	ดี
62	5.5	92	30.7	31	ดี
63	5.8	94	28.5	28.9	ดี
64	6.1	115	28.4	28.8	ดี
65	6	113	29.5	29.5	ดี
66	5.8	108	30.7	30.4	ดี
67	5.7	102	27.1	29	ดี
68	5.6	90	30.9	28.5	ดี
69	5.8	86	28.6	30.3	ดี
70	6	108	29.7	28.9	ดี
71	6.2	103	27.8	29.3	ดี
72	5.2	78	29.7	28.8	ดี
73	6	110	29.6	29.8	ดี
74	5.9	94	28.8	30.8	ดี
75	6.1	100	29.1	31	ดี
76	5.5	82	31.5	31.1	ดี

ตาราง 3.4 (ต่อ)

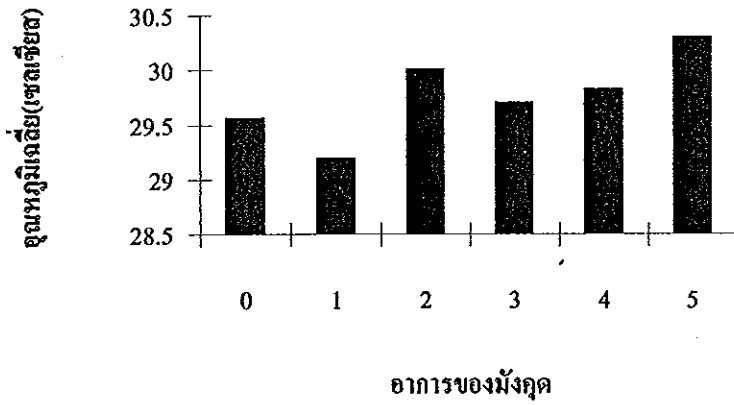
ผลที่	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (เซนติเมตร)	น้ำ หนัก (กรัม)	อุณหภูมิ (°C)		หมายเหตุ
			ข้าง	ท้าย	
77	5.5	75	30.4	30.3	ดี
78	5.7	88	30.2	30.5	ดี
79	6.3	106	29.1	30.3	ดี
80	6	110	29.8	29.6	ดี
81	6.4	110	30.2	29.9	เสีย
82	6.3	104	27.5	27.8	ดี
83	5.6	82	29.3	30.1	ดี
84	5.5	74	29.4	30.7	เกือบดี(ยางจุดเดียวที่ท้าย)
85	5.3	77	29.7	29.7	ดี
86	5.8	104	30.5	30.5	ดี
87	5.3	80	30.6	31.3	ดี
88	6	142	29.5	30	ดี
89	5.3	72	30	33	ดีแต่ขี้มียางจุดเดียวที่ท้าย
90	5.6	80	31.7	29.5	เกือบดี(มียางที่ท้ายนิดเดียว)
91	6.2	114	29.1	29.2	ดี
92	5.8	92	29.9	32.5	ดี
93	5.4	75	30.3	31.2	ดี
94	6.2	108	29.2	31.7	ดี
95	5.3	75	29.3	30.9	ดี

ตาราง 3.4 (ต่อ)

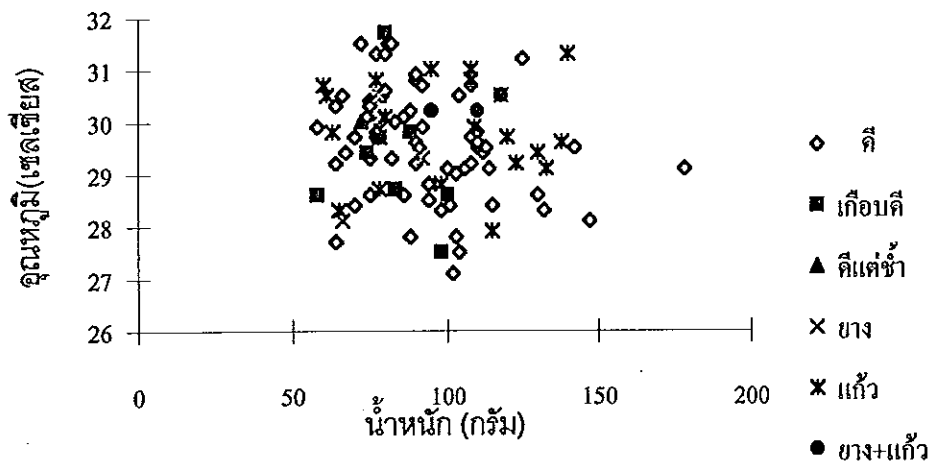
ลูกที่	เส้นผ่านศูนย์กลาง	น้ำหนัก (กรัม)	อุณหภูมิ (°C)		หมายเหตุ
			ข้าง	ท้าย	
96	6	83	28.7	29.9	เนื้อแก้วน้อยมากแต่ช้า
97	5.7	91	29.5	31.7	ดี
98	5.4	78	29.7	29.2	เนื้อแก้ว
99	5.2	77	29.8	28.5	ดี
100	5.8	77	30.8	30.6	เนื้อแก้วชัดเจน
ค่าเฉลี่ย	5.65	93.64	29.62	30.89	-

อักษรหนา หมายถึงผลที่จม

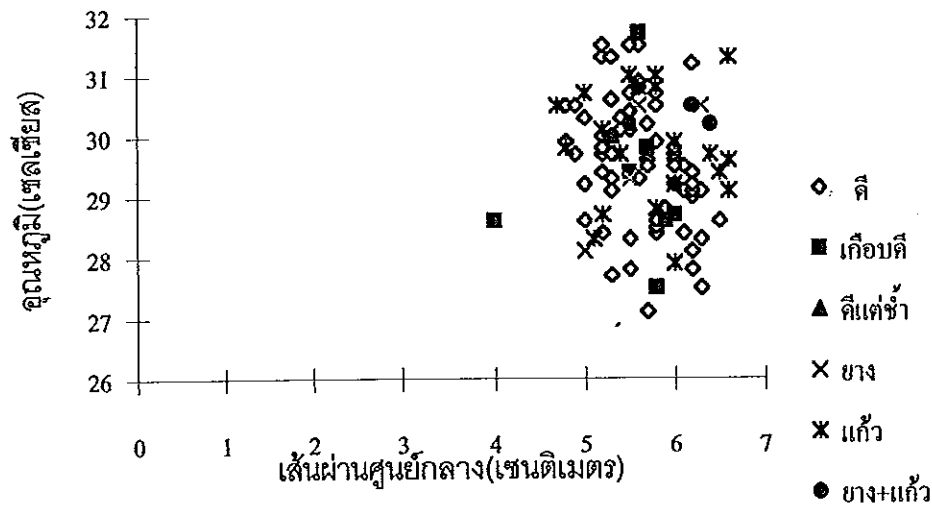
เมื่อนำค่าอุณหภูมิที่วัดที่ด้านข้างและด้านท้ายจากตาราง 3.4 มาทำการหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของผลมังคุดที่ระดับอาการผิดปกติต่างๆพบว่าอุณหภูมิของผลมังคุดที่เกิดยากับเนื้อแก้วควบคู่กันจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของผลมังคุดที่ระดับอาการอื่นๆอย่างชัดเจนซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านข้างเฉลี่ยกับระดับอาการของผลมังคุดได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 3-18 และยังพบว่าเมื่อนำค่าอุณหภูมิของผลมังคุดทั้ง 100 ผลที่ระดับอาการต่างๆมาหาความสัมพันธ์ร่วมกับค่าน้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางของผลมังคุดดังภาพประกอบ 3-19 และ 3-20 พบว่ามังคุดที่ผิดปกติจะมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าผลที่ปกติแต่ก็มีจำนวนผลไม่มากหากเทียบกับจำนวนผลมังคุดที่นำมาทดสอบทั้งหมดดังนั้นสิ่งที่พอจะสังเกตได้จากตาราง 3.4 นั้นพบว่าแนวโน้มที่ได้จากการวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟเหมาะที่จะใช้พิจารณาผลมังคุดที่มีลักษณะอาการยากับเนื้อแก้วควบคู่กันเท่านั้นสำหรับผลมังคุดลักษณะอื่นๆค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองไม่ได้มีแนวโน้มที่สัมพันธ์กัน



ภาพประกอบ 3-18 อุณหภูมิด้านข้างเฉลี่ยกับระดับอาการของมังคุด



ภาพประกอบ 3-19 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านข้างกับน้ำหนัก



ภาพประกอบ 3-20' ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านข้างกับเส้นผ่านศูนย์กลาง

เมื่อกำหนดให้

- 0 = ปกติ
- 1 = เกือบคี
- 2 = คีแต่ช้า
- 3 = ยาง
- 4 = เนื้อแก้ว
- 5 = ยาง+เนื้อแก้ว

จากผลในตาราง 3.4 หากพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยที่บริเวณด้านข้างของผลมังคุดที่อุณหภูมิประมาณ 30 °C พบว่าในการวิเคราะห์จากค่าอุณหภูมิที่ได้ จำนวนผลมังคุดที่ได้จากการคัดเลือกด้วยวิธีการวัดคลื่นไมโครเวฟนั้นมีจำนวนไม่มากแต่ก็ให้แนวโน้มในการคัดเลือกผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วกับยางไหลควบคู่กันได้ดีซึ่งผลการทดลองด้วยวิธีการวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟได้แสดงไว้ในตาราง 3.5 และ 3.6

ตาราง 3.5 ลักษณะและจำนวนผลมังคุดที่นำมาทดสอบด้วยวิธีการวัดการดูดกลืนคลีนไมโครเวฟ

ลักษณะผลมังคุด	จำนวนผลมังคุด	ลายน้ํา	จมน้ํา
ดี	64	62	2
เกือบดี	7	7	0
ดีแต่ผลข้ํา	1	1	0
ยาง	5	5	0
เนื้อแก้ว	21	19	2
ยางและเนื้อแก้ว	2	2	0

ตาราง 3.6 เปอร์เซนต์ผลการคัดเลือกผลมังคุดด้วยวิธีการวัดการดูดกลืนคลีนไมโครเวฟ

ลักษณะการคัดเลือก	เปอร์เซนต์การคัดเลือก	
	ไมโครเวฟ	ลายน้ํา
1. ความสามารถของการคัดเลือกผลดี	18.75	96.87
- ความถูกต้องของการคัดผลดี	73.68	64.58
- ความผิดพลาดของการคัดผลดี	26.32	35.42
2. ความสามารถของการคัดเลือกผลเสีย	46.43	5.55
- ความถูกต้องของการคัดยาง	40	0
- ความถูกต้องของการคัดเนื้อแก้ว	40	0
- ความถูกต้องของการคัดยางและเนื้อแก้ว	100	5.55
ความถูกต้องทั้งหมดของการคัดผลดีและผลเสีย	55	64

จากตาราง 3.6 พบว่า โอกาสในการคัดมังคุดทั้งผลที่ดีและผลที่เสียด้วยวิธีการวัดการดูดกลืนคลีนไมโครเวฟมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับวิธีการลายน้ํา โดยพบว่าวิธีการวัดการดูดกลืนคลีนไมโครเวฟนี้สามารถคัดมังคุดที่ดีได้เพียง 18.75 % และสามารถคัดผลมังคุดที่เสียได้เพียง 46.43 % ในขณะที่วิธีการลายน้ําสามารถคัดเลือกผลดีได้ถึง 96.87 % และคัดผลเสียได้เพียง 5.55 % แต่วิธีการนี้ก็ยังให้ผลการ

ทดลองที่เหมาะสมสำหรับที่จะคัดมังคุดที่มีระดับอาการยางกับเนื้อแก้วควบคู่กันโดยสามารถคัดได้ถูกต้องถึง 100 % แต่เปอร์เซ็นต์ที่ได้ดังกล่าวเป็นเพียงเปอร์เซ็นต์ที่น่าจะบอกแนวโน้มของความถูกต้องในการคัดเลือกผลที่เป็นเนื้อแก้วและยางไหลควบคู่กันมากกว่าที่จะเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องจริงๆ เนื่องจากจำนวนผลมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้วและยางไหลควบคู่กันนั้นมีแค่ 2 ผลเท่านั้นและพบว่าวิธีการวัดการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟสามารถคัดผลมังคุดที่ดีได้ถูกต้อง ถึง 73.68 % แต่ทั้งนี้แล้ววิธีนี้ก็สามารถคัดผลมังคุดได้ถูกต้องรวมทั้งหมด 55 % เท่านั้น

หมายเหตุ

-เปอร์เซ็นต์ความสามารถของการคัดผลดีหรือผลเสีย

$$= \frac{\text{จำนวนผลมังคุดผลดีที่มีอุณหภูมิ} < 30 \text{ C}^{\circ} \text{ หรือผลเสียที่มีอุณหภูมิมากกว่า } 30 \text{ C}^{\circ} \times 100}{\text{จำนวนมังคุดผลดีหรือผลเสียทั้งหมด}}$$

-เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด

$$= \frac{\text{จำนวนของผลมังคุดผลดีที่มีอุณหภูมิ} < 30 \text{ C}^{\circ} \text{ กับผลเสียที่มีอุณหภูมิมากกว่า } 30 \text{ C}^{\circ} \times 100}{\text{จำนวนผลมังคุดทั้งหมด}}$$

-เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดผลดี

$$= \frac{\text{จำนวนผลมังคุดผลดีที่มีอุณหภูมิน้อยกว่า หรือเท่ากับ } 30 \text{ C}^{\circ} \times 100}{\text{จำนวนผลมังคุดที่มีอุณหภูมิน้อยกว่าหรือเท่ากับ } 30 \text{ C}^{\circ} \text{ ทั้งหมด}}$$

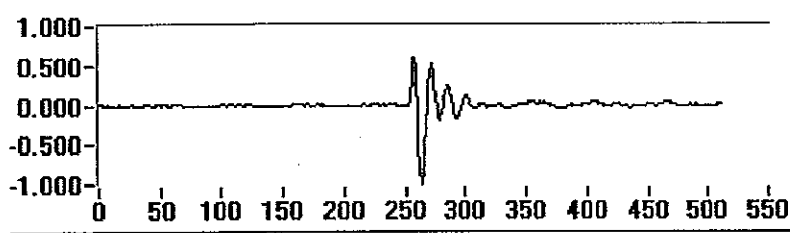
-เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดผลเสีย

$$= \frac{\text{จำนวนผลมังคุดผลเสียที่มีอุณหภูมิมากกว่า } 30 \text{ C}^{\circ} \times 100}{\text{จำนวนผลมังคุดที่มีอุณหภูมิมากกว่า } 30 \text{ C}^{\circ} \text{ ทั้งหมด}}$$

3.5 ผลการทดลองที่ 4 การวัดสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะ

หลักการของวิธีนี้คือจะทำการบินที่กสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะผลมังคุด แล้วนำเอาสัญญาณเสียงที่ได้ไปวิเคราะห์หาความถี่ของสัญญาณเสียง หลังจากนั้นก็จะทำการวิเคราะห์ความถี่ในรายละเอียดเพื่อศึกษาหาตัวแปรต่างๆ ที่สามารถนำไปแยกผลดีและผลเสียได้เช่น ความถี่ธรรมชาติ กำลังของสัญญาณและขนาดของสเปคตรัมที่ความถี่ธรรมชาติ เป็นต้น โดยในภาพประกอบ 3-21 ได้แสดงลักษณะสัญญาณและกำลังเชิงสเปคตรัมของผลมังคุดที่วัดได้

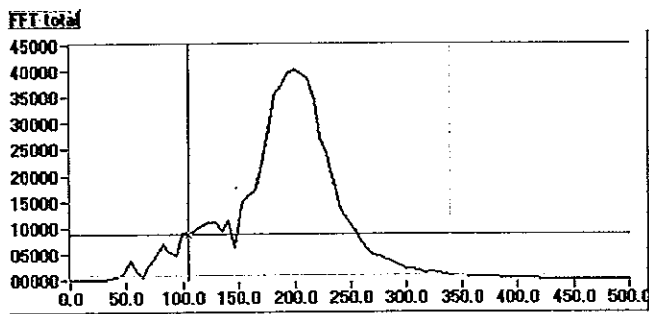
แรงดันไฟฟ้า (V)



(จำนวนจุดของสัญญาณ)

ภาพประกอบ 3-21 ก ตัวอย่างของคลื่นเสียงที่ได้จากการเคาะผลมังคุดดี

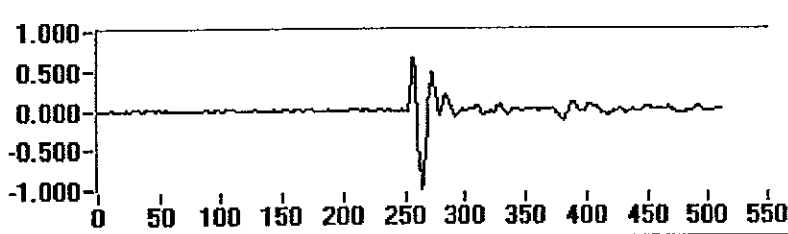
กำลังเชิงสเปกตรัม (V^2)



ความถี่ (Hz)

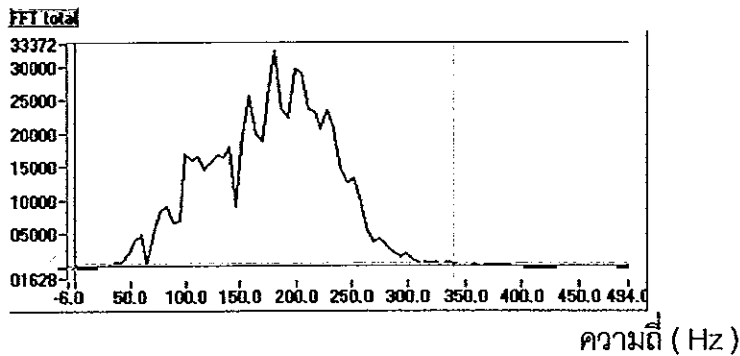
ภาพประกอบ 3-21 ข ตัวอย่างของสเปกตรัมที่ได้จากการเคาะผลมังคุดดี

แรงดันไฟฟ้า (V)



(จำนวนจุดของสัญญาณ)

ภาพประกอบ 3-21 ค ตัวอย่างของคลื่นเสียงที่ได้จากการเคาะผลมังคุดเสีย

กำลังเชิงสเปกตรัม (V^2)

ภาพประกอบ 3-21 ง ตัวอย่างของสเปกตรัมที่ได้จากการเคาะผลมังคุดเสีย

ภาพประกอบ 3-21 (ก-ง) ตัวอย่างของ Power Spectrum ที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณที่ ปรากฏ
อยู่บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

ปัญหาในการเคาะผลมังคุดนี้สิ่งที่ไม่ควรมองข้ามก็คือพลังงานที่ใช้ทำการเคาะมังคุดต้องไม่ทำให้
เนื้อมังคุดเกิดความเสียหาย (อันเนื่องมาจากการถูกกระแทก) ชลทิตา(2540)ได้ทดลองพบว่าพลัง
งานที่ไม่ทำให้ผลมังคุดเกิดความเสียหายอยู่ในช่วงประมาณ 0.25 – 0.32 จูล นั่นคือ มังคุดจะเริ่มได้รับ
ความเสียหายเมื่อได้รับพลังงานกระแทกประมาณ 0.25 จูล และ มังคุดจะเริ่มมีอาการเปลือกแข็งเมื่อ
ได้รับพลังงานกระแทกประมาณ 0.32 จูล และสามารถคำนวณหาพลังงานและระดับความซ้ำที่มังคุด
ได้รับการถูกกระแทกได้จากสมการที่ 3-1

$$DR = (-1.634)Ei^2 + (1.378)Ei + 0.713 \quad (3-1)$$

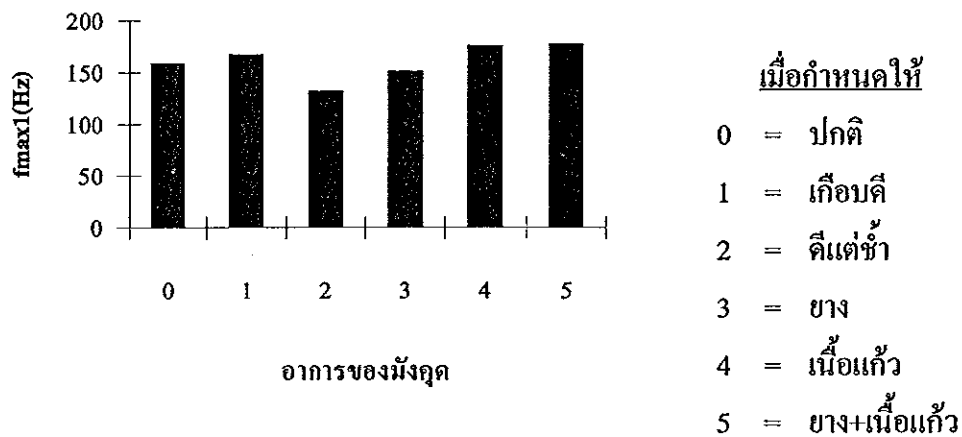
เมื่อ DR = สัดส่วนลึกของเปลือกมังคุด ($0 \leq DR \leq 1.00$) เซนติเมตร

Ei = พลังงานที่มังคุดถูกกระแทก

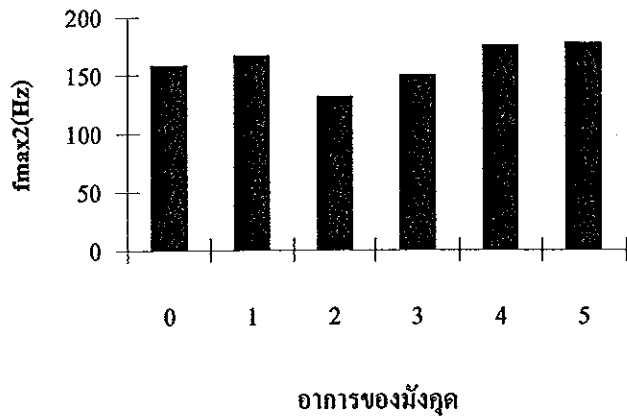
โดยจากการทดลองเคาะมังคุดปรากฏว่าระดับความลึกของผลมังคุดที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ
0.7 เซนติเมตรซึ่งอยู่ในช่วงของค่า DR ของมังคุด ดังนั้นเมื่อนำค่าสัดส่วนลึกที่ได้แทนลงในสมการที่ 3-1
ซึ่งจากการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการกระแทกผลมังคุดพบว่ามีค่าประมาณ 0.102J นั่นคือพลังงานที่
กระแทกผลมังคุดนั้นไม่ทำให้ผลได้รับความเสียหายโดยทั้งนี้ได้ทำการทดลองเคาะมังคุดแล้วเก็บทิ้งไว้
ประมาณ 14 วัน ผลปรากฏว่ารอยเคาะที่เกิดขึ้นไม่ทำให้มังคุดเกิดความเสียหาย

3.5.1 การวิเคราะห์โดยใช้กำลังเชิงสเปกตรัม

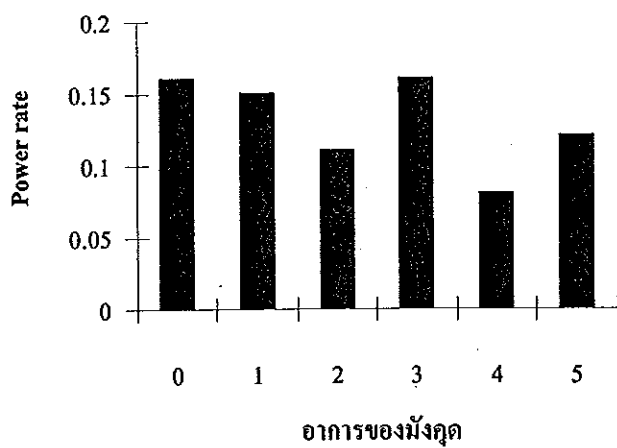
จากกำลังเชิงสเปกตรัมที่ได้จะนำไปคำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้วนำค่าเฉลี่ยของตัวแปรดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์กับระดับอาการของผลมัจจุคที่ระดับต่างๆดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 3-22 ถึง 3-27



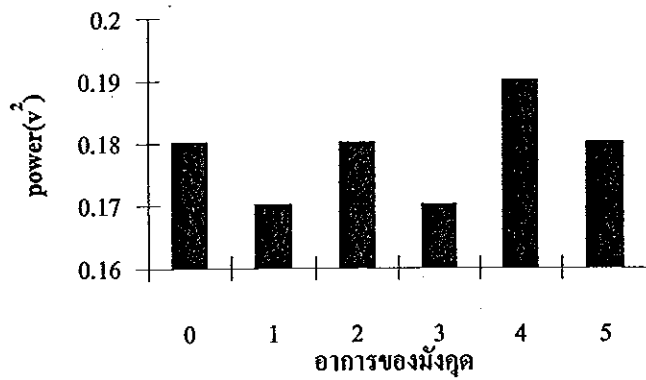
ภาพประกอบ 3-22 ความสัมพันธ์ที่ได้ ระหว่าง Fmax1 กับ อาการของมัจจุค



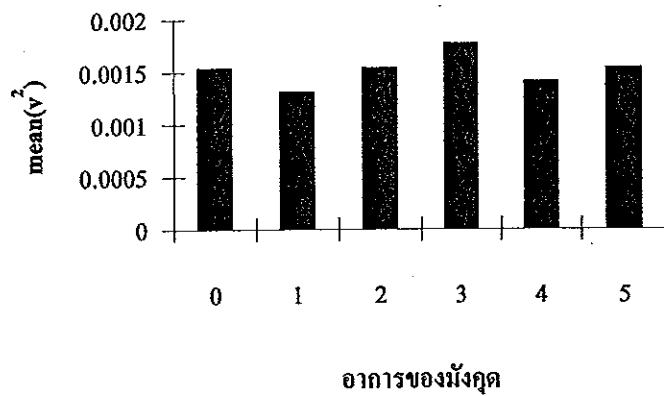
ภาพประกอบ 3-23 ความสัมพันธ์ที่ได้ ระหว่าง Fmax2 กับ อากาศของมังคุด



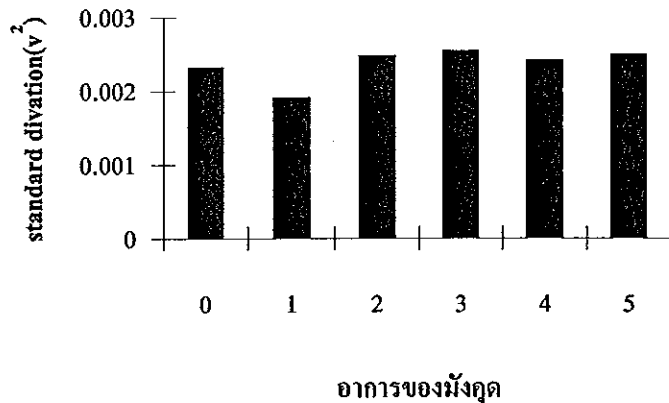
ภาพประกอบ 3-24 ความสัมพันธ์ที่ได้ ระหว่าง กำลังเฉลี่ย กับ อากาศของมังคุด



ภาพประกอบ 3-25 ความสัมพันธ์ที่ได้ ระหว่าง Power กับ อาการของมัจจุ



ภาพประกอบ 3-26 ความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างค่าเฉลี่ยของกำลังเชิงสเปคตรัม กับ อาการของมัจจุ



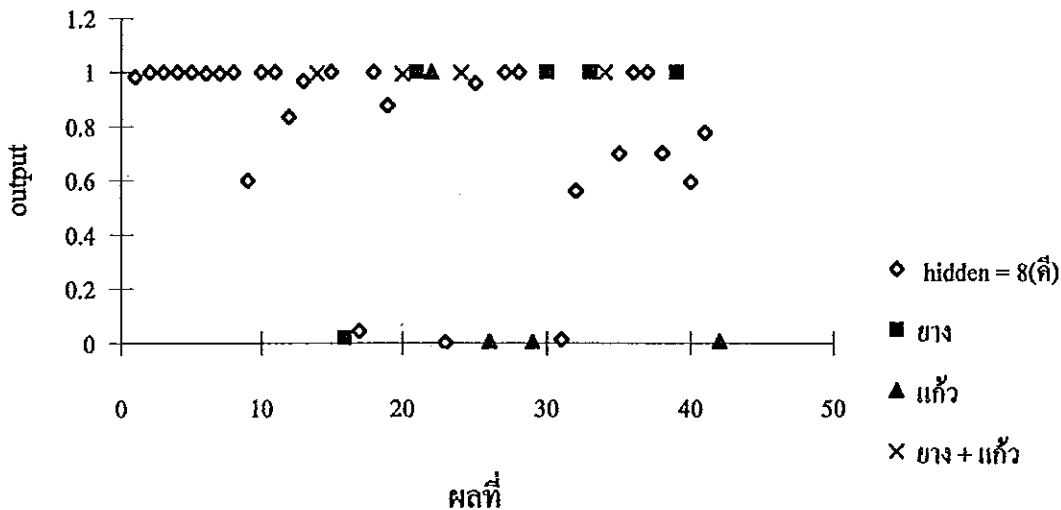
ภาพประกอบ 3-27 ความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ
กำลังเชิงสเปคตรัม กับ อาการของมังคุด

ซึ่งจากภาพประกอบ 3-22 ถึง ภาพประกอบ 3-27 เป็นเพียงการยกตัวอย่างความสัมพันธ์ที่
ระหว่างค่า Fmax1, Fmax2, Power, Power Rate, Mean, Standard Divation กับ อาการของผลมังคุด
ที่ระดับอาการต่างๆซึ่งพบว่าค่าที่วัดได้มีค่าไม่สม่ำเสมอและเกาะกลุ่มกันมากดังนั้นทำให้ไม่สามารถ
คัดแยกผลมังคุดที่ปกติและผิดปกติได้ดังนั้นจึงนำค่าตัวแปรที่วัดได้มาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการโครงข่าย
ประสาทแบบป้อนกลับเพื่อช่วยในการคัดแยกผลมังคุดที่ปกติกับผลที่ผิดปกติอีกครั้งหนึ่งโดยจะนำผล
มังคุดที่ได้มาทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกจะนำไปใช้เพื่อหาค่าน้ำหนักในการทดสอบ
และข้อมูลที่เหลือก็จะนำไปเพื่อใช้ทดสอบโดยได้แสดงวิธีการจัดข้อมูลสำหรับป้อนให้กับโครงข่าย
ประสาทโดยให้ข้อมูลของกำลังเชิงสเปคตรัมของสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะไว้ในบทที่ 2 ซึ่งผล
การทดลองในการวิเคราะห์ค่ากำลังเชิงสเปคตรัมด้วยวิธีโครงข่ายประสาทแสดงไว้ในตาราง 3.7 และ
แสดงผลการจำแนกผลมังคุดที่มีอาการปกติและผิดปกติไว้ในภาพประกอบ 3-28

ตาราง 3.7 ผลการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทโดยข้อมูลของกำลังเชิงสเปคตรัม

ลูกที่	ผลการจำแนก		ลักษณะผลจริง	ลูกที่	ผลการจำแนก		ลักษณะผลจริง
2	0.98305	ถูกต้อง	ดี	54	0.99981	ผิด	แก้ว
6	1	ถูกต้อง	ดี	57	1.3E-05	ผิด	ดี
8	0.99989	ถูกต้อง	ดี	60	0.99675	ผิด	ยาง + เนื้อแก้ว
10	0.99974	ถูกต้อง	ดี	61	0.95887	ถูกต้อง	ดี
13	0.99975	ถูกต้อง	ดี	63	0.00278	ถูกต้อง	แก้ว
17	0.99449	ถูกต้อง	ดี	64	0.9996	ถูกต้อง	ดี
19	0.99338	ถูกต้อง	ดี	70	0.99975	ถูกต้อง	ดี
21	0.99993	ถูกต้อง	ดี	72	0.00027	ถูกต้อง	แก้ว
23	0.59934	ถูกต้อง	ดี	74	0.99994	ผิด	ยาง
25	0.99987	ถูกต้อง	ดี	75	0.0111	ผิด	ดี
28	0.99958	ถูกต้อง	ดี	79	0.56043	ถูกต้อง	ดี
30	0.83416	ถูกต้อง	ดี	82	0.99967	ผิด	ยาง
33	0.96587	ถูกต้อง	ดี	84	0.99991	ผิด	ยาง + เนื้อแก้ว
35	0.99521	ผิด	ยาง + เนื้อแก้ว	85	0.6981	ถูกต้อง	ดี
36	0.99992	ถูกต้อง	ดี	87	0.99975	ถูกต้อง	ดี
38	0.01579	ถูกต้อง	ยาง	90	0.99965	ถูกต้อง	ดี
44	0.04179	ผิด	ดี	92	0.69948	ถูกต้อง	ดี
47	0.99996	ถูกต้อง	ดี	93	0.99992	ผิด	ยาง
49	0.87577	ถูกต้อง	ดี	96	0.59512	ถูกต้อง	ดี
50	0.99289	ผิด	ยาง + เนื้อแก้ว	98	0.77604	ถูกต้อง	ดี
53	0.99986	ผิด	ยาง	99	0.00445	ถูกต้อง	แก้ว

หมายเหตุ ผลการจำแนกที่ได้จากตาราง 3.7 นำมาจากคอลัมน์ที่ 2 ของผลที่ได้จากการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาท



ภาพประกอบ 3-28 แสดงค่าเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาท ที่ hidden layer = 8

จากภาพประกอบ 3-28 เป็นผลการจำแนกที่ได้จากโครงข่ายประสาท ซึ่งสังเกตได้ว่ามังคุดที่ดีที่มีค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดสอบด้วยโครงข่ายและมีค่ามากกว่า 0.5 มีอยู่ถึง 26 ผล จากจำนวนผลมังคุดที่เป็นผลดีทั้งหมด 29 ผล และยังพบว่ามังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วและมีค่าเป้าหมายน้อยกว่า 0.5 มีอยู่ถึง 3 ผล จากจำนวนมังคุดที่เป็นเนื้อแก้วทั้งหมด 4 ผล ส่วนผลมังคุดที่มีลักษณะอื่นๆยังให้ผลไม่ชัดเจนโดยได้แสดงตารางแสดงจำนวนผลมังคุดทั้งหมดที่นำมาทดสอบ และตารางแสดงผลการคัดเลือกผลมังคุดพร้อมทั้งตารางแสดงเปอร์เซ็นต์การคัดเลือกผลมังคุดที่ระดับอาการต่างๆไว้ในตาราง 3.8, 3.9 และ 3.10 ตามลำดับ

ตาราง 3.8 ลักษณะและจำนวนผลมังคุดที่นำมาทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัม

ลักษณะผลมังคุด	จำนวนผลมังคุด
ดี	59
เกือบดี	11
ดีแต่เนื้อขำ	4
ยาง	8
แก้ว	9
ยาง + เนื้อแก้ว	8

ตาราง 3.9 ผลการคัดเลือกมังคุดด้วยวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัม

ลักษณะผลมังคุด	จำนวนผลมังคุด	ผลการจำแนก
ดี	29	26
ยาง	5	1
แก้ว	4	3
ยาง + เนื้อแก้ว	4	0

ตาราง 3.10 เปอร์เซ็นต์ผลการคัดเลือกผลม้งคุดโดยโครงข่ายและใช้ข้อมูลของค่ากำลังเชิงสเปคตรัม

ลักษณะการคัดเลือก	เปอร์เซ็นต์การคัดเลือก
1. ความสามารถของการคัดเลือกผลดี	89.66
- ความถูกต้องของการคัดผลดี	74.29
- ความผิดพลาดของการคัดผลดี	25.71
2. ความสามารถของการคัดเลือกผลเสีย	30.77
- ความถูกต้องของการคัดยาง	20
- ความถูกต้องของการคัดเนื้อแก้ว	75
- ความถูกต้องของการคัดยางและเนื้อแก้ว	0
ความถูกต้องทั้งหมดของการคัดผลดีและผลเสีย	71.73

จากตาราง 3.10 พบว่า การจำแนกโดยอาศัยข้อมูลของค่ากำลังเชิงสเปคตรัมให้เปอร์เซ็นต์ในการคัดผลม้งคุดที่ดีได้ถึง 89.66 % และสามารถคัดผลม้งคุดที่ดีได้ถูกต้อง 74.29 % อีกทั้ง ยังสามารถคัดผลม้งคุดที่มีอาการเนื้อแก้วได้ถูกต้อง 75 % ส่วนม้งคุดเกิดยาง และม้งคุดที่เกิดยางกับเนื้อแก้วควบคู่กันให้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคัดได้ไม่ดี

หมายเหตุ

-เปอร์เซ็นต์ความสามารถของการคัดผลดีหรือผลเสีย

$$= \frac{\text{จำนวนผลม้งคุดผลดีที่มีผลการจำแนก} \geq 0.5 \text{ หรือ ผลเสียที่มีผลการจำแนกน้อยกว่า } 0.5 \times 100}{\text{จำนวนม้งคุดผลดีหรือผลเสียทั้งหมด}}$$

-เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด

$$= \frac{\text{จำนวนจำนวนผลม้งคุดผลดีที่มีผลการจำแนก} \geq 0.5 \text{ กับ ผลเสียที่มีผลการจำแนกน้อยกว่า } 0.5 \times 100}{\text{จำนวนผลม้งคุดทั้งหมด}}$$

-เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดผลดี

$$= \frac{\text{จำนวนผลม้งคุดผลดีที่มีผลการจำแนก} \geq 0.5 \times 100}{\text{จำนวนผลม้งคุดที่มีผลการจำแนก} \geq 0.5 \text{ ทั้งหมด}}$$

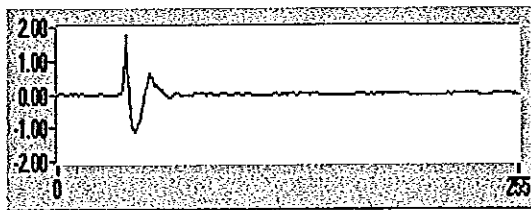
-เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการคัดผลเสีย

$$= \frac{\text{จำนวนผลม้งคุดผลเสียที่มีผลการจำแนกน้อยกว่า } 0.5 \times 100}{\text{จำนวนผลม้งคุดที่มีผลการจำแนกน้อยกว่า } 0.5 \text{ ทั้งหมด}}$$

3.5.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ

จากผลการทดลองโดยใช้วิธีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟจำนวน 10order(a_1, a_2, \dots, a_{10})นี้ให้ผลที่น่าสนใจและเป็นแนวทางในการคัดเลือกผลมั่งคุดโดยจากการวิเคราะห์สัญญาณของผลมั่งคุดทั้ง 100 ผล และทั้งนี้ได้แสดงผลการคำนวณของผลมั่งคุดที่ปกติและผลมั่งคุดที่ผิดปกติ ดังแสดงด้วยภาพประกอบ 3-29 ถึง 3-30

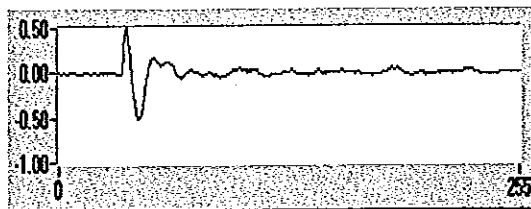
โวลต์



จำนวนจุด

สัญญาณของผลมั่งคุดที่ปกติ

โวลต์



จำนวนจุด

สัญญาณของผลมั่งคุดที่ปกติ

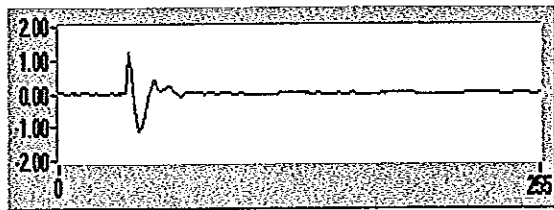
โวลต์



จำนวนจุด

สัญญาณของผลมั่งคุดที่ปกติ

โวลต์



สัญญาณของผลมั่งคุดที่ปกติ

จำนวนจุด

โวลต์



สัญญาณของผลมั่งคุดที่ปกติ

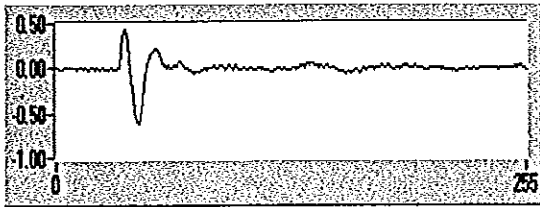
จำนวนจุด

ภาพประกอบ 3-29 สัญญาณของผลมั่งคุดที่ปกติจำนวน 5 ผล

ตาราง 3.11 ตัวอย่างผลที่ได้จากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของออโตรีเกรสซีฟโมเดล ลำดับที่
1-10 ของผลมั่งคุดที่ปกติจำนวน 5 ผล

ลูกที่	สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ									
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
1	2.22	-1.79	0.06	0.83	-0.87	0.64	-0.12	-0.57	0.63	-0.25
2	2.13	-1.57	0.18	0.27	-0.16	0.11	-0.11	-0.03	0.11	-0.07
3	2.08	-1.52	0.21	0.07	0.03	-0.07	0.22	-0.29	0.08	0.00
4	2.02	-1.22	-0.36	0.59	-0.08	-0.13	0.16	-0.14	-0.04	0.05
5	1.61	-0.45	-0.23	-0.38	0.18	0.28	0.04	-0.29	0.09	-0.02

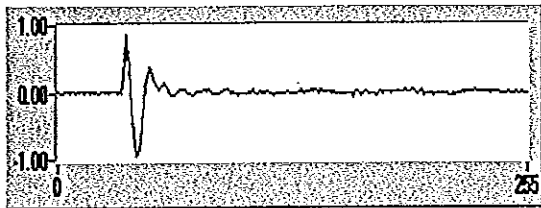
โวลต์



สัญญาณของผลมั่งคุดที่ผิดปกติ

โวลต์

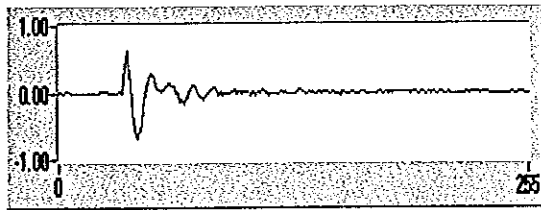
จำนวนจุด



สัญญาณของผลมั่งคุดที่ผิดปกติ

จำนวนจุด

โวลต์



สัญญาณของผลมั่งคุดที่ผิดปกติ

จำนวนจุด

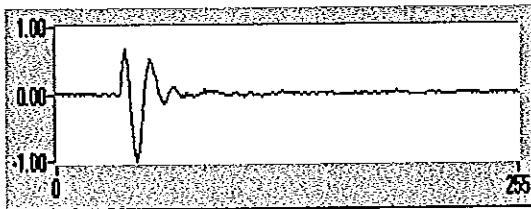
จำนวนจุด



สัญญาณของผลมั่งคุดที่ผิดปกติ

จำนวนจุด

จำนวนจุด



สัญญาณของผลมั่งคุดที่ผิดปกติ

จำนวนจุด

ภาพประกอบ 3-30 สัญญาณของผลมั่งคุดที่ผิดปกติจำนวน 5 ผล

ตารางประกอบ 3.12 ตัวอย่างผลที่ได้จากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของออโตรีเกรสซีฟโมเดล
ลำดับที่ 1-10 ของผลมั่งคุดที่ผิดปกติจำนวน 5 ผล

ลูกที่	สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ									
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
1	2.12	-1.92	1.07	-0.68	0.28	0.03	-0.15	0.16	-0.09	-0.02
2	2.04	-2.54	0.64	-0.54	0.27	0.02	-0.01	0.11	-0.2	0.06
3	2.12	-1.86	1	-0.63	0.2	0.14	-0.26	0.35	-0.29	0.06
4	2.15	-1.98	1.07	-0.66	0.5	-0.5	0.46	-0.31	0.18	-0.11
5	2.03	-1.59	0.35	0.28	-0.49	0.39	-0.21	-0.02	0.17	-0.14

และจากค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้สามารถนำมาใช้ในการจำแนกความผิดปกติของผลมั่งคุดด้วยวิธีโครงข่ายประสาท (ดังกล่าวไว้ในบทที่ 2) โดยจะนำผลมั่งคุดที่ได้มาทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกจะนำไปใช้เพื่อหาค่าน้ำหนักในการทดสอบและข้อมูลที่เหลือก็จะนำไปเพื่อใช้ทดสอบ โดยในผลการทดสอบผลมั่งคุดจะแสดงเฉพาะผลการจำแนกเป็น 4 ชนิดคือ ดี, ยาง, เนื้อแก้วและยางกับเนื้อแก้วควบคู่กันซึ่งผลการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทโดยใช้ข้อมูลสัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟได้แสดงในตารางที่ 3.13 ,3.14 และ 3.15 ตามลำดับ

ตาราง 3.13 ลักษณะและจำนวนผลมั่งคุดที่นำมาใช้ในการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทโดยใช้
ข้อมูลการหาสัมประสิทธิ์อตรีเกรสซีฟทั้งหมด

ลักษณะผลมั่งคุด	จำนวนผลมั่งคุด
ดี	59
เกือบดี	11
ดีแต่เนื้อซ้ำ	4
ยาง	8
แก้ว	10
ยาง + เนื้อแก้ว	8

ตาราง 3.14 ผลการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทโดยข้อมูลของสัมประสิทธิ์อตรีเกรสซีฟ

ลูกที่	ผลการจำแนก		ลักษณะผลจริง	ลูกที่	ผลการจำแนก		ลักษณะผลจริง
2	1	ถูกต้อง	ดี	19	0.00454	ผิด	ดี
6	0.79112	ถูกต้อง	ดี	21	1E-06	ผิด	ดี
8	0.01154	ผิด	ดี	23	0.00113	ผิด	ดี
10	1	ถูกต้อง	ดี	25	1	ถูกต้อง	ดี
13	0.99998	ถูกต้อง	ดี	28	0.99737	ถูกต้อง	ดี
17	1	ถูกต้อง	ดี	30	0.9999	ถูกต้อง	ดี

ตาราง 3.14(ต่อ)

ถูกที่	ผลการจำแนก		ลักษณะผลจริง	ถูกที่	ผลการจำแนก		ลักษณะผลจริง
33	0.99547	ถูกต้อง	ดี	70	1	ถูกต้อง	ดี
35	0.01177	ถูกต้อง	ยาง + เนื้อแก้ว	72	0.99855	ผิด	แก้ว
36	0.02357	ผิด	ดี	74	0.04105	ถูกต้อง	ยาง
38	0.02197	ถูกต้อง	ยาง	75	0.99998	ถูกต้อง	ดี
44	0.37308	ผิด	ดี	79	0.99571	ถูกต้อง	ดี
47	0.96981	ถูกต้อง	ดี	82	0.01194	ถูกต้อง	ยาง
49	1	ถูกต้อง	ดี	84	0.53914	ผิด	ยาง + เนื้อแก้ว
50	0.01151	ถูกต้อง	ยาง + เนื้อแก้ว	85	1	ถูกต้อง	ดี
53	0.95946	ผิด	ยาง	87	0.04043	ผิด	ดี
54	0.03237	ถูกต้อง	แก้ว	90	0.99722	ถูกต้อง	ดี
57	0.93177	ถูกต้อง	ดี	92	0.00782	ผิด	ดี
60	0.98813	ผิด	ยาง + เนื้อแก้ว	93	0.15709	ถูกต้อง	ยาง
61	0.98674	ถูกต้อง	ดี	96	0.96743	ถูกต้อง	ดี
63	0.3798	ถูกต้อง	แก้ว	98	0.89432	ถูกต้อง	ดี
64	0.99998	ถูกต้อง	ดี	99	0.98998	ผิด	แก้ว

หมายเหตุ ผลการจำแนกที่ได้จากตาราง 3.14 นำมาจากคอลัมภ์ที่ 2 ของผลที่ได้จากการทดสอบด้วย
โครงข่ายประสาท

ตาราง 3.15 ผลการคัดเลือกมังคุดด้วยวิธีการขอไตรเกรสซีฟ

ลักษณะผลมังคุด	จำนวนผลมังคุด	ผลการวัดขอไตรเกรสซีฟ
ดี	29	21
ยาง	5	4
แก้ว	4	2
ยาง + เนื้อแก้ว	4	2

ซึ่งจากตาราง 3.15 พบว่าวิธีการจำแนกโดยใช้ข้อมูลสัมประสิทธิ์ขอไตรเกรสซีฟโมเดลนี้ให้ผลในการคัดเลือกผลมังคุดที่มีอาการยางไหลได้ดีกว่าทุกวิธีที่ได้กล่าวผ่านมา โดยคัดผลมังคุดที่มีอาการยางไหลได้ 4 ผล จากจำนวนผลมังคุดที่เกิดยางทั้งหมด 5 ผล และสำหรับผลมังคุดที่ดี ,เนื้อแก้ว และยางกับเนื้อแก้วควบคู่กันให้ผลในการคัดเลือกได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับวิธีการลอยน้ำ และจากผลการคัดเลือกที่ได้ดังกล่าวเมื่อนำมาหาเปอร์เซ็นต์การคัดเลือกพบว่าวิธีการหาสัมประสิทธิ์ขอไตรเกรสซีฟนี้สามารถคัดผลมังคุดที่เกิดอาการยางไหลได้ถูกต้องถึง 80 % และสามารถคัดผลมังคุดที่ดีได้ถูกต้อง 80 % โดยได้แสดงเปอร์เซ็นต์ผลการคัดเลือกด้วยตาราง 3.16

ตาราง 3.16 เปอร์เซนต์ผลการคัดเลือกผลมังคุดด้วยวิธีการขอไตรเกรสซีฟ

ลักษณะการคัดเลือก	เปอร์เซนต์การคัดเลือก
1. ความสามารถของการคัดเลือกผลดี	72.41
- ความถูกต้องของการคัดผลดี	80.76
- ความผิดพลาดของการคัดผลดี	19.24
2. ความสามารถของการคัดเลือกผลเสีย	61.54
- ความถูกต้องของการคัดยาง	80
- ความถูกต้องของการคัดเนื้อแก้ว	50
- ความถูกต้องของการคัดยางและเนื้อแก้ว	50
ความถูกต้องทั้งหมดของการคัดผลดีและผลเสีย	69.05

หมายเหตุ การหาเปอร์เซ็นต์การคัดเลือกดังตาราง 3.16 ให้วิธีเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์การคัดเลือกผลมังคุดด้วยวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัม

3.6 การวิเคราะห์การลอยน้ำ สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ และการวิเคราะห์ สเปกตรัม

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าวิธีการที่จะใช้คัดอากาศผิดปกติของมังคุดได้ดีนั้นมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือการวิเคราะห์โดยการลอยน้ำ ออโตรีเกรสซีฟ และการวิเคราะห์ค่ากำลังเชิงสเปกตรัม ซึ่งในแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป ดังนั้นหากนำผลการทดลองของวิธีการดังกล่าวในทั้ง 3 วิธีมาวิเคราะห์หาความถูกต้องร่วมกันโดยนำผลสรุป ที่ได้ 2 ใน 3 วิธีดังกล่าวมาหาความถูกต้องของผลมังคุดในแต่ละผลพบว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคัดแยกผลมังคุดมีค่าสูงขึ้นโดยแสดงผลการทดสอบไว้ในตาราง 3.17

ตาราง 3.17 ผลการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทโดยใช้ 3วิธีร่วมกัน

ผลที่	ลอยน้ำ.	ผลการ จำแนก	Spectrum	ผลการ จำแนก	ออโตรีเกรส ซีฟ	ผลการ จำแนก	ลักษณะผลจริง
2	ลอยน้ำ.	ถูกต้อง	0.98305	ถูกต้อง	1	ถูกต้อง	ดี
6	ลอยน้ำ.	ถูกต้อง	1	ถูกต้อง	0.79112	ถูกต้อง	ดี
8	ลอยน้ำ.	ถูกต้อง	0.99989	ถูกต้อง	0.01154	ผิด	ดี
10	ลอยน้ำ.	ถูกต้อง	0.99974	ถูกต้อง	1	ถูกต้อง	ดี
13	ลอยน้ำ.	ถูกต้อง	0.99975	ถูกต้อง	0.99998	ถูกต้อง	ดี
17	ลอยน้ำ.	ถูกต้อง	0.99449	ถูกต้อง	1	ถูกต้อง	ดี
19	จม	ผิด	0.99338	ถูกต้อง	0.00454	ผิด	ดี
21	ลอยน้ำ.	ถูกต้อง	0.99993	ถูกต้อง	0.000001	ผิด	ดี
23	ลอยน้ำ.	ถูกต้อง	0.59934	ถูกต้อง	0.00113	ผิด	ดี
25	ลอยน้ำ.	ถูกต้อง	0.99987	ถูกต้อง	1	ถูกต้อง	ดี

ตาราง 3.17(ต่อ)

ผลที่	ลายน้ํา.	ผลการ จําแนก	Spectrum	ผลการ จําแนก	ออดีรี เกสซีฟ	ผลการ จําแนก	ลักษณะผลจริง
28	ลายน้ํา.	ถูกต้อง	0.99958	ถูกต้อง	0.99737	ถูกต้อง	ดี
30	ลายน้ํา.	ถูกต้อง	0.83416	ถูกต้อง	0.9999	ถูกต้อง	ดี
33	ลายน้ํา.	ถูกต้อง	0.96587	ถูกต้อง	0.99547	ถูกต้อง	ดี
35	จม	ถูกต้อง	0.99521	ผิด	0.01177	ถูกต้อง	ยาง + เนื้อแก้ว
36	ลายน้ํา.	ถูกต้อง	0.99992	ถูกต้อง	0.02357	ผิด	ดี
38	ลายน้ํา.	ผิด	0.01579	ถูกต้อง	0.02197	ถูกต้อง	ยาง
44	จม	ผิด	0.04179	ผิด	0.37308	ผิด	ดี
47	จม	ผิด	0.99996	ถูกต้อง	0.96981	ถูกต้อง	ดี
49	ลายน้ํา.	ถูกต้อง	0.87577	ถูกต้อง	1	ถูกต้อง	ดี
50	จม	ถูกต้อง	0.99289	ผิด	0.01151	ถูกต้อง	ยาง + เนื้อแก้ว
53	ลายน้ํา.	ผิด	0.99986	ผิด	0.95946	ผิด	ยาง
54	จม	ถูกต้อง	0.99981	ผิด	0.03237	ถูกต้อง	แก้ว
57	จม	ผิด	1.3E-05	ผิด	0.93177	ถูกต้อง	ดี
60	จม	ถูกต้อง	0.99675	ผิด	0.98813	ผิด	ยาง + เนื้อแก้ว
61	จม	ผิด	0.95887	ถูกต้อง	0.98674	ถูกต้อง	ดี
63	จม	ถูกต้อง	0.00278	ถูกต้อง	0.3798	ถูกต้อง	แก้ว
64	ลายน้ํา.	ถูกต้อง	0.9996	ถูกต้อง	0.99998	ถูกต้อง	ดี

. ตาราง 3.17(ต่อ)

ผลที่	ลายน้ํา.	ผลการ จำแนก	Spectrum	ผลการ จำแนก	อัตรา เกสซีฟ	ผลการ จำแนก	ลักษณะผลจริง
70	จม	ผิด	0.99975	ถูกต้อง	1	ถูกต้อง	ดี
72	จม	ถูกต้อง	0.00027	ถูกต้อง	0.99855	ผิด	แก้ว
74	ลายน้ํา.	ผิด	0.99994	ผิด	0.04105	ถูกต้อง	ยาง
75	จม	ผิด	0.0111	ผิด	0.99998	ถูกต้อง	ดี
79	จม	ผิด	0.56043	ถูกต้อง	0.99571	ถูกต้อง	ดี
82	จม	ถูกต้อง	0.99967	ผิด	0.01194	ถูกต้อง	ยาง
84	จม	ถูกต้อง	0.99991	ผิด	0.53914	ผิด	ยาง + เนื้อแก้ว
85	ลายน้ํา.	ถูกต้อง	0.6981	ถูกต้อง	1	ถูกต้อง	ดี
87	ลายน้ํา.	ถูกต้อง	0.99975	ถูกต้อง	0.04043	ผิด	ดี
90	จม	ผิด	0.99965	ถูกต้อง	0.99722	ถูกต้อง	ดี
92	จม	ผิด	0.69948	ถูกต้อง	0.00782	ผิด	ดี
93	จม	ถูกต้อง	0.99992	ผิด	0.15709	ถูกต้อง	ยาง
96	ลายน้ํา.	ถูกต้อง	0.59512	ถูกต้อง	0.96743	ถูกต้อง	ดี
98	จม	ผิด	0.77604	ถูกต้อง	0.89432	ถูกต้อง	ดี
99	จม	ถูกต้อง	0.00445	ถูกต้อง	0.98998	ผิด	แก้ว

หมายเหตุ ผลการจำแนกที่ได้จากตาราง 3.17 นำมาจากคอลัมภ์ที่ 2 ของผลที่ได้จากการทดสอบด้วย
โครงข่ายประสาท

ตาราง 3.18 ผลการคัดเลือกมังคุดโดยใช้ 3วิธีร่วมกัน

ลักษณะผลมังคุด	จำนวนผลมังคุด	ผลการวัดทั้ง 3 วิธี
ดี	29	24
ยาง	5	3
แก้ว	4	4
ยาง + เนื้อแก้ว	4	2

จากตาราง 3.18 เป็นตารางผลการคัดเลือกมังคุดด้วย 3 วิธีร่วมกันโดยใช้ผลการคัดที่ได้ 2 ใน 3 วิธีเป็นผลสรุปพบว่าสามารถคัดมังคุดที่ปกติได้ถึง 24 ผลจากผลมังคุดที่ปกติทั้งหมด 29 ผล และยัง สามารถคัดผลมังคุดที่มีอาการผิดปกติ(ยางไหล,เนื้อแก้วและอาการเนื้อแก้วกับยางไหลควบคู่กัน)ได้ ถูกต้องเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วสามารถคัดได้ทั้งหมด ซึ่งเท่ากับวิธีการลอยน้ำ และจากตารางการทดลอง 3.17 เมื่อนำผลการคัดเลือกที่ได้ไปหาค่าเปอร์เซ็นต์การคัดเลือกพบว่าค่า เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องรวมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงผลการคัดเลือกและเปอร์เซ็นต์การคัดเลือก ด้วยตาราง 3.19

ตาราง 3.19 เปอร์เซ็นต์ผลการคัดเลือกผลมังคุดจากการวัดทั้ง 3 วิธี

เปอร์เซ็นต์การคัดเลือก	ลอยน้ำ	Spectrum	Auto	3 วิธี
1. ความสามารถของการคัดเลือกผลดี	62.07	89.66	72.41	82.76
- ความถูกต้องของการคัดผลดี	85	74.29	80.76	85.71
2. ความสามารถของการคัดเลือกผลเสีย	76.92	30.77	61.54	69.23
- ความถูกต้องของการคัดยาง	40	20	80	60
- ความถูกต้องของการคัดเนื้อแก้ว	100	75	50	100
- ความถูกต้องของการคัดยางและเนื้อแก้ว	100	0	50	50
3. ความถูกต้องของการคัดผลดีและผลเสีย	66.66	71.43	69.05	78.57

จากผลการทดลองในตาราง 3.19 เห็นได้ว่าเมื่อนำวิธีการดังกล่าวทั้ง 3 วิธีมาวิเคราะห์ร่วมกันโดยวิเคราะห์ความถูกต้องในการคัดเลือกได้จากตาราง 3.17 และสรุปผลที่ได้ 2 ใน 3 วิธีที่กล่าวมาจากข้างต้นพบว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องรวมทั้งหมดยังมีค่าเพิ่มขึ้นคือมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องประมาณ 78 % ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีการที่ดีที่สุดที่ใช้ในปัจจุบัน นั่นคือวิธีการลายน้ำพบว่าวิธีการนี้จะสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องได้มากกว่าวิธีการลายน้ำที่มีอยู่ก่อนหน้านั้นซึ่งสามารถคัดผลมังคุดได้ถูกต้องประมาณ 66 %

หมายเหตุ การหาเปอร์เซ็นต์การคัดเลือกดังตาราง 3.19 ใช้วิธีเดียวกับการหาเปอร์เซ็นต์การคัดเลือกผลมังคุดด้วยวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัม

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการวัดการตรวจจับการเกิดยางในผลมังคุดพบว่าการตรวจสอบทั้ง 4วิธีให้ผลการทดลองที่น่าสนใจโดยสามารถแบ่งวิธีการดังกล่าวออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีการที่ให้ผลในการคัดแยกอาการผิดปกติของผลมังคุดได้ คือ วิธีการวัดน้ำหนักต่อปริมาตร(การลอยน้ำ) การวัดคลื่นไมโครเวฟ การวัดความถี่ไรแนนซ์ และวิธีการวัดที่ให้ค่าแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่วัดได้ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการคัดแยกผลมังคุด คือ วิธีการวัดอิมพีแดนซ์ ซึ่งให้รายละเอียดและผลการคัดเลือกของแต่ละวิธีดังนี้

4.1 วิธีการวัดน้ำหนักต่อปริมาตร(การลอยน้ำ)

วิธีการลอยน้ำให้ผลในการคัดผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว และอาการเนื้อแก้วและยางไหลควบคู่กันได้ดีกว่าวิธีการวัดแบบอื่นโดยพบว่าวิธีการนี้ให้ผลในการคัดเลือกถึง 100 % แต่วิธีการลอยน้ำนี้ไม่เหมาะที่จะคัดผลมังคุดที่มีอาการยางไหลคือจะคัดได้ประมาณ 40 % เท่านั้นซึ่งก่อนที่จะทำการวิจัยนั้นวิธีการลอยน้ำนี้เป็นวิธีการที่ดีที่สุดที่ทำการคัดเลือกผลมังคุดที่มีอาการผิดปกติซึ่งมีความถูกต้องในการคัดเลือกประมาณ 66.66 %

4.2 วิธีการวัดอิมพีแดนซ์

วิธีการวัดค่าอิมพีแดนซ์ไม่เหมาะที่จะใช้คัดลักษณะอาการผิดปกติของผลมังคุดแต่ก็ให้ผลที่น่าสนใจคือวิธีการนี้เหมาะที่จะใช้คัดผลมังคุดที่มีอาการเสียมาก (เน่า) ซึ่งปกติไม่สามารถสังเกตได้จากภายนอกโดยพบว่าผลมังคุดที่มีอาการเสียมากนั้นจะมีค่าแรงดันของสัญญาณสูงกว่าผลมังคุดที่มีอาการผิดปกติแบบอื่นได้อย่างชัดเจนโดยสามารถคัดได้ถูกต้องประมาณ 83.33 % โดยสามารถคัดได้ที่ความถี่ต่ำ ประมาณ 1 kHz, 3 kHz, 5 kHz และ 10 kHz และนอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ของผลมังคุดว่าที่ความถี่ประมาณ 100 kHz – 500 kHz ผลมังคุดจะเริ่มเกาะกลุ่มกันเป็นเส้นตรงอย่างชัดเจนกว่าที่ความถี่อื่นๆ

4.3 การวัดการดูดกลืนคลีนไมโครเวฟ

วิธีการนี้เป็นวิธีที่สามารถคัดผลมังคุดได้ 1 ใน 3 วิธีที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ข้างต้น ซึ่งวิธีการวัดด้วยคลีนไมโครเวฟนี้เหมาะที่จะคัดผลมังคุดที่มีอาการผิดปกติได้ดีแต่ก็มีโอกาสในการคัดเลือกผลมังคุดได้ไม่มากเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ (ลายน้ําและการวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะ) ซึ่งวิธีการนี้ให้ความถูกต้องในการวัดประมาณ 55 %

4.4 การวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะ

การวัดโดยวิธีนี้แบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ การจําแนกโดยใช้สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ ซึ่งจากการทดลองพบว่าวิธีการนี้ให้ผลในการวิเคราะห์ผลมังคุดที่มีอาการยางไหลได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ซึ่งให้ผลความถูกต้องประมาณ 80 % ขณะที่มีความถูกต้องในการคัดเลือกทั้งหมด 69 % และวิธีการวิเคราะห์กําลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณซึ่งพบว่าวิธีนี้ให้ผลในการคัดเลือกผลมังคุดที่มีอาการปกติได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นโดยจะให้ผลการคัดเลือกประมาณ 89 % ขณะที่มีความถูกต้องรวมทั้งหมดเท่ากับ 71.43 % ซึ่งจากการทดลองพบว่าวิธีการทั้งสองอย่างนี้เป็นวิธีการที่น่าจะนำมาวิเคราะห์อาการผิดปกติของผลมังคุดได้ดีอีกวิธีหนึ่งและหากนำวิธีการมาทำการวิเคราะห์ร่วมกันทั้ง 3 วิธีคือวิธีการวัดโดยการลายน้ํา การวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณ และวิธีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ ร่วมกันนั้นให้ผลการทดลองได้ดีที่สุดคือวัดความถูกต้องในการวัดได้ประมาณ 78 % ซึ่งมากกว่าวิธีการอื่นๆ

4.5 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

4.5.1 จากการทดลองพบว่ามังคุดที่นำมาทดสอบจากท้องตลาดมีลักษณะของเปลือกที่ไม่สมบูรณ์ เช่น เปลือกแข็ง , มีรอยร้าว หรือภายในเปลือกมีอาการช้ำ ซึ่งพบว่ามังคุดที่มีลักษณะอาการดังกล่าวให้ค่าที่ผิดเพี้ยนไปจากเดิมทำให้อาการดังกล่าวน่าจะเป็นตัวแปรที่เพิ่มเข้ามาในการทดลองนอกเหนือจากอาการผิดปกติที่มีอยู่ คือ ยางไหล และเนื้อแกว้ ดังนั้น ถ้าหากกําจัดค่าตัวแปรที่ไม่ต้องการเหล่านี้ออกไปได้จะทำให้ตัวแปรที่ต้องควบคุมในการทดลองลดน้อยลงไปด้วย ดังนั้นหากนำผลมังคุดที่มีสภาพภายนอกสมบูรณ์น่าจะให้ผลการทดลองที่น่าสนใจอีกด้านหนึ่ง

4.5.2 จากการทดลองวัดสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะเนื่องจากไมโครโฟนที่ใช้ในการทดลองมีการตอบสนองต่อความถี่ตั้งแต่ 80Hz ถึง 16kHz ซึ่งอาจจะยังไม่ครอบคลุมสัญญาณเสียงที่เกิดจากการเคาะที่มีความถี่ต่ำกว่า 80 Hz ดังนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมโดยเลือกไมโครโฟนที่มีการตอบสนองต่อความถี่ที่ต่ำกว่า 80 Hz

4.5.3 ศึกษาและวิเคราะห์ในเรื่องของความถี่เรโซแนนซ์โดยเปลี่ยนจากการเคาะผลมังกุดมาเป็นการส่งสัญญาณเสียงที่ความถี่ที่เหมาะสมผ่านเข้าสู่ผลมังกุด

บรรณานุกรม

- กวิศร์ วานิชกุล. 2522. ดัชนีการเก็บเกี่ยวและการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวมังคุด. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- กวิศร์ วานิชกุลและสุรพงษ์ โกสิยะจินดา. 2522. ดัชนีการเก็บเกี่ยวและการเปลี่ยนแปลงหลังการ
เก็บเกี่ยวมังคุด. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ 13(12):45-62.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2530. การเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวมังคุดของเกษตรกรใน
ภาคใต้. งานพืชสวนฝ่ายฝึกและนิเทศสำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคใต้. หน้า 1-24.
- กองพืชสวน. 2519. การศึกษาเกี่ยวกับการแข็งตัวของเปลือกมังคุด. รายงานสรุปการทดลองพืชสวน
กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. หน้า 20.
- กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร. 2534. เอกสารวิชาการ ปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวผล
ไม้เพื่อการส่งออก. กรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ.
- เกียรติเกษตร กาญจนพิสุทธ์, มโนธรรม สัจฉิถาวร, อดุลย์ พงศ์สุวรรณ, บรรณ บุรณะ และ ลิจิต
เอียดแก้ว. 2530. มังคุด. สหมิตรออฟเซท. กรุงเทพฯ. 1:1-70.
- จริงแท้ ศิริพานิช. 2537. วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. ภาควิชาพืชสวนคณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม. หน้า 223-229.
- ชลธิศา พีระประสมพงศ์. 2540. ความเสียหายของผลมังคุดเมื่อได้รับแรงกระแทก. วิทยานิพนธ์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประสิทธิ์ อติวีรกุล. 2527. เทคโนโลยีของผลไม้และผัก. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะ
ทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พิทักษ์ ทางรัตนสุวรรณ. 2540. การตรวจจับจุดกลิ่นจากสัญญาณกลิ่นเนื้อโดยวิธีทาง Neural
Network. วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
สงขลานครินทร์.
- ดารา พวงสุวรรณ. 2532. แนวทางและวิธีการปรับปรุงมังคุดเพื่อการส่งออก. เคนการเกษตร
13:48-51.
- ธนะชัย พันธุ์เกษมสุข. 2534. การศึกษาวิธีการตัดคุณภาพของผลมังคุด. รายงานการวิจัย ภาควิชา
พืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- วรภัทร ลัคนทินวงศ์. 2539. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีความมีชีวิตรของเซลล์และปัจจัยของน้ำที่มีผลต่อการเกิดเนื้อแก้วในผล.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศรียนต์ ชัยจรูญพันธ์. 2539. การศึกษาอาการเนื้อแก้วของผลมังคุด. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
- ศรีสังวาลย์ สายวิเศษกุล. 2537. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเนื้อแก้วของผลมังคุด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.2529.ดัชนีแสดงระดับสีของผลมังคุด. เอกสารเผยแพร่ห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว.สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ
- สายัณห์ สดุดี . 2533ข. อิทธิพลของฝนที่มีผลต่อการผลิตมังคุดในภาคใต้. ว. สงขลานครินทร์12(2) : 177-182.
- สุรัชย์ แซ่เอี้ยว.ไมโครเวฟ. ว.เซมิกอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์. 124:46-53.
- สุรพงษ์ โกลิยะจินดา. 2530. แนะแนววัยสำหรับการเก็บเกี่ยวมังคุดเพื่อรับประทานให้อร่อยที่สุด. เคหการเกษตร. 11:25-27.
- สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคใต้. 2538. ผลไม้ภาคใต้. รายงานประจำปี สงขลา.
- สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคใต้. 2539 สถานการณ์เกษตรภาคใต้ปี 2539. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สำนักประชาสัมพันธ์ อะโกรคอมมิวนิก้า. 2535. มังคุด TRENDS & POTENTIALS. กองจัดการสำนักบริหาร กรุงเทพฯ.
- องค์อร วิรยศิริ และสุมาลี พันธุ์พิพัฒน์. 2510. การทดลองเก็บมังคุดสดไว้ในอุณหภูมิต่างๆกัน. ว.กสิกร 40:439-443.
- อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2540 ความถี่ธรรมชาติกับวัยของผลทุเรียนหมอนทอง", สารระไม้ผลสำนักงานเลขาธิการชุดโครงการไม้ผลและผลิตภัณฑ์จากผลไม้. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย 2(4).

- Affeldt, H.A. and Abbott, J.A. 1989. Apple firmness and sensory quality using contact acoustic transmission. Proceeding of the 7th International Congress on Agric. Engineering. Vol.3:2037 – 2045. Dublin. 4 - 8 September.
- Bailey, L.M. 1953. The Standard Cyclopedia of Horticulture, Vol II. The Macmillan Co., New York. 2421 p.
- Chen, P.; Sun, Z. and Huanng, L. 1992. Factors affecting acoustic response of apples. Transactions of the ASAE. 35 (6):1915 – 1920.
- Cheng, V. and Haugh, C.G. 1994. Detecting hollow in potatoes using ultrasound. Transactions of the ASEA. 37(1) : 217 – 222.
- Esau, K. 1977. Anatomy of Seed Plants. 2nd ed. New York : John Wiley and Sons, Inc. 550 p.
- Koh, T.H. and Melton, L.D. 1994. Current techniques in the analysis of fruit tissues. Food Science Department, University of Otago, Dunedin, New Zealand.
- Matin, F.W. 1980. Durian and mangosteen. In Tropical and Suptropical Fruits. Inagy, S., and Shaw, P.E. (eds) The AVI Publishing Co., Inc. Westport, Conn. p. 407-411.
- Mizrach, A. et al. 1996. Model of ultrasonic parameters to assess avocado properties and shelf life. Jour. of Agric. Engin. Res. 65 (4): 261 – 267.
- National Instruments Corporation. 1993. LabView Analysis VI Reference Manual. August 1993 Edition.
- Sasao, A. 1985. Impact response properties of watermelons in growth process – change of impact response. J. Jap. Soc. Agr. Mach. 47 Z3X: 335 – 358.
- Kosugi, Y. 1997. "Basic of Neural Networks", Interdisciplinary Graduate School of Science And Engineering, Tokyo Institute of Technology.

ภาคผนวก .

- ผลการวัดค่าน้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลางของมังคุดที่ใช้ในการวัดสัญญาณเสียงที่ได้จากการเคาะ
- ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V_o) ของมังคุด

ตารางผลการวัดน้ำหนักต่อปริมาตร (ลอยน้ำ)

ลูกที่	น้ำหนัก	เส้นกึ่งศูนย์กลาง	หมายเหตุ
1	46	4.6	ดี
2	96	5.6	ดี
3	56	4.8	ดี
4	80	5.5	ยาง และ เนื้อแก้วทั้งผล
5	68	5.1	ดี แต่ขำ
6	80	5.5	ดี
7	94	5.7	ดี
8	50	4.7	ดี
9	82	5.3	ดี
10	58	4.8	ดี
11	92	5.6	เนื้อดีมาก มียางที่ขำ เนื้อแก้วนิดเดียว
12	50	4.8	ดี
13	88	5.7	ดี
14	60	4.9	เนื้อดี แต่ขำมาก ๆ 2 กลีบ
15	100	6	เนื้อดี แต่มียางตรงกลางผล
16	98	5.8	ดี
17	102	5.7	ดี
18	65	4.8	ดี
19	111	6	ดี
20	115	5.7	ดี
21	104	5.8	ดี
22	104	6	ดี
23	87	5.6	ดี
24	129	6.5	ดี
25	96	5.7	ดี
26	138	6.4	เนื้อดี ยาง นิดเดียว
27	104	5.7	ดี
28	80	5.3	ดี
29	96	5.7	ดี
30	98	5.7	ดี
31	70	5.2	ดี
32	85	5.3/0.7	เนื้อแก้ว ด้านบน 1 กลีบ

ลูกที่	น้ำหนัก	เส้นผ่านศูนย์กลาง	หมายเหตุ
33	106	6	ดี
34	96	5.8	ดี
35	104	6	ยาง และ เนื้อแก้ว เกือบทั้งผล
36	88	5.5	ดี
37	69	5	ยางชัดเจน
38	100	6	ยางชัดเจน
39	112	6	มียางที่ขั้วมองจากด้านท้ายเหมือนลูกดี
40	102	5.2	ยางชัดเจน
41	122	6.4	เนื้อแก้วทั้งผล
42	97	5.8	ยาง และ เนื้อแก้วชัดเจน
43	86	5.2	ดี
44	78	5.2	ดี
45	92	5.4	เนื้อดีมากเกิดยางนิคเคียว
46	83	5.5	ดี
47	78	5.3	ดี
48	84	5.6	ดี
49	112	6	ดี
50	106	5.8	ยาง และเนื้อแก้วที่ขั้วชัดเจน
51	92	5.7	เนื้อแก้วที่ขั้วดูคล้ายลูกดี
52	84	5.6	ดี
53	98	5.8	ยางเกือบทั้งผล
54	114	5.9	เนื้อแก้วชัดเจน
55	102	6	ยางครึ่งผล
56	97	5.7	แก้วทั้งผล
57	100	5.8	ดี
58	122	6.2	ดี
59	107	5.8	ยาง และเนื้อแก้ว
60	110	5.7	ยาง และเนื้อแก้ว
61	107	6	ดี
62	90	5.8	ดี
63	97	5.6	เนื้อแก้วชัดเจน
64	104	6.1	ดี
65	120	6	ดี แต่ ขำเยอะ
66	118	5.9	ยางครึ่งผล มีเนื้อแก้วนิคเคียว

ลูกที่	น้ำหนัก	เส้นผ่านศูนย์กลาง	หมายเหตุ
67	80	5.2	เนื้อแก้วชัดเจน
68	106	5.8	ดี
69	100	5.7	เนื้อแก้วนิคเดียวเหมือนลูกดี
70	91	5.2	ดี
71	144	6	ดี
72	103	6	เนื้อแก้วชัดเจน
73	84	5.3	เนื้อแก้วชัดเจน
74	82	5.6	บาง
75	104	5.8	ดี
76	110	6.2	บางมาก ๆ
77	93	5.4	เนื้อแก้วนิคเดียวเหมือนลูกดี
78	92	5.5	ดี
79	120	6	ดี
80	100	5.6	ดี
81	124	6.4	มียางนิคเดียว เหมือนลูกดีถ้ามองจากด้านล่าง
82	100	5.8	บาง
83	106	5.8	มียางนิคเดียว เหมือนลูกดีถ้ามองจากด้านล่าง
84	111	6	บาง และ เนื้อแก้ว
85	102	5.8	ดี
86	94	5.9	ดี
87	90	5.5	ดี
88	130	6.3	ดี
89	124	6.1	ดี แต่ ข้ำยอะนะ
90	128	6.2	ดี
91	120	6	ดี
92	110	6.1	ดี
93	100	5.7	บาง แต่ เนื้อดี
94	98	5.5	ดี
95	113	5.7	มียางที่ขั้วน้อยมาก มองจากด้านล่างเหมือนลูกดี
96	100	6	ดี
97	88	5.6	ดี
98	100	5.7	ดี
99	122	6.3	ข้ำและมีเนื้อแก้วด้านบน
100	108	5.9	ดี

หมายเหตุ

อักษรหนา คือ ลูกที่จม

น้ำหนักผลมังคุดมีหน่วยเป็นกรัม

เส้นผ่านศูนย์กลางของผลมังคุดมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ตารางผลการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V_o) ของมัลติจูดที่ความถี่ต่างๆ

ลูกที่	1kHz	3kHz	5kHz	10kHz	30kHz	50kHz	100kHz	300kHz	500kHz	1MHz	น้ำหนัก	เส้นผ่านศูนย์กลาง	หมายเหตุ
1	0.14	0.15	0.15	0.16	0.19	0.22	0.25	0.34	0.42	0.49	114	6.6	ดี
2	0.16	0.16	0.16	0.18	0.22	0.26	0.31	0.44	0.48	0.51	111	6.2	เนื้อแก้ว (นิคเคียว) เนื้อดี
3	0.18	0.18	0.18	0.2	0.24	0.29	0.36	0.52	0.62	0.65	152	6.6	ดี
4	0.06	0.08	0.08	0.08	0.1	0.1	0.12	0.14	0.15	0.16	123	6.3	มีขางครึ่งผล(เนื้อแก้ว):มีรอยร้าวที่เปลือก
5	0.14	0.14	0.15	0.16	0.2	0.24	0.3	0.43	0.49	0.53	118	6.2	ดี
6	0.14	0.15	0.16	0.17	0.21	0.26	0.31	0.44	0.5	0.53	112	6	เนื้อแก้วครึ่งผลที่เปลือกมีรอยร้าว
7	0.12	0.12	0.12	0.13	0.16	0.18	0.22	0.29	0.32	0.36	113	6.2	ขาง 1 กลีบติดที่ผิว
8	0.12	0.13	0.13	0.14	0.18	0.2	0.26	0.34	0.38	0.41	113	6.2	ดี
9	0.14	0.15	0.16	0.16	0.2	0.24	0.29	0.44	0.52	0.58	84	5.6	ดี
10	0.14	0.15	0.15	0.16	0.22	0.25	0.32	0.5	0.6	0.66	82	5.6	แก้ว 1 กลีบ
11	0.15	0.16	0.16	0.17	0.21	0.24	0.32	0.46	0.56	0.64	86	6	แก้ว 1 กลีบ
12	0.13	0.14	0.14	0.16	0.2	0.23	0.29	0.44	0.52	0.6	82	5.2	แก้ว
13	0.12	0.14	0.14	0.15	0.18	0.21	0.26	0.37	0.43	0.48	72	5.2	ดี (เนื้อแก้วน้อยมากจริง)
14	0.12	0.13	0.14	0.14	0.17	0.2	0.24	0.34	0.42	0.48	64	5.2	ดี
15	0.12	0.12	0.14	0.15	0.18	0.21	0.28	0.42	0.52	0.6	79	5	แก้ว 1 กลีบชัดเจน
16	0.12	0.12	0.12	0.13	0.18	0.21	0.26	0.41	0.5	0.57	69	5	ดี
17	0.12	0.12	0.13	0.15	0.19	0.23	0.3	0.45	0.55	0.62	80	5.3	แก้ว 1 กลีบชัดเจน
18	0.12	0.14	0.14	0.15	0.19	0.23	0.28	0.44	0.52	0.58	82	5.4	แก้ว
19	0.12	0.14	0.14	0.14	0.18	0.2	0.26	0.38	0.46	0.52	80	5.3	ดี
20	0.11	0.12	0.12	0.13	0.16	0.19	0.24	0.36	0.43	0.5	63	4.9	แก้ว
21	0.14	0.15	0.16	0.17	0.21	0.26	0.33	0.5	0.6	0.65	92	5.5	ขาง และ เนื้อแก้วชัดเจน 2 กลีบ

ถูกที่	1kHz	3kHz	5kHz	10kHz	30kHz	50kHz	100kHz	300kHz	500kHz	1MHz	น้ำหนัก	เส้นผ่านศูนย์กลาง	หมายเหตุ
22	0.12	0.12	0.13	0.14	0.18	0.21	0.27	0.4	0.48	0.55	59	4.8	แก้ว
23	0.12	0.14	0.14	0.16	0.2	0.24	0.32	0.48	0.57	0.64	84	5.4	แก้ว
24	0.12	0.13	0.14	0.14	0.18	0.21	0.26	0.4	0.48	0.56	90	5	แก้ว
25	0.1	0.11	0.14	0.12	0.16	0.2	0.27	0.42	0.5	0.57	64	4.8	เนื้อแก้วชัดเจน
26	0.13	0.14	0.11	0.15	0.2	0.22	0.28	0.41	0.5	0.56	84	5.7	ดี
27	0.12	0.12	0.14	0.14	0.19	0.23	0.3	0.48	0.57	0.63	100	5.9	เนื้อแก้วชัดเจน
28	0.14	0.15	0.16	0.17	0.21	0.24	0.31	0.47	0.56	0.63	78	5	แก้ว
29	0.12	0.14	0.14	0.15	0.19	0.22	0.29	0.42	0.51	0.59	88	5.7	ดี
30	0.12	0.14	0.14	0.16	0.19	0.22	0.28	0.4	0.49	0.55	56	4.8	ดี
31	0.13	0.14	0.14	0.16	0.19	0.22	0.28	0.4	0.47	0.54	64	4.9	แก้ว น้อยมาก
32	0.12	0.12	0.13	0.14	0.18	0.2	0.27	0.42	0.5	0.57	77	5.2	เนื้อแก้วชัดเจน
33	0.12	0.13	0.14	0.15	0.19	0.22	0.29	0.44	0.51	0.58	78	5.4	ดี
34	0.14	0.14	0.14	0.16	0.2	0.24	0.3	0.45	0.54	0.6	84	5.2	เนื้อแก้วชัดเจน
35	0.14	0.14	0.14	0.16	0.19	0.22	0.29	0.44	0.54	0.61	66	5	แก้ว และ เกิดยาง
36	0.14	0.15	0.16	0.16	0.2	0.22	0.28	0.42	0.51	0.59	70	5	ดี
37	0.12	0.12	0.12	0.14	0.18	0.22	0.28	0.42	0.5	0.59	68	5.2	เนื้อแก้ว (2 กลีบ)
38	0.12	0.12	0.12	0.14	0.16	0.2	0.24	0.37	0.46	0.54	48	4.5	ดี
39	0.13	0.13	0.14	0.16	0.2	0.22	0.28	0.41	0.48	0.56	60	4.8	เนื้อแก้ว (1 กลีบ)
40	0.52	0.55	0.55	0.56	0.6	0.62	0.66	0.76	0.76	0.69	88	5.7	หน้า และ เสียมาก
41	0.18	0.18	0.18	0.2	0.23	0.26	0.33	0.47	0.54	0.59	143	6.8	เกิดยาง 1 กลีบ (เนื้อดี)
42	0.17	0.18	0.18	0.18	0.22	0.25	0.31	0.44	0.52	0.56	100	5	ดี
43	0.15	0.16	0.16	0.18	0.21	0.24	0.3	0.42	0.49	0.54	98	5.2	ดี

ลูกที่	1kHz	3kHz	5kHz	10kHz	30kHz	50kHz	100kHz	300kHz	500kHz	1MHz	น้ำหนัก	เส้นผ่านศูนย์กลาง	หมายเหตุ
44	0.18	0.18	0.19	0.2	0.24	0.28	0.34	0.48	0.58	0.62	102	5.7	มีรอยชำ (กระแตก) / มียางที่ใส่
45	0.18	0.18	0.18	0.2	0.24	0.28	0.35	0.5	0.59	0.64	99	5.5	ยางนิดหน่อย (เป็นเชื้อโรค)
46	0.18	0.18	0.19	0.2	0.25	0.29	0.35	0.5	0.58	0.62	118	6.1	เนื้อแก้วด้านบน
47	0.18	0.18	0.18	0.2	0.24	0.27	0.34	0.48	0.54	0.58	118	6	ดี
48	0.15	0.16	0.17	0.18	0.23	0.27	0.33	0.5	0.58	0.62	122	6.2	เกิดยางที่ขั้ว (เนื้อแก้วด้านบน)
49	0.15	0.16	0.16	0.17	0.2	0.24	0.3	0.43	0.5	0.56	112	6.2	ดี
50	0.36	0.37	0.38	0.39	0.41	0.44	0.5	0.6	0.65	0.64	80	5.3	น้ำเสียมมาก
51	0.13	0.14	0.14	0.15	0.18	0.22	0.27	0.38	0.44	0.49	76	5.2	ดี
52	0.17	0.18	0.18	0.19	0.23	0.26	0.32	0.46	0.54	0.58	118	6.3	เสีย 1 กลีบ
53	0.16	0.17	0.17	0.18	0.22	0.24	0.29	0.39	0.43	0.47	108	5.9	แก้ว, รอยชำ และ มียาง
54	0.17	0.18	0.19	0.2	0.23	0.26	0.31	0.42	0.47	0.5	106	5.2	เนื้อแก้ว ครึ่งผล
55	0.16	0.17	0.18	0.18	0.22	0.26	0.3	0.44	0.5	0.55	99	5.2	ดี
56	0.13	0.14	0.15	0.16	0.2	0.25	0.31	0.42	0.48	0.52	80	5.2	เนื้อแก้วทั้งผลชัดเจน
57	0.15	0.16	0.16	0.17	0.2	0.23	0.28	0.4	0.45	0.5	96	5.2	ยาง
58	0.15	0.16	0.16	0.18	0.22	0.25	0.31	0.44	0.5	0.54	82	5.2	ยาง
59	0.16	0.17	0.17	0.19	0.22	0.26	0.32	0.46	0.53	0.58	90	5.5	เนื้อแก้ว
60	0.25	0.26	0.26	0.28	0.31	0.34	0.4	0.52	0.58	0.58	127	6	น้ำ
61	0.14	0.14	0.14	0.15	0.18	0.2	0.24	0.32	0.36	0.4	92	5.5	เนื้อแก้ว
62	0.19	0.2	0.2	0.22	0.26	0.29	0.36	0.53	0.62	0.66	112	5.8	ยาง
63	0.15	0.16	0.16	0.18	0.22	0.24	0.3	0.41	0.46	0.5	113	6	ดี แต่ชำ
64	0.15	0.16	0.16	0.18	0.22	0.26	0.31	0.46	0.54	0.58	108	5.9	เนื้อแก้วชัดเจน
65	0.16	0.16	0.16	0.18	0.22	0.26	0.33	0.48	0.57	0.62	122	6	เนื้อแก้ว

ลูกทึ่	1kHz	3kHz	5kHz	10kHz	30kHz	50kHz	100kHz	300kHz	500kHz	1MHz	น้ำหนัก	เส้นผ่านศูนย์กลาง	หมายเหตุ
66	0.2	0.21	0.22	0.22	0.25	0.28	0.33	0.44	0.52	0.55	74	5.3	เสีย
67	0.14	0.15	0.15	0.16	0.2	0.22	0.28	0.38	0.44	0.48	77	5.3	เนื้อแก้วนิคหน้อย
68	0.13	0.15	0.15	0.15	0.2	0.22	0.29	0.48	0.51	0.54	120	6.3	ยางตรงแกนกลาง
69	0.16	0.16	0.17	0.18	0.22	0.26	0.32	0.45	0.51	0.55	100	5.7	เนื้อแก้ว
70	0.19	0.2	0.2	0.22	0.26	0.3	0.38	0.54	0.64	0.68	104	5.8	แก้วครึ่งผล (มียางนิคหน้อย)
71	0.15	0.16	0.16	0.18	0.22	0.26	0.32	0.47	0.53	0.59	129	6	เนื้อดี (แก้วหนึ่งกลีบ)
72	0.18	0.18	0.19	0.21	0.25	0.29	0.37	0.53	0.62	0.66	100	5.8	เนื้อดี (แก้วหนึ่งกลีบ)
73	0.17	0.18	0.18	0.19	0.24	0.28	0.34	0.5	0.58	0.6	104	5.2	ยาง และ เนื้อแก้ว
74	0.14	0.14	0.15	0.16	0.2	0.24	0.3	0.44	0.52	0.6	78	5.3	ดี
75	0.17	0.17	0.18	0.19	0.24	0.28	0.34	0.5	0.56	0.6	101	5.6	ยาง และ เนื้อแก้ว
76	0.15	0.16	0.16	0.18	0.26	0.26	0.32	0.52	0.52	0.56	85	5.2	ยังไม่สุก (มียาง)
77	0.17	0.18	0.18	0.19	0.24	0.27	0.32	0.47	0.55	0.59	80	5.1	ดี (ซ้ำ 1 กลีบ)
78	0.23	0.24	0.24	0.25	0.3	0.34	0.41	0.6	0.7	0.72	78	5.3	เนา
79	0.16	0.16	0.17	0.18	0.23	0.26	0.34	0.52	0.6	0.65	98	5.8	ยาง และ เนื้อแก้ว (ครึ่งผล)
80	0.16	0.16	0.17	0.17	0.2	0.24	0.29	0.42	0.49	0.54	88	5.8	ดี
81	0.16	0.17	0.18	0.19	0.23	0.27	0.35	0.54	0.64	0.68	78	5.2	เนื้อดี (แก้วหนึ่งกลีบ)
82	0.14	0.14	0.16	0.16	0.2	0.24	0.3	0.44	0.5	0.56	82	5.8	ดี
83	0.18	0.18	0.19	0.2	0.23	0.27	0.32	0.46	0.54	0.56	102	6	เนื้อดี (แก้วหนึ่งกลีบ)
84	0.14	0.15	0.16	0.17	0.22	0.26	0.34	0.5	0.6	0.66	82	5.2	เนื้อดี (แก้วหนึ่งกลีบ) และ มีรอยชำ
85	0.17	0.17	0.18	0.19	0.22	0.26	0.32	0.48	0.56	0.61	114	6.3	ดี
86	0.17	0.18	0.18	0.19	0.24	0.26	0.32	0.47	0.54	0.58	104	5.9	เนื้อแก้ว ชัดเจน
87	0.15	0.16	0.17	0.18	0.22	0.26	0.32	0.45	0.52	0.56	78	5.3	เนื้อแก้ว นิคเดียว

ลูกที่	1kHz	3kHz	5kHz	10kHz	30kHz	50kHz	100kHz	300kHz	500kHz	1MHz	น้ำหนัก	เส้นผ่านศูนย์กลาง	หมายเหตุ
88	0.17	0.17	0.18	0.18	0.23	0.27	0.36	0.56	0.69	0.74	88	5	เนื้อแก้ว ทั้งผล
89	0.18	0.19	0.19	0.2	0.25	0.28	0.36	0.53	0.62	0.66	99	5.1	ยาง และ เนื้อแก้ว ทั่วผลชัดเจน
90	0.18	0.19	0.2	0.2	0.24	0.27	0.34	0.48	0.56	0.6	85	5	ดี (ขางนิดเดียว)
91	0.14	0.14	0.15	0.15	0.18	0.2	0.24	0.32	0.38	0.42	86	5.1	ดี
92	0.14	0.15	0.16	0.17	0.2	0.24	0.3	0.44	0.5	0.54	120	6.2	แก้วทั้งผล และ มียาง
93	0.15	0.15	0.15	0.15	0.18	0.2	0.25	0.36	0.43	0.48	55	4.2	ดี
94	0.18	0.18	0.18	0.19	0.22	0.25	0.32	0.46	0.53	0.58	69	4.9	ดี
95	0.15	0.15	0.16	0.16	0.2	0.24	0.28	0.41	0.48	0.54	84	5.2	เนื้อแก้ว แต่ ผลดีมาก
96	0.17	0.17	0.17	0.18	0.21	0.24	0.29	0.41	0.47	0.52	86	5.2	ดี แต่ ขำ
97	0.14	0.14	0.15	0.16	0.2	0.24	0.3	0.43	0.49	0.52	116	6.2	เนื้อแก้วชัดเจน
98	0.13	0.13	0.14	0.15	0.18	0.21	0.26	0.35	0.4	0.44	98	5.7	มียาง (เนื้อดี)
99	0.16	0.17	0.18	0.18	0.22	0.25	0.31	0.46	0.53	0.57	96	5.6	เนื้อแก้ว (เนื้อดี)
100	0.12	0.16	0.17	0.17	0.2	0.22	0.3	0.44	0.5	0.57	90	5.3	ดี

หมายเหตุ

อักษรหนา = ลูกที่ดี

แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็น โวลต์

น้ำหนักผลมีหน่วยเป็นกรัม

เส้นผ่านศูนย์กลางของผลมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นาย ฤทธิศักดิ์ จริตงาม

วัน เดือน ปี เกิด 1 กุมภาพันธ์ 2518

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒภาคใต้	2539

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนบัณฑิตศึกษาภายในประเทศ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
(สวทช)