



# วิทยานิพนธ์

การประเมินอายุวางจำหน่ายของผลแอปเปิ้ลด้วยพหุสมบัติ

**EVALUATION OF APPLE SHELF-LIFE USING MULTIPLE  
CHARACTERISTICS**

นางสาวเกศดาพร วงษ์ซิ้ม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550





## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร)

ปริญญา

วิศวกรรมกรรมการอาหาร

วิศวกรรมกรรมการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินอายุวางจำหน่ายของผลแอปเปิ้ลด้วยพหุสมบัติ

Evaluation of Apple Shelf-life using Multiple Characteristics

นามผู้วิจัย นางสาวเกศดาพร วงษ์ซิม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( รองศาสตราจารย์อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล, Ph.D )

กรรมการ

( อาจารย์สุกัญญา วิชชุกิจ, Ph.D )

กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, Ph.D )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์ประภาศรี สิงห์รัตน์, M.Appl.Sc )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินอายุวางจำหน่ายของผลแอปเปิ้ลด้วยพหุสมบัติ

Evaluation of Apple Shelf-life using Multiple Characteristics

โดย

นางสาวเกศดาพร วงษ์ซิม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร)

พ.ศ. 2550

เกศดาพร วงษ์ซิม 2550: การประเมินอายุการวางจำหน่ายของผลแอปเปิ้ลด้วยพหุสมบัติ  
ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร) สาขาวิศวกรรมกรรมการอาหาร  
ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการอาหาร ภาชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์  
อนุพันธ์ เทอดวงศัวรกุล, Ph.D. 94 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาการประเมินอายุการวางจำหน่ายของผลแอปเปิ้ลด้วยพหุสมบัติ โดยทำ  
การวัดสมบัติต่างๆ ของแอปเปิ้ลพันธุ์ฟูจิ ที่เก็บรักษาใน 2 สภาวะ คือ 10°C และ 20°C ความชื้น  
สัมพัทธ์ 90-95% และวัดค่าต่างๆ ที่เป็นสมบัติทางด้านคุณภาพสภาวะละ 10 ผล ทุกๆ สัปดาห์  
จนกระทั่งแอปเปิ้ลเกิดความเสียหายไม่เป็นที่ยอมรับ (8 สัปดาห์) โดยค่าทางด้านกายภาพที่วัด  
ได้แก่ ความเร็วเสียงเคาะ, ความถี่เสียง, ค่าจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะกด  
(แรงกดสูงสุด, งานที่เริ่มกดจนถึงแรงกดสูงสุด, ระยะทางที่เริ่มกดจนถึงแรงกดสูงสุดและค่าความ  
ล้าจากการกด) เปอร์เซนต์ความชื้น, น้ำหนัก และค่าความถ่วงจำเพาะ ส่วนค่าทางด้านเคมีที่วัด  
ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไทเตรทได้

ผลการวิจัยพบว่า ค่าความเร็วเสียงเคาะและความถี่เสียงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแรง  
กดสูงสุดทั้งในสภาวะเก็บรักษา 10°C ( $r = 0.786$  และ  $r = 0.698$  ตามลำดับ) และ 20°C ( $r = 0.463$   
และ  $r = 0.6$  ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อวิเคราะห์จำแนกกลุ่มตามอายุการเก็บรักษาด้วยวิธี  
discriminant analysis และทดสอบด้วยวิธี cross validation ได้ผลถูกต้องในการจัดกลุ่มคิดเป็นร้อยละ  
ละ 86.3 และ 72.5 ที่สภาวะเก็บรักษา 10°C และ 20°C ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่สภาวะเก็บรักษา  
10°C สามารถจำแนกแอปเปิ้ลได้ 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 1  
และ 2, กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 3 และ 4, กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยอายุการ  
เก็บรักษาสัปดาห์ที่ 5 และ 6 และกลุ่ม 4 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 7 และ 8 โดยตัว  
แปรที่มีความสำคัญที่สุดในการจำแนกกลุ่มคือ ความถี่เสียง, ค่าแรงกดสูงสุดและความเร็วที่ 5 ตาม  
ลำดับ ส่วนที่สภาวะเก็บรักษา 20°C สามารถจำแนกแอปเปิ้ลได้ 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย  
อายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 1, กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 2 และกลุ่มที่ 3  
ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 3 และ 4 โดยตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดในการจำแนก  
กลุ่มคือ ค่าความถี่เสียง, ค่าร้อยละความชื้น และค่าความเร็วเสียง ตามลำดับ

Kedsadaphon Wongsim 2007: Evaluation of Apple Shelf-life using Multiple Characteristics. Master of Engineering (Food Engineering), Major Field: Food Engineering, Department of Food Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anupun Terdwongworakul, Ph.D. 94 pages.

This research studied evaluation of apple shelf life using multiple parameters. “Fuji” variety apple was stored at 10°C and 20°C with 90-95% humidity. Every week 10 apples were measured for a number of parameters until they appeared unacceptable externally (8 weeks). The measured physical parameters were acoustic impulse transmission velocity, acoustic impulse frequency, parameters from relationship between compression force and deformation (e.g. maximum compression force, work from start to maximum force, deformation from start to maximum force and compression fatigue), moisture percentage, weight and specific gravity. The measured chemical parameters were soluble solids content and titratable acidity.

The results indicated that the acoustic impulse transmission velocity and acoustic impulse frequency correlated significantly with the maximum compression force at both 10°C ( $r = 0.786$  and  $r = 0.698$  respectively) and 20°C ( $r = 0.463$  and  $r = 0.6$  respectively) storage. The classification of apple into each group of shelf life week was done by discriminant analysis using all physical and chemical parameters as independent variables and validated by cross validation. The differentiation was found to be corrected at 86.3 and 72.5% for 10°C and 20°C storage respectively. However, at 10°C apple was classified into 4 groups of shelf life week i.e group 1 is storage 1 week and 2 week, group 2 storage 2 week and 3 week, group 3 storage 5 and 6 week and group 4 storage 7 and 8 week and the most contributed variable was acoustic impulse frequency, maximum load and velocity 5 respectively. As for 20°C storage, apple was classified into 3 groups of shelf life week i.e group 1 is storage 1 week, group 2 storage 2 week group 3 storage 3 and 4 week and the most contributed variable was acoustic impulse frequency, moisture content and velocity 5.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล ประธาน  
กรรมการที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความเมตตา ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขขอบกพร่องต่างๆ  
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุกัญญา วิชชุกิจ  
กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง  
และ อาจารย์ ดร.ภาสันต์ สารทูลทัต ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบ  
แก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้ให้ทุน  
สนับสนุนการทำวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
และ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต  
กำแพงแสน ผู้อำนวยการความสะดวกด้านสถานที่ในการทำวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่ง  
สอน และให้ความเมตตาระหว่างการศึกษา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกคนที่คอยให้  
ความสะดวกในการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณกำลังใจและความ  
ช่วยเหลือจากเพื่อนๆ และน้องๆ ที่ ภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกคน และขอขอบคุณกำลังใจจาก  
เจ้าตัวเล็กและกำลังใจจากทุกคนในครอบครัว

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้  
อบรม ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนผู้วิจัยมาตลอดในทุกๆเรื่อง

เกศดาพร วงษ์ชิม

ตุลาคม 2550

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	20
อุปกรณ์	20
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	26
สรุปและข้อเสนอแนะ	58
สรุป	58
ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	60
ภาคผนวก	63
ภาคผนวก ก โปรแกรม Matlab สำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลเสียง	64
ภาคผนวก ข การวัดความแน่นเนื้อด้วยการกด	67
ภาคผนวก ค โปรแกรม Matlab สำหรับใช้วิเคราะห์ความเร็วเสียงและตัวอย่างผลที่ได้จากโปรแกรม	70
ภาคผนวก ง ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สภาวะการเก็บรักษา 10 และ 20 องศาเซลเซียส	76
ภาคผนวก จ ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ กับอายุการเก็บรักษา	87
ภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม	92
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	94

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวอย่างสภาวะการเก็บรักษาทางการค้าและอายุการวางจำหน่ายที่คาดหวังของผักและ ผลไม้บางชนิด	8
2	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	27
3	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	28
4	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส	34
5	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	35
6	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	37
7	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างตัวแปรจำแนกและตัวแปรจัดกลุ่ม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	41
8	ค่าสัมประสิทธิ์จำแนกกลุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	44
9	การทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	45
10	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ((correlation) ระหว่างตัวแปรจำแนกกลุ่มและตัวแปรจัดกลุ่ม เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	48
11	ค่าสัมประสิทธิ์จำแนกกลุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	50
12	การทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	51
13	การทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส	53
14	การทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	54

## สารบัญตาราง (ต่อ)

### ตารางที่

15	ค่าเฉลี่ยของความแน่นเนื้อและค่าความเร็วเสียงของตัวอย่างของแอปเปิ้ลผล เดิมระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส	55
16	ค่าเฉลี่ยของความแน่นเนื้อและค่าความเร็วเสียงของตัวอย่างของแอปเปิ้ลผล เดิมระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 20 องศาเซลเซียส	55
17	ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าความเร็วเสียงของตัวอย่าง ของแอปเปิ้ลผลเดิมระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 องศา เซลเซียส	56
18	ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าความเร็วเสียงของตัวอย่าง ของแอปเปิ้ลผลเดิมระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 20 องศา เซลเซียส	56

### ตารางผนวกที่

จ1	ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สภาวะการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส และ สภาวะความชื้น 90-95%RH	77
จ2	ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สภาวะการเก็บรักษา 20 องศาเซลเซียส และ สภาวะความชื้น 90-95%RH	82

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ภาพSEM ของแอปเปิ้ลพันธุ์ Braeburn ( (a) fresh apple; (b) slightly mealy; (c) mealy apple) ที่ 20 องศาเซลเซียส and 95% RH. กำลังขยาย 100 ไมครอน	12
2 ภาพSEM ของแอปเปิ้ลพันธุ์ Jonagold (, (a) fresh apple; (b) slightly mealy(c) mealy apple) ที่20 องศาเซลเซียส and 95% RH กำลังขยาย 100 ไมครอน	12
3 ความสัมพันธ์ของเวลาระหว่างสัญญาณ 2 สัญญาณ	15
4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณในรูปที่ 3 เมื่อผ่านการคำนวณ Cross-correlation	15
6 การจัดอุปกรณ์ในการทำ Ultrasonic test	19
7 อุปกรณ์การเคาะวัดเสียงซึ่งประกอบด้วย ไมโครโฟน, คอมพิวเตอร์ และ ไม้เคาะ	21
8 อุปกรณ์ชุดเคาะวัดเสียง	22
9 ตำแหน่งการเคาะวัดเสียงและการวัดค่าความแน่นเนื้อของแต่ละครั้ง ตัวเลขหมายถึงครั้งที่ทำการวัด	25
10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงที่ 2 (m/s) และอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	29
11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงที่ 3 (m/s) และอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	30
12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงที่ 4 (m/s) และอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	30
13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงที่ 5 (m/s) และอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	31
14 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียง (Hz) และอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ10องศาเซลเซียสและ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	31
15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงสูงสุดที่ใช้ในการกด (N) และอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	32
16 ความสัมพันธ์ระหว่างงานที่เกิดจากการกดจากระยะเริ่มต้นจนถึงระยะแรงกดสูงสุด (J)และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียสที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	32

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	33
18	การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส ด้วย discriminant function 1 (D1) และ discriminant function 2 (D2)	40
19	การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส ด้วย discriminant function 2 (D2) และ discriminant function 3 (D3)	40
20	การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 20 องศาเซลเซียส ด้วย Discriminant function 1 (D1) และ Discriminant function 2 (D2)	47
21	การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยพารามิเตอร์แบบไม่ทำลายที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส ด้วย discriminant function 1 (D1) และ discriminant function 2 (D2)	52
22	การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยพารามิเตอร์แบบไม่ทำลายที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 20 องศาเซลเซียส ด้วย discriminant function 1 (D1) และ discriminant function 2 (D2)	52
<b>ภาพผนวกที่</b>		
1	การวางตัวอย่างในการวัดค่าความแน่นเนื้อและลักษณะห้วกด	68
2	เครื่อง material testing machine ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENT รุ่น LR5K	68
3	กราฟแรงกดและระยะทางที่ได้จากเครื่อง material testing machine	69
4	สัญญาณเสียงจากไมโครโฟนตัวที่ 1	73
5	สัญญาณเสียงจากไมโครโฟนตัวที่ 2	74
6	สัญญาณเสียงจาภาพผนวกที่ 3 และ 4 เมื่อผ่านกระบวนการ crosscorrelation	74
7	เวลา ณ จุดที่นำมาคำนวณ	75
8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วที่ 1 (m/s) และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	88

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางที่เริ่มกดจนถึงระยะแรงกดสูงสุด (mm) อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้น	88
10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า stiffness และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	89
11	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (% brix) และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	89
12	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	90
13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	90
14	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก (กรัม) และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%	91

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

v1	=	ความเร็วที่ 1 (เมตร/วินาที)
v2	=	ความเร็วที่ 2 (เมตร/วินาที)
v3	=	ความเร็วที่ 3 (เมตร/วินาที)
v4	=	ความเร็วที่ 4 (เมตร/วินาที)
v5	=	ความเร็วที่ 5 (เมตร/วินาที)
f	=	ความถี่เสียง (Hz)
max	=	แรงสูงสุดในการกด (นิวตัน)
deflec	=	ระยะทางที่เริ่มกดจนถึงระยะแรงกดสูงสุด (มิลลิเมตร)
work	=	งานที่เริ่มกดจนถึงแรงสูงสุด (นิวตัน-เมตร)
stiff	=	ความด้าจากการกด (นิวตัน/มิลลิเมตร)
brix	=	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้
acid	=	ปริมาณกรดที่สามารถไตเตรทได้
moist	=	ร้อยละความชื้น
w	=	น้ำหนัก (กรัม)
spec	=	ความถี่จำเพาะ

# การประเมินอายุวางจำหน่ายของผลแอปเปิ้ลด้วยพหุสมบัติ

## Evaluation of Apple Shelf-life using Multiple Characteristics

### คำนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยได้เปิดเขตการค้าเสรี (Free Trade Area-FTA) กับหลายประเทศเป็นผลให้สินค้าราคาถูกจากประเทศเหล่านั้นเข้ามาในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก การเปิดการค้าเสรีไทย-จีน ได้ส่งผลกระทบต่อขึ้นอย่างมาก สินค้าเกษตรฯ ไทยจำนวนมากมีราคาตกต่ำ เนื่องจากสินค้าจีนราคาถูกหลั่งไหลเข้ามาทำลายกลไกราคาพืชผัก ผลไม้ของไทย นับตั้งแต่การเปิดเสรีเมื่อเดือนตุลาคม 2546 สินค้าเกษตรไทยโดนกีดกันในรูปแบบต่างๆ จากรัฐบาลท้องถิ่นของจีนที่มีการส่งสินค้าไทยเข้าไป เช่น การเปลี่ยนแปลงขึ้นภาษีมูลค่าเพิ่มจาก 7% เป็น 17% หรือการกีดกันด้วยการตรวจสอบหาสารตกค้าง ขณะที่ฝ่ายไทยไม่มีความพร้อมที่จะตรวจสอบสินค้าจากจีน ปล่อยให้เข้ามาอย่างเสรี ผลที่เกิดขึ้น คือ เกษตรกรไทยผู้ผลิตได้รับผลกระทบ ส่วนจีนนั้นได้ผลประโยชน์จากการส่งออกอย่างมหาศาล

รายชื่อสินค้าเกษตรจากจีนที่มีการตรวจสอบพบว่า มีจำนวน 10 ชนิด ได้แก่ แอปเปิ้ล , สาลี่, มันฝรั่ง, กระเทียม, แครอท, องุ่น, ส้ม, เห็ดหอมแห้ง, หัวหอมใหญ่ และ เกล็ด เป็นกลุ่มสินค้าที่เข้ามาในตลาดซื้อ-ขายสินค้าของไทยอย่างมาก โดยมีปริมาณการส่งออกก่อนมีข้อตกลงเอฟทีเอกับจีน (ต.ค.2545-เม.ย. 2546) คิดเฉพาะผักและผลไม้เปรียบเทียบการส่งออกจริงในช่วงเดือน ต.ค. 2546-เม.ย.2547 มีปริมาณเพิ่มขึ้น 23% มีมูลค่าเพิ่มขึ้น 26% สำหรับการนำเข้าสินค้าจากจีนในช่วงเวลาเดียวกัน มีปริมาณ เพิ่มขึ้น 201% มีมูลค่า เพิ่มขึ้น 97% สินค้าที่มีการนำเข้ามากที่สุดคือ แอปเปิ้ลสดเพิ่มขึ้น 39% รองลงมาลูกแพร์และควินส์สดเพิ่มขึ้น 15% ปลาแช่เย็นจมน้ำแข็งเพิ่มขึ้น 9% เห็ดแห้งเพิ่มขึ้น 5% และลูกนัตเพิ่มขึ้น 5% สรุปในช่วง 8 เดือนหลังเปิดเอฟทีเอไทย-จีน ไทยยังคงเป็นฝ่ายเกินดุลการค้ากับจีน 2,546.47 ล้านบาท แต่มูลค่าการเกินดุลการค้าลดลง หากเทียบกับก่อนทำเอฟทีเอ ในช่วง เดียว กันที่ไทยเกินดุลการค้า (นิรนาม , 2547)

การควบคุมคุณภาพของผลไม้นำเข้าจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อเป็นการป้องกันการท่วมตลาดในประเทศ ไม่ให้ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมผลไม้ภายในประเทศ กลไกหนึ่งที่จะทำให้การควบคุมคุณภาพผลไม้สามารถดำเนินไปได้คือ การพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ที่มี

ความแม่นยำและสามารถนำ เทคโนโลยีนี้มาประเมินอายุการวางจำหน่ายของผลไม้เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภคต่อไป โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกแอปเปิ้ลที่มีการนำเข้าสูงเป็นตัวอย่าง

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีต่ออายุวางจำหน่ายของผลแอปเปิ้ล
2. เพื่อประเมินความแม่นยำของการคัดแยกแอปเปิ้ลตามอายุการวางจำหน่ายด้วยพหุสมบัติที่เป็นตัวแทนความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่าทางกายภาพและเคมี

## การตรวจเอกสาร

### 1. แอปเปิ้ล

แอปเปิ้ลเป็นไม้ผลเมืองหนาวประเภทผลัดใบ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดทางยุโรป แหล่งปลูกที่สำคัญ ๆ ของโลกคือทวีปอเมริกา ยุโรปหรือทางแถบเอเชีย เช่น โซเวียต จีน ญี่ปุ่นรวมทั้งออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ด้วย สำหรับประเทศไทยนั้นเพิ่งจะถูกนำเข้ามาปลูกไม่กี่ปีเอง ลักษณะต้นและใบ เป็นไม้เนื้อแข็ง รูปร่างของยอดที่เจริญเต็มวัยจะแตกต่างกันไปตามชนิดและตามพันธุ์ โดยทั่วไปต้นแอปเปิ้ลมีรูปร่างเกือบเป็นทรงกลม แต่บางพันธุ์ก็มีลักษณะสูงชะลูด บางพันธุ์ก็มีลักษณะเป็นพุ่มแก่ ใบเป็นใบเดี่ยวเขียว สลับกันและขอบเป็นหยัก ผลคล้ายชมพู่มีรอยเป็นปุ่มทางด้านขั้วและก้นผล แต่ไม่ลึกนักมีสีผิวต่างกันตั้งแต่สีเหลืองคล้ำจนถึงน้ำตาลแดงเข้ม เนื้อมักจะมีสีขาวหรือขาวนวลซึ่งมีลักษณะหยาบ แอปเปิ้ลเป็นพืชในสกุล Rosaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Malus domestica* (นิรนาม, 2547)

### 2. อายุวางจำหน่าย

อายุวางจำหน่าย หมายถึง ระยะเวลาที่ผลิตหรือเก็บเกี่ยว ทำความสะอาด ขนส่ง จนกระทั่งถึงมือผู้บริโภค ในช่วงเวลาที่อาหารนั้นยังคงมีคุณภาพเป็นที่พอใจ (IFT, 1974) แต่ในช่วงเวลาที่อาหารยังคงมีคุณภาพเป็นที่พอใจนั้นกว้างมากเกินไป IFST Guideline (1993) จึงให้ความหมายว่า อายุการวางจำหน่าย คือ ระยะเวลาที่อาหารมีความปลอดภัย, ยังคงรักษารสสัมผัส ลักษณะทางเคมี, ชีวเคมี และกายภาพและมีสารอาหารตามฉลากที่ติด เมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาวะที่กำหนด

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการวางจำหน่าย ปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่ออายุการวางจำหน่าย แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยภายใน และปัจจัยภายนอก

#### 2.1.1 ปัจจัยภายใน ได้แก่

- ก. ปริมาณน้ำภายใน (water activity)
- ข. ค่า pH และความชื้นกรด, ชนิดของกรด
- ค. Redox potential ( $E_h$ )

- ง. ปริมาณออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยาได้
- จ. สารอาหาร
- ฉ. ชนิดของจุลินทรีย์และจำนวนจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ
- ช. ธรรมชาติทางชีวเคมีของอาหาร (enzymes, chemical)
- ซ. การถนอมอาหารก่อนนำไปเก็บ

ปัจจัยภายในนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ, คุณภาพ และ ส่วนประกอบและโครงสร้างของอาหาร

#### 2.1.2 ปัจจัยภายนอก ได้แก่

- ก. เวลาและอุณหภูมิภายนอกระหว่างกระบวนการผลิต
- ข. อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาและการจำหน่าย
- ค. ความชื้นสัมพัทธ์ในกระบวนการผลิต, การเก็บรักษา และการจำหน่าย
- ง. ปริมาณแสง (UV, IR) ในกระบวนการผลิต, การเก็บรักษา และการจำหน่าย
- จ. ส่วนประกอบของอากาศใน packaging
- ฉ. การปฏิบัติทางความร้อน เช่น การให้ความร้อนแก่อาหารก่อนการบริโภค
- ช. การปฏิบัติของผู้บริโภค

ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกมีผลให้อายุการวางจำหน่ายมีระยะเวลาที่จำกัด โดยแบ่งตามลักษณะการเสื่อมเสียดังนี้

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (จุลินทรีย์) การเจริญของแบคทีเรียแต่ละชนิดในการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ปัจจัยที่สำคัญคือ

- ก. ปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น
- ข. คุณสมบัติทาง physicochemical ของอาหาร เช่น ปริมาณความชื้น, ค่า pH
- ค. กรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตอาหาร
- ง. สิ่งแวดล้อมภายนอกของอาหาร เช่น ส่วนประกอบของแก๊สที่แวดล้อมอาหาร และอุณหภูมิในการเก็บรักษา

#### 2.1.4 ความสัมพันธ์ทางเคมี

ความสัมพันธ์ที่สำคัญสามารถเกิดได้จากปฏิกิริยาของอาหารหรือจากปฏิกิริยาของส่วนประกอบของอาหารกับสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะจำกัดอายุวางจำหน่ายของผักและผลไม้, ปฏิกิริยา oxidation จะจำกัดอายุวางจำหน่ายของเนื้อ, ปฏิกิริยา hydrolysis สามารถเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่มีความหวานมาก ทำให้ความหวานลดลง, ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องในอาหารหลายๆชนิดจากปฏิกิริยา Maillard, การเปลี่ยนแปลงในการผึ่งแดดรวมถึงสีธรรมชาติของอาหารที่ลดลง, การบูดและกลิ่นรสที่หายไป ในนมและอาหารทานเล่น

#### 2.1.5 ความสัมพันธ์ทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงความชื้นเป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหาร ที่สังเกตได้ง่าย คือการระเหยของน้ำในอาหารสด และการได้รับความชื้นในอาหารแห้ง เช่น breakfast cereals และ ขนมปังกรอบ จะสูญเสียความกรอบเมื่อได้รับความชื้น สลัดสามารถเสื่อมเสียเนื่องจากการระเหยของน้ำจากส่วนประกอบของผักในภาชนะบรรจุ เครื่องแช่แข็งทำให้เกิดการระเหยของความชื้นจากผิวของอาหารแช่แข็ง การระเหยอื่น ๆ สามารถจำกัดอายุของการวางจำหน่าย โดยเฉพาะอาหารที่มีส่วนประกอบหลาย ๆ อย่าง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในวัสดุบรรจุบางครั้งเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วย การระเหยของส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุบรรจุสามารถทำให้เกิดรอยต่างและสามารถยืดอายุการวางจำหน่ายของผลิตภัณฑ์

#### 2.1.6 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์

ความสัมพันธ์สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งการเพิ่มอุณหภูมิและลดอุณหภูมิ ซึ่งทำให้ที่อุณหภูมินั้นๆเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย การเพิ่มอุณหภูมิโดยทั่วไปแล้วจะเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งเป็นผลให้เกิดการเสื่อมเสีย อุณหภูมิที่ขึ้น ๆ ลง ๆ สามารถเป็นสาเหตุการเกิด crystal ในการแช่แข็ง เช่น ไอศกรีม แต่การเพิ่มอุณหภูมิสามารถลดการบูดในขนมปัง แม้ว่าการปิ้งอาหารจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่สามารถคาดคะเนได้

ผักผลไม้เป็นอาหารที่ถือว่ายังมีชีวิต จนกระทั่งถูกบริโภค ,ถูกนำมาทำอาหาร หรือผ่านกระบวนการอื่นๆ เนื้อเยื่อที่มีชีวิตมีการหายใจและเกิดผลกระทบมากมายสำหรับอายุ การวางจำหน่ายและเสถียรภาพของการเก็บรักษา การที่การหายใจช้าสามารถชะลอความเสื่อมเสีย ดังนั้นจึงทำให้ยืดอายุการวางจำหน่าย อย่างไรก็ตามบางครั้งการหายใจต้องต่อเนื่องไม่เช่นนั้น ผลผลิตจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและตายในที่สุด การลดอุณหภูมิสามารถทำให้การเปลี่ยนแปลงสิ่งที่ไม่ต้องการในผักและผลไม้เกิดขึ้น เนื้อเยื่อส่วนใหญ่ของพืชจะไม่สามารถมีชีวิตในการแช่แข็งและไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำ ดังนั้นต้องเข้าใจ Physiology ของผลิตภัณฑ์ เพื่อการเข้าใจเสถียรภาพและอายุวางจำหน่ายของผลิตภัณฑ์นั้น

## 2.2 การหาอายุวางจำหน่ายของผักผลไม้

อายุวางจำหน่ายของผลผลิตแต่ละชนิดนั้นขึ้นอยู่กับ การดูแลก่อนเก็บเกี่ยวด้วย เช่น สภาพของน้ำ, ปริมาณแสง, สัตว์รบกวนและโรค ปัจจัยทั้งหมดนั้นในที่สุดจะมีอิทธิพลต่ออายุ การวางจำหน่ายหลังการเก็บเกี่ยว ประสบการณ์จะทำให้สามารถคาดคะเนอายุวางจำหน่ายของ ผลิตภัณฑ์ที่มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ชนิดของดินหรืออากาศก่อนและระหว่างการเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน สำหรับผลผลิตสดส่วนใหญ่ คำนิยามที่ดีที่สุดของอายุวางจำหน่าย คือ ช่วงระยะเวลาที่ผลผลิตยังมี คุณภาพเป็นที่ยอมรับสำหรับผู้บริโภค ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้น ต้องหาวิธีพิสูจน์ว่า คุณภาพ เป็นที่ยอมรับ ก่อนผลผลิตจะไม่เป็นที่พอใจตามที่คาดหวังไว้

### 2.2.1 เกณฑ์คุณภาพในผลผลิตสด

The European Commission เป็นหนึ่งในองค์ประกอบแรกๆที่พัฒนา มาตรฐานสากลสำหรับผักสดและผลไม้สด มาตรฐานหลายอย่างถูกพัฒนาโดย Organization for Economic Co-Operation Development (OECD) การกำหนดมาตรฐาน, การจำกัดอายุการเก็บ รักษาและอายุวางจำหน่ายเป็นไปตามลักษณะที่สามารถสังเกตเห็นได้ (appearance), เนื้อสัมผัส และ กลิ่นหรือรสสัมผัส โดยได้แสดงมาตรฐานการเก็บรักษาผักผลไม้บางชนิดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างสภาวะการเก็บรักษาทางการค้าและอายุการวางจำหน่ายที่คาดหวังของผักและผลไม้บางชนิด

ผลผลิต	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ระยะเวลาการเก็บรักษา
แอปเปิ้ล	-1 ถึง 4	90-95	1-8 เดือน
อะโวคาโด(ไม่สุก)	4.5-13	85-90	2-5 อาทิตย์
อะโวคาโด (สุก)	2-5	85-90	1-2 อาทิตย์
บรอกโคลี่	0-1	95-100	1-2 อาทิตย์
แครอท(immature)	0-1	95-100	4-6 อาทิตย์
แครอท(mature)	0-1	95-100	4-8 เดือน
มะม่วง	5.5-14	90	2-7 อาทิตย์
มันฝรั่ง(immature)	4-5	90-95	3-8 อาทิตย์
มันฝรั่ง(mature)	4-5	90-95	4-9 เดือน
มะเขือเทศเขียว	12-15	90	1-2 อาทิตย์

ที่มา : Snowdon and Ahmed (1981)

## 2.2.2 สาเหตุของการเสื่อมเสียในผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

ก. การหายใจและเอทรีลีน ผักและผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวยังมีการหายใจอยู่ตลอดเวลาซึ่งมีผลต่ออายุวางจำหน่าย โดยทั่วไปพบว่าอัตราการหายใจสูงขึ้นอายุวางจำหน่ายก็ยิ่งจะสั้นลง การหายใจเป็นกระบวนการสันดาปทางเคมี ภายใต้สภาวะปกติพืชจะใช้ออกซิเจนและกลูโคสในการหายใจ และขณะเดียวกันจะให้คาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และความร้อนออกมา ในระหว่างการสุก ผลไม้จะมีการหายใจที่เพิ่มขึ้น ถ้าหากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิผลไม้จะอม (over-ripen) อย่างรวดเร็วและเนื้อเยื่อภายในจะเสีย นอกจากนี้การหายใจจะเพิ่มการสูญเสียน้ำของผลผลิต การเพิ่มอุณหภูมิและความชื้นส่งผลให้แบคทีเรียและจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีทำให้ผลไม้เสื่อมเสียเร็วขึ้น เอทรีลีนเป็นฮอร์โมนชนิดหนึ่งในพืชที่ทำให้เกิดการสุกและความแก่(senescence) โดยทั่วไปเซลล์พืชทั้งหมดจะผลิตเอทรีลีนในปริมาณน้อย แต่ยังมีสาเหตุอื่นอีกที่กระตุ้นให้พืชสร้างเอทรีลีน รวมถึงการสูญเสียน้ำที่มากเกินไป และการถูกทำลายโดยจุลินทรีย์ ผลไม้จะผลิตเอทรีลีนในปริมาณมากระหว่างการเริ่มต้นของการสุก และฮอร์โมนชนิดนี้ยังกระตุ้นให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพระหว่างการสุก เอทิลีนภายนอกจะเร่งให้เกิดการสุกงอมและการแก่ เช่น ผักเขียวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (lose chlorophyll) อย่างรวดเร็ว, การเกิดเส้นใยในหน่อไม้ฝรั่ง เป็นต้น

Tsay และWu (1994) ศึกษาความสัมพันธ์ของการสุกและปฏิกิริยาของเอนไซม์ (invertase, pectin, esterase, protease, polyphenoloxidase) ในแอปเปิ้ล โดยเก็บแอปเปิ้ลไว้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส, 20 องศาเซลเซียส และ 16 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิสูงมีผลของการเปลี่ยนแปลงการสุกที่เร็ว เช่น การเพิ่มขึ้นของฮอร์โมน และการทำงานของเอนไซม์ ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจึงมีประโยชน์ในการยืดอายุการเก็บรักษา

ข. การสูญเสียน้ำ (water loss) พืชโดยทั่วไปปกคลุมด้วยเนื้อเยื่อพิเศษที่ปกป้องพืชจากเชื้อโรค, ผนังชั้นนอกและผนังเซลล์จะช่วยลดการสูญเสียน้ำจากผิวของพืช แต่การสูญเสียน้ำก็เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ไออน้ำในพืชสามารถซึมผ่านผิวของเซลล์พืชและทำการแลกเปลี่ยนกับก๊าซภายนอกโดยการหายใจ ถ้าผนังชั้นนอกและผนังเซลล์ถูกทำลายการสูญเสียน้ำจะเพิ่มมากขึ้น ในระยะแรกหลังการเก็บเกี่ยวนั้นการสูญเสียน้ำจะขึ้นอยู่กับความดันภายนอก นอกจากนี้ผลผลิตที่มีอัตราส่วนของปริมาตรต่อพื้นที่ผิวมากกว่าจะมีอัตราการสูญเสียน้ำมากกว่า และผลไม้ที่มีเปลือกหนา (เช่น กะล่ำง เป็นต้น) จะเก็บความชื้นภายในได้ดีกว่าผลไม้ที่มีเปลือกบาง (เช่น องุ่น เป็นต้น)

ค. เชื้อราและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรค จุลินทรีย์สำคัญที่เป็นสาเหตุให้ผลผลิตเน่าเสีย คือ เชื้อรา เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมเชื้อราและแบคทีเรียก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยทั่วไปผลผลิตผัก-ผลไม้ จะมีสารประกอบทางเคมีที่ผิวและเนื้อเยื่อที่ป้องกันจุลินทรีย์ได้ แต่การที่เนื้อเยื่อถูกทำลายนั้นเป็นสาเหตุที่ทำให้จุลินทรีย์ผ่านเข้าไปได้และจุลินทรีย์บางชนิดยังสามารถเข้าไปทางช่องเปิดตามธรรมชาติได้ (เช่น ปากใบ หรือ รูตามส่วนต่างๆ) การเกิดโรคโดยเชื้อราและแบคทีเรียจะถูกกระตุ้นภายใต้สภาวะความชื้นและปริมาณอนุภาคของน้ำที่มีอยู่ โรคของผักและผลไม้มีมากมายขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมินั้นๆว่าจะเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดใด จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตในช่วงอุณหภูมิ 6-35 องศาเซลเซียส และเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1 องศาเซลเซียส

ง. ความผิดปกติทางสรีรวิทยา เป็นผลร้ายต่อผลผลิตโดยการรบกวนการ  
 สันดาป (metabolic) การรบกวนนี้มีสาเหตุมาจากปัจจัยภายใน เช่น ความไม่สมดุลของปัจจัยภายใน  
 เป็นต้น

จ. ความเสียหายทางกายภาพ เป็นปัญหาที่มีความสำคัญของการเสื่อมเสียใน  
 ผลผลิต แต่ไม่ได้มีผลโดยตรง ให้ผลทางอ้อม คือ เพิ่มการเกิดบาดแผลให้กับผิวของผลผลิต ซึ่ง  
 บาดแผลนี้เองทำให้ผลผลิตเกิดโรคดังกล่าวมาแล้วข้างต้น

## 2.3 การวัดอายุการวางจำหน่ายของผักและผลไม้

### 2.3.1 การวัดคุณภาพจริงที่สังเกตได้

ก. สี วัดโดยใช้ photoelectric techniques , specific colour matching charts เป็น  
 ต้น ในโรงงานอุตสาหกรรมมักจะใช้ specific colour matching charts ในการคัดแยกและประเมิน  
 อายุการวางจำหน่ายของผลไม้หลายชนิดเพราะมีราคาถูกและใช้ง่ายสำหรับผู้ชำนาญ

ข. ซ้อบקר่อง ภายนอก และภายใน เช่น จุดดำที่ผิว รอยชำ บางโรงงาน  
 ประยุกต์ใช้เทคนิคภาพ (machine vision) ในการตรวจสอบ

### 2.3.2 การวัดคุณสมบัติเนื้อสัมผัส

ก. ความแน่นเนื้อ เป็นตัวชี้วัดเนื้อสัมผัสที่ดีโดยทั่วไปวัดโดยใช้ penetrometer  
 เช่น Magness-Taylor firmness tester หรือ Effegi penetrometer ส่วนวิธีการวัดแบบ Non-  
 destructive ที่มักนำมาใช้ในการค้า เช่น compression test, vibration test ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างดี  
 กับความแน่นเนื้อของผลไม้ บริษัท Israeli company (Eshet Eilon) เป็นผู้ผลิตเครื่องวัดความแน่น  
 เนื้อโดยไม่ทำลายชื่อ 'Firmalon' ด้วยวิธี Acoustic response สำหรับใช้กับผลไม้หลายชนิด เช่น  
 แอปเปิ้ล และ ลูกแพร์, เครื่อง on-line acoustic resonance firmness tester 'AvoScan' ถูกพัฒนาโดย  
 บริษัท UK-base machinery company (Sinclair International, Norwich) โดยการวิจัยของ Peleg และ  
 คณะ (1990)

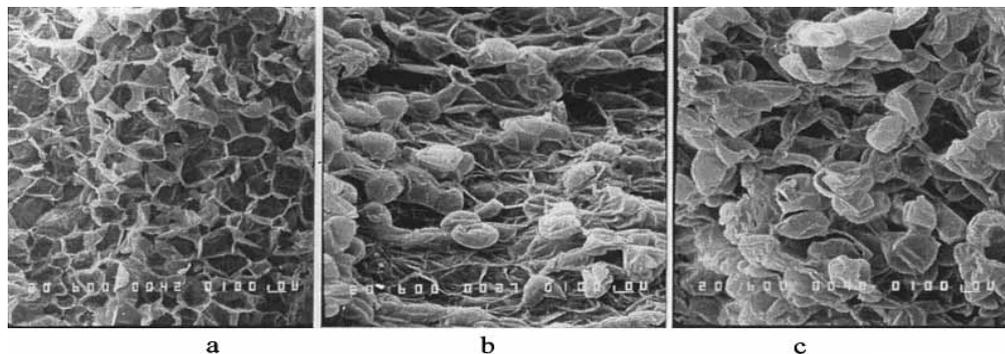
ความแน่นเนื้อเป็นสมบัติสำคัญของพืช อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษามีผลอย่างมากต่อความแน่นเนื้อของผลไม้ Diezma และคณะ (2006) จึงใช้วิธีวัดแบบไม่ทำลายคือ Acoustic และ Impact tests เพื่อประเมินความแน่นเนื้อของพืช และเพื่ออธิบายผลของอุณหภูมิกับเวลาการเก็บรักษาต่อความนิ่มของพืช พบว่าแรงสูงสุดในการกดด้วยหัวกลม มีความสัมพันธ์อย่างมากกับความแรงสูงสุดจาก Impact test ( $r^2=0.75$ ) และช่วงสัญญาณความเข้มจาก Acoustic test ( $r^2=0.71$ ) เมื่อรวมทั้งสองวิธีเพื่อทำนายแรงสูงสุดในการกดด้วยหัวกลม พบว่ามีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้น ( $R^2=0.82$ ) และสามารถแบ่งกลุ่มของพืชด้วยความแน่นเนื้อได้ 2 กลุ่ม

Camps และคณะ (2005) ได้ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะความยืดหยุ่นของผลไม้ ระหว่างค่าที่ได้จากการกดด้วย Puncture test 2 ค่า คือ ค่าต่างๆที่อ่านและคำนวณได้จากกราฟ เช่น ความแน่นเนื้อ, ความแข็งของผิว, แรงสูงสุดที่ใช้ในการกด, งานที่ได้จากการกดจนถึงระยะแรงสูงสุด และ ค่าแรงกดจากข้อมูลทั้งหมด 300 จุด โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด คือ ศึกษาลักษณะยืดหยุ่นในแอปเปิ้ล 5 พันธุ์ และศึกษาลักษณะยืดหยุ่นของแอปเปิ้ลในสถานะการเก็บรักษาต่างๆแล้วใช้วิธี factorial discriminant ในการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม พบว่าในการศึกษาลักษณะยืดหยุ่นในแอปเปิ้ล 5 พันธุ์ด้วยวิธี discriminant มีความถูกต้อง 92% เมื่อใช้ค่าที่อ่านและคำนวณได้จากกราฟ และมีความถูกต้อง 87% เมื่อใช้ค่าจากข้อมูลทั้งหมด 300 จุด และในการศึกษาลักษณะยืดหยุ่นของแอปเปิ้ลในสถานะการเก็บรักษาต่างๆ นั้นทั้งสองค่ามีความถูกต้องในการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มน้อย คือประมาณ 50%

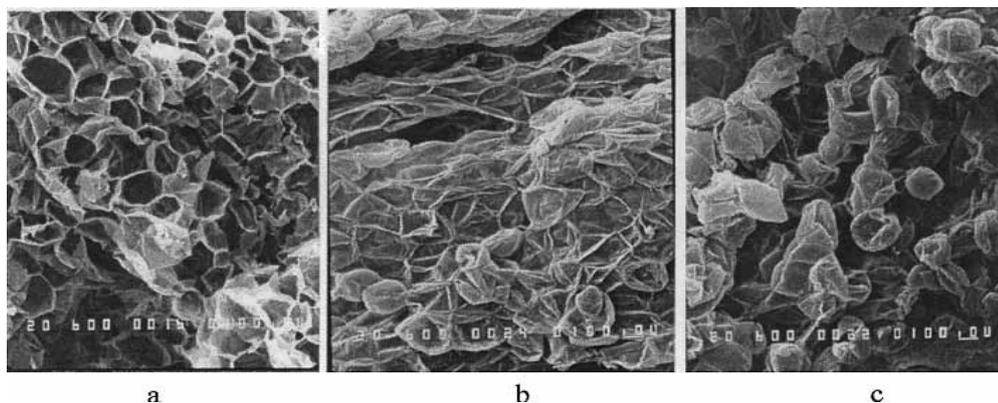
ข. ปัจจัยด้านเนื้อสัมผัสอื่นๆ เช่น ความเป็นเนื้อทรายมีการประยุกต์ใช้เทคนิคภาพ (machine vision) ในการตรวจสอบ เป็นต้น

Tu และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อคุณภาพของแอปเปิ้ลพันธุ์ Braeburn และพันธุ์ Jonagold ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ภายใต้สถานะความชื้นสัมพัทธ์ 30% ,65% และ 95% ในการวางจำหน่าย โดยใช้ Scanning electron microscopy (SEM) ตรวจสอบโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงในชั้นผนังเซลล์ (ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2) พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีความสำคัญต่อ weight loss , ความแน่นเนื้อ และ SSC (soluble solid content ) การวัดแบบไม่ทำลายโดยวิธี Acoustic ซึ่งวัดหาผลตอบสนองทางเสียงสูงสุดถูกนำมาแสดงถึงความแน่นเนื้อของแอปเปิ้ลที่ลดลงอย่างช้าๆที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง และเกิด weight loss อย่างรวดเร็วที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ สำหรับแอปเปิ้ลทั้งสองพันธุ์ และสังเกตพบการเป็นเนื้อทราย (mealiness) ได้ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง อย่างไรก็ตามความชื้นสัมพัทธ์สูงสามารถรักษาความแน่นเนื้อและ น้ำหนัก

ของแอปเปิ้ลได้ดีกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแต่มีแนวโน้มที่จะเกิดการเป็นเนื้อทรายของเนื้อสัมผัสที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 1 ภาพSEM ของแอปเปิ้ลพันธุ์ Braeburn ( (a) fresh apple; (b) slightly mealy; (c) mealy apple) ที่ 20 องศาเซลเซียส and 95% RH. กำลังขยาย 100 ไมครอน  
ที่มา: Tu และคณะ (1999)



ภาพที่ 2 ภาพSEM ของแอปเปิ้ลพันธุ์ Jonagold ( (a) fresh apple; (b) slightly mealy(c) mealy apple) ที่ 20 องศาเซลเซียส and 95% RH กำลังขยาย 100 ไมครอน  
ที่มา: Tu และคณะ (1999)

### 2.3.3 การวัดปัจจัยด้านรส

ก. ส่วนประกอบด้านรสชาติ เช่น ความหวาน (TSS) วัดโดยใช้ refractrometer , ปริมาณกรดโดยทั่วไปวัดโดยการไตเตรตกับสารละลายอัลคาไลที่เหมาะสม เป็นต้น

### ข. ส่วนประกอบด้านกลิ่นวัด โดย odourmeter

Saevens และคณะ (2004) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารระเหยในผลไม้ ระหว่างสภาวะการวางจำหน่าย โดยใช้วิธี electronic nose (E-nose) และ mass spectrometer-base E-nose (MSE-nose) เปรียบเทียบกับวิธี gas chromatography combined with mass spectrometry (GC/MS) โดยเก็บรักษาแอปเปิ้ลที่ 3 สภาวะเป็นเวลา 8 เดือน ก่อนนำมาเก็บที่สภาวะการวางจำหน่าย เมื่อนำวิธี PCA มาวิเคราะห์ พบว่าสภาวะการเก็บรักษาและสภาวะการวางจำหน่ายไม่มีผลกระทบต่อวิธี E-nose แต่เป็นตัวบ่งชี้ได้ดีในวิธี MSE-nose และวิธี GC/MS นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของสารระเหยที่สภาวะการวางจำหน่ายยังขึ้นอยู่กับสภาวะการเก็บรักษาก่อนการวางจำหน่ายด้วย

#### 2.3.4 การประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory test) โดยใช้ร่วมกับการวัดอื่นๆ

Marin (2002) ศึกษาความสัมพันธ์ของความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของแอปเปิ้ล โดยสุ่มเพศและอายุของผู้บริโภคจำนวน 101 คน โดยใช้ Non-destructive method คือ NIR ตรวจสอบ soluble solid, Firmalon หาก่า Acoustic Firmness Index และ Destructive method คือ Magness-Taylor penetrometer (MTA) ตรวจสอบก่อนในการทำ Consumer Test แล้วนำมาหาสมการความสัมพันธ์ พบว่า Flavor มีผลมากที่สุดต่อความชอบ โดยรวม ตามด้วย Texture, Sweetness และ Sourness ตามสมการดังนี้

$$\text{Overall Liking} = 0.341 + 0.2991 (\text{Texture}) + 0.5602 (\text{Flavor}) + 0.0404 (\text{Sweetness}) + 0.0398 (\text{Sourness}) \quad (1)$$

### 3. งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดคุณภาพของผลไม้

#### 3.1 การวัดความเร็วเสียงเคาะ

ในการวัดความแตกต่างทางเวลาระหว่างสัญญาณเสียงสองสัญญาณที่เคลื่อนผ่านไมโครโฟนสองตัวที่ห่างกันเป็นระยะทาง  $d$  สามารถคำนวณโดยใช้สมการ Cross-correlation (Sugiyama และคณะ, 1997) ดังนี้

$$r_j = \frac{1}{(n-1)S_1S_2} \sum_{i=i_s}^{i_s+n} (X_1(i) - \overline{X_1})(X_2(i+j) - \overline{X_2}) \quad (2)$$

เมื่อ  $r_j$  : ค่า Cross-correlation  
 $j$  : จำนวนข้อมูลที่เลื่อนไป  
 $i_s$  : ข้อมูลจุดเริ่มต้น  
 $n$  : จำนวนข้อมูลในการคำนวณ Cross-correlation  
 $X_1$  : ข้อมูลที่ได้จาก ไมโครโฟน 1 (จุดที่ใกล้กับ impact point)  
 $X_2$  : ข้อมูลที่ได้จาก ไมโครโฟน 2 (จุดที่ห่างจาก impact point)  
 $\overline{X_1}$  : ค่าเฉลี่ยของข้อมูล  $X_1$   
 $\overline{X_2}$  : ค่าเฉลี่ยของข้อมูล  $X_2$   
 $S_1$  : standard deviation ของ  $x_1$

$$S_1 = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=i_s}^{i_s+n} (x_1(i) - \overline{x_1})^2} \quad (3)$$

$S_2$  : standard deviation ของ  $x_2$

$$S_2 = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=i_s}^{i_s+n} (x_2(i+j) - \overline{x_2})^2} \quad (4)$$

ความแตกต่างของเวลา ( $t_d$ ) สามารถหาโดยใช้จำนวนของข้อมูล ( $i_d$ ) ที่ค่า Cross-correlation สูงสุดโดย

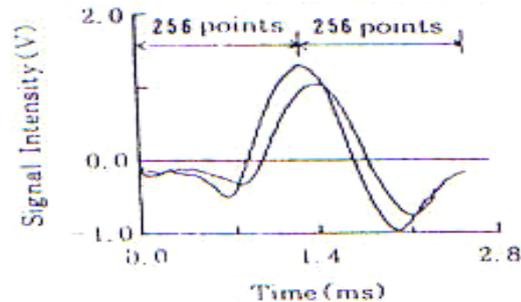
$$t_d = (i_d + 0.5) \times \text{sampling period}$$

จากนั้นจะสามารถหา transmission velocity ( $V_d$ ) ได้จากสมการ

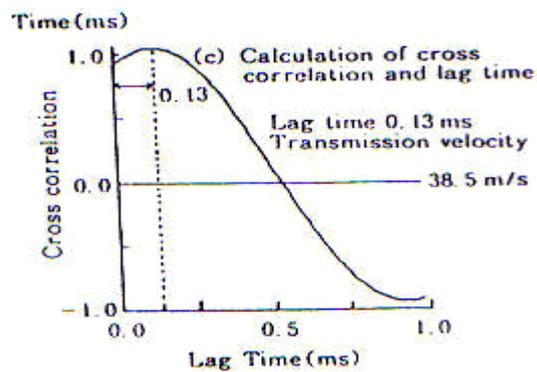
$$V_d = d/t_d \quad (5)$$

เมื่อ  $d$  เป็นระยะห่างของ ไมโครโฟน

ตัวอย่างสัญญาณที่นำมาทำ Cross-correlation และผลของการทำ Cross-correlation แสดงดังภาพที่ 3 และ 4



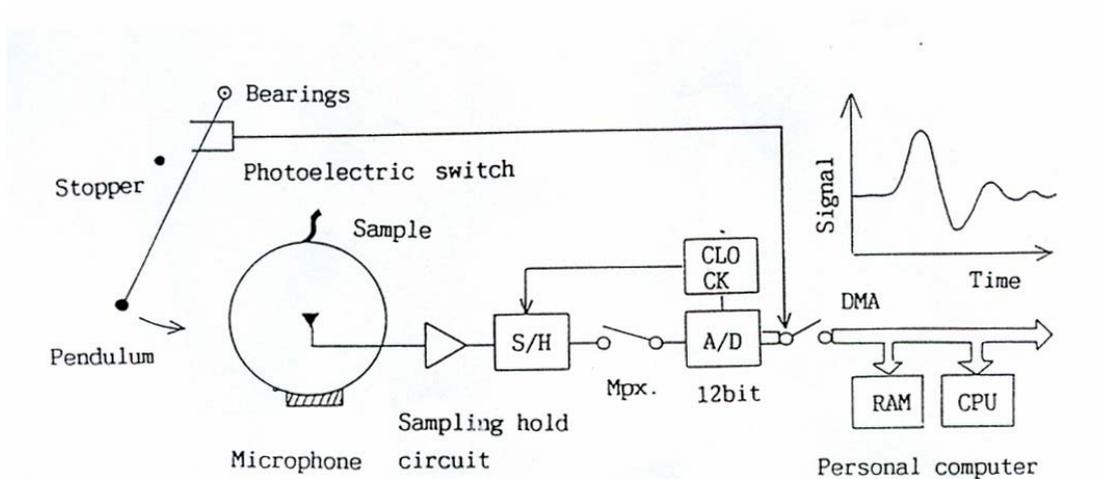
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ของเวลาระหว่างสัญญาณ 2 สัญญาณ  
ที่มา: Sugiyama และคณะ (1997)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของสัญญาณในรูปที่ 3 เมื่อผ่านการคำนวณ Cross-correlation  
ที่มา: Sugiyama และคณะ (1997)

โดยมีงานวิจัยที่นำวิธีหาความเร็วเสียงไปประยุกต์ใช้มีดังนี้

Hayashi และคณะ (1995) ศึกษาการประเมินคุณภาพของผัก ผลไม้โดยใช้ผลตอบสนองทางเสียง ซึ่งเป็นวิธีแบบไม่ทำลายโดยใช้ แดงโม, แดงไทย, สับปะรด, ฟักทอง, น้ำเต้า, แอปเปิ้ล, ลูกแพร์ญี่ปุ่น และลูกพลัม โดยจัดอุปกรณ์ทดลองดังภาพที่ 5 พบว่าความเร็วของคลื่นเสียงที่ผ่านผักผลไม้ นั้น สามารถนำมาทำนายความแน่นเนื้อของ แดงไทย, สับปะรด, แอปเปิ้ล, ลูกแพร์ญี่ปุ่น และลูกพลัม ได้



ภาพที่ 5 การจัดระบบสำหรับการวัดสัญญาณเสียง

ที่มา : Hayashi และคณะ (1995)

Sugiyama และคณะ (1997) หาความสัมพันธ์ของ Transmission velocity และ Firmness โดยใช้แดงโมญี่ปุ่นพันธุ์ Chiba F-11 จำนวน 32 ผล, พันธุ์ Natsu No.15 จำนวน 36 ผล พบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่าง apparent elasticity และ transmission velocity ในพันธุ์ Chiba F-11 มีค่า  $R=0.943$  ในพันธุ์ Natsu No.15 มีค่า  $R=0.9315$

Sugiyama และคณะ (1994) ทำการศึกษาการประเมินคุณภาพของแดงไทยโดยใช้คุณสมบัติทางเสียงโดยแบ่งแดงไทยแต่ละผล จำนวน 36 ผลออกเป็น 24 ส่วนเท่าๆกันตามเส้นรอบวง เพื่อวัดความเร็วเสียงที่ผ่านพื้นผิวของแดงไทย พบว่าค่า transmission velocity นั้นจะลดลงในขณะที่แดงไทยสุกขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า transmission velocity และความแน่นเนื้อ มีค่า  $R^2=0.832$

### 3.2 วิธีการวัด Acoustic impulse response

ราชัน และคณะ (2003) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวและน้ำหนักกับความถี่ตอบสนองสูงสุดของทุเรียนหมอนทอง โดยใช้ทุเรียนจำนวน 7 ผล เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 วัน ในแต่ละวันได้ทำการเคาะเพื่อเก็บสัญญาณเสียงและชั่งน้ำหนักทุเรียน พบว่าค่าความถี่ตอบสนองสูงสุดแปรผกผันกับระยะเวลาในการเก็บรักษา นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยยังให้ข้อเสนอแนะว่าในการใช้เครื่องเอกซเรย์หรือเครื่องอัลตราซาวด์สำหรับตรวจวัดนั้นพบว่ามี

ค่าใช้จ่ายสูงเป็นอย่างมาก และยังไม่มีความแม่นยำในการตรวจวัดมากนัก ส่วนการใช้สัญญาณอัลตราโซนิกซ์ ด้วยการใส่ใจเพียงความถี่เดียวนั้นให้ผลที่ไม่แน่นอน เนื่องจากขนาดของสัญญาณที่ตรวจวัดได้จะมีขนาด (Amplitude) เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะรูปทรงและตำแหน่งในการวัด ส่วนการเคาะเพื่อฟังเสียงนั้นให้ความถูกต้องมากกว่า

Nerya และ คณะ (2001) ศึกษาความสัมพันธ์ของ Acoustic response กับ weight loss โดยใช้ Sapadona pears เก็บไว้ในกล่องพลาสติกที่ RH 99%, 85% และ 15% อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส วัด weight loss และ Acoustic response ทุกวัน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส วัด weight loss และ Acoustic response ทุก 2-3 วัน Acoustic response นิยามโดย FI,  $FI = f^2 m^{2/3} / 100$  พบว่า weight loss และการเปลี่ยนแปลง FI มีความสัมพันธ์กันโดยตรง ( $R^2=0.76$  ที่ 20 องศาเซลเซียส และ  $R^2=0.97$  ที่ 0 องศาเซลเซียส)

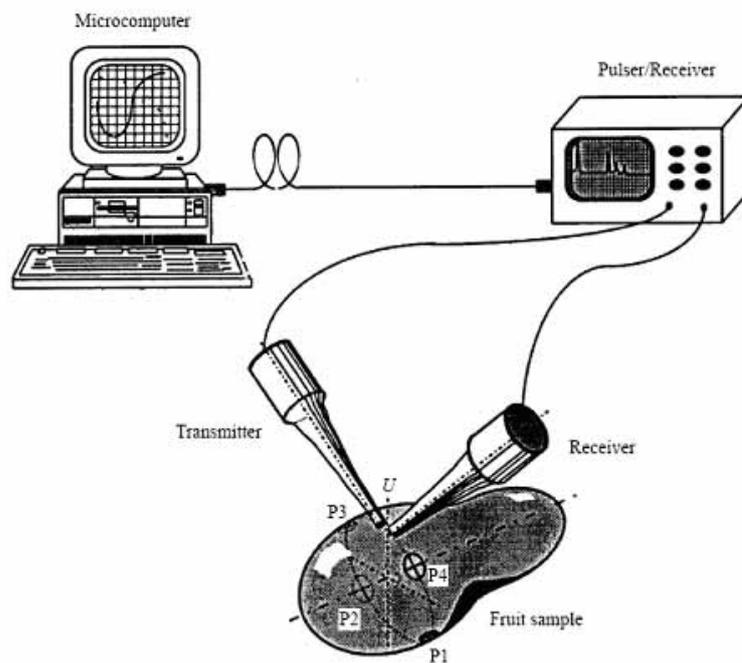
Shmulevich และคณะ (2003) ศึกษาการใช้ Nondestructive dynamic test method ด้วยวิธี low-mass impact และ acoustic response เปรียบเทียบกับ Destructive method ด้วยวิธี compression และ penetration test ในการคำนวณค่าความแน่นเนื้อของแอปเปิ้ล โดยใช้แอปเปิ้ล 3 พันธุ์ คือ Golden Delicious, Starking Delicious และ Granny Smith ก่อนการทดลองได้ทำ Calibration test โดยใช้ rubber ball พบว่า impact parameter สัมพันธ์กับ firmness index ในการทำนาย ความยืดหยุ่นแอปเปิ้ลของพันธุ์ Golden Delecious ( $R>0.91$ ) แต่มีความแม่นยำน้อยในอีก 2 พันธุ์ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีความสม่ำเสมอของรูปร่างน้อย หรือความไวของตัวแปรต่อสภาวะการทดลอง

Natawut และ Anupun (2004) ศึกษาความอ่อนแก่ของทุเรียน โดยวิธีวัดความถี่ตอบสนองของเสียงเมื่อส่งผ่านทุเรียนและวัดความแข็งแรงของก้านขั้วทุเรียน โดยใช้ทุเรียนหมอนทอง 130 ผล ที่เก็บเกี่ยวใน 7 ช่วงเวลา ตั้งแต่ 115 วัน ถึง 136 วัน หลังจากติดดอก วัดความแข็งแรงของก้านขั้ว (force-deformation response to radial compression) และความถี่ตอบสนองของเสียงที่กระทบแล้วนำไปหาเปอร์เซ็นต์ของแข็ง โดยใช้วิธีการอบแห้ง พบว่าความแข็งแรงของก้าน (A) กับเปอร์เซ็นต์ของแข็งมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก ( $r=0.808$ ) ความสัมพันธ์ของความถี่ตอบสนอง (RF) กับเปอร์เซ็นต์ของแข็ง คือ  $r=0.448$  และเมื่อใช้ A และ RF ร่วมกันจะได้ผลในการทำนายที่ดี โดยมีค่า  $R=0.844$ ,  $R^2=0.713$

### 3.3 การวัดคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลาย

Mizrach และคณะ (1996) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค Ultrasonic ในการประเมินคุณภาพของ Avocado และสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Ultrasonic parameter กับ maturity factors โดยใช้ Avocado ที่เก็บจากสวนต่างๆ และมีระยะความสุกที่แตกต่างกัน โดยแบ่ง Avocado ออกเป็น 3 ล็อต ล็อตละ 140 ผล ล็อตที่ 1 ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่าง Ultrasonic parameter, firmness และเวลา อีก 2 ล็อตใช้ยืนยันความสัมพันธ์ที่ได้ นำ Avocado ที่ได้ไปทำ pre-cooling และคัสดขนาด ล็อตที่ 1 และ 2 เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล็อตที่ 3 เก็บที่สภาวะเดียวกัน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นย้ายไปเก็บที่ห้องทดลองที่สภาวะ 20 องศาเซลเซียส, 60%RH เพื่อทำการทดลอง จัดการทดสอบแบบ Ultrasonic test (ดังภาพที่ 6) Avocado จะถูกทำเครื่องหมาย 5 ตำแหน่ง ดังภาพ โดยตำแหน่ง U สำหรับการทดสอบแบบไม่ทำลาย Ultrasonic test โดยวัดที่ตำแหน่งนี้ทุกวัน อีก 4 จุด ( $P_1, P_2, P_3, P_4$ ) สำหรับการทดสอบ Firmness panetrometer test ทุก 2 วัน โดยเรียงลำดับจาก  $P_1$  ถึง  $P_4$  แล้วนำค่าที่ได้มาผ่านกระบวนการ Time shifting ก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าขณะเก็บรักษาคลิ่นส่งผ่าน Avocado มีความเข้มมากขึ้น ในขณะที่ firmness ลดลง ( $R^2 = 0.9563$ ) และได้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง the firmness,  $F$  (N) และ attenuation,  $A$ (dB/mm) ดังสมการที่ 6

$$F = -19.048A + 130.17 \quad (6)$$



ภาพที่ 6 การจัดอุปกรณ์ในการทำ Ultrasonic test  
ที่มา: Mizrach และคณะ (1996)

Busrakorn และ คณะ (2002) ศึกษาความเป็นไปได้ของวิธี NIR ( Near Infrared Spectroscopy) สำหรับหาความสุกงอมของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้และพันธุ์โชคอนันต์ หลังการเก็บเกี่ยวเมื่อสุก โดยเก็บที่สภาวะ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส, 28-44 %RH เป็นเวลา 6 วัน ใช้มะม่วงชนิดละ 35 ผล การเปลี่ยนแปลงของ TSS (Total soluble solid ), TA (Total acidity), sugar-acid ratio, ความแน่นเนื้อ และ weight loss ใช้คลื่นความยาวช่วง 650-2500 nm ที่ 2 ด้านของมะม่วงพบว่า reflectance ของแสง NIR มีความสัมพันธ์อย่างมากกับระยะเวลาที่สุกงอม ( $R^2=0.97$ ) และน้ำหนักที่หายไป( $R^2=0.92$ ) ของมะม่วงทั้ง 2 ชนิด

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. แอปเปิ้ล 390 ผล
2. อุปกรณ์ชุดเคาะวัดเสียง (ภาคผนวก ก)
3. เครื่อง material testing machine ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENT รุ่น LR5K
4. เครื่อง Hot Air Oven ยี่ห้อ WTB binder รุ่น FD240
5. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล
6. เครื่อง Digital refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Palette (PR-32  $\alpha$ ) Brix 0~32%
7. อุปกรณ์ไตเตรท

### วิธีการ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินอายุการวางจำหน่ายในซูปเปอร์มาเก็ตโดยใช้พารามิเตอร์หลายค่า โดยใช้ตัวอย่างจากซูปเปอร์มาเก็ตซึ่งไม่ทราบอายุหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากไม่สามารถหาตัวอย่างที่ปลูกได้ในประเทศไทย พารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ Magness-Taylor-firmness, ปริมาณความชื้น, ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ (Brix), ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (acidity) และค่าความชอบทางประสาทสัมผัส (sensory test) ซึ่งได้จากการวัดแบบทำลายและน้ำหนัก, ความถ่วงจำเพาะ, ความเร็วเสียงเคาะ, ความถี่เสียงเคาะ ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่ทำลาย ขั้นตอนวิธีวิจัยมีดังนี้

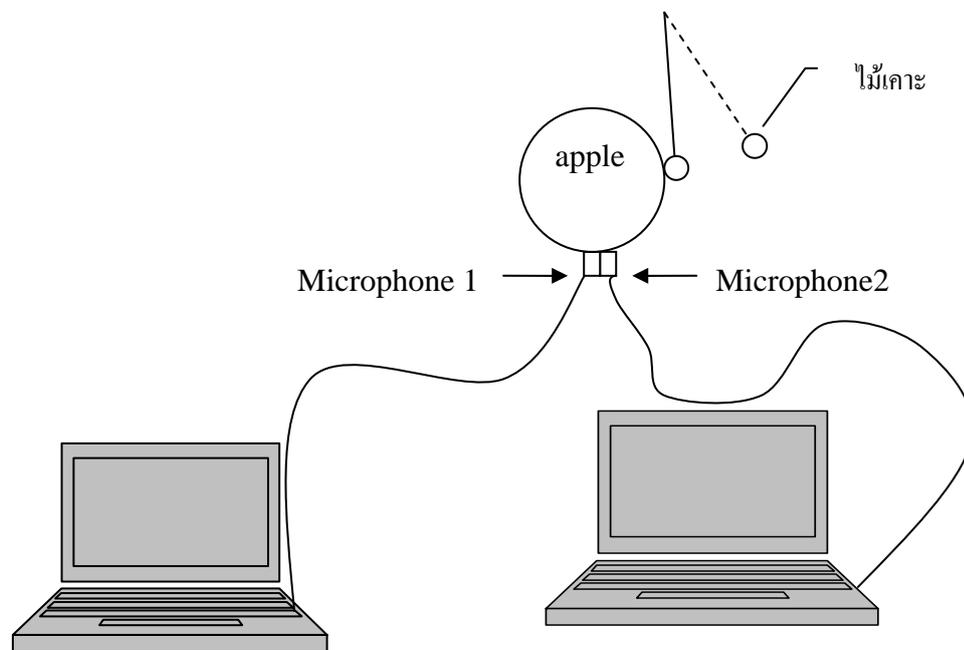
#### 1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับอายุวางจำหน่ายและอายุการเก็บรักษาและการประเมินอายุการวางจำหน่ายที่อุณหภูมิต่างๆ

1.1 นำผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Fuji ที่มีรูปร่างค่อนข้างกลมและ ลักษณะภายนอกใกล้เคียงกันจากซูปเปอร์มาเก็ตจำนวน 300 ผล แล้วแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มๆละ 150 ผล กลุ่มที่ 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จำลองสภาพการวางขายในซูปเปอร์มาเก็ต) และสภาวะ

ความชื้น 90-95%RH ส่วนกลุ่มที่ 2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และสภาวะความชื้น 90-95%RH

1.2 ตั้งแต่วันที่เริ่มเก็บรักษาและทุก ๆ 7 วัน (Tu และคณะ, 1999) นำแอปเปิ้ลสภาวะละ 10 ผลมาวัดค่าต่าง ๆ ดังแสดงด้านล่างจนแอปเปิ้ลไม่เป็นที่ยอมรับทุกผล

1.2.1 นำแอปเปิ้ลนำมาชั่งน้ำหนักและเกาะวัดเสียงผลละ 2 ตำแหน่ง (โดยใช้โปรแกรม Matlab ในการเก็บข้อมูลเสียงดังภาคผนวก ก) ตามที่ทำเครื่องหมายไว้ โดยแต่ละจุดอยู่ตรงข้ามกันตามแนวเส้นรอบวงที่ระนาบตั้งฉากกับแนวขั้วแอปเปิ้ล (รายละเอียดเครื่องวัดและลักษณะการวัดเสียงเกาะแสดงดังภาพที่ 7 และ 8) ชั่งน้ำหนักและวัดความถ่วงจำเพาะ



ภาพที่ 7 อุปกรณ์การเกาะวัดเสียงซึ่งประกอบด้วย ไมโครโฟน, คอมพิวเตอร์ และ ไม้เกาะ



ภาพที่ 8 อุปกรณ์ชุดเคาะวัดเสียง

1.2.2 วัดค่าความแน่นเนื้อ (Magness-Taylor-firmness) ด้วยเครื่อง material testing machine ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENT รุ่น LR5K ผลละ 2 ตำแหน่งที่ด้านตรงข้ามบนเส้นรอบวงที่ระนาบตั้งฉากกับแนวขั้วแอปเปิ้ล โดยผ่าครึ่งผลแอปเปิ้ล นำมาคดด้านซึ่งผ่านเปลือกออกให้เห็นเนื้อด้วยเครื่อง material testing machine (ภาคผนวก ข) ด้วยหัวกดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มม. ที่ความเร็วขนาด 50 มม. ต่อนาที ลึกเข้าไปในเนื้อ 8 มม. (Shmulevich และคณะ, 2003) บันทึกค่าแรงและระยะขณะที่หัวกดกำลังกดลงไปในเนื้อ

1.2.3 วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้แสดงค่าเป็น Brix ด้วยเครื่อง Digital refractrometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น Palette (PR-32 $\alpha$ ) โดย ตัดแอปเปิ้ลเป็นชิ้นๆ ปริมาณผลละ 0.5 กรัม เพื่อคั้นน้ำ หยดลงบนแผ่นใสตัวอย่าง และวัดซ้ำผลละ 2 ครั้ง

1.2.4 วัดปริมาณกรดโดยใช้น้ำแอปเปิ้ล 10 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วย NaOH ความเข้มข้น 0.1 M โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์(indicator) แล้วสามารถคำนวณหาปริมาณกรดตามสมการที่ 7 (สังคม, 2536)

$$\% \text{ Acidity} = \frac{\text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH} \times \text{ค่าการแตกตัวของกรด} \times 100}{\text{ปริมาณตัวอย่าง}} \quad (7)$$

$$\text{แอปเปิ้ลมีค่าการแตกตัวของกรด malic acid} = 0.067$$

1.2.5 วัดค่าความชื้นด้วยเครื่อง Hot Air Oven ยี่ห้อ WTB binder รุ่น FD240 โดยเตรียมแอปเปิ้ลเป็นชิ้น ขนาดประมาณ 1x1x1 ลูกบาศก์เซนติเมตรผลละ 2 ชิ้น นำไปชั่งน้ำหนักของแต่ละชิ้นพร้อมบันทึก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำน้ำหนักก่อนอบและน้ำหนักสุดท้ายมาคำนวณหาความชื้น โดยใช้สมการที่ 8

$$\% \text{ ความชื้น} = (\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}) / \text{น้ำหนักก่อนอบ} \times 100 \quad (8)$$

1.3 ดำเนินการวัดตามข้อ 1.2 จนกระทั่งถึงจุดเสื่อมเสีย (ประมาณ 30-40 วัน)

1.4 นำค่าสัญญาณที่ได้จากข้อ 1.2 มาวิเคราะห์หาความถี่ของสัญญาณเสียงโดยใช้ฟังก์ชัน Fourier Analysis ในโปรแกรม Excell และวิเคราะห์หาความเร็วเสียงตามวิธีของ Hayashi และคณะ (1995) โดยใช้โปรแกรมดังภาคผนวก ค

1.5 นำค่าที่วัดและคำนวณในข้อ 1.2.1 ถึง 1.2.5 และข้อ 1.4 มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับเวลาในการเก็บรักษา และศึกษาแนวโน้มของพารามิเตอร์แต่ละค่า

1.6 วิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Discriminant Analysis (กัลยา, 2546) เพื่อหาสมการเชิงเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สามารถนำไปใช้ในการแยกกลุ่มแอปเปิ้ลตามอายุการเก็บรักษา

## 2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเสียงและค่าความแน่นเนื้อและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของตัวอย่างแอปเปิ้ลผลเดิมระหว่างการเก็บรักษา

ในการทดลองนี้ต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเสียงกับค่าความแน่นเนื้อและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของตัวอย่างแอปเปิ้ลผลเดิมในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

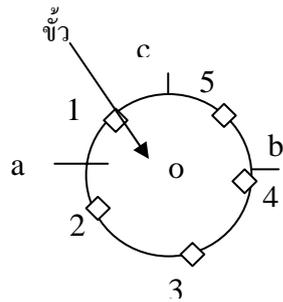
2.1 นำผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Fuji ที่มีรูปร่างค่อนข้างกลมและ ลักษณะภายนอกใกล้เคียงกัน จากซูปเปอร์มาเก็ต จำนวน 60 ผล แล้วแบ่งแอปเปิ้ลออกเป็น 2 กลุ่มๆละ 30 ผล กลุ่มที่ 1 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส (ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จำลองสภาพการวางขายในซูปเปอร์มาเก็ต) และสภาวะความชื้น 90-95%RH ส่วนกลุ่มที่ 2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และสภาวะความชื้น 90-95%RH

2.2 นำแอปเปิ้ลทุกผลมาเคาะวัดเสียงเหมือนข้อ 1.2.1

2.3 นำแอปเปิ้ลกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ในข้อ 2.1 กลุ่มละ 15 ผล วัดค่าความแน่นเนื้อ (Magness-Taylor-firmness) ด้วยเครื่อง compression testing machine ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENT รุ่น LR5K ผลละ 1 ตำแหน่ง

2.4 นำแอปเปิ้ลกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ที่เหลือ (กลุ่มละ 15 ผล) มาวัดหาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Brix) ผลละ 1 ตำแหน่ง

2.5 ทำซ้ำ ข้อ 2.3 และ 2.4 ทุกๆ 7 วันจนครบ 5 ครั้ง โดยตำแหน่งที่เคาะและวัดเสียงคงเดิม ส่วนตำแหน่งที่วัดความแน่นเนื้อหรือวัดค่า Brix ในแต่ละครั้งแสดงดังภาพที่ 9



- a,b คือ ตำแหน่งเคาะ  
 ◇ คือตำแหน่งที่วัดความแน่นเนื้อ  
 หรือวัด ค่า Brix  
 c คือ ตำแหน่งวัดเสียง

**ภาพที่ 9** ตำแหน่งการเคาะวัดเสียงและการวัดค่าความแน่นเนื้อของแต่ละครั้ง ตัวเลขหมายถึงครั้งที่ทำการวัด

2.6 นำค่าสัญญาณที่ได้จากข้อ 1.3.1 มาวิเคราะห์หาความเร็วเสียงตามวิธีของ Hayashi และคณะ (1995)

2.7 นำค่าที่วัดและคำนวณในข้อ 2.3 ถึง 2.6 มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียง ความแน่นเนื้อ (MT) และค่า Brix กับอายุการเก็บรักษาและหาสมการความสัมพันธ์ด้วยวิธี Linear regression analysis และ discriminant analysis

## ผลและวิจารณ์

### 1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับอายุวางจำหน่ายและอายุการเก็บรักษาและการประเมินอายุการวางจำหน่ายของแอปเปิ้ลด้วยพหุสมมติ

#### 1.1 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 10 และ 20 องศาเซลเซียส สำหรับอายุการเก็บรักษาต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 (รายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางภาคผนวก ง ) พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าค่าความเร็วที่ 2 (v2), ค่าความเร็วที่ 3 (v3), ค่าความเร็วที่ 4 (v4), ค่าความเร็วที่ 5 (v5), ค่าความถี่เสียง (f), ค่าแรงสูงสุดในการกด (max), งานจากระยะเริ่มต้นจนถึงระยะแรงกดสูงสุด (work) และ ค่าความถ่วงจำเพาะ (spec) มีแนวโน้มลดลง เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นสำหรับทั้งสองอุณหภูมิการเก็บรักษา ดังภาพที่ 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 และ 17 โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่เสียงนั้น มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่อง และมีค่าความแปรปรวนน้อยกว่าค่าพารามิเตอร์อื่น ส่วนค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์อื่นๆ นั้นมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ดังกราฟที่แสดงในภาคผนวก จ

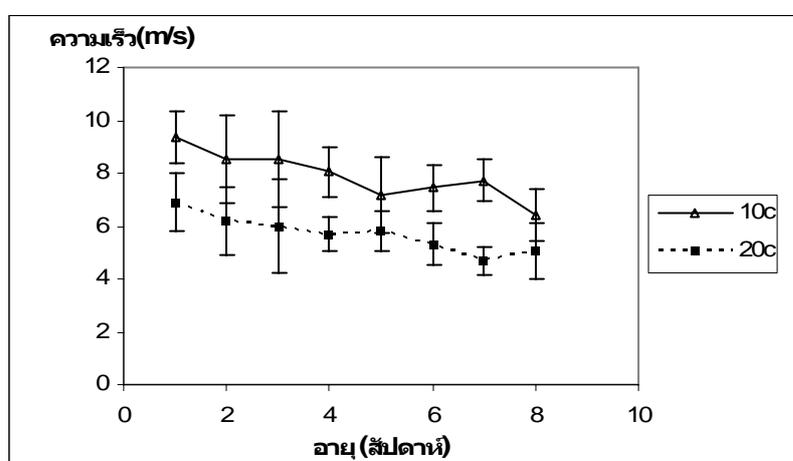
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%

พารามิเตอร์	อายุการเก็บรักษา(สัปดาห์)								p-value
	1	2	3	4	5	6	7	8	
v1	18.83	20.27	19.25	20.59	16.30	16.86	18.17	14.18	0.03
v2	9.36	8.55	8.53	8.06	7.17	7.45	7.72	6.43	0.00
v3	6.59	5.89	5.62	4.99	4.57	4.76	4.82	4.31	0.00
v4	4.67	4.71	4.07	3.62	3.45	3.47	3.55	3.25	0.00
v5	3.97	3.83	3.30	2.82	2.71	2.77	2.85	2.61	0.00
f	1188.72	1173.12	1157.13	1070.55	906.36	856.44	856.44	760.50	0.00
max	71.57	71.57	65.93	61.54	59.30	58.15	48.57	50.39	0.00
deflec	7.11	5.82	7.19	6.21	7.19	6.00	7.19	5.98	0.00
work	0.27	0.22	0.27	0.22	0.24	0.21	0.22	0.19	0.01
stiff	10.17	13.00	19.02	20.25	17.11	18.42	16.88	18.74	0.00
brix	10.83	13.07	11.34	12.50	11.57	11.54	10.96	12.50	0.00
acid	0.17	0.15	0.21	0.16	0.22	0.20	0.14	0.21	0.00
moist	91.02	86.89	98.90	86.86	87.45	87.65	88.29	86.59	0.00
w	213.71	223.27	237.84	238.39	238.39	228.66	228.94	225.03	0.24
spec	0.84	0.84	0.82	0.84	0.84	0.84	0.81	0.82	0.00

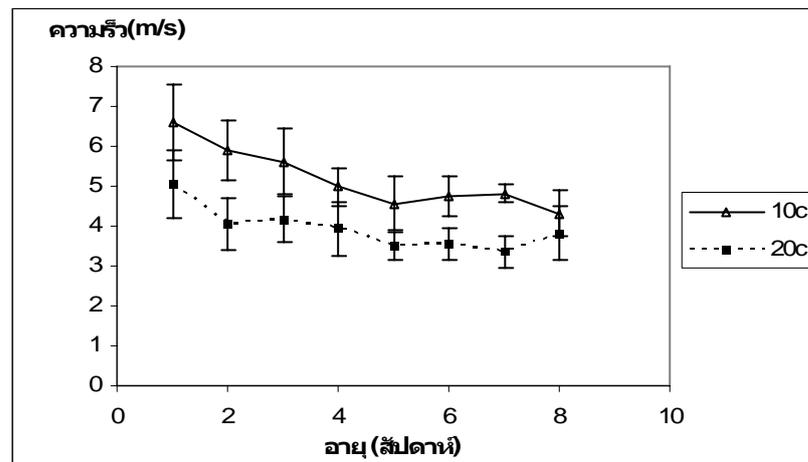
ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%

พารามิเตอร์	อายุการเก็บรักษา(สัปดาห์)								p-value
	1	2	3	4	5	6	7	8	
v1	12.61	17.37	12.61	17.37	15.79	19.69	14.93	13.95	0.46
v2	6.89	6.19	5.99	5.69	5.8	5.32	4.69	5.06	0.00
v3	5.06	4.04	4.16	3.94	3.52	3.55	3.35	3.71	0.00
v4	3.76	3.01	3.26	2.91	2.55	2.56	2.4	2.43	0.00
v5	3.08	2.44	2.68	2.34	2.07	2.11	1.87	1.9	0.00
f	1188.72	1173.12	1157.13	1070.55	906.36	856.44	856.44	760.50	0.00
max	72.17	63.39	59.77	57.69	53.85	48.43	51.19	45.91	0.00
deflec	6.43	6.28	6.43	6.28	6.66	6.51	6.47	7.16	0.42
work	0.21	0.19	0.21	0.19	0.19	0.17	0.17	0.19	0.24
stiff	11.69	10.2	9.55	9.29	8.28	7.5	7.98	6.53	0.00
brix	11.65	12.6	12.82	12.19	12.58	10.68	11.12	10.77	0.01
acid	0.16	0.17	0.12	0.14	0.17	0.14	0.12	0.15	0.01
moist	86.98	86.12	97.28	89.99	87.04	89.61	87.34	87.78	0.00
w	236.34	229.7	232.21	214.1	215.55	228.12	225.76	207.57	0.43
spec	0.84	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.8	0.8	0.00

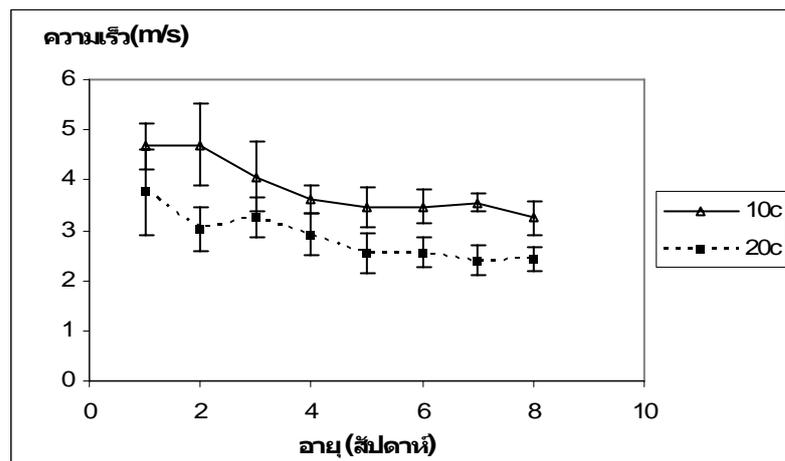
หมายเหตุ v1 คือ ค่าความเร็วที่ 1 (เมตร/วินาที), v2 คือ ค่าความเร็วที่ 2 (เมตร/วินาที), v3 คือ ค่าความเร็วที่ 3 (เมตร/วินาที), v4 คือ ค่าความเร็วที่ 4 (เมตร/วินาที), v5 คือ ค่าความเร็วที่ 5 (เมตร/วินาที), f คือ ค่าความถี่เสียง, max คือ ค่าแรงสูงสุด, ในการกด (นิวตัน), deflec คือ ค่าระยะทางที่เริ่มกดจนถึงระยะแรงกดสูงสุด (มิลลิเมตร), work คือ ค่างานที่เริ่มกดจนถึงแรงกดสูงสุด (นิวตัน-เมตร), stiff คือ ค่าความสั้จากการกด (นิวตัน/มิลลิเมตร), brix คือ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้, acid คือ ปริมาณกรดที่สามารถไตเตรตได้, moist คือ ร้อยละความชื้น, w คือ ค่าน้ำหนัก (กรัม), spec คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ



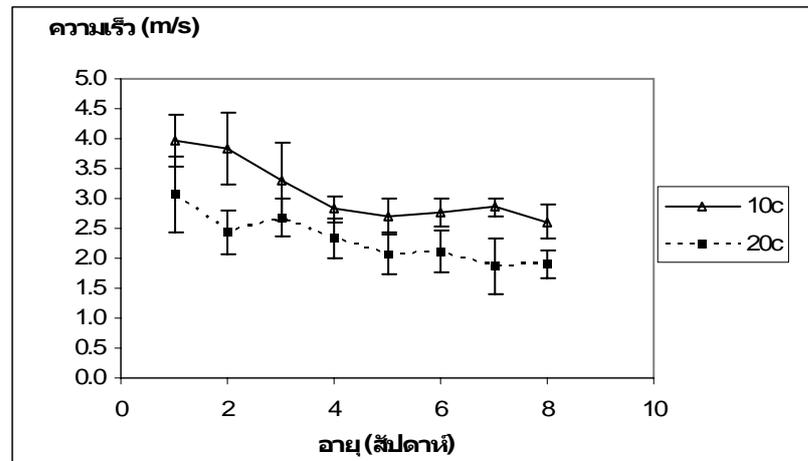
ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงที่ 2 (m/s) และอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



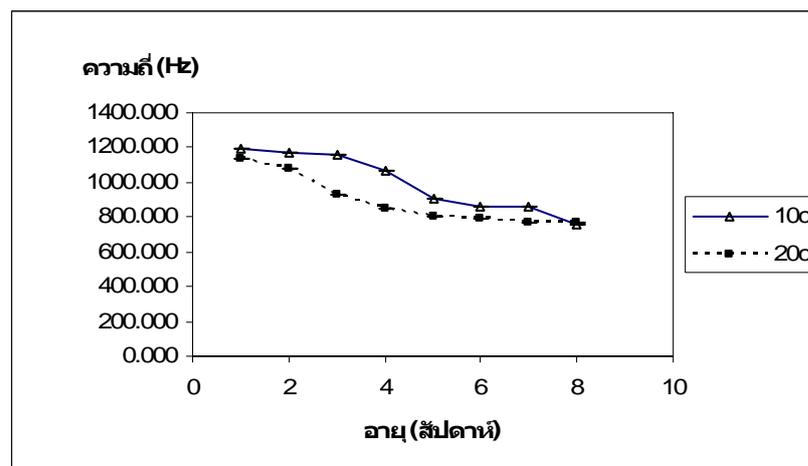
ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงที่ 3 (m/s) และอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



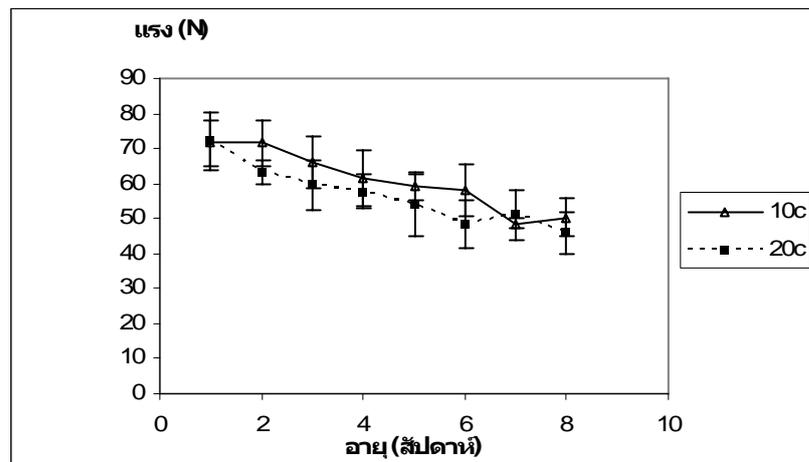
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงที่ 4 (m/s) และอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



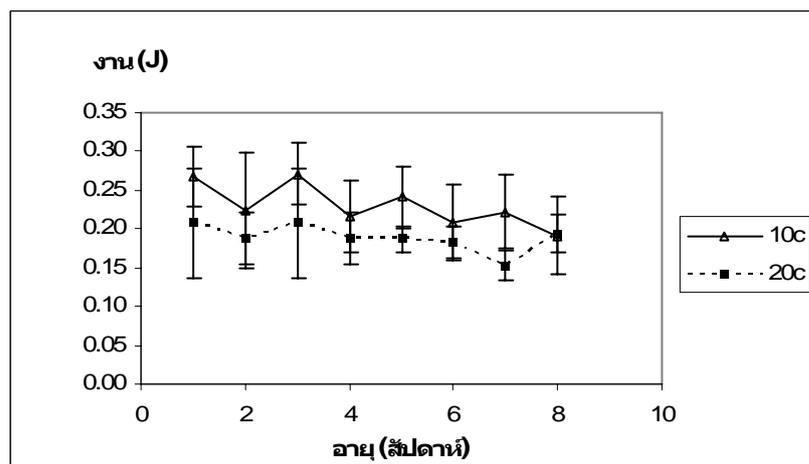
ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเสียงที่ 5 (m/s) และอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



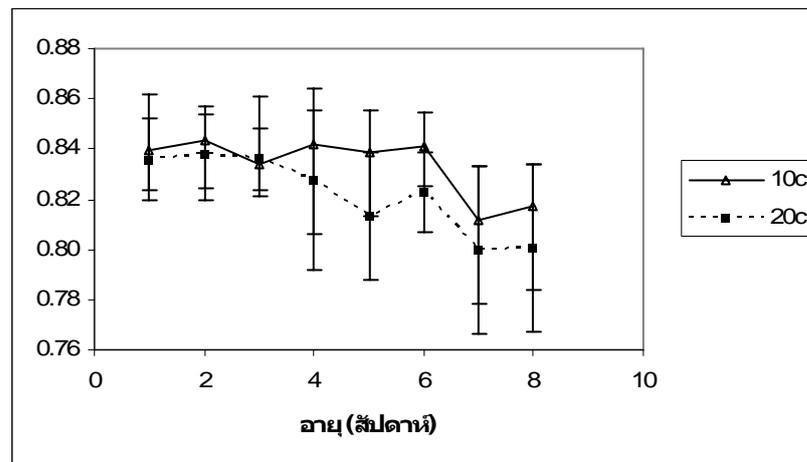
ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียง (Hz) และอายุการเก็บรักษาอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงสูงสุดที่ใช้ในการกด (N) และอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างงานที่เกิดจากการกดจากระยะเริ่มต้นจนถึงระยะแรงกด สูงสุด (J) และอายุการเก็บรักษา (ปี) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%

จากภาพที่ 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 และ 17 จะเห็นได้ว่าเมื่อแอปเปิ้ลมีอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง หรือเข้าใกล้จุดเสื่อมเสีย พารามิเตอร์ต่างๆมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงที่ช้าลง โดยเฉพาะในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในที่นี้จึงนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆมาคำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงเพียง 6 สัปดาห์

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าค่าพารามิเตอร์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และร้อยละการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าค่าเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจึงสามารถคงสมบัติของแอปเปิ้ลได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงซึ่งสอดคล้องกับงานของ Tsay และ Wu (1994)

ตารางที่ 4 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส

พารามิเตอร์	10 องศาเซลเซียส			20 องศาเซลเซียส		
	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง			ร้อยละการเปลี่ยนแปลง		
	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่6	เปลี่ยนแปลง	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่6	เปลี่ยนแปลง
v2	9.36	7.45	25.52	6.89	5.32	29.63
v3	6.59	4.76	38.53	5.06	3.55	42.57
v4	4.67	3.47	34.77	3.76	2.56	46.64
v5	3.97	2.77	43.60	3.08	2.11	45.58
f	1188.72	856.44	27.95	1134.12	789.57	30.38
max	71.57	58.15	23.08	72.17	48.43	49.01
work	0.27	0.21	28.53	0.21	0.17	25.57
spec	0.84	0.84	0.14	0.84	0.82	1.58

#### 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

การวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ นั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ พบว่าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ค่าความเร็วที่ 5 (v5) และค่าความถี่เสียง (f) ซึ่งเป็นสมบัติทางเสียงของแอปเปิ้ล มีค่าความสัมพันธ์กับค่าแรงกดสูงสุด (max) มากกว่าค่าอื่นๆ โดยมีค่า  $r=0.786$  และ  $r=0.698$  ดังแสดงในตารางที่ 5 สำหรับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าความเร็วที่ 4 (v4) และค่าความถี่เสียง (f) ซึ่งเป็นสมบัติทางเสียงของแอปเปิ้ล มีค่าความสัมพันธ์กับค่าแรงกดสูงสุด มากกว่าค่าอื่นๆเช่นกัน โดยมีค่า  $r=0.486$  และ  $r=0.6$  ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Hatashi และคณะ (1995) ในข้างต้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ค่าความด้าจากการกด (stiffness) มีความสัมพันธ์กับค่าแรงสูงสุดในการกด (max) และค่าระยะทางที่เริ่มกดจนถึงระยะแรงกดสูงสุด (deflec) อย่างมากที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01% โดย  $r=0.850$  และ  $r=-0.706$  ตามลำดับ และเมื่อค่าความถ่วงจำเพาะ (spec) มีค่าลดลง ค่าแรงกดสูงสุด (max) ก็มีค่าลดลงด้วย ( $r=0.557$ ) ดังแสดงในตารางที่ 6 นอกจากนี้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ยังพบว่าค่าแรงกดสูงสุด (max) และค่าระยะทางที่เริ่มกดจนถึงระยะแรงกดสูงสุด (deflec) มีค่าความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ ค่างานจากระยะเริ่มต้นจนถึงระยะแรงกดสูงสุด (work) โดยมีค่า  $r=0.367$  และ  $r=0.537$  ตามลำดับ

ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflec	work	stiff	brix	acid	moit	wie	spec
v1	1	.703 (**)	.528 (**)	.453 (**)	.432 (**)	.428 (**)	.157	.243 (*)	.104	-.134	-.003	-.134	.187	.000	.096
v2	.703 (**)	1	.837 (**)	.719 (**)	.710 (**)	.637 (**)	.375 (**)	.335 (**)	.422 (**)	-.317 (**)	-.222 (*)	-.212	.347 (**)	-.209	.073
v3	.528 (**)	.837 (**)	1	.898 (**)	.852 (**)	.771 (**)	.532 (**)	.175	.349 (**)	-.429 (**)	-.179	-.282 (*)	.334 (**)	-.262 (*)	.057
v4	.453 (**)	.719 (**)	.898 (**)	1	.934 (**)	.775 (**)	.595 (**)	.093	.274 (*)	-.429 (**)	-.091	-.218	.228 (*)	-.286 (*)	.026
v5	.432 (**)	.710 (**)	.852 (**)	.934 (**)	1	.786 (**)	.648 (**)	.111	.274 (*)	-.468 (**)	-.093	-.221 (*)	.274 (*)	-.299 (**)	-.011
f	.428 (**)	.637 (**)	.771 (**)	.775 (**)	.786 (**)	1	.698 (**)	.121	.343 (**)	-.357 (**)	-.039	-.199	.424 (**)	-.127	.148
max	.157	.375 (**)	.532 (**)	.595 (**)	.648 (**)	.698 (**)	1	-.058	.347 (**)	-.185	-.013	-.012	.303 (**)	-.101	.154
deflec	.243 (*)	.335 (**)	.175	.093	.111	.121	-.058	1	.779 (**)	-.235 (*)	-.283 (*)	.185	.298 (**)	-.012	-.030

ตารางที่ 5 (ต่อ)

	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflec	work	stiff	brix	acid	moit	wie	spec
work	.104	.422 (**)	.349 (**)	.274 (*)	.274 (*)	.343 (**)	.347 (**)	.779 (**)	1	-.178	-.260 (*)	.149	.358 (**)	-.088	.009
stiff	-.134	-.317 (**)	-.429 (**)	-.429 (**)	-.468 (**)	-.357 (**)	-.185	-.235 (*)	-.178	1	.012	.179	.027	.289 (**)	-.224 (*)
brix	-.003	-.222 (*)	-.179	-.091	-.093	-.039	-.013	-.283 (*)	-.260 (*)	.012	1	.146	-.377 (**)	-.035	.150
acid	-.134	-.212	-.282 (*)	-.218	-.221 (*)	-.199	-.012	.185	.149	.179	.146	1	.149	.204	-.040
moist	.187	.347 (**)	.334 (**)	.228 (*)	.274 (*)	.424 (**)	.303 (**)	.298 (**)	.358 (**)	.027	-.377 (**)	.149	1	.088	-.248 (*)
w	.000	-.209	-.262 (*)	-.286 (*)	-.299 (**)	-.127	-.101	-.012	-.088	.289 (**)	-.035	.204	.088	1	.006
spec	.096	.073	.057	.026	-.011	.148	.154	-.030	.009	-.224 (*)	.150	-.040	-.248 (*)	.006	1

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflec	work	stiff	brix	acid	moit	wie	spec
v1	1	.446 (**)	.079	.056	.045	-.004	-.240 (*)	.196	-.185	-.277 (*)	-.077	.009	-.097	-.042	-.011
v2	.446 (**)	1	.695 (**)	.625 (**)	.542 (**)	.545 (**)	.202	-.088	-.174	.212	.106	.217	.002	.227 (*)	.123
v3	.079	.695 (**)	1	.867 (**)	.825 (**)	.695 (**)	.382 (**)	-.065	.014	.333 (**)	.056	.122	.012	.096	.152
v4	.056	.625 (**)	.867 (**)	1	.949 (**)	.759 (**)	.486 (**)	-.206	.005	.488 (**)	.120	.084	.117	.146	.243 (*)
v5	.045	.542 (**)	.825 (**)	.949 (**)	1	.776 (**)	.463 (**)	-.205	.050	.459 (**)	.122	.027	.140	.121	.307 (**)
f	-.004	.545 (**)	.695 (**)	.759 (**)	.776 (**)	1	.600 (**)	-.194	.113	.540 (**)	.185	.221 (*)	-.023	.304 (**)	.371 (**)
max	-.240 (*)	.202	.382 (**)	.486 (**)	.463 (**)	.600 (**)	1	-.248 (*)	.367 (**)	.850 (**)	.338 (**)	.229 (*)	-.001	.025	.557 (**)
deflec	.196	-.088	-.065	-.206	-.205	-.194	-.248 (*)	1	.537 (**)	-.706 (**)	-.172	-.067	-.013	-.127	-.197

ตารางที่ 6 (ต่อ)

	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflec	work	stiff	brix	acid	moit	wie	spec
work	-0.185	-0.174	.014	.005	.050	.113	.367 (**)	.537 (**)	1	-0.040	.183	.038	.140	-0.133	.356 (**)
stiff	-0.277 (*)	.212	.333 (**)	.488 (**)	.459 (**)	.540 (**)	.850 (**)	-0.706 (**)	-0.040	1	.331 (**)	.188	.000	.088	.475 (**)
brix	-0.077	.106	.056	.120	.122	.185	.338 (**)	-0.172	.183	.331 (**)	1	-0.079	.027	.086	.350 (**)
acid	.009	.217	.122	.084	.027	.221 (*)	.229 (*)	-0.067	.038	.188	-0.079	1	-0.173	.184	.025
moist	-0.097	.002	.012	.117	.140	-0.023	-0.001	-0.013	.140	.000	.027	-0.173	1	.201	.087
w	-0.042	.227 (*)	.096	.146	.121	.304 (**)	.025	-0.127	-0.133	.088	.086	.184	.201	1	-0.084
spec	-0.011	.123	.152	.243 (*)	.307 (**)	.371 (**)	.557 (**)	-0.197	.356 (**)	.475 (**)	.350 (**)	.025	.087	-0.084	1

### 1.3 การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มแบบเปิดตามอายุการเก็บรักษาด้วยวิธี Discriminant Analysis (ภาคผนวก ฉ)

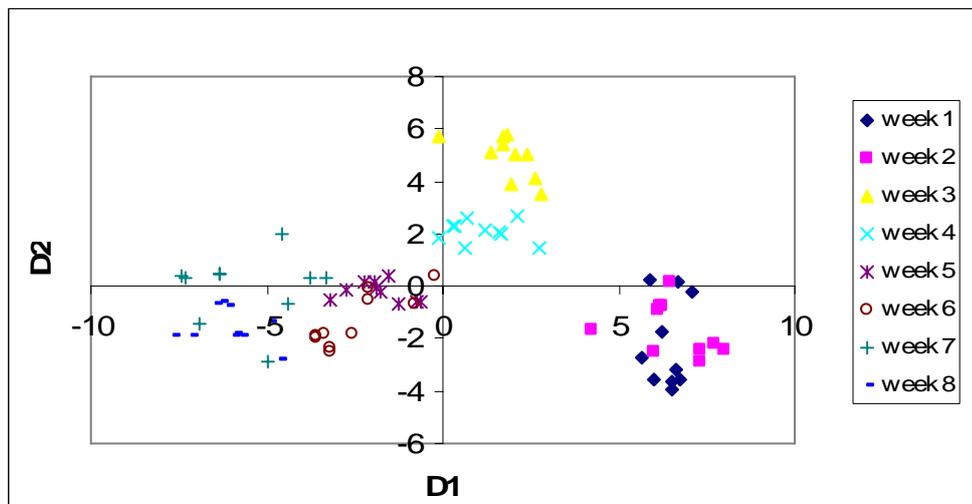
นำวิธีการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มมาใช้ในการแยกกลุ่มอายุการเก็บรักษา โดยปัจจัยคุณภาพที่ใช้ในการจำแนกกลุ่มประกอบด้วย ความเร็วเสียงที่1, ความเร็วเสียงที่2, ความเร็วเสียงที่3, ความเร็วเสียงที่4, ความเร็วเสียงที่5, ความถี่เสียง, ค่าจากกราฟ\_แรง\_ระยะกด, ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้, ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้, ค่าร้อยละของความชื้น, น้ำหนัก และค่าความถ่วงจำเพาะ หรืออาจเรียกปัจจัยคุณภาพทั้งหมดนี้ว่าเป็นตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรจำแนก(discriminating variables) โดยมีตัวแปรตาม (ตัวแปรจัดกลุ่ม) คืออายุการเก็บรักษา

#### 1.3.1 การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

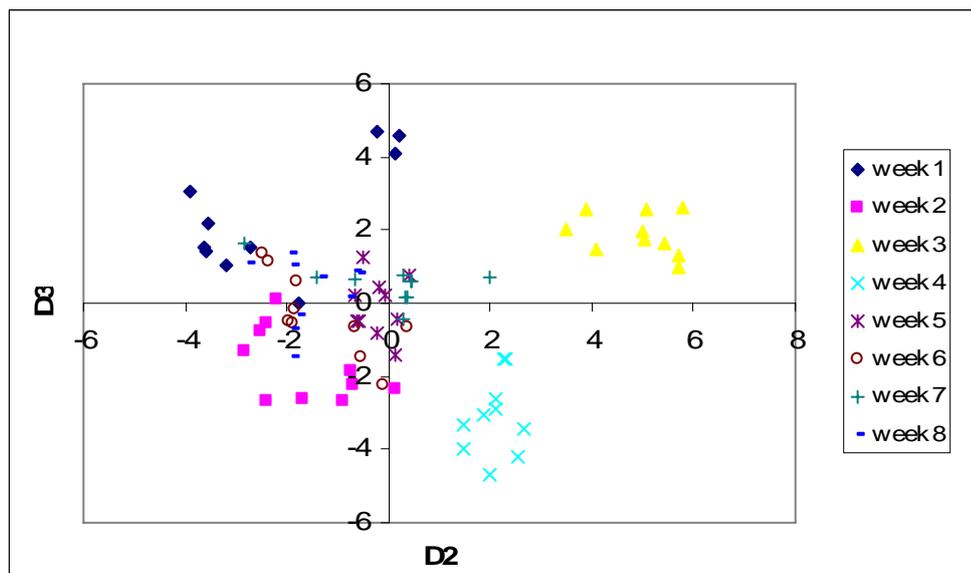
การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าการจำแนกกลุ่มลำดับที่ 1 (จำแนกตามค่า D1 หรือ discriminant function 1 ) นั้นสามารถจำแนกอายุการเก็บรักษาได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ ( ภาพที่ 18 )

- กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย อายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 1 และ 2
- กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย อายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 3 และ 4
- กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย อายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 5 และ 6
- กลุ่มที่ 4 ประกอบด้วย อายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 7 และ 8

การจำแนกกลุ่มลำดับที่ 2 (จำแนกตามค่า D2 หรือ discriminant function 2 ) นั้นสามารถจำแนกอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 3 ออกจากกลุ่มอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 4 ส่วนการจำแนกกลุ่มลำดับที่ 3 (จำแนกตามค่า D3 หรือ discriminant function 3 ) นั้นสามารถจำแนกอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 3 ออกจากกลุ่มอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 4 ได้เช่นกัน และยังสามารถจำแนกอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 1 ออกจากกลุ่มอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 2 เพิ่มเติม ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 18 การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส ด้วย discriminant function 1 (D1) และ discriminant function 2 (D2)



ภาพที่ 19 การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส ด้วย discriminant function 2 (D2) และ discriminant function 3 (D3)

เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรและตัวแปรจัดกลุ่ม (canonical discriminant function) (ตารางที่ 7) พบว่า discriminant function 1 ซึ่งสามารถจำแนกแอปเปิ้ลตามอายุการเก็บรักษาเป็น 4 กลุ่มนั้น สัมพันธ์กับความถี่เสียง ( $f$ ) มากที่สุด รองลงมาคือ

ค่าแรงกดสูงสุด (max) และ ค่าความเร็วเสียงที่ 5 (v5) ส่วน discriminant function 2 ซึ่งสามารถ จำแนกแอปเปิ้ลอายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ออกจากกลุ่มอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์นั้น สัมพันธ์ กับค่าความชื้น (moisture) มากที่สุด ดังนั้นสมบัติทางเสียงถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่สามารถนำมาแยก แอปเปิ้ลตามอายุการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส ได้ซึ่งจากตารางที่ 4 จะพบว่าความเร็วเสียงที่ 5 มี อัตราเปลี่ยนแปลงสูงสุดเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างตัวแปรจำแนกและตัวแปรจัดกลุ่ม เมื่อ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

	Function						
	1	2	3	4	5	6	7
f	0.53	0.32	0.09	-0.01	-0.35	-0.33	-0.19
max	0.28	0.03	0.04	0.01	0.23	0.21	0.13
moist	0.10	0.51	0.61	0.23	0.11	-0.08	0.44
work	0.07	0.10	0.19	-0.16	-0.06	0.16	0.09
deflec	0.00	0.11	0.26	-0.38	-0.29	0.28	0.06
acid	-0.04	0.05	0.13	-0.08	0.60	0.46	-0.33
stiff	-0.18	0.32	-0.27	0.07	0.41	-0.16	0.03
v5	0.25	-0.09	0.22	0.21	-0.33	-0.13	0.04
v4	0.23	-0.06	0.13	0.19	-0.30	-0.02	0.09
v3	0.22	-0.02	0.22	0.03	-0.23	-0.45	0.13
v2	0.13	0.04	0.10	-0.07	-0.21	-0.37	0.36
w	-0.03	0.12	-0.08	-0.08	0.05	0.24	0.09
brix	0.02	-0.02	-0.24	0.27	0.10	0.19	-0.60
spec	0.09	-0.10	-0.19	-0.23	0.30	0.09	0.41
v1	0.07	0.08	-0.08	-0.02	-0.20	-0.21	0.30

เมื่อนำตัวแปรจำแนกกลุ่มมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์จำแนกกลุ่ม (classification function coefficients) โดยวิธีของ Fisher ซึ่งจะหาค่าสัมประสิทธิ์จำแนกกลุ่มดัง ตารางที่ 8 และนำมาเขียนเป็นสมการในการแบ่งกลุ่มได้ดังนี้

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่1 (D1) คือ

$$\begin{aligned}
 & -3573.08 - 2.16 v_1 - 13.04 v_2 - 1.58 v_3 + 63.98 v_4 - 16.38 v_5 + 0.62 f + 3.79 \\
 & \max - 16.15 \text{ deflecc} + 371.67 \text{ work} - 3.73 \text{ stiffness} + 27.09 \text{ brix} - 74.25 \text{ acidity} + 24.71 \text{ moisture} \\
 & + 0.81 w + 4084.26 \text{ specgra}
 \end{aligned} \tag{8}$$

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่2 (D2) คือ

$$\begin{aligned}
 & -3566.82 - 1.25 v_1 - 11.95 v_2 - 15.26 v_3 + 79.38 v_4 - 24.43 v_5 + 0.64 f + 3.63 \\
 & \max - 22.91 \text{ deflec} + 479.91 \text{ work} - 3.35 \text{ stiffness} + 28.76 \text{ brix} - 135.24 \text{ acidity} + 24.42 \text{ moisture} \\
 & + 0.85 w + 4101.47 \text{ specgra}
 \end{aligned} \tag{9}$$

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่3 (D3) คือ

$$\begin{aligned}
 & -3659.68 - 2.25 v_1 - 10.84 v_2 - 14.06 v_3 + 81.78 v_4 - 38.80 v_5 + 0.61 f + 2.92 \\
 & \max - 7.83 \text{ deflec} + 299.53 \text{ work} + 0.09 \text{ stiffness} + 29.88 \text{ brix} - 153.53 \text{ acidity} + 27.39 \text{ moisture} \\
 & + 0.77 w + 3898.38 \text{ specgra}
 \end{aligned} \tag{10}$$

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่4 (D4) คือ

$$\begin{aligned}
 & -3400.46 - 1.70 v_1 - 8.49 v_2 - 18.45 v_3 + 81.31 v_4 - 39.63 v_5 + 0.62 f + 3.04 \text{ max} \\
 & - 10.76 \text{ deflec} + 313.32 \text{ work} + 0.93 \text{ stiffness} + 28.74 \text{ brix} - 165.27 \text{ acidity} + 24.74 \text{ moisture} \\
 & + 0.78 w + 3910.35 \text{ specgra}
 \end{aligned} \tag{11}$$

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่5 (D5) คือ

$$\begin{aligned}
 & -3278.96 - 2.40 v_1 - 9.95 v_2 - 11.80 v_3 + 76.07 v_4 - 27.12 v_5 + 0.52 f + 2.86 \\
 & \max - 4.75 \text{ deflec} + 230.79 \text{ work} + 0.03 \text{ stiffness} + 27.43 \text{ brix} - 126.89 \text{ acidity} + 24.91 \text{ moisture} \\
 & + 0.74 w + 3848.11 \text{ specgra}
 \end{aligned} \tag{12}$$

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่ 6 (D6) คือ

$$\begin{aligned}
 & -3253.91 - 2.09 v_1 - 10.71 v_2 - 10.69 v_3 + 72.80 v_4 - 18.35 v_5 + 0.48 f + 2.55 \\
 \text{max} & - 10.56 \text{ deflec} + 306.05 \text{ work} + 0.01 \text{ stiffness} + 27.28 \text{ brix} - 121.88 \text{ acidity} + 25.00 \text{ moisture} \\
 & + 0.72 w + 3879.45 \text{ specgra} \qquad \qquad \qquad (13)
 \end{aligned}$$

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่ 7 (D7) คือ

$$\begin{aligned}
 & -3124.43 - 2.48 v_1 - 10.04 v_2 - 13.21 v_3 + 76.99 v_4 - 20.58 v_5 + 0.45 f + 2.11 \\
 \text{max} & - 1.47 \text{ deflec} + 205.40 \text{ work} + 1.19 \text{ stiffness} + 27.69 \text{ brix} - 192.14 \text{ acidity} + 25.50 \text{ moisture} \\
 & + 0.70 w + 3681.15 \text{ specgra} \qquad \qquad \qquad (14)
 \end{aligned}$$

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่ 8 (D8) คือ

$$\begin{aligned}
 & -3103.28 - 2.36 v_1 - 11.39 v_2 - 10.23 v_3 + 72.60 v_4 - 12.49 v_5 + 0.41 f + 1.95 \\
 \text{max} & - 6.66 \text{ deflec} + 265.56 \text{ work} + 1.07 \text{ stiffness} + 27.69 \text{ brix} - 136.45 \text{ acidity} + 25.31 \text{ moisture} \\
 & + 0.67 w + 3726.38 \text{ specgra} \qquad \qquad \qquad (15)
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์จำแนกกลุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

	code							
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
v1	-2.16	-1.25	-2.25	-1.70	-2.40	-2.09	-2.48	-2.36
v2	-13.04	-11.95	-10.84	-8.49	-9.95	-10.71	-10.04	-11.39
v3	-1.58	-15.26	-14.06	-18.45	-11.80	-10.69	-13.21	-10.23
v4	63.98	79.38	81.78	81.31	76.07	72.80	76.99	72.60
v5	-16.38	-24.43	-36.80	-39.63	-27.12	-18.35	-20.58	-12.49
f	0.62	0.64	0.61	0.62	0.52	0.48	0.45	0.41
max	3.79	3.63	2.92	3.04	2.86	2.55	2.11	1.95
deflec	-16.15	-22.91	-7.83	-10.76	-4.75	-10.56	-1.47	-6.66
work	371.67	479.91	299.53	313.32	230.79	306.05	205.40	265.56
stiff	-3.73	-3.35	0.02	0.09	0.03	0.01	1.19	1.07
brix	27.09	28.76	29.88	28.74	27.43	27.28	27.69	27.69
acid	-74.25	-135.24	-153.53	-165.27	-126.89	-121.88	-192.14	-136.45
moit	24.71	24.42	27.39	24.74	24.91	25.00	25.50	25.31
wie	0.81	0.85	0.77	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67
spec	4084.26	4101.47	3898.38	3910.35	3848.11	3879.45	3681.15	3726.38
(Const.)	-3573.08	-3566.82	-3659.68	-3400.46	-3278.96	-3253.91	-3124.43	-3103.28

หมายเหตุ Fisher's linear discriminant functions

เมื่อใช้สมการพยากรณ์การจัดกลุ่มพบว่า กลุ่มที่ 1 มีความถูกต้อง 90% , กลุ่มที่ 2 มีความถูกต้อง 90%, กลุ่มที่ 3 มีความถูกต้อง 100%, กลุ่มที่ 4 มีความถูกต้อง 100%,กลุ่มที่ 5 มีความถูกต้อง 80%, กลุ่มที่ 6 มีความถูกต้อง 80%, กลุ่มที่ 7 มีความถูกต้อง 70% และกลุ่มที่ 8 มีความถูกต้อง 80% ในการทดสอบแบบ cross-validation และความถูกต้องในการจัดกลุ่มของสมการด้วยวิธี cross-validation คิดเป็น 86.3

สมการที่ 8 ถึง 15 นี้สามารถนำไปใช้ทำนายอายุการเก็บรักษาของแอปเปิ้ลได้ โดยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วนำค่าเหล่านั้นไปแทนลงในสมการที่ 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

และ 15 เมื่อสมการใดให้ค่ามากที่สุดจะจัดให้แอปเปิ้ลอยู่ในกลุ่มอายุการเก็บรักษานั้น และเมื่อนำสมการพยากรณ์ดังกล่าวไปทำการทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์แบบ cross validation ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

	ages	Predicted Group Membership								Total
		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	
Count	1.00	9	1	0	0	0	0	0	0	10
	2.00	1	9	0	0	0	0	0	0	10
	3.00	0	0	10	0	0	0	0	0	10
	4.00	0	0	0	10	0	0	0	0	10
	5.00	0	0	0	0	8	2	0	0	10
	6.00	0	0	0	0	2	8	0	0	10
	7.00	0	0	0	0	1	0	7	2	10
	8.00	0	0	0	0	0	1	1	8	10
%	1.00	90.0	10.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	100.0
	2.00	10.0	90.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	100.0
	3.00	.0	.0	100.0	.0	.0	.0	.0	.0	100.0
	4.00	.0	.0	.0	100.0	.0	.0	.0	.0	100.0
	5.00	.0	.0	.0	.0	80.0	20.0	.0	.0	100.0
	6.00	.0	.0	.0	.0	20.0	80.0	.0	.0	100.0
	7.00	.0	.0	.0	.0	10.0	.0	70.0	20.0	100.0
	8.00	.0	.0	.0	.0	.0	10.0	10.0	80.0	100.0

หมายเหตุ 86.3% of cross-validated grouped cases correctly classified.

### 1.3.2 จากกรณีวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสนี้ได้นำอายุการเก็บรักษามาทำการจัดกลุ่มเพียง 4 สัปดาห์ เนื่องจากเมื่อแอปเปิ้ลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสในการ

ทดสอบนี้มีอายุการเก็บรักษามากกว่า 4 สัปดาห์แล้วจะมีการเสื่อมเสียเกิดขึ้นและมีผลต่อร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการจัดกลุ่มอายุการเก็บรักษา ดังนั้นจึงไม่นำอายุการเก็บรักษามากกว่า 4 สัปดาห์ ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

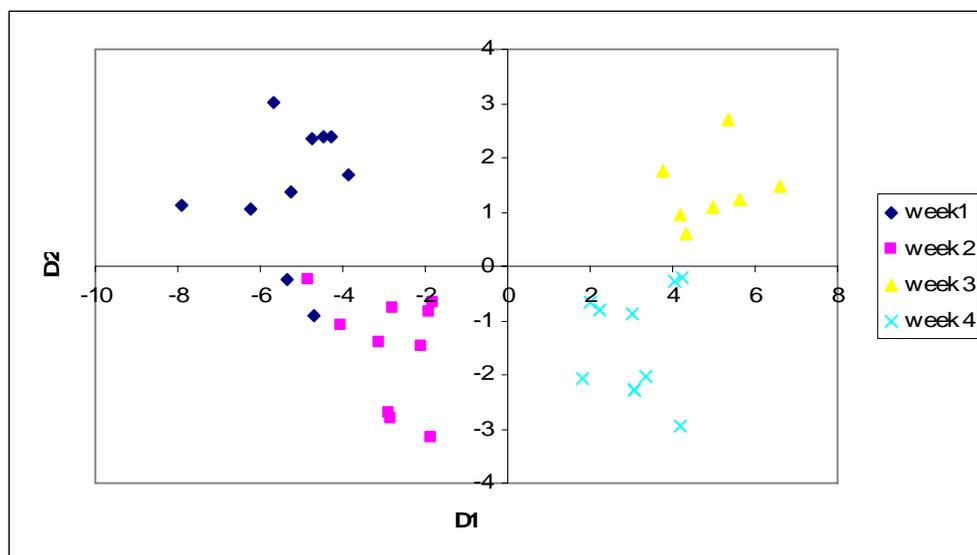
การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าการจำแนกกลุ่มลำดับที่ 1 (จำแนกตามค่า D1 “discriminant function 1”) นั้นสามารถจำแนกอายุการเก็บรักษาได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ ( ภาพที่ 20 )

กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย อายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 1

กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย อายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 2

กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย อายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 3 และ 4

และการจำแนกกลุ่มลำดับที่ 2 (จำแนกตามค่า D2 “discriminant function 2”) นั้นสามารถจำแนกอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 3 ออกจากอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 4



เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรและตัวแปรจัดกลุ่ม (ตารางที่ 10) พบว่า discriminant function 1 ซึ่งสามารถจำแนกแอปเปิ้ลตามอายุการเก็บรักษาเป็น 3 กลุ่มนั้น สัมพันธ์กับค่าความถี่เสียง (f) มากที่สุด รองลงมาคือค่าปริมาณความชื้น (moit) และ ค่าความเร็วที่ 5(v5) ส่วน discriminant function 2 ซึ่งสามารถจำแนกแอปเปิ้ลอายุการเก็บรักษา 3 สัปดาห์ออกจากกลุ่มอายุการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ นั้น สัมพันธ์กับค่าปริมาณความชื้น (moit) มากที่สุด รองลงมาคือค่าความเร็วที่ 5(v5) และค่าความเร็วที่ 4 (v 4)

ตารางที่ 10 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างตัวแปรจำแนกกลุ่มและตัวแปรจัดกลุ่ม  
เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

	Function		
	1	2	3
moist	0.25	0.40	-0.21
v5	-0.08	0.38	0.11
v4	-0.08	0.33	0.13
v3	-0.10	0.29	0.23
max	-0.19	0.28	0.09
v1	0.00	-0.17	0.00
acid	-0.12	-0.14	-0.10
stiff	-0.10	0.14	0.06
v2	-0.07	0.13	0.01
work	0.00	0.12	0.00
deflec	0.00	0.05	0.00
f	-0.29	0.24	-0.49
brix	0.07	-0.05	-0.44
w	-0.04	0.15	-0.18
spec	-0.02	0.04	-0.17

เมื่อนำตัวแปรจำแนกกลุ่มมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์จำแนกกลุ่ม  
(classification function coefficients) โดยวิธีของ Fisher ซึ่งจะหาค่าสัมประสิทธิ์จำแนกกลุ่มดัง  
ตารางที่ 11 และนำมาเขียนเป็นสมการในการแบ่งกลุ่มได้ดังนี้

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่ 1 (D1) คือ

$$\begin{aligned}
 & -6008.55 + 4.27 v_1 - 137.10 v_2 + 312.57 v_3 - 175.39 v_4 - 73.22 v_5 + 0.45 f - \\
 & 98.00 \text{ max} + 909.72 \text{ deflec} - 2088.87 \text{ work} + 554.36 \text{ stiffness} + 47.42 \text{ brix} + 466.01 \text{ acidity} + \\
 & 31.18 \text{ moisture} + 2.49 w + 4742.50 \text{ specgra}
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่2 (D2) คือ

$$\begin{aligned}
 & -5970.98 + 4.62 v_1 - 141.75 v_2 + 310.84 v_3 - 158.05 v_4 - 90.60 v_5 + 0.46 f - \\
 & 98.27 \text{ max} + 903.76 \text{ deflec} - 2107.48 \text{ work} + 550.88 \text{ stiffness} + 50.29 \text{ brix} + 481.23 \text{ acidity} + \\
 & 31.87 \text{ moiture} + 2.39 w + 4763.49 \text{ specgra} \quad (17)
 \end{aligned}$$

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่3 (D3) คือ

$$\begin{aligned}
 & -6487.15 + 4.77 v_1 - 148.30 v_2 + 303.97 v_3 - 155.52 v_4 - 63.26 v_5 + 0.57 f - \\
 & 105.05 \text{ max} + 951.38 \text{ deflec} - 2166.00 \text{ work} + 580.71 \text{ stiffness} + 54.19 \text{ brix} + 506.51 \text{ acidity} + \\
 & 35.06 \text{ moiture} + 2.40 w + 4882.42 \text{ specgra} \quad (18)
 \end{aligned}$$

ฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่มของกลุ่มที่4 (D4) คือ

$$\begin{aligned}
 & -6219.76 + 5.02 v_1 - 149.36 v_2 + 313.69 v_3 - 147.78 v_4 - 90.25 v_5 + 0.55 f - \\
 & 102.54 \text{ max} + 928.81 \text{ deflec} - 2128.66 \text{ work} + 567.77 \text{ stiffness} + 52.59 \text{ brix} + 486.36 \text{ acidity} + \\
 & 33.90 \text{ moiture} + 2.37 w + 4845.99 \text{ specgra} \quad (19)
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์จำแนกกลุ่มเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

	code			
	1.00	2.00	3.00	4.00
v1	4.270	4.624	4.769	5.017
v2	-137.102	-141.751	-148.302	-149.364
v3	312.565	310.839	303.972	313.688
v4	-175.386	-158.048	-155.520	-147.775
v5	-73.222	-90.601	-63.258	-90.246
f	-.452	-.457	-.570	-.550
max	-97.999	-98.271	-105.049	-102.538
defl	909.719	903.757	951.382	928.814
work	-2088.873	-2107.479	-2166.004	-2128.663
stiff	554.357	550.882	580.708	567.765
brix	47.423	50.293	54.191	52.591
acid	466.209	481.230	506.508	486.364
moit	31.183	31.866	35.058	33.901
wie	2.492	2.385	2.400	2.374
spec	4742.500	4763.493	4882.416	4845.994
(Constant)	-6008.550	-5970.977	-6487.145	-6219.757

หมายเหตุ Fisher's linear discriminant functions

สมการที่ 16, 17, 18 และ 19 นี้สามารถนำไปใช้ทำนายอายุการเก็บรักษาของแอปเปิ้ลได้โดยการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และนำค่าเหล่านั้นไปแทนลงในสมการที่ 16, 17, 18 และ 19 เมื่อสมการใดให้ค่ามากที่สุดจะจัดให้แอปเปิ้ลอยู่ในกลุ่มอายุการเก็บรักษานั้น และเมื่อนำสมการพยากรณ์ดังกล่าวไปทำการทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์ (validation) ดังแสดงในตารางที่ 12

เมื่อใช้สมการพยากรณ์การจัดกลุ่มพบว่า กลุ่มที่ 1 มีความถูกต้อง 60% , กลุ่มที่ 2 มีความถูกต้อง 80%, กลุ่มที่ 3 มีความถูกต้อง 80%, กลุ่มที่ 4 มีความถูกต้อง 70% และความถูกต้องในการจัดกลุ่มของสมการด้วยวิธีแบบ cross-validation คิดเป็นร้อยละ 72.5

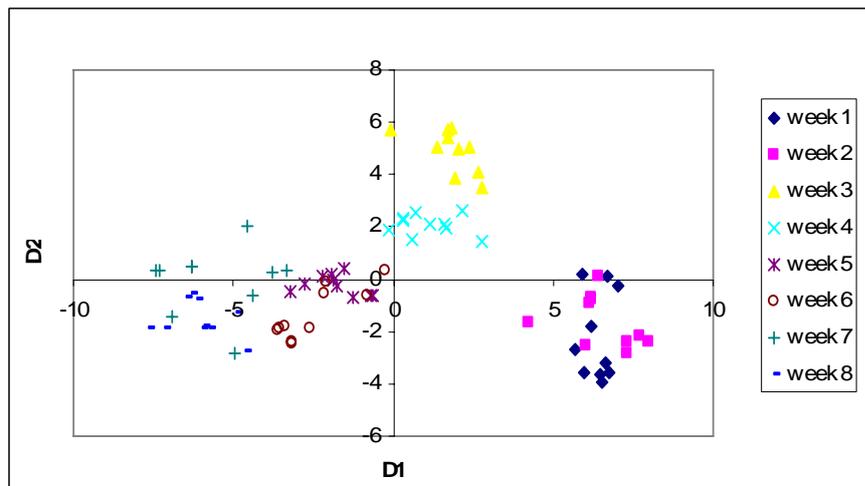
ตารางที่ 12 การทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

	ages	Predicted Group Membership				Total
		1.00	2.00	3.00	4.00	
Count	1.00	6	3	0	1	10
	2.00	2	8	0	0	10
	3.00	0	0	8	2	10
	4.00	0	1	2	7	10
%	1.00	60.0	30.0	.0	10.0	100.0
	2.00	20.0	80.0	.0	.0	100.0
	3.00	.0	.0	80.0	20.0	100.0
	4.00	.0	10.0	20.0	70.0	100.0

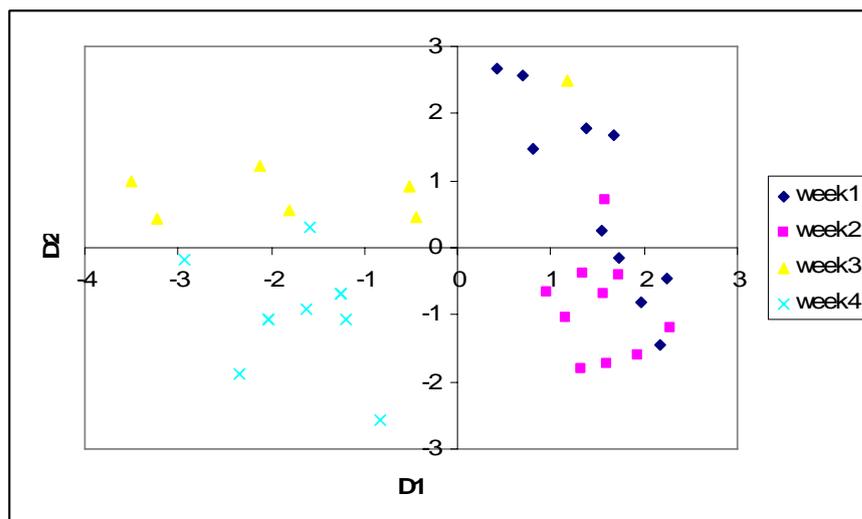
หมายเหตุ 72.5% of cross-validated grouped cases correctly classified.

### 1.3.3 การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์แบบไม่ทำลาย

การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มโดยใช้พารามิเตอร์แบบไม่ทำลายเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส สามารถจำแนกกลุ่มได้ดังภาพที่ 21 และ 22 ตามลำดับ



ภาพที่ 21 การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยพารามิเตอร์แบบไม่ทำลาายที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส ด้วย discriminant function 1 (D1) และ discriminant function 2 (D2)



ภาพที่ 22 การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มด้วยพารามิเตอร์แบบไม่ทำลาายที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 20 องศาเซลเซียส ด้วย discriminant function 1 (D1) และ discriminant function 2 (D2)

ในการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มโดยพารามิเตอร์แบบไม่ทำลาายนั้น พบว่ามีร้อยละความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มน้อยกว่าการใช้พารามิเตอร์หลายตัวรวมกันดังที่ได้กล่าวในข้างต้น โดยมีร้อยละความถูกต้องในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเพียง 51.3 และ 55 ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 13 และ 14 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 การทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

	ages	Predicted Group Membership							Total	
		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00		8.00
Count	1.00	6	4	0	0	0	0	0	0	10
	2.00	2	5	0	3	0	0	0	0	10
	3.00	1	1	5	3	0	0	0	0	10
	4.00	0	0	3	7	0	0	0	0	10
	5.00	0	0	0	0	5	3	2	0	10
	6.00	0	0	0	0	6	2	0	2	10
	7.00	0	0	0	0	2	3	3	2	10
	8.00	0	0	0	0	0	0	2	8	10
%	1.00	60.0	40.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	100.0
	2.00	20.0	50.0	.0	30.0	.0	.0	.0	.0	100.0
	3.00	10.0	10.0	50.0	30.0	.0	.0	.0	.0	100.0
	4.00	.0	.0	30.0	70.0	.0	.0	.0	.0	100.0
	5.00	.0	.0	.0	.0	50.0	30.0	20.0	.0	100.0
	6.00	.0	.0	.0	.0	60.0	20.0	.0	20.0	100.0
	7.00	.0	.0	.0	.0	20.0	30.0	30.0	20.0	100.0
	8.00	.0	.0	.0	.0	.0	.0	20.0	80.0	100.0

หมายเหตุ 51.3% of cross-validated grouped cases correctly classified.

ตารางที่ 14 การทดสอบความถูกต้องในการพยากรณ์เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

	ages	Predicted Group Membership				Total
		1.00	2.00	3.00	4.00	
Count	1.00	3	5	2	0	10
	2.00	3	7	0	0	10
	3.00	2	0	4	4	10
	4.00	0	0	2	8	10
%	1.00	30.0	50.0	20.0	.0	100.0
	2.00	30.0	70.0	.0	.0	100.0
	3.00	20.0	.0	40.0	40.0	100.0
	4.00	.0	.0	20.0	80.0	100.0

หมายเหตุ 55.0% of cross-validated grouped cases correctly classified.

## 2. การเปลี่ยนแปลงความเร็วเสียง, ความแน่นเนื้อและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของตัวอย่าง แอปเปิ้ลผลเดิมระหว่างการเก็บรักษา

### 2.1 การเปลี่ยนแปลงความเร็วเสียงและความแน่นเนื้อของตัวอย่างแอปเปิ้ลผลเดิมระหว่างการเก็บรักษา

ค่าเฉลี่ยของความแน่นเนื้อและค่าความเร็วเสียงของตัวอย่างของแอปเปิ้ลผลเดิมระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความความแน่นเนื้อและค่าความเร็วเสียงมีค่าลดลงในขณะที่อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานของ Sugiyama และคณะ (1994) ข้างต้น และยังพบว่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสมีค่าน้อยกว่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสดังแสดงในตารางที่ 13 และตารางที่ 14 ตามลำดับ ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจึงสามารถคงสมบัติของแอปเปิ้ลได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงซึ่งสอดคล้องกับงานของ Tsay และ Wu (1994)

ตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยของความแน่นเนื้อและความเร็วเสียงของตัวอย่างของแอปเปิ้ลผลเต็ม ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส

พารามิเตอร์	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)					ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	1	2	3	4	5	
v1	17.09	15.75	14.09	14.80	13.62	25.47
v2	8.79	8.13	7.88	7.14	6.86	28.15
v3	5.80	5.36	5.35	4.76	4.55	27.43
v4	4.00	3.81	3.77	3.51	3.45	15.98
v5	3.14	2.97	2.96	2.79	2.71	15.80
max	72.84	68.68	65.39	64.98	63.00	15.63

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยของความแน่นเนื้อและความเร็วเสียงของตัวอย่างของแอปเปิ้ลผลเต็ม ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 20 องศาเซลเซียส

พารามิเตอร์	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)					ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	1	2	3	4	5	
v1	16.08	14.01	16.20	17.09	13.12	22.59
v2	10.39	8.03	7.57	7.42	6.77	53.41
v3	6.29	5.13	5.02	4.97	4.16	51.31
v4	4.41	3.83	3.69	3.67	3.39	30.19
v5	3.46	3.10	2.90	2.88	2.58	34.09
max	74.22	72.02	63.07	59.31	56.75	30.78

## 2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของตัวอย่างแอปเปิ้ลผลเต็มระหว่างการเก็บรักษา

ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และความเร็วเสียงของตัวอย่างของแอปเปิ้ลผลเต็มระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 และ 20 องศาเซลเซียส พบว่าค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และความเร็วเสียงมีค่าลดลงในขณะที่อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และยังพบว่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสมีค่าน้อยกว่าร้อยละการ

เปลี่ยนแปลงเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสดังแสดงในตารางที่ 15 และตารางที่ 16 ตามลำดับ ดังนั้นการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำจึงสามารถคงสมบัติของแอปเปิ้ลได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงซึ่งสอดคล้องกับงานของ Tsay และ Wu (1994)

**ตารางที่ 17** ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าความเร็วเสียงของตัวอย่างของแอปเปิ้ลผลเดิกระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส

พารามิเตอร์	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)					ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	1	2	3	4	5	
v1	15.92	15.23	15.09	14.62	13.73	15.94
v2	7.95	7.52	7.43	7.03	6.81	16.67
v3	4.96	4.89	4.63	4.60	4.19	18.43
v4	3.69	3.56	3.44	3.42	3.18	15.91
v5	2.90	2.93	2.79	2.71	2.55	13.61
brix	12.04	11.85	11.67	11.51	11.45	5.18

**ตารางที่ 18** ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และค่าความเร็วเสียงของตัวอย่างของแอปเปิ้ลผลเดิกระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 20 องศาเซลเซียส

พารามิเตอร์	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)					ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
	1	2	3	4	5	
v1	17.10	14.24	12.07	12.19	11.98	42.69
v2	7.94	6.93	6.62	6.17	6.02	31.95
v3	5.16	4.60	4.40	4.24	3.94	31.02
v4	3.72	3.40	3.23	3.04	2.83	31.40
v5	2.83	2.55	2.56	2.47	2.32	22.17
brix	12.58	12.45	12.19	11.48	11.43	10.06

ผลการทดลองนี้ ทำให้ได้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเสียง, ความหนาแน่น และ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ที่ชัดเจนเนื่องจากตัวอย่างที่เก็บข้อมูลเป็นตัวอย่างเดิม ซึ่งผลที่ได้ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนผลการทดลองก่อนหน้านี้

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับอายุวางจำหน่ายหรืออายุการเก็บรักษาของแอปเปิ้ล พบว่าในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถคงสมบัติของพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ของแอปเปิ้ล ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสน้อยกว่า
2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอายุวางจำหน่ายและอายุการเก็บรักษา พบว่าค่าความเร็วเสียงเคาะและความถี่เสียงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแรงกดสูงสุดทั้งในสภาวะเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส ( $r = 0.786$  และ  $r = 0.698$  ตามลำดับ) และ 20 องศาเซลเซียส ( $r = 0.463$  และ  $r = 0.6$  ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ
3. การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Discriminant Analysis โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอายุการวางจำหน่าย หรืออายุการเก็บรักษา พบว่าในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 20 องศาเซลเซียส มีความถูกต้องในการจัดกลุ่มของสมการที่ทดสอบด้วยวิธีแบบ cross-validation คิดเป็นร้อยละ 86.3 และ 72.5 ตามลำดับ
4. ที่สภาวะเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส สามารถจำแนกแอปเปิ้ลได้ 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 1 และ 2, กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 3 และ 4, กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 5 และ 6 และกลุ่ม 4 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 7 และ 8 โดยตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดในการจำแนกกลุ่มคือ ความถี่เสียง, แรงกดสูงสุด, ความเร็วเสียงที่ 5 ตามลำดับ
5. ที่สภาวะเก็บรักษา 20 องศาเซลเซียส สามารถจำแนกแอปเปิ้ลได้ 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 1, กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยอายุการเก็บรักษาสัปดาห์ที่ 3 และ 4 โดยตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดในการจำแนกกลุ่มคือ ความถี่เสียง, ค่าร้อยละความชื้น, ความเร็วเสียงที่ 5 ตามลำดับ

### ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองนี้ตัวอย่างแอปเปิ้ลที่ได้มาจากแหล่งปลูกที่หลากหลาย เนื่องจากซื้อมาจากซูเปอร์มาร์เก็ต ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความแปรปรวนสูง ดังนั้นเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีผลการทดลองจำแนกกลุ่มที่แม่นยำขึ้นควรใช้ตัวอย่างที่มาจากแหล่งปลูกเดียวกัน โดยทำการติดตามอายุหลังดอกบาน อย่างไรก็ตามตัวอย่างดังกล่าวในประเทศไทยจะหาได้ยาก เนื่องจากพื้นที่ปลูกแอปเปิ้ลแทบจะไม่มีแล้วในปัจจุบัน

2. ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดอาจมาจากห้องเก็บรักษาซึ่งเป็นข้อจำกัดในการทดลองนี้ โดยการเก็บรักษาแอปเปิ้ลต้องเก็บร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ซึ่งอาจส่งผลในการทำให้การสุกของแอปเปิ้ลในแต่ละห้องเก็บรักษามีอัตราไม่แน่นอน

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กัลยา. 2546. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย spss. 3. บริษัทธรรมสารจำกัด, กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2547. แอปเปิ้ล. เกษตรพลิกฟื้นชาติตามแนวพระราชดำริ. แหล่งที่มา:

<http://www.rakbank.com/agriculture/>, 31 ตุลาคม 2547.

นิรนาม. 2547. FTA ไทย-จีนสำแดงเดช 10 สินค้าเกษตรจ่อคว้าง. ผู้จัดการรายสัปดาห์.

แหล่งที่มา: <http://www.manager.co.th/weekly/default.html>, 18 มิถุนายน 2547.

ราชัน ทองรอด, นิยม สมบัติวงศ์ และ สมชาย อรุณรุ่งรัมย์. 2546. ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่  
ตอบสนองสูงสุดและระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง. สัมมนา  
วิชาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ ครั้งที่ 2, โรงแรมเจริญธานี ขอนแก่น 21-  
22 สิงหาคม 2546

สังคม เตชะวงศ์เสถียร. 2536. เอกสารคำสอนวิชา 113442 การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน.

ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น: 57.

Camps, C., P. Guillermin, J.C. Mauget and D. Bertrand. 2005. **Data Analysis of Penetrometric Force/ Displacement Curve for the Characterization of Whole Apple Fruits.** Journal of Texture Studies.36:387-401.

Diezma-Iglesias, B., C. Valero, F.J. Garcia-Ramos and M. Ruiz-Altisent. 2006. **Monitoring of firmness evolution of peaches during storage by combining acoustic and impact methods.** Journal of food engineering. 77: 926-935.

Hayashi, S., J. Sugiyama and K. Otobe. 1995. **Nondestructive Quality Evaluation of Fruits and Vegetables by Acoustic Transmission Waves**. Proceeding of International Symposium on Automation and Robotics in Bioproduction and Processing, Kobe University, Japan: 227-234

Eskin, N.A., M. and D. S. Robinson. 2001. **Food Shelf Life Stability Chemical, Biochemical, and Microbiological Changes**. CRC Press LLC, Boca Raton.

IFST. 1993. **Shelf Life of Foods-Guideline for its Determination and Prediction**. London: Institute of Food science & Technology.

IFT. 1974. Shelf Life of Food. **Journal of Food Science** , 39:1-4.

Mahayothee, B., M. Leitenberger, M. Leitenberger, S. Neidhart, W. Miihlbauer and R. Carle. 2002. **Non-Destructive Determination of Fruit Maturity of Thai mango Cultivars by Near Infrared Spectroscopy**. International Symposium Sustaining Food Security and Manging Natural Resources in Southeast Asia-Challenges for the 21<sup>st</sup> century-January 8-11, 2002 at Chiang Mai, Thailand

Marin, A., 2002. **Consumers'evaluation of apple quality**. Washington Tree Fruit Postharvest Conference for March 12<sup>th</sup>-13<sup>th</sup>, 2002 at Yakima

Mizrach, A., N. Galili, S. Gan\_mor, U. flitsanov and I. Prigozin. 1996. **Models of Ultrasonic Parameters to Assess Avocado Properties and Shelf Life**. J.agric.Engng Res. 65: 261-267.

Peleg ,K., U. Ben-Hanan and S. Hinga. 1990. **Classification of avocado by firmness and maturity**, Journal of Texture Studies. 21

Saevels, S., J.Lammertyn, A.Z. Berna, E.A. Veraverbeke, C.D. Natale and B.M. Nicolai. 2004.

**An electronic nose and a mass spectrometry-based electronic nose for assessing apple quality during shelf life.** *Postharvest Biology and Technology*. 31:9-19.

Shmulevich, I., N. Galili and M.S. Howarth. 2003. **Nondestructive dynamic testing of apples**

**for firmness evaluation.** *Postharvest Biology and Technology*. 29: 287-299.

Snowdon, A.L. and A.H.M. Ahmed. 1981. **The Storage and Transport of Fresh Fruits and**

**Vegetables.** National Institute of Fresh Produce.

Sugiyama, J., K. Otobe, S. Hayashi and S. Usui. 1994. **Firmness Measurement of muskmelons**

**by Acoustic Impulse Transmission.** *ASAE Vol. 37 No.4*: 1235-1241

Sugiyama, J., T. Katsurai, J. Hong, H. Koyama and K. Mikuriya. 1997. **Portable Melon Firmness**

**using Acoustic Impulse Transmission.** *Measuring the Quality of Fresh Fruit and*

*Vegetables; International Conference Holiday Inn International Drive Resort, Orlando,*

*Florida February 18-21, 1997*

Tsay, L. and M. Wu. 1994. **Studies on The Physio-Chemical Properties of Postharvest Sugar**

**Apple.** *ISHS Acta Horticulturae* 269.

Tu, K., B. Nicolai and J. De Beardmaeker. 1999. **Effects of relative humidity on apple quality**

**under simulated shelf temperature storage.** *Scientia Horticulturae*. 85: 217-229.

ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก

โปรแกรม Matlab สำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลเสียง

โปรแกรมสำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลเสียง

```

clear all

%-----receive sound-----

AI = analoginput('winsound');
chan = addchannel(AI,1);
duration = 1; %1 second acquisition
set(AI,'SampleRate',8000)
ActualRate = get(AI,'SampleRate');
set(AI,'SamplesPerTrigger',400)
set(AI,'TriggerChannel',chan)
set(AI,'TriggerType','Software')
set(AI,'TriggerCondition','Rising')
set(AI,'TriggerConditionValue',0.3)
set(AI,'TriggerRepeat',0)
blocksize = get(AI,'SamplesPerTrigger');
Fs = ActualRate;

%-----

start(AI)
while strcmp(AI.Running,'On')
end
[data time]=getdata(AI,blocksize);

%-----plot data-----

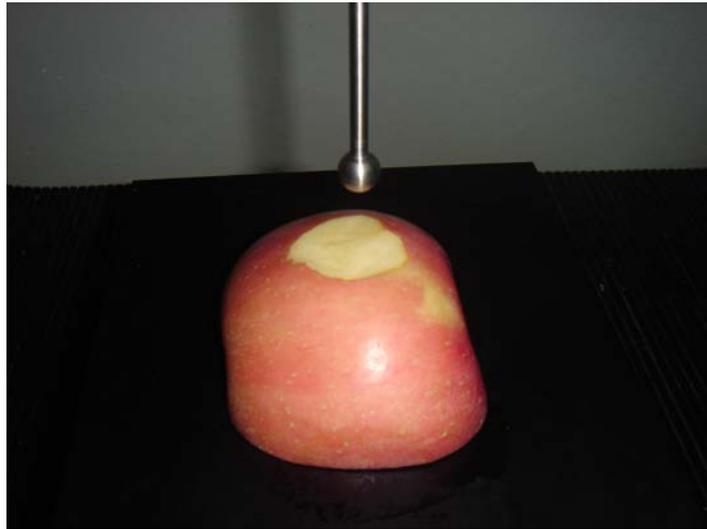
subplot(211)
plot(time,data),grid on
title('Sound pattern');
xlabel('Time(sec');ylabel('Amplitude(Volts)');
waittilstop(AI,10);
delete(AI)

```

```
%-----save file-----  
y1 = [time; data];  
name = input('Enter filename: ','s');  
txt = '.txt'  
fname1 = strcat(name,txt)  
fid1 = fopen(fname1,'w');  
fprintf(fid1,'%6.4f\n',y1);  
fclose(fid1)
```

Sound card ที่ใช้ในการเคาะวัดเสียง คือ Conexant AMC Audio โดยมีระยะห่างระหว่างไมโครโฟนเป็น 18 มิลลิเมตร ใช้ความถี่ในการเก็บสัญญาณ 8000 Hz โดยช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลในการเคาะแต่ละครั้งคือ 0.05 วินาที (400จุด)

ภาคผนวก ข  
การวัดความแน่นเนื้อด้วยการกด

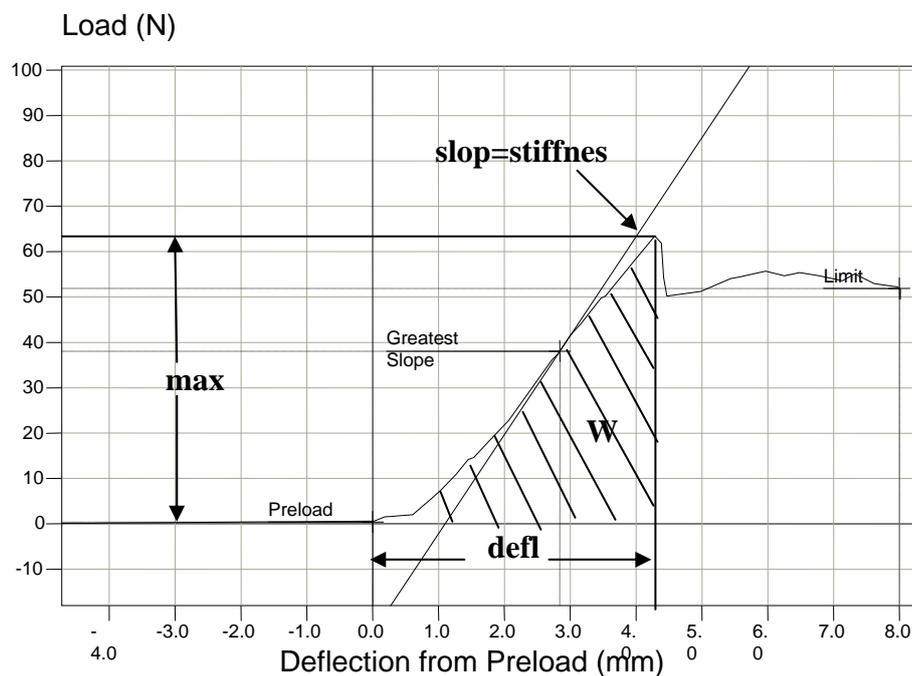


ภาพผนวกที่ 1 การวางตัวอย่างในการวัดค่าความแน่นเนื้อและลักษณะหักกด



ภาพผนวกที่ 2 เครื่อง material testing machine ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENT รุ่น LR5K

วัดค่าความแน่นเนื้อ (Magness-Taylor-firmness) ด้วยเครื่อง material testing machine ยี่ห้อ LLOYD INSTRUMENT รุ่น LR5K ผลละ 2 ตำแหน่งที่ด้านตรงข้าม บนเส้นรอบวงที่ระนาบตั้งฉากกับแนวขั้วแอปเปิ้ล โดยผ่าครึ่งผลแอปเปิ้ล นำมากดด้านซึ่งผ่าเปลือกออกให้เห็นเนื้อ (ดังภาพผนวกที่ 1 และ 2) ด้วยเครื่อง material testing machine ด้วยหัวกดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 มม. ที่ความเร็วขนาด 50 มม. ต่อนาที ลึกเข้าไปในเนื้อ 8 มม. (Shmulevich และคณะ, 2003) บันทึกค่าแรงและระยะขณะที่หัวกดกำลังกดลงไปในเนื้อ และแสดงกราฟดังภาพผนวกที่ 3



ภาพผนวกที่ 3 กราฟแรงกดและระยะทางที่ได้จากเครื่อง material testing machine

ค่าต่างๆที่ได้จากกราฟมีดังนี้

max คือ ค่าแรงสูงสุดในการกด

deflec คือ ค่าระยะทางที่เริ่มกดจนถึงระยะแรงกดสูงสุด

work คือ ค่างานที่เริ่มกดจนถึงแรงกดสูงสุด

stiff คือ ค่าความล้าจากการกด (อัตราส่วนค่าแรงกดสูงสุดต่อค่าระยะทางที่เริ่มกดจนถึงระยะแรงกดสูงสุด) (Camps และคณะ, 2005)

### ภาคผนวก ค

โปรแกรม Matlab สำหรับใช้วิเคราะห์ความเร็วเสียงและตัวอย่างผลที่ได้จากโปรแกรม

โปรแกรมสำหรับใช้วิเคราะห์ความเร็วเสียง

```
%-----cross new-----
clear all

%-----Load data-----
x1=load('c:\299-11-10.txt');
x2=load('c:\299-21-10.txt');

%-----cut data-----
%n=800
for i=1:400
    x_1(i,1)=x1(i+400,1);
    x_2(i,1)=x2(i+400,1);
end

%-----average data-----

ax1=(sum(x_1))/400;
ax2=(sum(x_2))/400;

%-----find x1-ax1, x2-ax2-----

for i=1:400
    X1(i,1)=x1(i+400,1)-ax1;
end

for j=1:400
    X2(j,1)=x2(j+400,1)-ax2;
end
```

```

%---- find standard deviation of data -----

for i=1:200
    for j=0:200
        b1(i,1)=(X1(i,1)).^2;
        b2(i,1)=(X2(i+j,1)).^2;
    end
end

c1=sum(b1);
c2=sum(b2);

S1=sqrt( (1/(200-1)) * c1 )
S2=sqrt( (1/(400-1)) * c2 )

%-----sum x1-ax1 * x2-ax2-----

for j=0:200
    for i=1:200
        a1(i,1)=X1(i,1)*X2(i+j,1);
    end
    a2=sum(a1);
    r(j+1,1)= 1/((200-1)*S1*S2)*a2;
end

%----- transpost time -----

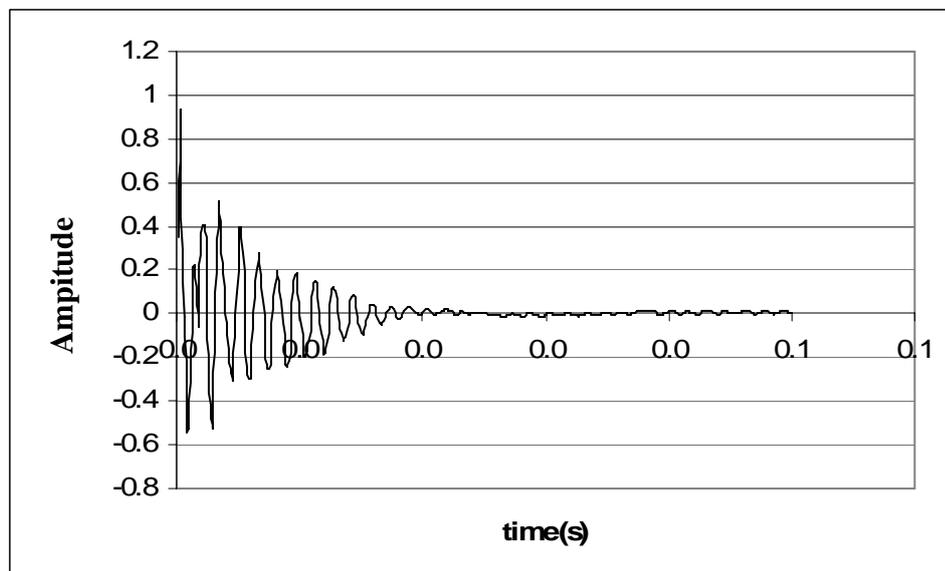
for i=0:200;
    time(i+1,1)=sum(i/8000);
end

plot (time,r)

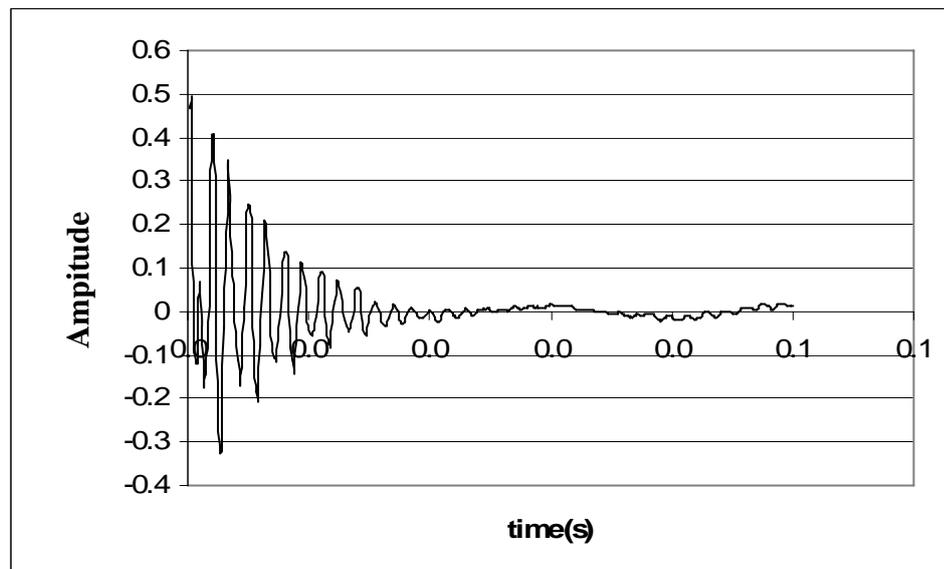
```

```
%-----save-----
```

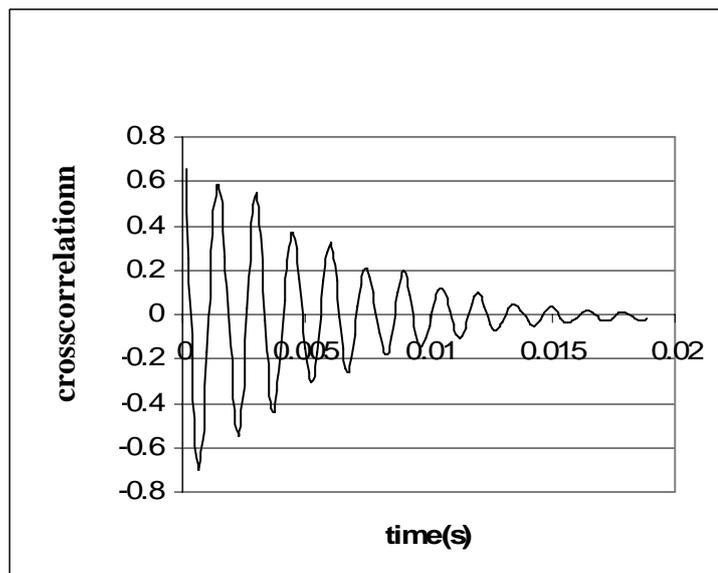
```
y1=[time,r];
name = input('Enter filename: ','s');
txt = '.xls'
fname1 = strcat(name,txt)
fid1 = fopen(fname1,'w');
fprintf(fid1,'%6.4f\n',y1);
fclose(fid1)
```



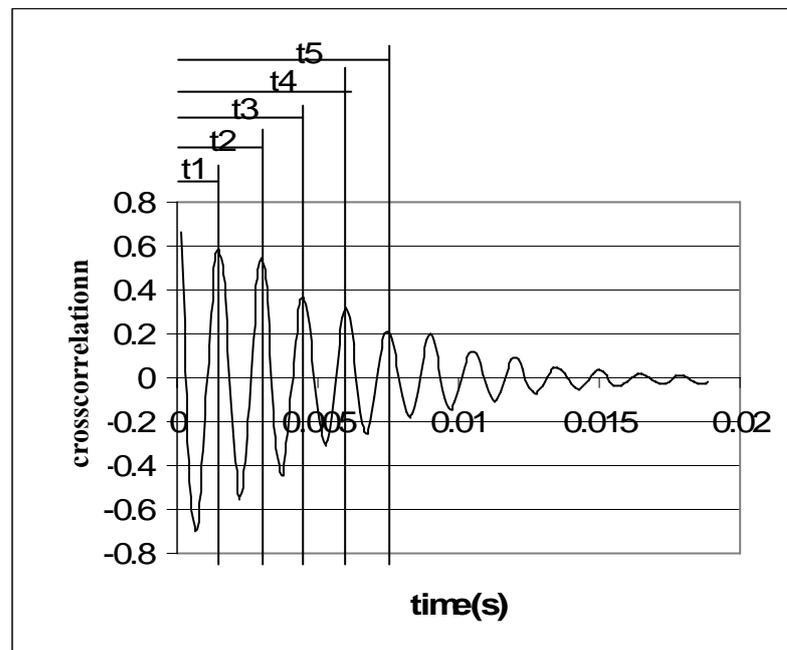
ภาพผนวกที่ 4 สัญญาณเสียงจากไมโครโฟนตัวที่ 1



ภาพผนวกที่ 5 สัญญาณเสียงจากไมโครโฟนตัวที่ 2



ภาพผนวกที่ 6 สัญญาณเสียงจากภาพผนวกที่ 3 และ 4 เมื่อผ่านกระบวนการ crosscorrelation



ภาพผนวกที่ 7 เวลา ณ จุดที่นำมาคำนวณ

$$\text{ค่าความเร็วเสียงที่ 1 (v1)} = \frac{d}{t_1}$$

$$\text{ค่าความเร็วเสียงที่ 1 (v2)} = \frac{d}{t_2}$$

$$\text{ค่าความเร็วเสียงที่ 1 (v3)} = \frac{d}{t_3}$$

$$\text{ค่าความเร็วเสียงที่ 1 (v4)} = \frac{d}{t_4}$$

$$\text{ค่าความเร็วเสียงที่ 1 (v5)} = \frac{d}{t_5}$$

d= ระยะห่างระหว่างไมโครโฟนในที่นี้คือ 18 มิลลิเมตร

**ภาคผนวก ง**

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สภาวะการเก็บรักษา 10 และ 20 องศาเซลเซียส

ตารางผนวกที่ จ1 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สภาวะการเก็บรักษา 10 องศาเซลเซียส และสภาวะความชื้น 90-95%RH

อายุ	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflece	work	stiff	brix	acid	moit	w	spec
1	16.00	9.20	5.50	4.43	3.67	1154.40	70.07	7.92	0.30	8.85	11.70	0.18	86.95	225.14	0.85
1	17.60	8.27	6.44	5.27	4.67	1248.00	78.54	7.03	0.24	11.18	10.00	0.17	88.04	224.23	0.82
1	18.29	10.68	7.31	4.38	3.47	1138.80	69.92	6.61	0.28	10.58	11.20	0.13	87.32	229.63	0.85
1	14.14	8.31	6.28	4.67	3.89	1185.60	70.33	5.64	0.20	12.46	10.00	0.17	88.74	213.77	0.83
1	21.00	10.29	7.87	5.15	4.11	1216.80	60.35	6.97	0.30	8.65	8.20	0.09	91.08	183.17	0.86
1	24.55	8.74	7.40	5.03	4.14	1216.80	68.45	7.85	0.24	8.72	13.00	0.11	83.70	208.85	0.85
1	12.74	8.40	5.31	4.24	3.62	1138.80	64.59	7.59	0.32	8.51	10.50	0.27	87.45	192.23	0.86
1	18.29	10.68	7.31	4.38	3.47	1154.40	73.22	6.61	0.28	11.08	9.60	0.15	99.17	221.39	0.83
1	21.11	10.24	7.13	5.14	4.53	1248.00	79.89	6.97	0.30	11.46	12.30	0.23	98.90	216.23	0.79
1	24.55	8.74	5.40	4.03	4.14	1185.60	80.35	7.85	0.24	10.23	11.80	0.23	98.80	222.42	0.85
2	24.00	10.34	5.67	4.61	3.79	1154.40	70.07	6.85	0.27	10.23	13.50	0.23	85.20	256.23	0.85
2	16.29	8.79	6.38	5.21	4.07	1201.20	78.54	6.27	0.27	12.53	9.70	0.13	89.59	217.51	0.85
2	19.29	6.94	5.37	4.30	3.51	1138.80	69.92	4.00	0.11	17.48	12.70	0.15	87.45	293.87	0.85
2	24.00	10.34	5.67	4.61	3.79	1170.00	70.33	6.85	0.27	10.27	12.60	0.12	88.60	190.36	0.84
2	16.29	6.79	5.38	4.21	2.57	1092.00	60.35	6.27	0.27	9.63	15.50	0.19	86.08	215.76	0.86
2	19.29	6.94	5.37	4.30	3.51	1138.80	68.45	4.00	0.11	17.11	10.90	0.11	85.82	197.35	0.84

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

อายุ	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflece	work	stiff	brix	acid	moit	w	spec
2	24.00	10.34	5.67	3.61	3.79	1154.40	64.59	6.85	0.27	9.43	13.80	0.10	87.98	208.85	0.85
2	16.29	6.79	5.38	4.31	3.97	1185.60	73.22	6.27	0.27	11.68	15.10	0.13	84.37	215.99	0.83
2	19.29	7.94	6.37	5.30	4.51	1248.00	79.89	4.00	0.11	19.97	13.50	0.11	87.41	234.00	0.83
2	24.00	10.34	7.67	6.61	4.79	1248.00	80.35	6.85	0.27	11.73	13.40	0.18	86.39	202.78	0.83
3	16.00	7.20	5.50	3.43	2.67	1107.60	57.81	7.92	0.30	17.12	13.30	0.17	98.51	292.76	0.84
3	17.60	6.27	4.44	3.27	2.67	1115.40	59.35	7.03	0.24	15.08	12.30	0.24	98.94	249.81	0.82
3	18.29	10.68	6.31	4.38	3.47	1162.20	64.30	6.61	0.28	24.61	9.60	0.15	99.17	221.39	0.83
3	14.14	6.31	5.28	3.67	2.89	1146.60	67.76	5.64	0.20	20.64	11.40	0.23	98.91	235.43	0.79
3	21.00	10.29	6.87	5.15	4.11	1185.60	74.93	6.97	0.30	21.49	12.30	0.23	98.90	216.23	0.79
3	24.55	8.74	5.40	4.03	3.14	1158.30	57.71	7.85	0.24	16.13	11.80	0.23	98.80	222.42	0.85
3	12.74	6.40	4.31	3.24	2.62	1103.70	72.38	7.59	0.32	18.78	9.30	0.16	98.99	250.86	0.81
3	24.33	8.76	5.60	4.14	3.15	1158.30	57.70	7.67	0.24	16.12	11.80	0.23	98.89	222.39	0.86
3	21.11	10.24	6.13	5.14	4.53	1248.00	74.93	6.97	0.30	21.49	12.30	0.23	98.90	216.23	0.79
3	22.74	10.40	6.32	4.24	3.70	1185.60	72.38	7.59	0.32	18.78	9.30	0.16	98.98	250.85	0.81
4	24.00	9.34	5.67	3.61	2.79	1076.40	70.07	6.85	0.27	21.54	13.50	0.23	85.20	256.23	0.85
4	16.29	6.79	4.38	3.21	2.57	998.40	78.54	6.27	0.27	23.88	9.70	0.13	89.59	217.51	0.85

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

อายุ	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflece	work	stiff	brix	acid	moit	w	spec
4	19.29	6.94	4.37	3.30	2.51	982.80	69.92	4.00	0.11	23.89	12.70	0.15	87.45	293.87	0.85
4	28.29	8.80	5.17	3.70	2.83	1092.00	56.04	7.05	0.25	20.50	12.50	0.20	85.98	259.08	0.83
4	24.69	7.79	4.72	3.39	2.67	1014.00	55.62	6.08	0.20	18.30	13.90	0.13	85.88	234.54	0.86
4	22.29	9.04	5.55	4.00	3.10	1123.20	57.77	6.22	0.22	20.23	12.20	0.18	87.51	252.93	0.84
4	12.00	7.51	4.92	3.79	2.94	1123.20	57.16	6.25	0.21	17.82	12.20	0.14	86.75	191.73	0.82
4	12.11	7.53	4.92	3.78	2.96	1123.20	57.16	6.25	0.21	17.82	12.20	0.13	86.74	191.72	0.82
4	24.69	7.79	4.69	3.43	2.68	1014.00	55.37	6.82	0.20	18.25	13.90	0.18	85.89	234.32	0.86
4	22.27	9.03	5.55	4.01	3.13	1158.30	57.74	6.28	0.23	20.23	12.20	0.14	87.56	251.93	0.84
5	16.83	8.23	5.09	3.70	2.98	936.00	58.89	7.46	0.26	16.37	11.40	0.14	88.10	216.73	0.84
5	18.00	7.77	5.02	3.71	2.89	920.40	61.60	7.97	0.30	18.66	9.30	0.22	87.95	260.92	0.81
5	10.90	5.25	3.75	2.85	2.35	858.00	66.26	6.72	0.25	21.45	14.20	0.30	84.74	221.08	0.85
5	16.83	8.23	5.09	3.70	2.98	920.40	52.57	7.37	0.19	14.65	12.60	0.21	86.82	231.55	0.82
5	14.00	6.79	4.18	3.14	2.49	904.80	60.82	6.70	0.22	15.56	12.20	0.21	86.64	208.37	0.85
5	32.40	9.60	5.65	4.11	3.13	936.00	54.51	7.65	0.18	13.76	10.20	0.21	90.07	247.72	0.85
5	10.97	5.88	3.95	3.03	2.49	904.80	57.98	6.67	0.22	18.20	11.70	0.21	86.60	270.60	0.83
5	14.11	6.79	4.18	3.13	2.49	904.80	60.82	6.69	0.21	15.56	12.20	0.21	86.62	208.64	0.86

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

อายุ	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflece	work	stiff	brix	acid	moit	w	spec
5	18.00	7.77	5.02	3.71	2.89	920.40	61.60	7.97	0.30	18.66	10.20	0.21	90.35	247.72	0.85
5	10.97	5.35	3.79	3.44	2.45	858.00	57.98	6.66	0.26	18.20	11.70	0.21	86.59	270.57	0.83
6	18.00	7.77	5.02	3.62	2.92	939.90	56.25	4.54	0.13	21.06	13.10	0.13	86.19	211.47	0.84
6	21.00	8.59	5.24	3.85	2.91	912.60	55.72	5.16	0.17	19.03	10.90	0.15	88.56	215.38	0.84
6	18.00	7.77	5.02	3.62	2.92	939.90	63.15	5.77	0.21	18.35	10.10	0.14	89.10	227.63	0.83
6	15.43	6.27	4.03	2.89	2.36	783.90	70.41	6.16	0.24	20.64	12.20	0.32	86.61	220.02	0.82
6	19.20	7.93	4.99	3.66	2.88	803.40	55.48	6.39	0.23	18.65	13.10	0.19	86.36	197.64	0.86
6	18.55	7.93	5.09	3.62	2.91	815.10	64.29	6.87	0.27	19.33	10.00	0.18	88.86	224.59	0.83
6	10.29	6.26	4.00	3.07	2.48	783.90	48.21	5.93	0.17	14.59	11.30	0.23	87.82	283.84	0.85
6	19.32	7.83	4.99	3.66	2.84	803.40	55.48	6.39	0.23	18.65	13.10	0.19	86.36	197.64	0.86
6	18.54	7.93	5.12	3.62	2.93	998.40	64.28	6.87	0.27	19.33	10.30	0.18	88.86	224.59	0.83
6	10.29	6.26	4.10	3.07	2.48	783.90	48.22	5.93	0.17	14.59	11.30	0.23	87.82	283.84	0.85
7	15.55	7.06	4.52	3.43	2.69	756.60	48.46	5.31	0.11	10.87	12.20	0.15	88.51	206.64	0.81
7	13.54	7.03	4.72	3.47	2.94	955.50	46.82	7.14	0.21	15.36	11.70	0.11	87.57	217.55	0.84
7	19.20	8.74	5.32	3.87	3.09	978.90	49.27	7.81	0.27	19.45	10.20	0.17	90.44	230.06	0.81
7	16.00	7.79	4.97	3.65	2.88	850.20	51.96	7.73	0.25	14.56	10.10	0.04	87.91	216.95	0.84

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

อายุ	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflece	work	stiff	brix	acid	moit	w	spec
7	17.60	6.87	4.61	3.20	2.56	756.60	48.62	6.30	0.20	16.02	11.70	0.13	87.40	218.47	0.79
7	24.00	8.74	4.81	3.60	2.82	803.40	47.40	7.83	0.24	17.72	9.50	0.15	89.51	249.73	0.80
7	17.08	7.66	4.92	3.56	2.89	850.20	48.64	7.80	0.25	20.52	11.50	0.17	87.31	240.93	0.83
7	17.65	6.86	4.65	3.54	2.92	955.50	48.43	6.32	0.20	16.02	11.70	0.13	87.40	218.47	0.78
7	24.03	8.74	4.80	3.60	2.84	807.30	47.40	7.83	0.24	17.72	9.50	0.15	89.51	249.73	0.80
7	17.08	7.66	4.92	3.56	2.89	850.20	48.64	7.80	0.26	20.52	11.50	0.17	87.31	240.86	0.83
8	12.00	6.00	3.95	3.00	2.38	690.30	56.08	4.20	0.12	22.44	15.00	0.22	84.35	220.66	0.84
8	17.00	6.73	4.58	3.44	2.77	807.30	44.25	5.41	0.14	15.98	11.10	0.19	88.59	225.87	0.80
8	12.00	6.70	4.50	3.43	2.74	799.50	49.78	6.92	0.25	20.69	12.00	0.23	86.80	223.28	0.82
8	25.20	8.57	5.48	3.92	3.14	900.90	40.42	6.92	0.19	17.42	13.30	0.24	85.53	215.62	0.79
8	12.34	6.37	4.25	3.11	2.53	729.30	55.07	5.43	0.19	18.81	10.20	0.21	88.89	233.15	0.85
8	11.40	5.05	3.51	2.80	2.23	643.50	53.43	7.22	0.27	18.70	11.90	0.25	87.11	228.36	0.82
8	11.40	6.37	4.25	3.11	2.53	729.30	55.43	5.68	0.19	18.33	14.20	0.15	84.60	227.08	0.81
8	17.00	6.73	4.58	3.44	2.77	854.10	44.25	5.41	0.14	15.98	11.10	0.19	88.59	225.87	0.80
8	12.00	6.70	4.50	3.43	2.74	807.30	49.78	6.92	0.25	20.69	12.00	0.23	86.80	223.28	0.82
8	11.40	5.05	3.51	2.80	2.23	643.50	55.43	5.68	0.19	18.33	14.20	0.15	84.60	227.08	0.81

ตารางผนวกที่ จ2 ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สภาวะการเก็บรักษา 20 องศาเซลเซียส และสภาวะความชื้น 90-95%RH

อายุ	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflece	work	stiff	brix	acid	moit	w	spec
1	8.00	6.17	5.85	4.15	3.72	1154.40	73.91	5.84	0.15	12.66	12.60	0.13	85.84	236.40	0.84
1	9.60	7.33	6.51	5.72	4.20	1170.00	86.74	5.45	0.21	15.93	11.80	0.19	86.82	222.92	0.84
1	9.38	6.50	5.92	4.15	3.74	1154.40	71.55	8.00	0.32	8.94	10.70	0.09	87.75	217.08	0.86
1	16.00	8.24	5.07	3.90	3.13	1138.80	70.03	5.07	0.13	13.81	12.00	0.23	86.51	231.43	0.82
1	27.00	8.24	4.43	3.31	2.56	1123.20	63.33	6.84	0.17	9.27	11.10	0.16	87.96	269.59	0.83
1	12.40	7.03	4.50	3.47	2.67	1123.20	63.47	7.90	0.21	8.04	12.10	0.18	87.33	282.28	0.80
1	8.74	5.35	4.79	3.10	2.69	1123.20	66.32	6.74	0.24	9.84	11.10	0.22	87.23	227.30	0.83
1	9.60	5.33	3.51	2.72	2.20	1092.00	86.74	5.45	0.21	15.93	12.60	0.13	85.84	236.40	0.84
1	9.38	6.50	4.92	3.15	2.74	1123.20	69.55	8.00	0.32	8.69	11.80	0.19	86.82	222.92	0.84
1	16.00	8.24	5.07	3.90	3.13	1138.80	70.03	5.07	0.13	13.81	10.70	0.09	87.75	217.08	0.86
2	27.00	8.59	5.25	3.75	2.91	1123.20	67.08	7.77	0.19	8.64	10.50	0.21	88.69	198.38	0.85
2	15.43	6.67	4.57	3.18	2.65	1076.40	64.95	5.80	0.16	11.21	12.80	0.11	86.82	204.28	0.83
2	10.56	4.97	3.47	2.59	2.09	1045.20	58.71	6.11	0.18	9.61	13.50	0.13	83.02	228.13	0.83
2	9.30	5.38	3.65	2.77	2.27	1060.80	59.56	5.44	0.17	10.94	10.80	0.18	87.37	245.97	0.84
2	10.50	5.07	4.35	3.51	3.00	1170.00	68.72	6.08	0.19	11.30	13.50	0.15	87.17	218.53	0.82
2	12.50	5.67	3.62	2.73	2.15	1045.20	64.06	6.41	0.24	10.00	12.60	0.22	85.46	285.20	0.82

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

อายุ	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflece	work	stiff	brix	acid	moit	w	spec
2	49.09	7.69	3.75	2.85	2.36	1092.00	64.47	7.39	0.21	8.72	13.10	0.18	85.03	206.38	0.87
2	16.29	7.13	4.75	3.45	2.78	1107.60	63.56	5.34	0.12	11.89	13.50	0.15	87.17	218.53	0.82
2	10.50	5.07	3.35	2.51	2.00	1045.20	58.72	6.08	0.19	9.66	12.60	0.22	85.46	285.20	0.82
2	12.50	5.67	3.62	2.73	2.15	1045.20	64.06	6.41	0.24	10.00	13.10	0.18	85.03	206.38	0.87
3	8.00	4.17	3.85	3.15	2.72	994.50	63.91	5.84	0.15	10.95	10.70	0.08	99.07	193.48	0.84
3	9.60	5.33	3.51	2.72	2.20	744.90	66.74	5.45	0.21	12.25	13.00	0.14	98.45	222.87	0.83
3	9.38	4.50	3.92	3.15	2.74	998.40	63.55	8.00	0.32	7.94	12.70	0.09	99.15	216.54	0.86
3	16.00	8.24	5.07	3.90	3.13	1158.30	50.03	5.07	0.13	9.86	13.10	0.17	98.68	288.03	0.84
3	27.00	8.24	4.43	3.31	2.56	768.30	53.33	6.84	0.17	7.80	12.20	0.08	98.75	247.17	0.82
3	12.40	7.03	4.50	3.47	2.67	854.10	53.47	7.90	0.21	6.77	15.10	0.11	83.58	216.68	0.83
3	8.74	4.35	3.79	3.10	2.69	893.10	66.32	6.74	0.24	9.84	12.60	0.13	98.87	209.89	0.84
3	9.60	5.33	3.51	2.72	2.20	744.90	66.74	5.45	0.21	12.25	13.00	0.14	98.45	222.87	0.83
3	9.38	4.50	3.92	3.15	2.74	998.40	63.55	8.00	0.32	7.94	12.70	0.09	99.15	216.54	0.86
3	16.00	8.24	5.07	3.90	3.13	1158.30	50.03	5.07	0.13	9.86	13.10	0.17	98.68	288.03	0.84
4	27.00	6.59	5.25	3.75	2.91	936.00	57.08	7.77	0.19	7.35	11.00	0.21	88.69	202.64	0.81
4	15.43	5.67	4.57	3.18	2.65	889.20	47.95	5.80	0.16	8.27	12.00	0.11	86.93	194.74	0.84

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

อายุ	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflece	work	stiff	brix	acid	moit	w	spec
4	10.56	4.97	3.47	2.59	2.09	764.40	58.71	6.11	0.18	9.61	12.10	0.14	87.12	255.74	0.84
4	9.30	5.38	3.65	2.77	2.27	858.00	59.56	5.44	0.17	10.94	13.00	0.10	87.37	232.77	0.85
4	10.50	5.07	3.35	2.51	2.00	764.40	58.72	6.08	0.19	9.66	12.50	0.15	87.17	189.31	0.86
4	12.50	5.67	3.62	2.73	2.15	858.00	64.06	6.41	0.24	10.00	13.00	0.16	99.83	223.73	0.83
4	49.09	6.69	3.75	2.85	2.36	873.60	54.47	7.39	0.21	7.37	11.90	0.11	86.84	218.89	0.82
4	16.29	6.13	4.75	3.45	2.78	904.80	53.56	5.34	0.12	10.02	10.90	0.14	88.98	210.18	0.74
4	10.50	5.07	3.35	2.51	2.00	764.40	58.72	6.08	0.19	9.66	12.50	0.15	87.17	189.31	0.86
4	12.50	5.67	3.62	2.73	2.15	858.00	64.06	6.41	0.24	10.00	13.00	0.10	99.83	223.73	0.83
5	8.67	4.01	3.00	2.40	2.02	780.00	68.09	7.26	0.21	9.37	12.10	0.23	87.93	229.50	0.81
5	18.55	5.51	3.92	3.01	2.49	842.40	55.26	5.34	0.16	10.35	14.50	0.18	85.01	218.18	0.83
5	13.14	5.70	3.57	2.07	1.70	764.40	58.42	6.99	0.19	8.36	12.80	0.16	86.94	216.69	0.82
5	14.54	6.46	3.17	2.49	2.03	780.00	41.70	6.64	0.16	6.28	9.90	0.17	89.96	212.51	0.78
5	19.54	6.46	3.90	2.04	1.71	764.40	56.20	7.87	0.20	7.14	14.20	0.15	85.53	205.03	0.84
5	21.00	5.60	3.73	2.99	2.24	826.80	42.21	8.02	0.18	5.26	12.10	0.10	86.57	217.19	0.78
5	16.20	5.60	3.27	2.77	2.11	826.80	61.20	5.56	0.19	11.02	13.00	0.16	86.53	208.98	0.84
5	18.55	6.51	3.92	3.01	2.69	889.20	55.26	5.34	0.21	10.35	14.50	0.18	85.01	218.18	0.83

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

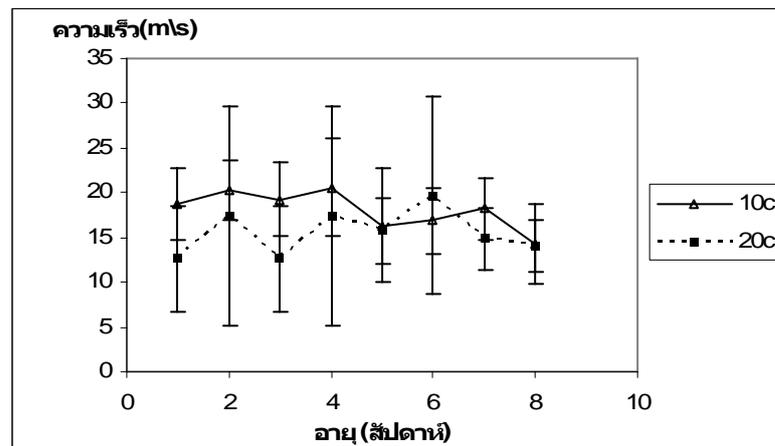
อายุ	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflece	work	stiff	brix	acid	moit	w	spec
5	13.14	5.70	3.57	2.07	1.70	764.40	58.42	6.99	0.20	8.36	12.80	0.16	86.94	216.69	0.82
5	14.54	6.46	3.17	2.69	2.03	780.00	41.70	6.64	0.17	6.28	9.90	0.17	89.96	212.51	0.78
6	23.54	4.79	3.20	2.24	2.07	772.20	42.42	6.88	0.16	6.16	11.40	0.09	86.85	219.20	0.84
6	16.29	5.51	3.73	2.58	2.17	780.00	50.80	6.60	0.17	7.69	1.00	0.20	87.26	220.49	0.83
6	18.00	5.00	3.40	2.59	1.98	764.40	57.39	5.40	0.18	10.63	12.20	0.17	87.17	216.66	0.83
6	22.40	6.64	4.45	3.00	2.70	936.00	37.47	5.48	0.12	6.84	11.50	0.10	87.47	231.50	0.79
6	19.29	5.39	3.57	2.56	2.20	803.40	45.25	7.04	0.18	6.43	11.90	0.17	98.91	257.90	0.83
6	11.14	5.04	3.17	2.51	2.22	807.30	47.00	6.16	0.15	7.63	11.20	0.08	87.59	215.81	0.81
6	12.55	5.55	3.36	2.08	1.31	717.60	58.34	6.86	0.19	8.50	12.40	0.15	87.91	227.29	0.83
6	50.40	6.60	4.01	3.07	2.57	811.20	43.50	7.13	0.16	6.10	10.40	0.14	88.13	219.52	0.81
6	19.29	5.39	3.57	2.56	2.00	764.40	45.25	7.04	0.18	6.43	11.90	0.17	98.91	257.90	0.83
6	11.14	4.04	3.17	2.51	2.02	764.40	47.00	6.16	0.15	7.63	11.20	0.08	87.59	215.81	0.81
6	12.55	4.55	3.36	2.48	2.01	764.40	58.34	6.86	0.18	8.50	12.40	0.15	87.91	227.29	0.83
7	15.58	4.31	3.22	2.21	2.06	780.00	55.53	5.78	0.17	9.61	11.70	0.11	86.82	234.12	0.83
7	10.87	4.88	3.50	2.65	2.20	799.50	56.67	6.48	0.19	8.75	13.20	0.12	86.29	220.07	0.82
7	14.54	4.92	3.52	2.36	2.04	772.20	41.14	6.91	0.15	5.96	9.40	0.13	89.10	226.21	0.76

ตารางผนวกที่ จ2 (ต่อ)

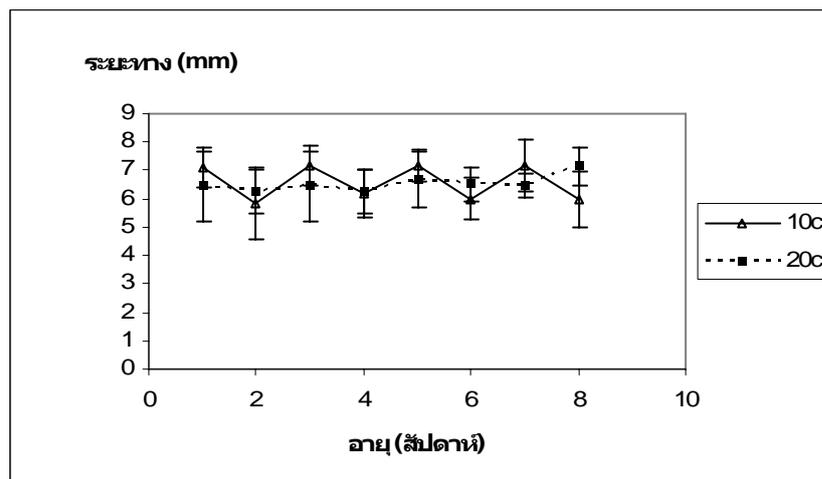
อายุ	v1	v2	v3	v4	v5	f	max	deflece	work	stiff	brix	acid	moit	w	spec
7	17.00	5.68	3.11	2.07	1.04	690.30	56.60	6.78	0.16	8.35	10.20	0.17	86.95	228.18	0.75
7	22.29	4.74	3.54	2.95	2.37	850.20	42.83	6.62	0.15	6.47	9.40	0.09	89.08	225.21	0.82
7	13.09	4.55	4.00	2.20	1.17	741.00	54.55	6.51	0.19	8.38	11.90	0.11	85.63	217.62	0.81
7	15.58	4.31	3.22	2.21	1.86	752.70	55.53	5.78	0.17	9.61	11.70	0.11	86.82	234.12	0.83
7	10.87	3.88	2.50	2.65	2.20	799.50	56.67	6.48	0.20	8.75	13.20	0.12	86.29	220.07	0.82
7	14.54	4.92	3.52	2.36	1.84	752.70	41.14	6.91	0.15	5.96	9.40	0.13	89.10	226.21	0.76
8	11.69	3.88	3.00	2.00	1.52	678.60	42.30	7.70	0.21	5.49	10.90	0.13	87.86	217.29	0.78
8	12.00	4.40	3.36	2.31	1.87	783.90	44.50	7.54	0.15	5.91	9.60	0.13	89.15	220.52	0.76
8	9.94	4.40	3.17	2.24	1.54	694.20	35.59	8.02	0.18	4.44	10.60	0.07	87.13	234.10	0.78
8	19.29	7.60	5.40	2.88	2.29	815.10	44.49	7.32	0.19	6.08	12.20	0.13	86.57	215.16	0.79
8	12.55	4.55	3.57	2.39	1.84	767.19	51.90	6.02	0.18	8.62	11.00	0.18	87.75	188.40	0.85
8	13.75	5.03	4.12	2.47	2.00	795.60	41.93	7.41	0.19	5.66	9.80	0.18	89.14	218.89	0.78
8	17.00	5.60	3.57	2.56	2.02	803.40	52.26	7.07	0.23	7.39	11.40	0.14	86.65	187.00	0.83
8	12.55	4.55	3.57	2.39	1.84	767.19	51.90	6.02	0.18	8.62	11.00	0.18	87.75	188.40	0.85
8	13.75	5.03	3.72	2.47	2.01	799.50	41.93	7.41	0.19	5.66	9.80	0.18	89.14	218.89	0.78
8	17.00	5.60	3.57	2.56	2.02	803.40	52.26	7.07	0.23	7.39	11.40	0.14	86.65	187.00	0.83

**ภาคผนวก จ**

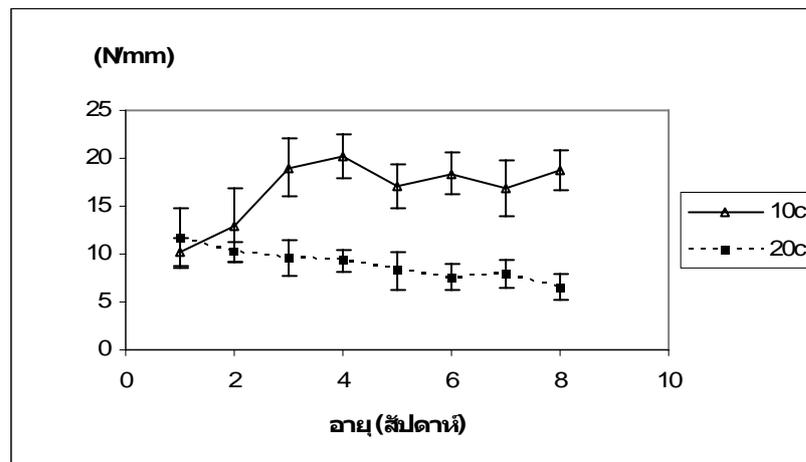
ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆกับอายุการเก็บรักษา



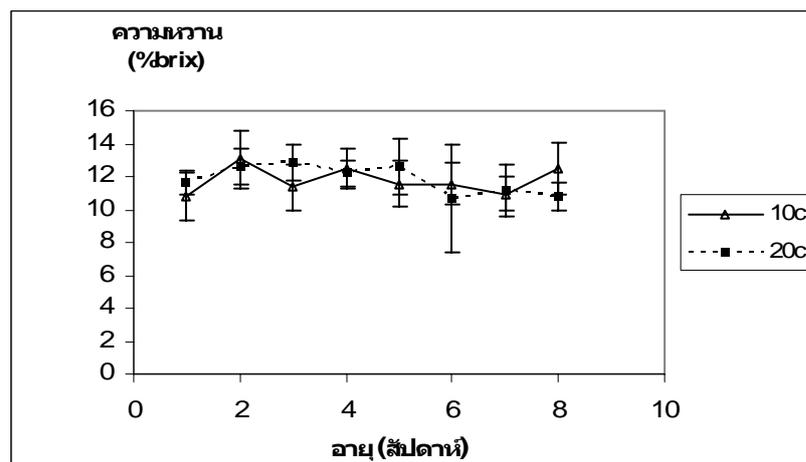
ภาพผนวกที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วที่ 1 (m/s) และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



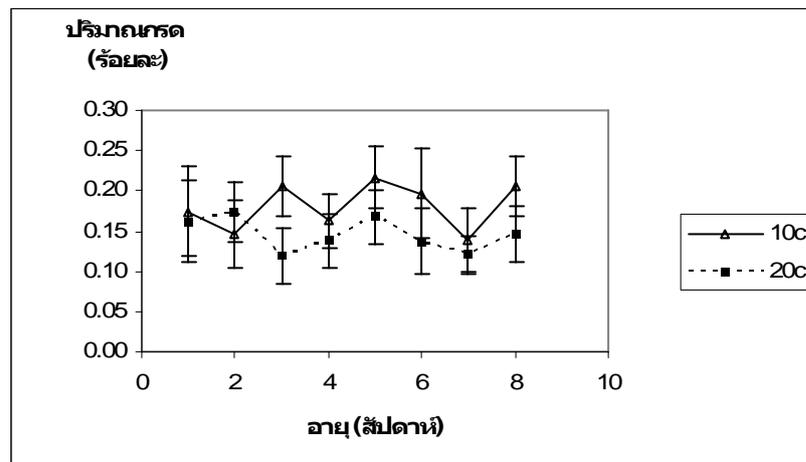
ภาพผนวกที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะทางที่เริ่มกคจนถึงระยะแรงกคสูงสุด (mm) อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



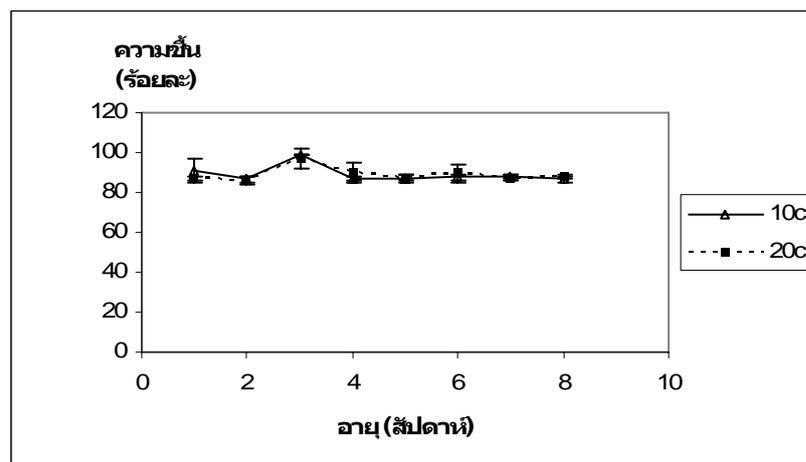
ภาพผนวกที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า stiffness และอายุการเก็บรักษา (ปี) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



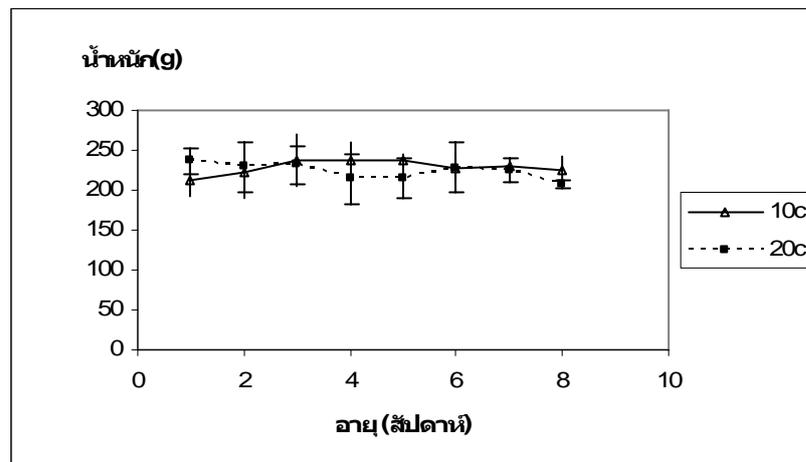
ภาพผนวกที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (% brix) และอายุการเก็บรักษา (ปี) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



**ภาพผนวกที่ 12** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดที่ไตตรวจได้ และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



**ภาพผนวกที่ 13** ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%



ภาพผนวกที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรับ (กรัม) และอายุการเก็บรักษา (สัปดาห์) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส และ 20 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95%

ภาคผนวก จ  
การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

การวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis) เป็นเทคนิคใช้ในการแบ่งกลุ่มคน สัตว์ องค์กรหรือสิ่งของ ฯลฯ (ในที่นี้จะใช้คำว่า case) ออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป โดย case ที่อยู่กลุ่มเดียวกันจะคล้ายกัน case ที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะแตกต่างกัน และ case ใด case หนึ่ง จะต้องอยู่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเพียงกลุ่มเดียว

ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรที่ทำให้กลุ่มแตกต่างกัน เรียกว่า ตัวแปรจำแนกกลุ่ม (Discriminator Variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่นำมาใช้ในการแบ่งกลุ่ม ในงานวิจัยนี้คือ พารามิเตอร์ต่างๆ

ตัวแปรตามหรือตัวแปรจัดกลุ่ม (grouping variables) ในงานวิจัยนี้หมายถึง อายุการเก็บรักษา

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจะอยู่ในรูปเชิงเส้นดังนี้

$$D = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + e \quad (20)$$

โดยที่  $D$  = เป็นตัวแปรตาม

$X_1, X_2, \dots, X_p$  เป็นตัวแปรอิสระหรือตัวแปรจำแนกกลุ่ม;  $p \geq 1$

$e$  = ค่าความคลาดเคลื่อน

สมการที่ (20) เรียกว่า ฟังก์ชันจำแนกกลุ่ม (Discriminant Function) หรือ สมการจำแนกกลุ่ม หรือ Fisher Discriminant Function

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวเกศดาพร วงษ์ซิ้ม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2520
สถานที่เกิด	มหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	วศ.บ.(วิศวกรรมการผลิต) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2545
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-