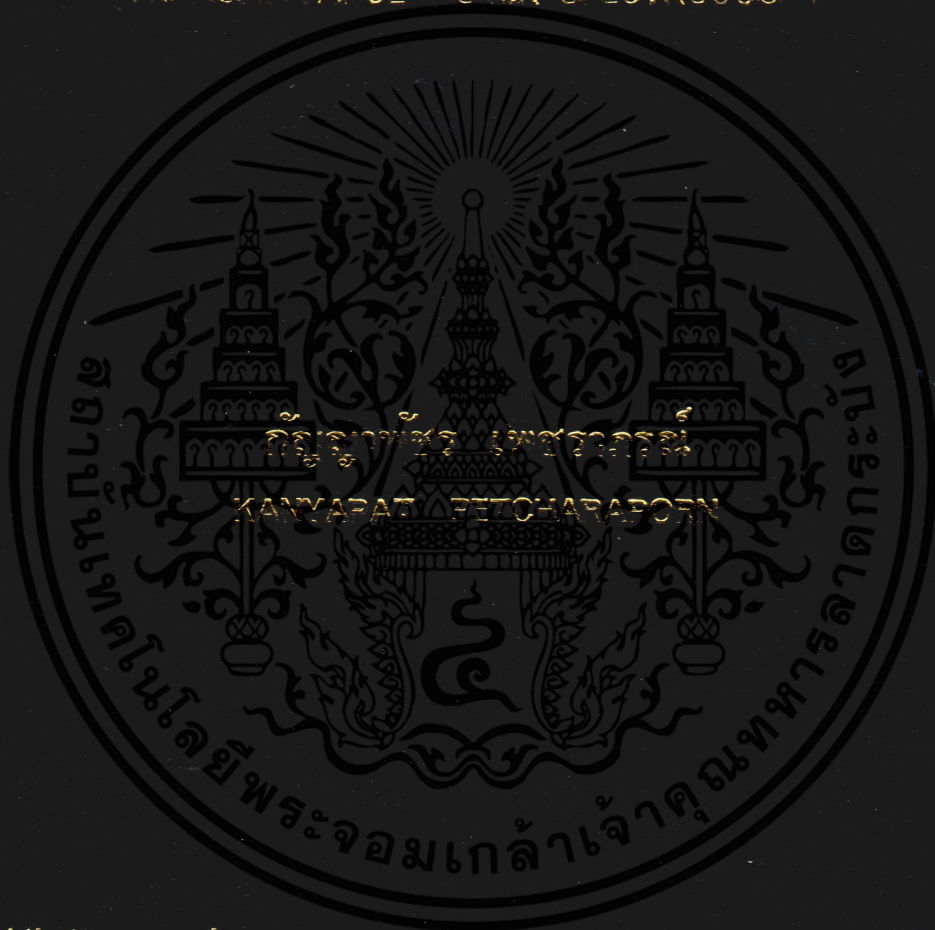


การทำนายการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสเปกตรามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรด  
แบบทะลุผ่าน

NON-DESTRUCTIVE DETECTION OF INTERNAL MOLD  
INFECTION AND DISCOLORATION OF TOMATO BY  
TRANSMITTANCE VIS-NIR SPECTROSCOPY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2555

KMITL-2012-AI-M-053-162

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำนายการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน

NON-DESTRUCTIVE DETECTION OF INTERNAL MOLD INFECTION AND DISCOLORATION OF TOMATO BY TRANSMITTANCE VIS-NIR SPECTROSCOPY



T123753

กัญญาพัชร เพ็ชรภรณ์

KANYAPAT PETCHARAPORN

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 123753  
รับ, เดือน, ปี 28 11 2555

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2555

KMITL-2012-AI-M-053-162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**NON-DESTRUCTIVE DETECTION OF INTERNAL MOLD  
INFECTION AND DISCOLORATION OF TOMATO BY  
TRANSMITTANCE VIS-NIR SPECTROSCOPY**



**KANYAPAT PETCHARAPORN**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SCIENCE  
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2012  
KMITL-2012-AI-M-053-162**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2012**

**FACULTY OF AGRO-INDUSTRY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะอุตสาหกรรมเกษตร**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

**หัวข้อวิทยานิพนธ์**

การทำนายการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ แบบไม่ทำลาย โดยใช้เทคนิคแสงช่วงสเปกตรัมมองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน  
 Non-destructive detection of internal mold infection and discoloration of tomato by transmittance Vis-NIR spectroscopy

**ชื่อนักศึกษา**

**รหัสประจำตัว**

**ปริญญา**

**สาขาวิชา**

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์**

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม**



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ	
ดร.กิตติชัย คุรุรังษิ์	
ดร.ระจิตร สุวานิช	
รศ.ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศักรกุล	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 26 ตุลาคม 2555 เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



วันที่ 31 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำนายการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน
นักศึกษา	นางสาวกัญญาพัชร เพชรารภณ์
รหัสประจำตัว	53680210
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตรการอาหาร
พ.ศ.	2555
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ

### บทคัดย่อ

คุณลักษณะภายนอกของมะเขือเทศ อาทิ ความสด สี ขนาด เป็นคุณลักษณะที่ใช้ในกระบวนการคัดแยกมะเขือเทศ โดยลักษณะการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศนั้น เป็นลักษณะที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการทำนายการเกิดเชื้อรา ความผิดปกติของสีและระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรา และความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็นและย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน (Vis-NIR) โดยทำการศึกษา ในมะเขือเทศที่ปนเปื้อนเชื้อราจำนวน 100 ผล มะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสี จำนวน 100 ผล และมะเขือเทศปกติจำนวน 100 ผล โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ (PLS-DA) พบว่าสามารถทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศได้ถึง 91.7% จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วย standard normal variate transformation (SNV) และ smoothing (Savitsky-Golay) และสามารถทำนายความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศได้ 88.3% จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วย standard normal variate transformation (SNV), smoothing (median filter) และ differentiation (first derivative) ในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ เมื่อศึกษาการทำนายระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสี โดยพิจารณาจากอัตราส่วนพื้นที่ที่ผิดปกติต่อพื้นที่ทั้งหมดในผลมะเขือเทศนั้นพบว่า เมื่อระดับความรุนแรงของเชื้อราความผิดปกติของสีเพิ่มมากขึ้น เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยระดับความรุนแรงของเชื้อราน้อย ปานกลาง มาก มีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายเท่ากับ 82.2% 82.4% 90.0% และความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อย กลาง มาก มีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนาย

เท่ากับ 79.3% 81.1% และ 88.5% ตามลำดับ ในส่วนของการศึกษาความแม่นยำในการทำนาย % ของพื้นที่ที่เกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ (PLSR) นั้นพบว่าทำนาย % ของพื้นที่ที่เกิดเชื้อราใน ได้ไม่ดี แต่สามารถทำนาย % ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติของสีได้แม่นยำปานกลาง ( $R = 0.63$ ,  $RMSEP = 9.17$ )

การทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ในมะเขือเทศ ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ (PLSR) พบว่าให้ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ในผลมะเขือเทศได้แม่นยำดีมาก ( $R = 0.92$ ,  $RMSEP = 0.32$ ) จากการปรับแต่งสเปกตราคด้วย smoothing (Savitsky-Golay) และให้ความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ในผลมะเขือเทศได้แม่นยำดี ( $R = 0.81$ ,  $RMSEP = 0.05$ ) จากการปรับแต่งสเปกตราคด้วย MSC เช่นกัน

คำสำคัญ: มะเขือเทศ เชื้อรา ผิดปกติของสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้



<b>Thesis Title</b>	Non-destructive detection of internal mold infection and discoloration of tomato by transmittance Vis-NIR spectroscopy.
<b>Student</b>	Miss Kanyapat Petcharaporn
<b>Student ID</b>	53680210
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food science
<b>Year</b>	2012
<b>Thesis Advisor</b>	Assist. Prof. Dr. Sontisuk Teerachaichayut

## ABSTRACT

The external characteristics of tomatoes such as freshness, color and size are typically used in quality control process. However, internal mold infection and discoloration of tomatoes can not be sorted by visible assessment alone. In this study, a non-destructive technique was used to predict the internal mold infection and discoloration of tomatoes using transmittance visible and near infrared (Vis-NIR) spectroscopy. Acquired spectra from 100 samples of internal mold infection tomatoes, 100 samples of discolored tomatoes and 100 samples of normal tomatoes were used in conjunction with partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA). Combined spectral pretreatments of standard normal variate transformation (SNV) and smoothing (Savitsky-Golay) gave result as 91.7% accuracy of internal mold prediction and combined spectral pretreatments of standard normal variate transformation (SNV), smoothing (median filter) and differentiation (first derivative) gave 88.3% accuracy of discoloration prediction on test set. Moreover the study of prediction accuracy on severity of mold infection and discoloration of tomatoes showed that percent of accuracy prediction would be increased when the levels of severity of mold infection and discoloration increase as 82.2%, 82.4%, 90.0% for low, medium and high level in mold infection and 79.3% 81.1% 88.5% for low, medium and high level in discoloration of tomato. For quantitative analysis, calibration model for severity of mold infection and discoloration of tomato were developed using PLSR. The result obtained poor correlation for

internal mold prediction and obtained medium correlation for discoloration prediction ( $R = 0.63$ ,  $RMSEP = 9.17$ ).

The prediction of total soluble solid content and titratable acidity of tomato were developed using PLSR. The result obtained very good correlation for total soluble solid prediction ( $R = 0.92$ ,  $RMSEP = 0.32$ ) in test set and obtained good correlation for titratable acidity prediction ( $R = 0.81$ ,  $RMSEP = 0.05$ ) in test set also.

**Keywords:** tomato, internal mold, discoloration, total soluble solid, titratable acidity



# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากการได้รับคำแนะนำ และความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้าคือ ผศ.ดร. สนธิสุข ชีระชัยชยุติ ในการให้คำแนะนำ และ การทำความเข้าใจ ตลอดจนเทคนิคในการวิเคราะห์ต่างๆ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการฝ่ายเทคโนโลยีพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงธุรกิจ สถาบันคีนคว่าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย และขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัยทั้งหมดมา ณ ที่นี้ด้วย

กัญญาพัชร เพชรภรณ์



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 สมมุติฐานงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะเขือเทศ.....	6
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	15
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	15
3.2 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	15
3.3 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ.....	16

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การวิเคราะห์การเกิดเชื้อรา และความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ ด้วยเทคนิคร่วมระหว่างคอมพิวเตอร์ กล้องดิจิทัล และ graphic software.....	17
3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	17
3.6 การวิเคราะห์ความแม่นยำในการทำนาย.....	19
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....</b>	<b>24</b>
4.1 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ...	24
4.2 ความแม่นยำในการทำนาย การเกิดเชื้อราตามระดับความรุนแรงเชิง คุณภาพ ภายในผลมะเขือเทศ.....	27
4.3 ความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราเชิง ปริมาณ ภายในผลมะเขือเทศ.....	30
4.4 ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีเชิงคุณภาพภายใน ผลมะเขือเทศ.....	33
4.5 ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสี ตามระดับความรุนแรงเชิง คุณภาพภายในผลมะเขือเทศ.....	37
4.6 ความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรง ของความผิดปกติของสีเชิง ปริมาณภายในผลมะเขือเทศ.....	39
4.7 ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้.....	42
4.8 ความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้.....	44
4.9 การหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายใน ผลมะเขือเทศกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรด.....	46
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>51</b>

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก.....	57
ภาคผนวก ก การหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศด้วย โปรแกรม Photoshop.....	58
ภาคผนวกการหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของความผิดปกติของสีภายในผล มะเขือเทศด้วยโปรแกรม Photoshop.....	64
ประวัตินักวิจัย.....	70

# สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA....	25
4.2	แสดง% ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	26
4.3	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายตามระดับความรุนแรงของเชื้อราเชิงคุณภาพของกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	28
4.4	ค่าทางสถิติของมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	31
4.5	ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม.....	32
4.6	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA.....	34
4.7	แสดง%ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	35
4.8	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายตามระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีเชิงคุณภาพ.....	37
4.9	ค่าทางสถิติของมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	40
4.10	ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม.....	41
4.11	ค่าทางสถิติของมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	42
4.12	ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้.....	43

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.13	ค่าทางสถิติของมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	44
4.14	ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้.....	45
4.15	ตารางANOVA จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ของค่าเคมีในมะเขือเทศกลุ่มปกติและกลุ่มเชื้อรา.....	48
4.16	เปอร์เซ็นต์ของปริมาณกรดของความร้อนเชื้อราทั้งสามระดับ.....	48
4.17	ตาราง ANOVA จากการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าเคมีในมะเขือเทศกลุ่มที่มีความผิดปกติของสี.....	49
4.18	เปอร์เซ็นต์ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรด ของระดับความร้อนความผิดปกติของทั้งสามระดับ.....	50

# สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	มะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผล.....	4
1.2	มะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสี.....	4
2.1	มะเขือเทศราชินี.....	7
2.2	มะเขือเทศสีดา.....	8
2.3	มะเขือเทศลูกท้อ.....	8
3.1	รูปตัวอย่างมะเขือเทศที่มีระดับความรุนแรงของเชื้อราในผลมะเขือเทศ น้อย (a), กลาง (b), มาก (c).....	22
3.2	รูปตัวอย่างมะเขือเทศที่มีระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสี น้อย (a), กลาง (b), มาก (c).....	23
4.1	ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมะเขือเทศปกติและมะเขือเทศเชื้อรา.....	24
4.2	ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากการปรับแต่งสเปกตราคด้วย standard normal variate transformation (SNV) และ smoothing (Savitzky-Golay).....	25
4.3	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราของกลุ่มที่ใช้สร้าง สมการ (a) และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (b).....	27
4.4	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกตามระดับความรุนแรงของเชื้อรา น้อย (a), กลาง (b), มาก (c).....	29
4.5	ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของระดับความรุนแรงของเชื้อราระดับต่างๆ.....	31
4.6	ค่า regression coefficients ของกลุ่มที่ใช้สร้างสมการทำนายความรุนแรง ของเชื้อรา.....	32
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริง กับค่าที่ได้จากการทำนาย ของความรุนแรง การเกิดเชื้อราในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	32
4.8	ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมะเขือเทศปกติและมะเขือเทศที่มีความ ผิดปกติของสี.....	33
4.9	ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากการปรับแต่งสเปกตราคด้วย standard normal variate transformation (SNV), smoothing (median filter) และ differentiation (first derivative).....	34

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.10	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสี ของกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ (a) และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (b).....	36
4.11	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกตามระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อย (a), กลาง (b), มาก (c).....	38
4.12	ค่าการดูคลิ่นแสงเฉลี่ยของระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีระดับต่างๆ.....	40
4.13	ค่า regression coefficients ของกลุ่มที่ใช้สร้างสมการทำนายความรุนแรงของความผิดปกติของสี.....	41
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายความรุนแรงของความผิดปกติของสีในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	41
4.15	ค่าการดูคลิ่นแสงเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระดับต่างๆ.....	42
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริง กับค่าที่ได้จากการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	43
4.17	ค่าการดูคลิ่นแสงเฉลี่ยของปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ระดับต่างๆ.....	44
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนาย ปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ ในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ.....	45
4.19	ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (a) และปริมาณกรด (b) ในมะเขือเทศทั้งสามกลุ่ม.....	46
4.20	ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (a) และปริมาณกรด (b) ของความรุนแรงเชื้อราทั้ง 3 ระดับ.....	47
4.21	ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (a) และปริมาณกรด (b) ของความรุนแรงผิดปกติสีทั้ง 3 ระดับ.....	49

# อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

nm.

นาโนเมตร

NIRS

near infrared spectroscopy

Vis-NIRS

visible near infrared spectroscopy

PLSR

partial least square regression

PLS-DA

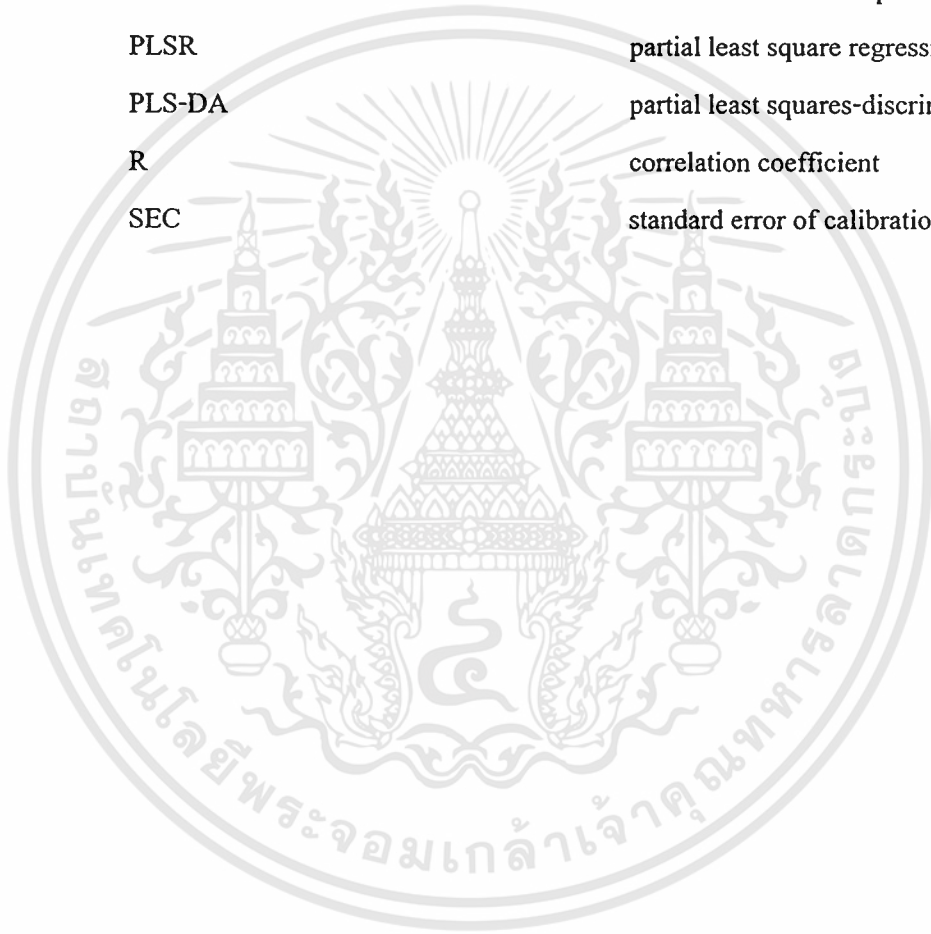
partial least squares-discriminant

R

correlation coefficient

SEC

standard error of calibration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) จัดเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทั้งในแง่ของผักอุตสาหกรรมและผักที่บริโภคสด ปริมาณการส่งออกมะเขือเทศสดและแช่เย็นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยในปี พ.ศ.2553 มีมูลค่าส่งออก 10.4 ล้านบาท และในปีพ.ศ.2554 มีมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้นถึง 16.1 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) มะเขือเทศที่ปลูกในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ มะเขือเทศชนิดรับประทานผลสด และมะเขือเทศสำหรับอุตสาหกรรม เพื่อส่งให้โรงงาน ทำเป็นผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูป โดยมะเขือเทศสำหรับส่งให้โรงงานทำเป็นผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูปนั้น ส่วนใหญ่เป็นมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อ ซึ่งเป็นมะเขือเทศผลโตเนื้อแข็งหรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มะเขือเทศโรงงาน ซึ่งมีผลรีค่อนข้างกลม ผลขนาดกลางสีแดงสด มีเนื้อมาก เมล็ดน้อย และพันธุ์สำหรับส่งโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับทำผลิตภัณฑ์มะเขือเทศแปรรูป เช่น ซอสมะเขือเทศเข้มข้น (paste) และน้ำมะเขือเทศได้แก่พันธุ์วีเอฟ 134-1-2, P502, และ P600 เป็นต้น (เกตุอร, 2555) โดยส่วนใหญ่โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศนั้น จะมีการรับมะเขือเทศมาจากเกษตรกรผู้ปลูก และผ่านกระบวนการคัดแยกตามคุณภาพและลักษณะตามที่โรงงานกำหนดไว้ ก่อนจะถึงกระบวนการแปรรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ต่อไป ซึ่งกระบวนการคัดแยกมะเขือเทศนั้น อาจมีการคัดแยกตามขนาด ความสด สี และลักษณะภายนอกอื่นๆ ซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่ถ้าพิจารณาถึงลักษณะปรากฏภายใน ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อาทิเช่น การเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ โดยเกิดจากขณะที่ดอกมะเขือเทศบานนั้น เชื้อราในอากาศได้ตกลงไปบริเวณภายในของดอก และเจริญอยู่บริเวณนั้น เมื่อดอกเจริญต่อไปเป็นผลได้หุ้มปิดเชื้อราไว้ ซึ่งเชื้อราบางชนิดสามารถเจริญได้ในสภาพอากาศน้อย แต่มีความชื้นและอาหารเพียงพอ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550) อีกทั้งการเกิดความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ โดยเกิดจากการที่ภายในของผลมะเขือเทศนั้นสุกช้ากว่าส่วนอื่นๆ แม้ว่าภายนอกของมะเขือเทศจะสุกทั่วทั้งผลและปรากฏสีแดงสดแล้วก็ตาม ซึ่งขณะรับวัตถุดิบทางโรงงานจะไม่สามารถทราบได้เลย ถ้าไม่ได้มีการผ่านมะเขือเทศนั้นออกมาตรวจสอบ ซึ่งการผ่าออกเพื่อตรวจสอบแบบลูกต่อลูกนั้นก็จะเป็นการทำลายตัวอย่างมะเขือเทศและไม่สามารถกระทำได้ในทางปฏิบัติ โดยการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทศไม่เพียงแต่จะสร้างความเสียหายต่อคุณภาพของวัตถุดิบเท่านั้น แต่ยังส่งผลถึงอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค จากการบริโภคผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมะเขือเทศที่มีเชื้อรา อีกทั้งการเกิดความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศก็อาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งยังมีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่งผลให้ยากต่อการควบคุมลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย การใช้เทคนิคความยาวคลื่น ช่วงสายตามองเห็นและใกล้อินฟราเรด (visible and near infrared spectroscopy) นั้น เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานของโมเลกุลของสาร โดยอาศัยหลักการของการเกิดการสั่น (vibration) ของโมเลกุล ในช่วงความยาวคลื่นย่าน near infrared โดยพลังงานจะถูกถ่ายทอดไปยังโมเลกุลของสารทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลขึ้น

มีนักวิจัยนำเทคนิค NIRS นี้ มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของผักและผลไม้หลายชนิด อาทิเช่น Kawano และคณะ (1992) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ NIR ด้วย fiber optic probe ในผลพีช พันธุ์ Shimizu Hakuto ในช่วงความยาวคลื่น 680-1235 นาโนเมตร โดยใช้สเปกตรัมที่ปรับแต่งด้วย second derivative สามารถสร้างสมการ calibration และนำสมการไปทดสอบได้ผลการทำนายที่แม่นยำ

ศิรินนภา และคณะ (2544) ได้พัฒนาสมการ calibration สำหรับประเมินค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และน้ำหนักแห้งของมะม่วง โดยได้ผลการทดสอบที่แม่นยำ

McGlone และคณะ (1998) ได้ประเมินความแน่นเนื้อ น้ำหนักแห้งและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของผลกีวีโดยใช้เทคนิค NIRS (near infrared spectroscopy) ทำการวัดผลกีวีจากแหล่งต่างๆ กัน ในช่วงคลื่น 400- 700 นาโนเมตร และ 700-1,000 นาโนเมตร นำข้อมูลมาวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างที่นำมาวัดควรจะมีหลากหลายในด้านของแหล่งเพาะปลูก อายุ และขนาด เพื่อให้สามารถสร้างสมการมีความครอบคลุมเมื่อนำไปใช้ทำนาย

นอกจากนี้ก็ได้มีการนำเอาเทคนิค NIRS ใช้ตรวจสอบคุณภาพของผักและผลไม้ต่างๆ เช่น ใช้ในการตรวจวัดน้ำตาลทั้งหมด ซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส ในกล้วย (Tarkosova และ Copikova, 2000) วัดค่าบrix ความแน่นเนื้อในผลเชอร์รี่ (Lu, 2001) วัดความแน่นเนื้อ น้ำหนักแห้งในแตงกวา (Kavdir, 2007) วัดค่าบrix ในเกรฟฟรุต (Miller และ Zude-Sasse, 2004) วัดค่าบrix ในเชอร์รี่ (Carlini และคณะ, 2000) วัดค่าบrix ของสับปะรด (Walsh และคณะ, 2004) ตรวจสอบค่าบrix ขององุ่น (Herrera และคณะ, 2003) และยังมีงานวิจัยที่ได้้นำเอา NIRS ช่วงคลื่นสั้นแบบทะลุผ่านมาใช้ในการทำนายอาการเนื้อแก้วในผลมังคุดแบบไม่ทำลาย ซึ่งได้ผลที่ดีมีความแม่นยำสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Teerachaichayut และคณะ, 2007) อีกทั้งยังมีการนำเอาเทคนิค NIRS ไปใช้กับมะเขือเทศด้วย เช่น การตรวจวัดปริมาณน้ำตาลและกรดซึ่งเป็นการทำนายคุณภาพของเนื้อมะเขือเทศ (Flores และคณะ, 2009) การแยกความแตกต่างของสายพันธุ์มะเขือเทศ และการทำนายปริมาณก๊าซเอทิลีนในมะเขือเทศ (Xie และคณะ, 2009)

Chen (2008) นำ Vis-NIR มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพภายในของมะเขือเทศอีกด้วย แต่ยังมีได้มีการทำนายการเกิดเชื้อราและลักษณะความความผิดปกติของสี ภายในผลมะเขือเทศมาก่อนหน้านี้

ดังนั้นเทคนิค NIRS ช่วงสายตามองเห็นและใกล้อินฟราเรด (Vis-NIR) จึงน่าที่จะสามารถนำมาใช้ในการทำนายการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศแบบไม่ทำลายได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อให้ได้สมการที่ใช้ในการทำนายการเกิดเชื้อรา และความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อ จากเทคนิคการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สายตามองเห็นและใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน
2. เพื่อให้ได้เทคนิคในการทำนายความรุนแรงของการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อแบบไม่ทำลาย
3. เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรด

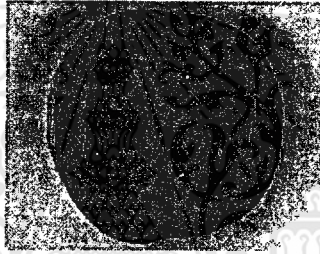
## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการสร้าง โมเดลเพื่อทำนายการเกิดเชื้อรา ความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรา และระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศแบบ ไม่ทำลาย โดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็น และย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน ซึ่งทำการศึกษาในมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อ โดยทำการสุ่มฟุ่มเพื่อและคัดเลือกมะเขือเทศที่มีความสุกแก่ ความสม่ำเสมอทั้งขนาดและสี จากท้องตลาด ที่พร้อมสำหรับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ก่อนทำการทดลอง

## 1.4 สมมุติฐานงานวิจัย

### 1.4.1 สมมุติฐานการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ

การเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ (ภาพที่ 1.1) ซึ่งเป็นราดำ *Alternaria alternata*. (Hartz และคณะ, 2008) เป็นลักษณะปรากฏของเชื้อราอยู่ตรงแกนกลางของมะเขือเทศขณะผ่าออก แต่ไม่สามารถมองเห็นได้จากลักษณะภายนอก และเชื้อรานี้ก็ยังคงปรากฏถึงแม้ว่ามะเขือเทศจะยังคงสดอยู่ก็ตาม ซึ่งเกิดจากขณะที่ดอกมะเขือเทศบานนั้น เชื้อราในอากาศได้ตกลงไปบริเวณภายในของดอกและเจริญอยู่บริเวณนั้น เมื่อดอกเจริญต่อไปเป็นผลได้หุ้มปิดเชื้อราไว้ ซึ่งเชื้อราบางชนิดสามารถเจริญได้ในสภาพอากาศน้อย แต่มีความชื้นและอาหารเพียงพอ เชื้อราที่เกิดขึ้นภายในอาจเป็นสปอร์ของเชื้อรา อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคและทำให้คุณภาพของมะเขือเทศลดลง



ภาพที่ 1.1 มะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผล

การเกิดความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ (ภาพที่ 1.2) เกิดจากการที่ส่วนในของมะเขือเทศนั้นสุกช้ากว่าส่วนอื่นๆ แม้ว่าภายนอกของมะเขือเทศจะสุกทั่วทั้งผลและปรากฏสีแดงสดแล้ว ซึ่งการเกิดความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ สร้างความเสียหายต่อคุณภาพทางกายภาพด้านสีของ ผลิตภัณฑ์ ทั้งยังทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงและยากต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย



ภาพที่ 1.2 มะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสี

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างสมการทำนายการคัดแยกมะเขือเทศที่เกิดเชื้อรา และมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภายในผล และสามารถนำหลักการตรวจสอบนี้มาปรับใช้ในการออกแบบกระบวนการคัดแยกคุณภาพมะเขือเทศแบบไม่ทำลาย ในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับการคัดแยกมะเขือเทศก่อนเข้ากระบวนการผลิต
2. เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับกระบวนการคัดแยก เพื่อให้โรงงานผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค
3. สามารถคัดแยกคุณภาพของมะเขือเทศ ซึ่งจะเป็นการยกระดับราคาของผลผลิตทางการเกษตร ทำให้ผลผลิตทางการเกษตรไม่ถูกโรงงานตัดราคาเนื่องจากปัญหาคุณภาพ จะช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น และง่ายต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรมด้วย
4. ได้ผลงานทางวิชาการและเขียนเป็นบทความตีพิมพ์เผยแพร่ เป็นส่วนหนึ่งของการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโทและเป็นความรู้ให้แก่บุคคลทั่วไป

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะเขือเทศ

#### 2.1.1 มะเขือเทศ

มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) เป็นพืชผักที่อยู่ในวงศ์ Solanaceae เป็นพืชล้มลุกอายุเพียง 1 ปี ลำต้นตั้งตรง มีลักษณะเป็นพุ่ม มีขนอ่อน ๆ ปกคลุม ใบเป็นใบประกอบออกสลับกัน ใบย่อยมีขนาดไม่เท่ากันบางใบเล็กเรียวยาวบางใบกลมใหญ่ ปลายใบแหลม ขอบใบเป็นหยักลึกคล้ายฟันเลื่อยมีขนอ่อน ๆ ออกดอกเป็นช่อหรือดอกเดี่ยวบริเวณซอกใบ ดอกมีสีเหลือง มีกลีบเลี้ยงสีเขียวประมาณ 5-6 กลีบ ผลเป็นผลเดี่ยว มีขนาดรูปร่างและสีต่างกัน ซึ่งมีขนาดเล็กประมาณ 3 เซนติเมตร จนถึงใหญ่ประมาณ 10 เซนติเมตร รูปร่างมีทั้งกลม กลมแบน หรือกลมรี ผิวนอกกลีบเป็นมัน ผลดิบมีสีเขียวหรือเขียวอมเทา เมื่อสุกจะมีสีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง เนื้อภายในน้ำด้วยน้ำ มีรสเปรี้ยว เมล็ดมีเป็นจำนวนมาก โดยมะเขือเทศทางการค้า สามารถแบ่งตามรูปร่างและขนาดได้เป็น 4 ประเภทคือ ผลกลม (round) ผลเป็นพู (ribbed) ผลยาวหรือผลรี (oblong หรือ elongated) และผลเล็ก (cherry และ cocktail) (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550) มะเขือเทศสามารถขึ้นได้ดีกับดินแทบทุกชนิด แต่ชอบดินร่วนที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินในช่วง 6.0-6.8 และความชื้นของดินพอเหมาะ ต้องการแสงแดดเต็มที่ตลอดวัน ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 21-24 องศาเซลเซียส มะเขือเทศอุตสาหกรรมมีพื้นที่ปลูกที่สำคัญคือจังหวัดบุรีรัมย์ อุดรธานี สุรินทร์ และตาก ส่วนมะเขือเทศรับประทานสดมีพื้นที่ปลูกที่สำคัญคือ จังหวัดลำปาง และ ตพบุรี

#### 2.1.2 โรคและศัตรูพืชที่สำคัญและวิธีการป้องกันกำจัด

##### 2.1.2.1 โรค

โรคเหี่ยวเฉา เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย เมื่อเกิด โรคนี้ มะเขือเทศจะแสดงอาการเหี่ยวเฉา และตายทั้งต้นอย่างรวดเร็วในเวลาเพียง 2-3 วัน อาจป้องกันโดยงดปลูกมะเขือเทศในที่ที่เป็นโรคนี้อย่างน้อย 6 ปี หรือใช้พันธุ์ต้านทานโรค

โรคเหี่ยวเหลือง เกิดจากเชื้อรา จะทำความเสียหายกับผลมะเขือเทศที่ปลูกในสภาพแวดล้อมค่อนข้างชื้นและอากาศเย็น มักเกิดในระยะที่มะเขือเทศเริ่มติดผล การป้องกันก่อนปลูกควรปรับปรุงแปลงด้วยปุ๋ยคอกและปุ๋ยขี้วัว และเมื่อโรคมะเขือเทศเริ่มติดผลให้ใช้สารกำจัดโรคพืช ฟิซีเอินบี ไวตาเวกซ์ หรือ ฟิซีเอินบี

#### 2.1.2.2 แมลง

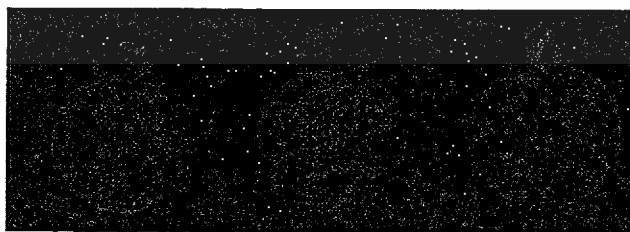
หนอนเจาะผลมะเขือเทศ แมลงจะวางไข่เดี่ยว ๆ ได้ใบใกล้กับช่อดอก กลิบเลี้ยงหรือตามยอดของลำต้น ไข่สีครีม และค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีคล้ำขึ้น การป้องกันกำจัดคือ หมั่นตรวจแปลงอย่างสม่ำเสมอในระยะก่อนติดผล และกำจัดติดผลอ่อน หรือการฉีดด้วยสารเคมีพวก โมโนไทร โดฟอส แลนเนท และยาเชื้อ

แมลงหริ่งขาว จะทำลายคุณน้ำเลี้ยงเป็นพาหะนำไวรัส สาเหตุของโรคใบหงิกเหลืองของมะเขือเทศ การป้องกันโดยใช้คาร์โบฟูแรน 1-2 กรัม หยอดกันหลุมก่อนปลูกแล้วฉีดพ่นด้วยคาร์โบซัลแฟน

### 2.1.3 พันธุ์ที่ปลูกมากในประเทศไทย

#### 2.1.3.1 มะเขือเทศราชินี

มะเขือเทศราชินี (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) วงศ์ Solanaceae หรือ มะเขือเทศเชอร์รี่ มะเขือเทศมีหลายพันธุ์ แต่มะเขือเทศกลุ่มมะเขือเทศราชินีมีผลขนาดเล็ก มีความใกล้เคียงกับมะเขือเทศที่ขึ้นเองในธรรมชาติ มะเขือเทศราชินี เป็นพืชอายุสั้นที่นำเข้ามาปลูกในประเทศไทย มะเขือเทศราชินีมีรสหวานกว่ามะเขือเทศลูกโตทั่วไป และเป็นพืชผักที่เริ่มได้รับความนิยม (กรมชลประทาน, 2555)



ภาพที่ 2.1 มะเขือเทศราชินี

ที่มา : Cho และคณะ (2013)

มะเขือเทศราชินี เป็นมะเขือเทศชนิดที่เล็กที่สุด มีเส้นผ่านศูนย์กลางราว 2 เซนติเมตร ลักษณะผลกลมคล้ายผลเชอร์รี่ รสชาติหวาน เนื้อแน่นและมีกลิ่นหอม มีสารเบต้าแคโรทีน วิตามินซี และวิตามินอีสูง การปลูกมะเขือเทศราชินีนั้นจะเก็บเกี่ยวได้ภายใน 90 วัน และมีผลผลิตเฉลี่ย 2,000-4,000 กิโลกรัมต่อไร่

#### 2.1.3.2 มะเขือเทศสีดา

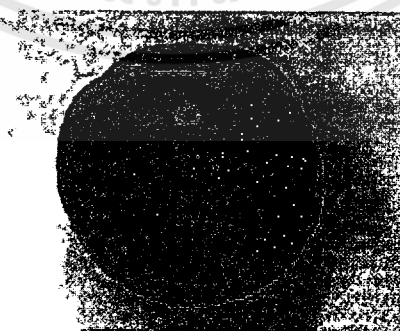
มะเขือเทศสีดา เป็นมะเขือเทศชนิดผลเล็กสีชมพูออกแดง มีผลกลมรี (ภาพที่ 2.2) เมื่อผลดิบจะเป็นสีเขียว ตัดผลดกและให้ผลผลิตสูง ลำต้นแข็งแรง ผลสดมีรสเปรี้ยวชุ่มเย็นเล็กน้อย มีวิตามินเอ วิตามินซี กรดมาลิกและกรดซิตริก เป็นมะเขือเทศที่คนไทยนิยมนำมาเป็นอาหารหลัก



ภาพที่ 2.2 มะเขือเทศสีดา

ที่มา : สำนักงานพัฒนาที่ดิน จังหวัดขอนแก่น (2555)

#### 2.1.3.3 มะเขือเทศลูกท้อ



ภาพที่ 2.3 มะเขือเทศลูกท้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศลูกท้อ เป็นมะเขือเทศที่มีลักษณะผลโต เนื้อแข็งและมีลักษณะคล้ายลูกท้อ (ภาพที่ 2.3) หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มะเขือเทศโรงงาน แต่เดิมนั้นมะเขือเทศจะมีสีเหลือง มีแหล่งกำเนิดมาจากประเทศเม็กซิโก ผลค่อนข้างกลมขนาดกลาง ทรงต้นสูงประมาณ 80-120 ซม. ลูกทรงลูกท้อ ไม่มีบัว ก้นไม่แหลม เนื้อแน่น ภายในมีสองห้อง 1ช่อออกติดลูกมะเขือเทศประมาณ 5-7 ลูกต่อช่อ เปลือกหนาเหมาะสำหรับใช้ในการขนส่งระยะไกล ฤดูที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะเขือเทศคือฤดูหนาว อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 18-28 องศาเซลเซียส (เกตุอร, 2555)

#### 2.1.4 หลักการทำงานของ Near infrared spectroscopy

Near infrared spectroscopy เป็นวิธีการวิเคราะห์โมเลกุลที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยอาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยตัวอย่าง เป็นวิธีการที่ให้ผลที่ดีและรวดเร็ว ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบไปจนถึงการตรวจสอบและปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เมื่อฉายแสงในช่วงความยาวคลื่น NIR ลงไปบนตัวอย่าง แสงที่มีพลังงานเพียงพอจะถูกดูดกลืนและกระตุ้นให้เกิดการสั่นของโมเลกุลใน functional groups ต่าง ๆ (ศุมาพร, 2545) near infrared เป็นคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 800-2500 nm สามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่น 800-1100 นาโนเมตร และช่วงคลื่นยาวที่มีความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร (Osborne และคณะ, 1993) ซึ่งจะมีผลทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นที่มีความถี่สูง โมเลกุลจะถูกกระตุ้นจาก ground vibrational level ไปยัง excited vibrational level คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด (near infrared; NIR) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ระหว่างช่วงคลื่นแสงวิสิเบิล (visible) และช่วงคลื่นแสงอินฟราเรด ย่านกลาง (middle infrared; MIR) พลังงานของคลื่นแสง NIR จะอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับการสั่น (vibration) ของพันธะภายในโมเลกุล หากการสั่นของพันธะใดเกิดที่ความถี่ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแสง NIR ก็จะทำให้เกิดการดูดกลืนขึ้น (ศิริพร, 2551) ซึ่งการดูดกลืนแสง NIR ใช้มากในการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของสารประกอบอินทรีย์ในผลผลิตต่างๆ

เมื่อต้องการหาองค์ประกอบหนึ่งในตัวอย่าง จะต้องเลือกความยาวคลื่นจำเพาะ เพื่อให้องค์ประกอบนั้นดูดกลืนคลื่นแสง NIR ไว้ spectrum จาก NIR เป็น absorption spectrum จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดกลืนพลังงานกับความยาวคลื่น

## 2.1.5 หลักการวัดของเครื่อง NIR spectroscopy มีด้วยกันหลายเทคนิคคือ

2.1.5.1 transmission เป็นการวัดปริมาณแสง ที่ผ่านออกมาในด้านตรงกันข้ามกับ ด้านที่แสงตกกระทบ

2.1.5.2 reflection แสงตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง วัดปริมาณแสงที่สะท้อน ออกมาโดยรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างส่วนที่ใกล้ผิวตัวอย่าง ได้อีกด้วย

2.1.5.3 transflection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง ผ่านตัวอย่างลง ไปตกกระทบแผ่นเซรามิก ทองหรืออะลูมิเนียมในชั้นใต้สุดแล้วสะท้อนกลับมายัง detector

2.1.5.4 interaction ใช้ในกรณี fiber optics probe แสงจากแหล่งกำเนิดแสงย่าน NIR ส่งผ่านลงมายังตัวอย่างในวงแหวนคานนอก แล้วแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างถูก ส่งไปยัง detector บริเวณส่วนกลาง

## 2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้เทคนิค NIRS

2.1.6.1 ขนาดของอนุภาค เนื่องจากขนาดของตัวอย่างมีความสัมพันธ์ กับการ ดูดกลืนแสงซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติขององค์ประกอบของสาร และจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ ไม่ใช่ค่าจริง ขนาดของอนุภาคยังขึ้นอยู่กับการเตรียมตัวอย่าง เพราะจะทำให้การวัดค่าองค์ประกอบ ทางเคมีแตกต่างกัน จึงควรใช้การเตรียมตัวอย่างแบบเดียวกันทุกครั้งที่ทำการวัดและควรให้มีขนาด ใกล้เคียงกัน

2.1.6.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิของตัวอย่างระหว่างการวัดโดยใช้ NIRS อาจทำให้เกิด ข้อผิดพลาดในการวัดองค์ประกอบทางเคมี ได้มีการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในพริกหยวก พบว่า เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างที่ -5 องศาเซลเซียส ความแน่นเนื้อที่วัดได้จะสูงกว่า การใช้เครื่องวัดเนื้อ สัมผัสแต่เมื่อวัดค่าความแน่นเนื้อของตัวอย่างที่ 45 องศาเซลเซียส ความแน่นเนื้อที่วัดได้จะต่ำกว่า ค่าจริง 0.5% (Guyer และคณะ, 2006) ทำการแก้ไขได้โดยการควบคุมอุณหภูมิของห้องทดลองให้ คงที่

2.1.6.3 ความชื้น เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดพลาด ในการอ่านค่าองค์ประกอบ ทางเคมี ความชื้นอาจสูญเสียไปได้จากการเตรียมตัวอย่างและการเก็บตัวอย่าง ได้มีการศึกษาความ แปรปรวนของความชื้นในลูกพลัมพบว่า ลูกพลัมที่มีความชื้นสูงจะทำให้การอ่านค่าผิดไปจากค่า จริงมาก (Greensill และ Walsh, 2000)

2.1.6.4 เกรด สายพันธ์ ฤดูกาลและสถานที่ ความแตกต่างทางเกรด สายพันธ์ ฤดูกาล และสถานที่เก็บก็เป็นปัจจัยที่ทำให้การวัดค่าองค์ประกอบของตัวอย่างผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงควรมีการคัดเลือกตัวอย่างให้สม่ำเสมอตลอดทั้งการทดลอง

## 2.1.7 ส่วนประกอบของเครื่อง near infrared spectroscopy

2.1.7.1 แหล่งกำเนิดแสง near infrared spectroscopy ที่ใช้กันทั่วไปนั้นเป็นของแข็งที่เฉื่อย ซึ่งสามารถเผาให้ร้อนด้วยไฟจนมีอุณหภูมิที่ต้องการได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะให้แสงที่มีความเข้มสูงสุดที่ความถี่ตามที่ต้องการ

2.1.7.2 ช่องที่วางตัวอย่างเพื่อวัด ส่วนที่บรรจุตัวอย่าง แล้วนำไปใส่ช่องที่สำหรับวัด ซึ่งส่วนนี้จะมีฝาปิด เพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้าไป และถูกกันออกจากส่วนที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบแสง

2.1.7.3 โมโนโครเมเตอร์ (monochromator) ส่วนประกอบนี้เป็นหัวใจของเครื่อง near infrared spectroscopy เพราะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก (เป็นแสงที่ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ) ให้เป็นแสงโมโนโครเมติกซึ่งเป็นแสงแคบๆ

2.1.7.4 เครื่องวัดแสง near infrared (NIR detector)

2.1.7.5 เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมวลผล สัญญาณที่ได้จากเครื่องจะถูกนำไปเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไปหรือนำสัญญาณที่ได้ไปแยกออก

## 2.1.8 การแปลงหรือการปรับแต่งข้อมูลสเปกตรัม (spectrum pretreatment)

การแปลงข้อมูลสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR เพื่อลดอิทธิพลของปัจจัยดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้สเปกตรัมมีความแตกต่างกัน ส่งผลต่อสมการที่สร้างขึ้น ดังนั้นการแปลงข้อมูลสเปกตรัมโดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ถือเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้ขั้นตอนการสร้างสมการทำนายมีความแม่นยำมากขึ้น วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการแปลงข้อมูลสเปกตรัมได้แก่

2.1.8.1 วิธีอนุพันธ์ (derivative) เป็นการหาความชันของเส้นสเปกตรัมเพื่อ

แก้ปัญหาพีกที่มีฐานกว้าง (broad peak) เนื่องจากการซ้อนทับกันของพีก (overlapping) และอิทธิพลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการยกตัวของเส้นสเปกตรัม (base line shift) ที่เกิดจากการกระเจิงแสง (scattering light) เมื่อแสงตกกระทบที่ตัวอย่างทำให้แสงเปลี่ยนทิศทาง ซึ่งมีผลต่อการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากขนาดของตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ การอัดตัว และการกระจายตัวของตัวอย่างภายในเซลล์บรรจุที่แตกต่างกัน โดยการแปลงข้อมูลสเปกตรัมด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 1 (first derivative) สามารถลดปัญหาการเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ของค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัม ตลอดช่วงความยาวคลื่นตามแกน Y ทำให้เส้นสเปกตรัมเลือนมาชิดกัน แต่พีกของสเปกตรัมยังมีฐานกว้าง จึงไม่สามารถแยกพีกออกจากกันอย่างชัดเจนได้ อีกทั้งวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1 ให้ความหมายเป็นค่าความชันของสเปกตรัมแต่ละความยาวคลื่นซึ่งทำให้แปลความหมายได้ยาก แต่การแปลงข้อมูลด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 2 (second derivative) สามารถลดผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมมีขนาดเพิ่มขึ้นตลอดช่วงความยาวคลื่นตามแกน Y ที่ชัดเจนกว่าวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 1 และแยกพีกสเปกตรัมที่มีการซ้อนทับกันออกจากกันได้อย่างชัดเจน

2.1.8.2 วิธี multiplicative scatter correction (MSC) เป็นการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งสเปกตรัม เพื่อลดอิทธิพลของการกระเจิงของแสงที่เกิดจากสาเหตุที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการลดค่าผิดพลาด

2.1.8.3 วิธี smoothing เป็นการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อน โดยมีการแทนค่าการดูดกลืนแสงแต่ละความยาวคลื่นด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มีจุดศูนย์กลางของช่วงความยาวคลื่นตรงกับจุดที่ถูกแทนที่ ต่อจากนั้นเลื่อนช่วงไปหนึ่งความยาวคลื่น แล้วคำนวณซ้ำจนครบตลอดช่วงความยาวคลื่น ซึ่งสามารถลดปัญหาของสัญญาณรบกวนต่อค่าการดูดกลืนแสง โดยจะได้สเปกตรัมที่มีลักษณะเหมือนสเปกตรัมดั้งเดิม แต่จะเรียบสม่ำเสมอ

## 2.1.9 ค่าทางสถิติที่ใช้ในการพิจารณาการสร้างสมการ

2.1.9.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; R) คือค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) หากค่าที่คำนวณได้มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือเท่ากับ 1 หมายความว่า สมการที่สร้างขึ้น สามารถนำมาใช้ในการอธิบายค่าทำนาย ที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) กับค่าแปรตาม (Y) ที่มีความสัมพันธ์กันมาก

2.1.9.2 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มสร้างสมการ (standard error of calibration; SEC) คือ ค่าที่บอกถึงสมการที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการทำนายต่อไปได้ดีหรือไม่ ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

2.1.9.3 ค่าผิดพลาดมาตรฐานในกลุ่มทดสอบสมการ (standard error of prediction; SEP) คือค่าที่บอกถึงการนำเอาสมการที่สร้างขึ้น มาทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากเครื่อง NIR มีความแม่นยำสูงหรือต่ำ ซึ่งถ้าค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อย หมายความว่าสมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูง

2.1.9.4 ค่าเฉลี่ย ของผลต่างระหว่างค่าที่ได้ จากวิธีอ้างอิงกับค่าที่ได้จาก NIR (average of difference between actual value and NIR value; bias) คือ ค่าเฉลี่ยของการทำนายข้อมูลของตัวแปรตาม (Y) และค่าเฉลี่ยข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X) มีความแตกต่างกันหรือไม่ ค่าที่คำนวณได้ควรมีค่าน้อย

2.1.9.5 อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่ม validation set ต่อค่า SEP (ratio of standard deviation of reference data in validation set to SEP; RPD) ค่าจากที่คำนวณได้มีค่าสูง หมายถึง ค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ทำนายได้จาก NIR มีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดมาตรฐานที่ได้จากวิเคราะห์จริง (รายงานสรุปการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง Near Infrared Spectroscopy (NIRS), 2554)

### 2.1.10 โปรแกรม Photoshop

Adobe Photoshop มักเรียกสั้นๆ ว่า โฟโตชอป (photoshop) เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่มีความสามารถในการจัดการแก้ไขและตกแต่งรูปภาพ (photo editing and retouching) ผลิตโดยบริษัทอะโดบีซิสเต็มส์ ซึ่งผลิตโปรแกรมด้านการพิมพ์อีกหลายตัว ที่ได้รับความนิยม เช่น illustrator และ indesign ปัจจุบันโปรแกรมโฟโตชอปพัฒนามาถึงรุ่น CS6 (creative suite 6) นักศึกษาปริญญาเอกจากมหาวิทยาลัยมิชิแกนชื่อ ทมัส โนล (Thomas Knoll) ได้สร้างซอฟต์แวร์สำหรับทำภาพสีเฉดเทาขาวดำในชื่อ "ดิสเพลย์" (display) ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนามาเป็นโฟโตชอปในปัจจุบันบริษัทอะโดบี ได้พัฒนาโฟโตชอปให้สามารถใช้งานกับไมโครซอฟท์วินโดวส์ได้ในโฟโตชอปรุ่น 2.5 หลังจากทีพัฒนารุ่นแรกสำหรับเครื่องแมคอินทอชเท่านั้น และได้พัฒนาต่อเนื่องมาจนกระทั่งรุ่นปัจจุบัน รุ่น CS6 โปรแกรมโฟโตชอปเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการจัดการไฟล์ข้อมูลรูปภาพที่มีประสิทธิภาพ การทำงานกับไฟล์ข้อมูลรูปภาพของโฟโตชอปนั้น ส่วนใหญ่จะทำงานกับไฟล์ข้อมูลรูปภาพที่จัดเก็บข้อมูลรูปภาพแบบ raster โฟโตชอปสามารถใช้ในการตกแต่งภาพเล็กน้อย เช่น ลบตาแดง, ลบรอยแตกของภาพ, ปรับแก้สี, เพิ่มสีและแสง หรือการใส่เอฟ

เฟคต์ให้กับรูป เช่น ทำภาพสีซีเปีย, การทำภาพโมเซค, การสร้างภาพพาโนรามาจากภาพหลายภาพ  
ต่อกัน

โปรแกรม Adobe Photoshop เป็นโปรแกรมที่นิยมนำมาใช้ในการตัดต่อ ปรับแต่งภาพ ให้มี  
คุณภาพดีขึ้น หรือการปรับเปลี่ยนภาพให้สีผิดเพี้ยน บิดเบือน ไปจากความเป็นจริงได้ เช่น การทำให้  
ภาพใหม่กลายเป็นภาพเก่า เป็นต้น อีกทั้งยังมีการนำมาใช้ช่วยในงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ  
งานเว็บไซต์ หรืองานช่างภาพได้อีกด้วย (โครงการพัฒนาสังคมแห่งความเท่าเทียมด้วย ICT, 2555)

#### 2.1.10.1 ความหมายของ pixel สำหรับงานวิจัย

พิกเซล (pixel) เป็นการผสมผสานของคำว่า “picture” และ “element” ซึ่งเป็นความ  
ละเอียดของภาพ คือหน่วยพื้นฐานของภาพ ภาพบิตแมปทุก ๆ ภาพประกอบขึ้นด้วยพิกเซล แต่ละ  
พิกเซลจะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่เก็บข้อมูลของสี โดยถูกกำหนดตำแหน่งไว้บนเส้นกริดของ  
แนวแกน x และ y ในลักษณะคล้ายแผนที่ (map) นั่นจึงเป็นที่มาของคำว่าบิตแมป (bitmap) เช่น พิก  
เซลของ ภาพ 8 บิต จะเก็บข้อมูลของสี 8 บิต ที่จอภาพจะใช้ในการแสดงผล ดังนั้นภาพภาพหนึ่งจึง  
ประกอบด้วยพิกเซลเล็ก ๆ จำนวนมาก ซึ่งสามารถมองเห็นได้เมื่อ ขยายภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้น  
จำนวนของพิกเซล ที่แสดงต่อหน่วยของความยาวในภาพจะถูกเรียกว่าความละเอียด ของภาพ โดย  
ปกติจะวัดเป็นพิกเซลต่อนิ้ว (ppi: pixel per inch) ภาพที่มีความละเอียดสูงจะประกอบไปด้วยพิกเซล  
จำนวนมากที่มีขนาดเล็กกว่าภาพเดียวกันที่มีความละเอียดน้อยกว่า

การศึกษาลักษณะการเกิดเชื้อรา และความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศแบบไม่ทำลาย  
จึงเหมาะแก่การทดสอบด้วยวิธี NIRS เป็นอย่างมากเพราะใน โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์  
จากมะเขือเทศนั้น จำเป็นต้องมีการรับมะเขือเทศเข้าโรงงานเป็นจำนวนมาก ทำให้ยากแก่การ  
ตรวจสอบคุณภาพภายในของมะเขือเทศ ด้วยเหตุนี้เองจึงต้องใช้วิธีทดสอบแบบไม่ทำลายตัวอย่างที่  
รวดเร็วและแม่นยำ เพื่อลดระยะเวลาในการคัดแยก และเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกวัตถุดิบให้ดี  
ขึ้น อีกทั้งยังทำให้เกิดสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยแก่ผู้บริโภคอีกด้วย

## บทที่ 3

# อุปกรณ์และวิธีการ

### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 3.1.1 Digital refractometer (Atago รุ่น 3442 PR-1-10U Palette Serie Portable)
- 3.1.2 Auto titrator (METTLER TOLEDO รุ่น T50)
- 3.1.3 beaker
- 3.1.4 ช้อนตักสาร
- 3.1.5 ที่คั้นน้ำผลไม้
- 3.1.6 มีด
- 3.1.7 เขียง
- 3.1.8 ถาดสเตนเลส
- 3.1.9 ตู้อบลมร้อน
- 3.1.10 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล 2, 4 ตำแหน่ง (Denver instrument TB-214)
- 3.1.11 auto pipette (Titration Excellence T50, Switzerland)
- 3.1.12 ถุงขยະ
- 3.1.13 กระดาษชำระ
- 3.1.14 กล้องถ่ายรูปแบบดิจิทัลพร้อมขาตั้งและฉาก (Fujifilm, FinePix F700)
- 3.1.15 เครื่อง vis near infrared spectroscopy (Vis-NIRS) (PureSpect, Saika TIF., Japan)
- 3.1.16 ถ้วยพลาสติก
- 3.1.17 ถุงพลาสติก

### 3.2 วัสดุดิบและสารเคมี

- 3.2.1 มะเขือเทศ พันธุ์ลูกท้อ
- 3.2.2 sodium hydroxide (NaOH) (Merck, Germany)
- 3.2.3 potassium hydrogen phthalate (KHP) (Merck, Germany)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ทำการสุ่มมะเขือเทศจากตลาดหัวตะเข้ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยทำการคัดเลือกมะเขือเทศที่มีความสุกแก่สีส้มอมแดงและพร้อมสำหรับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ด้วยความระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดการช้ำและการตกกระทบ จากนั้นบรรจุมะเขือเทศที่สุ่มมาลงในภาชนะบรรจุกล่องกระดาษลูกฟูก และทำการขนส่งโดยทางรถยนต์ ขนย้ายมายังห้องปฏิบัติการสถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายในเวลา 1 วัน ทำการคัดเลือกผลมะเขือเทศที่มีความสม่ำเสมอทั้งขนาดและสีของผิวสุกแก่ก่อนทำการทดลอง จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วันก่อนทำการวัด

#### 3.3.1 การวัดน้ำหนัก

ทำการชั่งน้ำหนักผลมะเขือเทศด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิทัล 4 ตำแหน่ง (g)

#### 3.3.2 การวัดขนาด

วัดขนาดผลมะเขือเทศ (เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูง) ด้วยดิจิทัลเวอร์เนียคาลิเปอร์

#### 3.3.3 การวัด Vis-NIR spectroscopy

นำผลมะเขือเทศแต่ละผล มาทำการวัดการดูดกลืนพลังงานด้วยเครื่อง Vis-NIR spectrophotometer (PureSpect, Saika TIF., Japan), transmittance mode ช่วงความยาวคลื่น 665-955 นาโนเมตร และมีระยะห่างระหว่าง light source กับมะเขือเทศเท่ากับ 8 เซนติเมตร ซึ่งทำการกำหนด integration time สำหรับการวัดคือ 200 โดยระบุตำแหน่งของการวัดทั้ง 4 ด้านของแต่ละผล โดยให้ห่างกันทำมุม 90 องศาโดยรอบของผลมะเขือเทศ

#### 3.3.4 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS)

ใช้เครื่อง digital refractometer โดยหยดน้ำมะเขือเทศที่ได้จากการปั่นทั้งผลแล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นอ่านค่าที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์

### 3.3.5 การวัดปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ (titratable acidity, TA)

โดยนำน้ำมะเขือเทศที่ได้จากการปั่นทั้งผลแล้วกรอง 5 มิลลิลิตร มาไตเตรตด้วยสารละลายค่ามาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 N โดยให้จุดยุติ (end point) มีค่า pH เท่ากับ 8.1 ด้วยเครื่อง auto titrator (METTLER TOLEDO รุ่น T50)

### 3.3.6 การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ

คัดแยกข้อมูลของกลุ่มมะเขือเทศ โดยแบ่งเป็นกลุ่มมะเขือเทศปกติอย่างน้อย 100 ผล มะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในอย่างน้อย 100 ผล และมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภายในอีกอย่างน้อย 100 ผล มาเก็บข้อมูลและทำการวิเคราะห์ผล

## 3.4 การวิเคราะห์การเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ ด้วยเทคนิคร่วมระหว่างคอมพิวเตอร์ กล้องดิจิทัล และ graphic software

นำมะเขือเทศที่ผ่านการวัดการดูดกลืนแสงด้วย Vis-NIRS มาทำการตัดตามขวางด้วยขนาดความหนาที่เท่ากันในแต่ละผล โดยทำการผ่าที่กึ่งกลางผล จากนั้นผ่าครึ่งที่กึ่งกลางของแต่ละซีกแล้วทำการถ่ายภาพทั้งสองด้านของชิ้นมะเขือเทศด้วยกล้องดิจิทัล โดยควบคุมระดับแสงและระยะห่างให้คงที่ ซึ่งแต่ละผลจะต้องทำการถ่ายภาพ 6 ครั้ง แล้วทำการนำภาพเข้าสู่โปรแกรม Adobe Photoshop CS5 Extended สำหรับทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อระดับความรุนแรงของอาการในแต่ละผล โดยเป็นการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติต่อพื้นที่ทั้งหมดในแต่ละผล ทั้งนี้ทำการคำนวณจากจำนวน pixel ของพื้นที่ที่ผิดปกติหารด้วยจำนวน pixel ของพื้นที่ทั้งหมดภายในผล จะทำให้ได้ค่าระดับความรุนแรงตามค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติในแต่ละผล เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศต่อไป

## 3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการเก็บข้อมูลของมะเขือเทศ โดยแบ่งเป็นข้อมูลของเป็นกลุ่มมะเขือเทศปกติ 100 ผล มะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ 100 ผล และมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภายในผลอีก 100 ผล มาทำการวิเคราะห์ โดยทำการสุ่มแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม โดยกลุ่มแรกใช้เพื่อการสร้าง

โมเดลและกลุ่มที่สองใช้ในการทำนาย เพื่อให้ทั้งสองกลุ่มมีการกระจายของข้อมูลที่ดี และข้อมูลของกลุ่มที่สร้างโมเดลต้องครอบคลุมข้อมูลในกลุ่มที่ใช้ในการทำนาย โดยทำทั้งกลุ่มมะเขือเทศปกติ มะเขือเทศกลุ่มที่เกิดเชื้อราภายในและมะเขือเทศกลุ่มที่มีความผิดปกติของสีภายในผล โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ได้แก่ค่าคุณสมบัติต่างๆที่วัดได้จากทั้งสองกลุ่มคือ ค่าของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) และค่าของปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity, TA) แล้วทำการวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณต่อไป

สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพนั้น เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ด้วยวิธี Discriminant analysis โดยพิจารณาจาก Fisher's discriminant function และทำการทดสอบการแยกกลุ่มด้วยเทคนิค PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) โดยมีวิธีการคือ นำข้อมูลที่เคยแยกไว้มาใช้ในการสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่ม โดยทำการทดสอบข้อมูลด้วยการทำ pretreatment แบบต่างๆ เพื่อเลือกวิธีที่ดีที่สุด โดยกำหนดให้มะเขือเทศปกติคือ 0 และมะเขือเทศผิดปกติคือ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่ม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (PLS-DA) เพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยก

สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เป็นการพิจารณาระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ โดยวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติจากการคำนวณ จำนวน pixel สำหรับส่วนที่เป็น pixel ของมะเขือเทศปกติ ส่วนที่เกิดเชื้อราและส่วนที่เกิดความผิดปกติของสีภายในผล ต่อส่วนที่เป็น pixel ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเป็นการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติต่อพื้นที่ทั้งหมดในแต่ละผล ทั้งนี้ทำการคำนวณจากจำนวน pixel ของพื้นที่ที่ผิดปกติหารด้วยจำนวน pixel ของพื้นที่ทั้งหมดภายในผล จะทำให้ได้ค่าระดับความรุนแรงตามค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติในแต่ละผล โดยมะเขือเทศที่มีเปอร์เซ็นต์ index ของความผิดปกติสูง ก็จะมีระดับความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศและระดับความรุนแรงของเชื้อราที่เกิดขึ้นสูงด้วย

จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแม่นยำในการทำนาย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในมะเขือเทศ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (PLSR) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดที่วัดได้ในแต่ละผลนั้น สามารถเป็นดัชนีบ่งบอกลักษณะความแก่สุกของมะเขือเทศได้ ซึ่งลักษณะความแก่สุกนั้น มีความสัมพันธ์กันกับการเกิดความผิดปกติของสีและการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศอีกด้วย

ในการประเมินประสิทธิภาพ ในการทำนายของโมเดลใช้ข้อมูลของกลุ่มที่แยกไว้ สำหรับการทำนายโดยวิธี cross-validation และพิจารณาเปรียบเทียบค่าของ correlation coefficient (R) และค่าของความผิดพลาดจากการทำนายหรือ standard error of calibration (SEC) และค่า bias ที่ได้ ใช้ในการตัดสินใจว่าโมเดลแต่ละโมเดลมีความสามารถในการทำนายได้มากน้อยเพียงใด โดยที่โมเดลที่มีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำกว่าจะต้องมีค่า correlation coefficient ที่สูง และมีค่า standard error of calibration ที่ต่ำกว่า โดยการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม The Unscrambler (version 9.8, CAMO AS, Trondheim, Norway)

### 3.6 การวิเคราะห์ความแม่นยำในการทำนาย

#### 3.6.1 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

ทำการเก็บข้อมูลของมะเขือเทศสองกลุ่ม โดยแบ่งเป็นมะเขือเทศปกติจำนวน 100 ผล และกลุ่มมะเขือเทศเชื้อราจำนวน 100 ผล โดยทำการคัดเลือกตัวอย่างมะเขือเทศให้มีจำนวนเท่ากันทั้งสองกลุ่ม เพื่อป้องกันจำนวนตัวอย่าง มีผลต่อความแม่นยำในการทำนาย ซึ่งทำการกำหนดให้มะเขือเทศปกติคือ 0 และมะเขือเทศที่ผิดปกติคือ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่ม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) เพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยก

#### 3.6.2 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อรา ตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

ในการทำนายการเกิดเชื้อราตามระดับความรุนแรงนั้น เพื่อให้ได้โมเดลมีประสิทธิภาพมากขึ้น จะทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มของมะเขือเทศเชื้อราจำนวน 150 ผล ซึ่งจะถูกแบ่งเป็นระดับความรุนแรง 3 ระดับตาม % ของการเกิดเชื้อรา โดยความรุนแรงของการเกิดเชื้อราน้อยมีความรุนแรงในช่วง  $>0-0.99\%$  ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราปานกลางมีความรุนแรงในช่วง  $1.00-1.99\%$  และระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรามากมีความรุนแรงมากกว่า  $2\%$  ซึ่งแต่ละระดับความรุนแรงจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศเช่นกัน

### 3.6.3 ความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรง ของการเกิดเชื้อราเชิงปริมาณภายในผลมะเขือเทศ

สำหรับการวิเคราะห์ความแม่นยำในการทำนาย % ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศจำนวน 149 ผล เป็นการพิจารณาระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR (partial least squares regression) ซึ่งวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติจากการคำนวณ จำนวน pixel สำหรับส่วนที่เป็น pixel ของมะเขือเทศ ส่วนที่เกิดเชื้อราภายในผล ต่อส่วนที่เป็น pixel ของพื้นที่ทั้งหมด โดยจะถูกแบ่งเป็นระดับความรุนแรง 3 ระดับตาม % ของการเกิดเชื้อรา โดยความรุนแรงของการเกิดเชื้อราน้อยมีความรุนแรงในช่วง  $>0-0.99\%$  ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราปานกลางมีความรุนแรงในช่วง  $1.00-1.99\%$  และระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรามากมีความรุนแรงมากกว่า  $2\%$  เช่นเดียวกับกับ 3.5.2

### 3.6.4 ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

ทำการเก็บข้อมูลของมะเขือเทศสองกลุ่ม โดยแบ่งเป็นมะเขือเทศปกติจำนวน 100 ผล และกลุ่มมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภายในผลอีก 100 ผล โดยทำการคัดเลือกตัวอย่างมะเขือเทศให้มีจำนวนเท่ากันทั้งสองกลุ่ม เพื่อป้องกันจำนวนตัวอย่าง มีผลต่อความแม่นยำในการทำนาย เช่นเดียวกับกับการทำนายการเกิดเชื้อรา ซึ่งกำหนดให้มะเขือเทศปกติคือ 0 และมะเขือเทศที่ผิดปกติคือ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้าง โมเดลของแต่ละกลุ่ม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) เพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยก

### 3.6.5 ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีตามระดับความรุนแรง เชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

ในการทำนายความผิดปกติของสี ตามระดับความรุนแรงนั้น เพื่อให้ได้โมเดลมีประสิทธิภาพมากขึ้น จะทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มของมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภายในผลจำนวน 150 ผล โดยจะถูกแบ่งเป็นระดับความรุนแรง 3 ระดับตาม % ของความผิดปกติ โดยความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อยมีความรุนแรงในช่วง  $>0-19.99\%$  ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีปานกลางมีความรุนแรงในช่วง  $20.00-29.99\%$  และระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีมากซึ่งมีความรุนแรงมากกว่า  $30.00\%$  ซึ่งแต่ละระดับความรุนแรง จะถูกนำมา

วิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA (partial least squares discriminant analysis) เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงของการผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ

### 3.6.6 ความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีเชิงปริมาณภายในผลมะเขือเทศ

สำหรับการวิเคราะห์ความแม่นยำในการทำนาย % ความรุนแรงของการผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศจำนวน 150 ผล เป็นการพิจารณาระดับความรุนแรงของการผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ ซึ่งวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติจากการคำนวณ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR (partial least squares regression) จากจำนวน pixel สำหรับส่วนที่เป็น pixel ของมะเขือเทศส่วนที่เกิดการผิดปกติของสีภายในผล ต่อส่วนที่เป็น pixel ของพื้นที่ทั้งหมด โดยความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อยมีความรุนแรงในช่วง >0-19.99% ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีปานกลางมีความรุนแรงในช่วง 20.00-29.99% และระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีมากซึ่งมีความรุนแรงมากกว่า 30.00 % เช่นเดียวกันกับ 3.5.5

### 3.6.7 ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

การทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) ในมะเขือเทศนั้น ทำการเก็บข้อมูลของมะเขือเทศจำนวน 180 ผล โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) จำนวน 126 ผล และกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ (test set) อีกจำนวน 54 ผล สำหรับใช้ในการทำนาย จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้าง โมเดลของแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR (partial least squares regression) เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนาย

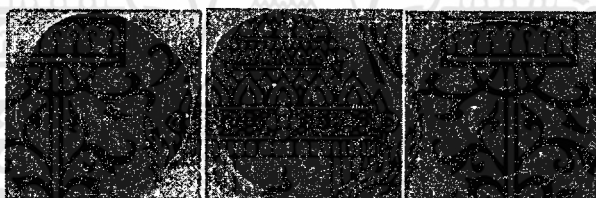
### 3.6.8 ความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้

การทำนายปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (titratable acidity, TA) ในมะเขือเทศนั้น ทำการเก็บข้อมูลของมะเขือเทศจำนวน 167 ผล โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) จำนวน 117 ผล และกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ (test set) อีกจำนวน 50 ผล สำหรับใช้ในการทำนาย จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้าง โมเดลของแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค

PLSR (partial least squares regression) เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนาย เช่นเดียวกันกับการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

### 3.6.9 การหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรด

การวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์นั้น มะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลจำนวน 100 ผล ใช้ในการหาความสัมพันธ์โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) ทั้งยังวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความรุนแรง ซึ่งทำการแบ่งระดับความรุนแรงของเชื้อราเป็น 3 ระดับ (ภาพที่ 3.1) โดยกำหนดให้ระดับที่ 1 เป็นระดับความรุนแรงของเชื้อราน้อยมีความรุนแรงในช่วง  $>0-0.99\%$ , ระดับที่ 2 เป็นระดับความรุนแรงของเชื้อราปานกลางมีความรุนแรงในช่วง  $1.00-1.99\%$  และระดับที่ 3 เป็นระดับความรุนแรงของเชื้อรามากมีความรุนแรงมากกว่า  $2\%$  โดยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น  $95\%$  โดยใช้โปรแกรม R ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

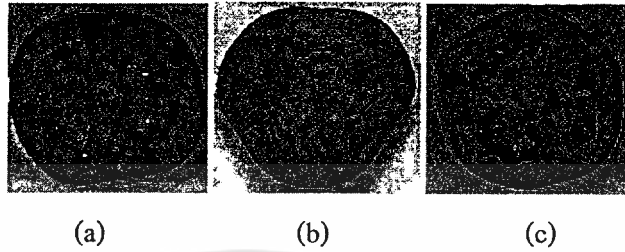


(a) (b) (c)

ภาพที่ 3.1 รูปตัวอย่างมะเขือเทศที่มีระดับความรุนแรงของเชื้อราน้อย (a), กลาง (b), มาก (c)

ส่วนการหาความสัมพันธ์ของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดนั้น ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) จากจำนวนมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภายในผล 100 ผล ทั้งยังวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความรุนแรงของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ โดยกำหนดให้ระดับที่ 1 เป็นความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อยมีความรุนแรงในช่วง  $>0-19.99\%$  ระดับที่ 2 เป็นความรุนแรงของความผิดปกติของสีปานกลางมีความรุนแรงในช่วง  $20.00-29.99\%$  และระดับที่ 3 เป็นความรุนแรงของความผิดปกติของสีมากซึ่งมีความรุนแรงมากกว่า  $30.00\%$  (ภาพที่ 3.2) กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรด โดยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของ

ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม R ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เช่นเดียวกันกับมะเขือเทศเชีอรา



ภาพที่ 3.2 รูปตัวอย่างมะเขือเทศที่มีระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสี น้อย (a), กลาง (b), มาก (c)

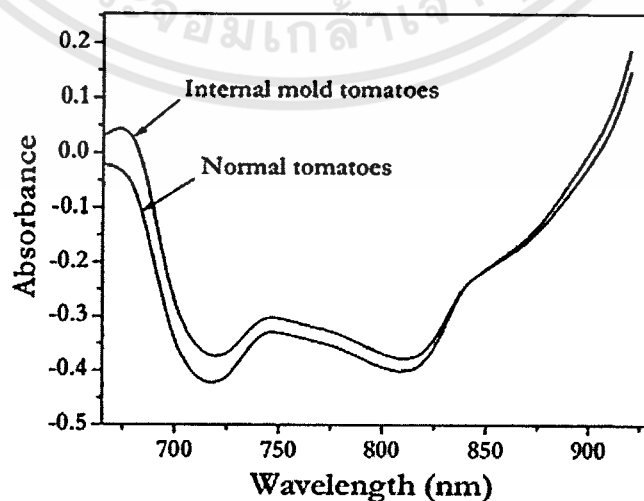


## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

การศึกษาความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ โดยแบ่งเป็นมะเขือเทศปกติจำนวน 100 ผล และกลุ่มมะเขือเทศเชื้อราจำนวน 100 ผล ซึ่งกำหนดให้มะเขือเทศปกติคือ 0 และมะเขือเทศผิดปกติปกติคือ 1 จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (PLS-DA) เพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยก ภาพที่ 4.1 เป็นค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม โดยมะเขือเทศจะถูกแบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการจำนวน 140 ผล และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการจำนวน 60 ผล เพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยก โดยตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) จากการทำพริทรีตเมนต์ในแบบต่างๆ โดยพบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมด้วย standard normal variate transformation (SNV) และ smoothing (Savitzky-Golay) (แสดงในภาพที่ 4.2) นั้น สเปกตรัมแยกออกกันอย่างชัดเจนในช่วงความยาวคลื่น 665-725 nm หรือในช่วงคลื่น visible มีความเป็นไปได้ว่ามีสาเหตุมาจากอิทธิพลของเชื้อราซึ่งมีสีดำ ทำให้ดูดกลืนแสงช่วง visible มากกว่ามะเขือเทศปกติ โดยมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการนั้น ให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราสูงที่สุด 85.0% โดยสามารถทำนายมะเขือเทศได้ถูกต้อง 119 ผล จากมะเขือเทศ 140 ผล

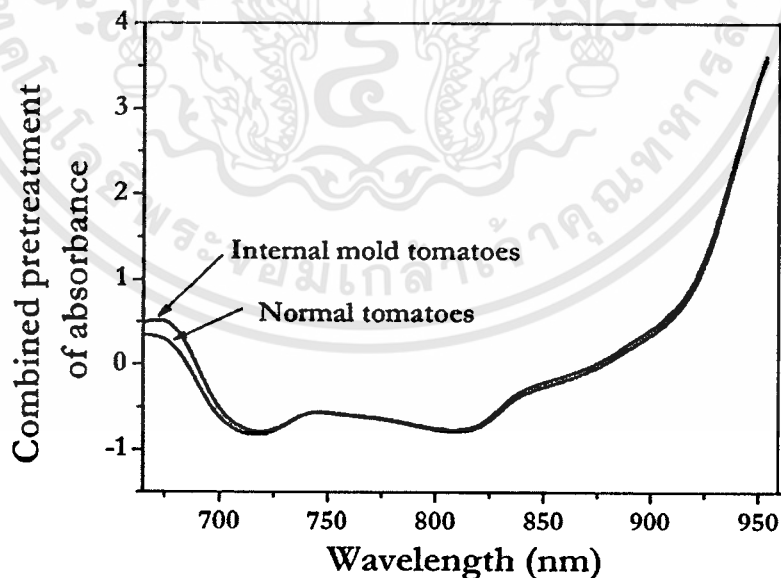


ภาพที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมะเขือเทศปกติและมะเขือเทศเชื้อรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA

Spectral pretreatment	Factor or	N	Normal samples		Internal mold samples		%Total Accuracy
			Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected	
Original	9	140	61/71	10/71	55/69	14/69	82.9
Smoothing	7	140	61/71	10/71	55/69	14/69	82.9
1 <sup>st</sup> derivative	6	140	61/71	10/71	54/69	15/69	82.1
2 <sup>nd</sup> derivative	4	140	59/71	12/71	47/69	22/69	75.7
MSC	8	140	62/71	9/71	55/69	14/69	83.6
SNV	9	140	63/71	8/71	55/69	14/69	84.3
SNV + Smoothing	11	140	63/71	8/71	56/69	13/69	85.0
Med + 1 <sup>st</sup> derivative	6	140	60/71	11/71	56/69	13/69	82.9
SNV+Med+1 <sup>st</sup> derivative	6	140	62/71	9/71	56/69	13/69	84.3
SNV+Smoothing+1 <sup>st</sup> derivative	12	140	63/71	8/71	55/69	14/69	84.3



ภาพที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วย standard normal variate transformation (SNV) และ smoothing (Savitzky-Golay)

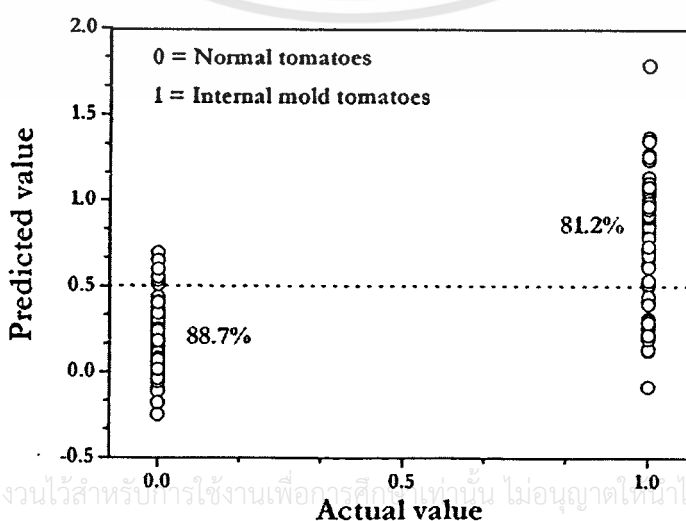
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

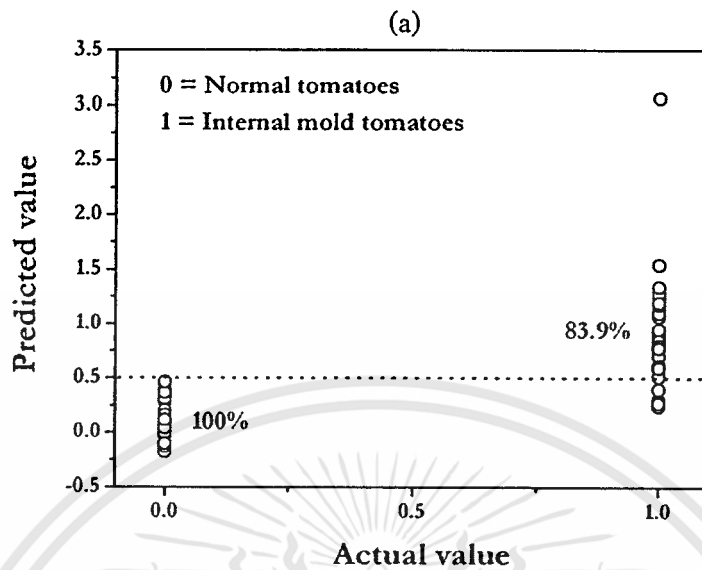
มะเขือเทศกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) เพื่อใช้เป็นโมเดลในการทำนายนั้น ถือเป็นโมเดลที่ให้ความแม่นยำในการทำนายค่อนข้างสูง เนื่องจากสามารถทำนายมะเขือเทศปกติ ได้ถูกต้อง 88.7% (ทำนายถูกต้อง 63 ผลจากมะเขือเทศ 71 ผล) และ ทำนายมะเขือเทศที่เกิดเชื้อรา ภายในได้ถูกต้อง 81.2% (ทำนายถูกต้อง 56 ผลจากมะเขือเทศ 69 ผล) ดังแสดงในภาพที่ 4.3 (a)

จากการสร้างโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (PLS-DA) เพื่อประเมินความแม่นยำ ในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศนั้น โมเดลที่สร้างขึ้นสามารถใช้ทดสอบความ แม่นยำในกลุ่มใช้ทดสอบสมการ (test set) และให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายสูงถึง 91.7% ซึ่งสามารถทำนายมะเขือเทศได้ถูกต้อง 55 ผล จากมะเขือเทศ 60 ผล (ตารางที่ 4.2) โดย สามารถทำนายมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง 100% (ทำนายถูกต้อง 29 ผลจากมะเขือเทศ 29 ผล) และ ทำนายมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในได้ถูกต้อง 83.9% (ทำนายถูกต้อง 26 ผลจากมะเขือเทศ 31 ผล) ดังแสดงในภาพที่ 4.3 (b)

ตารางที่ 4.2 แสดง%ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราภายในผลมะเขือเทศจากการวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค PLS-DA ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

Samples	Spectral pretreatment	Factor	N	Normal samples		Internal mold samples		%Total Accuracy
				Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected	
Training set	SNV+	11	140	63/71	8/71	56/69	13/69	85.0
	Smoothing							
Test set	SNV+ Smoothing	11	60	29/29	0/29	26/31	5/31	91.7





(b)

ภาพที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อราของกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ (a) และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (b)

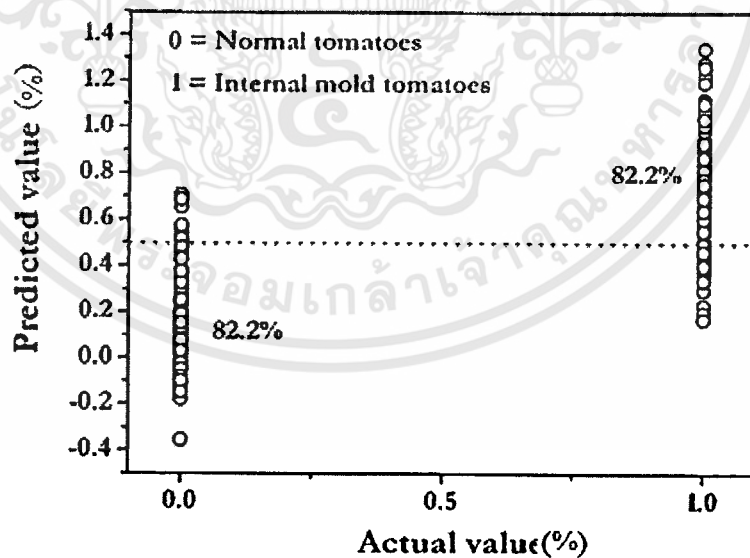
#### 4.2 ความแม่นยำในการทำนายการเกิดเชื้อรา ตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

กลุ่มของมะเขือเทศเชื้อราจำนวน 150 ผล จะถูกแบ่งเป็นระดับความรุนแรง 3 ระดับตาม % ของการเกิดเชื้อรา คือระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราน้อย ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราปานกลาง และระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรามาก โดยความรุนแรงของการเกิดเชื้อราน้อย มีความรุนแรงในช่วง  $>0-0.99\%$  มีจำนวน 73 ผล ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราปานกลางมีความรุนแรงในช่วง  $1.00-1.99\%$  มีจำนวน 37 ผล และระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรามากมีความรุนแรงมากกว่า  $2\%$  มีจำนวน 40 ผล ซึ่งแต่ละระดับความรุนแรง จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อทำนายความรุนแรงของการเกิดเชื้อรา ด้วยการทำ Regression เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายตามระดับความรุนแรงของเชื้อราเชิงคุณภาพของ  
กลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

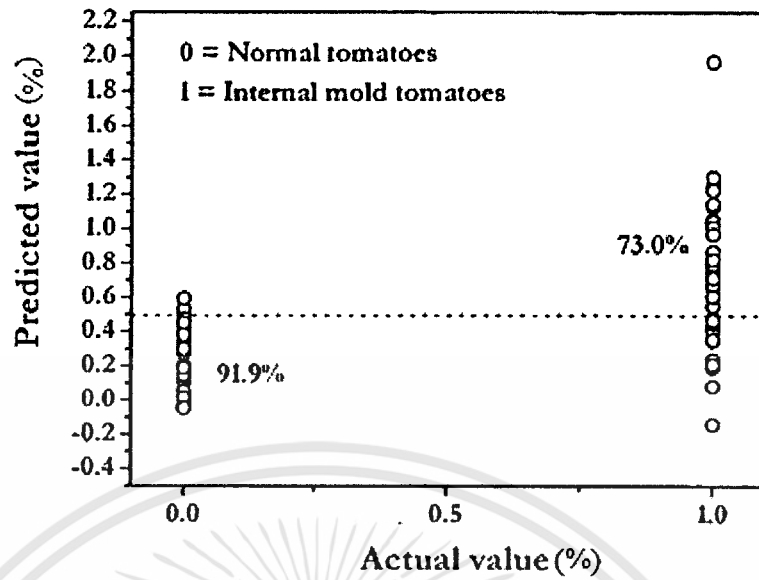
Level of severity	Factor	N	Normal samples		Internal mold samples		%Total Accuracy
			Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected	
Low	7	146	60/73	13/73	60/73	13/73	82.2
Medium	6	74	34/37	3/37	27/37	10/37	82.4
High	7	80	38/40	2/40	34/40	6/40	90.0

การทำนายความรุนแรงของการเกิดเชื้อราเพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยกนั้น โดยในกลุ่มของระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราน้อยนั้น มีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศจำนวน 146 ผล ประกอบด้วยมะเขือเทศปกติ 73 ผล และมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลอีก 73 ผล จากภาพที่ 4.4 (a) แสดงความแม่นยำในการคัดแยก โดยสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศปกติและกลุ่มมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลได้ถูกต้อง 60 ผลจากมะเขือเทศ 73 ผล หรือสามารถทำนายได้ถูกต้อง 82.2%

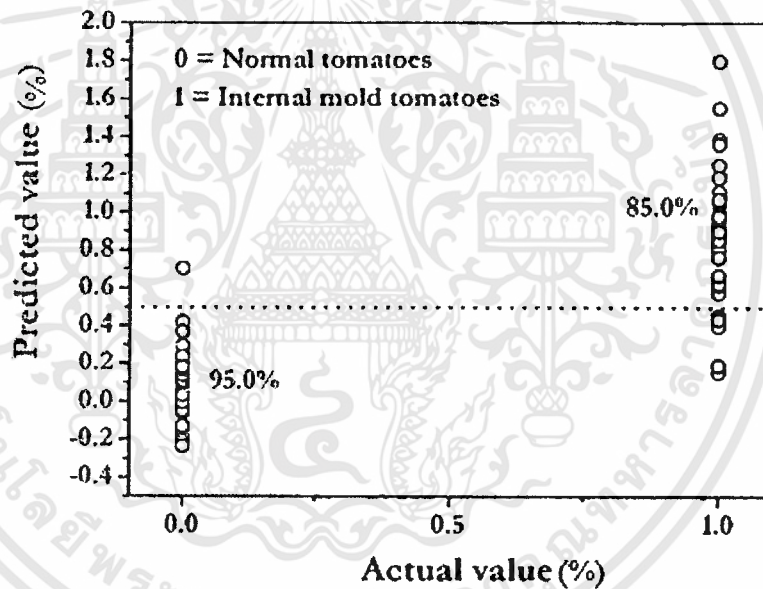


(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)



(c)

ภาพที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกตามระดับความรุนแรงของเชื้อรา  
น้อย (a), กลาง (b), มาก (c)

ในกลุ่มของมะเขือเทศระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราปานกลางนั้น มีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศจำนวน 74 ผล ประกอบด้วยมะเขือเทศปกติ 37 ผล และมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลอีก 37 ผล ภาพที่ 4.4 (b) แสดงความแม่นยำในการคัดแยก โดยสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง 34 ผลจากมะเขือเทศ 37 ผล (91.9%) และสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศที่เกิดเชื้อรา

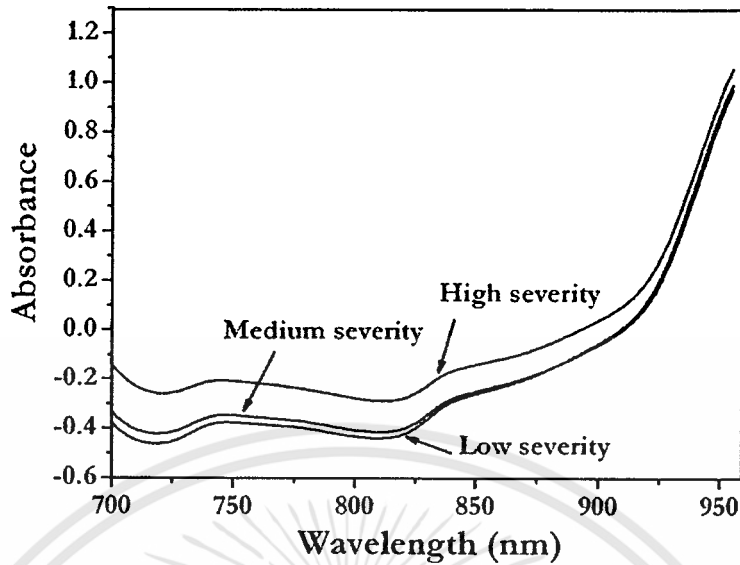
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในผลได้ถูกต้อง 27 ผลจากมะเขือเทศ 37 ผล (73.0%) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายรวมได้ 82.4%

ส่วนในกลุ่มมะเขือเทศระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรามากนั้น มีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศจำนวน 80 ผล ประกอบด้วยมะเขือเทศปกติ 40 ผล และมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลอีก 40 ผล ภาพที่ 4.4 (c) แสดงความแม่นยำในการคัดแยก โดยสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง 38 ผลจากมะเขือเทศ 40 ผล (95.0%) และสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลได้ถูกต้อง 34 ผลจากมะเขือเทศ 40 ผล (85.0%) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายรวมได้ 90.0%

#### 4.3 ความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราเชิงปริมาณภายในผลมะเขือเทศ

มะเขือเทศที่เกิดเชื้อราขึ้นภายในผลจำนวน 149 ผล จะถูกนำมาหา % ความรุนแรงของพื้นที่การเกิดเชื้อราของมะเขือเทศทั้งผลด้วยโปรแกรม photoshop โดยวิเคราะห์จาก เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติจากการคำนวณจำนวน pixel สำหรับส่วนที่เป็น pixel ของมะเขือเทศส่วนที่เกิดเชื้อราภายในผลต่อส่วนที่เป็น pixel ของพื้นที่ทั้งหมด เพื่อให้ได้ % ความรุนแรงของพื้นที่การเกิดเชื้อราของผลมะเขือเทศ จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) ภาพที่ 4.5 แสดงค่าการดูคลิ่นแสงเฉลี่ยของระดับความรุนแรงของเชื้อราน้อย ระดับความรุนแรงของเชื้อราปานกลางและระดับความรุนแรงของเชื้อรามากที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยระดับความรุนแรงจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าการดูคลิ่นแสง เนื่องจากเชื้อราซึ่งมีสีดำ เมื่อมีปริมาณมากขึ้นที่ระดับความรุนแรงสูงขึ้น สามารถดูคลิ่นแสงได้ดีกว่ามะเขือเทศที่มีปริมาณเชื้อราน้อยกว่า และข้อมูลทางสถิติของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่มระหว่างกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) และกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ (test set) แสดงในตารางที่ 4.4

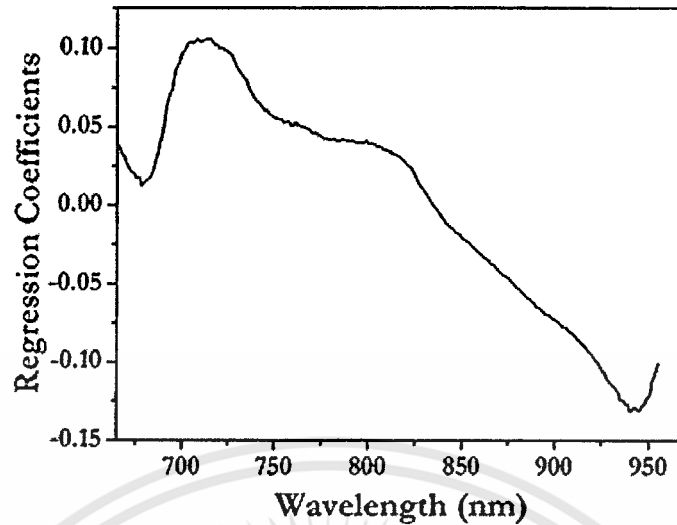


ภาพที่ 4.5 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของระดับความรุนแรงของเชื้อราระดับต่างๆ

ตารางที่ 4.4 ค่าทางสถิติของมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

Sample set	N	Unit	Range	Mean	SD
Training	90	%	0.04-14.95	1.63	1.90
Test	59	%	0.11-5.21	1.40	1.15

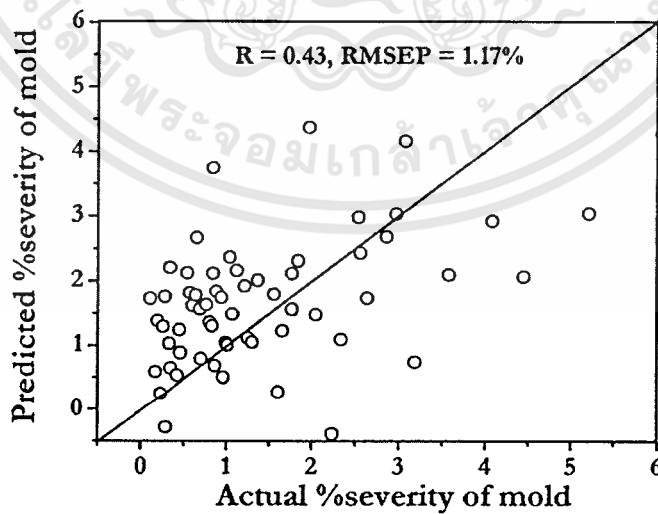
จากการสร้างโมเดลในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการเพื่อทดสอบการทำนาย % ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) ความแม่นยำจากการสร้างสมการ ( $R = 0.50$ ,  $RMSEC = 1.63\%$ ) และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficients) จากการทำนาย % ความรุนแรงของเชื้อรา (ภาพที่ 4.6) จะเห็นว่าความยาวคลื่นสำคัญของสมการอยู่ในช่วง 700-750 nm. และช่วง 980-990 nm. เมื่อนำโมเดลที่ได้ไปใช้ทดสอบสมการในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ ให้ค่าความแม่นยำในการทำนาย % ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศได้ไม่ดี ( $R = 0.43$ ,  $RMSEP = 1.17\%$ ) แสดงในตารางที่ 4.5 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนาย % ความรุนแรงของเชื้อราจากกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (test set) แสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.6 ค่า regression coefficients ของกลุ่มที่ใช้สร้างสมการทำนายความรุนแรงของเชื้อรา

ตารางที่ 4.5 ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม

Training set				Test set			
Spectral pretreatment	N	Factor	R	RMSEC	N	R	RMSEP
Original	90	3	0.50	1.63	59	0.43	1.17

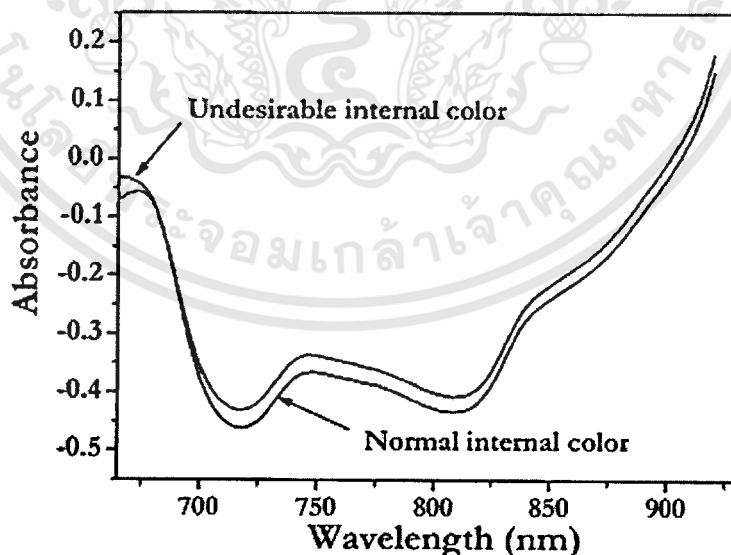


ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายของความรุนแรงการเกิดเชื้อราในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

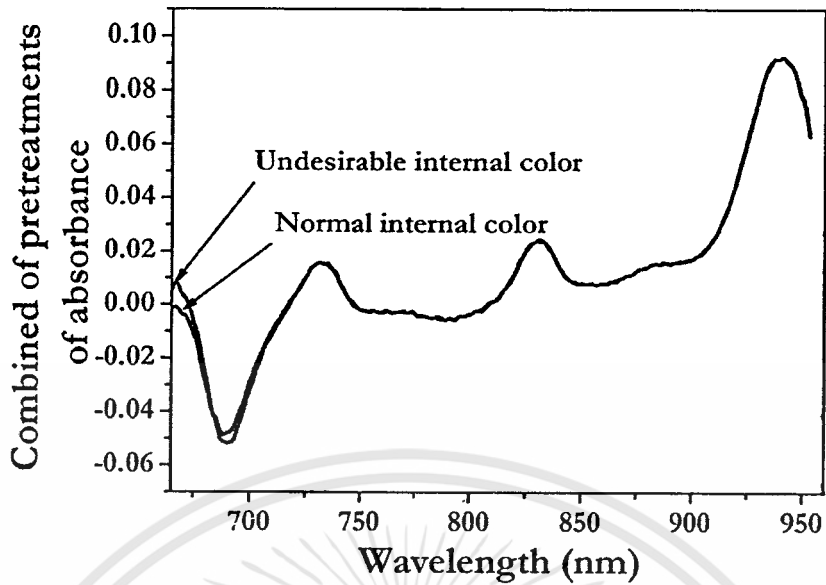
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ

การศึกษาความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ โดยแบ่งเป็นมะเขือเทศปกติจำนวน 100 ผล และกลุ่มมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีจำนวน 100 ผล ซึ่งกำหนดให้มะเขือเทศปกติคือ 0 และมะเขือเทศผิดปกติคือ 1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (PLS-DA) เพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยก ภาพที่ 4.8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม โดยมะเขือเทศจะถูกแบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการจำนวน 140 ผล และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการจำนวน 60 ผล ตารางที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ โดยพบว่าการปรับแต่งสเปกตรากับด้วย standard normal variate transformation (SNV), smoothing (median filter) และ differentiation (first derivative) ค่าการดูดกลืนแสงของมะเขือเทศสองกลุ่มต่างกัน ในช่วงคลื่น visible (665-700 nm) ทำให้สเปกตรากลายออกจากกันชัดเจน เนื่องจากสีในผลมีความแตกต่างกันทำให้มีค่าการดูดกลืนพลังงานแสงที่แตกต่างกัน ภาพที่ 4.9 ซึ่งมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ ให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีได้สูงที่สุดคือ 85.7% โดยสามารถทำนายมะเขือเทศได้ถูกต้อง 120 ผล จากมะเขือเทศ 140 ผล



ภาพที่ 4.8 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของมะเขือเทศปกติและมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสี



ภาพที่ 4.9 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากการปรับแต่งสเปกตราด้วย standard normal variate transformation (SNV), smoothing (median filter) และ differentiation (first derivative)

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA

Spectral pretreatment	Factor	N	Normal samples		Discolored samples		%Total Accuracy
			Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected	
Original	13	140	59/72	13/72	50/68	18/68	77.9
Smoothing	17	140	60/72	12/72	53/68	15/68	80.7
1 <sup>st</sup> derivative	15	140	57/72	15/72	47/68	21/68	74.3
2 <sup>nd</sup> derivative	5	140	57/72	15/72	50/68	18/68	76.4
MSC	13	140	59/72	13/72	52/68	16/68	79.3
SNV	14	140	60/72	12/72	52/68	16/68	80.0
Smoothing+2 <sup>nd</sup> derivative	11	140	63/72	9/72	54/68	14/68	83.6
SNV+Med+1 <sup>st</sup> derivative	9	140	63/72	9/72	57/68	11/68	85.7
SNV+Med+2 <sup>nd</sup> derivative	9	140	59/72	13/72	52/68	16/68	79.3

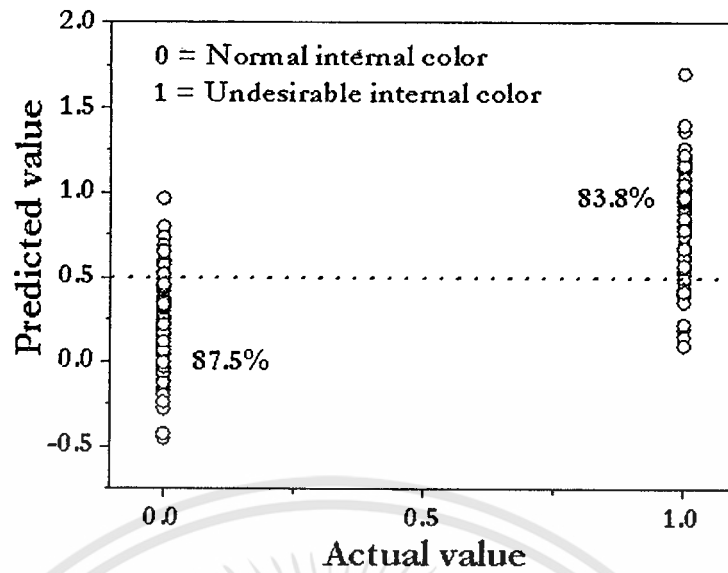
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) เพื่อใช้เป็น โมเดลในการทำนายนั้น ถือเป็นโมเดลที่ให้ความแม่นยำในการทำนายค่อนข้างสูง เนื่องจากสามารถทำนายมะเขือเทศปกติ ได้ถูกต้อง 87.5% (ทำนายถูกต้อง 63 ผลจากมะเขือเทศ 72 ผล) และ ทำนายมะเขือเทศที่เกิดความ ผิดปกติของสีภายในได้ถูกต้อง 83.8% (ทำนายถูกต้อง 57 ผลจากมะเขือเทศ 68 ผล) ดังแสดงในภาพ ที่ 4.10 (a)

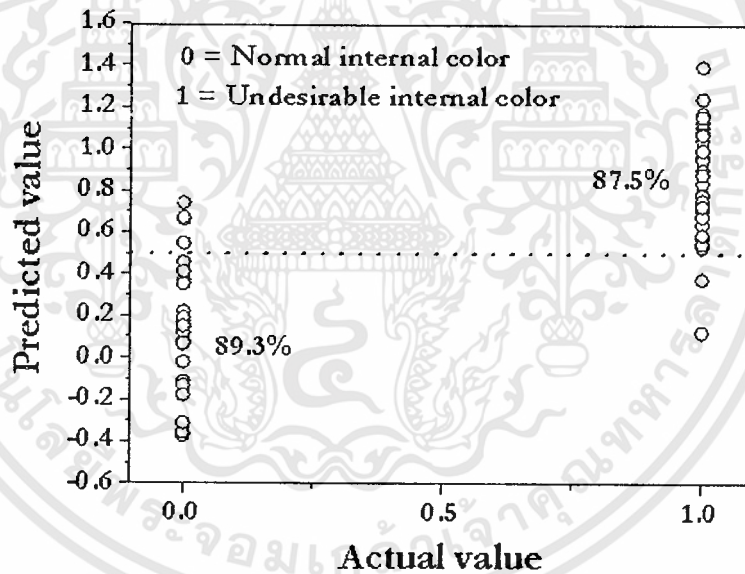
ตารางที่ 4.7 แสดง%ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศจากการ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS-DA ของกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

Samples	Spectral pretreatment	Factor	N	Normal samples		Discolored samples		%Total Accuracy
				Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected	
Training set	SNV+Med+	9	140	63/72	9/72	57/68	11/68	85.7
	1 <sup>st</sup> derivative							
Test set	SNV+Med+	9	60	25/28	3/28	28/32	4/32	88.3
	1 <sup>st</sup> derivative							

จากการสร้างโมเดลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค (PLS-DA) เพื่อประเมินความแม่นยำ ในการทำนายการเกิดความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศนั้น โมเดลที่สร้างขึ้นสามารถ ใช้ทดสอบความแม่นยำในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (test set) และให้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายสูงถึง 88.3% ซึ่งสามารถทำนายมะเขือเทศได้ถูกต้อง 53 ผล จากมะเขือเทศ 60 ผล (ตารางที่ 4.7) โดยสามารถทำนายมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง 89.3% (ทำนายถูกต้อง 25 ผลจากมะเขือเทศ 28 ผล) และ ทำนายมะเขือเทศที่เกิดความผิดปกติของสีภายในได้ถูกต้อง 87.5% (ทำนายถูกต้อง 28 ผล จากมะเขือเทศ 32 ผล) ดังแสดงในภาพที่ 4.10 (b)



(a)



(b)

ภาพที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสี ของกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ

(a) และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

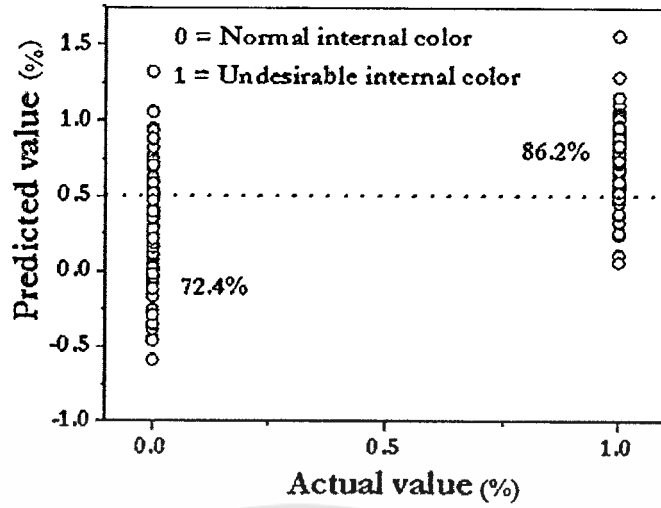
#### 4.5 ความแม่นยำในการทำนายความผิดปกติของสี ตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพ ภายในผลมะเขือเทศ

กลุ่มของมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีจำนวน 150 ผล จะถูกแบ่งเป็นระดับความรุนแรง 3 ระดับตาม % ของความผิดปกติของสี คือระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อย ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีปานกลาง และระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีมาก โดยความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อยมีความรุนแรงในช่วง  $>0-19.99\%$  มีจำนวน 87 ผล ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีปานกลางมีความรุนแรงในช่วง  $20.00-29.99\%$  มีจำนวน 37 ผล และระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีมากซึ่งมีความรุนแรงมากกว่า  $30.00\%$  มีจำนวน 26 ผล ซึ่งแต่ละระดับความรุนแรงจะถูกนำมาวิเคราะห์ เพื่อทำนายความรุนแรงของความผิดปกติของสี ด้วยการทำ Regression เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

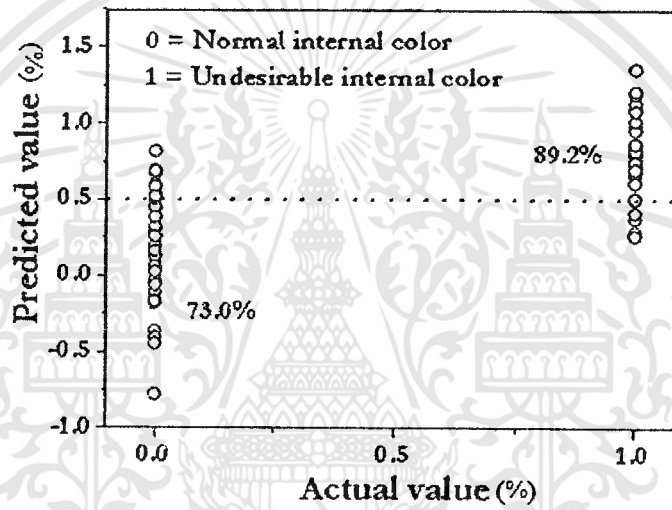
ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายตามระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีเชิงคุณภาพ

Level of Factor severity	N	Normal samples		Discolored samples		%Total Accuracy	
		Corrected	Uncorrected	Corrected	Uncorrected		
Low	13	174	63/87	24/87	75/87	12/87	79.3
Medium	10	74	27/37	10/37	33/37	4/37	81.1
High	10	52	23/26	3/26	23/26	3/26	88.5

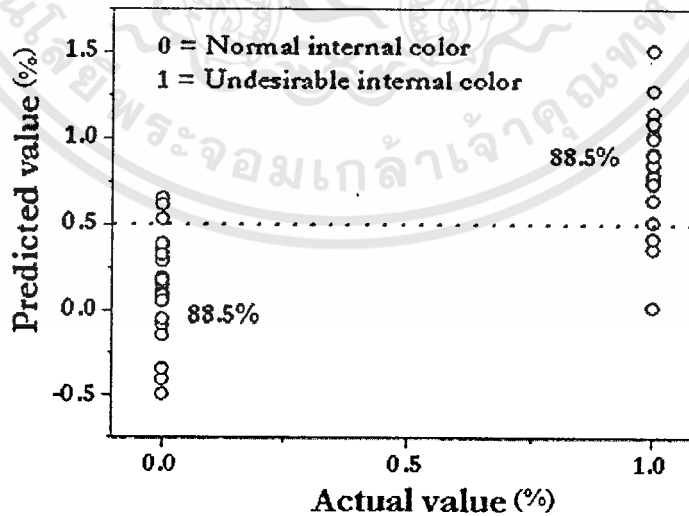
การทำนายความรุนแรงของความผิดปกติของสีเพื่อประเมินความแม่นยำในการคัดแยกนั้น โดยในกลุ่มของระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อยนั้น มีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศจำนวน 174 ผล ประกอบด้วยมะเขือเทศปกติ 87 ผล และมะเขือเทศที่เกิดความผิดปกติของสีภายในผลอีก 87 ผล จากภาพที่ 4.11 (a) แสดงความแม่นยำในการคัดแยก โดยสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง 63 ผลจากมะเขือเทศ 87 ผล (72.4%) และสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศที่เกิดความผิดปกติของสีภายในผลได้ถูกต้อง 75 ผลจากมะเขือเทศ 87 ผล (86.2%) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายรวมได้ 79.3%



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 4.11 เปรอ์เซ็นต์ความแม่นยำในการคัดแยกตามระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสี

น้อย (a), กลาง (b), มาก (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

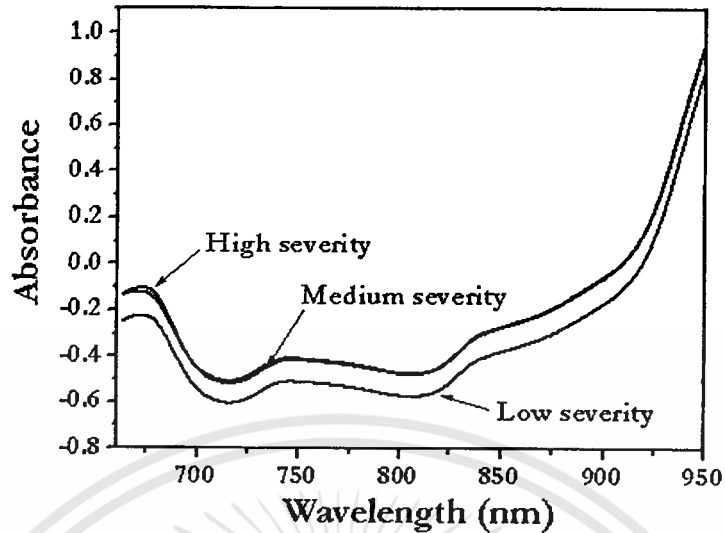
ในกลุ่มของมะเขือเทศระดับความรุนแรงของการเกิดความผิดปกติของสีปานกลางนั้น มีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศจำนวน 74 ผล ประกอบด้วยมะเขือเทศปกติ 37 ผล และมะเขือเทศที่เกิดความผิดปกติของสีภายในผลอีก 37 ผล ภาพที่ 4.11 (b) แสดงความแม่นยำในการคัดแยก โดยสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง 27 ผลจากมะเขือเทศ 37 ผล (73.0%) และสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศที่เกิดความผิดปกติของสีภายในผลได้ถูกต้อง 33 ผลจากมะเขือเทศ 37 ผล (89.2%) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายรวมได้ 81.1%

ในส่วนของกลุ่มมะเขือเทศระดับความรุนแรงของการเกิดความผิดปกติของสีมากนั้น มีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศจำนวน 52 ผล ประกอบด้วยมะเขือเทศปกติ 26 ผล และมะเขือเทศที่เกิดความผิดปกติของสีภายในผลอีก 26 ผล ภาพที่ 4.11 (c) แสดงความแม่นยำในการคัดแยก โดยสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศปกติได้ถูกต้อง 23 ผลจากมะเขือเทศ 26 ผล (88.5%) และสามารถทำนายกลุ่มมะเขือเทศที่เกิดความผิดปกติของสีภายในผลได้ถูกต้อง 23 ผลจากมะเขือเทศ 26 ผล (88.5%) ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายรวมได้ 88.5% เช่นเดียวกัน

#### 4.6 ความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีเชิงปริมาณ ภายในผลมะเขือเทศ

มะเขือเทศที่เกิดความผิดปกติของสีภายในผลจำนวน 150 ผล จะถูกนำมาหา % ความรุนแรงของพื้นที่การเกิดความผิดปกติของสีของมะเขือเทศทั้งผลด้วย โปรแกรม photoshop โดยวิเคราะห์จาก เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีความผิดปกติจากการคำนวณจำนวน pixel สำหรับส่วนที่เป็น pixel ของมะเขือเทศส่วนที่เกิดความผิดปกติของสีภายในผลต่อส่วนที่เป็น pixel ของพื้นที่ทั้งหมด เพื่อให้ได้ % ความรุนแรงของพื้นที่การเกิดความผิดปกติของสีของผลมะเขือเทศ เช่นเดียวกับ การทำนายระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรา จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) ภาพที่ 4.12 แสดงค่าการคูณกันแสงเฉลี่ยของระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อย ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีปานกลาง และระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีมาก ที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยระดับความรุนแรงจะเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าการคูณกันแสง เช่นเดียวกับระดับความรุนแรงของเชื้อราคือ เมื่อระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้นค่าการคูณกันแสงก็จะเพิ่มขึ้น และค่าทางสถิติของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม ระหว่างกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) และกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ (test set) แสดงในตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

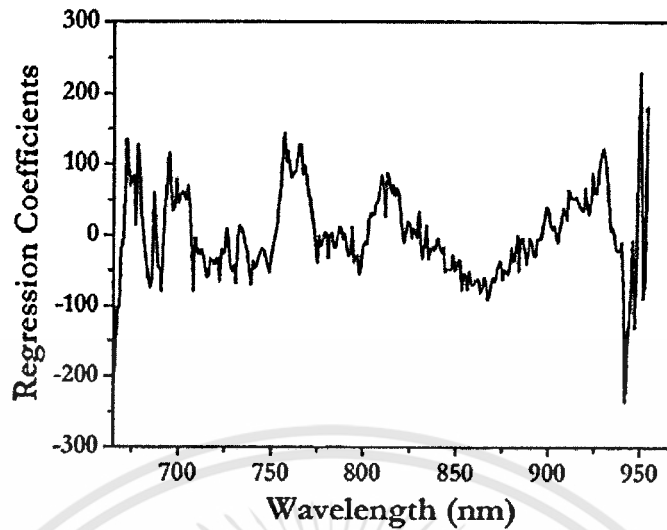


ภาพที่ 4.12 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีระดับต่างๆ

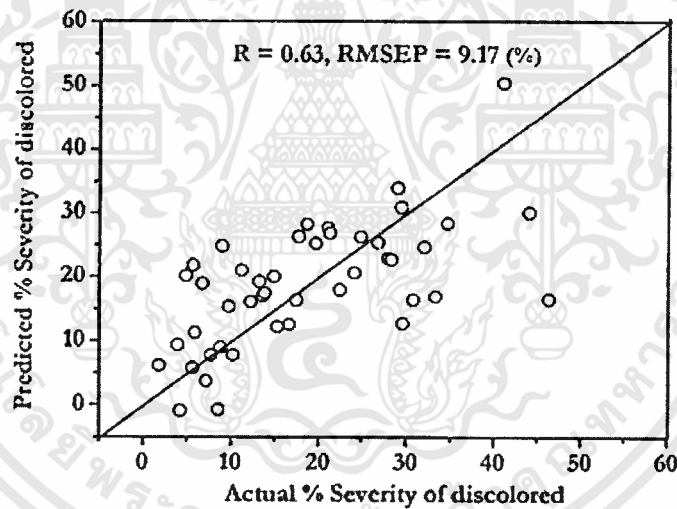
ตารางที่ 4.9 ค่าทางสถิติของมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

Sample set	N	Unit	Range	Mean	SD
Training	105	%	0.16-50.59	18.78	11.32
Test	45	%	0.86-46.38	18.50	11.52

จากการสร้างโมเดลในกลุ่มที่ใช้ในสร้างสมการเพื่อทดสอบการทำนาย % ความรุนแรงของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) ให้ค่าความแม่นยำจากการสร้างสมการ ( $R = 0.72$ ,  $RMSEC = 7.79\%$ ) และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficients) จากการทำนายความรุนแรงของความผิดปกติของสี ภาพที่ 4.13 พบว่าความยาวคลื่นที่สำคัญปรากฏในบริเวณ 760-770, 930 และ 950 nm. ซึ่งเมื่อนำโมเดลที่ได้ไปใช้ทดสอบสมการในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ ให้ความแม่นยำในการทำนาย % ความรุนแรงของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศได้แม่นยำปานกลาง ( $R = 0.63$ ,  $RMSEP = 9.17\%$ ) แสดงในตารางที่ 4.13 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายความรุนแรงของความผิดปกติของสี ในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (test set) แสดงในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.13 ค่า regression coefficients ของกลุ่มที่ใช้สร้างสมการทำนายความรุนแรงของความผิดปกติของสี



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายความรุนแรงของความผิดปกติของสีในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.10 ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม

Training set					Test set		
Spectral pretreatment	N	Factor	R	RMSEC	N	R	RMSEP
Original	105	9	0.72	7.79	45	0.63	9.17

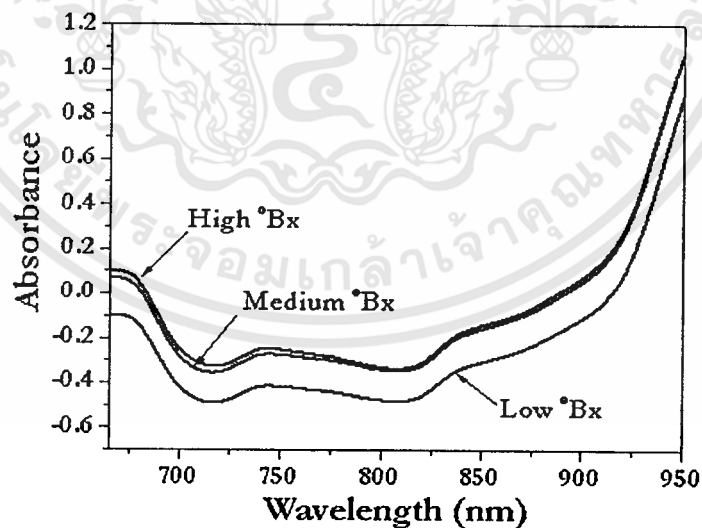
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 ความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

มะเขือเทศจำนวน 180 ผล ใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) ในมะเขือเทศนั้น โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) จำนวน 126 ผล และกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการอีกจำนวน 54 ผล สำหรับใช้ในการทำนาย จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่มโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR (partial least squares regression) เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนาย ภาพที่ 4.15 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ปานกลาง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มาก ที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าการดูดกลืนแสง คือเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงก็จะเพิ่มขึ้น และค่าทางสถิติของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม ระหว่างกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) และกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ (test set) แสดงในตารางที่ 4.11

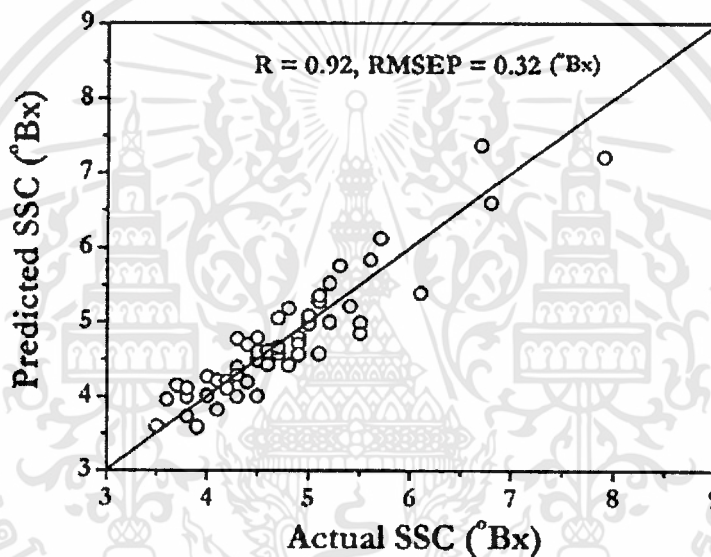
ตารางที่ 4.11 ค่าทางสถิติของมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

Sample set	N	Unit	Range	Mean	SD
Training	126	°Bx	3.3-8.5	4.7	0.77
Test	54	°Bx	3.5-7.9	4.8	0.83



ภาพที่ 4.15 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระดับต่างๆ

จากการสร้างโมเดลในกลุ่มที่ใช้ในสร้างสมการเพื่อทดสอบการทำนาย ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมะเขือเทศด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) และจากการทำ ฟริทริตเมนต์ในแบบต่างๆ พบว่าการปรับแต่งสเปกตรัมด้วย smoothing (Savitzky-Golay) ให้ค่าความแม่นยำจากการสร้างสมการที่ดีที่สุด ( $R = 0.93$ ,  $RMSEC = 0.28$  °Bx) และเมื่อนำโมเดลที่ได้ไปใช้ทดสอบสมการในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ ให้ค่าความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในผลมะเขือเทศได้แม่นยำดีมาก ( $R = 0.92$ ,  $RMSEP = 0.32$  °Bx) แสดงในตารางที่ 4.12 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (test set) แสดงในภาพที่ 4.16



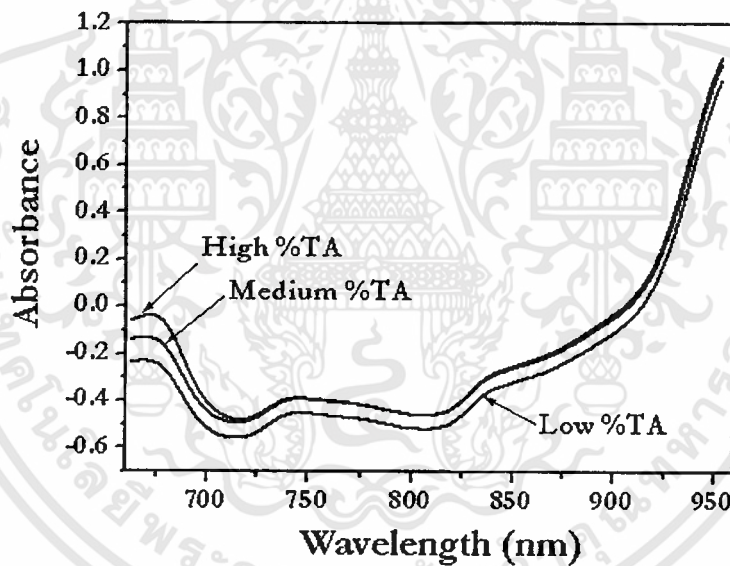
ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

ตารางที่ 4.12 ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

Training set		Test set					
Spectral pretreatment	N	Factor	R	RMSEC	N	R	RMSEP
Smoothing	126	19	0.93	0.28	54	0.92	0.32

#### 4.8 ความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้

มะเขือเทศจำนวน 167 ผล ใช้ในการทำนายปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ (titratable acidity, TA) ในมะเขือเทศนั้น โดยแบ่งเป็นกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) จำนวน 117 ผล และกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการอีกจำนวน 50 ผล สำหรับใช้ในการทำนาย จากนั้นนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างโมเดลของแต่ละกลุ่ม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR (partial least squares regression) เพื่อประเมินความแม่นยำในการทำนาย ภาพที่ 4.17 แสดงค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้จะเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าการดูดกลืนแสง คือเมื่อปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้เพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงก็จะเพิ่มขึ้น และค่าทางสถิติของมะเขือเทศทั้งสองกลุ่ม ระหว่างกลุ่มที่ใช้ในการสร้างสมการ (training set) และกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ (test set) แสดงในตารางที่ 4.13

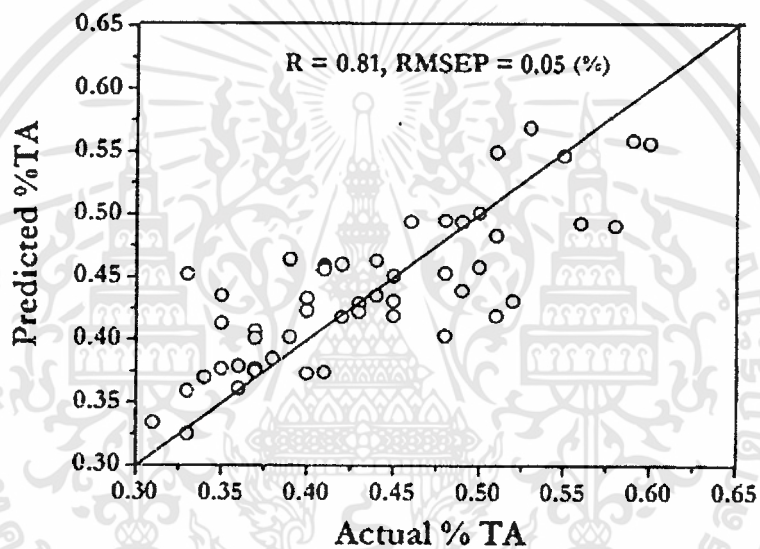


ภาพที่ 4.17 ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของของปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ระดับต่างๆ

ตารางที่ 4.13 ค่าทางสถิติของมะเขือเทศกลุ่มที่ใช้สร้างสมการและกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

Sample set	N	Unit	Range	Mean	SD
Training	117	%	0.29-0.62	0.44	0.08
Test	50	%	0.31-0.60	0.44	0.08

จากการสร้างโมเดลในกลุ่มที่ใช้สร้างสมการเพื่อทดสอบการทำนาย ปริมาณกรดที่ ไตรเตรทได้ในผลมะเขือเทศด้วยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) พบว่า จากการทำให้ปริมาตรในแบบต่างๆ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วย MSC ให้ค่าความแม่นยำ จากการสร้างสมการที่ดีที่สุด ( $R = 0.92$ ,  $RMSEC = 0.03\%$ ) และเมื่อนำโมเดลที่ได้ไปใช้ทดสอบ สมการในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ ให้ค่าความแม่นยำในการทำนาย ปริมาณกรดที่ ไตรเตรทได้ใน ผลมะเขือเทศได้แม่นยำดี ( $R = 0.81$ ,  $RMSEP = 0.05\%$ ) แสดงในตารางที่ 4.14 และความสัมพันธ์ ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนาย ปริมาณกรดที่ ไตรเตรทได้ ในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (test set) แสดงในภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายปริมาณกรดที่ ไตรเตรทได้ ใน กลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ

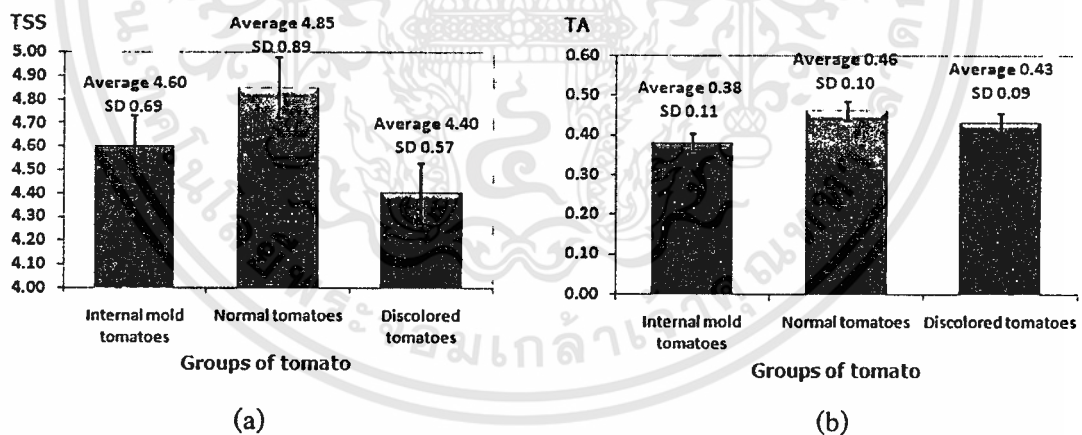
ตารางที่ 4.14 ค่าจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLSR ของการทำนายปริมาณกรดที่ ไตรเตรทได้

Training set					Test set		
Spectral pretreatment	N	Factor	R	RMSEC	N	R	RMSEP
MSC	117	13	0.92	0.03	50	0.81	0.05

#### 4.9 การหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรด

มะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลจำนวน 100 ผล และมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภายในผลอีก 100 ผล ใช้ในการหาความสัมพันธ์ โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างความรุนแรงของการเกิดเชื้อรา และความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรด โดยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม R ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

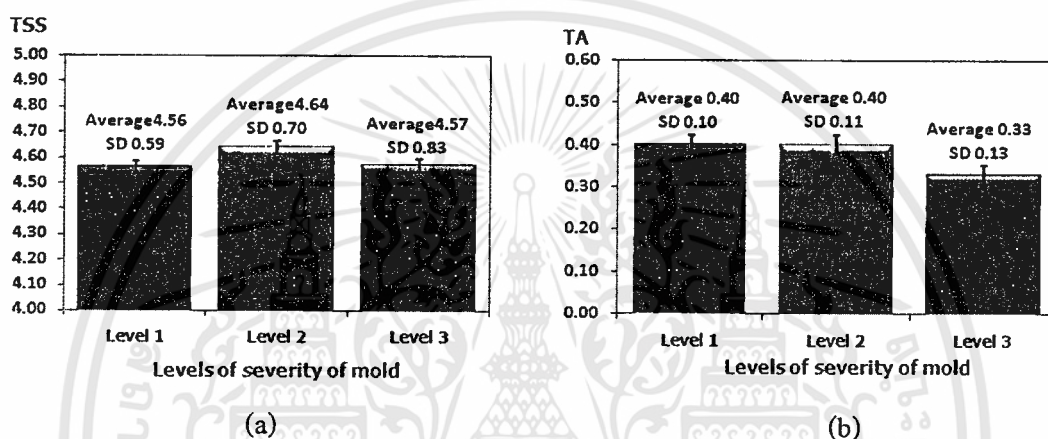
จากการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรด ในมะเขือเทศทั้งสามกลุ่มพบว่า มะเขือเทศกลุ่มปกติมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดเฉลี่ยสูงกว่ามะเขือเทศที่เกิดเชื้อราและมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสี โดยมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภายในผลมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เฉลี่ยน้อยที่สุดภาพที่ 4.19 (a) และมะเขือเทศที่เกิดเชื้อราภายในผลมีปริมาณกรดเฉลี่ยน้อยที่สุด ภาพที่ 4.19 (b)



ภาพที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (a) และปริมาณกรด (b) ในมะเขือเทศทั้ง 3 กลุ่ม

ทำการกำหนดระดับความรุนแรงของเชื้อราในมะเขือเทศเป็น 3 ระดับเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 4.2 โดยกำหนดให้ระดับที่ 1 เป็นระดับความรุนแรงของเชื้อราน้อยมีความรุนแรงในช่วง >0-0.99% จำนวน 30 ผล ระดับที่ 2 เป็นระดับความรุนแรงของเชื้อราปานกลางมีความรุนแรงในช่วง

1.00-1.99% จำนวน 50 ผลและระดับที่ 3 เป็นระดับความรุนแรงของเชื้อรามากมีความรุนแรงมากกว่า 2% จำนวน 20 ผล จากค่าเฉลี่ยของค่าทางเคมีทั้งสองพบว่า ระดับความรุนแรงของเชื้อรา ระดับที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด ตามด้วยระดับที่ 3 และระดับที่ 1 ภาพที่ 4.20 (a) อีกทั้งปริมาณกรดของมะเขือเทศที่ระดับความรุนแรงของการปนเปื้อนของเชื้อรา ระดับที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดมากที่สุด ตามด้วยระดับที่ 2 และระดับที่ 3 ตามลำดับ ภาพที่ 4.20 (b)



ภาพที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (a) และปริมาณกรด (b) ของความรุนแรงเชื้อราทั้ง 3 ระดับ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรด (TA) กับระดับความรุนแรงของเชื้อราในผลมะเขือเทศทั้ง 3 ระดับ (น้อย, กลาง และมาก) พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้นั้น ไม่มีผลต่อระดับความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ ( $P > 0.05$ ) แต่ปริมาณกรดนั้นมีผลต่อระดับความรุนแรงของเชื้อราในผลมะเขือเทศอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.15) กล่าวคือเมื่อระดับความรุนแรงของเชื้อรามากขึ้น ปริมาณกรดของมะเขือเทศจะมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.15 ตาราง ANOVA จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ของค่าเคมีในมะเขือเทศเชีอรา

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F value	Sig.
TA	0.08	2	0.04	3.70	0.03*
Residuals	1.09	97	0.01		
TSS	0.18	2	0.09	0.18	0.83
Residuals	47.14	97	0.49		

Significant different at  $P \leq 0.05$

เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ระหว่างระดับความรุนแรงของเชื้อราในผลมะเขือเทศทั้ง 3 ระดับ (น้อย, กลาง และมาก) กับปริมาณกรด พบว่าที่ระดับความรุนแรงน้อยและกลางนั้น ไม่มีความแตกต่างกัน ( $P > 0.05$ ) แต่ที่ระดับความรุนแรงของเชื้อรามากนั้นมีความแตกต่างจากระดับอื่น ( $P \leq 0.05$ ) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.16)

ตารางที่ 4.16 เปอร์เซนต์ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดของความรุนแรงเชื้อราทั้งสามระดับ

Severity of mold	N	TSS <sup>ns</sup>	%TA
1	30	4.56±0.58	0.40±0.09 <sup>a</sup>
2	50	4.64±0.70	0.39±0.11 <sup>a</sup>
3	20	4.57±0.83	0.33±0.13 <sup>b</sup>

TSS = Total soluble solid, %TA = Titratable acidity

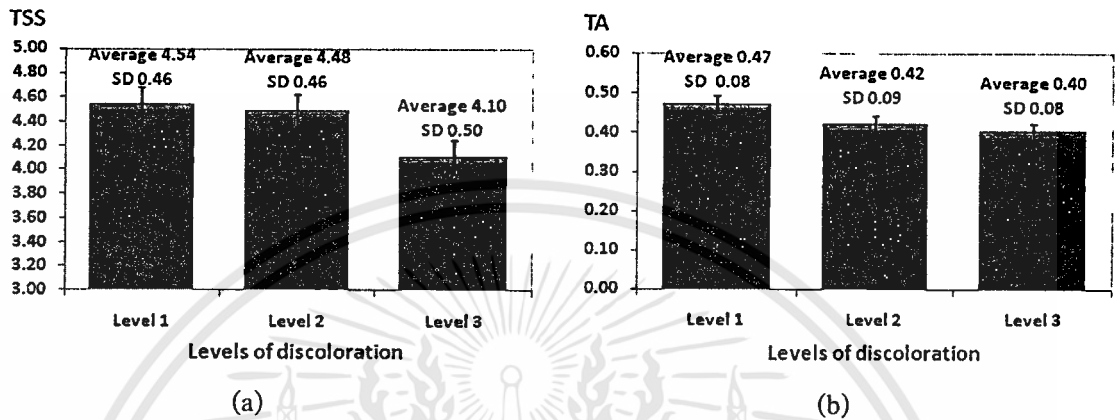
Mean values followed by different script in the same column

differs significantly by Duncan ( $P \leq 0.05$ ), ns = non – significant

สำหรับมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสี จะทำการกำหนดระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสี เช่นเดียวกันกับหัวข้อ 4.5 โดยกำหนดให้ระดับที่ 1 เป็นความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อยมีความรุนแรงในช่วง >0-19.99% จำนวน 37 ผล ระดับที่ 2 เป็นความรุนแรงของความผิดปกติของสีปานกลางมีความรุนแรงในช่วง 20.00-29.99% จำนวน 37 ผล และระดับที่ 3 เป็นความรุนแรงของความผิดปกติของสีมากซึ่งมีความรุนแรงมากกว่า 30.00 % จำนวน 26 ผล จากค่าเฉลี่ยของค่าทางเคมีทั้งสองพบว่า ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีระดับที่ 1 มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด ตามด้วยระดับที่ 2 และระดับที่ 3 ภาพที่ 4.21 (a) อีกทั้งปริมาณกรดของมะเขือเทศที่ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีระดับที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดมากที่สุด ตามด้วยระดับที่ 2 และระดับที่ 3 ตามลำดับ ภาพที่ 4.21 (b)



ภาพที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (a) และปริมาณกรด (b) ของความรุนแรงผิดปกติสีทั้ง 3 ระดับ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรด กับระดับความผิดปกติของสีทั้ง 3 ระดับ (น้อย, กลาง และมาก) พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดนั้น มีผลต่อระดับความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.17)

ตารางที่ 4.17 ตาราง ANOVA จากการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าเคมีในมะเขือเทศ กลุ่มที่มีความผิดปกติของสี

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
TA	0.10	2	0.05	6.60	0.00
Residuals	0.74	97	0.01		
TSS	3.29	2	1.64	5.56	0.00
Residuals	28.66	97	0.30		

Significant different at  $P \leq 0.05$

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan พบว่าระดับความผิดปกติของสี

ภายในผลมะเขือเทศทั้ง 3 ระดับ มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยระดับความรุนแรงของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดปกติของสีระดับน้อย และกลางนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) แต่ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีระดับมากนั้นมีความแตกต่างจากระดับอื่น ( $P\leq 0.05$ ) อย่างมีนัยสำคัญ คือเมื่อระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะลดลง และในส่วนของปริมาณกรดพบว่า ระดับความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศทั้ง 3 ระดับ มีผลต่อปริมาณกรด โดยที่ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีระดับกลาง และมากนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) แต่ระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีน้อยนั้นมีความแตกต่างจากระดับอื่น ( $P\leq 0.05$ ) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.18) โดยเมื่อระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีมากขึ้นปริมาณกรดจะมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.18 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดของระดับความรุนแรงความผิดปกติของทั้งสามระดับ

Level of discoloration	N	TSS	%TA
1	37	4.54±0.46 a	0.47±0.08 <sup>a</sup>
2	37	4.48±0.46 a	0.42±0.09 <sup>b</sup>
3	26	4.10±0.50 b	0.40±0.08 <sup>b</sup>

TSS = Total soluble solid, %TA = Titratable acidity

Mean values followed by different script in the same column

differs significantly by Duncan ( $P\leq 0.05$ )

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การทำนายการเกิดเชื้อราและระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อรา ภายในผลมะเขือเทศ แบบไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคแสงช่วงสายตามองเห็น และย่านใกล้อินฟราเรดแบบทะลุผ่าน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ (PLS-DA) พบว่าจากการปรับแต่งสเปกตราคด้วย standard normal variate transformation (SNV) และ smoothing (Savitzky-Golay) นั้น สามารถทำนายการเกิดเชื้อราเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศ ในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการได้ถึง 91.7% และยังสามารถทำนายการเกิดเชื้อรา ตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพภายในผลมะเขือเทศได้อีกด้วย โดยพบว่าเมื่อระดับการปนเปื้อนของเชื้อราเพิ่มมากขึ้น ความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยระดับการปนเปื้อนของเชื้อรามาก จะมีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงสูงสุด และเมื่อทำการศึกษาความแม่นยำในการทำนาย ระดับความรุนแรงของการเกิดเชื้อราเชิงปริมาณภายในผลมะเขือเทศ ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ (PLSR) พบว่าทำนาย % ของพื้นที่ที่เกิดเชื้อราได้ไม่ดี

การทำนายการเกิดความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ และระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสี โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ (PLS-DA) พบว่าจากการปรับแต่งสเปกตราคด้วย standard normal variate transformation (SNV), smoothing (median filter) และ differentiation (first derivative) นั้น สามารถทำนายการเกิดความผิดปกติของสีเชิงคุณภาพ ในกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการได้ถึง 88.3% และยังสามารถทำนายการเกิดความผิดปกติของสีตามระดับความรุนแรงเชิงคุณภาพได้อีกด้วย โดยพบว่าเมื่อระดับของความผิดปกติของสีเพิ่มมากขึ้น ความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย เช่นเดียวกับระดับความรุนแรงของเชื้อรา โดยระดับของความผิดปกติของสีมาก จะมีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการทำนายสูงสุด อีกทั้งการศึกษาความแม่นยำในการทำนายระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีเชิงปริมาณภายในผลมะเขือเทศด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ (PLSR) พบว่าสามารถทำนาย % ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติของสีได้แม่นยำปานกลาง

ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในมะเขือเทศด้วยวิธีวิเคราะห์แบบ (PLSR) พบว่าในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ ให้ค่าความแม่นยำในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำได้ในผลมะเขือเทศได้แม่นยำดีมาก จากการปรับแต่งสเปกตราดด้วย smoothing (Savitzky-Golay) อีกทั้งในการทำนายปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้พบว่าในกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบสมการ ให้ค่าความแม่นยำในการทำนายปริมาณกรดที่ไตรเตรทได้ในผลมะเขือเทศได้แม่นยำดี จากการปรับแต่งสเปกตราดด้วย MSC เช่นกัน

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดเชื้อราและความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดพบว่า มะเขือเทศที่เกิดเชื้อราขึ้นภายในผลมีผลต่อปริมาณกรดในมะเขือเทศ และระดับความรุนแรงของเชื้อราก็มีผลต่อปริมาณกรดเช่นกัน โดยเมื่อระดับความรุนแรงของเชื้อรามากขึ้นจะทำให้ปริมาณกรดของมะเขือเทศลดลง สำหรับมะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีนั้นพบว่า ความผิดปกติของสีมีผลทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรด โดยเมื่อระดับความรุนแรงของความผิดปกติของสีมากขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดจะลดลง

โมเดลที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทำนายการเกิดเชื้อรา ความผิดปกติของสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณกรดนั้น ให้ความแม่นยำในการทำนายสูงและมีประสิทธิภาพในการทำนายค่อนข้างดี ซึ่งสามารถนำโมเดลที่สร้างขึ้นนี้ ไปประยุกต์ใช้ในสายการผลิตสำหรับอุตสาหกรรม เพื่อใช้ในการคัดแยกมะเขือเทศได้รวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่างได้จริง

จากโมเดลสมการที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทำนายการเกิดเชื้อรา ความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศและระดับความรุนแรง รวมทั้งโมเดลที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้และปริมาณกรดในมะเขือเทศพันธุ์ลูกท้อนั้น สามารถนำโมเดลที่สร้างขึ้น ไปประยุกต์ใช้จริงในสายการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมได้ เพื่อสามารถคัดแยกมะเขือเทศที่มีความผิดปกติออกจากมะเขือเทศปกติ และให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถคัดแยกมะเขือเทศที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ และไม่ทำลายตัวอย่างอีกด้วย

## บรรณานุกรม

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. สาเหตุการเกิดเชื้อราในมะเขือเทศ. [ระบบออนไลน์].  
แหล่งที่มา: [http://www.moac.go.th/faq\\_detail.php?fa\\_id=1038](http://www.moac.go.th/faq_detail.php?fa_id=1038) (19 ตุลาคม 2555)
- กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2555. โครงการพัฒนาสังคมแห่งความเท่าเทียม  
ด้วย ICT. เอกสารประกอบการอบรมกิจกรรมอบรมความรู้ด้าน ICT เพื่อส่งเสริมความเท่า  
เทียม หลักสูตร ICT เพื่ออาชีพ กับการสร้างสื่อประชาสัมพันธ์ สำหรับผู้ด้อยโอกาส.  
[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.equitableociety.com/disability.pdf> (28 ตุลาคม  
2555)
- เกตุอร ทองเครือ. 2555. มะเขือเทศท้อ. สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริม  
การเกษตร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [agrimedia.agritech.doae.go.th/book/book-  
veg/V8%20060.pdf](http://agrimedia.agritech.doae.go.th/book/book-veg/V8%20060.pdf) (28 ตุลาคม 2555)
- กรมชลประทาน. 2555. การศึกษาหาปริมาณการใช้น้ำที่เหมาะสมของมะเขือเทศราชินี ปีที่ 1 โดย  
นางสาวสำเภา แก้วสระแสนและคณะ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา:  
<http://water.rid.go.th/hwm /cropwater/iwmd/db/pdf/PDF0005.pdf> (28 ตุลาคม 2555)
- ศิราพร ริพล. 2551. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโดยเนียร์อินฟราเรดรีเฟลกแทนซ์  
สเปกโทรสโกปี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ศิรินภာ ศรีฉวีวงศ์. 2544. การหาระดับความแก่ สำหรับเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงเพื่อการบริโภคสด  
แบบไม่ทำลายตัวอย่าง โดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. Journal of Near Infrared  
Spectroscopy. 9: หน้า 287-295.
- ศุมาพร เกษมตำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการใน  
เทคนิคสเปกโทรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. หน้า 131-151. ใน: วารุณี ธนะแพทย์, อนุพันธ์  
เทิดวงศ์วรกุล และธงชัย สุวรรณสิขณณ์, (ผู้รวบรวม), การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วย  
เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. 27-28 พฤษภาคม  
2545. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร,  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำนักงานพัฒนาที่ดิน จังหวัดขอนแก่น. 2555. ผลของการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ และสารป้องกันแมลงศัตรูพืชต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศพันธุ์สีดา ในจังหวัดขอนแก่น. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [r05.1dd.go.th/research/3\\_04.pdf](http://r05.1dd.go.th/research/3_04.pdf) (28 ตุลาคม 2555)
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. มะเขือเทศ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.acfs.go.th/standard/download/std\\_tomato.pdf](http://www.acfs.go.th/standard/download/std_tomato.pdf) (28 ตุลาคม 2555)
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. สถิติการส่งออก (Export) มะเขือเทศสดหรือแช่เย็น. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.oae.go.th/oae\\_report/export\\_import/export\\_result.php](http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php) (18 ตุลาคม 2555)
- อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2554. รายงานสรุปการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เครื่องมือและอุปกรณ์ของ near infrared spectrophotometer การสุ่ม การเตรียมตัวอย่าง และเลือกอุปกรณ์ใส่ตัวอย่าง การปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.dld.go.th/qcontrol/images/stories/gfeed/feed\\_20110902-1.pdf](http://www.dld.go.th/qcontrol/images/stories/gfeed/feed_20110902-1.pdf) (19 ตุลาคม 2555)
- Carlini, P., Massantini, R., and Mencarelli, F. 2000. Vis-NIR measurement of soluble solids in cherry and apricot by PLS regression and wavelength selection. *Journal of Agriculture*. 48: 5236–5242.
- Chen, L. 2008. Non-Destructive Measurement of Tomato Quality using Visible and Near-infrared Spectroscopy. Master Thesis. McGill University, Canada. 82 pp.
- Cho, B., Kim, M., Baek, I., Kim, D., Lee, W., Kim, J., Bae, H. and Kim, Y. 2013. Detection of cuticle on cherry tomatoes using hyperspectral fluorescence imagery. *Postharvest Biology and Technology*. 76: 40-49
- Flores, K., Sanchez, M. T., Dolores, P.M., Guerrero, J.E., and Varo, A.G. 2009. Feasibility in NIRS instruments for predicting internal quality in intact tomato . *Journal of Food Engineering*. 91: 311-318.

- Greensill, C.V. and Walsh, K.B. 2000. Aremote acceptance probe and illumination configuration for spectral assessment of internal attributes of intact fruit. *Measurement Science and Technology*.11: 1674–1684.
- Guyer, D.E., Ariana, D. and Shrestha, B., Lu, R.F. 2006. Opto-electronic determination of Insect presence in fruit. In: Portland, OR, Proceedings of the ASAE, Paper number 066061.
- Hartz, T., Miyao, G., Mickler, J., Lestrangle, M., Stoddard, S., Nunez, J. and Aegerter, B. 2008. Processing tomato production in California. *Vegetable Production Series*. UC Peer Reviewed, California.
- Herrera, J., Guesalaga, A. and Agosin, E. 2003. Shortwave-near infrared spectroscopy for non-destructive determination of maturity of wine grapes. *Measurement Science and Technology*. 14: 689–697.
- Kavdir, I., Lu, R., Ariana, D. and Ngouajio M. 2007. Visible and Near-Infrared Spectroscopy for Nondestructive Quality Assessment of Pickling Cucumbers, *Postharvest Biology and Technology*. 44: 165–174.
- Kawano, S., Watanabe, H. and Iwamoto, M. 1992. Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interactance mode. *Journal of Japan Society for Horticultural Science*. 61: 445–451.
- Lu, R. 2001. Predicting firmness and sugar content of sweet cherries using near-infrared diffuse reflectance spectroscopy. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 44: 1265–1271.
- Makino, Y., Ichimura, M., Oshita, S., Kawagoe, Y., and Yamanaka, H. 2010. Estimation of oxygen uptake rate of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits by artificial neural networks modelled using near-infrared spectral absorbance and fruit mass. *Food chemistry*. 121: 533-5.
- McGlone, V.A. and Kawano, S. 1998. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR-spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*.13: 131–141.
- Miller, W.M. and Zude-Sasse, M. 2004. NIR-based sensing to measure soluble solids content of florida citrus. *Applied Engineering in Agriculture*. 20: 321–327.

- Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P.H. 1993. Practical NIR Spectroscopy with applications in food and beverage analysis. Second Edition. Longman Scientific and Technical, Harlow, Essex, UK. 227 pp.
- Shao, Y., He, Y., Gomez, A.H., Pereir, A.G., Qui, Z., and Zhang, Y. 2007. Visible/near infrared spectrometric technique for nondestructive assessment of tomato 'Heatwave' (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics. *Journal of Food Engineering*. 81: 672-678.
- Tarkosova, J and Copikova, J. 2000. Determination of carbohydrate content in bananas during ripening and storage by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 8: 21–26.
- Teerachaichayut, S., Kwon, Y. K., Terdwongworakul, A., Thanapase, W. and Nakanishi, Y. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*. 43: 202–206.
- Walsh, K.B., Golic, M. and Greensill, C.V. 2004. Sorting of fruit using near infrared spectroscopy: application to a range of fruit and vegetables for soluble solids and dry matter content. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 2: 141–148.
- Xie, L., Ying, Y., and Ying, T. 2009. Classification of tomatoes with different genotypes by visible and short-wave near-infrared spectroscopy with least-squares support vector machines and other chemometrics. *Journal of Food Engineering*. 94: 34-39.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



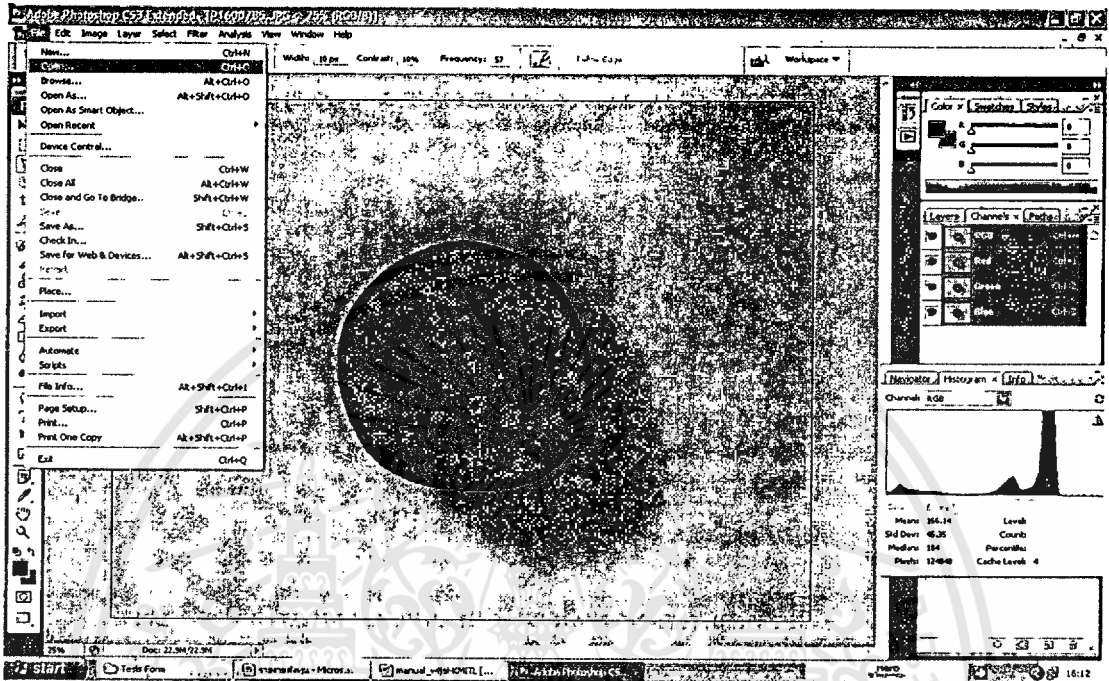
ภาคผนวก ก  
การหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศด้วยโปรแกรม  
Photoshop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศด้วยโปรแกรม Photoshop

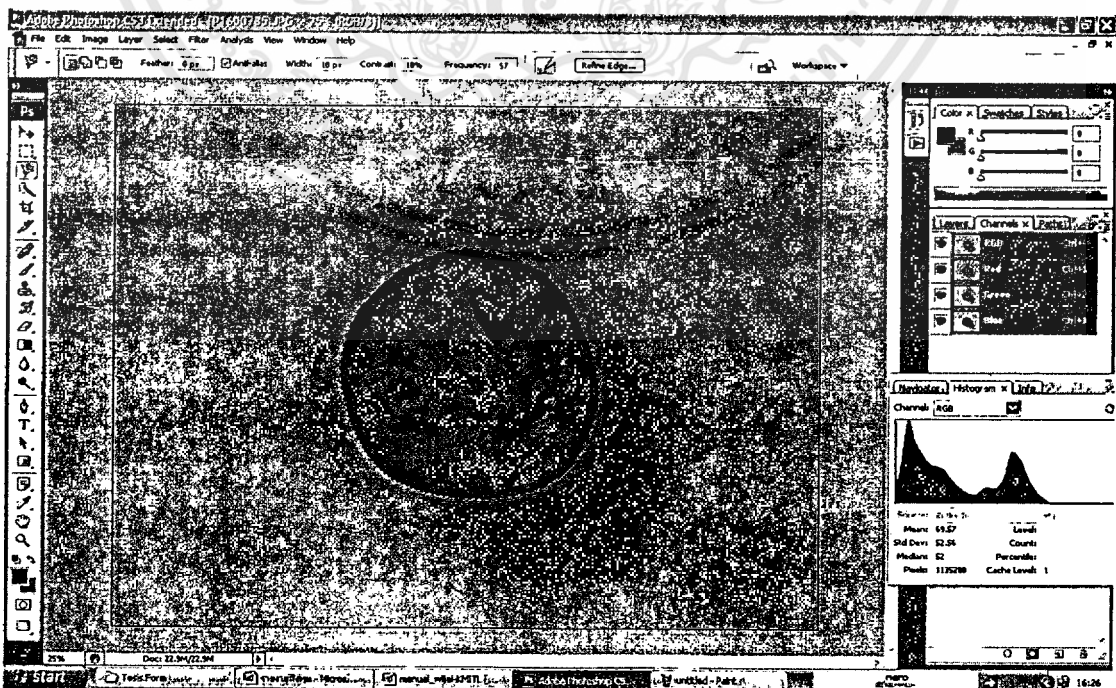
วิธีการหาความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศมีวิธีดังต่อไปนี้

เปิดโปรแกรม Photoshop แล้วเปิดภาพมะเขือเทศที่ต้องการ โดย File → Open → เลือกภาพ



ภาพที่ ก.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของเชื้อราของมะเขือเทศด้วยโปรแกรม Photoshop

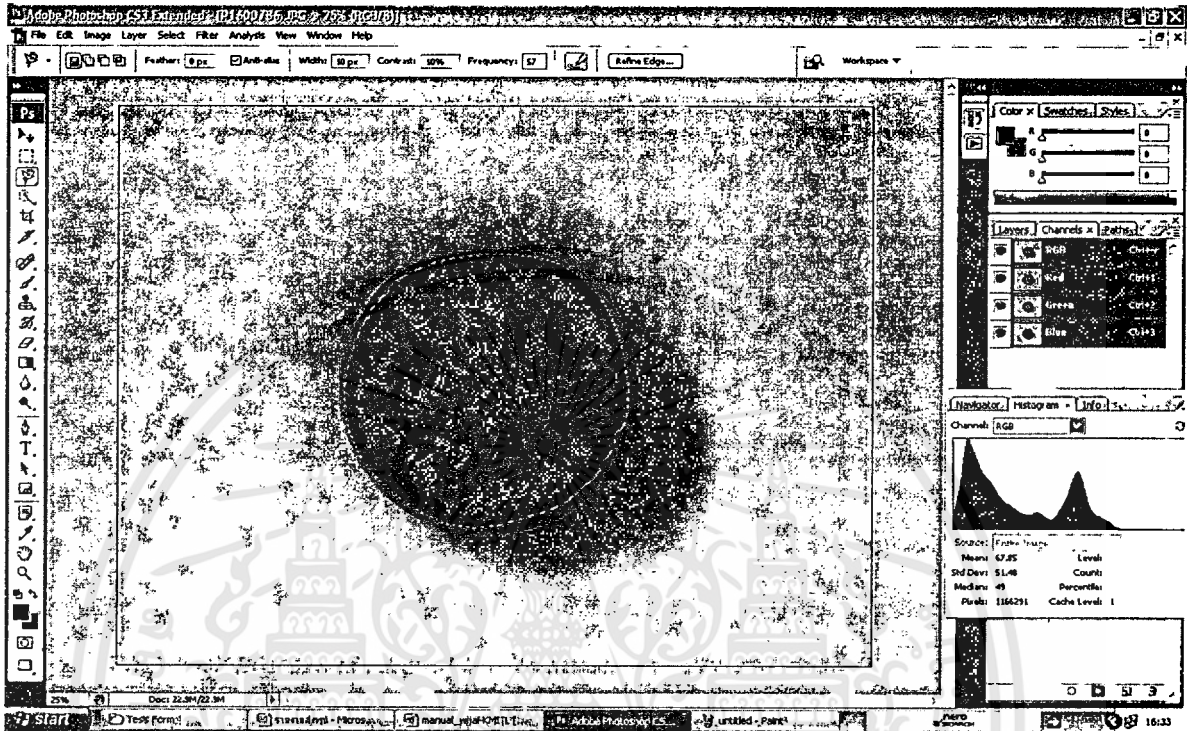
คลุมพื้นที่มะเขือเทศ แล้วอ่านค่า pixel จาก histogram โดยก่อนอ่านค่านั้นต้องกำหนดค่า cache level ให้เป็น 1 ก่อน ด้วยการกด uncached refresh ก่อนอ่านค่าทุกครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

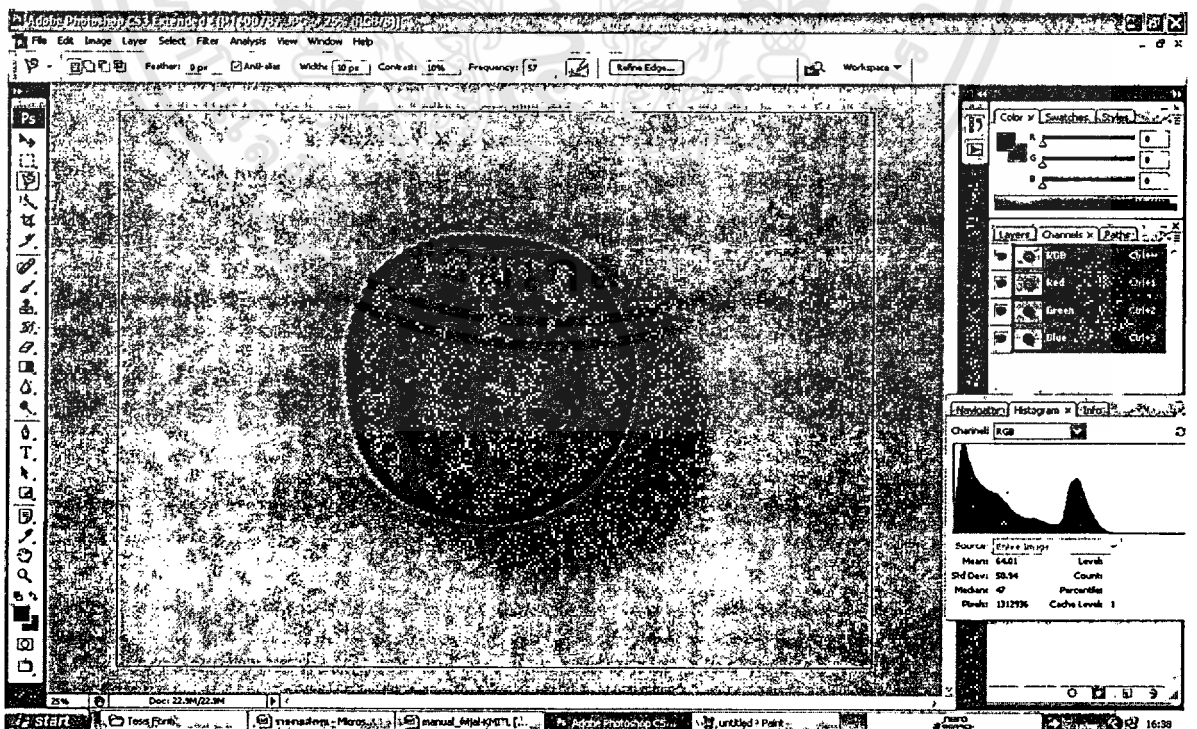
ภาพที่ ก.2 มะเขือเทศเขียวรูปภาพที่ 1

จดค่า pixel ที่อ่านได้ เช่นมะเขือเทศภาพแรกอ่านค่า pixel ได้ 1135280 จากนั้นทำเช่นเดิมกับมะเขือเทศภาพต่อไป โดยมะเขือเทศภาพที่ 2 อ่านค่า pixel ได้ 1166291



ภาพที่ ก.3 มะเขือเทศเขียวรูปภาพที่ 2

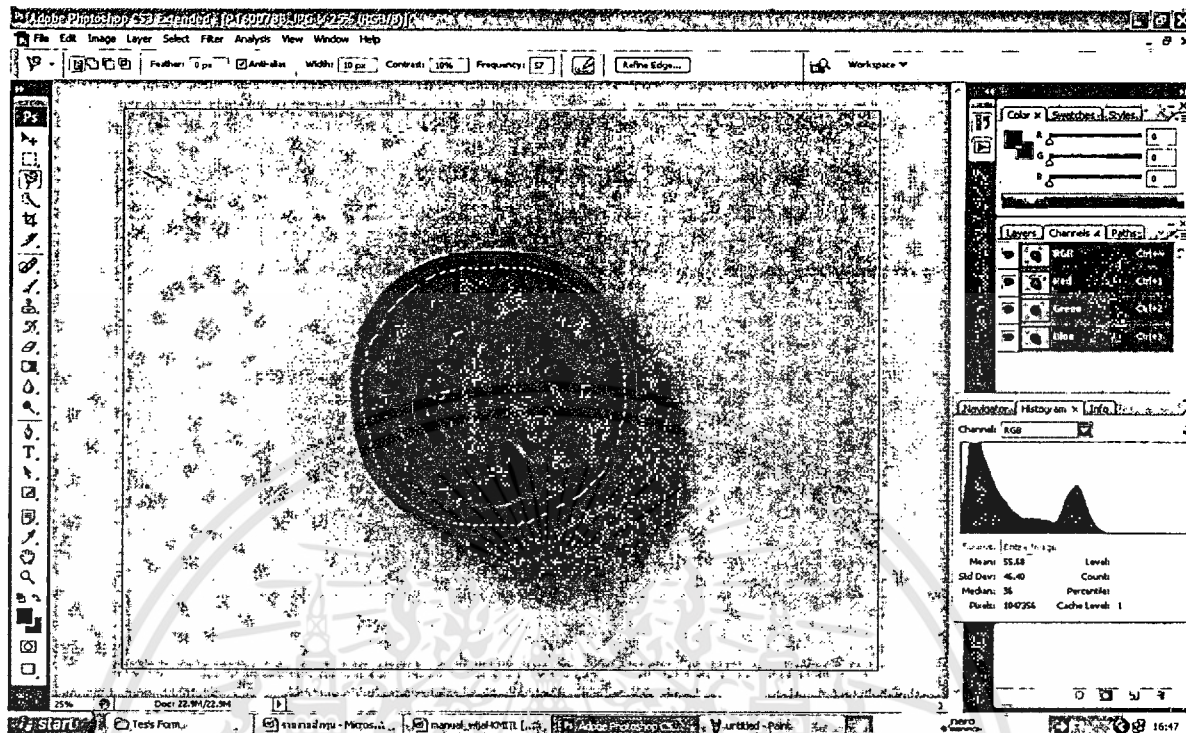
มะเขือเทศภาพที่ 3 อ่านค่า pixel ได้ 1312936



ภาพที่ ก.4 มะเขือเทศเขียวรูปภาพที่ 3

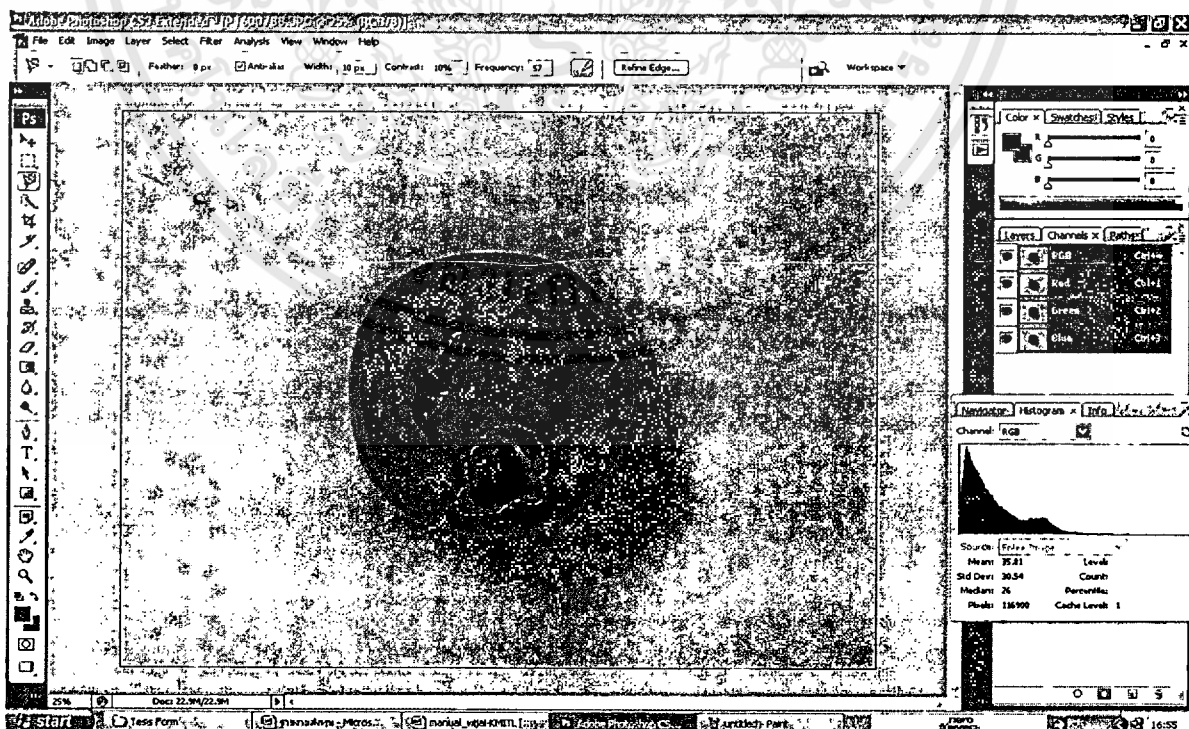
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศภาพที่ 4 อ่านค่า pixel ได้ 1047356



ภาพที่ ก.5 มะเขือเทศเขียวภาพที่ 4

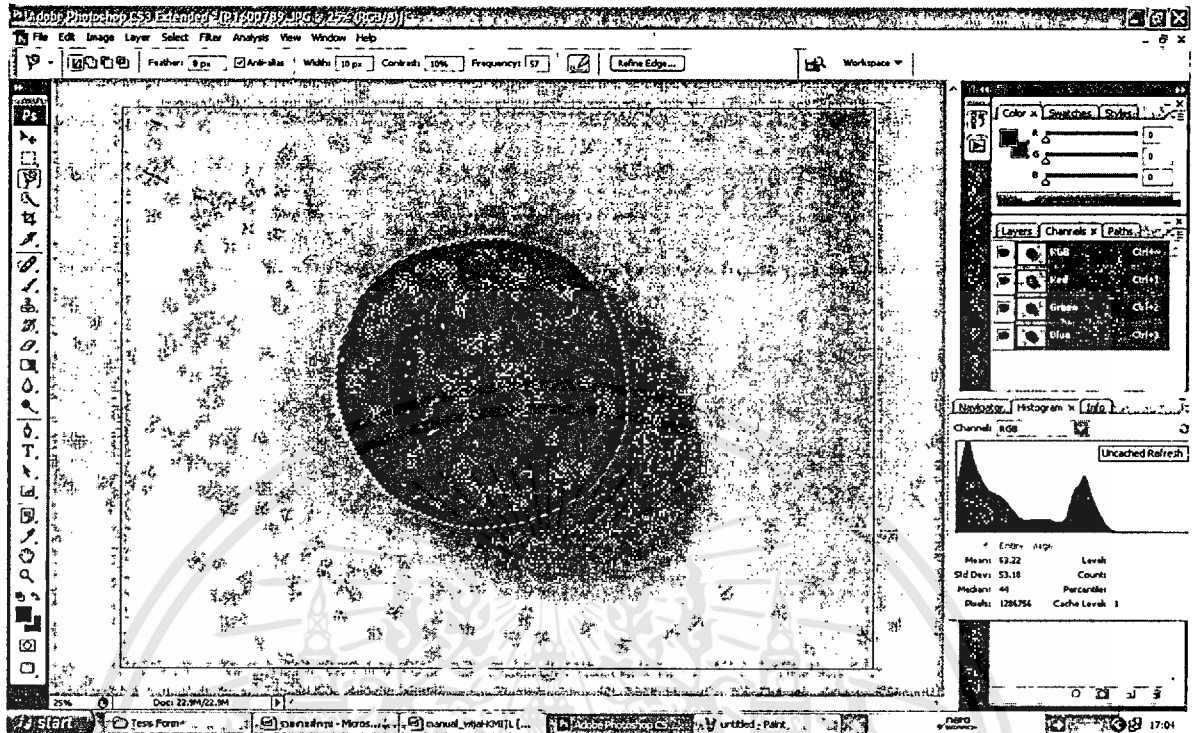
เมื่อพบเขีอรภายในภาพมะเขือเทศ ทำการคลุมพื้นที่ที่เกิดเขีอร แล้วอ่านค่า pixel เช่นเดียวกันกับการอ่านค่า pixel โดยพื้นที่ที่เกิดเขีอรสามารถอ่านค่า pixel ได้ 116900 แล้วทำการจดค่าไว้



ภาพที่ ก.6 มะเขือเทศเขีอรภาพที่ 4-2

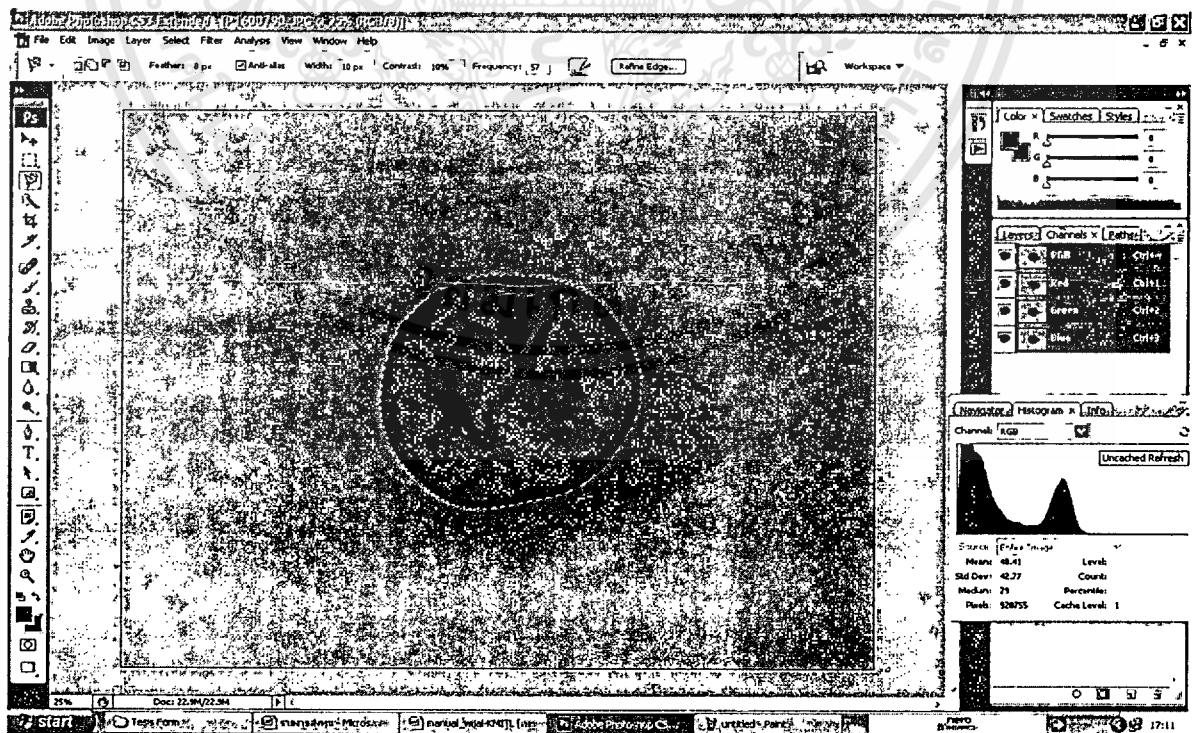
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศภาพที่ 5 อ่านค่า pixel ได้ 1286756



ภาพที่ ก.7 มะเขือเทศเขียวภาพที่ 5

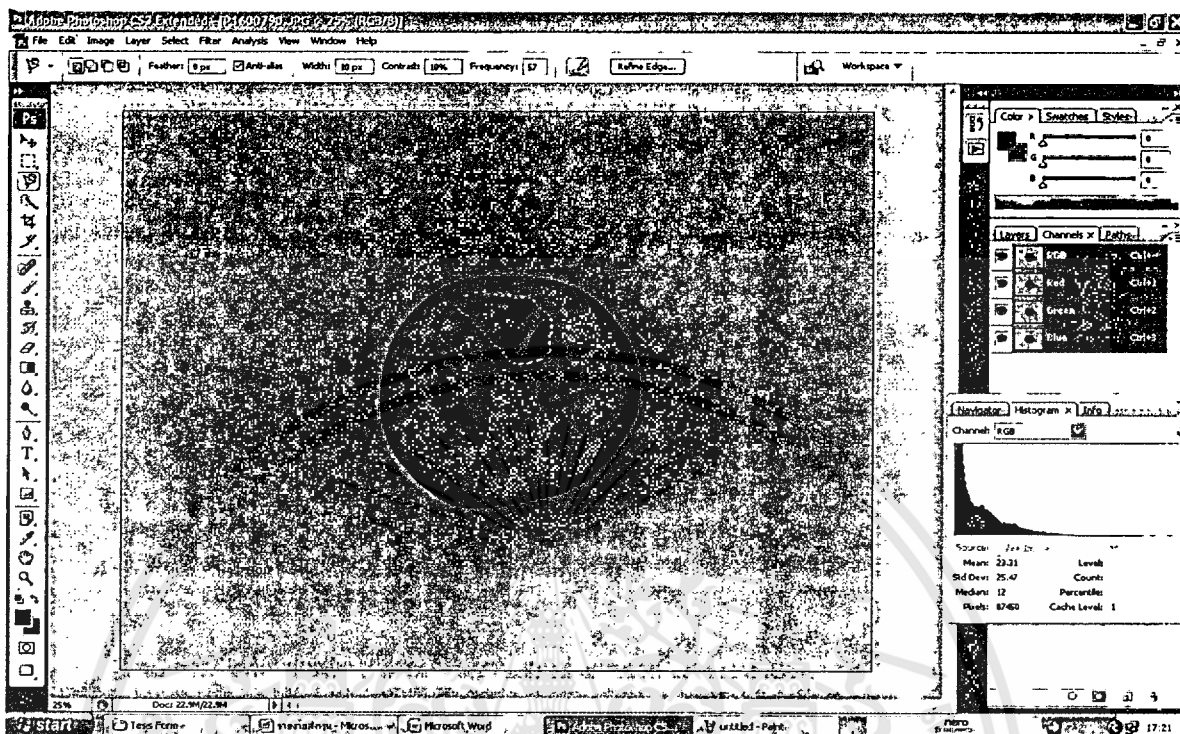
มะเขือเทศภาพที่ 6 อ่านค่า pixel ได้ 928755



ภาพที่ ก.8 มะเขือเทศเขียวภาพที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ที่เกิดเชื้อราสามารถอ่านค่า pixel ได้ 87450 แล้วทำการจดค่าไว้



ภาพที่ ก.9 มะเขือเทศเชื้อราภาพที่ 6-2

ก.2 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของเชื้อราภายในผลมะเขือเทศ ทำการคำนวณจากจำนวน pixel ของพื้นที่ที่ ผิดปกติหารด้วยจำนวน pixel ของพื้นที่ทั้งหมดภายในผล จะทำให้ได้ค่าระดับความรุนแรงตามค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติในแต่ละผล

วิธีคำนวณ พื้นที่ที่เกิดเชื้อราทั้งหมด  $116900 + 87450 = 204350$

พื้นที่ปกติทั้งหมด  $1135280 + 1166291 + 1312936 + 1047356 + 1286756 + 928755 = 6877374$

% ความรุนแรงของเชื้อรา =  $204350 / 6877374 * 100 = 2.97 \%$



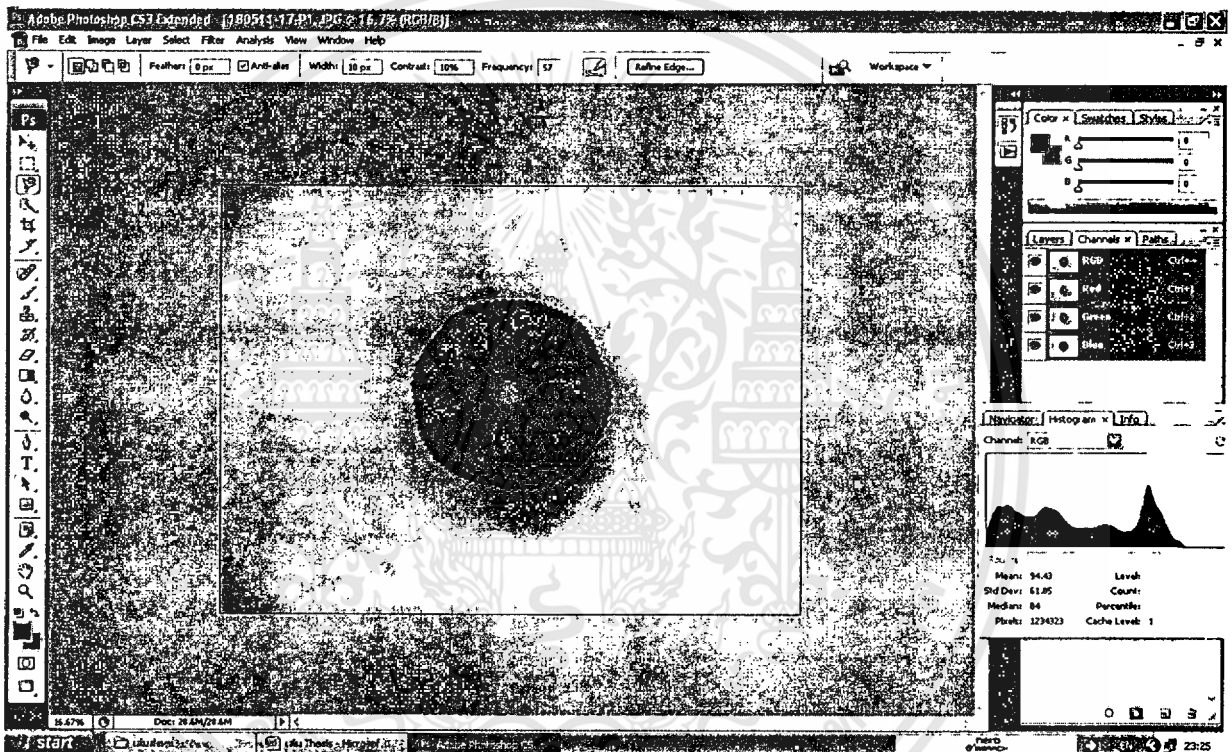
ภาคผนวก ข  
การหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ  
ด้วยโปรแกรม Photoshop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศด้วยโปรแกรม Photoshop

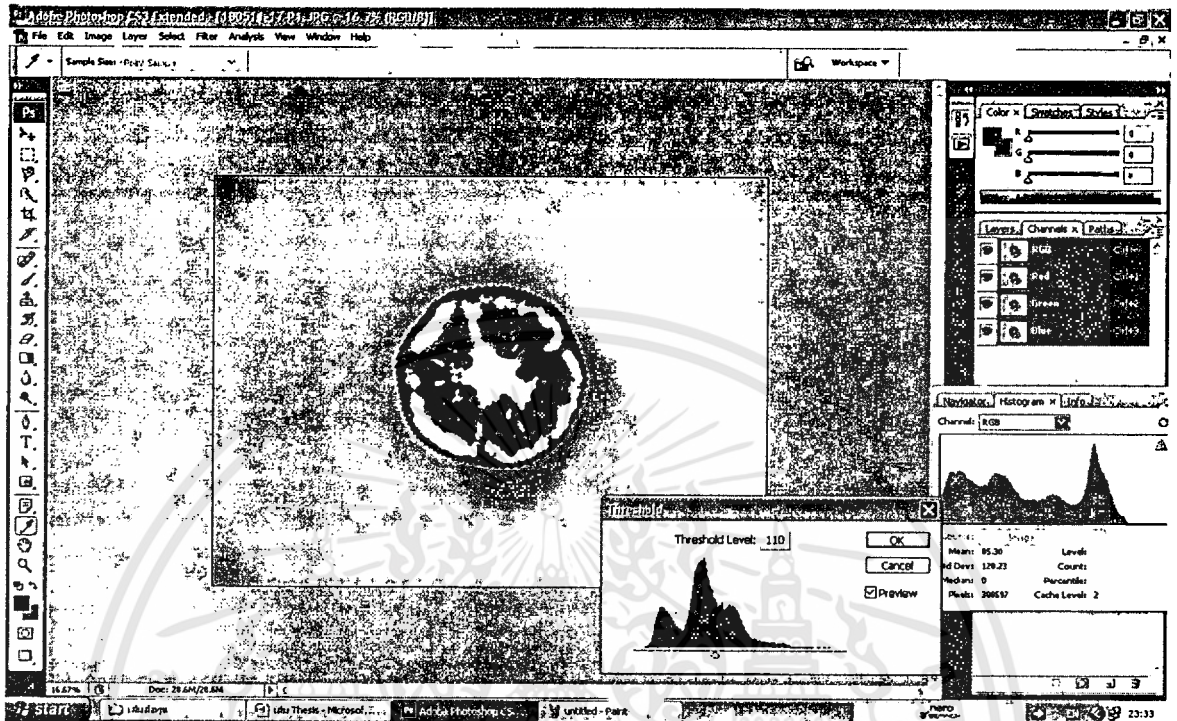
วิธีการหาความรุนแรงของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศมีวิธีดังต่อไปนี้

เปิดโปรแกรม Photoshop แล้วเปิดภาพมะเขือเทศที่ต้องการ โดย File → Open → เลือกภาพที่ต้องการ → คลุมพื้นที่มะเขือเทศ แล้วอ่านค่า pixel โดยต้องกำหนดค่า cache level ให้เป็น 1 ก่อน ด้วยการกด uncached refresh ก่อนอ่านค่าทุกครั้ง โดยมะเขือเทศภาพที่ 1 อ่านค่า pixel ได้ 1234323



ภาพที่ ข.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของความผิดปกติของสีด้วยโปรแกรม Photoshop

ทำการคลุมพื้นที่ความผิดปกติของสี โดย Image → Adjustment → Threshold แล้วทำการ  
กำหนดค่า Threshold Level ให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติของสีจริง



ภาพที่ ข.2 มะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภาพที่ 1

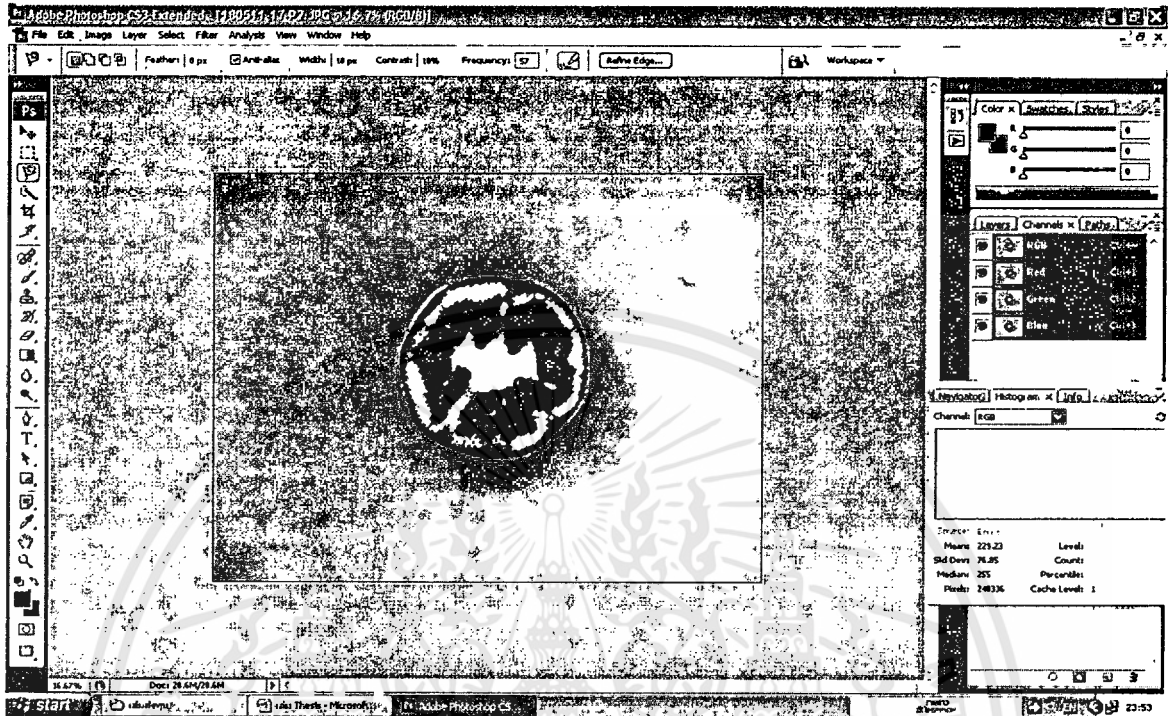
ทำการคลุมพื้นที่ที่เป็นสีขาว ซึ่งเป็นพื้นที่ของความผิดปกติของสีจริง แล้วทำการอ่านค่า ซึ่งอ่านค่า  
ได้ 227696



ภาพที่ ข.3 มะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภาพที่ 1-2

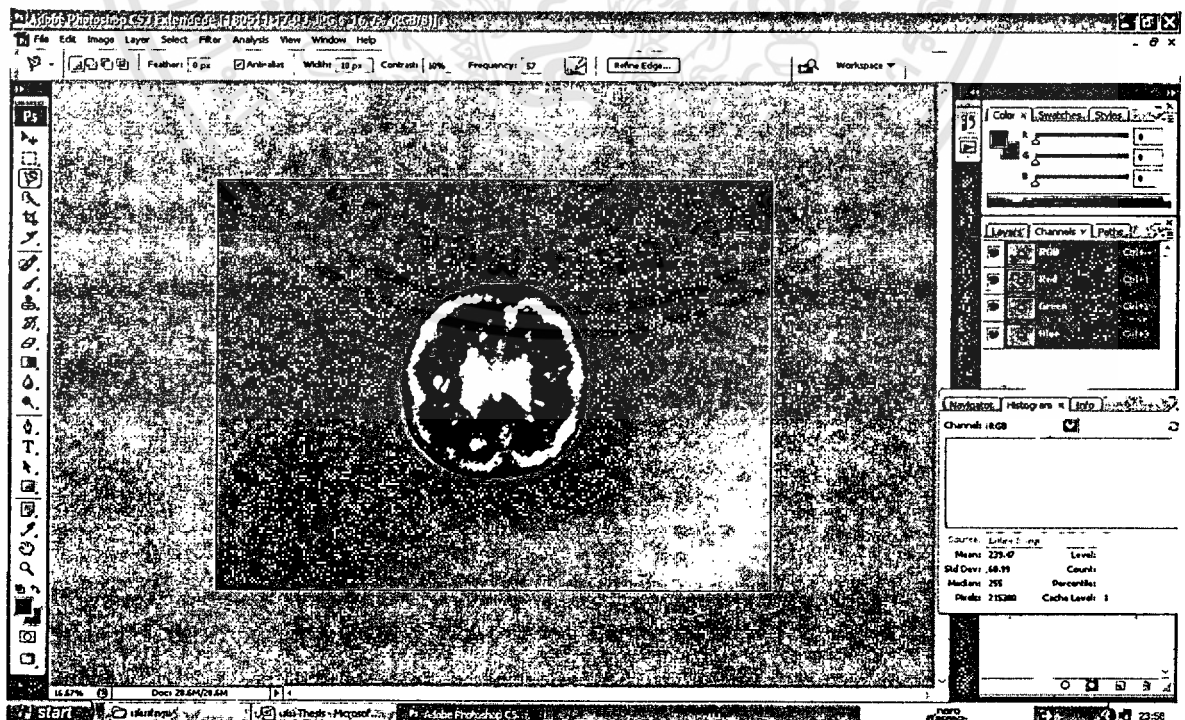
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศภาพที่ 2 ทำเช่นเดียวกับภาพแรก ซึ่งอ่านค่าพื้นที่ปกติได้ 1242463 และอ่านค่าพื้นที่ของความผิดปกติของสีได้ 240336



ภาพที่ ข.4 มะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภาพที่ 2

มะเขือเทศภาพที่ 3 อ่านค่าพื้นที่ปกติได้ 1312149 และอ่านค่าพื้นที่ของความผิดปกติของสีได้ 215380

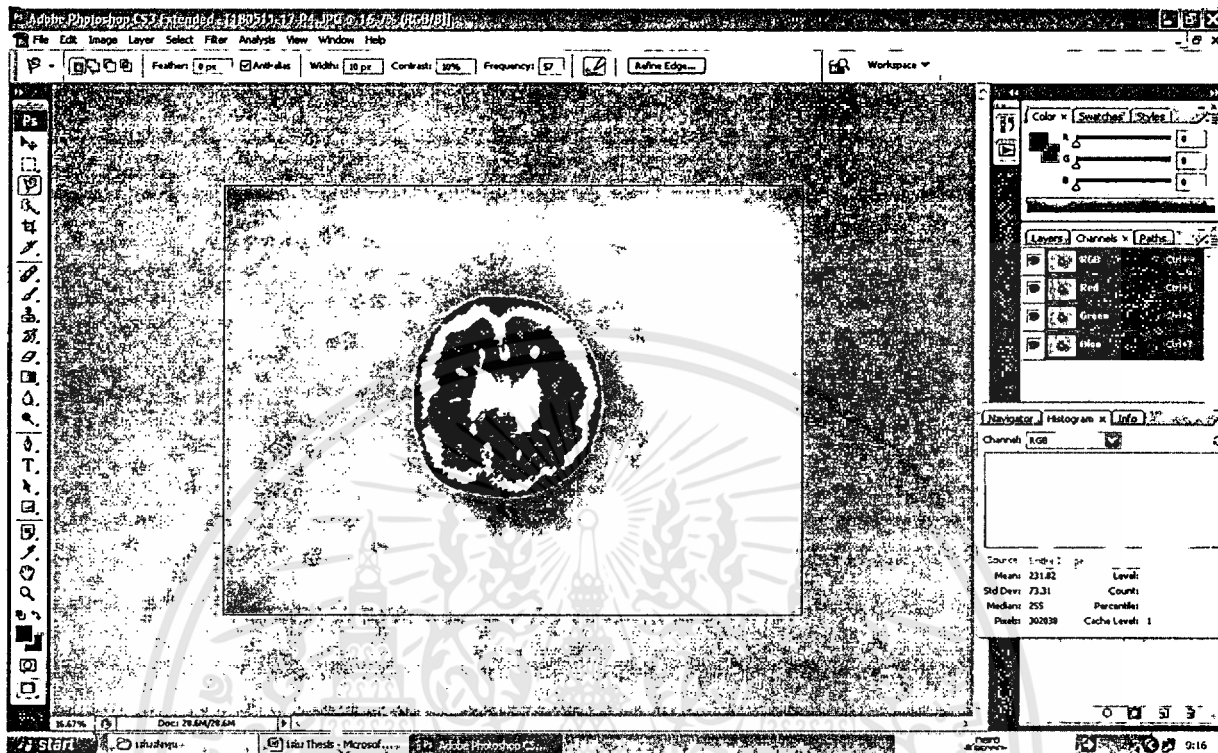


ภาพที่ ข.5 มะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภาพที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

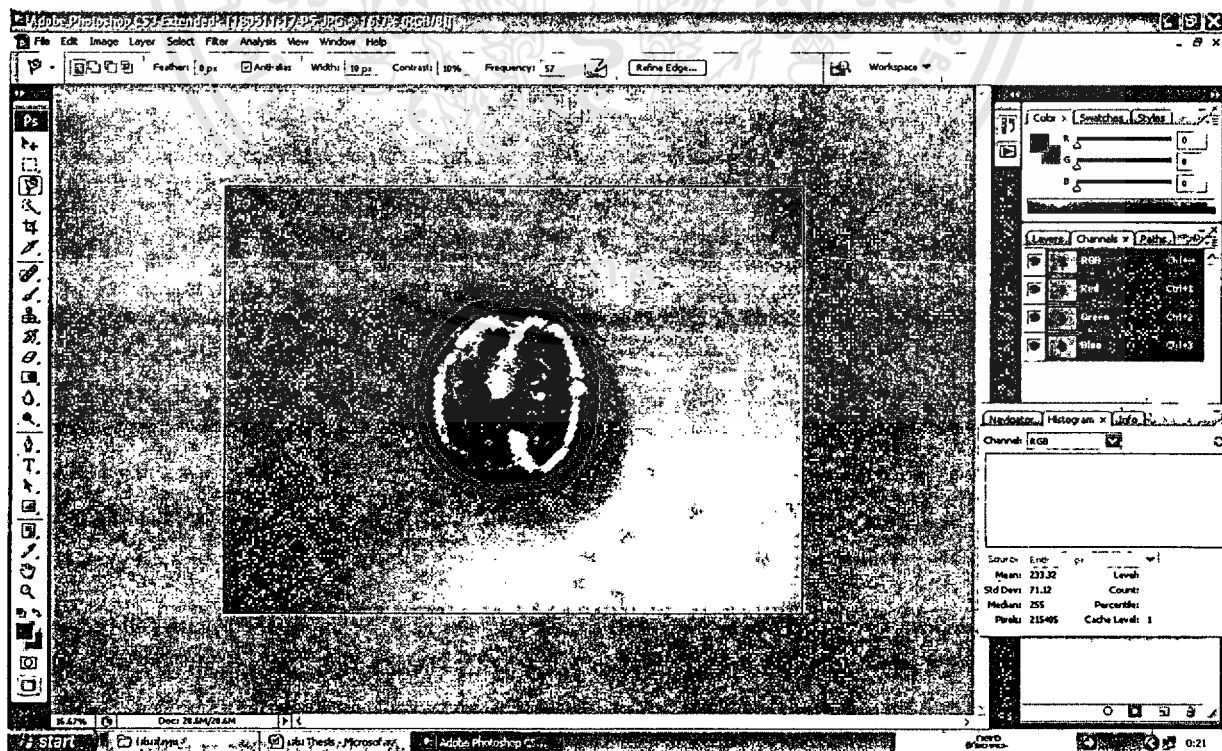
มะเขือเทศภาพที่ 4 อ่านค่าพื้นที่ที่ปกติได้ 1257180 และอ่านค่าพื้นที่ของความผิดปกติของสีได้

302038



ภาพที่ ข.6 มะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภาพที่ 4

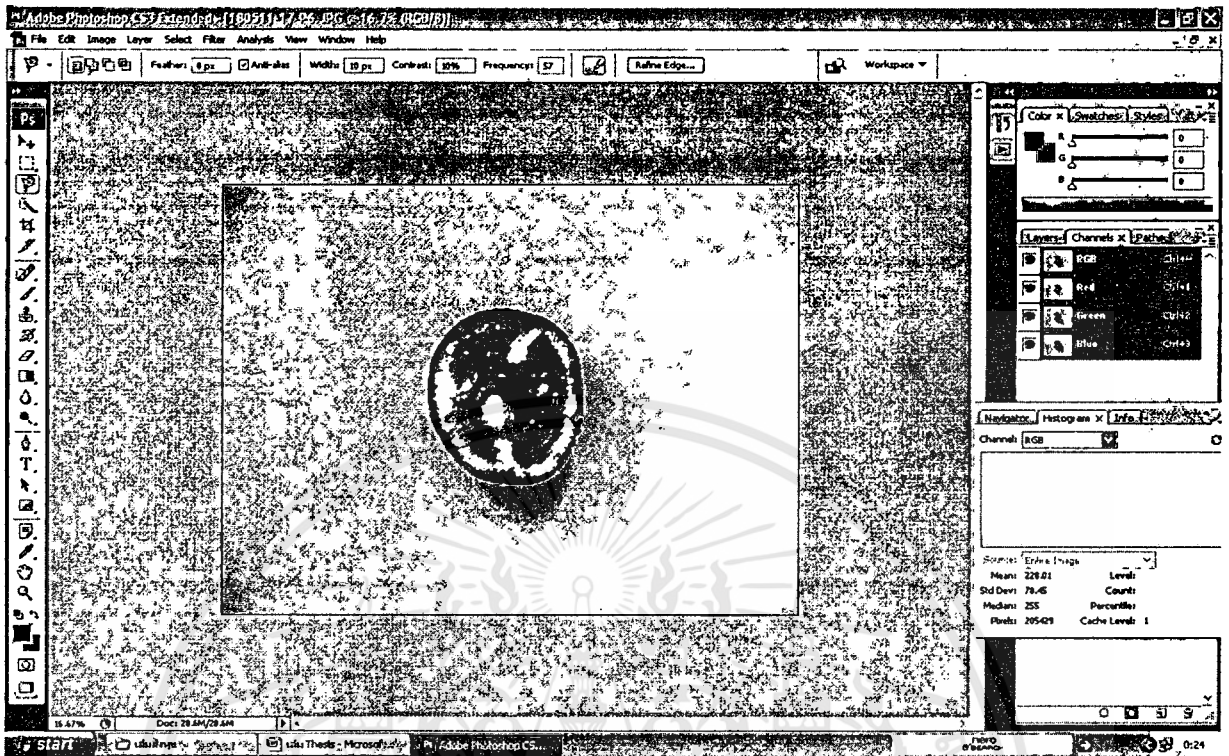
มะเขือเทศภาพที่ 5 อ่านค่าพื้นที่ที่ปกติได้ 943441 และอ่านค่าพื้นที่ของความผิดปกติของสีได้ 215405



ภาพที่ ข.7 มะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภาพที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเขือเทศภาพที่ 6 อ่านค่าพื้นที่ที่ปกติได้ 917510 และอ่านค่าพื้นที่ของความผิดปกติของสีได้ 205429



ภาพที่ ข.8 มะเขือเทศที่มีความผิดปกติของสีภาพที่ 6

## ข.2 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศ

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความรุนแรง ของความผิดปกติของสีภายในผลมะเขือเทศทำการคำนวณจากจำนวน pixel ของพื้นที่ที่ ผิดปกติหารด้วยจำนวน pixel ของพื้นที่ทั้งหมดภายในผล จะทำให้ได้ค่าระดับความรุนแรงตามค่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่เกิดความผิดปกติในแต่ละผล

### วิธีคำนวณ

พื้นที่ที่เกิดความผิดปกติของสีทั้งหมด จาก  $227696 + 240336 + 215380 + 302038 + 215405 + 205429 = 1405284$

พื้นที่ปกติทั้งหมด  $1234323 + 1242463 + 1312149 + 1257180 + 943441 + 917510 = 6907066$

% ความรุนแรงของความผิดปกติของสี =  $1405284 / 6907066 * 100 = 20.35 \%$

