



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร)

ปริญญา

วิศวกรรมกรรมการอาหาร

วิศวกรรมกรรมการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินคุณภาพของมะเขือเทศเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

Determination of Organic Tomato Fruit Quality Using Near Infrared Spectroscopy

นามผู้วิจัย นายกฤตกร ทรัพย์เจริญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์รณฤทธิ์ ฤทธิธิน, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์ภาณี ทองพำนัก, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์ประภาศรี สิงห์รัตน์, M.App.Sc. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินคุณภาพของมะเขือเทศเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy

Determination of Organic Tomato Fruit Quality Using Near Infrared Spectroscopy

โดย

นายกฤตกร ทรัพย์เจริญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาหาร)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กฤตกร ทรัพย์เจริญ 2553: การประเมินคุณภาพของมะเขือเทศเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร) สาขาวิศวกรรมกรรมการอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รณฤทธิ์ ฤทธิธรม, Ph.D. 183 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคนิค near infrared spectroscopy (NIRS) มาใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อจำแนกกลุ่มมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี และวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อประเมินองค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศอย่างไม่ทำลายและรวดเร็ว โดยวัดค่าการดูดกลืนพลังงานย่านใกล้อินฟราเรด (สเปกตรัม) ในช่วงความยาวคลื่นสั้น 700-1100 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง FQA-NIR GUN (FANTEC) ซึ่งเป็นระบบการวัดแบบ อินเทอร์เน็ตแอกชัน (interaction) และช่วงความยาวคลื่นยาว 1100-2500 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง InfraAlyzer 500 (BRAN+LUEBBE) ในระบบการวัดแบบสะท้อนกลับ (reflection) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ จากผลการทดลองพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาจากสเปกตรัมทั้ง 2 ช่วงความยาวคลื่น มีความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 57-62 และร้อยละ 84-87 สำหรับการจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมี การสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของมะเขือเทศ ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, วิตามินซี, โพลีฟีนอลและเบต้าแคโรทีน โดยวิธี Partial Least Squares (PLS) regression สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้น พบว่าสมการที่พัฒนาในช่วงความยาวคลื่นยาวมีความสามารถในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณโพลีฟีนอลได้ดี โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.86 และค่าความผิดพลาดมาตรฐานจากการทำนาย (SEP) 0.35 % และค่า R เท่ากับ 0.78 และ SEP เท่ากับ 0.10 mg/100g ตามลำดับ สำหรับช่วงความยาวคลื่นสั้นนั้น สามารถทำนายปริมาณวิตามินซี และปริมาณเบต้าแคโรทีน ได้ดี โดยสมการทำนายปริมาณวิตามินซี ให้ค่า R เท่ากับ 0.80 และค่า SEP เท่ากับ 3.64 mg/100g และสมการทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีน มีค่า R เท่ากับ 0.79 และค่า SEP เท่ากับ 0.02 mg/100g สมการเทียบมาตรฐานที่พัฒนาทั้งหมดสามารถประเมินปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญได้อย่างถูกต้องไม่แตกต่างจากค่าจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Krittakorn Sabjaruern 2010: Determination of Organic Tomato Fruit Quality Using Near Infrared Spectroscopy. Master of Engineering (Food Engineering), Major Field: Food Engineering, Department of Food Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Ronnarit Rittiron, Ph.D. 183 pages.

The objectives of this research is to classify organic grown and conventional grown tomato fruits and to determine chemical attributes of the tomatoes nondestructively using Near Infrared Spectroscopy (NIRS) technique. The NIR spectra of tomato samples in the short wavelength region of 700 to 1100 nm were collected by Portable NIR spectrometer FQA-NIR GUN (FANTEC) in interactance mode and those spectra in the long wavelength region of 1100 to 2500 nm were acquired by NIR spectrometer InfraAlyzer 500 (BRAN+LUEBBE) in reflectance mode. The classification of organic tomato fruits was conducted using Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) method. The PLS-DA classification model was developed in the short and long wavelength region gave the similar results with classification accuracy of 57-62 % for organic grown tomatoes and 84-87 % for convention grown tomatoes. Partial Least Squares (PLS) regression for the determination of chemical constituents: total soluble solids (TSS), ascorbic acid, lycopene and beta carotene contents in tomato were used to develop Calibration equation. The calibration equations developed in the long wavelength region gave the best result for prediction of TSS and lycopene. The calibration equation for TSS showed correlation coefficient (R) of 0.86 and standard error of prediction (SEP) of 0.35 %. An equation for lycopene yielded R of 0.78 and SEP of 0.10 mg/100g. For calibration equations developed in the short wavelength region gave the best result for prediction of ascorbic acid and beta carotene. The ascorbic acid equation gave R of 0.80 and SEP of 0.23 mg/100g, while equation for beta carotene showed R of 0.79 and SEP of 0.02 mg/100g. Using the paired t-test of calibration equations, chemical attributes predicted by NIR were not significantly different from the actual value at 95 % confidence.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รณฤทธิ์ ฤทธิธรม อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก และ ดร.ภาณี ทองพำนัก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้ให้คำแนะนำและ  
ให้คำปรึกษาในการวางแผนการวิจัยและการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.ศุมาพร เกษมสำราญ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ของหน่วย  
ปฏิบัติการเทคโนโลยีการตรวจสอบสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย สถาบันคั้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทาง  
การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ  
และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่หน่วยเมล็ดพันธุ์พืช ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง  
สถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่ได้  
ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการเตรียมตัวอย่างมะเขือเทศเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
บางเขน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในห้องปฏิบัติการสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ สาขาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้  
ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในห้องปฏิบัติการสำหรับการวิจัยในเบื้องต้น

ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจที่ดีเสมอมา และขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ  
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
กำแพงแสน ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กฤตกร ทรัพย์เจริญ

พฤษภาคม 2553

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	50
อุปกรณ์	50
วิธีการ	53
ผลและวิจารณ์	66
ผล	66
วิจารณ์	95
สรุปและข้อเสนอแนะ	116
สรุป	116
ข้อเสนอแนะ	116
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	117
ภาคผนวก	126
ภาคผนวก ก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะเขือเทศในช่วง ความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร)	127
ภาคผนวก ข ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร)	138
ภาคผนวก ค ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร)	145
ภาคผนวก ง ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร)	151

## สารบัญ (ต่อ)

## หน้า

ภาคผนวก จ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะเขือเทศที่ช่วง ความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร)	156
ภาคผนวก ฉ ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร)	167
ภาคผนวก ช ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร)	173
ภาคผนวก ซ ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร)	178
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	183

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผักประเภทต่าง ๆ	7
2	การผลิตเกษตรอินทรีย์ไทยเปรียบเทียบกับต่างประเทศ	11
3	ปริมาณการผลิตและมูลค่าทางการตลาดของสินค้าเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทย	12
4	คุณค่าทางโภชนาการใน 100 กรัมของมะเขือเทศรับประทานสดและมะเขือเทศแปรรูป	15
5	การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด	25
6	ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบภายในอาหารกับช่วงอินฟราเรด	28
7	รายชื่อสารกำจัดแมลงศัตรูพืชที่ใช้กับมะเขือเทศ	51
8	ปริมาณสารเคมีและสารสกัดจากธรรมชาติที่ใช้ในการป้องกัน โรคและแมลงศัตรูพืช	56
9	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีแต่ละชนิดของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ และระบบเกษตรเคมี	70
10	ค่าที่ได้จากการสร้างสมการเพื่อจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์	72
11	ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของตัวอย่างมะเขือเทศในกลุ่ม Calibration และ Validation sample set ในความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว	75
12	ผลการวิเคราะห์หาสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในมะเขือเทศ จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว	77
13	ค่าทางสถิติของปริมาณวิตามินซีของตัวอย่างมะเขือเทศในกลุ่ม Calibration และ Validation sample set ในความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว	80
14	ผลการวิเคราะห์หาสมการทำนายปริมาณวิตามินซีในมะเขือเทศจากการปรับแต่ง สเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว	81
15	ค่าทางสถิติของปริมาณ ไลโคปีนของตัวอย่างมะเขือเทศในกลุ่ม Calibration และ Validation sample set ในความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว	85
16	ผลการวิเคราะห์หาสมการทำนายปริมาณ ไลโคปีนในมะเขือเทศจากการปรับแต่ง สเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว	86
17	ค่าทางสถิติของปริมาณเบต้าแคโรทีนของตัวอย่างมะเขือเทศในกลุ่ม Calibration และ Validation sample set ในความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว	90

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
18 ผลการวิเคราะห์หาสมการทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะเขือเทศจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว	91
19 ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมดในดินที่ใช้ในการปลูกมะเขือเทศระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี	102
20 การอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	103
21 การอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณวิตามินซี	106
22 การอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณไลโคปีน	110
23 การอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีน	113
24 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานด้วยค่า R	115
ตารางผนวกที่	
ก1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Calibration sample set	129
ก2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Validation sample set	136
ข1 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Calibration sample set	139
ข2 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Validation sample set	144
ค1 ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Calibration sample set	146
ค2 ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Validation sample set	150

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง1 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Calibration sample set	152
ง2 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Validation sample set	155
จ1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Calibration sample set	157
จ2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Validation sample set	162
ฉ1 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Calibration sample set	168
ฉ2 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Validation sample set	172
ช1 ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Calibration sample set	174
ช2 ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Validation sample set	177
ซ1 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Calibration sample set	179
ซ2 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) ในกลุ่ม Validation sample set	182

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สัดส่วนมูลค่าการส่งออกผักและผลิตภัณฑ์ของไทยปี พ.ศ.2548	5
2	โครงสร้างของ Alpha carotene และ Beta carotene	18
3	โครงสร้างของวิตามินซี	19
4	ช่วงความยาวคลื่นของ Near Infrared	24
5	การเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร	24
6	ความเข้มแสงของความยาวคลื่นเดี่ยวก่อนและหลังผ่านตัวอย่างที่มีความหนา (b)	26
7	องค์ประกอบของ NIR spectrometer	29
8	เทคนิคการวัดตัวอย่าง	33
9	ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้าวแบบ By pass	34
10	อุปกรณ์ Fiber optic probe	34
11	สเปกตรัมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง NIRS	35
12	ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม	36
13	อนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งและสองของสเปกตรัมเริ่มต้น	38
14	สเปกตรัมก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธี Multiplication Scatter Correction (MSC)	39
15	ขั้นตอนการเพาะกลั่มมะเขือเทศ	53
16	ขั้นตอนการเตรียมแปลงปลูกมะเขือเทศในแปลง	55
17	การควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างก่อนการวัดสเปกตรัมโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ	58
18	เครื่อง NIR Spectrometer (BRAN+LUBBE)	58
19	Fruit Drawer สำหรับใส่ตัวอย่างมะเขือเทศ	59
20	เครื่อง NIR Spectrometer (FQA-NIR GUN)	60
21	บริเวณตำแหน่งของผลมะเขือเทศที่นำมาวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี	60
22	การวัดปริมาณ TSS ด้วยเครื่อง Digital refractometer	61
23	เครื่อง ไตเตรทอัตโนมัติ	62
24	การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์	63

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	สเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ ที่วัดสเปกตรัมด้วย NIR spectrometer (FQA-NIR GUN) ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้น (700-1100 นาโนเมตร)	66
26	สเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมีที่วัดสเปกตรัมด้วย NIR spectrometer (FQA-NIR GUN) ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้น (700-1100 นาโนเมตร)	67
27	สเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ที่วัดสเปกตรัมด้วย NIR spectrometer (BRAN+LUBBE รุ่น InfraAlyzer 500) ที่ความยาวคลื่นช่วงยาว (1100-2500)	67
28	สเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมี ที่วัดสเปกตรัมด้วย NIR spectrometer (BRAN+LUBBE รุ่น InfraAlyzer 500)	68
29	Scatter plot ระหว่างค่าทำนายด้วย NIRS และค่าจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration ที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น	73
30	Scatter plot ระหว่างค่าทำนายด้วย NIRS และค่าจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Validation ที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น	73
31	Scatter plot ระหว่างค่าทำนายด้วย NIRS และค่าจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration ช่วงความยาวคลื่นยาว	74
32	Scatter plot ระหว่างค่าทำนายด้วย NIRS และค่าจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Validation ที่ช่วงความยาวคลื่นยาว	74
33	Scatter plot ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของตัวอย่างกลุ่ม Calibration ในช่วงความยาวคลื่นสั้น	78
34	Scatter plot ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของตัวอย่างกลุ่ม Validation ในช่วงความยาวคลื่นสั้น	78

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	Scatter plot ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง Calibration ในช่วงความยาวคลื่นยาว	79
36	Scatter plot ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของกลุ่ม Validation ในช่วงความยาวคลื่นยาว	79
37	Scatter plot ระหว่างปริมาณวิตามินซีที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณวิตามินซีของตัวอย่างกลุ่ม Calibration ในช่วงความยาวคลื่นสั้น	83
38	Scatter plot ระหว่างปริมาณวิตามินซีที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณวิตามินซีของตัวอย่างกลุ่ม Validation ในช่วงความยาวคลื่นสั้น	83
39	Scatter plot ระหว่างปริมาณวิตามินซีที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณวิตามินซีของตัวอย่างกลุ่ม Calibration ในช่วงความยาวคลื่นยาว	84
40	Scatter plot ระหว่างปริมาณวิตามินซีที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณวิตามินซีของตัวอย่างกลุ่ม Validation ในช่วงความยาวคลื่นยาว	84
41	Scatter plot ระหว่างปริมาณไลโคปีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณไลโคปีนของตัวอย่างกลุ่ม Calibration ในช่วงความยาวคลื่นสั้น	88
42	Scatter plot ระหว่างปริมาณไลโคปีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณไลโคปีนของตัวอย่างกลุ่ม Validation ในช่วงความยาวคลื่นสั้น	88
43	Scatter plot ระหว่างปริมาณไลโคปีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณไลโคปีนของตัวอย่างกลุ่ม Calibration ในช่วงความยาวคลื่นยาว	89
44	Scatter plot ระหว่างปริมาณไลโคปีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณไลโคปีนของตัวอย่างกลุ่ม Validation ในช่วงความยาวคลื่นยาว	89
45	Scatter plot ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนของตัวอย่างกลุ่ม Calibration ในช่วงความยาวคลื่นสั้น	93

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
46	Scatter plot ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนของตัวอย่างกลุ่ม Validation ในช่วงความยาวคลื่นสั้น	93
47	Scatter plot ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนของตัวอย่างกลุ่ม Calibration ในช่วงความยาวคลื่นยาว	94
48	Scatter plot ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนของตัวอย่างกลุ่ม Validation ในช่วงความยาวคลื่นยาว	94
49	สเปกตรัมของตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร)	97
50	สเปกตรัมของตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่นช่วงยาว (1100-2500 นาโนเมตร)	99
51	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ของสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	104
52	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 1100 -2500 นาโนเมตร ของสมการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	105
53	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ของสมการทำนายปริมาณวิตามินซี	107
54	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ของสมการทำนายปริมาณวิตามินซี	108
55	สเปกตรัมของวิตามินซีที่ปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2 ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้น	108
56	สเปกตรัมของวิตามินซีที่ปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2 ที่ความยาวคลื่นช่วงยาว	109
57	โครงสร้างโมเลกุลของไลโคปีน	111
58	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ของสมการทำนายปริมาณไลโคปีน	111

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
59	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ของสมการทำนายปริมาณไลโคปีน	112
60	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ของสมการทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีน	114
61	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ของสมการทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีน	114

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a	=	absortivity
A	=	Absorbance
F	=	factor
Min	=	minimum
Max	=	maximum
MLR	=	multiple linear regression
MSC	=	multiplicative scatter correction
nm	=	nanometer
NIR	=	Near Infrared
NIRS	=	Near Infrared spectroscopy
PCA	=	principle component analysis
PCR	=	principle component regression
SLR	=	simple linear regression
PLS-DA	=	partial least square discriminant analysis
PLSR	=	partial least square regression
R	=	correlation coefficient
SD	=	standard deviation
SEC	=	standard error of calibration
SEL	=	standard error of laboratory
SEP	=	standard error of prediction
T	=	transmittance
TSS	=	total soluble solids

## การประเมินคุณภาพของมะเขือเทศเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิค

### Near Infrared Spectroscopy

#### Determination of Organic Tomato Fruit Quality Using

#### Near Infrared Spectroscopy

### คำนำ

มะเขือเทศเป็นผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ สำหรับประเทศไทยในปี พ.ศ. 2548 พบว่ามีการผลผลิตมะเขือเทศ 9,790.27 ตัน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) และมีปริมาณการส่งออกมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์จากมะเขือเทศ รวม 9,858,882 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่ารวม 261,344,840 บาท (สถาบันอาหาร, 2549) มีความสำคัญทางด้านคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากพบว่ามะเขือเทศประกอบด้วยสาร micro constituents หลายชนิด ได้แก่ เบต้าแคโรทีน และไลโคปีน ซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดง โดยการบริโภคไลโคปีนสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมาก (Catherine) และยังมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งมดลูกและปอดในผู้หญิง ทั้งยังประกอบด้วยวิตามินหลายชนิด เช่น วิตามินซี วิตามินเอ และแร่ธาตุหลายชนิด เช่น โพแทสเซียม ฟอสฟอรัสและเหล็ก เป็นต้น (วันดี, 2539)

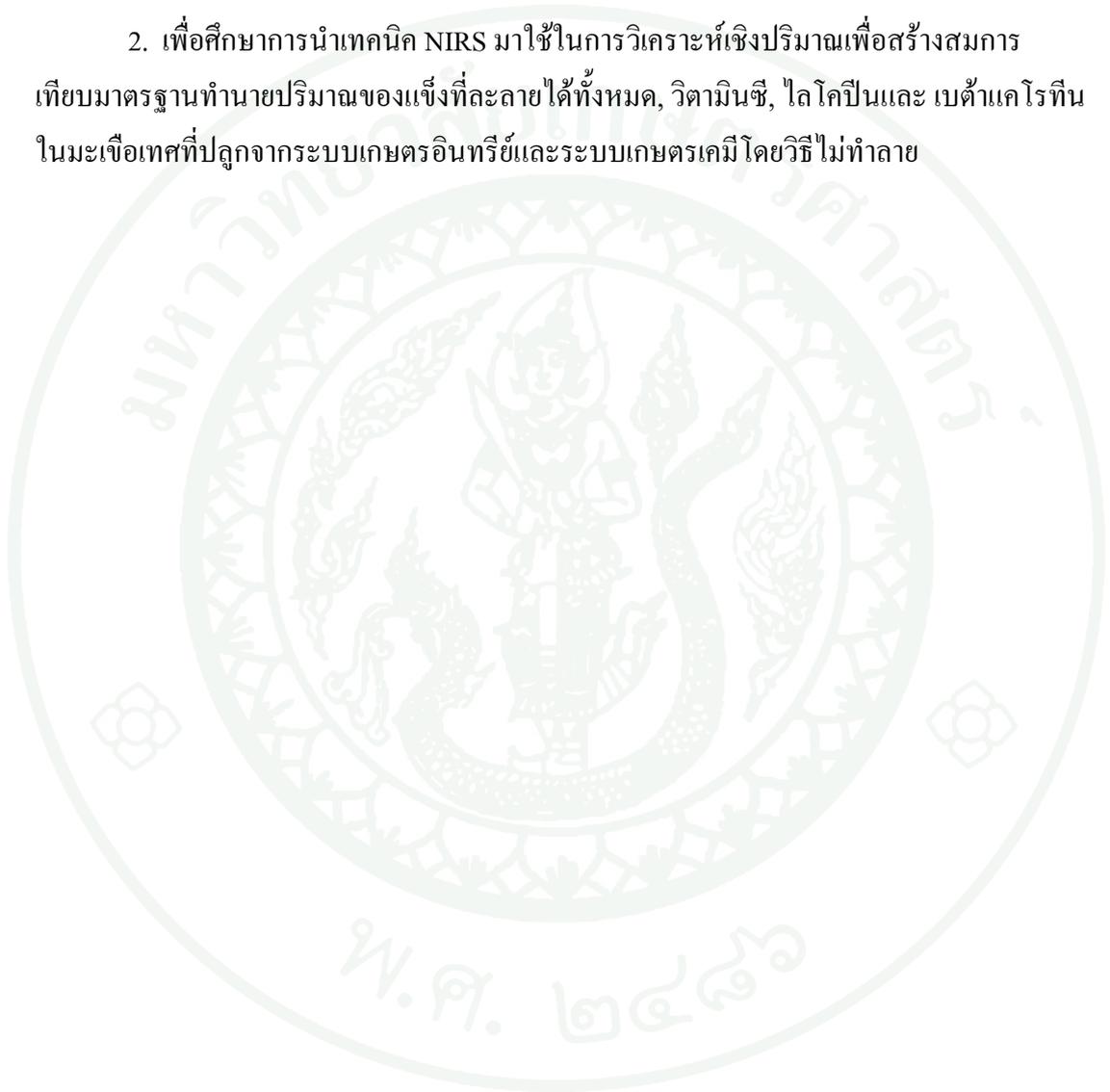
ปัจจุบันพฤติกรรมของผู้บริโภคให้ความใส่ใจกับสุขภาพมากขึ้น โดยเลือกบริโภคผลผลิตที่ปลอดภัยจากสารพิษ โดยเฉพาะผลผลิตจากระบบเกษตรอินทรีย์ ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามผู้บริโภคและผู้ส่งออกยังไม่มี ความมั่นใจในสินค้าที่ผลิตจากระบบเกษตรอินทรีย์หรือไม่ เนื่องจากไม่สามารถจำแนกผักและผลไม้ที่ผลิตจากระบบเกษตรอินทรีย์ออกจากผักและผลไม้ที่ผลิตจากระบบทั่วไปจากลักษณะที่ปรากฏทางภายนอกได้ มีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับมะเขือเทศที่ผลิตแบบระบบเกษตรอินทรีย์ พบว่า ปริมาณวิตามินซี, แคโรทีนอยด์ และ polyphenol สูงกว่าในมะเขือเทศที่ปลูกแบบระบบเกษตรเคมี (Veyrat *et al.*, 2004) การตรวจสอบทางเคมีโดยทั่วไปเป็นการทำลายตัวอย่างทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้ทุกผล ค่าใช้จ่ายสูง เสี่ยงอันตรายจากสารเคมี ใช้เครื่องมือวิเคราะห์หลายชนิด ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ และอาจส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการนำเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ทำลายตัวอย่าง รวดเร็ว เตรียมตัวอย่างน้อย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้ในการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพเพื่อจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ และการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids, TSS), วิตามินซี, โพลีฟีนอลและเบต้าแคโรทีน ในมะเขือเทศที่ปลูกจากระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำเทคนิค Near Infrared Spectroscopy (NIRS) มาใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์โดยวิธีไม่ทำลาย
2. เพื่อศึกษาการนำเทคนิค NIRS มาใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, วิตามินซี, โพลีฟีนอลและ เบต้าแคโรทีน ในมะเขือเทศที่ปลูกจากระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมีโดยวิธีไม่ทำลาย



## การตรวจเอกสาร

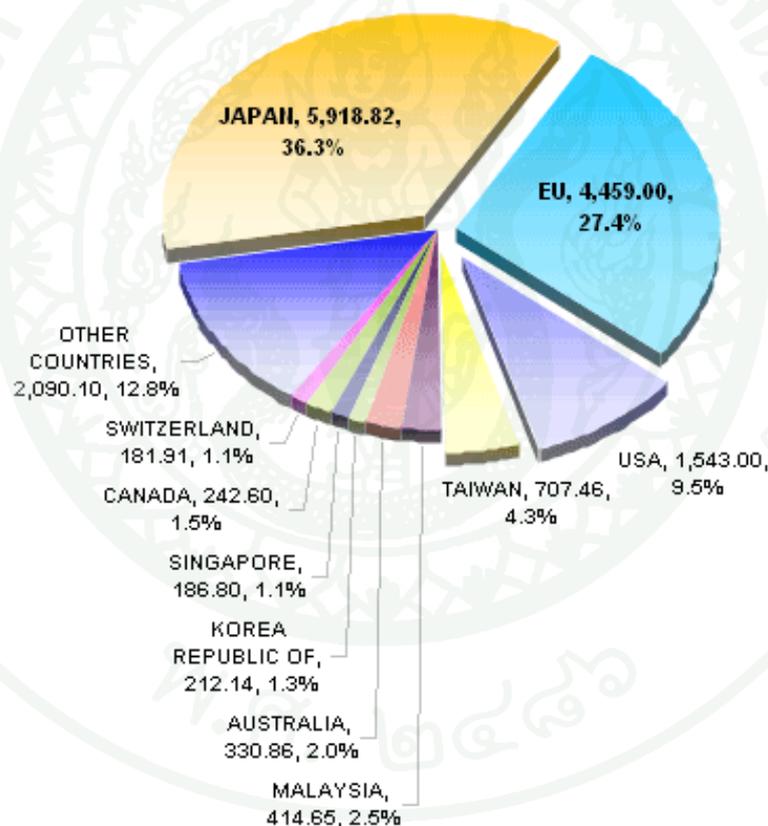
### 1. สถานการณ์การใช้สารเคมีสำหรับการเกษตรในประเทศไทย

ด้วยสถานการณ์เกษตรในภาวะปัจจุบันของประเทศไทยนั้น ส่วนใหญ่จะเน้นทางด้าน การเพิ่มผลผลิตเป็นหลัก จึงมีการนำสารเคมีมาใช้ในการเกษตรเป็นจำนวนมาก เพราะการใช้ สารเคมี สะดวกและง่ายต่อการนำไปใช้เพิ่มผลผลิตอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดยไม่คำนึงถึง ผลกระทบที่ตามมา เช่น การระบาดของศัตรูพืช สภาพแวดล้อม สารเคมีตกค้างในผลผลิตและพื้นที่ การผลิต อันตรายต่อตัวเกษตรกรเองและผู้บริโภค รวมถึงผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจที่จะต้องมี การนำเข้าสารเคมีจากต่างประเทศทำให้สูญเสียเงินออกนอกประเทศไปจำนวนมาก (บุญหงส์และ คณะ, 2549) โดยมีข้อมูลเกี่ยวกับการนำเข้าสารเคมีทางการเกษตรในประเทศไทย พบว่าในปี พ.ศ. 2550 มีการนำเข้าสารกำจัดแมลง (Insecticide) ปริมาณ 21,589 ตัน มีมูลค่า 3,745 ล้านบาท, สารป้องกันและกำจัดโรคพืช (Fungicide) ปริมาณ 10,625 ตัน มีมูลค่า 1,833 ล้านบาท, สารกำจัด วัชพืช (Herbicide) ปริมาณ 79,239 ตัน มีมูลค่า 8,914 ล้านบาท และข้อมูลล่าสุด พ.ศ. 2550 พบว่า ไทยนำเข้าปุ๋ยปริมาณ 4,393,245 ตัน มีมูลค่า 45,136 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบด้านลบต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและระบบนิเวศน์คือ (นิพนธ์, 2546)

1. ความไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภคและผู้ที่เกี่ยวข้อง
2. การเสื่อมของดิน เปลี่ยนเป็นกรดจัด มีเกลือตกค้างในดินสูง
3. ดินแน่น เกิดจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ ขาดช่องว่างในดิน ความสามารถในการ ระบายน้ำลดลง
4. สิ่งมีชีวิตในดินลดลง ทำให้ขาดความสมดุลทางธรรมชาติ จำนวนแมลงและ จุลินทรีย์ที่ เป็นประโยชน์ลดลง
5. เกิดมลภาวะทางน้ำ จากการชะล้างของสารเคมีเกษตรลงสู่แหล่งน้ำ
6. ต้นทุนการผลิตสูงเกษตรกรส่วนใหญ่ขาดทุน

## 2. ประเภทของผักปลอดภัยจากสารพิษ

พืชผัก เป็นอาหารที่คนไทยนิยมรับประทานกันมาก เนื่องจากมีคุณค่าทั้งวิตามินและแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แต่ความนิยมในการบริโภคผักนั้น มักจะเลือกบริโภคผักที่สวยงาม ไม่มีร่องรอยการทำลายของหนอนและแมลงศัตรูพืช จึงทำให้เกษตรกรที่ปลูกผักต้องใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดแมลง ฉีดพ่นในปริมาณมาก เพื่อให้ได้ผักที่สวยงาม ตามความต้องการของตลาด เมื่อผู้ซื้อนำมารับประทานแล้วอาจได้รับอันตรายจากสารพิษที่ตกค้างอยู่ในพืชผักนั้นได้ สำหรับประเทศไทยได้ส่งออกผักไปยังประเทศต่าง ๆ โดยส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่นมากที่สุด รองลงมาคือสหภาพยุโรป และประเทศอื่น ๆ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สัดส่วนมูลค่าการส่งออกผักและผลิตภัณฑ์ของไทยปี พ.ศ. 2548

ที่มา: สถาบันอาหาร (2549)

มีกลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่สับสนระหว่างผลผลิตของผักที่ปลอดภัยจากสารพิษแต่ละชนิดที่ใช้ชื่อต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ 1 โดยสามารถจำแนกผักออกได้ดังนี้ (ธงชัย, 2545)

## 2.1 ผักปลอดภัยจากสารพิษ

คือ ผักผักที่ระบบการผลิตมีการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช รวมทั้งใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อการเจริญเติบโต โดยผลผลิตที่ได้ อาจจะมีหรือไม่มีสารพิษตกค้าง แต่หากยังมีสารพิษตกค้างอยู่ต้องไม่เกินปริมาณที่กำหนด เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 163 พ.ศ. 2538

## 2.2 ผักอนามัย

คือ ผักผักที่ปลอดภัยจากสารพิษ มีความสะอาดผ่านกรรมวิธีการปฏิบัติก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ตลอดจนการขนส่งและการบรรจุหีบห่อ ได้คุณลักษณะตามมาตรฐาน หรือ คือ ผักผักที่ระบบการผลิตมีการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช รวมทั้งใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อการเจริญเติบโต โดยผลผลิตที่เก็บได้ยังมีสารเคมีตกค้างไม่เกินปริมาณที่กำหนดไว้ เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค และมีความสะอาดผ่านกรรมวิธีการปฏิบัติก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ตลอดจนการขนส่งและการบรรจุหีบห่อ ได้ตามคุณลักษณะมาตรฐาน

## 2.3 ผักไร้สารพิษ

คือ ผักผักที่ระบบการผลิตไม่มีการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชใด ๆ ทั้งสิ้น และผลผลิตที่เก็บเกี่ยวแล้วต้องไม่มีสารพิษตกค้างใดๆ ทั้งสิ้น

## 2.4 ผักอินทรีย์

คือ ผักผักที่ระบบการผลิตไม่มีการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืชใด ๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมี ฮอร์โมน เพื่อการเจริญเติบโตของผักผัก ดังนั้นสภาพแวดล้อมและปัจจัยการผลิตที่ใช้ในขบวนการผลิตจะต้องสะอาด ปลอดภัย ปราศจากสารพิษ และสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ผลผลิตที่ได้จึงปราศจากสารพิษใด ๆ ทั้งสิ้น

หรือ คือ ระบบการปลูกผักที่สร้างสรรค์ให้ระบบนิเวศการเกษตรได้ก่อให้เกิดการผลิตที่ยั่งยืน ปลอดภัยต่อผู้บริโภค อนุรักษ์และปรับปรุงสภาพแวดล้อม โดยใช้หลักการสร้างความหลากหลายทางชีวภาพและทำให้เกิดการผสมผสานเกื้อกูลซึ่งกันและกัน หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เช่น ปุ๋ยเคมี ยาฆ่าหญ้า ยาป้องกันกำจัดศัตรูพืชและฮอร์โมน เน้นการหมุนเวียนใช้ทรัพยากรในไร่นาให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผักประเภทต่าง ๆ

กระบวนการผลิต	ผักเกษตรอินทรีย์	ผักปลอดภัยจากสารพิษ	ผักอนามัย	ผักไร้สารพิษ
การใช้ปุ๋ยเคมี	ไม่ใช่	ใช้ได้	ใช้ได้	ไม่ใช่
การใช้สารเคมีกำจัดแมลง	ไม่ใช่	ใช้ได้	ใช้ได้	ไม่ใช่
การใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช	ไม่ใช่	ใช้ได้	ใช้ได้	ไม่ใช่
การใช้ฮอร์โมนสังเคราะห์	ไม่ใช่	ใช้ได้	ใช้ได้	ไม่ใช่
การใช้เมล็ดพันธุ์ดัดแปลงพันธุกรรม(GMOs)	ไม่ใช่	ไม่ได้ระบุถึงการห้ามใช้	ไม่ได้ระบุถึงการห้ามใช้	ไม่ได้ระบุถึงการห้ามใช้
หน่วยงานที่รับผิดชอบในการรับรองคุณภาพ	สำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์	กรมส่งเสริมการเกษตร	กรมวิชาการเกษตร	ชมรมเกษตรธรรมชาติและชมรมกลีบบัณฑิต ไร้สารพิษ

ที่มา: มุลินธิสายใยแผ่นดิน (2549)

### 3. เกษตรอินทรีย์

สหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ หรือ IFOAM ให้คำนิยามเกษตรอินทรีย์ไว้ว่า “เกษตรอินทรีย์ คือ ระบบการเกษตรที่ผลิตอาหารและเส้นใยด้วยความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ โดยเน้นที่หลักการปรับปรุงบำรุงดิน การเคารพต่อศักยภาพทางธรรมชาติของพืช สัตว์ และนิเวศการเกษตร เกษตรอินทรีย์จึงลดการใช้ปัจจัยการผลิตภายนอก และหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เช่น ปุ๋ย สารกำจัดศัตรูพืช และเวชภัณฑ์สำหรับสัตว์ แต่ในขณะเดียวกันก็พยายามประยุกต์ใช้ธรรมชาติในการเพิ่มผลผลิต และพัฒนาความต้านทานต่อโรคพืชและสัตว์เลี้ยง หลักการ

เกษตรอินทรีย์นี้เป็นหลักการสากลที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทางเศรษฐกิจ สังคม ภูมิอากาศ และวัฒนธรรมของท้องถิ่นด้วย” (วิฑูรย์และเจษฎา, 2546)

สำหรับประเทศไทยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ หรือ มกอช. (2546) ได้ให้คำนิยามของเกษตรอินทรีย์ไว้ว่า เกษตรอินทรีย์ (Organic agriculture) หมายถึง ระบบการจัดการการผลิตด้านการเกษตรแบบองค์รวม ที่เกื้อหนุนต่อระบบนิเวศรวมถึงความหลากหลายทางชีวภาพ วงจรชีวภาพ โดยเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการใช้วัตถุสังเคราะห์และไม่ใช่พืช สัตว์ หรือ จุลินทรีย์ ที่ได้มาจากเทคนิคการดัดแปลงพันธุกรรม (genetic modification) หรือพันธุวิศวกรรม (genetic engineering) มีการจัดการกับผลิตภัณฑ์ โดยเน้นการแปรรูปด้วยความระมัดระวัง เพื่อรักษาสภาพการเป็นเกษตรอินทรีย์ และคุณภาพที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ในทุกขั้นตอน

### 3.1 หลักการเกษตรอินทรีย์ (วิฑูรย์และเจษฎา, 2546)

เกษตรอินทรีย์เป็นระบบเกษตรกรรมแบบองค์รวมที่ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์ฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน การรักษาแหล่งน้ำให้สะอาดและความหลากหลายทางชีวภาพ ทำการผลิตโดยอาศัยหลักการและกระบวนการของระบบนิเวศ พยายามเสริมสร้างความผสมผสานและเกื้อกูลในระบบนิเวศ และไม่ใช่ปัจจัยการผลิตที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ทุกชนิดที่ทำลายสมดุลของนิเวศการเกษตรและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

หลักการเกษตรอินทรีย์ยังเน้นถึงความสอดคล้องกับวิถีธรรมชาติในแง่อื่นๆ ได้แก่ การสร้างความสมดุลของวงจรอาหาร, การประหยัดพลังงาน, การควบคุมและป้องกันมลพิษ, การพึ่งพาตนเองด้านปัจจัยการผลิต และการไม่ใช่สิ่งมีชีวิตดัดแปลงพันธุกรรม

นอกจากนี้ระบบเกษตรอินทรีย์ยังพยายามอนุรักษ์และฟื้นฟูวิถีชีวิตของชุมชนเกษตรกรรม ตลอดจนคำนึงถึงความมั่นคงทางเศรษฐกิจของเกษตรกรผู้ผลิตและชุมชนท้องถิ่นจึงได้มีการพัฒนาระบบตลาดให้กับผลผลิตเกษตรอินทรีย์ทั้งในระดับท้องถิ่น ระดับประเทศ และระหว่างประเทศ โดยมีการจัดทำมาตรฐานการผลิตและระบบการตรวจสอบรับรองขึ้น เพื่อให้ผู้บริโภคเกิดความมั่นใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยขยายโอกาสทางการตลาดให้กับเกษตรกร

ระบบการผลิตเกษตรอินทรีย์จึงก่อให้เกิดประโยชน์แก่ทุกฝ่าย นั่นคือผู้ผลิตมีโอกาสทำการผลิตที่ช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น เพราะปลอดภัยจากพิษภัยของสารเคมีสังเคราะห์และมีรายได้เพียงพอ ผู้บริโภคก็ได้ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยและดีต่อสุขภาพ รวมทั้งมีส่วนในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและเมื่อสิ่งแวดล้อมไม่ถูกทำลาย ระบบนิเวศยังคงความสมดุลไว้ได้ก็ เป็นประโยชน์ต่อส่วนรวมด้วยเช่นกัน

### 3.2 แนวทางเกษตรอินทรีย์ (เซาว์ และคณะ, 2547)

ระบบเกษตรอินทรีย์จะเลือกใช้แนวทางในการฟื้นฟูระบบนิเวศการเกษตรสร้างสมดุลสิ่งแวดล้อมปรับปรุงบำรุงดินให้ต้นพืชแข็งแรงสมบูรณ์ ด้วยวิธีการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ประกอบด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่

3.2.1 อนุรักษ์นิเวศการเกษตร ด้วยการปฏิเสธการใช้สารเคมีสังเคราะห์ทุกชนิด เพราะปัจจัยการผลิตที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์ทำลายสมดุลของนิเวศการเกษตร ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และมีผลต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อยู่ในฟาร์มทั้งที่อยู่บนผิวดินและใต้ดิน

3.2.2 ฟื้นฟูนิเวศการเกษตร แนวทางนี้ทำให้เกษตรอินทรีย์มีความแตกต่างอย่างมากจากระบบเกษตรปลอดสารเคมีที่รู้จักกันในประเทศไทย แนวทางหลักในการฟื้นฟูนิเวศการเกษตรคือ การปรับปรุงด้วยดินอินทรีย์ และการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ นอกจากนี้ การเพิ่มความหลากหลายในไร่นาก็เป็นสิ่งจำเป็น เช่น การปลูกพืชร่วม พืชแซม พืชหมุนเวียน ไม้ยืนต้น หรือการฟื้นฟูแหล่งนิเวศธรรมชาติในไร่นาหรือบริเวณใกล้เคียง

3.2.3 พึ่งพากลไกธรรมชาติในการทำเกษตร กลไกในธรรมชาติที่สำคัญต่อการทำเกษตรอินทรีย์ได้แก่ วงจรการหมุนเวียนธาตุอาหาร โดยเฉพาะวงจรไนโตรเจน และคาร์บอน วงจรการหมุนเวียนของน้ำ รวมทั้งการพึ่งพากันของสิ่งมีชีวิตอย่างสมดุลในระบบนิเวศ ทั้งในเชิงการเกื้อกูล การพึ่งพา และห่วงโซ่อาหาร

3.2.4 ควบคุมและป้องกันมลพิษ เกษตรกรที่ทำการเกษตรอินทรีย์ต้องพยายามอย่างเต็มที่ในการป้องกันมลพิษต่าง ๆ จากภายนอกมิให้ปนเปื้อนผลผลิต ซึ่งอาจทำได้โดยการจัดทำแนวกันชนและป้องกันบริเวณริมฟาร์ม นอกจากนี้แนวทางเกษตรอินทรีย์ยังกำหนดให้ต้องลดและ

ป้องกันมลพิษที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของฟาร์มเองด้วย เช่น มีการจัดการขยะและน้ำเสียก่อนปล่อยออกนอกฟาร์ม หรือการไม่ใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่อาจมีสารพิษปนเปื้อนได้

3.2.5 ฟังพาดตนเองด้านปัจจัยการผลิต เกษตรอินทรีย์มีแนวทางที่มุ่งให้เกษตรกรพยายามผลิตปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ เมล็ดพันธุ์ ฯลฯ ด้วยตนเองในฟาร์มให้ได้มากที่สุด แต่ในกรณีที่เกษตรกรไม่สามารถผลิตได้เอง ก็สามารถซื้อหาปัจจัยการผลิตจากภายนอกฟาร์มได้ แต่ควรเป็นปัจจัยการผลิตที่มีอยู่แล้วในท้องถิ่น ทั้งนี้เพื่อสร้างความเข้มแข็งและความเป็นอิสระของเกษตรกร และองค์กรเกษตรกร

### 3.3 สถานการณ์เกษตรอินทรีย์ทั่วโลก (วิฑูรย์, 2549)

ปัจจุบันกว่า 120 ประเทศทั่วโลกให้ความสำคัญกับเกษตรอินทรีย์ เห็นได้จากสัดส่วนของพื้นที่ที่ผลิตเกษตรอินทรีย์เติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง The Foundation Ecology & Agriculture SOEL และ The Research Institute of Organic Agriculture FiBL เป็นสององค์กรที่รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเกษตรอินทรีย์ทุกปี มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 และทาง IFOAM ได้เข้าร่วมมือในปี พ.ศ. 2546 โดยข้อมูลการสำรวจล่าสุดเมื่อต้นปี พ.ศ. 2549 พบว่า พื้นที่ผลิตทั่วโลกที่มีการบริหารจัดการเชิงเกษตรอินทรีย์มีอยู่มากกว่า 31 ล้านเฮกเตอร์ คิดเป็นจำนวนฟาร์มอย่างน้อย 623,174 แห่ง และถ้ารวมพื้นที่ป่าที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตแบบยั่งยืนด้วยก็จะมีพื้นที่ที่ได้รับรองมากกว่า 51 ล้านเฮกเตอร์ โดยพบว่าประเทศออสเตรเลียมีพื้นที่เกษตรอินทรีย์มากที่สุดคือ 12,126,633 เฮกเตอร์ ด้านตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์ก็เติบโตเพิ่มขึ้น ไม่เพียงเฉพาะแต่ตลาดยุโรปและอเมริกาเหนือที่เป็นตลาดกลุ่มใหญ่เท่านั้น แต่ยังขยายไปสู่ตลาดใหม่ ๆ ทั่วโลกอีกด้วย

### 3.4 สถานการณ์การผลิตเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทย (วิฑูรย์, 2549)

ที่มาของเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทยนั้น เริ่มขึ้นตั้งแต่ปลายปี พ.ศ. 2523 ขณะนั้นภาคการเกษตรประสบปัญหาวิกฤติต่อเนื่อง ทั้งราคาพืชผลตกต่ำ แต่ต้นทุนการผลิตกลับสูงขึ้น ตลอดจนการใช้สารเคมีรุนแรง ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้ผู้นำเกษตรกร กลุ่มองค์กรพัฒนาเอกชน นักวิชาการ นักสิ่งแวดล้อม และผู้บริโภค จึงร่วมกันจัดตั้ง “กลุ่มเครือข่ายเกษตรกรรมทางเลือก” ในปี พ.ศ. 2527 เพื่อเสาะหาทางเลือกใหม่ให้กับเกษตรกรไทย นำไปสู่การพัฒนาและส่งเสริมองค์ความรู้การเกษตรและพึ่งตนเองและอนุรักษ์

สิ่งแวดลอมในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เกษตรอินทรีย์ เกษตรธรรมชาติ (Natural farming) เกษตรผสมผสาน (Integrated farming) และวนเกษตร (Agro-forestry)

หากเปรียบเทียบพื้นที่และสัดส่วนพื้นที่เกษตรอินทรีย์ต่อพื้นที่เกษตรทั่วประเทศของประเทศไทยในระดับโลกแล้ว ประเทศไทยจัดอยู่ในอันดับกลางของโลก และเปรียบเทียบจำนวนฟาร์มเกษตรอินทรีย์พบว่าไทยอยู่ในอันดับต้น ๆ ของโลก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การผลิตเกษตรอินทรีย์ไทยเปรียบเทียบกับต่างประเทศ

	พ.ศ. 2546		พ.ศ. 2547	
	ระดับโลก	ระดับเอเชีย	ระดับโลก	ระดับเอเชีย
พื้นที่การผลิตเกษตรอินทรีย์	71	9	71	11
สัดส่วนพื้นที่เกษตรอินทรีย์ต่อพื้นที่เกษตรของประเทศ	82	12	82	13
จำนวนฟาร์มเกษตรอินทรีย์จากทั้งหมด	46 ประเทศ	5 ประเทศ	42 ประเทศ	6 ประเทศ

ที่มา: สัทธิตศักดิ์ (2548)

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกสินค้าผักและผลไม้ไปยังตลาดยุโรปที่สำคัญ และได้รับการยอมรับว่าเป็นแหล่งของสินค้าคุณภาพที่น่าเชื่อถือ แม้ว่าตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์ในไทยจะยังมีขนาดเล็ก แต่ก็มีแนวโน้มเติบโตในทิศทางเดียวกับกระแสโลก สถานการณ์ตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์ของไทยในปี พ.ศ. 2547 พบว่ามีพื้นที่เกษตรอินทรีย์ที่ได้รับการรับรอง 13,899 เฮกเตอร์ เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2544 ซึ่งมีอยู่น้อยกว่า 2,000 เฮกเตอร์ ถึงร้อยละ 623 สร้างมูลค่าตลาด 15.2 ล้านดอลลาร์เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2545 ซึ่งมีมูลค่า 9.4 ล้านดอลลาร์ถึงร้อยละ 38 ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2547 มีสินค้าเกษตรอินทรีย์หลายแบรนด์ที่วางจำหน่ายในซูเปอร์ มาเก็ตท้องถิ่นและโมเดิร์นเทรดต่าง ๆ สร้างมูลค่าตลาดภายในประเทศ 940,000 ดอลลาร์สหรัฐ หรือ 37.6 ล้านบาท

การผลิตเกษตรอินทรีย์ของไทยยังคงขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิ ในเขตภาคอีสาน รองลงมาเป็นผักสด แต่ก็มีผลิตภัณฑ์เกษตรอินทรีย์ใหม่ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่น น้ำตาลอ้อย แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น โดยผลผลิตเกษตรอินทรีย์ในประเทศไทยมีปริมาณ 15,966 ตัน คิดเป็นมูลค่าทางการตลาด 609 ล้านบาท ดังตารางที่ 3 (สิทธิศักดิ์, 2548)

ตารางที่ 3 ปริมาณการผลิตและมูลค่าทางการตลาดของสินค้าเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทย

ผลผลิต	ปริมาณการผลิต (ตัน)	มูลค่าทางการตลาด (ล้านบาท)
ข้าว	7,827	313
พืชไร่	1,571	55
ผัก และสมุนไพร	2,657	159
ผลไม้	3,833	77
อื่นๆ	77	5
รวม	15,965	609

ที่มา: สิทธิศักดิ์ (2548)

### 3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านเกษตรอินทรีย์

ปรารธนา (2544) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณธาตุสังกะสีในผักที่ปลูกแบบเกษตรอินทรีย์และแบบเกษตรเคมี โดยทำการศึกษาผัก 10 ชนิด คือ ข้าวโพดอ่อน แดงกวา ผักกาดขาวใบเขียว ผักกวางตุ้ง ผักกาดขาว ผักบุ้งจีน พริกชี้หนู ถั่วฝักยาว ชะอม และผักชี พบว่าปริมาณธาตุสังกะสีในผักบางชนิด (ชะอม ข้าวโพดอ่อน ผักกาดขาวและผักกาดขาวใบเขียว) ที่ปลูกแบบเกษตรอินทรีย์มีแนวโน้มสูงกว่าผักที่ปลูกแบบเคมี

Worthington (1998, 2001) ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของการทำเกษตรแบบอินทรีย์และแบบเคมี พบว่าพืชผักที่ปลูกแบบเกษตรอินทรีย์จะมีปริมาณวิตามินซีสูงกว่า และมีพวกสารก่อมะเร็งประเภทไนเตรตต่ำกว่าผักที่ปลูกแบบเกษตรเคมี ทั้งยังพบว่าผักที่ปลูกแบบอินทรีย์จะมีคุณภาพของโปรตีนที่ดีกว่าผักที่ปลูกแบบเกษตรเคมีอีกด้วย

Heaton (2002) ได้ศึกษาพบว่าผลผลิตจากระบบเกษตรอินทรีย์จะมีความปลอดภัยกว่า ทั้งยังมีสารประกอบทางอาหารและปริมาณคุณค่าทางสารอาหารสูงกว่าผลิตภัณฑ์ปลูกในระบบเคมี

Ismail and Fun (2003) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณวิตามินซี, เบต้าแคโรทีนและไรโบฟลาวิน ในผัก 5 ชนิด คือ มัสตาร์ดจีน, ผักกาดจีน, ผักกาดหอม, ผักโขม และกะหล่ำปลี พบว่า ผักกาด, ผักกาดหอมและผักโขมที่ปลูกแบบเกษตรอินทรีย์ มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่าแบบที่ปลูกในระบบเกษตรเคมี มัสตาร์ดจีนและผักโขมที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์มีปริมาณเบต้าแคโรทีนและไรโบฟลาวินสูงกว่าที่ปลูกในระบบเคมี และได้สรุปว่าผักโขมที่ปลูกแบบเกษตรอินทรีย์มีปริมาณวิตามินซี, เบต้าแคโรทีนและไรโบฟลาวิน สูงที่สุดจากตัวอย่างผักทั้งหมด

Veyrat *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ antioxidant micro constituent ของมะเขือเทศและน้ำมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และเคมี และศึกษาถึงผลของระดับ antioxidant ในเลือดที่เกิดขึ้น ซึ่งผลการทดลองพบว่า จากการวิเคราะห์น้ำหนักสด (fresh matter) มีความแตกต่างอย่างชัดเจนในวิตามินซี, แคโรทีนอยด์ และ polyphenol ในมะเขือเทศที่ปลูกแบบอินทรีย์สูงกว่าเคมี สำหรับน้ำหนักแห้ง (dry matter) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ lycopene และ naringenin ในมะเขือเทศ และไม่มีความแตกต่างระหว่างแคโรทีนอยด์ทั้ง 2 ระบบ ทั้งนี้ความเข้มข้นของวิตามินซีและ polyphenol ที่เหลืออยู่ในน้ำมะเขือเทศอินทรีย์มีสูงกว่า สำหรับคุณค่าทางอาหารไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างน้ำมะเขือเทศทั้ง 2 ชนิด

Rembialkowska (2006) ได้ทำการศึกษาคูณภาพของผักที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ และระบบเกษตรเคมี พบว่า แม้ว่าผักที่ปลูกแบบระบบเกษตรอินทรีย์จะมีผลผลิตต่ำกว่า แต่สารอาหาร, คุณภาพทางประสาทสัมผัส และคุณภาพในการเก็บรักษาดีกว่าแบบเกษตรเคมี และจุดที่สำคัญคือมีระดับไนเตรท ต่ำกว่าและยังพบปริมาณวิตามินซีในมันฝรั่งสูงกว่าด้วย

#### 4. มะเขือเทศ

มะเขือเทศเป็นพืชชนิดหนึ่งที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ในประเทศแถบทวีปยุโรป สหรัฐอเมริกา และประเทศในเขตนานาชาติ จัดให้มะเขือเทศเป็นผลไม้ แต่ประเทศในเขตร้อนจัดให้มะเขือเทศเป็นผัก ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งในเขตร้อน ที่เห็นความสำคัญในด้านเศรษฐกิจของการผลิตมะเขือเทศ เนื่องจากมะเขือเทศมีหลายพันธุ์ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง (จรรยาพร, 2546)

มะเขือเทศมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lycopersicon esculentum* Mill. มีถิ่นกำเนิดในประเทศเปรูและเอกวาดอร์ เป็นพืชผักเศรษฐกิจอยู่ในวงศ์ Solanaceae อยู่ในตระกูลพริก เป็นพืชล้มลุกอายุ 1 ปี เติบโตรวดเร็ว ลำต้นมีขนปกคลุม มีกลิ่นเฉพาะตัว ใบหยักเว้าลึก ดอกสีเหลืองรูปดาว ผลน้ำนม มีขนาดสี รูปร่างต่าง ๆ ผลอาจมีรูปกลมหรือรี ผิวเรียบหรือร่องลึก สีเหลือง ส้ม หรือ แดง สามารถใช้ทั้งรับประทานสด,ปรุงอาหาร และเป็นวัตถุดิบสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม จากตารางที่ 4 พบว่ามะเขือเทศให้คุณค่าทางอาหารเนื่องจากมี วิตามินเอ และวิตามินซีสูง (วีณา, 2543, กุศลและคณะ, 2545) ในปี 2547 พบว่าทั่วโลกมีการผลิตมะเขือเทศได้ประมาณ 115 ล้านตัน (Lumpkin, 2005) สำหรับประเทศไทย ข้อมูลล่าสุดเมื่อปี พ.ศ. 2550 มีพื้นที่เพาะปลูกมะเขือเทศบริโภคสด 39,591 ไร่ ผลผลิตรวม 122,324 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

**ตารางที่ 4** คุณค่าทางโภชนาการใน 100 กรัมของมะเขือเทศรับประทานสดและมะเขือเทศแปรรูป

สารอาหาร	สด	บรรจุกระป๋อง	ซอส	น้ำมะเขือเทศ
น้ำ (เปอร์เซ็นต์)	84.00	94.00	69.00	94.00
พลังงาน (แคลอรี)	19.00	21.00	106.00	19.00
โปรตีน (กรัม)	0.70	0.80	1.80	0.80
ไขมัน (กรัม)	น้อยมาก	น้อยมาก	0.40	น้อยมาก
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	4.00	4.00	25.00	4.00
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	12.00	6.00	22.00	7.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	24.00	19.00	50.00	18.00
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.40	0.50	0.80	0.90
โปแตสเซียม (มิลลิกรัม)	222.00	217.00	363.00	227.00
วิตามินเอ (ไอ.ยู)	822.00	9,000.00	1,399.00	798.00
ไทอามีน (มิลลิกรัม)	0.05	0.05	0.09	0.05
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.04	0.03	0.07	0.03
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.07	0.07	1.60	0.80
กรดแอสคอร์บิก (มิลลิกรัม)	21.00	17.01	15.00	16.00

**ที่มา:** จรรยาพร (2546)

4.1 ชนิดของมะเขือเทศ มีการจัดแบ่งมะเขือเทศออกตามลักษณะการเจริญเติบโตออกเป็น 2 พวกคือ (อัญชลี, 2528)

1. แบบพุ่ม (Determinate) เป็นลักษณะของมะเขือเทศที่ออกดอกในเวลาใกล้เคียงกัน มีระยะเวลาในการเจริญเติบโตจำกัด ต้นเป็นพุ่มเตี้ย ๆ เช่น พันธุ์ Vf 134-1-2, L-22 และสีดา

2. แบบทอดยอด (indeterminate) ลักษณะต้นมีการเจริญเติบโตไปเรื่อย ๆ การออกดอกจะทยอยออกไม่พร้อมกัน ต้นเป็นพุ่มสูง เช่น พันธุ์ฟลอราเดล (Floradel)

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งมะเขือเทศตามวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ ได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. มะเขือเทศบริโภคสด มะเขือเทศบริโภคนั้นจะมีรสเปรี้ยวเล็กน้อย ใช้ประกอบอาหารไทย มีน้ำมาก เนื้อนุ่ม รวมทั้งมีสีส้ม เขียว แดง เหลือง ส้ม พันธุ์มะเขือเทศสำหรับบริโภคสดนี้ส่วนใหญ่ได้แก่ พันธุ์สีดา สีดาห้านฉัตร ซึ่งพันธุ์เหล่านี้ปลูกได้ทั้งปี นอกจากนี้ยังมีมะเขือเทศบริโภคสดในอาหารตามแบบชาวตะวันตก มะเขือเทศชนิดนี้จะต้องมีลักษณะผลใหญ่ เนื้อมาก ละเอียด สำหรับการบริโภคภายในประเทศไทยนั้นโดยทั่วไปมักจะบริโภคทั้งแบบเป็นผลสด และนำไปประกอบอาหาร เนื่องจากมะเขือเทศมีคุณค่าทางอาหารสูง ได้แก่ โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุที่จำเป็น และมีประโยชน์ต่อสุขภาพ ประกอบกับกระแสความนิยมบริโภคอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูงและมีประโยชน์ต่อร่างกาย ทำให้ความต้องการในการบริโภคมะเขือเทศเพิ่มมากขึ้น (จรรยาพร, 2546)

2. มะเขือเทศส่งโรงงานอุตสาหกรรม มะเขือเทศที่ส่งโรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะมีลักษณะที่แตกต่างจากมะเขือเทศบริโภคสด คือ ผลสุกมีสีแดงจัดตลอดผล ใต้กลางของผลสั้น เล็ก และไม่แข็งแรง เนื้อมาก นำน้อย มีประมาณกรดสูง ผลแน่น แข็ง เปลือกหนาและเหนียว ได้แก่พันธุ์ VF1340102, R 502, P 600 เป็นต้น มะเขือเทศส่งโรงงานนั้นจะนำไปเป็นวัตถุดิบให้กับโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น โรงงานผลิตปลาซาร์ดีนในซอสมะเขือเทศ และโรงงานผลิตซอสมะเขือเทศ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เพื่อบริโภคในประเทศและส่งออกไป (จรรยาพร, 2546)

#### 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศ

ผลของมะเขือเทศที่รับประทานได้ประกอบด้วย กรดอินทรีย์ น้ำตาล แคลโรทีนอยด์ วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี และสารอินทรีย์ ส่วนเหนื่อดิน (ลำต้นและใบ) มีพิษ เพราะมีสารสเตียรอยด์ซาลิโปนิน (steroidal saponins) ประเภทโทมาทีน (tomatine) (วิณา, 2545)

4.2.1 แคโรทีนอยด์ (carotenoids) สีเหลืองและส้มในผักและผลไม้ส่วนใหญ่ และสีแดงในผักและผลไม้บางชนิดเป็นสีในกลุ่มแคโรทีนอยด์ ซึ่งจะอยู่ในส่วนของพลาสมิดชนิดที่เรียกว่า โครโมพลาสต์ (Chromoplasts) แคโรทีนอยด์อาจจะอยู่ร่วมกับคลอโรพิลล์ต่อแคโรทีนอยด์เป็น 3 หรือ 4 : 1 โดยเมื่อผลไม้สุกอัตราส่วนนี้จะลดลง หรืออาจอยู่เป็นอิสระในเม็ดไขมัน (fat droplets) ก็ได้ แคโรทีนอยด์ประกอบด้วยเม็ดสี 3 ชนิด คือ สีแดง (แคปแซนทิน), สีเหลือง (แซนโทฟิลล์) และสีส้ม (แคโรทีน) แคโรทีนอยด์ไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายในน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ โดยจะมีการละลายที่แตกต่างกันไปในแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดซึ่งสามารถแบ่ง แคโรทีนอยด์ได้เป็น 2 ชนิดได้แก่

ก. แคโรทีน (carotenes) ที่มีเพียงอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ และละลายในสารละลายไม่มีขั้ว เช่น ปีโตรเลียมอีเทอร์และเฮกเซน

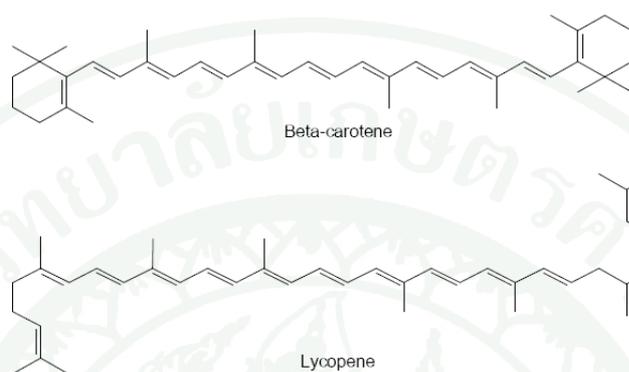
ข. แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) ซึ่งเป็นแคโรทีนอยด์ที่มีโมเลกุลของออกซิเจน และละลายในสารละลายมีขั้ว เช่น เอทานอลและเมทานอล

โดยแคโรทีนพบในพืชสีเขียวทุกชนิดและพบมากในพืชที่มีสีเหลือง ส้ม และแดง เช่น แครอท, มะเขือเทศ, มะละกอ, ฟักทอง, พริก, เปลือกส้ม, ลูกเกด, สาหร่าย เป็นต้น พบในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ราก, เมล็ด, ใบ, ผล และดอก

โครงสร้างของแคโรทีนอยด์ โมเลกุลของแคโรทีนอยด์ส่วนใหญ่ ประกอบด้วยคาร์บอนอะตอม 40 อะตอมได้แก่ เบต้าแคโรทีน แกรมม่าแคโรทีน แอลฟาแคโรทีน และไลโคพิน ดังแสดงในภาพที่ 2 conjugated double bonds จะมีความสำคัญกับสีในอาหารที่มี แคโรทีนอยด์ เป็นองค์ประกอบ โดยจะเห็นเป็นสีเหลืองถ้าโมเลกุลของแคโรทีนอยด์มี conjugated double bonds 7 พันธะ แคโรทีนอยด์จะมีทั้งชนิดที่เป็น cis และ trans แต่โดยส่วนใหญ่ในธรรมชาติแคโรทีนอยด์จะเป็น trans ถ้าแคโรทีนอยด์มีพันธะคู่เพิ่มขึ้นจะมีสีแดงเข้มขึ้น ไลโคพินมีพันธะคู่มากกว่าเบต้าแคโรทีน 2 พันธะ จึงมีสีแดงมากกว่า พบเบต้าแคโรทีน ในมะเขือเทศ การลดลงของ conjugated double bonds จะทำให้มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น เช่น แอลฟาแคโรทีนจะมีสีส้มน้อยกว่าเบต้าแคโรทีน

สำหรับไลโคพินเป็นสารที่มีสีแดงส้ม พบมากในมะเขือเทศและยังพบได้ใน แดงโม อุ่นแดง มะละกอ หรือฝรั่งสีแดง เป็นแคโรทีนอยด์ที่พบได้มากที่สุดในกระแสเลือด ไลโคพินมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรง ดังภาพที่ 2 และเป็นสารที่ไม่มีขั้วจึงดูดซึมได้ไม่ดี แต่ถ้า

ผ่านการปรุงด้วยความร้อนแล้วจะดูดซึมได้ดีขึ้น เนื่องจากการประกอบอาหารด้วยความร้อนจะทำให้ไลโคพีนที่อยู่ในรูป trans-lycopene เปลี่ยนเป็น cis-lycopene ซึ่งในรูป cis-lycopene จะดูดซึมได้ดีกว่า และการผสมน้ำมันพืชในขณะที่ประกอบอาหารที่มีไขมันจะช่วยให้ดูดซึมไลโคพีนได้ดีกว่าอาหารที่มีไขมันเพียงอย่างเดียว (วีรศักดิ์, 2548)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ Beta-carotene และ Lycopene

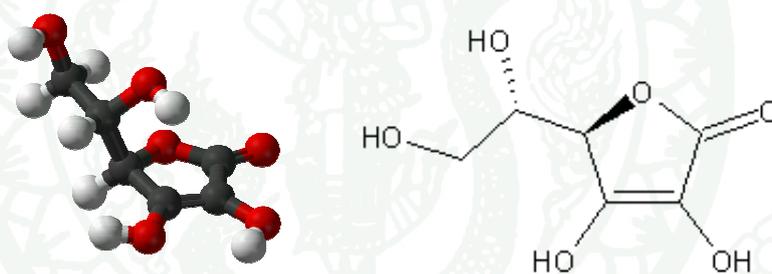
ที่มา: วีรศักดิ์ (2548)

นอกจากแคโรทีนอยด์จะเป็นสีที่ทำให้ผลไม้สวยดึงดูดให้ผู้บริโภคเลือกซื้อแล้วนั้น แคโรทีนอยด์ยังเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอด้วย โดยเบต้าแคโรทีนสามารถให้วิตามินเอ 2 โมเลกุล แอลฟาและแกมมาแคโรทีนให้วิตามินเอเพียง 1 โมเลกุล ส่วนไลโคพีนไม่เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ ( นีรมล, 2541; ปิยภรณ์, 2544) ทั้งนี้ได้มีรายงานว่าสารกลุ่มนี้มีประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยรายงานว่าสารกลุ่มแคโรทีนอยด์สามารถป้องกันและยับยั้งการเกิดมะเร็ง เช่น มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งปอด มะเร็งกระเพาะอาหาร ต้อกระจก โรคหัวใจและระบบหลอดเลือดหัวใจ (Abushita *et al.*, 1997, 2000; Gann *et al.*, 1999; Nishino *et al.*, 1999 ; Agarwal and Rao, 2000 ; Steve, 2002 ; Giovannucci, 2005 ; Zamora *et al.*, 2005)

ปัจจัยที่มีผลต่อแคโรทีนอยด์ แคโรทีนอยด์เป็นสารที่ไม่คงตัวเปลี่ยนแปลงได้ง่าย แต่เมื่อเทียบกับสารให้สีจากธรรมชาติชนิดอื่น เช่น คลอโรฟิลล์ แอนโทไซยานิน แล้ว แคโรทีนอยด์จะมีความคงตัวมากกว่า โดยแคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงได้ง่ายเมื่อได้รับแสง ออกซิเจน เปอร์ออกไซด์ สารละลายอินทรีย์ เช่น เตตระไฮโดรฟิวรีน (THF), คลอโรฟอร์ม, เมทิลีนคลอไรด์ และเฮกเซน และอุณหภูมิสูง โดยเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส บางชนิดทนต่ออุณหภูมิสูง

ถึง 190 องศาเซลเซียส แคลโรทีนอยด์ในเนื้อเยื่อสมบุรณ์มีความคงตัวมากกว่าแคลโรทีนอยด์ที่ถูกสกัดออกมาเมื่อผลเริ่มสุกที่อุณหภูมิปกติสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส คลอโรฟิลล์จะลดลงในขณะที่เบต้าแคโรทีนจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์ไลโคพีนจะถูกยับยั้งเป็นผลไม่มีสีเหลือง (ปิยาภรณ์, 2544)

4.2.2 วิตามินซี (ascorbic acid) มีลักษณะโมเลกุลคล้ายกับน้ำตาลกลูโคส ดังภาพที่ 3 วิตามินซีเป็นผลึกสีขาว มีรสเปรี้ยว ละลายน้ำมีฤทธิ์เป็นกรด ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย แม้โดยออกซิเจนในอากาศ เมื่อถูกออกซิไดส์แล้วจะเปลี่ยนไปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ต่อไปในภาวะที่เป็นกลางหรือเป็นด่างได้ กรด 2,3-dioxo-L-gluonic ทองแดงมีฤทธิ์เร่งปฏิกิริยาออกซิไดส์ได้โดย ascorbic acid oxidase ที่มีอยู่ในพืช ดังนั้นในการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้ จึงต้องใส่กรดเมตาฟอสฟอริกลงไปก่อนที่จะทำให้เซลล์แตก เพื่อทำลายเอนไซม์ที่จะออกมามีฤทธิ์ออกซิไดส์กรดแอสคอร์บิกให้เสียไปก่อน (สมทรง, 2542)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของวิตามินซี

ที่มา: Anonymous (2010)

วิตามินซีส่วนใหญ่มีต้นตอมาจากอาหารที่เป็นพืช ในสัตว์มีน้อยมาก ยกเว้นที่ได้อาหารที่มีมากได้แก่ ส้ม มะนาว มะขามป้อม ลำไย มะเขือเทศ และผักใบเขียว ในน้ำนมคนมีน้อย แต่ยังมีมากกว่าในน้ำนมวัว 3-4 เท่า อาหารที่จัดว่ามีวิตามินซีน้อยมาก หรือไม่มีเลย ได้แก่ เนื้อสัตว์ ไข่ ข้าว เป็นต้น วิตามินซีจะพบเกือบทุกส่วนของพืชยกเว้นเนื้อไม้และเมล็ด ปัจจุบันนี้จะเห็นว่าการเติมวิตามินซีลงในเครื่องดื่ม เป็น antioxidant เพื่อคงสภาพของรสชาติเดิมเอาไว้ ทั้งนี้วิตามินซียังดีต่อสุขภาพคือป้องกันโรคหัวใจและมะเร็ง (Abushita *et al.*, 1997) หรือเติมลงในเนื้อสัตว์

ขนมปัง และอาหารอื่น ๆ เพื่อช่วยในการเก็บรักษาอาหารอื่น ๆ เพื่อช่วยในการเก็บรักษาไม่ให้เสื่อมคุณภาพ

#### 4.3 การเปลี่ยนแปลงของผลมะเขือเทศหลังการเก็บเกี่ยว

##### 4.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ (Physical changes)

ก. ความแน่นเนื้อของผล (firmness) ความแน่นเนื้อของผลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดระหว่างผลที่แก่และสุกเพราะเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางฟิสิกส์และทางเคมีขององค์ประกอบของผนังเซลล์ (cell wall) และส่วนที่ทำหน้าที่ยึดผนังเซลล์ให้ติดกัน (middle lamella) สารพวก pectic compounds ซึ่งอยู่ใน middle lamella และ cell wall เปลี่ยนรูปจากรูปที่ไม่ละลายน้ำไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้โดยเอนไซม์ pectolytic enzyme ทำให้เซลล์ยึดเกาะกันอย่างหลวม ๆ และเนื้อเยื่อของผลเกิดการอ่อนตัว

ข. สีของผล สีของผลมะเขือเทศมีความสำคัญต่อการที่จะใช้เป็นเครื่องตัดสินว่าผลมะเขือเทศนั้นแก่หรือสุก และยังมีมีความสำคัญต่อการคัดคุณภาพของผลมะเขือเทศทั้งที่ใช้รับประทานสดและส่งโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูป เมื่อผลมะเขือเทศเริ่มสุกมีการเปลี่ยนแปลงของสี จากสีเขียวเป็นสีแดงหรือส้ม สีของผลมะเขือเทศเมื่อสุกนั้นขึ้นกับรงควัตถุ 2 ชนิดคือ ไลโคปีน (lycopene) ซึ่งทำให้มีสีแดงและคาโรทีน (carotene) ซึ่งทำให้มีสีเหลือง ในขณะที่ผลมะเขือเทศเริ่มสุก คลอโรฟิลล์จะสลายตัวไปและมีการสร้างไลโคปีนเพิ่มขึ้น การสังเคราะห์ ไลโคปีนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ออกซิเจน และแสง (อัญชลี, 2528)

##### 4.3.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (biochemical changes)

ก. น้ำตาล ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Soluble carbohydrates) ของมะเขือเทศมีอยู่ประมาณร้อยละ 1.5-4.5 ของน้ำหนักผลสดหรือเท่ากับ ร้อยละ 65 ของ total soluble solids ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นน้ำตาลประเภทดิควิงก์ ที่สำคัญและมีปริมาณมากคือ D-fructose และ D-glucose ซึ่งทำให้ผลมะเขือเทศมีรสหวาน ขณะที่ผลเจริญเติบโตมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างมากขณะที่ผลเริ่มเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองจนกระทั่งแดง และยังสามารถพบว่า ปริมาณน้ำตาลในผลมะเขือเทศสุกลดลงขณะเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องหลังการเก็บเกี่ยว

ข. กรดอินทรีย์ (organic acids) มีความสำคัญต่อรสชาติของผลมะเขือเทศและยังมีความสำคัญต่อการแปรรูป กรดอินทรีย์ที่สำคัญในผลมะเขือเทศ ได้แก่ กรดซิตริก รองลงมาคือ กรดมาลิก ปริมาณกรดในผลมะเขือเทศเพิ่มขึ้นสูงสุดในขณะที่ผลเริ่มสุกเป็นสีชมพูและลดลงเมื่อผลสุกเต็มที่ การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดที่สามารถไต่ตรอทได้นั้นถือว่าการเปลี่ยนแปลงของ กรดซิตริกเพียงอย่างเดียว

ค. วิตามินซี (ascorbic acid) ผลมะเขือเทศจัดได้ว่าเป็นแหล่งของวิตามินซีที่สำคัญของผักสำหรับมนุษย์ ปริมาณ ascorbic acid ในผลแตกต่างกันไปตั้งแต่ 5-70 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักผลสด 100 กรัม ซึ่งแล้วแต่พันธุ์ ขณะที่ผลแก่ปริมาณ ascorbic acid เพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงสุดในระยะก่อนที่ผลจะสุกมีสีแดงเต็มที่ นอกจากนี้ยังพบว่ามะเขือเทศที่สุกเร็วปริมาณวิตามินซีสูงกว่าผลที่สุกช้ากว่า

ง. แป้ง (Starch) ในผลมะเขือเทศสุกนั้นมีแป้งอยู่น้อยมาก คือ ประมาณร้อยละ 0.12-0.52 ของน้ำหนักผลสด ปริมาณของแป้งของผลมะเขือเทศเพิ่มขึ้นขณะที่ผลเจริญเติบโตและลดลงอย่างรวดเร็วขณะผลสุก

จ. กรดอะมิโน (amino acid) กรดอะมิโนประเภท free amino acids ในผลมะเขือเทศนั้นมีอยู่ประมาณ 20 ชนิด กรดอะมิโนที่มีมากที่สุดได้แก่ glutamic acid ซึ่งปริมาณอยู่ระหว่าง 50 – 300 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักผลสด 100 กรัม ระหว่างที่ผลสุกปริมาณ free amino acids ทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลง แต่ glutamic acid และ aspartic acid เพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่ amino acid ชนิดอื่นๆ มีแนวโน้มลดลงระหว่างผลที่สุกซึ่งคิดว่า amino acid เหล่านี้ถูกนำไปสังเคราะห์โปรตีนหรือเอนไซม์

ฉ. โปรตีน (Protein) ปริมาณโปรตีนรวมในผลมะเขือเทศสุกมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.48-0.55 แต่ปริมาณเหล่านี้ยังแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ระหว่างผลที่กำลังเติบโตปริมาณโปรตีนลดลง และมีปริมาณต่ำสุดก่อนที่ผลจะแก่เข้าสู่ระยะ mature green หลังจากนั้นปริมาณโปรตีนจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงสุดเมื่อผลเข้าสู่ระยะสีแดง และลดลงในระยะสุดท้ายของการสุก บทบาทของโปรตีนนั้นเกี่ยวข้องกับการเกิด climacteric ของผลในขณะสุกโดยอาจจะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ peptic enzyme ซึ่งเกี่ยวกับขบวนการสุก

ข. สารระเหย (volatile components) สารระเหยเป็นสารที่ทำให้เกิดรสชาติของผลไม้ กลิ่นของผลไม้ที่สุกที่สุดอยู่บนต้นนั้นเกิดขึ้นเนื่องจาก carbonyls (ร้อยละ32), short chain ( $C_3-C_6$ ) alcohols (ร้อยละ10), hydrocarbons และ ester (ร้อยละ58) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารระเหยเพิ่มขึ้นตามลำดับในขณะที่ผลไม้สุกแก่และสุกซึ่งมีปริมาณสูงสุดประมาณ 0.3-0.5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักผลสด 100 กรัม

## 5. การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

คุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรมีความสำคัญต่อการผลิตสินค้าเกษตร ทำให้เกิดความพยายามพัฒนาวิธีการหรือเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพขึ้นมาหลายวิธี (ธงชัย และคณะ, 2542) โดยการตรวจสอบคุณภาพในระดับห้องปฏิบัติการเป็นการตรวจสอบที่ต้องมีการเตรียมตัวอย่าง ใช้สารเคมีในการทดสอบ เป็นผลทำให้เกิดมลภาวะเป็นพิษ อีกทั้งต้องใช้เวลาในการทดสอบมาก และที่สำคัญคือ เป็นวิธีการที่ต้องทำลายตัวอย่าง (destructive method) (ณัฐกานต์, 2548) แต่จากการที่ทราบว่าคุณภาพของผลิตผลหลายประการสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีบางประการ ทำให้เกิดการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบคุณภาพโดยไม่ทำลายผลิตผล (Nondestructive testing) ขึ้นมา โดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพ ทั้งคุณภาพภายนอก ได้แก่ ขนาด รูปร่าง กลิ่น สี และคุณภาพภายใน ได้แก่ ความแก่ ความสุกของผลิตผล ปริมาณน้ำตาล ปริมาณน้ำมัน ความแน่นเนื้อ ลักษณะภายในที่ไม่ต้องการ เช่น การเข้าเจาะทำลายเมล็ดของหนอนเจาะเมล็ด, การเกิด tissue breakdown, อาการ water core (Kawano, 1994) และการมีสิ่งแปลกปลอม จำพวกเศษโลหะเศษดินเศษหินที่ไม่ต้องการ

เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพต่าง ๆ ได้รับการพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่องเพื่อนำมาใช้ตรวจสอบคุณภาพภายในโดยไม่ทำลายผล อาทิเช่น เทคนิคการตรวจวัดความหนาแน่น (density), การสัมผัส (impact), การสั่นสะเทือน (vibration), การวัดความแน่นเนื้อ (firmness), การวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า (electrical methods), คุณสมบัติทางแสง (optical properties), การใช้อัลตราซาวด์ (ultrasonic methods), เทคนิค machine vision, เทคนิค Near infrared (NIR), การใช้ Nuclear Magnetic Resonance (NMR) และ การใช้เทคนิคเอกซเรย์ ซึ่งการตรวจสอบแบบไม่ทำลายจะมีข้อดีต่าง ๆ ดังนี้ (Kawano, 1994)

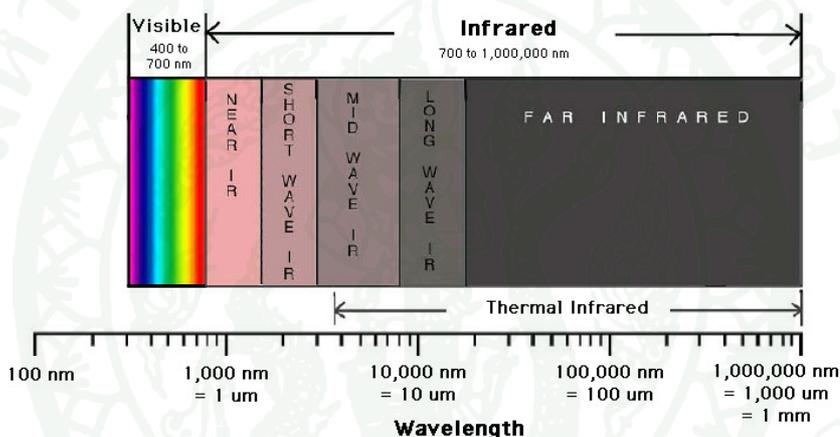
1. ไม่มีการใช้สารเคมี
2. รวดเร็ว
3. ถ้ามีการจัดวางระบบที่สมบูรณ์แล้ว ไม่จำเป็นที่จะต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์
4. สามารถใช้ตัวอย่างที่มีลักษณะเหมือนกันซ้ำกันได้
5. เป็นวิธีที่สอดคล้องกับการควบคุมการผลิต
6. ไม่จำเป็นต้องชั่งน้ำหนักตัวอย่าง
7. วิเคราะห์ข้อมูลได้หลาย ๆ ปัจจัยในเวลาเดียวกัน

โดยเฉพาะเทคนิค NIR เป็นเทคนิคที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ในหลายกลุ่มอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และยา อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเคมีและโพลีเมอร์ และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นต้น (วารุณี, 2545) Osborn *e. al.* (1993) ได้กล่าวว่า เครื่องมือแต่ละประเภทต่างก็มีข้อจำกัดในการใช้งานแต่เครื่อง NIRS มีประโยชน์และข้อดีมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทางเคมีหรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีอื่น สำหรับการนำเครื่อง NIRS ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีประโยชน์มากมาย คือ

1. ง่ายต่อการเตรียมตัวอย่าง
2. มีความรวดเร็วในการวัด
3. การตรวจสอบเป็นแบบไม่ทำลาย ทำให้ตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบ สามารถจำหน่ายส่งออก หรือบริโภคต่อไปได้ เป็นการประหยัดต้นทุนของผลิตภัณฑ์อีกทางหนึ่ง
4. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ลดต้นทุนในการดูแลรักษา สภาพแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการด้วยวิธีทางด้านเคมี
5. สะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากในการปฏิบัติไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ หรือต้องได้รับการฝึกฝนโดยเฉพาะสามารถปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานได้ทันที
6. ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี และเครื่องแก้วเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถลดต้นทุนในเรื่องสารเคมี และอุปกรณ์เครื่องแก้วลงไปได้
7. เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำไปควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต

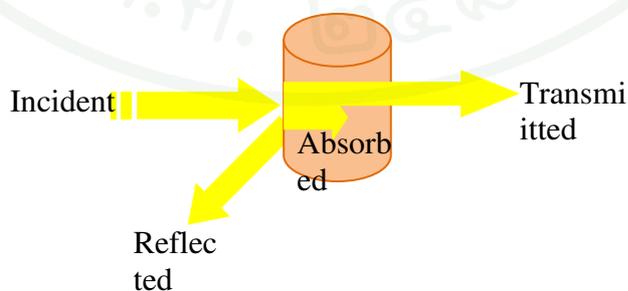
## 6. เทคนิค Near Infrared (NIR) Spectroscopy

Near Infrared (NIR) คือ คลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น ประมาณ 700-2,500 นาโนเมตร หรือ ที่จำนวนคลื่น  $12,500 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$  ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยมีหลักการดังนี้คือ เมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังสารละลายหรือวัตถุ จะมีแสงบางส่วนที่จะถูกดูดกลืน (Absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (fluorescence or phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง (scattered) (วลัยพร, 2548) ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ช่วงความยาวคลื่นของ Near Infrared

ที่มา: Anonymous (2006)



ภาพที่ 5 การเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสาร

การดูดกลืนแสงย่านอินฟราเรดของโมเลกุลสารอินทรีย์ ช่วงคลื่นอินฟราเรดสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 ช่วง ดังตารางที่ 5

ช่วงใกล้อินฟราเรด (Near Infrared) มีความยาวคลื่นในช่วง 700 – 2500 นาโนเมตร แถบการดูดกลืนแสงเกิดจากโอเวอร์โทน และมักพบว่าช่วงการดูดกลืนแสงที่ได้ค่อนข้างต่ำ มีประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณของกลุ่มฟังก์ชันนัล และศึกษาโครงสร้างโมเลกุล (วลัยพร, 2548)

ช่วงกลางอินฟราเรด (Middle Infrared) มีความยาวคลื่นในช่วง 2500 – 50000 นาโนเมตร สเปกตรัมที่ได้ค่อนข้างยุ่งยากเพราะ โครงสร้างของโมเลกุลที่สมบูรณ์ การวิเคราะห์จึงต้องใช้วิธีเปรียบเทียบกับสเปกตรัมที่ทราบ โครงสร้างแล้ว ใช้ในการวิเคราะห์กลุ่มฟังก์ชันนัล (วลัยพร, 2548)

ช่วงไกลอินฟราเรด (Far Infrared) มีความยาวคลื่นในช่วง 50,000 – 1,000,000 นาโนเมตร ช่วงนี้ไม่ค่อยที่จะได้ใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากสเปกตรัมไม่ได้เกิดจากการสั่นหรือหมุนของโมเลกุล แต่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการทรานสิชันที่เกี่ยวกับการหมุนของโมเลกุล (วลัยพร, 2548)

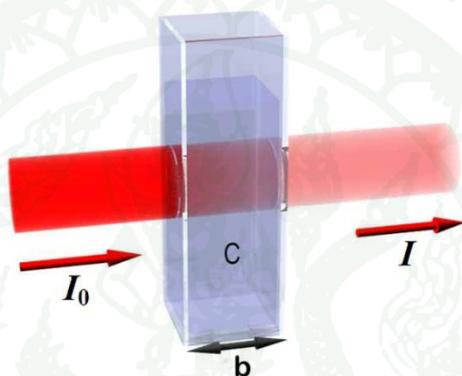
ตารางที่ 5 การแบ่งช่วงคลื่นย่านอินฟราเรด

ช่วงคลื่น	Characteristic transitions	ช่วงความยาวคลื่น (nm)	เลขคลื่น ( $\text{cm}^{-1}$ )
อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR, NIR)	Overtone combinations	700 - 2500	12800 - 4000
อินฟราเรดย่านกลาง (Mid IR or fundamental IR)	Fundamental vibrations	2500 – $5 \times 10^4$	4000 - 200
อินฟราเรดย่านไกล (Far IR)	Rotations	$5 \times 10^4 - 10^6$	200 – 10

ที่มา: Osborne *et al.* (1993)

สเปกโตรสโคปีมีกฎของการดูดกลืนแสงที่สำคัญที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 กฎ ดังนี้คือ

1. กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) กล่าวว่า เมื่อแสงสีเดียวซึ่งก็คือ แสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน หรืออาจกล่าวได้ว่า ถ้าให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางหนึ่งที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ความเข้มของแสงจะลดลงขึ้นกับความหนาของตัวกลางดังภาพที่ 6 ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (1) (สุพรรณิกา, 2548)



ภาพที่ 6 ความเข้มแสงของความยาวคลื่นเดียวก่อนและหลังผ่านตัวอย่างที่มีความหนา (b)

ที่มา: Anonymous (2007)

$$\log \frac{I_0}{I} = K_1 b \quad (1)$$

- เมื่อ  $I$  คือ ความเข้มของแสงความยาวคลื่นเดียวหลังผ่านตัวอย่าง  
 $K_1$  คือ Proportionality constant  
 $I_0$  คือ ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลาง เมื่อ  $b = 0$   
 $b$  คือ ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

โดยกฎของแลมเบิร์ตใช้ได้กับการดูดกลืนแสงที่สารมีเนื้อเดียวและไม่กระจายแสง สารนั้นอาจเป็นก๊าซ ของเหลวและของแข็งก็ได้ ส่วนมากในทางปริมาณวิเคราะห์มักเกี่ยวข้องกับ

สารละลาย ค่าคงที่  $K_1$  ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอุณหภูมิของสารที่วัดการดูดกลืนแสง

2. กฎของเบียร์ (Beer's law) กล่าวไว้ว่าเมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น หรือกล่าวได้ว่าสัดส่วนของลำแสงที่ผ่านสารละลายที่มีความหนาขนาดหนึ่งจะลดลงขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่เพิ่มขึ้น เขียนในรูปสมการที่ (2) (สุพรรณิกา, 2548)

$$\log \frac{I_0}{I} = K_2 c \quad (2)$$

เมื่อ  $K_2$  คือ proportionality constant

$c$  คือ ความเข้มข้นของสารในหน่วย โมล/ลิตร

ดังนั้น ค่าคงที่  $K_2$  ขึ้นอยู่กับความเข้มของสาร ถ้ารวมกฎของเบียร์และกฎแลมเบิร์ตเข้าด้วยกันจะได้กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) และค่า proportionality constant เป็นค่าใหม่เรียกว่า absorptivity ( $a$ ) จะได้กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ดังในรูปสมการที่ (3)

$$\log \frac{I_0}{I} = acb \quad (3)$$

เมื่อ  $a$  คือ absorptivity

อัตราส่วนของ  $\frac{I}{I_0}$  เรียกว่า Transmittance ( $T$ ) และ  $\log \frac{I_0}{I}$  เรียกว่า Absorbance ( $A$ ) จึงเขียนกฎของเบียร์-แลมเบิร์ตใหม่ดังในรูปสมการที่ (4) (พิมล, 2524)

$$A = \log \frac{I_0}{I} = abc = \log \frac{1}{T} \quad (4)$$

เมื่อ  $T$  คือ Transmittance,  $A$  คือ Absorbance

โมเลกุลของสารแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน เนื่องจากการจัดเรียงโครงสร้างของโมเลกุลต่างกันนอกจากนั้นในแต่ละโมเลกุลจะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นมากกว่า 1 ช่วง เช่น โมเลกุลของน้ำ ( $H_2O$ ) ที่มีมากในผลิตภัณฑ์อาหาร มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น 4 ช่วง คือ 760, 970, 1450 และ 1940 นาโนเมตร ดังนั้นถ้าทำการสอบที่ช่วงความยาวคลื่นดังกล่าว จะสามารถหาความสัมพันธ์ของน้ำภายในตัวอย่างได้ นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์อาหารยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่สำคัญเช่น โปรตีน ไขมัน ดังแสดงในตารางที่ 6 ในกรณีของน้ำตาล  $\alpha$ -D-glucose ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่ง มีความยาวคลื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น 1198, 1269, 1371, 1440, 2275, 2364 และอีกมากมาย (วลัยพร, 2548)

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบภายในอาหารกับช่วงอินฟราเรด

องค์ประกอบ	โมเลกุลที่เกี่ยวข้อง	ช่วงที่เกี่ยวข้อง	
		ความยาวคลื่น (nm)	เลขคลื่น ( $cm^{-1}$ )
น้ำ	-OH	1920-1950, 1400-1450	5208-5128, 7142-6896
โปรตีน	-NH	2080-2220, 1560-1670	4807-4504, 6410-5988
ไขมัน	Methylene, -CH, -CH <sub>2</sub> , -CH <sub>3</sub>	2300-2350, 1680-1760	4347-4255, 5952-5681
คาร์โบไฮเดรต	-CO, -CH combination	2060-2150	4854-4651

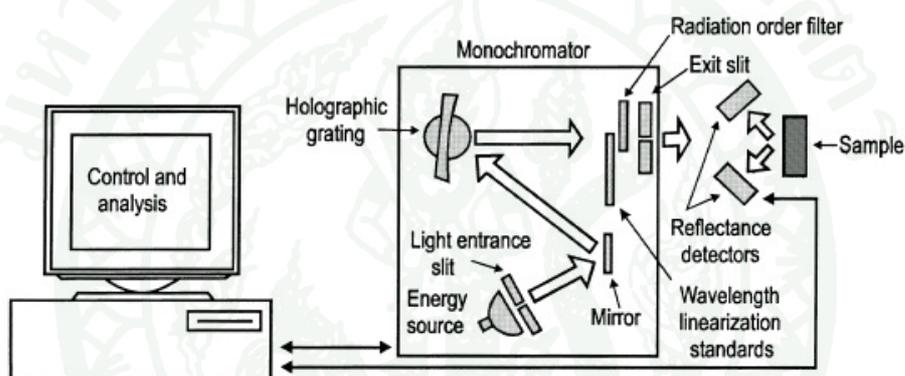
ที่มา: วลัยพร (2548)

### 6.1 หลักการของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy (NIR) (ศิวลักษณ์, 2548)

การทำงานของเครื่อง NIR spectrometer อาศัยการดูดกลืนพลังงานในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของสารแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังนั้นเครื่อง NIR spectrometer ส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีความสามารถในการแยกแยะแสงออกเป็นทีละความยาวคลื่นได้ เพื่อที่จะใช้แสงความยาวนั้นส่องไปยังตัวอย่างและวัดค่าความเข้มข้นของแสงที่สะท้อนออกมา เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแสงที่ส่องเข้าไป (Reflectance type) หรือวัดความเข้มข้นของแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแสงที่ส่องเข้าไป (Transmittance type) การกระทำแบบนี้ทีละความยาวคลื่นและนำค่าความเข้มแสงที่ได้ในแต่ละความยาวคลื่นมาเขียนกราฟ โดยให้แกนอนเป็นค่าความยาวคลื่น

แกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสง จะได้กราฟการดูดกลืนแสงของตัวอย่างนั้น ๆ หลังจากนั้นข้อมูลจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป การแยกลำแสงออกเป็นแต่ละความยาวคลื่นนี้เรียกว่า Monochromator วิธีที่ง่ายที่สุดเพื่อที่จะแยกลำแสงออกเป็นแต่ละความยาวคลื่น คือ การใช้แท่งปริซึมแยกลำแสงสีขาว ออกเป็นแถบสีหรือความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้ ความยาวคลื่นช่วง Near Infrared จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 700 – 2500 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

องค์ประกอบของเครื่อง NIR spectrometer ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง (Light source) อุปกรณ์แยกแสงออกเป็นแต่ละความยาวคลื่น (Monochromator) ช่องใส่ตัวอย่าง (Sample cell) ตัวรับแสง (Detector or sensor) และ คอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 องค์ประกอบของ NIR spectrometers

ที่มา: Foley *et al.* (1998)

## 6.2 การเตรียมตัวอย่าง (Sampling techniques)

สเปกโตรสโคปีย่านใกล้อินฟราเรดเป็นเทคนิคที่แทบจะไม่ต้องมีการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งถือเป็นจุดเด่นของเทคนิคนี้เมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น ทำให้การวิเคราะห์รวดเร็วและลดปริมาณการใช้สารเคมี หรือหากต้องมีการเตรียมตัวอย่างก็จะไม่ยุ่งยาก โดยการเตรียมจะขึ้นกับชนิดของตัวอย่างนั้น ๆ จุดสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเตรียมตัวอย่างไม่ว่าจะ ด้วยวิธีใด ๆ ก็ตาม อาจทำให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างเปลี่ยนแปลงได้ไม่มากนักน้อย ดังนั้นควรจะต้องทำการหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างก่อนเตรียมและหลังเตรียมตัวอย่างเพื่อให้ทราบค่าความชื้นแท้จริงของตัวอย่าง (สุมาพร, 2545) อีกทั้งในการเตรียมตัวอย่างควรเตรียมให้มีสภาพใกล้ เคียงกับตัวอย่างดั้งเดิมให้

มากที่สุด ปัจจัยเกี่ยวข้องกับการเตรียมตัวอย่าง คือ ธรรมชาติของวัสดุ (เช่น ขนาดอนุภาค เนื้อสัมผัส เป็นต้น) ส่วนประกอบในตัวอย่าง ปริมาณและชนิดของสิ่งแปลกปลอม การบดหรือการทำให้ตัวอย่างมีขนาดเล็กลง การผสม และการกำหนดรหัสตัวอย่าง (อนุพันธ์, 2548)

6.2.1 การทำความสะอาด (Cleaning) เป็นการนำสิ่งแปลกปลอมออกจากตัวอย่าง เพราะสิ่งแปลกปลอมนั้นอาจจะรบกวน (interfere) การวิเคราะห์ได้ เช่น หิน กรวด ดินที่อาจติดมากับตัวอย่าง นอกจากนี้ยังรวมถึงการคัดตัวอย่างที่ไม่สมบูรณ์ออกไปด้วย เช่น เมล็ดที่แตกหัก (สุมาพร, 2545)

6.2.2 การบดตัวอย่าง (Grinding) ในยุคแรกของการใช้สเปกโตรสโคปีย่านใกล้อินฟราเรดนั้น โดยทั่วไปตัวอย่างที่นำมาสแกน จะต้องบดก่อน ค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคจะขึ้นกับเครื่องบดที่ใช้ ถึงแม้ว่าจะใช้เครื่องบดเครื่องเดิม แต่สภาพการใช้งานก็จะมีผลต่อตัวอย่างที่บด เช่น เวลาอุ่นเครื่องก่อนใช้ และการป้อนตัวอย่างใส่เครื่อง ดังนั้นควรเลือกใช้เครื่องที่ออกแบบสำหรับใช้กับสเปกโตรสโคปีย่านใกล้อินฟราเรด โดยเครื่องบดที่เหมาะสมควรเป็นเครื่องที่สามารถบดวัสดุได้หลายอย่าง และบดได้ละเอียด ได้การกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่แน่นอนคงที่ เครื่องบดไม่ควรทำให้ตัวอย่างร้อนเกินไป และควรทำความสะอาดตัวเองได้ หรืออย่างน้อยสามารถทำความสะอาดได้ง่าย ตัวอย่างที่บดแล้วควรนำมาผสมกันให้ทั่วถึง (อนุพันธ์, 2548)

6.2.3 การฉีกและตัดตัวอย่าง (Slicing or cutting) ในกรณีผลไม้ อาจจะต้องฉีกหรือตัดเป็นชิ้น ๆ เพื่อนำมาสแกน ซึ่งกรณีที่ตัวอย่างมีความชื้นสูง เช่น เนื้อสัตว์ หรือ ผักผลไม้ การเตรียมตัวอย่างด้วยการตัดหรือหั่น เมื่อเตรียมเสร็จแล้วจะต้องนำไปสแกนโดยเร็วเพื่อป้องกันความชื้นของตัวอย่างเปลี่ยนแปลง โดยการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างเพียงร้อยละ 1 หรือ 2 จะมีผลต่อความแม่นยำของการหาค่าทางเคมี (อนุพันธ์, 2548)

6.2.4 การสับเป็นชิ้นหรือการคั้นน้ำ (Shredding and juicing) สำหรับตัวอย่างที่เป็นของแข็งที่ไม่สม่ำเสมอ เช่น ลำอ้อย วิธีที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่าง คือ การสับเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาคั้นน้ำ เพื่อวัดสเปกตรัมเฉลี่ย (อนุพันธ์, 2548) โดยส่วนใหญ่จะใช้ในการเตรียมตัวอย่างทางการเกษตร เช่น การเตรียมตัวอย่างจำพวกผลไม้ชนิดต่างๆ แอปเปิ้ล, อ้อย, มะนาว ฯลฯ (สุมาพร, 2545)

6.2.5 การทำให้เป็นเนื้อเดียว (Homogenizing) ในกรณีตัวอย่างเป็นของเหลวที่ไม่สม่ำเสมอ เช่น นํ้านมดิบ นั้นมีความจะเป็นที่จะต้องนำมาทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนสแกนเนื่องจากนํ้านมดิบจะมีเม็ดไขมันขนาดต่าง ๆ กันแขวนลอยปะปนอยู่ และจะเคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลา ซึ่งทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในสเปกตรัมที่ได้ เนื่องจากเม็ดไขมันจะทำให้แสงที่ผ่านตัวอย่างเกิดการแพร่กระจายที่แตกต่างกัน (อนุพันธ์, 2548)

6.2.6 การควบคุมอุณหภูมิ (Temperature control) ลักษณะสเปกตรัมย่านใกล้อินฟราเรดของตัวอย่างจะขึ้นกับอุณหภูมิของตัวอย่างขณะทำการวิเคราะห์ ตัวอย่างเดียวกันแต่ทำการวัดที่อุณหภูมิต่างก็อาจจะได้สเปกตรัมที่ต่างกันได้ หากนำตัวอย่างไปหาปริมาณ โดยคำนวณหาความสัมพันธ์จากสมการประเมินค่าทางเคมีที่มีสถานะอุณหภูมิในการวัดต่างกัน ผลการวิเคราะห์ก็จะเกิดการเบี่ยงเบน (bias) ดังนั้นหากต้องการผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องมากที่สุด ก็ควรจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิเป็นพิเศษ (สุมาพร, 2545)

6.2.7 การควบคุมความชื้น (Moisture control) การควบคุมความชื้นนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่างเป็นสิ่งสำคัญ สำหรับตัวอย่างที่มีความชื้นสูงการหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงความชื้นนั้นเป็นไปได้ยาก ทางแก้ไขที่ดีที่สุดคือ ควรทำการวิเคราะห์ทันที หลังจากสุ่มตัวอย่าง ส่วนตัวอย่างที่มีความชื้นต่ำ ก็สามารถทำการเก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะพลาสติก หรือ โลหะที่ปิดสนิท เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของความชื้น หากชุดตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีมีความผันแปร (variation) ของปริมาณความชื้น และตัวอย่างที่นำมาหาปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงความผันแปรของสมการประเมินค่าทางเคมีนั้น อิทธิพลของความชื้นในกรณีนี้จะน้อยและผลการวิเคราะห์สามารถยอมรับได้ แต่เมื่อใดก็ตามที่ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่จะนำมาหาปริมาณไม่อยู่ในช่วงความผันแปรของปริมาณความชื้นในชุดมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ก็อาจเกิดการเบี่ยงเบนไปจากความถูกต้อง ดังนั้นทางที่ดีควรจะมีการเก็บตัวอย่างชุดที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์ให้อยู่ในสถานะเดียวกัน เช่น ลักษณะภาชนะและสถานที่จัดเก็บควรจะเป็นเหมือนกัน หรืออาจทำการวิเคราะห์หาช่วงปริมาณความชื้นในชุดตัวอย่างมาตรฐานเพื่อเป็นเกณฑ์ในการเลือกตัวอย่างมาวิเคราะห์ต่อไป (สุมาพร, 2545)

### 6.3 เทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่าง (Sample presentation)

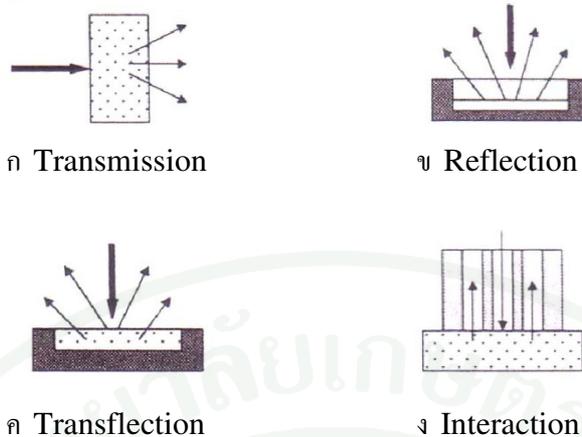
เป็นการจัดลักษณะการวางตัวอย่างในเครื่องสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรดเพื่อให้ได้สเปกตรัมที่สัมพันธ์กับปริมาณค่าทางเคมีที่สนใจวิเคราะห์ (ศุมาพร, 2545)

6.3.1 Transmission แสงเนียร์อินฟราเรดตกกระทบตัวอย่างด้านหนึ่ง โดยที่ดีเทคเตอร์จะวัดปริมาณแสงที่ผ่านออกมาจากตัวอย่างในด้านตรงกันข้าม ดังภาพที่ 8 ก

6.3.2 Reflection แสงจะตกกระทบที่พื้นผิวของตัวอย่าง แสงที่สะท้อนจากผิวของตัวอย่างจะถูกวัดโดยดีเทคเตอร์ ซึ่งอาจรวมถึงแสงที่สะท้อนจากเนื้อตัวอย่างใกล้ผิวของตัวอย่างอีกด้วย ดังภาพที่ 8 ข

6.3.3 Transflection แสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบตัวอย่าง แสงส่วนที่ผ่านตัวอย่างจะลงไปตกกระทบแผ่นเซรามิก, ทอง หรืออลูมิเนียมที่อยู่ด้านหลังสุด แล้วเกิดการสะท้อนกลับออกมายังดีเทคเตอร์ ดังภาพที่ 8 ค

6.3.4 Interaction กระบวนการนี้เกิดขึ้นในกรณีที่ใช้ หัววัดใยแก้วนำแสง (fiber optics probe) แสงเนียร์อินฟราเรดจะออกมาจากส่วนวงแหวนด้านนอกของหัววัดมาตกกระทบกับตัวอย่าง และแสงที่สะท้อนออกมาจากเนื้อตัวอย่างจะถูกส่งไปที่ดีเทคเตอร์บริเวณส่วนกลางของใยแก้วนำแสง ดังภาพที่ 8 ง



ภาพที่ 8 เทคนิคการวัดตัวอย่าง

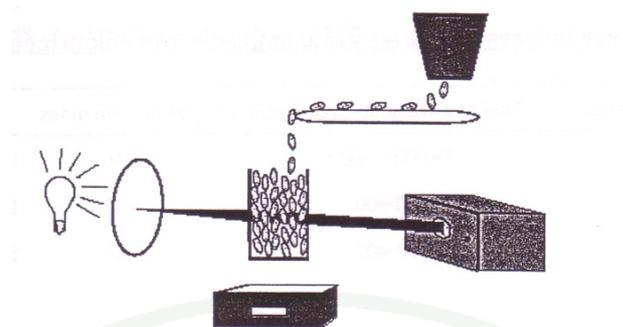
ที่มา: Kawano and Saranwong (2004)

6.3.5 On-line sample การวิเคราะห์จะเกิดขึ้นในขบวนการผลิต แบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ

ก. Remote (noncontact) sensor ขณะวัด ตัวอย่างจะเคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์ ที่เรียกว่า Gauge โดยที่ระยะของเซนเซอร์จะห่างจากตัวอย่าง การวิเคราะห์มีสองระบบด้วยกัน คือ Remote Reflectance systems สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างที่ไหลหรือเคลื่อนที่อยู่ภายในท่อหรือรางส่งตัวอย่าง และระบบ Direct Light Reflectance System สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างที่เคลื่อนที่บนสายพาน สเปคตรัมตัวอย่างที่ได้จะนำไปประเมินผลจากสมการประเมินค่าทางเคมีที่มีอยู่

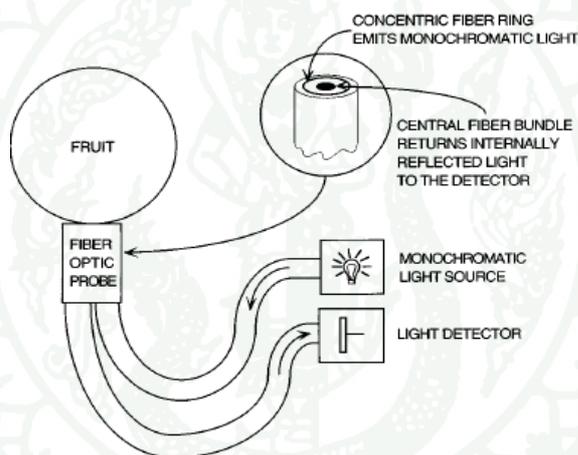
ข. By-pass sampler จะมีการติดตั้งเครื่องสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด เป็นส่วนหนึ่งในระบบการผลิต ตัวอย่างจะผ่านเข้าไปในเครื่องและออกจากเครื่องเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตถัดไป ดังภาพที่ 9

ค. Fiber-optic probe ทำการติดตั้ง หัววัดใยแก้วนำแสง (fiber-optic probe) ที่จุดใดจุดหนึ่งของกระบวนการผลิตที่ต้องการวิเคราะห์ตัวอย่าง นิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพของอุตสาหกรรมอาหารประเภทต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์นม เนื้อ ผลไม้ ขนมอบบี้ ฯลฯ ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 9 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้าวแบบ By-pass

ที่มา: Osborn (2000)

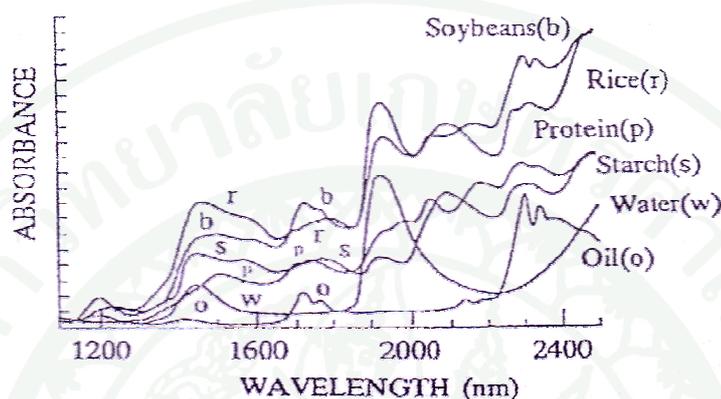


ภาพที่ 10 อุปกรณ์ fiber-optic probe

ที่มา: Slaughter *et al.* (1996)

ข้อจำกัดของเครื่อง Near Infrared Spectroscopy (NIRS) ซึ่งทำให้ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทันทีเหมือน Classical spectrochemical method อื่น ๆ คือ ความยุ่งยากในการหาวิธีการคำนวณหาสมการที่เหมาะสม ในการทำนายคุณภาพที่ต้องการวิเคราะห์ในผลิตภัณฑ์ก่อนนำเครื่องมือมาใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการในงานประจำวัน การวัดด้วยเครื่อง NIRS นั้น ทั้งนี้เพราะข้อมูลที่ได้จากเครื่อง NIRS จะอยู่ในรูปของสเปกตรัม ดังภาพที่ 11 ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลมากไม่สามารถทำนายค่าคุณลักษณะต่าง ๆ เช่น ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เป็นต้น ของตัวอย่างที่ทำการศึกษามีปริมาณเท่าไรได้ทันที ต้องหาวิธีทางคณิตศาสตร์ใน

การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRS ที่ได้ รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสเปกตรัมที่ได้กับค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการวิเคราะห์ ด้วยวิธีทางเคมีหรือกายภาพที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันซึ่งเป็นวิธีที่เสียเวลา สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และทราบผลการทดลองช้าและเป็นวิธีการวัดค่าแบบทำลายตัวอย่าง (ธงชัย, 2545)

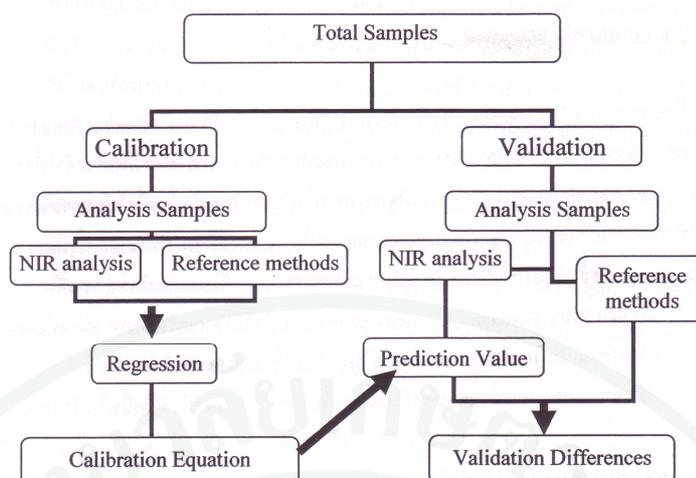


ภาพที่ 11 สเปกตรัมที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง NIRS

ที่มา: Kawano and Saranwong (2004)

#### 6.4 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล Near Infrared Spectra

ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRS ดังภาพที่ 12 ประกอบด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนหลักเป็นอย่างน้อย คือ โดยขั้นตอนแรกเป็นการสร้างสมการที่ใช้ทำนาย (Calibration) และขั้นตอนที่สอง เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้นมา (Validation) เพื่อให้ได้สมการมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายค่าคุณลักษณะคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทราบ ต่อจากนั้นต้องมีการนำสมการมาตรฐานที่ได้จากการทำ Calibration มาตรวจ สอบความถูกต้องแม่นยำของสมการมาตรฐานในการทำนายค่าคุณภาพซึ่งขั้นตอนนี้เรียกว่าการทำ Validation หรือ Verification เพื่อทดสอบสมการที่ได้ว่ามีความเหมาะสม หรือแม่นยำหรือไม่ เมื่อได้ผลการทดสอบที่น่าเชื่อถือแล้วจึงจะนำสมการที่ได้ไปใช้ทำนายค่าคุณลักษณะที่ต้องการศึกษาจากสเปกตรัม NIRS ที่ทำการวัดมาได้



ภาพที่ 12 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลจากสเปกตรัม NIRS

ที่มา: ชงชัย (2545)

ขั้นตอนการสร้างสมการจะเริ่มจากการเลือกเก็บตัวอย่างมาจำนวนหนึ่ง สแกนตัวอย่างเพื่อเก็บสเปกตรัมและหาค่าอ้างอิงทางเคมี และสร้างสมการเปรียบเทียบจากข้อมูลดังกล่าวโดยใช้เคโมเมทริกซ์ (Chemometrics) สมการเปรียบเทียบที่ได้สามารถนำไปใช้ทำนายค่าทางเคมีของตัวอย่างในอนาคตได้ (อนุพันธ์, 2548)

ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องมีการเก็บจำนวนตัวอย่าง (Collecting Samples) ที่นำมาวิเคราะห์อย่างเพียงพอ โดยที่การเตรียมตัวอย่งนั้นจะต้องมีลักษณะอย่างเดียวกับตัวอย่างที่จะมีการนำเครื่อง NIR spectroscopy ไปใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพต่อไปในอนาคต ดังนั้นเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ออกมามีที่สุุด จำเป็นต้องมีตัวอย่างสุ่มที่ถูกต้องและเพียงพอและเป็นตัวแทนที่ดีของประชากร ควรจะเป็นตัวแทนของตัวอย่างที่จะนำมาใช้หาค่าทางเคมีในอนาคตด้วยสเปคโตรสโคปี ดังนั้นถ้าต้องการให้สมการเปรียบเทียบที่ได้สามารถใช้ได้กับตัวอย่างที่มีความหลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เป็นวัสดุทางการเกษตร กลุ่มตัวอย่างนั้นจะต้องมีความหลากหลายในด้านพันธุ์ พื้นที่การผลิต ฤดูกาลผลิต และความแก่ เป็นต้น ค่าทางเคมีในตัวอย่างก็ควรจะมีค่าที่กระจายหรือมีความแปรปรวน ครอบคลุมค่าของตัวอย่างในอนาคตด้วย และโดยทั่วไปมักใช้ตัวอย่างที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงของค่าทั้งหมด การเตรียมตัวอย่างและการจัดวางตัวอย่างสำหรับสแกนที่เหมาะสมจะช่วยลดผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ และจะทำให้ได้สมการเปรียบเทียบที่เหมาะสมในการใช้งานต่อไป (อนุพันธ์, 2548)

นอกจากการเก็บตัวอย่างแล้ววิธีการวัดค่าคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาใช้เป็นวิธีการวัดค่ามาตรฐาน (Reference Laboratory Measurement) เปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์คุณภาพด้วยเครื่อง NIR spectroscopy เป็นสิ่งที่จำเป็นที่ควรคำนึงถึง ปกติวิธีการวัดค่ามาตรฐานส่วนใหญ่จะเป็นการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีประเภท Wet Analysis เช่น การวิเคราะห์หาความชื้น โปรตีน ไขมัน ปริมาณกรด เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากวิธีดังกล่าวเรียกว่า Reference Laboratory Measurement ข้อมูลที่ได้นี้จะนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์กับค่าต่างๆ ที่อ่านได้จากการวัดค่าด้วยเครื่อง NIR spectroscopy (ธงชัย, 2545)

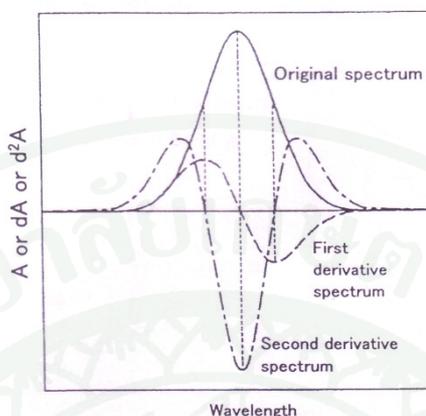
สมการทำนายสร้างโดยการนำตัวอย่างที่มีข้อมูลสเปกตรัมเริ่มต้นที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่องมือ NIRS ในช่วงความยาวคลื่น 700 – 2500 นาโนเมตร มาหาความสัมพันธ์กับค่าคุณภาพที่ศึกษาด้วยวิธีการทางสถิติ แต่ข้อมูลสเปกตรัมเริ่มต้นที่วัดได้อาจมีความแปรปรวนมากอันเนื่องมาจากมีสิ่งรบกวนทางสัญญาณไฟฟ้า ความชื้น อุณหภูมิ และขนาดของอนุภาครวมอยู่ในสเปกตรัม ทำให้ข้อมูลสเปกตรัมที่ได้มีความแตกต่างกันจากสภาพกระเจิงแสง เช่น ความแตกต่างในผลเชิงบวก (Additive scattering) จะส่งผลให้การดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามตลอดช่วงความยาวคลื่น หรือผลเชิงคูณ (Multiplicative scattering) ของการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมจะเพิ่มขึ้น เมื่อความยาวคลื่นสูงขึ้นแล้วจึงไปทำให้สมการที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำในการทำนายลดลง วิธีการทางคณิตศาสตร์จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่น่ามาช่วยในการแปลงข้อมูลการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมเริ่มต้น เพื่อที่จะสามารถนำสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งมาสร้างสมการที่แม่นยำในการทำนายได้มากยิ่งขึ้น (สุพรรณิกา, 2548)

#### 6.4.1 การแปลงข้อมูลการดูดกลืนแสงก่อนการสร้างสมการทำนาย

วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการแปลงข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง NIR ได้แก่ The Derivative Multiplicative Scattering Correction (MSC) และ Smoothing เป็นต้น

ก. The Derivative อนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง (First derivative) เป็นการหาความชันของสเปกตรัม ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาที่สเปกตรัมมีค่าเพิ่มขึ้นคงที่ตลอดช่วงความยาวคลื่น (การเลื่อนตัวของสเปกตรัมตามแกน Y) เนื่องจากอิทธิพลของความชื้น และขนาดอนุภาค (Particle size) การทำอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง จุดยอดของสเปกตรัมเริ่มต้นจะเป็นจุดที่มีความชันมากที่สุดซึ่งทำให้การแปลความหมายยากดังแสดงในภาพที่ 13 ดังนั้นจึงนิยมใช้อนุพันธ์ลำดับที่สอง (Second

derivative) มากกว่าอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง โดยนิยมใช้กับตัวอย่างที่มีเนื้อสม่ำเสมอและการกระจายตัวของอนุภาคทั่วถึง เช่น แป้งสาลีที่บดละเอียด (สุพรรณิกา, 2548)



ภาพที่ 13 อนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งและสองของสเปกตรัมเริ่มต้น

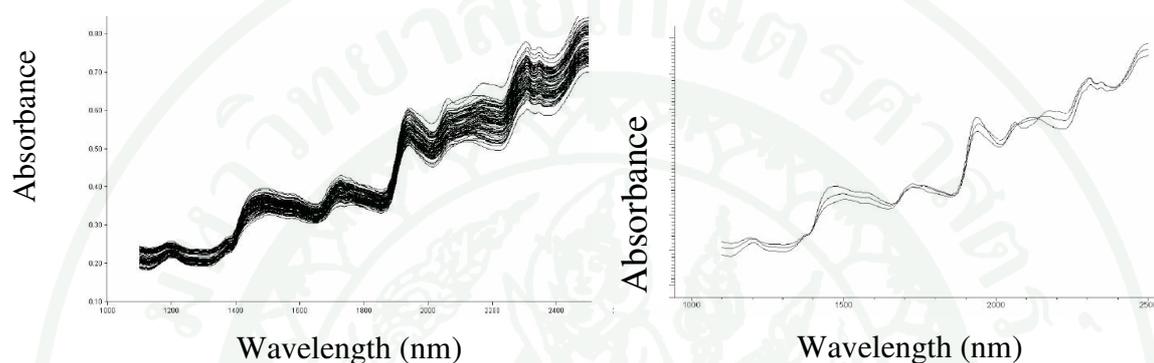
ที่มา: Kawano and Saranwong (2004)

อนุพันธ์ลำดับที่สอง (Second derivative) เป็นวิธีการคำนวณผลลบระหว่างสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแก้ด้วย First derivative ของ Segment ที่อยู่ติดกันและมีช่วงเท่ากันจะมีรูปร่างที่แตกต่างจากสเปกตรัมเริ่มต้น (Original spectrum) ดังแสดงในภาพที่ 13 จะพบว่าสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแก้ด้วย Second derivative ที่ได้จะมีจุดยอดเป็นบวกในด้าน ซ้ายและด้านขวา ส่วนจุดยอดตรงกลางจะอยู่ด้านตรงข้ามที่มีค่ามากที่สุดและตรงกับจุดยอดเริ่มต้น การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชันของสเปกตรัมสามารถแยกจุดยอดของสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนกันของสเปกตรัมเริ่มต้นได้ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการปรับแก้สเปกตรัมด้วยวิธี Second derivative จึงเป็นที่นิยมมากกว่าวิธี First derivative (สุพรรณิกา, 2548)

#### ข. Multiplicative Scatter Correction (MSC)

สเปกตรัมที่ได้จากการวัดการดูดกลืนแสงย่านใกล้อินฟราเรด แบบการสะท้อนแสง และระบบการส่องผ่านมักจะเกิดการกระเจิงแสง (Scattered light) ดังนั้นได้มีการเสนอแนวทางโดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า MSC มาปรับแก้สเปกตรัมเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกต้องมากขึ้น การกระเจิงแสงจะทำให้ความชันโดยรวมของสเปกตรัมเปลี่ยนไป

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าให้สเปกตรัมเป็นเส้นตรงก็เหมือนกับว่าสเปกตรัมถูกทำให้หมุนรอบจุดที่ความยาวคลื่นต่ำสุดของสเปกตรัม (Multiplicative effect) ซึ่งจะทำให้สเปกตรัมที่ได้มีความชันต่างไปจากเดิม ดังแสดงในภาพที่ 14 หรือทำให้ผลกระทบที่ทำให้สเปกตรัมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากันตลอดช่วงความยาวคลื่น ซึ่งเรียกว่า Additive effect ในทางปฏิบัติ MSC ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดผลที่เกิดจาก Multiplicative แต่ก็สามารถลดผลจาก Additive effect ได้เช่นกัน (สุพรรณิกา, 2548)



ภาพที่ 14 NIR สเปกตรัมก่อนและหลังการปรับแก้ด้วยวิธี Multiplicative Scatter Correction (MSC)

ที่มา: จีรวรรณ (2546)

#### ก. Standard Normal Variate (SNV) (อนุพันธ์, 2552)

การปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน (Standard Normal Variate, SNV) เป็นวิธีกำจัดอิทธิพลของการกระเจิงแสงออกจากสเปกตรัมอีกวิธีหนึ่ง โดยเป็นวิธีมักใช้คู่กับการปรับแนวโน้มของเส้นสเปกตรัม (detrending) โดยใช้การปรับแก้ด้วย SNV และจึงตามด้วยการปรับแก้แนวโน้มของเส้นหรือการลดความโน้มเอียงเส้นสเปกตรัม ทั้งนี้เพื่อปรับแก้ผลที่เกิดจากการกระเจิงแสงที่มักจะส่งผลเป็นแบบผลคูณต่อค่าการดูดกลืนแสง โดยผลจากการปรับแก้จะคล้ายคลึงกับการปรับแก้ด้วยวิธี MSC ส่วนวิธีการปรับแนวโน้มนั้นจะใช้ต่อจากวิธี SNV เพื่อปรับแก้เพิ่มเติมโดยวิธีลดความแปรปรวนที่ทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนตัวในแนวตั้งของเส้นสเปกตรัม (baseline shift) แต่โดยทั่วไปการปรับแก้ด้วยวิธี SNV อย่างเดียวก็เพียงพอ วิธีการปรับแนวโน้มจะใช้ต่อจากวิธี SNV เสมอจะไม่ถูกนำมาใช้เพียงลำพังวิธีเดียว

กระบวนการปรับแก้แบบวิธี SNV แตกต่างจากวิธี MSC โดยไม่จำเป็นต้องใช้สเปกตรัมอ้างอิงเหมือนวิธี MSC ที่ต้องใช้สเปกตรัมเฉลี่ยเป็นค่าอ้างอิง ในวิธี SNV สเปกตรัมแต่ละเส้นจะถูกปรับแก้โดยปรับค่าการดูดกลืนให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (normalization) คล้ายกับการคำนวณค่ามาตรฐานหรือค่า Z ในทางสถิติโดยการปรับแก้ให้ค่าการดูดกลืนเฉลี่ยของสเปกตรัมมีค่าเป็นศูนย์ด้วยการนำค่าการดูดกลืนเฉลี่ยของสเปกตรัมของตัวอย่างนั้น ๆ มาลบออกจากค่าสเปกตรัมที่แต่ละความยาวคลื่นตลอดช่วง และปรับแก้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานให้เท่ากับหนึ่งโดยการนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากค่าการดูดกลืนแสงของสเปกตรัมตลอดช่วงมาหารค่าสเปกตรัมหรือค่าการดูดกลืนแสงที่แต่ละความยาวคลื่น

#### 6.4.2 การสร้างสมการทำนาย

ข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแก้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังที่กล่าวข้างต้นจะถูกนำมาสร้างสมการทำนาย ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนการสร้างสมการดังนี้

ก. นำตัวอย่างทั้งหมดที่มีข้อมูลสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแก้ด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง และมีข้อมูลการวิเคราะห์ค่าคุณภาพด้วยวิธีทางเคมีแล้ว (Reference method) มาแบ่งแบบสุ่ม ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มตัวอย่างสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (Calibration set) และกลุ่มตัวอย่างตรวจสอบความถูกต้องของสมการเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้น (Validation set)

ข. กำหนดให้ข้อมูลสเปกตรัมที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ เป็นตัวแปรอิสระ (X) ส่วนข้อมูลค่าคุณภาพที่วิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีเป็นตัวแปรตาม (Y) ทั้งในกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการและกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น

ค. นำข้อมูลตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) ของกลุ่มตัวอย่างสร้างสมการมาหาความสัมพันธ์กันด้วยวิธีทางสถิติเพื่อสร้างสมการ ในการสร้างสมการทำนายนั้นสิ่งสำคัญคือ การหาตัวแปรอิสระที่น่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรตามที่ทำการศึกษา ซึ่งการคัดเลือกหาตัวแปรอิสระสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีหลัก ได้แก่

1) วิธีการคัดเลือกความยาวคลื่น (Wavelength selection methods) หรือตัวแปรอิสระเป็นวิธีการที่ทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระเฉพาะความยาวคลื่นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการคัดเลือกมีหลายแบบด้วยกัน เช่น เลือกความยาว

คลื่นจากเอกสารอ้างอิงที่บ่งบอกถึงช่วงความยาวคลื่นที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าที่จะทำการวิเคราะห์ เช่น ที่ความยาวคลื่น 1940 นาโนเมตร การดูดกลืนแสงของสเปกตรัมที่อ่านได้น่าจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในตัวอย่างที่ทำการวัด เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เทคนิคทางสถิติในการคัดเลือกความยาวคลื่นที่คาดว่าจะมีความสัมพันธ์ ซึ่งเทคนิคทางสถิติที่ใช้ได้แก่

Multiple Linear Regression (MLR) คือสมการการถดถอยที่ใช้ตัวแปรอิสระ (X) มากกว่า 1 ตัวในการประเมินค่าตัวแปรตาม (Y) ซึ่งทำให้สมการที่ได้ลดความผิดพลาดในการประมาณค่าลงได้ หากพิจารณาในเรื่องการใช้เทคนิค NIR ในการหาความสัมพันธ์เชิงปริมาณของตัวอย่างก็หมายถึงการพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงที่หลายความยาวคลื่นนั่นเอง สมการของ MLR แสดงดังสมการที่ 5

อย่างไรก็ตามสมการทำนายที่สร้างขึ้นอาจจะมีปัญหาเกิดขึ้น เนื่องจากการเกิดความคลาดเคลื่อนจากการสร้างสมการ (Interference) หรือสมการที่ได้มีตัวแปรอิสระมากเกินไปในสมการทำให้ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ (Over fitting) หรืออาจเกิดปัญหาจากตัวแปรอิสระที่นำมาใช้ในการสร้างสมการทำนายมีความสัมพันธ์กันเอง (Multicollinearity)

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (5)$$

เมื่อ  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

2) วิธีการใช้ความยาวคลื่นตลอดช่วง (Full spectrum method) เป็นวิธีการคัดเลือกหาช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม (Selective wavelength) จากความยาวคลื่นทั้งหมดที่มีในสเปกตรัม หรือความยาวคลื่นตลอดช่วงทั้งหมด (Full spectrum) มาใช้ในการสร้างสมการทำนายโดยใช้วิธีทางสถิติในการจัดกลุ่มตัวแปรอิสระ หรือความยาวคลื่นที่มีความเกี่ยวข้องกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน หรือทำการสร้างตัวแปรใหม่จากตัวแปรเดิม ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถช่วยแก้ปัญหาการเกิด Multicollinearity ดังกล่าวข้างต้น วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ได้แก่

ก. Principal Components Regression (PCR) ลักษณะสเปกตรัมของคลื่นแสง near infrared โดยทั่วไปจะมี peak ซ้อนทับกัน (overlapping) และ broad peak อยู่มาก ดังนั้นการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีที่พิจารณาเพียงความยาวคลื่นเดียวหรือความยาวคลื่นน้อยๆ จะให้ผลการวิเคราะห์ได้ไม่ถูกต้องเท่ากับการพิจารณาทั้งสเปกตรัม (full spectrum method) หรือ

บางช่วงของสเปกตรัม การทำ PCR จะเริ่มจากการทำ Principal Component Analysis (PCA) กับข้อมูลที่เป็นตัวแปรอิสระที่ได้มาจากข้อมูลของสเปกตรัมเพื่อสร้างองค์ประกอบหรือตัวแปรใหม่ก่อนแล้วจึงนำค่าของตัวแปรใหม่ที่สร้างขึ้นมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่ได้จากวิธีการทางเคมี (Reference methods) เพื่อสร้างสมการทำนายโดยใช้หลักของสถิติ MLR

ข. Principle Component Analysis (PCA) เป็นวิธีการหนึ่งทางสถิติในการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัว (Multivariate analysis) โดยใช้ในการลดจำนวนของตัวแปรอิสระให้น้อยลง โดยใช้วิธีสร้างตัวแปรขึ้นมาใหม่เรียกว่ากลุ่มตัวแปรใหม่ หรือ แฟกเตอร์ ซึ่งการจัดกลุ่มแฟกเตอร์เกิดจากการจัดกลุ่มตัวแปรอิสระแบบเป็นอิสระต่อกัน หรืออีกนัยหนึ่งก็คือผลรวมของค่าสเปกตรัมทุกความยาวคลื่นที่น้ำหนักแตกต่างกัน แฟกเตอร์สามารถมีได้หลายแฟกเตอร์ โดยแต่ละแฟกเตอร์จะแตกต่างกันที่น้ำหนักของแต่ละค่าสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ซึ่งประกอบกันเป็นแฟกเตอร์ นั้นๆ แฟกเตอร์แรกจะถูกสร้างขึ้นมาให้สามารถอธิบายความแปรปรวนของค่าสเปกตรัมได้มากที่สุด แฟกเตอร์ที่สองอธิบายความแปรปรวนที่เหลือ ซึ่งจะทำให้แฟกเตอร์แต่ละแฟกเตอร์แทบจะ ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน (Non-Collinearity)

ค. Partial Least Square (PLS) Regression เป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปรวิธีหนึ่ง โดยการจัดกลุ่มลดจำนวนตัวแปร การสร้างข้อมูลใหม่นั้นจะมีการนำข้อมูลตัวแปรตามเข้ามารวมในการสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่าคะแนนปัจจัย (Factor score) PLS ไม่จำเป็นต้องมีการแยกไปทำขั้นตอน Regression อีก เนื่องจากค่าคะแนนปัจจัยที่สร้างขึ้นใหม่จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอยู่แล้ว ในขณะที่วิธีการ PCR ค่าคะแนนปัจจัยที่สร้างขึ้นใหม่จะมีความเกี่ยวข้องกับข้อมูลตัวแปรเดิมในสเปกตรัมเท่านั้น จำเป็นต้องนำค่าคะแนนปัจจัยที่ได้ไปสร้างสมการ Regression อีกครั้งก่อนนำไปใช้ในการทำนายค่าตัวแปรตามต่อไป (ชงชัย, 2545)

วิธีทางสถิติเพื่อตรวจสอบสมการถดถอย (Regression) ที่ใช้ในการทำนายค่าทางเคมีเพื่อพิจารณาพิจารณาว่าสมการที่สร้างขึ้นมีความเหมาะสมหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R) ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการสร้างสมการ (Standard Error of Calibration: SEC) วิธีการคำนวณค่า R แสดงดังสูตร (6) โดยตัวแปรอิสระ X คือค่าการดูดกลืนของความยาวคลื่นที่อ่านได้จากสเปกตรัมของตัวอย่าง ตัวแปรตาม Y คือค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี หรือ Reference Laboratory Method และ n คือ จำนวนตัวอย่าง และ SEC แสดงดังสูตร (7) โดย a คือ ค่าคงที่ ณ จุดตัดแกน Y เมื่อ X มีค่าเท่ากับ 0 ในขณะที่ b คือ ค่าคงที่ regression หรือค่าความชันของกราฟ

$$R = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}\right)}} \quad (6)$$

เมื่อ  $R$  คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$n$  คือ จำนวนตัวอย่าง

$X$  คือ ค่าการดูดกลืนของความยาวคลื่นที่อ่านได้จากสเปกตรัมของตัวอย่าง

$Y$  คือ ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี

$$SEC = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - a - aX_i)^2}}{n-2} \quad (7)$$

เมื่อ  $SEC$  คือ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการสร้างสมการ

$a$  คือ ค่าคงที่ ณ จุดตัดแกน  $Y$

$b$  คือ ค่าคงที่ regression

$i$  คือ 1,2,3,...n

#### 6.4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการที่สร้างขึ้น (Validation)

หลังจากที่ได้สร้างสมการแล้ว ต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพของสมการนั้น ก่อนนำไปใช้จริง ซึ่งการทดสอบสมการที่นิยมมี 2 วิธี คือ

ก. Full cross validation เป็นการทดสอบสมการภายใน ความหมายคือ ตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการ ก็คือตัวอย่างชุดมาตรฐานทั้งหมด ที่ใช้สร้างสมการประเมินค่าทางเคมีนั่นเอง มีขั้นตอนดังนี้

- 1) ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
- 2) ใช้ตัวอย่างมาตรฐานที่เหลือทำการสร้างสมการ
- 3) นำสมการที่ได้มาประเมินค่าทางเคมีของตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 ที่เรา

ตัดออกมา

- 4) ใส่ตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 1 กลับคืนเข้าไป
- 5) ตัดตัวอย่างมาตรฐานตัวที่ 2 ออกจากชุดตัวอย่างมาตรฐาน
- 6) ทำขั้นตอนซ้ำข้างต้น จนครบทุกตัวอย่าง

ข. การทดสอบผลการประเมิน (Prediction testing) วิธีนี้จะทดสอบสมการแบบภายนอก โดยการเตรียมตัวอย่างชุดใหม่มาทำการวิเคราะห์ในสภาวะการทดลอง เช่นเดียวกับชุดตัวอย่างมาตรฐาน เรียกชุดตัวอย่างที่นำมาทดสอบสมการนี้ว่า ชุดทดสอบ (Testing set) สิ่งที่ต้องระวังคือ ปริมาณค่าทางเคมี ที่เราจะใช้ทดสอบ ต้องอยู่ในช่วงชุดมาตรฐาน หลังจากได้สเปกตรัมจากชุดทดสอบ ก็นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณจากสมการค่าทางเคมี จากนั้นดูผลการคำนวณที่ได้จากค่าทางสถิติ ซึ่งค่าทางสถิติที่ควรพิจารณา คือ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานจากการทำนาย (Standard Error of Prediction: SEP) และค่าความแตกต่าง (Bias) ระหว่างค่าที่ทำนายได้จากสมการที่สร้างขึ้น (Y) กับค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริง (X) วิธีการคำนวณค่า SEP และ Bias แสดงดังสมการที่ (8) และ (9) ตามลำดับ

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum (X - Y)^2 - \frac{(\sum (X - Y))^2}{n}}{(n - 1)}} \quad (8)$$

เมื่อ  $SEP$  คือ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานจากการทำนาย  
 $n$  คือ จำนวนตัวอย่าง  
 $X$  คือ ค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริง  
 $Y$  คือ ค่าที่ทำนายได้จากสมการที่สร้างขึ้น

$$Bias = \frac{\sum X - Y}{n} \quad (9)$$

เมื่อ Bias คือ ค่าความแตกต่างเฉลี่ยของค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากสมการที่สร้างขึ้น

$n$  คือ จำนวนตัวอย่าง  
 $X$  คือ ค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริง  
 $Y$  คือ ค่าที่ทำนายได้จากสมการที่สร้างขึ้น

สำหรับวิธีทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำของสมการทำนายโดยวิธี paired t-test แสดงดังสูตรที่ (10) ถ้าค่า t-test อยู่ในช่วง  $-2 < t < 2$  แสดงว่าการวิเคราะห์ด้วยสมการทำนายไม่แตกต่างจากค่าจริงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (รณฤทธิ์, 2552)

$$t = \frac{Bias\sqrt{n_v}}{SEP} \quad (10)$$

เมื่อ  $SEP$  คือ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานจากการทำนาย  
 $Bias$  คือ ค่าความแตกต่างเฉลี่ยของค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากสมการที่สร้างขึ้น  
 $n_v$  คือ จำนวนตัวอย่างในกลุ่ม Validation

#### 6.4.4 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดมาตรฐานจากการทำนาย (Fearn, 1996)

วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบความแตกต่างของค่าความผิดพลาดมาตรฐานจากการทำนาย (SEP) ของสมการทำนาย 2 สมการ (Naes et al., 2004; Fearn, 1996) ด้วยการเปรียบเทียบค่า SEP คำนวณได้จากค่า  $r$  (Correlation coefficient) ของความผิดพลาดจากการทำนาย (Prediction error) ของความผิดพลาดจากการทำนาย (Prediction error) ระหว่างกลุ่มทำนาย 2 กลุ่ม แล้วนำค่า  $r$  แทนค่าในสมการที่ 11

$$K = 1 + \frac{2(1-r^2)t_{(N_p-2),0.025}^2}{N_p - 2} \quad (11)$$

เมื่อค่า  $r$  คือ Correlation coefficient ของความผิดพลาดจากการทำนาย (prediction error) ระหว่างกลุ่มทำนาย 2 กลุ่ม

$N_p$  คือ จำนวนตัวอย่างในกลุ่มทำนาย

$t_{(N_p-2),0.025}$  คือ ค่า t score ที่ระดับความเป็นอิสระ  $N_p-2$

จำนวนตัวอย่างในกลุ่มทำนายทั้งสองสมการต้องมีจำนวนเท่ากันจึงจะเปรียบเทียบกันได้และ  $t_{(N_p-2),0.025}$  คือ ค่า t score 2.5 % ของ t-distribution ที่  $N_p-2$  degree of freedom โดยทั่วไป  $t_{(N_p-2),0.025}$  ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 2 เมื่อได้ K แล้วนำแทนค่าในสมการที่ 12

$$L = \sqrt{K + \sqrt{K^2 - 1}} \quad (12)$$

และ

$$\frac{SEP_1}{SEP_2} \times \frac{1}{L} \quad (13)$$

และ

$$\frac{SEP_1}{SEP_2} \times L \quad (14)$$

จากผลการคำนวณของสมการที่ 13 และสมการที่ 14 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ถ้าค่าคำนวณจากทั้งสองสมการมีค่า 1 อยู่ในช่วง แสดงว่าสมการทั้งสองมีค่า SEP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

## 7. การประยุกต์ใช้เทคนิค NIRS กับผลไม้ไทยและมะเขือเทศ

การใช้ประโยชน์ของเทคนิค NIRS ในประเทศไทย ส่วนมากนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเกษตรและอาหารประมาณร้อยละ 80 และส่วนมากจะใช้ในลักษณะของงานในห้องปฏิบัติการ เช่น อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ อุตสาหกรรมแป้งจากข้าวและข้าวสาลี อุตสาหกรรมนมและผลิตภัณฑ์นม และอุตสาหกรรมน้ำมันพืช ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย องค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์เช่น ความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เส้นใย จีเอ็ม เป็นต้น (วารุณี, 2545)

สำหรับผลไม้ไทยและมะเขือเทศมีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ NIRS กับการประเมินคุณภาพที่สำคัญดังต่อไปนี้

ณัฐกานต์ และคณะ (2545) ได้ประเมินคุณภาพของกรดแอสคอร์บิก น้ำตาลรีดิวิซ์ และปริมาณความชื้นของฝรั่งพันธุ์กลมสาเล่ ด้วยเทคนิค NIRS โดยการสะท้อนกลับของแสงในช่วง

ความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ด้วยเทคนิค MLR หลังจากนำข้อมูลไปหาความสัมพันธ์ได้ สมการ calibration ที่มีความเหมาะสมที่สุด ด้านกรดแอสคอร์บิก น้ำตาลรีดิคซ์ และปริมาณ ความชื้นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.075, 0.91 และ 0.90 ตามลำดับ นอกจากนี้มีความคลาดเคลื่อนจากการทำ calibration (SEC) เท่ากับ 0.22, 0.09 และ 0.43 ตามลำดับ อีกทั้ง สมการที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (SEP) เท่ากับ 0.30, 0.14 และ 0.51 ตามลำดับ

ศิรินงา และคณะ (2545) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของ NIRS ในการประเมิน คุณภาพของผลมะม่วงสดโดยไม่ทำลายผล โดยเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการซึ่งสร้างจากค่า การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสั้น ตั้งแต่ 700 -1100 นาโนเมตร และในช่วงความยาวคลื่น ยาว ตั้งแต่ 1100-2500 นาโนเมตร รวมทั้งเปรียบเทียบความสามารถของเครื่องมือวัดค่าการดูดกลืน แสง NIR ชนิดพกพา (FT-20) กับชนิดที่ใช้ในงานวิจัย (NIRS 6500) พบว่า แสง NIRS ในช่วงความ ยาวคลื่นสั้น จะเป็นช่วงคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการประเมินคุณภาพของผลมะม่วงสดแบบไม่ ทำลาย และสมการที่สร้างจากค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดโดยเครื่องมือชนิดพกพามีความแม่นยำ เท่าเทียมกับสมการทำนายที่สร้างจากค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัด โดยเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง สำหรับใช้ในระดับงานวิจัย

อนุพันธ์และคณะ (2545) ได้ศึกษาถึงการประเมินค่า Brix ในน้ำส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง พันธุ์ กล้วยน้ำตาล และพันธุ์พริมมอนด์ โดยใช้เทคนิค Near Infrared Reflectance Spectroscopy ในช่วง ความยาวคลื่นตั้งแต่ 1100-2500 นาโนเมตร และวิเคราะห์หาสมการ Calibration ของค่า Brix ด้วย วิธี MLR จากการศึกษาพบว่า เมื่อนำสมการ Calibration ที่สร้างจากส้ม 3 พันธุ์ มาประเมินค่า Brix ของส้มแต่ละพันธุ์ จะประเมินค่าได้แม่นยำขึ้นเฉพาะพันธุ์พริมมอนด์เท่านั้น (SEP คือ 0.329) ส่วน พันธุ์สายน้ำผึ้ง และพันธุ์กล้วยน้ำตาล สมการ Calibration รวมพันธุ์ ประเมินค่าได้แม่นยำน้อยกว่า สมการ Calibration ของแต่ละพันธุ์

วรรณกนก (2546) ได้นำเทคนิค NIRS ไปใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของส้มเขียวหวาน พันธุ์สายน้ำผึ้ง โดยใช้ความยาวคลื่นระหว่าง 700 -1100 นาโนเมตร เพื่อประเมินค่าทางเคมีได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (TSS) และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA) จากการเปรียบเทียบ สมการ calibration จากวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ 3 วิธีคือ Modify Partial Least Component Regression (MPLSR), PCR และ MLR ผลที่ได้พบว่าสมการ calibration MPLS และ MLR สามารถทำนายค่า ทางเคมีได้แม่นยำใกล้เคียงกัน ค่าทำนาย TSS ของผลส้มที่มีเปลือก มีค่า R เท่ากับ 0.944 และ 0.955 ค่า SEP เท่ากับ 0.494 และ 0.574 ค่า Bias เท่ากับ 0.094 และ 0.122 ส่วนของผลส้มที่เปลือก

ได้แก่ค่า R เท่ากับ 0.981 และ 0.976 ค่า SEP เท่ากับ 0.254 และ 0.274 ค่า Bias เท่ากับ 0.056 และ 0.049 ตามลำดับ สำหรับค่าทำนาย TA ได้ผลไม่ค่อยแม่นยำนัก โดยค่า TA ของผลส้มที่มีเปลือกได้ ค่า R เท่ากับ 0.636 และ 0.600 ค่า SEP เท่ากับ 0.069 และ 0.073 ค่า Bias เท่ากับ 0.002 และ -0.005 ตามลำดับ ส่วนของผลส้มที่ปอกเปลือกมีค่า R เท่ากับ 0.561 และ 0.771 ค่า SEP เท่ากับ 0.070 และ 0.057 ค่า Bias เท่ากับ 0.005 และ 0.002 ตามลำดับ

วลัยพร (2548) ได้ทำการศึกษาการทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ และปริมาณกรดทั้งหมดของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เพชรสามพราน และทุลเกล้าด้วยเทคนิค NIRS โดยใช้ช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร แล้วหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ และปริมาณกรด วิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิธี MLR และ PLS ผลการทดลองพบว่าเทคนิค NIR สามารถทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ในชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ ทุลเกล้า และเพชรสามพราน ได้แม่นยำมาก ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวิซ์ และปริมาณกรด ทำนายค่าได้ไม่แม่นยำ

รณฤทธิ์ และคณะ (2551) ได้ทำการประเมินคุณภาพของฝรั่งแบบไม่ทำลายเพื่อการค้าเชิงพาณิชย์ ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ โดยผลฝรั่งถูกวัดสเปกตรัมด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบพกพา ผลการสร้างระบบพบว่า สามารถทำนายปริมาณความหวานได้อย่างแม่นยำ ด้วยค่า R เท่ากับ 0.94 ค่า SEP เท่ากับ 0.54 เปอร์เซนต์ ค่า bias เท่ากับ -0.08 เปอร์เซนต์ สำหรับการทำนายปริมาณวิตามินซีสามารถนำไปใช้ในการคัดแยกกลุ่มของผลฝรั่งในเบื้องต้นได้ ด้วยค่า R เท่ากับ 0.74 ค่า SEP เท่ากับ 0.20 เปอร์เซนต์ และ bias เท่ากับ 0.03 เปอร์เซนต์

Slaughter *et al.* (1996) ได้ทำการประเมินค่า soluble solids ในมะเขือเทศโดยใช้เทคนิค NIRS ที่ความยาวคลื่น 400-1100 นาโนเมตร ผลที่ได้พบว่าค่า R และ SEC มีค่าเท่ากับ 0.92 และ 0.27 Brix ตามลำดับ

Yang and Irudayaraj (2002) ได้ทำการศึกษาการประเมินหาวิตามินซี โดยใช้เทคนิค NIRS (ที่ความยาวคลื่น 400-1700 นาโนเมตร), FT-NIR, FTIR-ATR, DRIFTS, FTIR-PAS และ FT-Raman จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS เพื่อหาปริมาณวิตามินซีในรูปผงและสารละลาย ผลที่ได้คือ ค่า R ของ FTIR-ATR มีค่าเท่ากับ 0.999, DRIFTS มีค่าเท่ากับ 0.976, FTIR-PAS มีค่าเท่ากับ 0.966, NIRS มีค่าเท่ากับ 0.988, FT-NIR มีค่าเท่ากับ 0.992 และ FT-Raman มีค่าเท่ากับ 0.95 ค่า prediction error มีค่าร้อยละ 0.2-3.0

Suparlan and ITOH (2004) ได้นำเทคนิค Vis-NIR มาใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของมะเขือเทศสำหรับการทำสมการ Calibration เพื่อตรวจสอบสี และ soluble solids (SSC) ของมะเขือเทศ จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วย PLS โดยในการทำ Calibration นั้นได้ใช้ความยาวคลื่นสำหรับวัดสีในช่วง 600-730 นาโนเมตร และสำหรับวัด SSC อยู่ในช่วง 700-1098 นาโนเมตร ผลที่ได้พบว่า R, SEP และ bias ของสีมีค่าเท่ากับ 0.92, 0.19 และ 0.09 ตามลำดับ ของ SSC มีค่าเท่ากับ 0.91, 0.49 °Brix และ -0.04 °Brix ตามลำดับ จากการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าเทคนิค Vis-NIR เหมาะสมที่จะใช้วิเคราะห์สี SSC ของมะเขือเทศ

สำหรับ carotenoids ซึ่งเป็นองค์ประกอบเคมีที่สำคัญของมะเขือเทศ มีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ในข้าวโพดและมะเขือเทศ เช่น

Berardo *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของ carotenoids ในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แต่ละสายพันธุ์โดยใช้เทคนิค NIRS โดยวัดในช่วงความยาวคลื่น 400-2498 นาโนเมตร ผลที่ได้พบว่า ค่า R ของ lutein มีค่า 0.82 และของ zeaxanthin มีค่า 0.94

Brenna and Berardo (2004) ได้นำเทคนิค near infrared reflectance spectroscopy มาใช้ในการประเมินค่าความเข้มข้นของ carotenoids ในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และทำการวัดในช่วงความยาวคลื่น 400-2500 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับเทคนิค HPLC ในการประเมินค่าการทํานายโดยใช้ MPLS และสามารถสรุปได้ว่า สามารถนำเทคนิค NIRS ไปใช้ในการประเมินค่า carotenoids ได้

Pedro and Ferreira (2005) ได้ใช้เทคนิค NIRS ในการประเมินค่า solid (total solids และ soluble solid) และ Carotenoids (lycopene และ  $\beta$ -carotene) ในมะเขือเทศ ที่ช่วงคลื่นระหว่าง 4000-10000  $\text{cm}^{-1}$  หลังจากนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่า RMSEP และค่า R ของ total solid เท่ากับ 0.4157, 0.9998 ตามลำดับ, soluble solids 0.6333, 0.9996, lycopene 21.5779, 0.9996 และ  $\beta$ -carotene 0.7296, 0.9981

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. ตัวอย่างมะเขือเทศ

เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศที่ใช้ในการศึกษาคือ มะเขือเทศพันธุ์ลูกผสม F1 Hybrid Tomato (Mission 102) จากบริษัทเจียไต๋ จำกัด

#### 2. อุปกรณ์ในการเพาะกล้า

2.1 กระบะเพาะกล้า

2.2 ถูงพลาสติกขนาด 4 x 6 นิ้ว

2.2 วัสดุปลูกประกอบด้วย ดิน, แกลบดำ และปุ๋ยคอก ในอัตราส่วน 3:9:1 (สูตรผสมจากงานเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืช ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน)

#### 3. อุปกรณ์ในการปลูก

3.1 แผ่นพลาสติกสีดำขนาดกว้าง 2 เมตร

3.2 ไม้ไผ่ปักค้ำ

3.3 เชือกฟาง

3.4 แกลบดิบ

3.5 เชื้อไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma* spp.)

3.6 ปุ๋ยอินทรีย์

3.7 ปุ๋ยยูเรีย

3.8 ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16

3.9 ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21

3.10 ธาตุอาหารเสริมชนิดน้ำ (Q-plus บริษัทคิวยิลด์ แอสโซซิเอท จำกัด)

3.11 สารกำจัดแมลงศัตรูพืชดังตารางที่ 7

## ตารางที่ 7 รายชื่อสารกำจัดแมลงศัตรูพืชที่ใช้กับมะเขือเทศ

แปลงเคมี		แปลงอินทรีย์	
สารเคมี (ชื่อสามัญ)	ผู้ผลิต	สารสกัด	ผู้ผลิต
Mancozeb	บริษัทเจียไต๋ จำกัด	น้ำส้มควันไม้	ชมรมเกษตรธรรมชาติ โรงเรียนชุมชนเลิศ พินิจวิทยาكم จ.ปทุมธานี
Imidacloprid	บริษัทคิวยิลด์ แอสโซซิเอท จำกัด	สารสมุนไพรกำจัด หนอน แมลงและ เชื้อรา	ชมรมเกษตรธรรมชาติ โรงเรียนชุมชนเลิศ พินิจวิทยาكم จ.ปทุมธานี
Cypermethrin	บริษัท เคมีพลัสกรุ๊ป 2001 (ประเทศไทย) จำกัด	น้ำหมักชีวภาพ	งานเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืช ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกทดลอง สถาบันวิจัย และพัฒนากำแพงแสน

### 4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของมะเขือเทศ

- 4.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- 4.2 เครื่อง NIR Spectrometer (Bran+LUBBE รุ่น InfraAlyzer 500), Germany
- 4.3 เครื่อง NIR Spectrometer (Fantec รุ่น FQA-NIR GUN), Japan

### 5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS)

- 5.1 เครื่อง Digital Refractometer รุ่น PR 32, ATAGO, Japan
- 5.2 น้ำกลั่น
- 5.3 ฝ้ายกรอง
- 5.4 หลอดหยด

## 6. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

- 6.1 เครื่องไตเตรทอัตโนมัติ (Auto titrator) รุ่น T50 (METTLER TOLEDO), Switzerland
- 6.2 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 6.3 Auto pipette พร้อม Tip
- 6.4 สารละลายวิตามินซีมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ เตรียมจาก L-Ascorbic acid (Fisher Scientific, UK)
- 6.5 สารละลาย 2,6-Dichlorophenolindophenol ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์ เตรียมจาก 2,6-Dichlorophenolindophenol sodium salt hydrate (Fluka, Germany)
- 6.6 สารละลายกรดออกซาลิก ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ที่ pH 3 เตรียมจาก Standard Oxalic Acid (Univar, Australia)
- 6.7 น้ำกลั่น

## 7. อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนและปริมาณเบต้าแคโรทีน

- 7.1 เครื่อง Homogenizer รุ่น T10 Basic, IKA, Japan
- 7.2 เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น UV-1700, SHIMADZU, Japan
- 7.3 สารตัวทำละลาย Hexanes (LAB-SCAN, Thailand)
- 7.4 สารตัวทำละลาย Acetone (Analar, UK)

## 8. โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

- 8.1 โปรแกรม The Unscrambler ® 9.8 (Camo AS, Norway)
- 8.2 โปรแกรม SPSS version 11
- 8.3 โปรแกรม Microsoft Office Excel 2007

## วิธีการ

### 1. การเพาะกล้ามะเขือเทศ

ทำการเพาะกล้ามะเขือเทศในกระบะเพาะ โดยใช้วัสดุปลูก คือ ดิน, แกลบดำ และปุ๋ยคอก ในอัตราส่วน 3:9:1 (สูตรผสมจากงานเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืช ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน) รดน้ำให้ชุ่ม แล้วฉีดพ่น ไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma* spp.) ให้ทั่ว ก่อนโรยเมล็ดพันธุ์ให้ทั่วและสม่ำเสมอ ดังภาพที่ 15 (a) จากนั้นปิดทับบาง ๆ ด้วยวัสดุปลูกอีกชั้น ปิดฝากล่อง นำไปเก็บในโรงเรือนเพาะ หลังจาก 5 วัน ต้นกล้าจะเริ่มงอก ดังภาพที่ 15 (b) เลือกต้นกล้าที่แข็งแรงและมีความสม่ำเสมอมาทำการย้ายปลูกลงในถุงพลาสติกขนาด 4 x 6 นิ้ว ซึ่งมีวัสดุปลูกผสมอยู่ตามอัตราส่วนข้างต้น ดังภาพที่ 15 (c) เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 30 วัน จึงทำการย้ายต้นกล้าลงแปลงปลูก ดังภาพที่ 15 (d)



(a)



(b)

ภาพที่ 15 ขั้นตอนการเพาะกล้ามะเขือเทศ (a) การเพาะต้นกล้ามะเขือเทศในกระบะเพาะ  
(b) ต้นกล้าที่เริ่มงอกในกระบะเพาะ



(c)



(d)

ภาพที่ 15 (ต่อ) ขั้นตอนการเพาะต้นกล้ามะเขือเทศ (c) การย้ายต้นกล้าลงถุงพลาสติก (d) ต้นกล้าอายุ 30 วัน

## 2. การปลูก

พื้นที่สำหรับการปลูกมะเขือเทศมะเขือเทศนั้น ได้รับความอนุเคราะห์จากฝ่ายปฏิบัติการวิจัย และเรือนปลูกทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนากำแพงแสน โดยใช้พื้นที่ 2 แปลง ประกอบด้วย แปลงอินทรีย์ ซึ่งเป็นแปลงที่อยู่ในระหว่างการปรับเปลี่ยนเป็นเกษตรอินทรีย์ และแปลงเคมี จากนั้นทำการไถพรวนดินและปรับสภาพหน้าดินให้มีความสม่ำเสมอ แล้วกร่อง สูงประมาณ 30 เซนติเมตร กว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 20 เมตร โดยปลูกเป็นแถวคู่ระยะระหว่างแถว 50 เซนติเมตร ระหว่างต้น 80 เซนติเมตร ดังภาพที่ 16 (a) สำหรับแปลงที่ปลูกในระบบอินทรีย์มีการ โรยเกลบคิบในอัตรา 1 กระสอบต่อร่อง แล้วคลุมร่องด้วยแผ่นพลาสติกสีดำ สำหรับแปลงเคมีทำการรอกันหลุมด้วยปุ๋ยยูเรียในอัตรา 20 กรัมต่อหลุม และปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงอินทรีย์ อัตรา 250 กรัมต่อหลุม แล้วจึงย้ายต้นกล้าลงปลูก ดังภาพที่ 16 (b) โดยเลือกต้นกล้าที่สมบูรณ์ แข็งแรง และสม่ำเสมอทั้งสองแปลง จากนั้นรดน้ำให้ชุ่ม



(a)



(b)

**ภาพที่ 16** ขั้นตอนการปลูกมะเขือเทศลงในแปลง (a) ร่องปลูกมะเขือเทศ (b) การย้ายต้นกล้าลงปลูก

### 3. การให้น้ำ

ในช่วงที่เพิ่งย้ายต้นกล้าลงแปลงให้น้ำทุกวัน วันละครั้ง จนเมื่อต้นมะเขือเทศเริ่มติดผลให้น้ำ 3 วันต่อครั้ง

### 4. การให้ปุ๋ย

การให้ปุ๋ยสำหรับแปลงที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ ให้ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 250 กรัมต่อต้น ระยะทุก ๆ 14 วัน สำหรับการให้ปุ๋ยในแปลงเคมี ในช่วงเดือนแรกให้ปุ๋ยยูเรีย อัตรา 20 กรัมต่อต้น ระยะทุก ๆ 14 วัน หลังจากนั้นให้ปุ๋ยเคมี สูตรเสมอ 16-16-16 อัตรา 20 กรัมต่อต้น ระยะทุก ๆ 14 วัน จนเมื่อต้นมะเขือเทศติดผลให้ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 ในอัตรา 20 กรัมต่อต้น ระยะทุก ๆ 14 วัน ทั้งนี้มีการฉีดพ่นธาตุอาหารเสริม (Q-plus บริษัทคิววิลด์ แอสโซซิเอท จำกัด) ในแปลงเคมี ในอัตรา 30 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ระยะทุก ๆ 7 วัน

### 5. การฉีดพ่นสารป้องกันโรคและกำจัดแมลงศัตรูพืช

แปลงในระบบเกษตรอินทรีย์ ฉีดพ่นด้วยสารสกัดจากธรรมชาติและน้ำหมักชีวภาพ ส่วนแปลงในระบบเกษตรเคมี ฉีดพ่นด้วยสารเคมีเพื่อป้องกันโรค และกำจัดแมลงศัตรูพืช ดังตารางที่ 8 โดยฉีดพ่นทุก ๆ 7 วัน

**ตารางที่ 8 ปริมาณสารเคมีและสารสกัดจากธรรมชาติที่ใช้ในการป้องกัน โรคและกำจัดแมลงศัตรูพืชของมะเขือเทศ**

แปลงเคมี		แปลงอินทรีย์	
สารเคมี (ชื่อสามัญ)	ปริมาณต่อไร่ 20 ลิตร	สารสกัด	ปริมาณต่อไร่ 20 ลิตร
Mancozeb	80 กรัม	น้ำส้มควันไม้	100 มิลลิลิตร
Imidacloprid	20 มิลลิลิตร	สารสมุนไพรกำจัด หนอน แมลงและเชื้อรา	80 มิลลิลิตร
Cypermethrin	20 มิลลิลิตร	น้ำหมักชีวภาพ	30 มิลลิลิตร

## 6. การผูกดอก

เมื่อนำต้นกล้ามะเขือเทศลงแปลง แล้ว ประมาณ 45 วัน มะเขือเทศเริ่มออกดอก จากนั้นจึงทำการผูกดอกมะเขือเทศทั้ง 2 แปลง โดยใช้เส้นไหมสีต่าง ๆ เพื่อควบคุมการเก็บเกี่ยวมะเขือเทศให้มีระยะเวลาสุกที่ใกล้เคียงกันทั้ง 2 แปลง

## 7. การเก็บเกี่ยว

ผลมะเขือเทศเมื่อมีอายุประมาณ 90 วันนับจากลงแปลง หรือประมาณ 50 วันหลังดอกบาน ผลมะเขือเทศเริ่มสุก เก็บมะเขือเทศโดยสังเกตจากสีของผลที่มีลักษณะสีส้มแดง และสังเกตจากเส้นไหมที่ผูกดอกไว้เมื่อตอนดอกบานร่วมด้วย เพื่อเก็บมะเขือเทศในระยะเวลาสุกที่ใกล้เคียงกันทั้ง 2 แปลง หลังจากนั้นทำการคัดแยกเบื้องต้น โดยเลือกผลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน และคัดแยกผลที่มีตำหนิและผลที่มีร่องรอยการถูกทำลายจากแมลงศัตรูพืช จากนั้นบรรจุผลมะเขือเทศลงในถุงพลาสติก แล้วนำไปเก็บในกล่องโฟมที่มีน้ำแข็งเพื่อขนย้ายตัวอย่างมะเขือเทศ ไปเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ยังหน่วยตรวจสอบคุณภาพสินค้าโดยวิธีไม่ทำลาย สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ซึ่งเป็นสถานที่ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด

## 8. การวัดสเปกตรัมของมะเขือเทศ

นำตัวอย่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี มาควบคุมอุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิมิผลต่อสเปกตรัมของตัวอย่างที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก โดยเฉพาะมะเขือเทศมีน้ำอยู่ถึง 84 เปอร์เซ็นต์ (จรรยาพร, 2546) โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โมเลกุลของน้ำมีการสั่นมากขึ้นและทำให้เกิดการดูดกลืนเกิดขึ้นสูงตามไปด้วย (อนุพันธ์, 2548) ดังนั้นตัวอย่างมะเขือเทศที่นำมาวัดสเปกตรัมในงานวิจัยนี้มีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 28 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ซึ่งมีการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการพาความร้อน โดยวางใน water bath ที่มีพลาสติกคลุมเพื่อป้องกันตัวอย่างสัมผัสกับน้ำ ดังภาพที่ 17 สำหรับอุณหภูมิห้องมีการควบคุมไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้ววัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR Spectrometer 2 ชนิด ชนิดแรกคือ BRAN+LUEBBE รุ่น InfraAlyzer 500 ดังภาพที่ 18 เป็นระบบการวัดแบบสะท้อนกลับของแสง (Reflectance) ในช่วงความยาวคลื่นยาวประมาณ 1100 – 2500 นาโนเมตร จะมีความสามารถทะลุได้ลึกประมาณ 2-5 มิลลิเมตร ซึ่งในย่านนี้องค์ประกอบทางเคมีจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานย่าน NIR สูง (รณฤทธิ์, 2552) โดยวางตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการควบคุมอุณหภูมิแล้วลงในชุด Fruit Drawer ดังภาพที่ 19 ซึ่งทำการวัดสเปกตรัมของผลมะเขือเทศที่ตำแหน่งตรงกลางผลเพียงด้านเดียวในแต่ละผล โดยตำแหน่งที่ทำการวัดสเปกตรัมจะต้องเป็นตำแหน่งที่สัมผัสกับแผ่นพลาสติกในระหว่างการควบคุมอุณหภูมิเสมอ และจะต้องเป็นตำแหน่งเดียวกันทั้งช่วงความยาวคลื่นสั้นและคลื่นยาว สำหรับในช่วงความยาวคลื่นยาวนั้นทำการวัดสเปกตรัมตำแหน่งละ 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 17 การควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างก่อนวัดสเปกตรัมโดยใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ



ภาพที่ 18 เครื่อง NIR Spectrometer (BRAN+LUEBBE รุ่น InfraAlyzer 500)



ภาพที่ 19 Fruit Drawer สำหรับใส่ตัวอย่างมะเขือเทศของเครื่อง InfraAlyzer 500

ชนิดที่ 2 คือ FQA-NIR GUN ดังภาพที่ 20 ระบบการวัดแบบ Interactance ที่ช่วงความยาวคลื่นสั้นประมาณ 700 – 1100 นาโนเมตร มีความสามารถส่องทะลุได้ลึกประมาณ 5-10 มิลลิเมตร ซึ่งความยาวคลื่นนี้เหมาะที่จะใช้กับตัวอย่างที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำมาก เนื่องจากในความยาวคลื่นช่วงนี้องค์ประกอบทางเคมีจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานย่าน NIR ต่ำ นอกจากนี้เครื่อง NIR Spectrometer แบบนี้มีความสามารถในการวัดสเปกตรัมได้รวดเร็ว มีขนาดกะทัดรัด สามารถใช้ได้ในงานสนามหรือในงานสวนได้ (รณฤทธิ์, 2552) สำหรับตัวอย่างผลมะเขือเทศที่ทำการวัดสเปกตรัมด้วยเครื่อง NIR Spectrometer ชนิดที่ 2 นี้ จะเป็นตำแหน่งเดียวกันกับการวัดด้วยเครื่อง NIR Spectrometer ชนิดแรก ซึ่งทำการวัดตำแหน่งละ 3 ซ้ำแล้วทำการหาค่าสเปกตรัมเฉลี่ย ในขณะที่วัดสเปกตรัมจะใช้ผ้าดำคลุมผลมะเขือเทศและบริเวณหัววัดของเครื่อง NIR spectrometer เพื่อป้องกันอิทธิพลของแสงภายนอกที่อาจมีผลกระทบต่อสเปกตรัมที่เก็บได้



ภาพที่ 20 เครื่อง NIR Spectrometer แบบพกพา (FQA-NIR GUN)

### 3. วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids, TSS)

สำหรับบริเวณที่นำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีนั้น จะต้องเป็นบริเวณเดียวกับตำแหน่งที่ผ่านการวัดสเปกตรัมจากทั้ง 2 ระบบการวัด จากภาพที่ 21 แสดงบริเวณของผลมะเขือเทศที่นำมาวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี โดยทำการตัดแบ่งครึ่งผลตามแนวยาวของผล นำเฉพาะส่วนบริเวณกลางผลมาปั่นให้ละเอียด แล้วนำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีตามขั้นตอนของแต่ละวิธี



ภาพที่ 21 บริเวณตำแหน่งของผลมะเขือเทศที่นำมาวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี

การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่อง Digital refractometer (รุ่น PR 32, ATAGO) ดังภาพที่ 22 ก่อนวัดใช้น้ำกลั่นปรับเทียบให้เป็นศูนย์ จากนั้นนำน้ำของมะเขือเทศที่ได้จากการคั้นเฉพาะบริเวณที่ทำการวัดสเปกตรัมแล้วเท่านั้น หยคน้ำคั้นประมาณ 2-3 หยด อ่านค่าที่ได้ให้เป็นเปอร์เซ็นต์ Brix



ภาพที่ 22 การวัดปริมาณ TSS ด้วยเครื่อง Digital refractometer (รุ่น PR 32, ATAGO)

#### 4. การวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี เริ่มด้วยการชั่งตัวอย่างมะเขือเทศที่บดแล้วมา 5 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลาย 2,6-Dichloroindophenol ด้วยเครื่องไทเทรตอัตโนมัติ (Auto titrator) รุ่น T50, METTLER TOLEDO ดังภาพที่ 23 โดยเครื่องจะแสดงปริมาณวิตามินซีที่ได้เป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยก่อนที่ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างมะเขือเทศนั้นจะต้องทำการปรับมาตรฐานเครื่องด้วยสารละลายวิตามินซีมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ก่อนเสมอ



ภาพที่ 23 เครื่องไตเตรทอัตโนมัติ (Auto titrater) รุ่น T50, METTLER TOLEDO

#### 5. การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ เริ่มด้วยการชั่งตัวอย่างมะเขือเทศที่บดแล้ว 1 กรัม เติมหักทำละลายผสมระหว่าง Acetone : Hexane อัตราส่วน 4:6 (V/V) แล้วนำไป Homogenize ด้วยเครื่อง Homogenizer รุ่น T10 Basic, IKA ภาพที่ 24 (a) ที่ความเร็วระดับ 5 นาน 30 วินาที นำสารละลายที่ได้ดังภาพที่ 24 (b) ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น UV-1700, SHIMADZU ภาพที่ 24 (c) ที่ความยาวคลื่น 663, 645, 505 และ 453 นาโนเมตร เพื่อหาปริมาณแคโรทีนอยด์ในรูปของ lycopene และ Beta-carotene ตามวิธี Kimura method (Nakata and Yamashita, 1992) โดยปริมาณที่ได้เป็นมิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ดังสมการ

$$\text{lycopene}(\text{mg} / 100 \text{g}) = -0.0458A_{663} + 0.204A_{645} + 0.372A_{505} - 0.0806A_{453}$$

$$\text{Beta - Carotene}(\text{mg} / 100 \text{g}) = 0.216A_{663} - 1.22A_{645} - 0.304A_{505} + 0.452A_{453}$$

เมื่อ  $A_{663}$ ,  $A_{645}$ ,  $A_{505}$  และ  $A_{453}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663, 645, 505 และ 453 นาโนเมตรตามลำดับ



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 24 การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ (a) การ Homogenize ตัวอย่างมะเขือเทศด้วย เครื่อง Homogenizer รุ่น T10 Basic, IKA (b) สารละลายที่ได้หลังจากการ Homogenize แล้ว (c) เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น UV-1700, SHIMADZU

## 6. การวิเคราะห์ข้อมูล

### 6.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis)

นำข้อมูลสเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมีที่ผ่านวัดสเปกตรัมทั้ง 2 ช่วงความยาวคลื่น มาทำการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อจำแนกกลุ่ม โดยทำการแบ่งข้อมูลสเปกตรัมเป็น 2 กลุ่ม ในทั้ง 2 ช่วงความยาวคลื่น สัดส่วน 4:1 โดย 4 ส่วนคือข้อมูลสเปกตรัมที่นำมาสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (Calibration) และ 1 ส่วนคือข้อมูลสเปกตรัมที่นำมาทดสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐาน (Validation) ด้วยวิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler® 9.8 (Camo As, Norway) มาใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยกำหนดค่าตัวแปรหุ่น เป็นค่า 0 และ 1 สำหรับมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์มีค่า Binary Code เท่ากับ 0 และมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมีมีค่า Binary Code เท่ากับ 1 จากนั้นนำโมเดลที่ได้มาทำนายโดยกำหนดให้มะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์จะต้องมีค่าทำนายน้อยกว่า 0.5 และมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมี จะต้องมีการทำนายมากกว่า 0.5 ซึ่งจะรายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการทำนายกลุ่มมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี

### 6.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis)

สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้นเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนพลังงานย่าน NIR (สเปกตรัม) และค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างมะเขือเทศ ด้วยวิธี Partial Least Squares Regression (PLS) โดยใช้โปรแกรม The Unscrambler® 9.8 (Camo As, Norway) เริ่มจากนำข้อมูลสเปกตรัมของตัวอย่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมี ทั้ง 2 ระบบมารวมกัน เพื่อสร้างสมการสมการเทียบมาตรฐานทำนายองค์ประกอบทางเคมีที่สนใจคือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณวิตามินซี ปริมาณไลโคปีน และปริมาณเบต้าแคโรทีน จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมมาแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม ในสัดส่วน 4:1 โดยที่ 4 ส่วนคือ ข้อมูลสเปกตรัมที่นำมาสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (Calibration) และ 1 ส่วนคือข้อมูลสเปกตรัมที่นำมาทดสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐาน (Validation)

หลังจากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีทั้ง 4 องค์ประกอบแล้ว ให้บันทึกค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, R) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มสร้างสมการ calibration (Standard Error of Calibration, SEC) ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายกลุ่มของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการ (Standard error of prediction, SEP) และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการทำนาย (Bias)

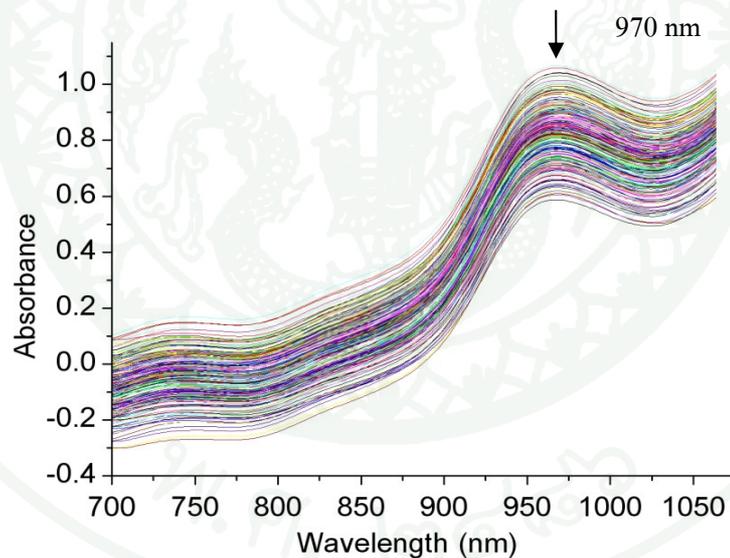
สำหรับการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณนั้น ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์จะต้องทำการตัด Outlier ที่อาจมาจากการวัดสเปกตรัมหรือการวิเคราะห์ทางเคมีผิดพลาด และปรับแต่งสเปกตรัมเพื่อลดอิทธิพลรบกวนต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ เช่น Noise, baseline shift และแยกแถบสเปกตรัมที่ซ้อนทับออกจากกัน โดยวิธีปรับแต่งสเปกตรัมที่ใช้ได้แก่วิธี Smoothing (Savitzky Golay ที่ Number of smoothing point เท่ากับ 11, และ polynomial order เท่ากับ 2), วิธี Standard Normal Variate Transformation (SNV), วิธี Multiplicative Scatter Correction (MSC) แบบ Full MSC ( $X=(X-a)/b$ ), วิธีอนุพันธ์อันดับ 1 (First derivative) แบบ Savitzky Golay ที่ Number of smoothing point เท่ากับ 21 polynomial order เท่ากับ 2, วิธีอนุพันธ์อันดับ 2 (Second derivative) แบบ Savitzky Golay ที่ Number of smoothing point เท่ากับ 21 polynomial order เท่ากับ 2 และวิธี MSC ร่วมกับ อนุพันธ์อันดับ 2

## ผลและวิจารณ์

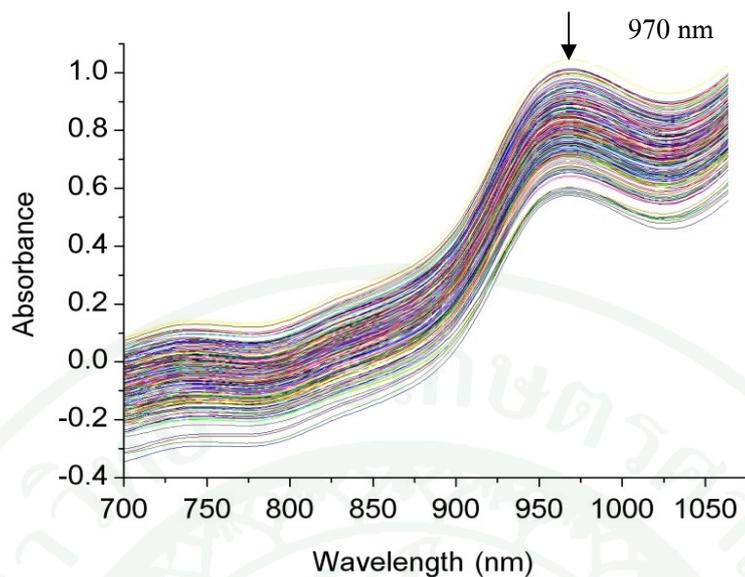
### ผล

#### 1. สเปกตรัมของมะเขือเทศ

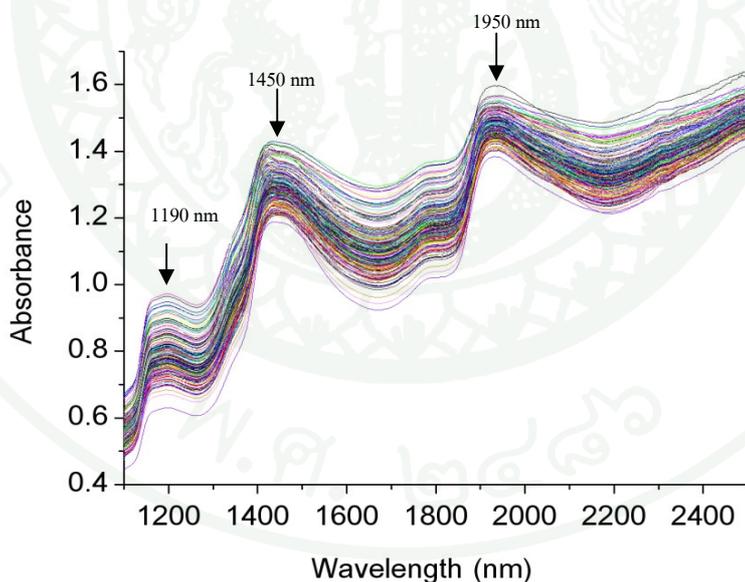
ตัวอย่างมะเขือเทศที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมทั้งหมดมีจำนวน 612 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็น มะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ 236 ตัวอย่าง ระบบเกษตรเคมีจำนวน 376 ตัวอย่าง โดย ภาพที่ 25 และภาพที่ 26 แสดงสเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบ เกษตรเคมีที่ได้จากการวัดในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) ตามลำดับ ภาพที่ 27 และภาพที่ 28 แสดงสเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมีที่ ทำได้จากการวัดในช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) ตามลำดับ



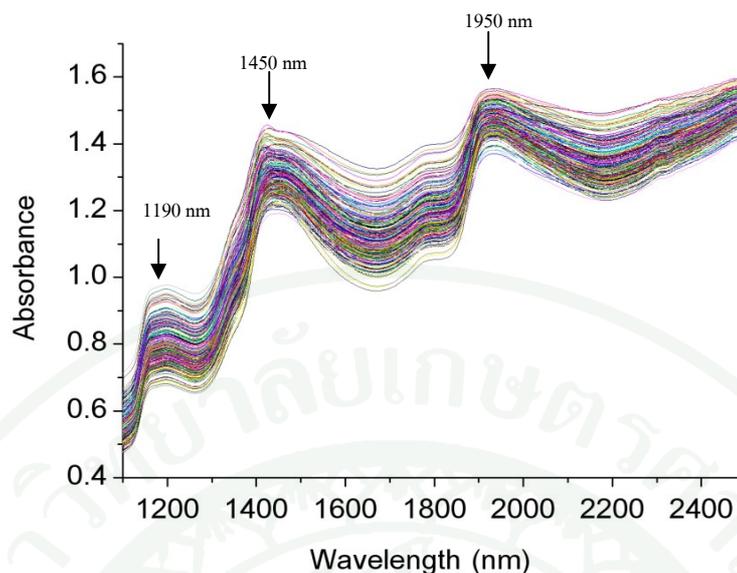
ภาพที่ 25 สเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ ที่วัดสเปกตรัมด้วย NIR spectrometer (FQA-NIR GUN) ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้น (700 – 1100 นาโนเมตร)



ภาพที่ 26 สเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมี ที่วัดสเปกตรัมด้วย NIR spectrometer (FQA-NIR GUN) ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้น (700 – 1100 นาโนเมตร)



ภาพที่ 27 สเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ ที่วัดสเปกตรัมด้วย NIR Spectrometer (BRAN+LUEBBE รุ่น InfraAlyzer 500) ที่ความยาวคลื่นช่วงยาว (1100 – 2500 นาโนเมตร)



ภาพที่ 28 สเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมี ที่วัดสเปกตรัมด้วย NIR Spectrometer (BRAN+LUEBBE รุ่น InfraAlyzer 500) ที่ความยาวคลื่นช่วงยาว (1100 – 2500 นาโนเมตร)

สเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี ที่ผ่านการวัดในแต่ละช่วงความยาวคลื่น พบว่ามีลักษณะสเปกตรัมคล้ายกัน โดยสังเกตเห็นพีคที่ได้มีลักษณะเป็นพีคที่มีฐานกว้าง (Broad band) ในช่วงคลื่นสั้น และเกิดการเลื่อนตัวของเส้นสเปกตรัมตามแนวแกน Y (Baseline Shift) ทั้ง 2 ช่วงความยาวคลื่น นอกจากนี้สังเกตเห็นพีคที่เด่นชัด โดยภาพที่ 25 และ 26 ซึ่งเป็นสเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และเคมี พบพีคที่ความยาวคลื่น 970 นาโนเมตร สำหรับภาพที่ 27 และ 28 พบพีคที่ความยาวคลื่น 1190, 1450 และ 1950 นาโนเมตร โดยพีคที่พบดังกล่าวนี้เป็นพีคที่เกิดจากการดูดกลืนของน้ำ (Osborn *et al.*, 1993) ซึ่งสังเกตพบพีคดังกล่าวได้ทั่วไปในตัวอย่างที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก โดยเฉพาะมะเขือเทศมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 84 เปอร์เซ็นต์ (จรรยาพร, 2546) จึงส่งผลให้เห็นพีคของน้ำได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้สเปกตรัมทั้ง 2 ช่วงความยาวคลื่นมีลักษณะลาดเอียงขึ้นไปทางความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นก่อนทำการสร้างสมการทำนายจึงต้องใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อช่วยในการปรับแต่งเส้นสเปกตรัม ลดอิทธิพลข้างต้นและแยกพีคอื่น ๆ ที่อาจจะถูกบดบังจากพีคหลักดังกล่าวให้ชัดเจนขึ้นได้

## 2. ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี

หลังจากทำการวัดสเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมีแล้ว นำผลมะเขือเทศมาวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ปริมาณวิตามินซี, ปริมาณไลโคปีน และปริมาณเบต้าแคโรทีน ตามวิธีวิเคราะห์ต่าง ๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 9

พบว่าจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด จำนวน 507 ตัวอย่าง ประกอบด้วยตัวอย่างที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์จำนวน 194 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 2.80 – 5.00 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมีจำนวน 313 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 2.90 – 5.90 เปอร์เซ็นต์

จำนวนตัวอย่างมะเขือเทศที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีทั้งหมด 282 ตัวอย่าง ประกอบด้วยตัวอย่างที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์จำนวน 123 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 3.51 – 29.13 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และตัวอย่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมีจำนวน 159 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ในช่วง 1.35 – 25.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

สำหรับตัวอย่างมะเขือเทศที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมดเท่ากัน คือ 202 ตัวอย่าง ประกอบด้วยตัวอย่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์จำนวน 33 ตัวอย่าง มีค่าปริมาณไลโคปีนอยู่ในช่วง 0.23 - 0.66 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และปริมาณเบต้าแคโรทีนอยู่ในช่วง 0.08 - 0.16 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมีจำนวน 169 ตัวอย่างมีค่าปริมาณไลโคปีนอยู่ในช่วง 0.18 - 0.89 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และปริมาณเบต้าแคโรทีนอยู่ในช่วง 0.05 - 0.19 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ตารางที่ 9 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีแต่ละชนิดของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี

องค์ประกอบทางเคมี		ระบบการปลูก	
		อินทรีย์	เคมี
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (%)	Min	2.80	2.90
	Max	5.00	5.90
	Mean	3.70*	4.10*
	Standard deviation	0.40	0.57
	n	194	313
ปริมาณวิตามินซี (mg/100g)	Min	3.51	1.35
	Max	29.13	25.00
	Mean	15.98*	11.06*
	Standard deviation	5.02	4.67
	n	123	159
ปริมาณไลโคปีน (mg/100g)	Min	0.23	0.18
	Max	0.66	0.89
	Mean	0.40*	0.48*
	Standard deviation	0.11	0.15
	n	33	169
ปริมาณเบต้าแคโรทีน (mg/100g)	Min	0.08	0.05
	Max	0.16	0.19
	Mean	0.11 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>
	Standard deviation	0.01	0.02
	n	33	169

หมายเหตุ \* ; แตกต่างอย่างมีสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ns ; ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

จากการทดสอบความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีชนิดต่าง ๆ ในมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเคมี โดยใช้การทดสอบ t-test แบบ Independent ที่นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม SPSS for windows Version 11 พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, วิตามินซี และ โคลโคปีน ของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความน่าเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่า ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Worthington (1998, 2001), Heaton (2002) และ Veyrat *et al.*, (2004) ดังนั้นจึงอาจมีความเป็นไปได้ในการจำแนกความแตกต่างระหว่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมี ยกเว้นปริมาณ เบต้าแคโรทีน ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

### 3. การจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี

การจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ ใช้วิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) นั้นเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ค่าการคูณถ่วงอย่างมะเขือเทศเพียงอย่างเดียวเท่านั้น และข้อมูลสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างนั้นผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีต่าง ๆ ดังตารางที่ 11 โดยในช่วงความยาวคลื่นสั้นมีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ ที่ใช้สำหรับการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน (Calibration sample set) จำนวน 188 ตัวอย่าง และจำนวนตัวอย่างในกลุ่มตรวจสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐาน (Validation sample set) จำนวน 47 ตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมี ที่ใช้สำหรับการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน จำนวน 297 ตัวอย่าง และจำนวนตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการเทียบมาตรฐาน จำนวน 75 ตัวอย่าง

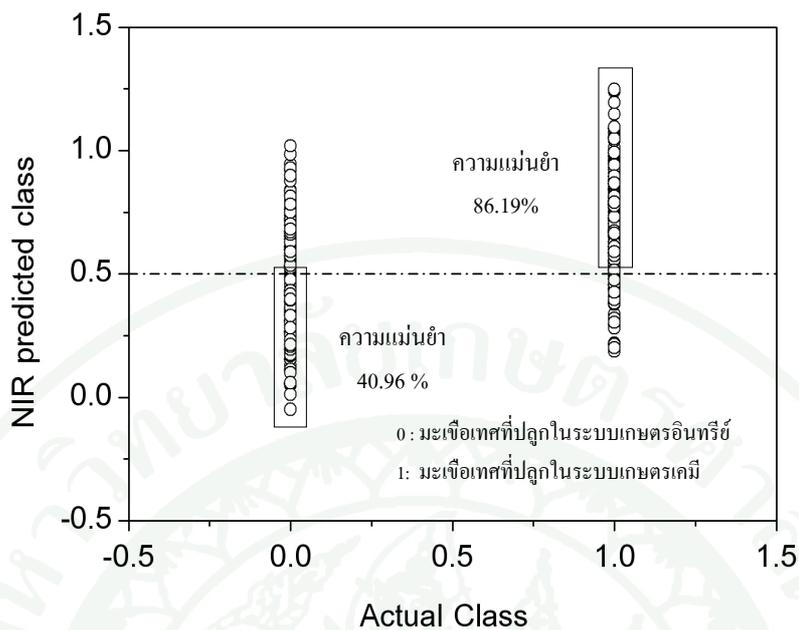
ในช่วงความยาวคลื่นยาวมีจำนวนตัวอย่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ ที่ใช้สำหรับการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน จำนวน 185 ตัวอย่าง และจำนวนตัวอย่างในกลุ่มตรวจสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐาน จำนวน 47 ตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมี ใช้สำหรับการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน จำนวน 304 ตัวอย่าง และจำนวนตัวอย่างในกลุ่มตรวจสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐาน จำนวน 77 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่นำมาใช้สร้างสมการเทียบมาตรฐานและตรวจสอบความแม่นยำของสมการเทียบมาตรฐานนั้นผ่านการตัด outlier เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผลจากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อใช้ในการจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์

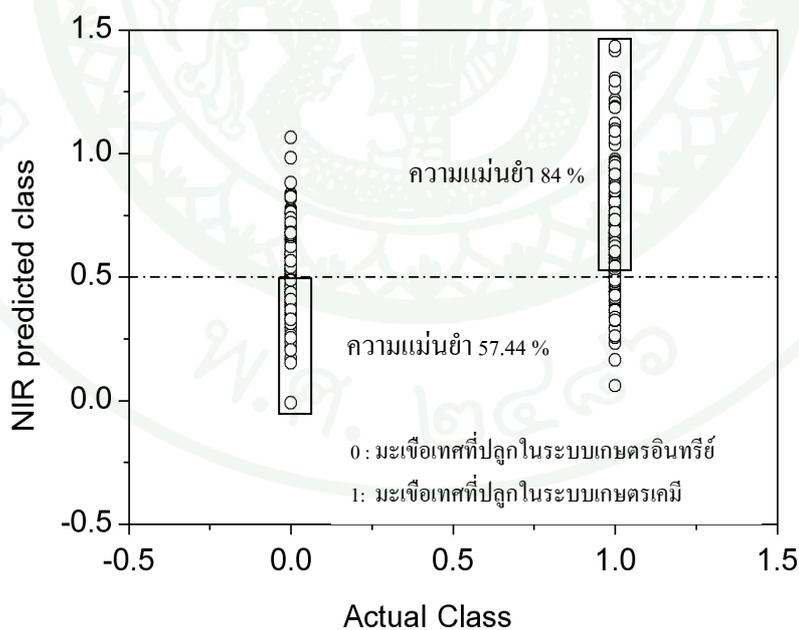
Wavelength (nm)	Pretreatment	F	R	ความแม่นยำ (%)			
				กลุ่ม Calibration		กลุ่ม Validation	
				อินทรีย์	เคมี	อินทรีย์	เคมี
700-1100	No pretreatment	11	0.50	42.02	86.53	51.06	89.33
	1 <sup>st</sup> Derivative	10	0.47	42.02	85.18	51.11	85.33
	2 <sup>nd</sup> Derivative	13	0.54	47.34	84.85	48.93	86.67
	MSC	10	0.51	40.96	86.20	44.68	92.00
	MSC+2 <sup>nd</sup> Derivative	8	0.47	55.85	82.15	44.68	85.33
	<b>SNV</b>	<b>9</b>	<b>0.49</b>	<b>40.96</b>	<b>86.19</b>	<b>57.44</b>	<b>84.00</b>
1100-2500	No pretreatment	4	0.35	37.84	85.53	42.55	83.11
	1 <sup>st</sup> Derivative	6	0.38	42.16	83.55	53.19	85.71
	2 <sup>nd</sup> Derivative	6	0.39	45.95	83.22	53.19	83.17
	<b>MSC</b>	<b>9</b>	<b>0.45</b>	<b>52.97</b>	<b>83.55</b>	<b>61.70</b>	<b>87.01</b>
	MSC+2 <sup>nd</sup> Derivative	9	0.48	52.97	85.53	51.06	79.22
	SNV	6	0.40	42.16	84.54	46.80	83.11

เนื่องจากการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการสร้างแบบจำลองจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์จึงให้ความสำคัญกับความถูกต้องของการจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบนี้ จากตารางที่ 10 พบว่าในช่วงความยาวคลื่นสั้นสมการที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี SNV มีจำนวนแฟกเตอร์เท่ากับ 9 ให้ค่าความแม่นยำในการทำนายมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ในกลุ่ม Validation ถูกต้องสูงสุดคิดเป็น 57.44 เปอร์เซ็นต์

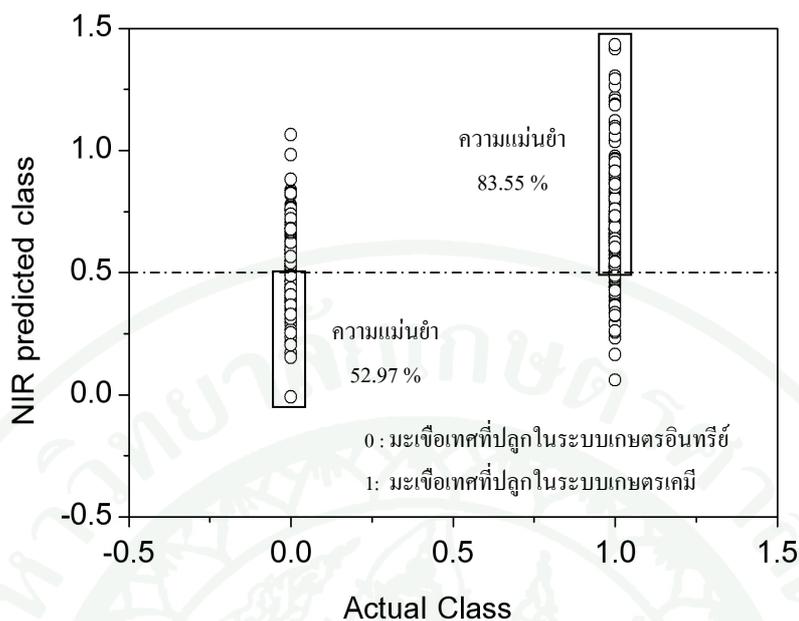
ในช่วงความยาวคลื่นยาวสมการที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี MSC มีจำนวนแฟกเตอร์เท่ากับ 9 ให้ค่าความแม่นยำ 61.70 เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ 29 และภาพที่ 30 แสดง scatter plot ระหว่างค่ากลุ่มจริงและค่าที่ได้จากการทำนายกลุ่มด้วย NIR ที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น ภาพที่ 31 และภาพที่ 32 แสดง scatter plot ระหว่างค่ากลุ่มจริงและค่าที่ได้จากการทำนายกลุ่มด้วย NIR ที่ช่วงความยาวคลื่นยาว



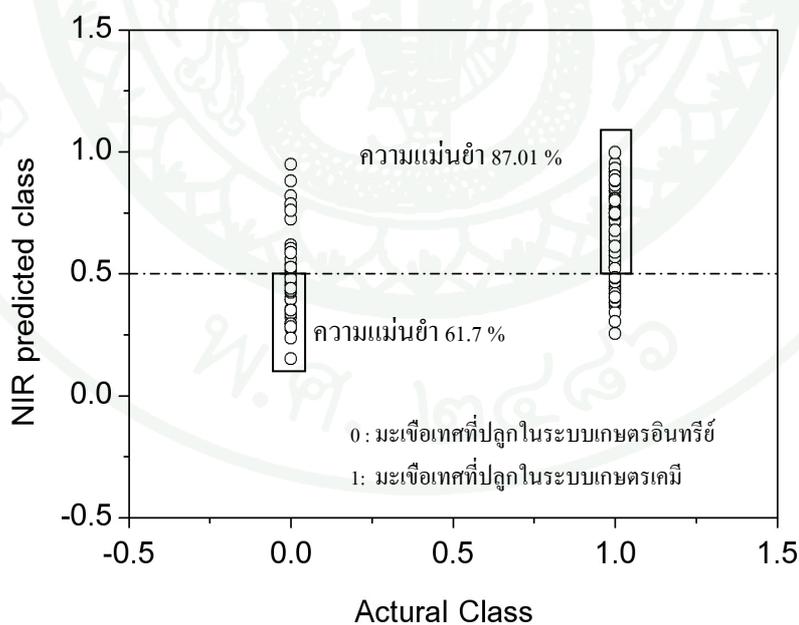
ภาพที่ 29 Scatter plot ระหว่างค่าทำนายกลุ่มด้วย NIR และกลุ่มจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration ที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 30 Scatter plot ระหว่างค่าทำนายกลุ่มด้วย NIR และกลุ่มจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Validation ที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 31 Scatter plot ระหว่างค่าทำนายกลุ่มด้วย NIR และกลุ่มจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration ที่ช่วงความยาวคลื่นยาว



ภาพที่ 32 Scatter plot ระหว่างค่าทำนายกลุ่มด้วย NIRS และกลุ่มจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Validation ที่ช่วงความยาวคลื่นยาว

#### 4. การสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในมะเขือเทศ

ในช่วงความยาวคลื่นสั้น ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ที่ผ่านการตัด outlier แล้ว จำนวน 477 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 2.80 - 5.80 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของตัวอย่างมะเขือเทศในกลุ่ม Calibration และ Validation sample set

Wavelength (nm)	ค่าทางสถิติ	ก่อนตัด Outlier		หลังตัด Outlier	
		Calibration Sample set	Validation Sample set	Calibration Sample set	Validation Sample set
700-1100	N	400	100	382	95
	Min (%)	2.80	3.00	2.80	3.00
	Max (%)	5.90	5.70	5.80	5.40
	Mean (%)	3.96	3.98	3.94	3.93
	SD (%)	0.54	0.54	0.51	0.50
1110-2500	N	393	99	380	95
	Min (%)	2.80	2.90	2.80	3.00
	Max (%)	5.90	5.60	5.90	5.80
	Mean (%)	3.97	3.96	3.95	3.96
	SD (%)	0.55	0.54	0.53	0.53

สำหรับในช่วงความยาวคลื่นยาว ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ที่ผ่านการตัด outlier แล้ว จำนวน 475 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด อยู่ในช่วง 2.80 – 5.90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set ดังตารางที่ 11

การสร้างสมการเทียบมาตรฐานเบื้องต้นสำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation, R) และค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มสร้างสมการ calibration (Standard Error of Calibration, SEC) ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายกลุ่มของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมการ (Standard error of prediction, SEP) และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการทำนาย (Bias) ดังตารางที่ 12 พบว่า

ในช่วงความยาวคลื่นสั้น สมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุดได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV มีจำนวนแฟกเตอร์ เท่ากับ 11 มีค่า R เท่ากับ 0.76, SEC เท่ากับ 0.33 %, SEP เท่ากับ 0.35 % และ Bias เท่ากับ -0.04% ภาพที่ 33 และ 34 แสดง Scatter plot ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration sample set และ Validation sample set เมื่อทดสอบ Paired t-test ของสมการเทียบมาตรฐานดีที่สุดในสมการอื่น ๆ พบว่าสามารถทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

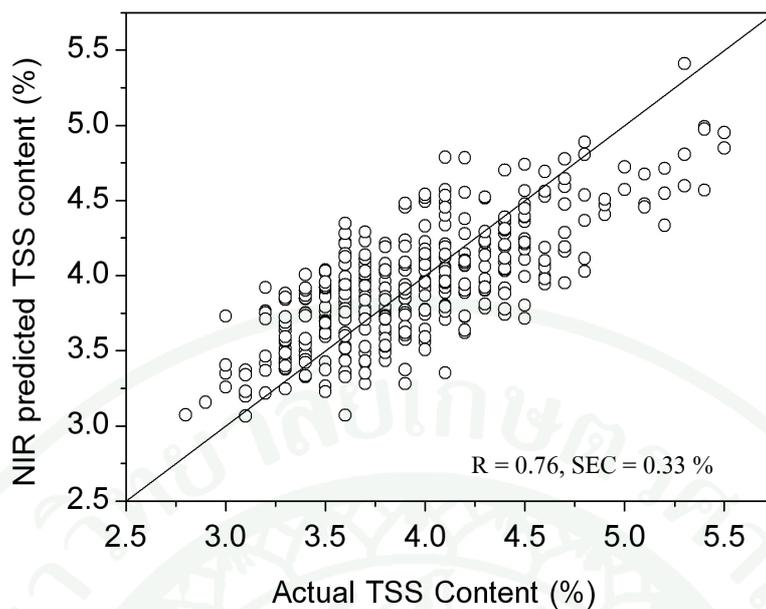
ในช่วงความยาวคลื่นยาว สมการเทียบมาตรฐานดีที่สุดได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing ร่วมกับอนุพันธ์อันดับ 1 มีจำนวนแฟกเตอร์ เท่ากับ 14 มีค่า R เท่ากับ 0.86, SEC เท่ากับ 0.27 %, SEP เท่ากับ 0.35 % และ Bias เท่ากับ -0.01% ภาพที่ 35 และ 36 แสดง Scatter plot ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration sample set และ Validation sample set เมื่อทดสอบ Paired t-test ของสมการเทียบมาตรฐานดีที่สุดในสมการอื่น ๆ พบว่าสามารถทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

**ตารางที่ 12** ผลการวิเคราะห์หาสมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดใน  
มะเขือเทศจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้น  
และช่วงยาว

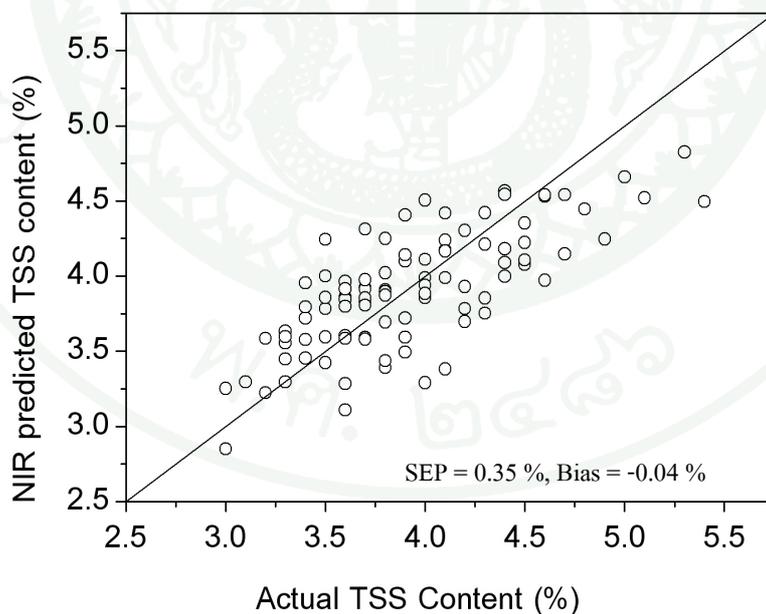
Wavelength (nm)	Pretreatment	F	R	SEC (%)	SEP <sup>1</sup> (%)	Bias (%)
700-1100	No pretreatment	12	0.75	0.34	0.34 <sup>ns</sup>	-0.05
	1 <sup>st</sup> Derivative	14	0.75	0.34	0.34 <sup>ns</sup>	-0.02
	2 <sup>nd</sup> Derivative	10	0.75	0.34	0.34 <sup>ns</sup>	-0.03
	<b>SNV</b>	<b>11</b>	<b>0.76</b>	<b>0.33</b>	<b>0.35<sup>ns</sup></b>	<b>-0.04</b>
	MSC	10	0.74	0.35	0.36 <sup>ns</sup>	-0.05
	MSC + 2 <sup>nd</sup> Derivative	10	0.75	0.34	0.34 <sup>ns</sup>	-0.02
	1100-2500	Smoothing	15	0.85	0.28	0.35 <sup>ns</sup>
Smoothing + SNV		13	0.83	0.30	0.34 <sup>ns</sup>	-0.02
Smoothing + MSC		13	0.84	0.29	0.34 <sup>ns</sup>	-0.02
<b>Smoothing + 1<sup>st</sup> Derivative</b>		<b>14</b>	<b>0.86</b>	<b>0.27</b>	<b>0.35<sup>ns</sup></b>	<b>-0.01</b>
Smoothing + 2 <sup>nd</sup> Derivative		13	0.83	0.30	0.38 <sup>ns</sup>	0.00
Smoothing + MSC+2 <sup>nd</sup> Derivative		13	0.83	0.30	0.37 <sup>ns</sup>	-0.01

หมายเหตุ <sup>1</sup>: เปรียบเทียบค่า SEP (Fearn, 1996) กับ SEP ของสมการที่พัฒนาโดยการ  
ปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV ในความยาวคลื่นช่วงสั้น และวิธี Smoothing  
ร่วมกับอนุพันธ์อันดับ 1 สำหรับความยาวคลื่นช่วงยาว

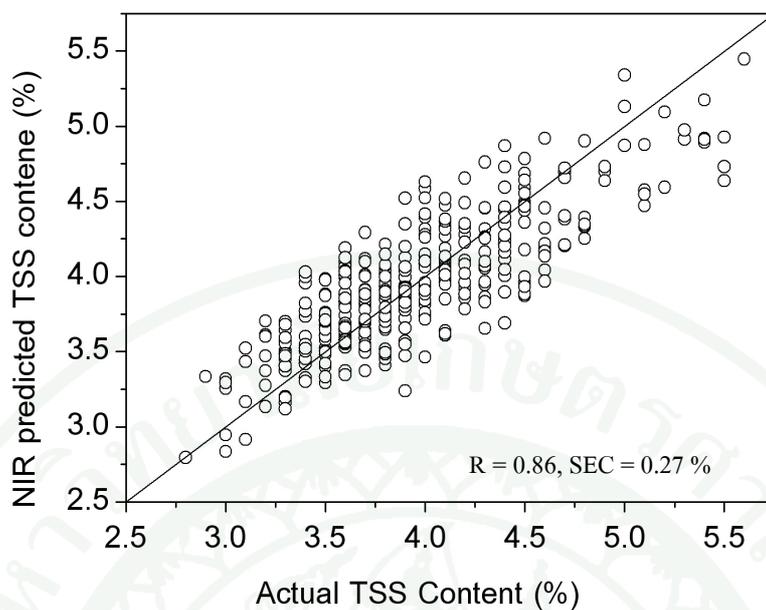
<sup>ns</sup>: ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



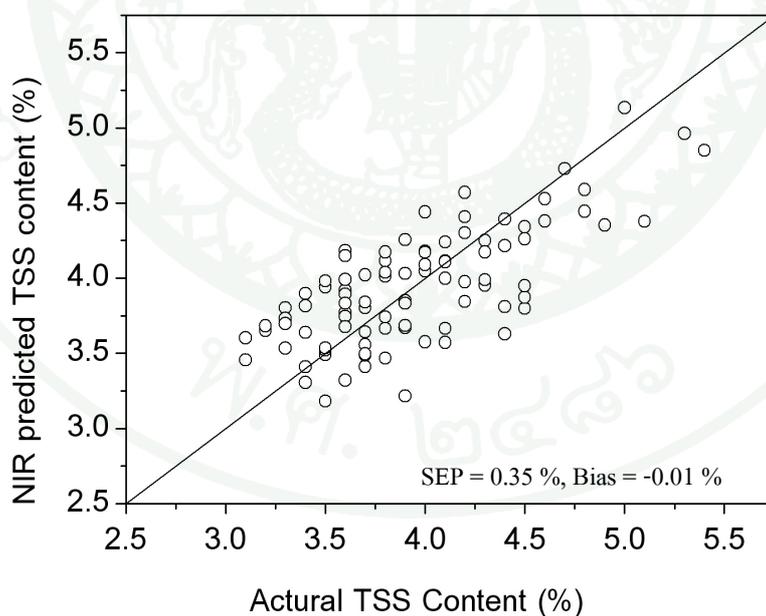
ภาพที่ 33 Scatter plot ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจริงของตัวอย่างกลุ่ม Calibration sample set ในช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 34 Scatter plot ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจริงของตัวอย่างกลุ่ม Validation sample set ในช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 35 Scatter plot ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจริงของตัวอย่างกลุ่ม Calibration sample set ในช่วงความยาวคลื่นยาว



ภาพที่ 36 Scatter plot ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจริงของตัวอย่างกลุ่ม Validation sample set ในช่วงความยาวคลื่นยาว

## 5. การสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีในมะเขือเทศ

ในความยาวคลื่นช่วงสั้น ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ที่ผ่านการตัด outlier แล้ว จำนวน 260 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 1.35 – 28.67 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยมีค่าทางสถิติของปริมาณวิตามินซี ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set ดังตารางที่ 13

สำหรับความยาวคลื่นช่วงยาว ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี ที่ผ่านการตัด outlier แล้วจำนวน 255 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 3.51 – 28.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยมีค่าทางสถิติของปริมาณวิตามินซี ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set ดังตารางที่ 13

**ตารางที่ 13** ค่าทางสถิติของปริมาณวิตามินซีของตัวอย่างมะเขือเทศในกลุ่ม Calibration และ Validation sample set ในความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว

Wavelength (nm)	ค่าทางสถิติ	ก่อนตัด outlier		หลังตัด Outlier	
		Calibration Sample set	Validation Sample set	Calibration Sample set	Validation Sample set
700-1100	N	217	54	208	52
	Min (mg/100g)	1.35	1.94	1.35	3.51
	Max (mg/100g)	29.13	25.27	28.67	25.27
	Mean (mg/100g)	13.24	13.04	13.13	13.11
	SD (mg/100g)	5.45	5.37	5.20	5.16
1100-2500	N	212	53	204	51
	Min (mg/100g)	3.51	4.09	3.51	3.52
	Max (mg/100g)	29.13	26.65	28.27	23.81
	Mean (mg/100g)	13.38	13.49	13.09	12.92
	SD (mg/100g)	5.33	5.22	4.97	4.92

ในช่วงความยาวคลื่นสั้น ดังตารางที่ 14 สมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุดได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี MSC มีจำนวนแฟกเตอร์ เท่ากับ 17 มีค่า R เท่ากับ 0.80, SEC เท่ากับ 3.11 mg/100g, SEP เท่ากับ 3.64 mg/100g และ Bias เท่ากับ 0.23 mg/100g ภาพที่ 37 และ 38 แสดง Scatter plot ระหว่างปริมาณวิตามินซีที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณวิตามินซีจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration sample set และ Validation sample set เมื่อ ทดสอบ paired t-test ของสมการที่ดีที่สุดกับสมการอื่น ๆ พบว่าสมการเทียบมาตรฐานสามารถทำนายปริมาณวิตามินซีได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณวิตามินซีจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

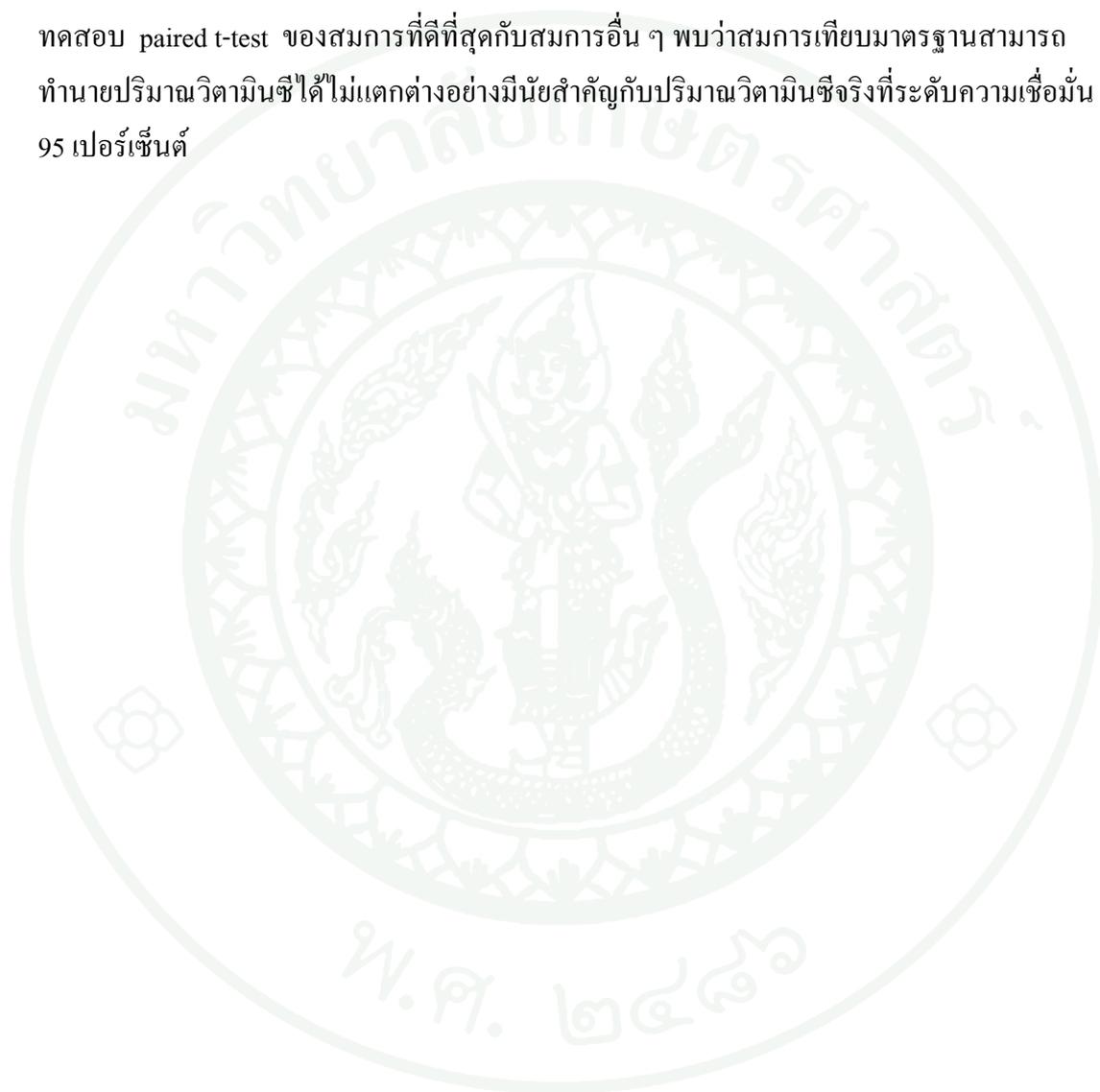
**ตารางที่ 14** ผลการวิเคราะห์หาสมการเทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซีในมะเขือเทศจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว

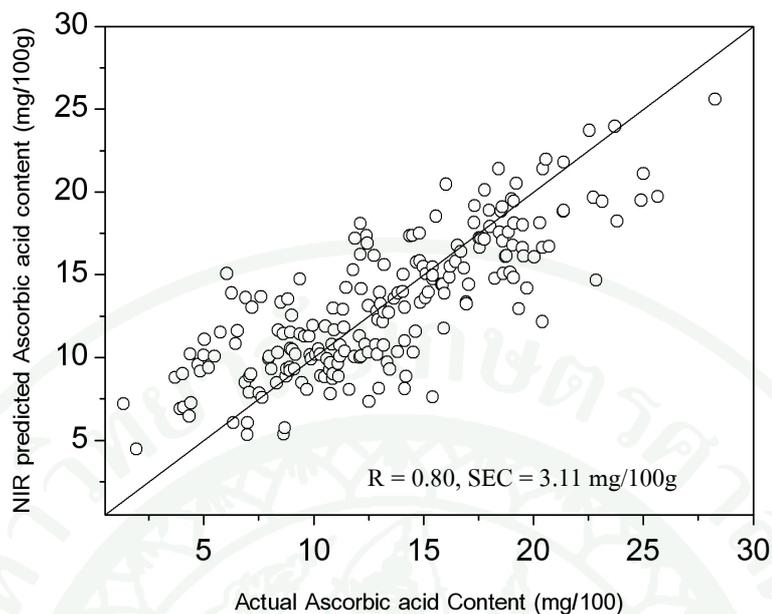
Wavelength (nm)	Pretreatment	F	R	SEC (mg/100g)	SEP <sup>1</sup> (mg/100g)	Bias (mg/100g)
700-1064	No pretreatment	18	0.80	3.09	3.54 <sup>ns</sup>	0.13
	1 <sup>st</sup> Derivative	16	0.70	3.71	4.04 <sup>ns</sup>	0.02
	2 <sup>nd</sup> Derivative	13	0.74	3.47	3.89 <sup>ns</sup>	-0.22
	SNV	15	0.78	3.27	3.76 <sup>ns</sup>	-0.06
	<b>MSC</b>	<b>17</b>	<b>0.80</b>	<b>3.11</b>	<b>3.64<sup>ns</sup></b>	<b>0.23</b>
	MSC + 2 <sup>nd</sup> Derivative	12	0.71	3.64	3.92 <sup>ns</sup>	-0.15
1100-2500	Smoothing	13	0.71	3.48	4.15 <sup>ns</sup>	-0.07
	Smoothing + SNV	13	0.74	3.37	4.19 <sup>ns</sup>	-0.01
	Smoothing + MSC	12	0.72	3.44	4.26 <sup>ns</sup>	-0.02
	Smoothing+1 <sup>st</sup> Derivative	13	0.77	3.14	4.52 <sup>ns</sup>	-0.07
	Smoothing+2 <sup>nd</sup> Derivative	15	0.83	2.81	4.34 <sup>ns</sup>	0.59
	<b>Smoothing+MSC+2<sup>nd</sup> Derivative</b>	<b>14</b>	<b>0.83</b>	<b>2.80</b>	<b>4.25<sup>ns</sup></b>	<b>0.52</b>

หมายเหตุ <sup>1</sup>: เปรียบเทียบค่า SEP (Fearn, 1996) กับ SEP ของสมการที่พัฒนาโดยการปรับแต่ง สเปกตรัมด้วยวิธี MSC ในความยาวคลื่นช่วงสั้น และวิธี Smoothing ร่วมกับวิธี MSC และอนุพันธ์อันดับ 2 ในความยาวคลื่นช่วงยาว

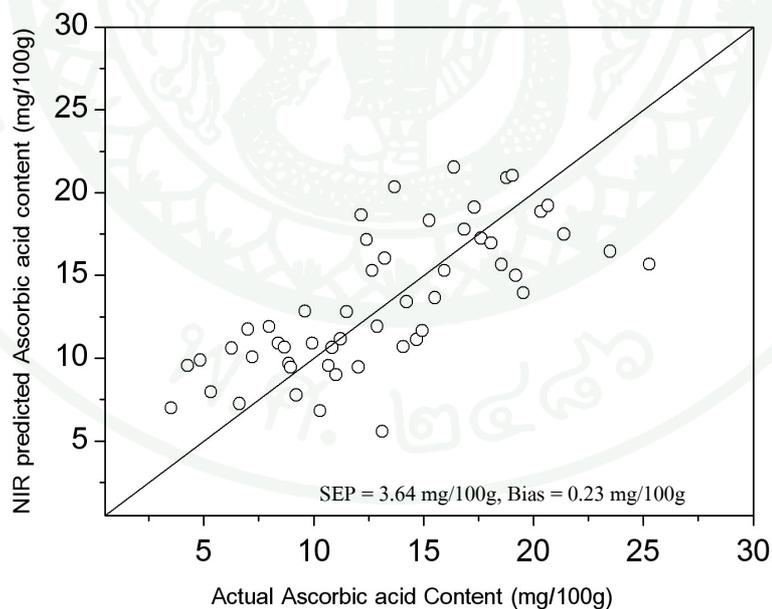
<sup>ns</sup>: ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สำหรับความยาวคลื่นช่วงยาว สมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุดจะได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing ร่วมกับวิธี MSC และอนุพันธ์อันดับ 2 มีจำนวนแฟกเตอร์ เท่ากับ 14 มีค่า R เท่ากับ 0.83, SEC เท่ากับ 2.80 mg/100g, SEP เท่ากับ 4.25 mg/100g และ Bias เท่ากับ 0.52 mg/100g ภาพที่ 39 และ 40 แสดง Scatter plot ระหว่างปริมาณวิตามินซีที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณวิตามินซีจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration sample set และ Validation sample set เมื่อทดสอบ paired t-test ของสมการที่ดีที่สุดกับสมการอื่น ๆ พบว่าสมการเทียบมาตรฐานสามารถทำนายปริมาณวิตามินซีได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณวิตามินซีจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

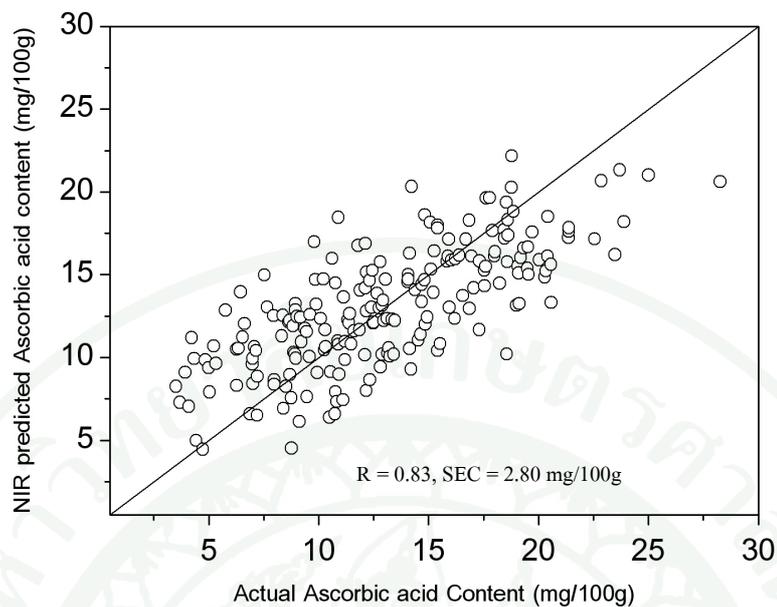




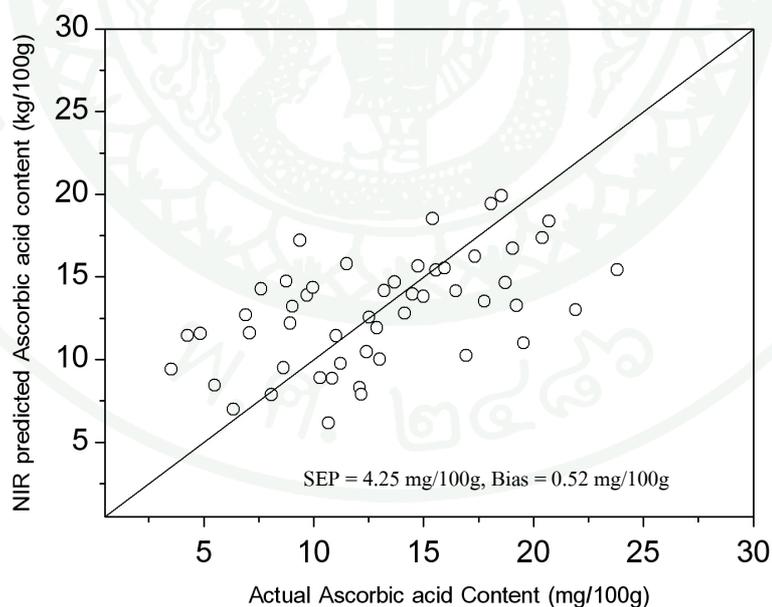
ภาพที่ 37 Scatter plot ระหว่างปริมาณวิตามินซีที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณวิตามินซีจริงของตัวอย่างกลุ่ม Calibration sample set ในช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 38 Scatter plot ระหว่างปริมาณวิตามินซีที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณวิตามินซีจริงของตัวอย่างกลุ่ม Validation sample set ในช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 39 Scatter plot ระหว่างปริมาณวิตามินซีที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณวิตามินซีจริงของตัวอย่างกลุ่ม Calibration sample set ในช่วงความยาวคลื่นยาว



ภาพที่ 40 Scatter plot ระหว่างปริมาณวิตามินซีที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณวิตามินซีจริงของตัวอย่างกลุ่ม Validation sample set ในช่วงความยาวคลื่นยาว

## 6. การสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศ

ในช่วงความยาวคลื่นสั้น ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนที่ผ่านการตัด outlier แล้ว จำนวน 189 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณไลโคปีนอยู่ในช่วง 0.18 – 0.87 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยมีค่าทางสถิติของปริมาณไลโคปีน ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set ดังตารางที่ 15

สำหรับในช่วงความยาวคลื่นยาว ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนที่ผ่านการตัด outlier แล้ว จำนวน 188 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณไลโคปีนอยู่ในช่วง 0.18 – 0.89 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยมีค่าทางสถิติของปริมาณไลโคปีน ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ค่าทางสถิติของปริมาณไลโคปีนของตัวอย่างมะเขือเทศในกลุ่ม Calibration และ Validation sample set ในความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว

Wavelength (nm)	ค่าทางสถิติ	ก่อนตัด outlier		หลังตัด Outlier	
		Calibration Sample set	Validation Sample set	Calibration Sample set	Validation Sample set
700-1100	N	158	39	151	38
	Min (mg/100g)	0.18	0.23	0.18	0.23
	Max (mg/100g)	0.90	0.84	0.87	0.79
	Mean (mg/100g)	0.47	0.47	0.46	0.46
	SD (mg/100g)	0.15	0.14	0.13	0.13
1100-2500	N	153	39	151	37
	Min (mg/100g)	0.18	0.23	0.18	0.24
	Max (mg/100g)	0.89	0.85	0.89	0.79
	Mean (mg/100g)	0.47	0.47	0.46	0.46
	SD (mg/100g)	0.15	0.14	0.14	0.13

**ตารางที่ 16** ผลการวิเคราะห์หาสมการเทียบมาตรฐานปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว

Wavelength (nm)	Pretreatment	F	R	SEC (mg/100g)	SEP <sup>1</sup> (mg/100g)	Bias (mg/100g)
700-1064	No pretreatment	12	0.66	0.10	0.11 <sup>ns</sup>	-0.01
	1 <sup>st</sup> Derivative	12	0.60	0.11	0.11 <sup>ns</sup>	0.00
	2 <sup>nd</sup> Derivative	8	0.59	0.11	0.11 <sup>ns</sup>	0.01
	<b>SNV</b>	<b>10</b>	<b>0.64</b>	<b>0.10</b>	<b>0.11<sup>ns</sup></b>	<b>-0.01</b>
	MSC	9	0.62	0.10	0.11 <sup>ns</sup>	-0.01
	MSC + 2 <sup>nd</sup> Derivative	8	0.61	0.11	0.11 <sup>ns</sup>	0.00
1100-2500	Smoothing	13	0.68	0.10	0.10 <sup>ns</sup>	-0.03
	Smoothing + SNV	16	0.78	0.09	0.10 <sup>ns</sup>	-0.02
	Smoothing + MSC	11	0.66	0.11	0.11 <sup>ns</sup>	-0.02
	Smoothing+1 <sup>st</sup> Derivative	13	0.72	0.10	0.10 <sup>ns</sup>	-0.02
	<b>Smoothing+2<sup>nd</sup> Derivative</b>	<b>13</b>	<b>0.77</b>	<b>0.09</b>	<b>0.11<sup>ns</sup></b>	<b>-0.03</b>
	Smoothing+MSC+2 <sup>nd</sup> Derivative	12	0.74	0.09	0.12 <sup>ns</sup>	-0.03

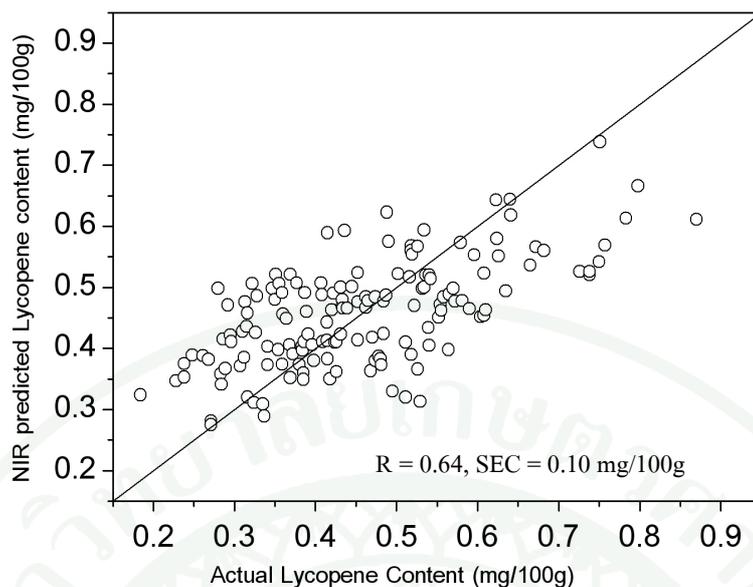
หมายเหตุ <sup>1</sup>: เปรียบเทียบค่า SEP (Fearn, 1996) กับ SEP ของสมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV ในช่วงคลื่นสั้น และวิธี Smoothing ร่วมกับอนุพันธ์อันดับ 2 ในช่วงคลื่นยาว

<sup>ns</sup>: ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

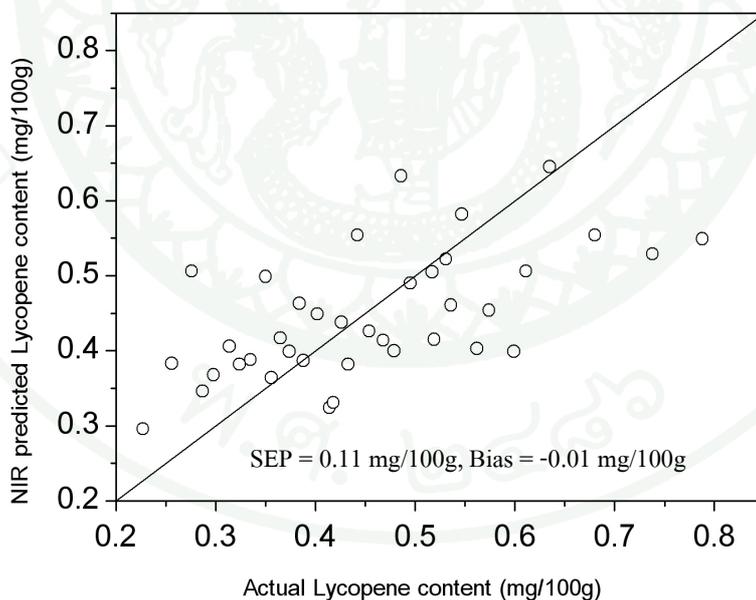
จากตารางที่ 16 พบว่าที่ความยาวคลื่นช่วงสั้น สมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุดจะ ได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV มีจำนวนแฟกเตอร์ เท่ากับ 10 โดยมีค่า R เท่ากับ 0.64, SEC เท่ากับ 0.10 mg/100g, SEP เท่ากับ 0.11 mg/100g และ Bias เท่ากับ -0.01 mg/100g ภาพที่ 41 และ 42 แสดง Scatter plot ระหว่างปริมาณไลโคปีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณไลโคปีนจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration sample set และ Validation sample set เมื่อทดสอบ Paired t- test ของสมการที่ดีที่สุดกับสมการอื่น ๆ พบว่าสามารถทำนายปริมาณไลโคปีนได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณไลโคปีนจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สำหรับที่ความยาวคลื่นช่วงยาว สมการเทียบมาตรฐานดีที่สุดจะได้จากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing ร่วมกับอนุพันธ์อันดับ 2 มีจำนวนแฟกเตอร์ เท่ากับ 13 โดยมีค่า R เท่ากับ 0.77, SEC เท่ากับ 0.09 mg/100g, SEP เท่ากับ 0.11 mg/100g และ Bias เท่ากับ -0.03 mg/100g ภาพที่ 43 และ 44 แสดง Scatter plot ระหว่างปริมาณไลโคปีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณไลโคปีนจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration sample set และ Validation sample set เมื่อทดสอบ Paired t- test ของสมการที่ดีที่สุดกับสมการอื่น ๆ พบว่าสามารถทำนายปริมาณไลโคปีนได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณไลโคปีนจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

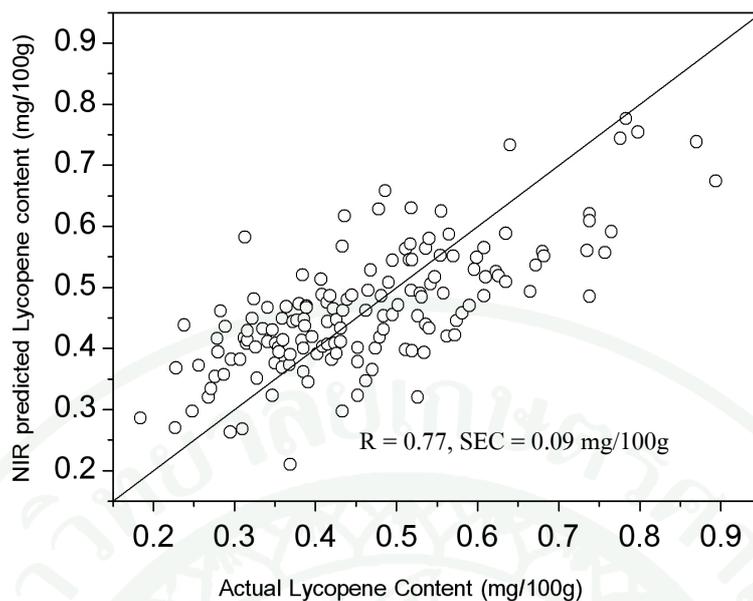




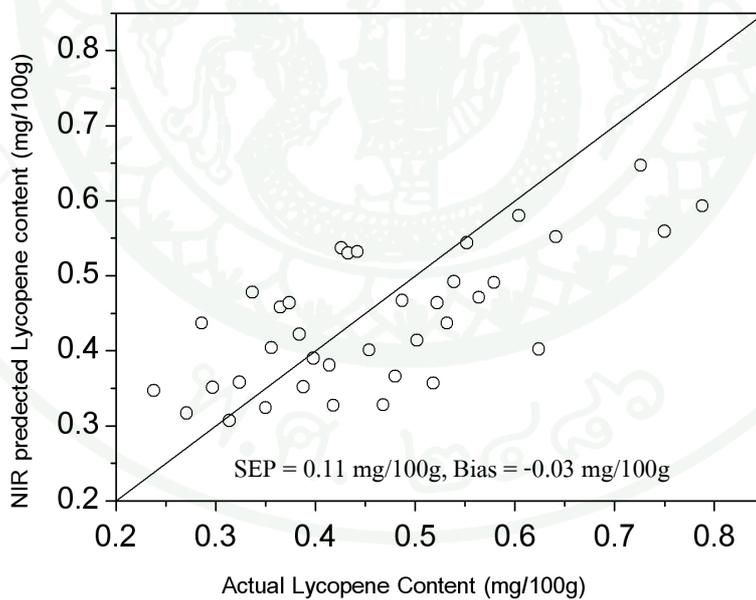
ภาพที่ 41 Scatter plot ระหว่างปริมาณไลโคปีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณไลโคปีนจริงของตัวอย่างกลุ่ม Calibration sample set ในช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 42 Scatter plot ระหว่างปริมาณไลโคปีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณไลโคปีนจริงของตัวอย่างกลุ่ม Validation sample set ในช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 43 Scatter plot ระหว่างปริมาณไลโคปีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณไลโคปีนจริงของตัวอย่างกลุ่ม Calibration sample set ในช่วงความยาวคลื่นยาว



ภาพที่ 44 Scatter plot ระหว่างปริมาณไลโคปีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณไลโคปีนจริงของตัวอย่างกลุ่ม Validation sample set ในช่วงความยาวคลื่นยาว

## 7. การสร้างสมการเทียบมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะเขือเทศ

ในช่วงความยาวคลื่นสั้น ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ผ่านการตัด outlier แล้ว จำนวน 186 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนอยู่ในช่วง 0.07 – 0.18 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยมีค่าทางสถิติของปริมาณไลโคปีน ในกลุ่ม Calibration set และกลุ่ม Validation set ดังตารางที่ 17

สำหรับในช่วงความยาวคลื่นยาว ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีน ที่ผ่านการตัด outlier แล้วจำนวน 184 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนอยู่ในช่วง 0.07 – 0.19 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม โดยมีค่าทางสถิติของปริมาณไลโคปีน ในกลุ่ม Calibration set และกลุ่ม Validation set ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ค่าทางสถิติของปริมาณเบต้าแคโรทีนของตัวอย่างมะเขือเทศในกลุ่ม Calibration และ Validation sample set ในความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว

Wavelength (nm)	ค่าทางสถิติ	ก่อนตัด Outlier		หลังตัด Outlier	
		Calibration Sample set	Validation Sample set	Calibration Sample set	Validation Sample set
700-1100	N	156	39	149	37
	Min (mg/100g)	0.05	0.07	0.07	0.08
	Max (mg/100g)	0.20	0.19	0.18	0.17
	Mean (mg/100g)	0.12	0.12	0.12	0.12
	SD (mg/100g)	0.02	0.02	0.02	0.02
1100-2500	N	154	38	147	37
	Min (mg/100g)	0.05	0.08	0.07	0.08
	Max (mg/100g)	0.19	0.18	0.19	0.18
	Mean (mg/100g)	0.12	0.12	0.12	0.12
	SD (mg/100g)	0.02	0.02	0.02	0.02

**ตารางที่ 18** ผลการวิเคราะห์หาสมการเทียบมาตรฐานปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะเขือเทศจาก การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้นและช่วงยาว

Wavelength (nm)	Pretreatment	F	R	SEC (mg/100g)	SEP <sup>1</sup> (mg/100g)	Bias (mg/100g)
700-1100	No pretreatment	15	0.73	0.01	0.02 <sup>ns</sup>	0.00
	1 <sup>st</sup> Derivative	19	0.69	0.02	0.02 <sup>ns</sup>	0.00
	2 <sup>nd</sup> Derivative	19	0.74	0.01	0.02 <sup>ns</sup>	0.00
	<b>SNV</b>	<b>18</b>	<b>0.79</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02<sup>ns</sup></b>	<b>0.00</b>
	MSC	18	0.78	0.01	0.02 <sup>ns</sup>	0.00
	MSC + 2 <sup>nd</sup> Derivative	10	0.61	0.02	0.02 <sup>ns</sup>	0.00
1100-2500	Smoothing	13	0.73	0.02	0.02 <sup>ns</sup>	0.01
	Smoothing + SNV	11	0.73	0.02	0.02 <sup>ns</sup>	0.00
	<b>Smoothing + MSC</b>	<b>12</b>	<b>0.74</b>	<b>0.02</b>	<b>0.02<sup>ns</sup></b>	<b>0.00</b>
	Smoothing + 1 <sup>st</sup> Derivative	10	0.70	0.02	0.02 <sup>ns</sup>	0.00
	Smoothing + 2 <sup>nd</sup> Derivative	8	0.64	0.02	0.02 <sup>ns</sup>	0.00
	Smoothing+MSC+2 <sup>nd</sup> Derivative	8	0.66	0.02	0.02 <sup>ns</sup>	0.00

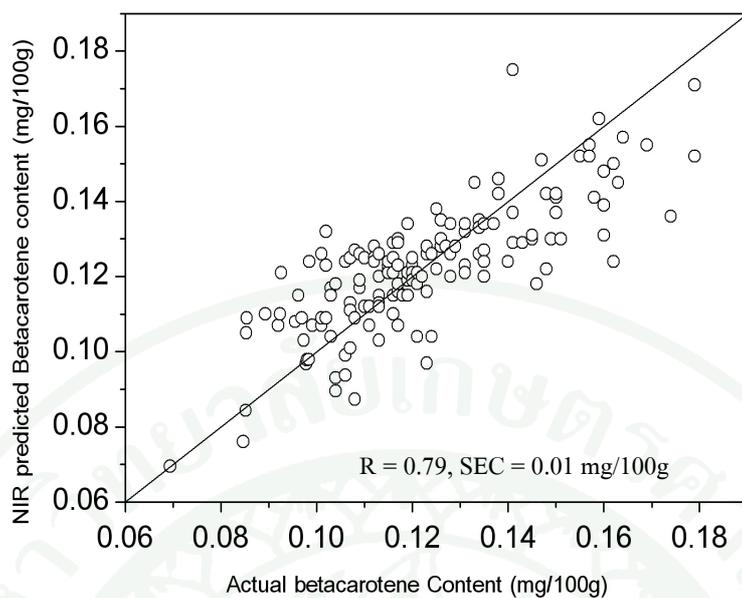
หมายเหตุ<sup>1</sup>: เปรียบเทียบค่า SEP (Fearn, 1996) กับ SEP ของสมการที่พัฒนาโดยการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV สำหรับความยาวคลื่นช่วงสั้น และวิธี Smoothing ร่วมกับ MSC สำหรับความยาวคลื่นช่วงยาว

<sup>ns</sup>: ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

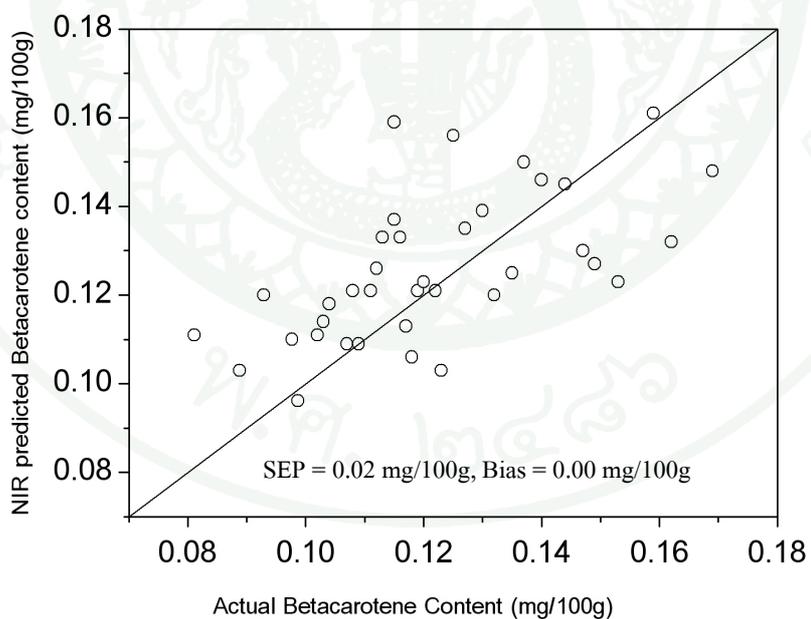
จากตารางที่ 18 พบว่าในช่วงความยาวคลื่นสั้น สมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุดจะได้จากสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี SNV มีจำนวนแฟกเตอร์ เท่ากับ 18 โดยมีค่า R เท่ากับ 0.79, SEC เท่ากับ 0.01 mg/100g, SEP เท่ากับ 0.02 mg/100g และ Bias เท่ากับ 0.00 mg/100g ภาพที่ 45 และ 46 แสดง Scatter plot ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration sample set และ Validation sample set เมื่อทดสอบ Paired t-test ของสมการที่ดีที่สุดกับสมการอื่น ๆ พบว่าสมการเทียบมาตรฐานสามารถทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีนได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณเบต้าแคโรทีนจริงที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ในช่วงความยาวคลื่นยาว สมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุดจะได้อาจจากการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing ร่วมกับวิธี MSC มีจำนวนแฟกเตอร์ เท่ากับ 12 โดยมีค่า R เท่ากับ 0.74, SEC เท่ากับ 0.02 mg/100g, SEP เท่ากับ 0.17 mg/100g และ Bias เท่ากับ 0.00 mg/100g ดังภาพที่ 47 และ 48 แสดง Scatter plot ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนจริงของตัวอย่างในกลุ่ม Calibration sample set และ Validation sample set เมื่อทดสอบ Paired t-test ของสมการที่ดีที่สุดกับสมการอื่น ๆ พบว่าสมการเทียบมาตรฐานสามารถทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีนได้ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณเบต้าแคโรทีนจริงที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

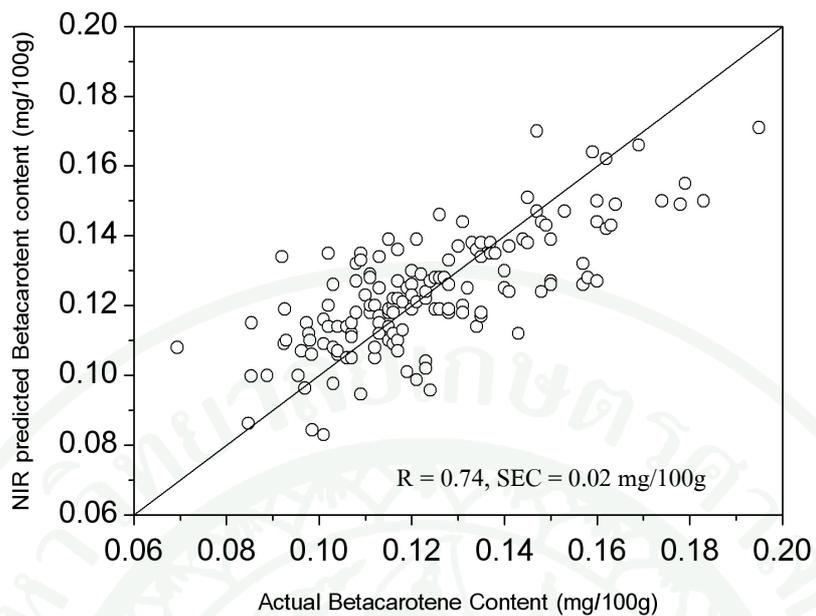




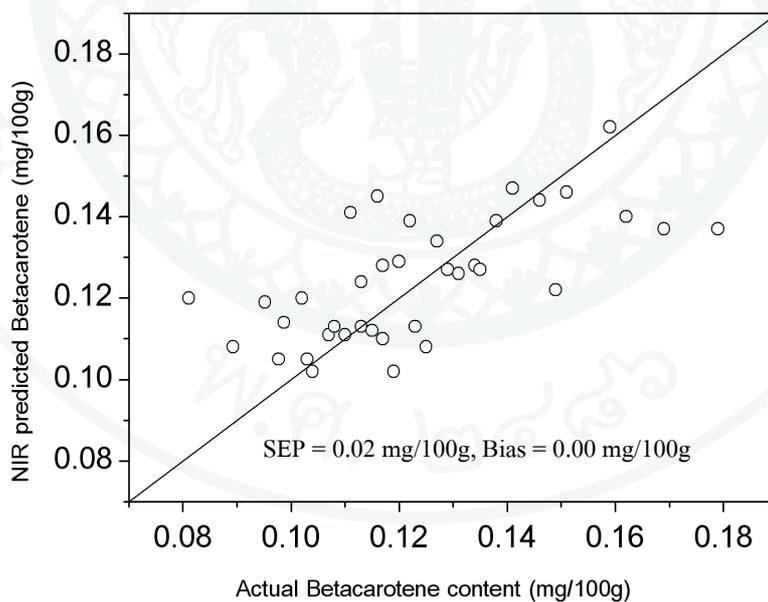
ภาพที่ 45 Scatter plot ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนจริงของตัวอย่างกลุ่ม Calibration sample set ในช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 46 Scatter plot ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนจริงของตัวอย่างกลุ่ม Validation sample set ในช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 47 Scatter plot ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนจริงของตัวอย่างกลุ่ม Calibration sample set ในช่วงความยาวคลื่นยาว



ภาพที่ 48 Scatter plot ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ทำนายด้วย NIRS และค่าปริมาณเบต้าแคโรทีนจริงของตัวอย่างกลุ่ม Validation sample set ในช่วงความยาวคลื่นยาว

## วิจารณ์

### 1. การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์

จากสเปกตรัมของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี ทั้ง 2 ช่วงความยาวคลื่น ดังภาพที่ 49 และภาพที่ 50 จะสังเกตเห็นว่าสเปกตรัมเริ่มต้น มีลักษณะเป็นพีคที่มีฐานกว้าง (Broad band) ในทั้ง 2 ช่วงความยาวคลื่น, สเปกตรัมเกิดการเลื่อนตัวของเส้นสเปกตรัมตามแนวแกน Y (Baseline Shift) ทั้ง 2 ช่วงความยาวคลื่นเช่นกัน นอกจากนี้พบว่าสเปกตรัมมีลักษณะลาดเอียงขึ้นไปทางความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้น (Multiplicative effect) ซึ่งเป็นผลมาจากการกระเจิงของแสง (Scattered light) ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจมีสาเหตุจากความแน่นเนื้อของผลมะเขือเทศที่แตกต่างกัน ซึ่งล้วนเป็นอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อข้อมูลการดูดกลืนแสง ดังนั้นก่อนนำข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงหรือสเปกตรัมไปใช้ในการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ จำเป็นที่จะต้องลดอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกเบื้องต้นก่อน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นให้เหลือน้อยที่สุด (อนุพันธ์, 2548)

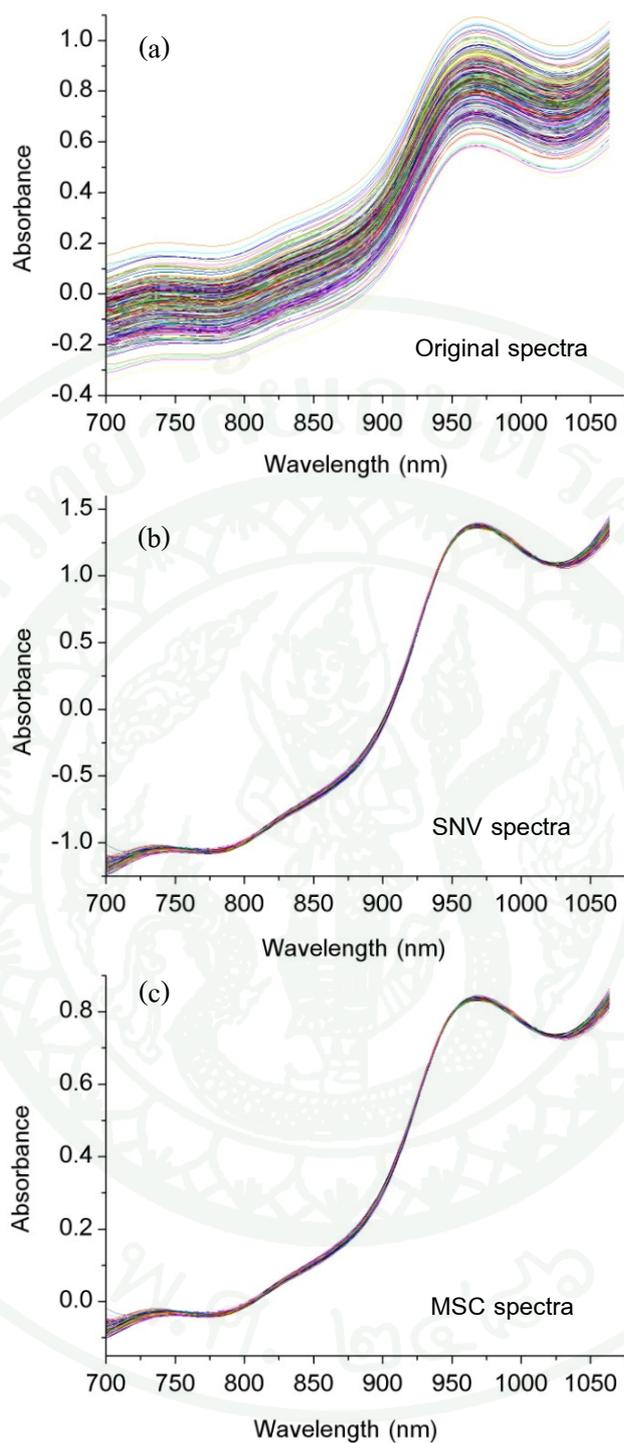
วิธีเบื้องต้นที่ช่วยลดอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกของสเปกตรัมนั้น อาจจะทำโดยนำตัวอย่างมาทำการวัดสเปกตรัมหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำมาหาค่าสเปกตรัมเฉลี่ย สำหรับวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการลดอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ คือ วิธี Smoothing วิธีการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งและอันดับสอง (1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> Derivative) วิธี Multiplicative Scatter Correction (MSC) และวิธี Standard Normal Variate Transformation (SNV) ลักษณะสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีต่าง ๆ ที่ช่วงความยาวคลื่นสั้นแสดงดังภาพที่ 49 และที่ช่วงความยาวคลื่นยาวแสดงดังภาพที่ 50

จากภาพที่ 49 และ 50 สเปกตรัมก่อนทำการปรับแต่ง (Original spectra) ทั้ง 2 ช่วงความยาวคลื่น พบว่าในช่วงคลื่นสั้นสังเกตเห็นพีคที่เด่นชัดที่ความยาวคลื่น 970 นาโนเมตร และที่ช่วงความยาวคลื่นยาว 1190, 1450 และ 1950 นาโนเมตร เมื่อผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการหาอนุพันธ์นั้น จะช่วยลดปัญหาการซ้อนทับกันของพีคในสเปกตรัมและการเลื่อนตัวของเส้นสเปกตรัม สำหรับการหาอนุพันธ์อันดับ 1 เป็นการหาความชันของเส้นสเปกตรัมทำให้จุดยอดมีความชันเท่ากับ 0 และการหาอนุพันธ์อันดับ 2 จะเป็นการหาความชันของอนุพันธ์อันดับ 1 อีกครั้ง (อนุพันธ์, 2548) ซึ่งส่งผลให้พีคมีลักษณะหัวกลับแต่มีตำแหน่งตรงกับจุดยอดของสเปกตรัมเริ่มต้นก่อนทำการปรับแต่ง ส่วนการเลื่อนตัวของเส้นสเปกตรัมตามแนวแกน Y (Baseline Shift) ลดน้อยลง ทั้งยังส่งผลให้พีคที่เหลื่อมซ้อนทับกัน แยกออกจากกันชัดเจนขึ้นสำหรับการปรับแต่งด้วย

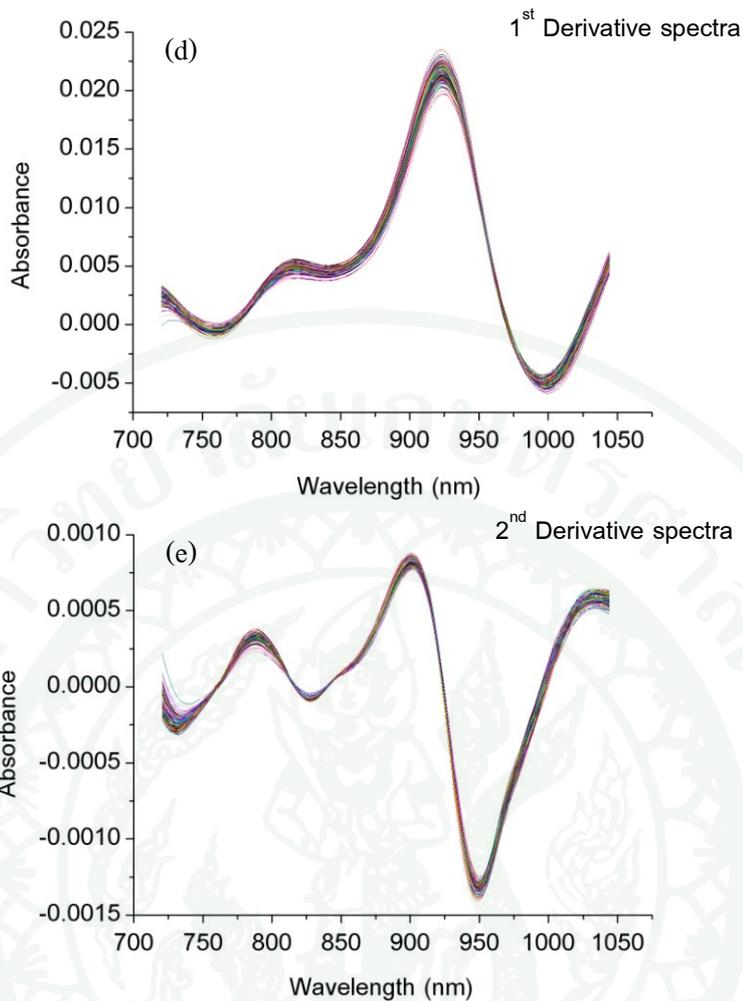
การทำอนุพันธ์อันดับ 2 ที่ช่วงความยาวคลื่นสั้นสเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2 จะสังเกตเห็นพีคที่ความยาวคลื่น 730, 827 และ 949 นาโนเมตร ชัดเจนขึ้น สำหรับสเปกตรัมที่ได้ในช่วงความยาวคลื่นช่วงยาวนั้นพบว่าเกิด noise ที่ช่วงความยาวคลื่นสูง ๆ ประมาณ 2000-2500 นาโนเมตร ดังภาพที่ 50 ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสเปกตรัมให้เรียบขึ้น โดยการทำ smoothing ด้วยวิธี Savitzky Golay (number of smoothing points = 11) สำหรับที่ความยาวคลื่นช่วงยาวภายหลังปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2 พบพีคที่ความยาวคลื่น 1154, 1406 และ 1900 นาโนเมตรชัดเจน ซึ่งพีคที่ความยาวคลื่น 949, 1154, 1406 และ 1900 นาโนเมตรมีความใกล้เคียงกับพีคของการดูดกลืนน้ำ (Osborne *et al.*, 1993) เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบหลักของมะเขือเทศ

วิธี Multiplicative Scattering Correction (MSC) เป็นการหามุมสเปกตรัมของแต่ละตัวอย่างให้มาตรงหรือใกล้เคียงกับสเปกตรัมเฉลี่ย เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการกระเจิงของแสงที่มีผลต่อเส้นสเปกตรัมจากปรากฏการณ์ที่สเปกตรัมหมุนรอบจุดที่มีความยาวคลื่นต่ำสุดของสเปกตรัม หลังจากการปรับแต่งด้วยวิธี MSC พบว่าสเปกตรัมยังคงมีลักษณะเหมือนกับสเปกตรัมเริ่มต้น และการเกิดผลกระทบจากการกระเจิงของแสงถูกกำจัดลง

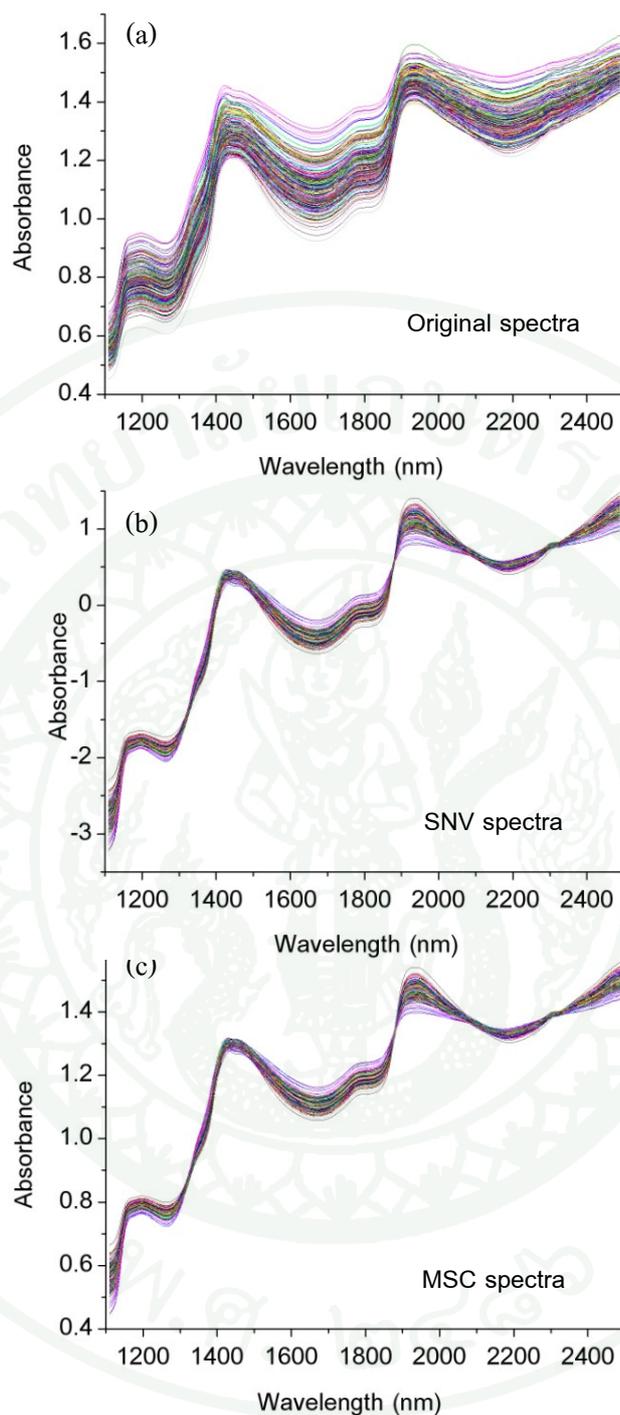
นอกจากวิธีดังกล่าวข้างต้นแล้วยังมีวิธี Standard Normal Variate Transformation (SNV) โดยจะมีลักษณะใกล้เคียงกับวิธี MSC เพียงแต่มีการปรับเส้นการดูดกลืนเฉลี่ยให้มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งวิธีนี้ช่วยลดผลกระทบจากการกระเจิงของแสงและลดผลกระทบที่มีสาเหตุจากปัจจัย อุณหภูมิ ความหนาแน่น และขนาดของอนุภาคที่ต่างกัน (อนุพันธ์, 2551) ได้เช่นเดียวกับวิธี MSC และยังคงมีลักษณะเหมือนกับสเปกตรัมเริ่มต้น และการเกิดผลกระทบจากการกระเจิงของแสงถูกกำจัดลง



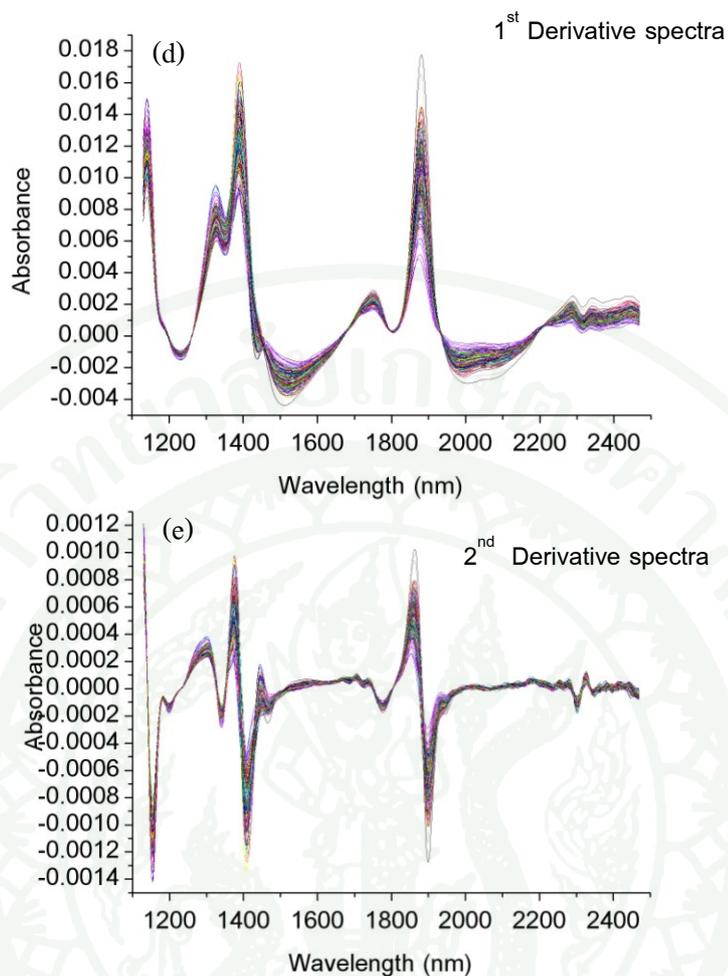
ภาพที่ 49 สเปกตรัมของตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) (a) สเปกตรัมเริ่มต้น, (b) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี SNV, (c) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี MSC, (d) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 1 และ (e) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2



ภาพที่ 49 (ต่อ) สเปกตรัมของตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) (a) สเปกตรัมเริ่มต้น, (b) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี SNV, (c) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี MSC, (d) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 1 และ (e) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2



**ภาพที่ 50** สเปกตรัมของตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 นาโนเมตร) (a) สเปกตรัมเริ่มต้น, (b) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี SNV, (c) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี MSC, (d) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 1 และ (e) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2



ภาพที่ 50 (ต่อ) สเปกตรัมของตัวอย่างมะเขือเทศที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีต่าง ๆ ในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 นาโนเมตร) (a) สเปกตรัมเริ่มต้น, (b) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี SNV, (c) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี MSC, (d) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 1 และ (e) สเปกตรัมที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2

## 2. การจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์

ในงานวิจัยนี้ต้องการจำแนกมะเขือเทศจากระบบการปลูกที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างนั้นจะต้องมาจากระบบการปลูกแบบเกษตรอินทรีย์และเกษตรเคมีเพียงเท่านั้น โดยปัจจัยการปลูกเริ่มต้นควรที่จะคงที่ ดังนั้นจึงมีการควบคุมปัจจัยการปลูกเริ่มต้นทั้ง 2 ระบบให้เท่ากัน เริ่มตั้งแต่เมล็ดพันธุ์ซึ่งเป็นสายพันธุ์เดียวกัน ชื่อจากแหล่งจำหน่ายเมล็ดพันธุ์เดียวกัน, ระยะเวลาเพาะต้นกล้าเท่ากัน, ฤดูกาลปลูกเดียวกัน, ช่วงเวลาการให้น้ำที่เท่ากัน รวมถึงช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเท่ากัน นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญคือปริมาณธาตุอาหารในดินเริ่มต้นควรที่จะเท่ากัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักในดินเริ่มต้นที่สำคัญ ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ดังตารางที่ 19 พบว่าปริมาณธาตุอาหารหลักเหล่านี้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นผลผลิตมะเขือเทศที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากการควบคุมปัจจัยการปลูกให้คงที่ เหลือแต่เฉพาะระบบการดูแลรักษาตามประเภทของระบบการปลูกเท่านั้น

จากการสร้างสมการเพื่อจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ ดังตารางที่ 10 พบว่าผลการจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ที่ได้จากการนำข้อมูลสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นสั้นมีค่าความแม่นยำ เท่ากับ 57.44 เปอร์เซ็นต์ ที่ช่วงความยาวคลื่นช่วงยาวมีค่าความแม่นยำ เท่ากับ 61.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่ามีค่าความแม่นยำไม่สูงนัก จึงไม่สามารถใช้ข้อมูลจากการดูดกลืนแสงเพียงอย่างเดียวมาใช้ในการจำแนกได้ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 9 พบว่าถึงแม้ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด, ไลโคปีนและวิตามินซีจะมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันก็ตาม แต่ช่วงของปริมาณองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้มีการเหลื่อมซ้อนกัน จึงทำให้องค์ประกอบภายในตัวอย่างมะเขือเทศมีความคล้ายคลึงกันมาก ส่งผลให้สเปกตรัม ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการดูดกลืนองค์ประกอบภายในมะเขือเทศมีความคล้ายคลึงกันมาก ดังนั้นการจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ที่ใช้ข้อมูลสเปกตรัมเพียงอย่างเดียวจึงให้ผลการจำแนกปานกลางไม่สูงมากนัก

**ตารางที่ 19** ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมดในดินที่ใช้ในการปลูกมะเขือเทศระบบเกษตรอินทรีย์ และระบบเกษตรเคมี

ตัวอย่างดิน	ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด <sup>1</sup> (%)		
	N	P	K
แปลงอินทรีย์	0.10	0.06	0.66
แปลงเคมี	0.08	0.05	0.66

หมายเหตุ <sup>1</sup>: วิเคราะห์โดยงานทดสอบปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลองมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

### 3. การเลือกสมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

การเลือกสมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดพิจารณาได้จากสมการที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ที่ควรมีค่าใกล้เคียง 1 และพิจารณาค่า SEP ร่วมด้วย โดยที่ค่า SEP ควรมีค่าต่ำ ๆ แต่หากค่า R และค่า SEP มีความใกล้เคียงกันให้พิจารณาจำนวนแฟกเตอร์ร่วมด้วย โดยเลือกสมการที่มีจำนวนแฟกเตอร์น้อยกว่า สำหรับช่วงความยาวคลื่นสั้น ดังตารางที่ 12 สมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV พบว่ามีค่า R สูงที่สุด และมีค่า SEP ต่ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า SEP ของแต่ละสมการกับค่า SEP ของสมการที่เลือก พบว่าสมการเหล่านั้นมีค่า SEP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับสมการอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกสมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV

สำหรับช่วงความยาวคลื่นยาว ดังตารางที่ 12 สมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing ร่วมกับอนุพันธ์อันดับ 1 พบว่ามีค่า SEP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับสมการอื่น ๆ แต่มีค่า R สูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing ร่วมกับอนุพันธ์อันดับ 1

### 3.1 การตีความค่า R และความสามารถของสมการเทียบมาตรฐาน

จากตารางที่ 20 แสดงความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยพิจารณาจากค่า R และค่า SEP พบว่าในช่วงความยาวคลื่นยาวมีค่า R ที่สูงกว่า ในขณะที่ค่า SEP เท่ากัน ดังนั้นสมการเทียบมาตรฐานที่พัฒนาในช่วงความยาวคลื่นยาวมีความสามารถในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในมะเขือเทศเพื่อแบ่งระดับปริมาณค่าเบื้องต้น (screening) ดีกว่าช่วงคลื่นสั้น เนื่องมาจากมะเขือเทศเป็นผักที่มีเปลือกบาง ดังนั้นการวัดสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นยาว ซึ่งมีอำนาจทะลุ 1-3 มิลลิเมตร ก็ทำให้ได้ข้อมูลการดูดกลืนแสงที่เพียงพอในการสร้างสมการเทียบมาตรฐาน ในช่วงคลื่นยาวยังมีความสามารถในการดูดกลืน (molar absorptivity) ขององค์ประกอบต่าง ๆ สูงกว่า จึงทำให้สมการในช่วงความยาวคลื่นยาวมีประสิทธิภาพดีกว่า

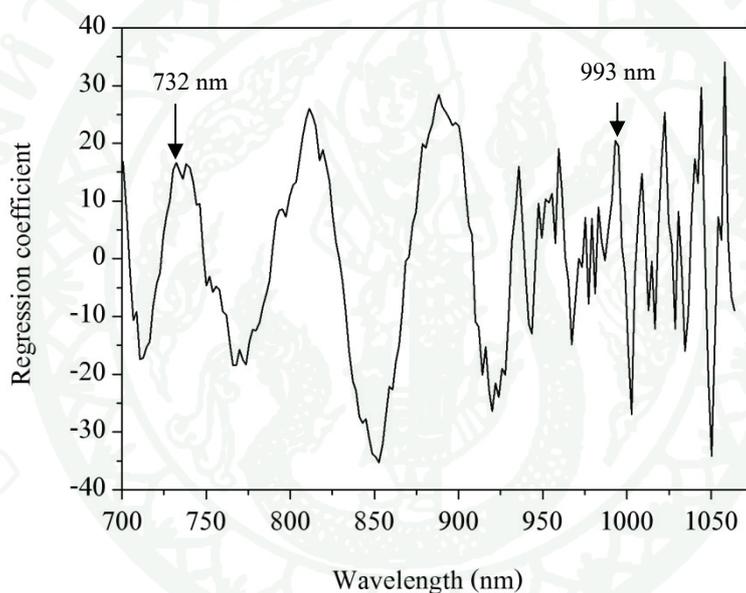
**ตารางที่ 20** การอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ช่วงความยาวคลื่น	R	SEP (%)	ความสามารถของสมการเทียบมาตรฐาน
ช่วงสั้น	0.76	0.35	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (rough screening)
ช่วงยาว	0.86	0.35	การทำนายเพื่อแบ่งระดับปริมาณหรือประมาณค่าเบื้องต้น (screening)

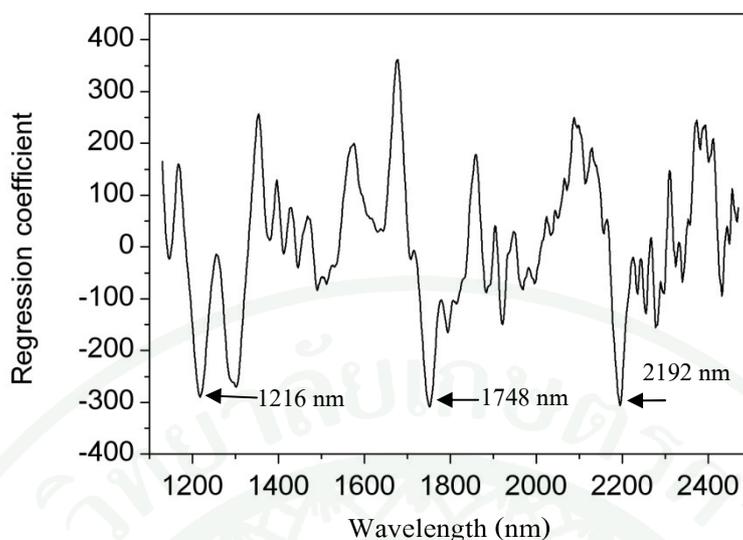
### 3.2 สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

จากสมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression coefficient) ที่ตำแหน่งความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน ในช่วงความยาวคลื่นช่วงสั้นแสดงดังภาพที่ 51 จะเห็นตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ความยาวคลื่น 732 นาโนเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความยาวคลื่น 738 นาโนเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนของพันธะ O-H stretch third overtone ของหมู่ไฮดรอกซิลในสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต (Osborne *et al.*, 1993) และที่

ตำแหน่งความยาวคลื่น 993 นาโนเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับความยาวคลื่น 990 นาโนเมตรที่เป็นตำแหน่งของการดูดกลืนองค์ประกอบ Starch (O-H stretch second overtone) (Osborne *et al.*, 1993) โดยคาร์โบไฮเดรตในพืชและผลไม้จะอยู่ในรูปแป้งและน้ำตาล ซึ่งสำหรับน้ำตาลในมะเขือเทศนั้นประกอบด้วย กลูโคสและฟรุกโตส (จริงแท้, 2541) ที่ช่วงความยาวคลื่นช่วงยาวแสดงดังภาพที่ 52 จะเห็นตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่ความยาวคลื่น 1216 นาโนเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับตำแหน่ง 1218 เป็นตำแหน่งการดูดกลืนที่เกี่ยวข้องกับ Hemicelluloses, ที่ตำแหน่ง 1748 นาโนเมตร ใกล้เคียงกับตำแหน่ง 1750 นาโนเมตรซึ่งเป็นตำแหน่งการดูดกลืนของน้ำตาล  $\alpha$ -D-Glucose และที่ตำแหน่ง 2192 นาโนเมตร ใกล้เคียงกับตำแหน่ง 2191 นาโนเมตร เป็นตำแหน่งของการดูดกลืนน้ำตาล sucrose (Osborne *et al.*, 1993)



ภาพที่ 51 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด



ภาพที่ 52 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

#### 4. การเลือกสมการเทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซี

การเลือกสมการเทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซีจะพิจารณาร่วมกันระหว่างค่า R ที่ควรมีค่าใกล้เคียง 1 และค่า SEP มีค่าต่ำ ๆ ในแต่ละช่วงความยาวคลื่น ในช่วงความยาวคลื่นช่วงสั้น สมการที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี MSC พบว่ามีค่า R สูงที่สุด และมีค่า SEP ต่ำ ดังตารางที่ 14 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า SEP ของแต่ละสมการกับค่า SEP ของสมการที่เลือก พบว่าสมการเหล่านั้นมีค่า SEP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับสมการอื่น ๆ ดังนั้นจึงเลือกสมการที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี MSC ถึงแม้ว่าสมการที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมมีค่า R เท่ากันก็ตาม แต่มีจำนวนแฟกเตอร์มากกว่า

สำหรับช่วงความยาวคลื่นช่วงยาว ดังตารางที่ 14 สมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing ร่วมกับ MSC และอนุพันธ์อันดับ 2 พบว่า มีค่า R สูงที่สุดและมีค่า SEP ต่ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า SEP ของแต่ละสมการกับค่า SEP ของสมการที่เลือก พบว่าสมการเหล่านั้นมีค่า SEP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับสมการอื่น ๆ ดังนั้นจึงเลือกสมการที่ผ่านการปรับแต่งด้วยวิธี smoothing ร่วมกับ MSC และอนุพันธ์อันดับ 2

#### 4.1 การตีความค่า R และความสามารถของสมการเทียบมาตรฐาน

จากตารางที่ 21 แสดงความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานที่ใช้ในการทำนาย ปริมาณวิตามินซี โดยพิจารณาจากค่า R และค่า SEP พบว่าในช่วงความยาวคลื่นยาวมีค่า R สูงกว่า เล็กน้อยแต่ให้ค่า SEP ที่สูงกว่า ดังนั้นสมการเทียบมาตรฐานที่พัฒนาในช่วงความยาวคลื่นสั้น จึงมี ประสิทธิภาพสูงกว่า เพราะให้ค่า SEP ที่ต่ำกว่า สำหรับค่า R นั้นมีความใกล้เคียงกัน โดยที่สมการที่ เลื่อนั้นมีความสามารถในการทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ

การที่สมการเทียบมาตรฐานในช่วงความยาวคลื่นสั้นที่ใช้ในการทำนายปริมาณวิตามิน ซีมีประสิทธิภาพสูงกว่าช่วงความยาวคลื่นยาวนั้น เนื่องจากในช่วงความยาวคลื่นสั้นมีอำนาจ ทะลุตัวอย่างได้ลึกประมาณ 5-10 มิลลิเมตร ซึ่งมากกว่าช่วงคลื่นยาว จึงทำให้ได้ข้อมูลการดูดกลืน องค์ประกอบวิตามินซีภายในผลที่มากกว่า ส่งผลให้สมการเทียบมาตรฐานมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ช่วงคลื่นยาว

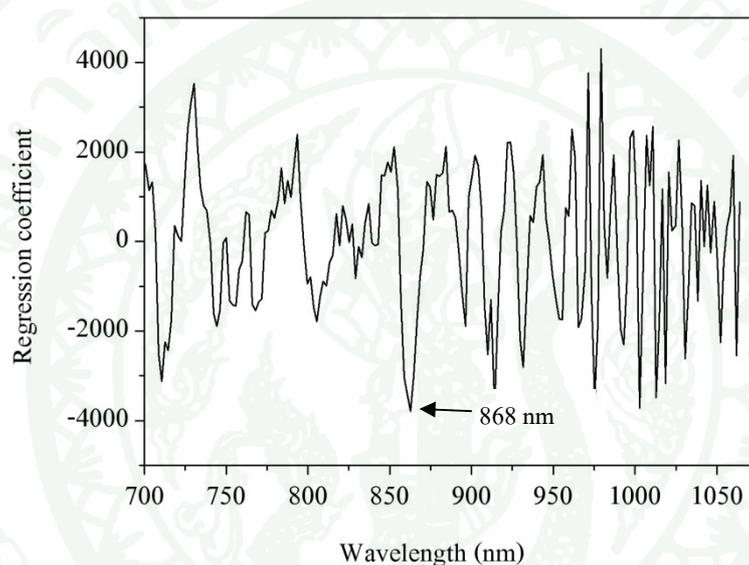
ตารางที่ 21 การอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณวิตามินซี

ช่วงความยาว คลื่น	R	SEP (mg/100g)	ความสามารถของสมการเทียบมาตรฐาน
ช่วงสั้น	0.80	3.64	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (rough screening)
ช่วงยาว	0.83	4.25	การทำนายเพื่อแบ่งระดับปริมาณหรือประมาณค่าเบื้องต้น (screening)

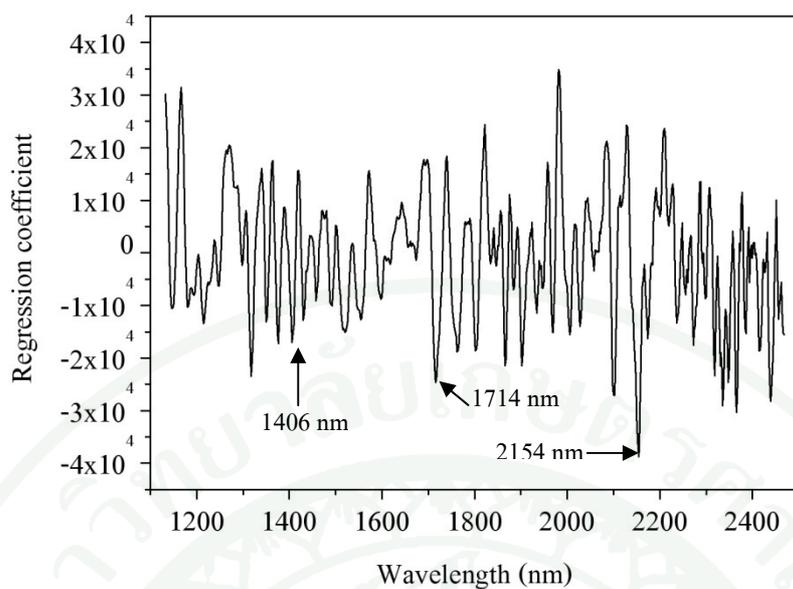
#### 4.2 สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซี

จากสมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression coefficient) ที่ตำแหน่งความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน สำหรับในช่วงความยาวคลื่นช่วงสั้น แสดงดังภาพที่ 53 จะเห็นตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณวิตามินซีที่ความยาวคลื่น 868 นาโนเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับการดูดกลืนของวิตามินซีมาตรฐาน ที่ความยาวคลื่น 866 นาโนเมตร ดังภาพที่ 55 ที่ วัดด้วยด้วยเครื่อง NIR Spectrometer (FQA-NIR GUN)

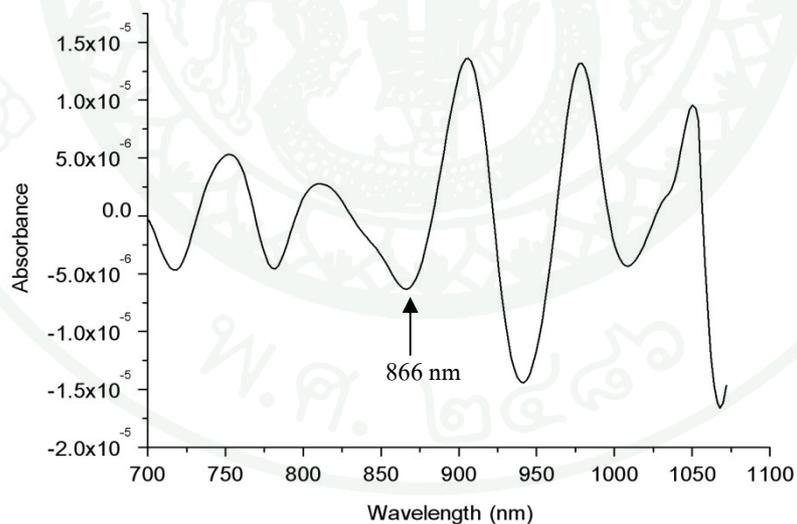
ในช่วงความยาวคลื่นช่วงยาวแสดงดังภาพที่ 54 จะเห็นตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับวิตามินซี ที่ความยาวคลื่น 1406 นาโนเมตร ใกล้เคียงกับความยาวคลื่น 1410 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการดูดกลืนของกลุ่มไฮดรอกซิล (O-H) (O-H stretch first overtone) (Osborne *et al.*, 1993) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวิตามินซี และยังพบตำแหน่งการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 1714 นาโนเมตร ใกล้เคียงกับการดูดกลืนของวิตามินซีมาตรฐานในช่วงความยาวคลื่น 1748 นาโนเมตร และที่ความยาวคลื่น 2154 นาโนเมตร ที่ใกล้เคียงกับการดูดกลืนของวิตามินซีมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 2152 นาโนเมตร ดังภาพที่ 56 ที่วัดด้วยเครื่อง NIR Spectrometer (BRAN+LUBBE รุ่น InfraAlyzer 500)



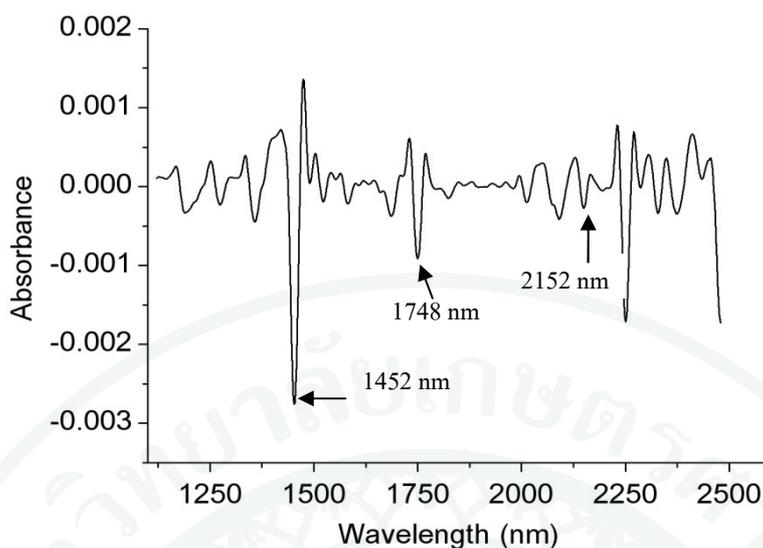
ภาพที่ 53 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซี



ภาพที่ 54 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณวิตามินซี



ภาพที่ 55 สเปกตรัมของวิตามินซีมาตรฐานที่ปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2 ที่ความยาวคลื่นช่วงสั้น



ภาพที่ 56 สเปกตรัมของวิตามินซีมาตรฐานที่ปรับแต่งด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับ 2 ที่ความยาวคลื่นช่วงยาว

##### 5. การเลือกสมการเทียบมาตรฐานปริมาณไลโคปีน

การเลือกสมการเทียบมาตรฐานเพื่อทำนายปริมาณไลโคปีนพิจารณาร่วมกันระหว่างค่า R ที่ควรมีค่าใกล้เคียง 1 และค่า SEP ควรมีค่าต่ำ ๆ ในแต่ละช่วงความยาวคลื่น ในช่วงความยาวคลื่นสั้น ดังตารางที่ 16 สมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV พบว่า มีค่า R สูง และมีค่า SEP ต่ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า SEP ของแต่ละสมการกับค่า SEP ที่เลือก พบว่าสมการเหล่านี้มีค่า SEP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับสมการอื่น ๆ ดังนั้นจึงเลือกสมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV ถึงแม้ว่าสมการที่ไม่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัม จะมีค่า R สูงกว่าก็ตาม แต่เนื่องจากว่ามีจำนวนแฟกเตอร์ที่มากกว่าจึงไม่เป็นสมการที่ดีที่สุด

สำหรับช่วงความยาวคลื่นช่วงยาว ดังตารางที่ 16 สมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี Smoothing ร่วมกับอนุพันธ์อันดับ 2 พบว่า มีค่า R สูง และมีค่า SEP ต่ำที่สุด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า SEP ของแต่ละสมการกับสมการที่เลือก พบว่าสมการเหล่านี้มีค่า SEP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์กับสมการอื่น ๆ ถึงแม้ว่าสมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV จะมีค่า R สูงกว่าก็ตาม แต่ค่า R ก็ใกล้เคียงกันและจำนวนแฟกเตอร์ที่สูงกว่า ดังนั้นจึงเลือกวิธีปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing ร่วมกับอนุพันธ์อันดับ 2

### 5.1 การตีความค่า R และความสามารถของสมการเทียบมาตรฐาน

จากตารางที่ 22 เป็นการแสดงความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายปริมาณไลโคปีน โดยพิจารณาจากค่า R และค่า SEP พบว่า ในช่วงความยาวคลื่นยาวมีค่า R สูงกว่า และมีค่า SEP เท่ากัน ดังนั้นสมการเทียบมาตรฐานที่พัฒนาในช่วงความยาวคลื่นยาวมีความสามารถในการทำนายปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศดีกว่าช่วงความยาวคลื่นสั้น โดยมีความสามารถเพื่อแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ สำหรับช่วงความยาวคลื่นยาวนั้นถึงแม้ว่าจะมีอำนาจทะลุตัวอย่างเพียง 1-3 มิลลิเมตรก็ตาม ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลเฉพาะส่วนบริเวณผิวเปลือกเท่านั้น แต่เพียงพอสำหรับการคัดกรององค์ประกอบของปริมาณไลโคปีนเพราะไลโคปีนเป็นกลุ่มรงควัตถุหลักที่ให้สีแดงซึ่งมีมากในบริเวณผิวมะเขือเทศที่จะเพิ่มปริมาณขึ้นเมื่อผลมะเขือเทศสุก ประกอบกับความยาวคลื่นช่วงนี้มีค่าความสามารถในการคัดกรององค์ประกอบต่าง ๆ สูงกว่า จึงทำให้สมการในช่วงความยาวคลื่นยาวมีประสิทธิภาพดีกว่า

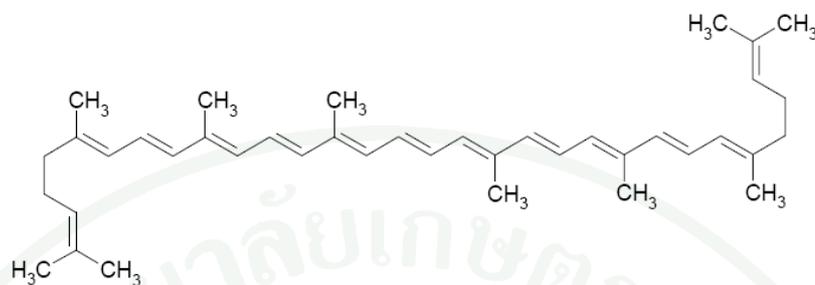
ตารางที่ 22 การอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณไลโคปีน

ช่วงความยาวคลื่น	R	SEP (mg/100g)	ความสามารถของสมการเทียบมาตรฐาน
ช่วงสั้น	0.64	0.11	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ (poor correlation)
ช่วงยาว	0.77	0.11	การทำนายเพื่อแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (rough screening)

### 5.2 สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณไลโคปีน

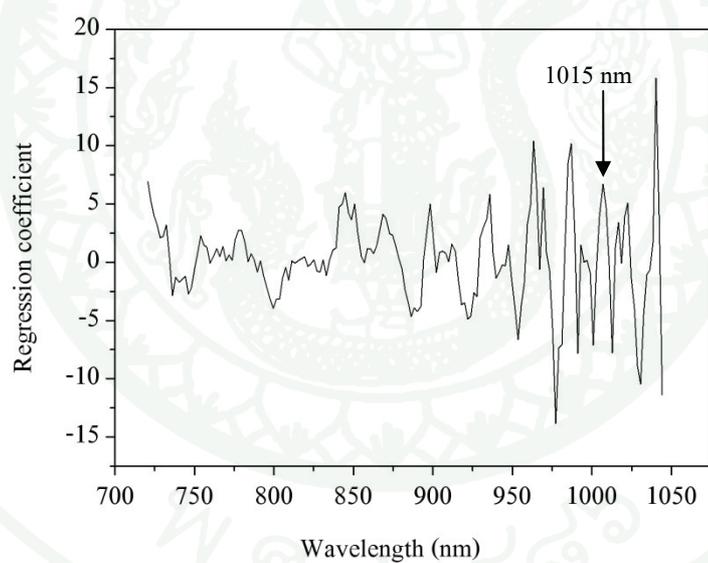
จากสมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression coefficient) ที่ตำแหน่งความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน สำหรับในช่วงความยาวคลื่นช่วงสั้น แสดงดังภาพที่ 58 จะเห็นตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไลโคปีนที่ความยาวคลื่น 1015 นาโนเมตร และในช่วงความยาวคลื่นช่วงยาวแสดงดังภาพที่ 59 จะเห็นตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไลโคปีนที่ความยาวคลื่น 1688 และ 1730 นาโนเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับตำแหน่ง 1695 และ 1705 นาโนเมตรที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนของกลุ่มคาร์บอกซิล ( $\text{CH}_3$ ) (C-H stretch first overtone) (Osborne *et al.*,

1993) ซึ่งมีความสอดคล้องกับโครงสร้างโมเลกุลของไลโคปีน ที่มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_{40}H_{56}$  โดยมีกลุ่ม C-H เป็นโครงสร้างหลัก ดังภาพที่ 57

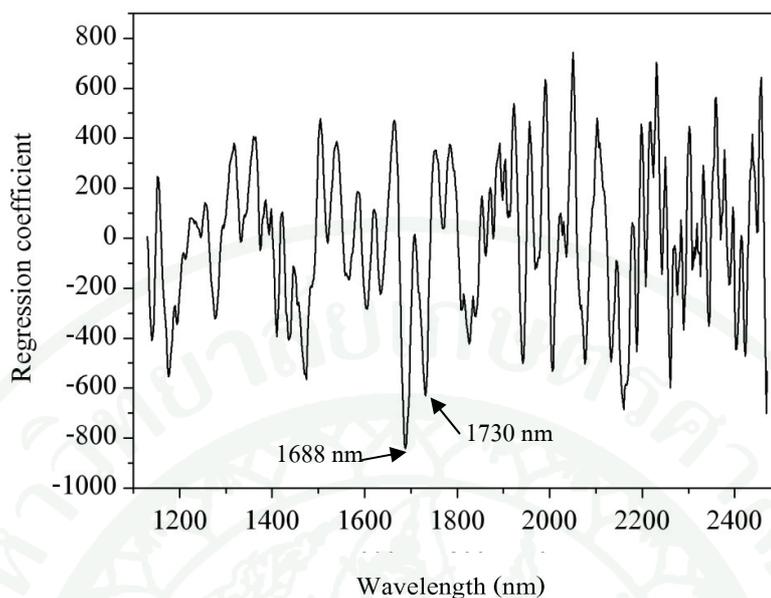


ภาพที่ 57 โครงสร้างโมเลกุลของไลโคปีน

ที่มา: Beer, Z. (2006)



ภาพที่ 58 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณไลโคปีน



ภาพที่ 59 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณไลโคปีน

#### 6. การเลือกสมการเทียบมาตรฐานปริมาณเบต้าแคโรทีน

การเลือกสมการเทียบมาตรฐานปริมาณเบต้าแคโรทีนในแต่ละช่วงความยาวคลื่นนั้น จะพิจารณาร่วมกันระหว่างค่า R ที่ควรมีค่าใกล้เคียง 1 และค่า SEP ควรมีค่าต่ำ สำหรับช่วงความยาวคลื่นสั้นดังตารางที่ 18 พบว่า สมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV พบว่ามีค่า R สูงที่สุด มีค่า SEP ต่ำสุด เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า SEP ของแต่ละสมการกับค่า SEP ของสมการที่เลือก พบว่า สมการเหล่านั้นมีค่า SEP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ กับสมการอื่น ๆ ดังนั้นจึงเลือกสมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี SNV

สำหรับช่วงความยาวคลื่นช่วงยาว ดังตารางที่ 19 สมการที่ผ่านการปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธี smoothing ร่วมกับ MSC พบว่า มีค่า R สูงที่สุด มีค่า SEP ต่ำสุด เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า SEP ของแต่ละสมการกับค่า SEP ของสมการที่เลือก พบว่า สมการเหล่านั้นมีค่า SEP ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

## 6.1 การตีความค่า R และความสามารถของสมการเทียบมาตรฐาน

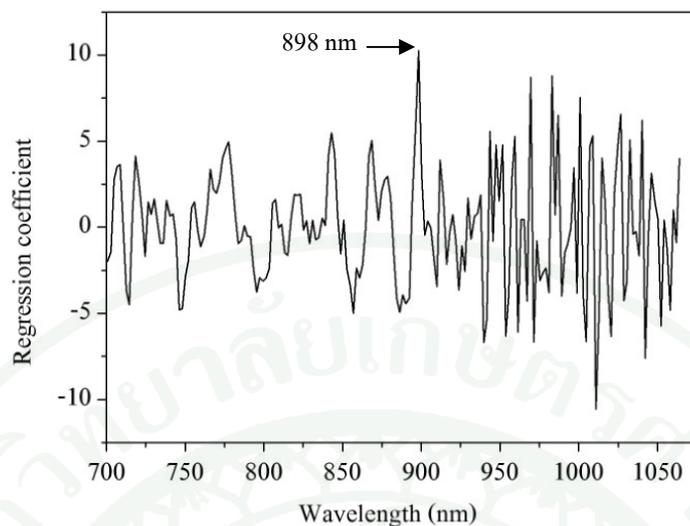
ความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานที่ใช้ในการทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีน พิจารณาได้จากค่า R และค่า SEP ดังตารางที่ 23 พบว่าในช่วงความยาวคลื่นทั้ง 2 ช่วงนั้นมีค่า R ที่ใกล้เคียงกัน และค่า SEP ก็เท่ากัน ดังนั้นสมการเทียบมาตรฐานที่พัฒนาในช่วงความยาวคลื่นสั้น และคลื่นยาวมีความสามารถในการทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีนในมะเขือเทศได้ใกล้เคียงกัน โดยมี ความสามารถในการทำนายเพื่อแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบเหมือนกัน

**ตารางที่ 23** การอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานสำหรับทำนายปริมาณเบต้าแคโรทีน

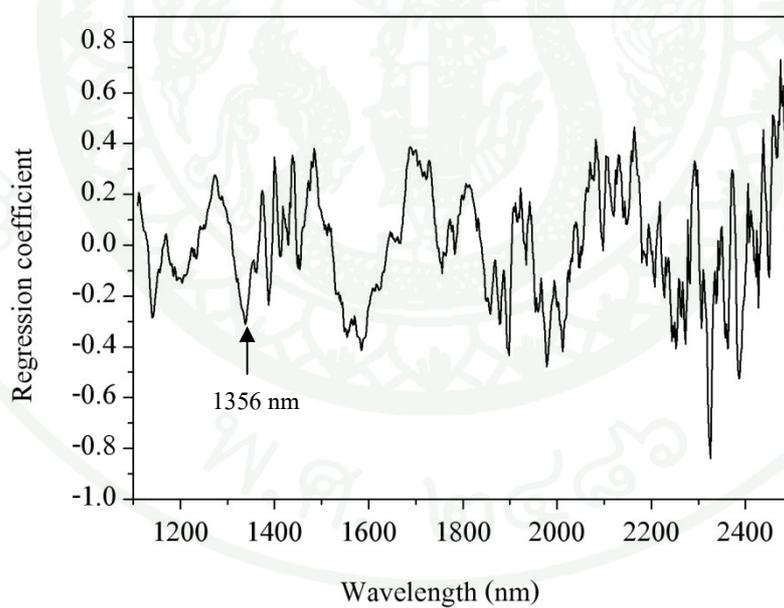
ช่วงความยาวคลื่น	R	SEP (mg/100g)	ความสามารถของสมการเทียบมาตรฐาน
ช่วงสั้น	0.79	0.02	การทำนายเพื่อแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (rough screening)
ช่วงยาว	0.74	0.02	การทำนายเพื่อแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (rough screening)

## 6.2 สัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณเบต้าแคโรทีน

จากสมการเทียบมาตรฐานที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression coefficient) ที่ตำแหน่งความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน สำหรับในช่วงความยาวคลื่นช่วงสั้น แสดงดังภาพที่ 60 จะเห็นตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ความยาวคลื่น 898 นาโนเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับที่ความยาวคลื่น 900 นาโนเมตร ที่เป็นตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนของกลุ่มคาร์บอกซิล ( $\text{CH}_3$ ) ( $2\times\text{C-H stretch} + \text{C-H deformation}$ ) (Osborne *et al.*, 1993) ที่ช่วงความยาวคลื่นช่วงยาวแสดงดังภาพที่ 61 จะเห็นตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับปริมาณเบต้าแคโรทีนที่ความยาวคลื่น 1356 นาโนเมตร ใกล้เคียงกับที่ความยาวคลื่น 1360 นาโนเมตร เป็นตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนของกลุ่มคาร์บอกซิล ( $\text{CH}_3$ ) ( $2\times\text{C-H stretch} + \text{C-H deformation}$ ) (Osborne *et al.*, 1993)



ภาพที่ 60 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 700-1100 นาโนเมตร ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณเบต้าแคโรทีน



ภาพที่ 61 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ในช่วงความยาวคลื่น 1100-2500 นาโนเมตร ของสมการเทียบมาตรฐานปริมาณเบต้าแคโรทีน

ผลจากการสร้างสมการเทียบมาตรฐานขององค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้, วิตามินซี, โกลโคปีน และเบต้าแคโรทีนนั้นหากเปรียบเทียบกับตารางที่ 24 ที่แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นั้นพบว่า ในงานวิจัยนี้สามารถสร้างสมการเทียบมาตรฐานได้ที่ดีที่สุด ที่มีค่า R อยู่ในช่วง 0.81-0.90 ซึ่งสามารถนำไปใช้เพื่อแบ่งระดับปริมาณหรือประมาณค่าเบื้องต้นได้ ถ้าหากต้องการสร้างสมการเทียบมาตรฐานให้มีความสามารถในระดับงานวิจัยก็ควรที่จะมีค่า R อยู่ในช่วง 0.91-0.95 ขึ้นไป

สำหรับแนวทางการปรับปรุงค่า R ให้สูงขึ้น ควรที่จะมีการเตรียมตัวอย่างให้มีค่าพิสัย หรือ Range ของค่าทางเคมีให้กว้างมากที่สุดเท่าที่จะเตรียมได้ โดยการเก็บตัวอย่างในระยะการสุกที่ต่างกัน ก็อาจจะทำให้พิสัยกว้างขึ้น ส่งผลให้สมการมีความสามารถในการทำนายสูงขึ้น

**ตารางที่ 24** แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานด้วยค่า R

Value of R	Interpretation
Up to $\pm 0.5$	ไม่ควรใช้ในการทำนาย (Not Usable)
$\pm 0.51-0.70$	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ (Poor correlation)
$\pm 0.71-0.80$	การทำนายเพื่อการแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ (rough screening)
$\pm 0.81-0.90$	การทำนายแบ่งระดับปริมาณหรือประมาณค่าเบื้องต้น (screening)
$\pm 0.91+0.95$	การทำนายเพื่องานวิจัย (research) และงานทั่วไป
$\pm 0.96-0.98$	การทำนายเพื่อการประกันคุณภาพ (quality assurance)
$\pm 0.99+$	ทุกงาน (any application)

ที่มา: รณฤทธิ (2552)

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

การจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิค NIRS โดยวิธี Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) จากการใช้ข้อมูลการดูดกลืนพลังงาน (สเปกตรัม) เพียงอย่างเดียว ให้ผลการจำแนกที่มีความแม่นยำร้อยละ 57-62 และร้อยละ 84-87 สำหรับมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรเคมี ซึ่งไม่เพียงพอในการนำไปประยุกต์ใช้ในการจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์

การสร้างสมการเทียบมาตรฐานทำนายปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในมะเขือเทศ ประกอบด้วย ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้, วิตามินซี, ไลโคปีน และเบต้าแคโรทีน พบว่าที่สมการเทียบมาตรฐานที่พัฒนาสามารถทำนายปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้และปริมาณวิตามินซี ได้สำหรับแบ่งระดับปริมาณหรือประมาณค่าเบื้องต้นได้ สำหรับสมการเทียบมาตรฐานที่พัฒนาสามารถทำนายปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน ได้สำหรับแบ่งระดับปริมาณอย่างหยาบ

### ข้อเสนอแนะ

การนำเทคนิค NIRS มาใช้เพื่อการจำแนกมะเขือเทศที่ปลูกในระบบเกษตรอินทรีย์นั้น หากใช้ข้อมูลสเปกตรัมของผลจะมีความถูกต้องในการจำแนกต่ำ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพและลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของผลผลิตมะเขือเทศที่ได้จากระบบการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์และระบบเกษตรเคมี มีความคล้ายคลึงกันมาก ทำให้ยากในการจำแนกโดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมเพียงอย่างเดียว ดังนั้นควรมีการนำข้อมูลด้านอื่น ๆ มาประกอบการวิเคราะห์เช่น การตรวจหาสารตกค้าง เป็นต้น

ในการวิเคราะห์ทางด้านปริมาณนั้น หากต้องการที่จะเพิ่มความแม่นยำในการทำนายให้สูงขึ้น ควรที่จะมีการเก็บข้อมูลตัวอย่างให้มีความแปรปรวนให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มพิสัย (Range) ของค่าทางเคมีให้กว้างขึ้น เช่น การเก็บตัวอย่างในระยะการสุกที่แตกต่างกัน หรือฤดูกาลปลูกที่แตกต่างกัน ก็จะส่งผลให้ความแม่นยำในการทำนายของสมการเทียบมาตรฐานสูงขึ้น

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549. รายงานภาวะการผลิตการเกษตรเปรียบเทียบรายปีพืชมะเขือเทศบริโภคสด ปีเพาะปลูก ปี พ.ศ. 2548 ทั้งประเทศ.  
แหล่งที่มา: [http://production.doae.go.th/estimate/reportP5/reportP5\\_display.php](http://production.doae.go.th/estimate/reportP5/reportP5_display.php), 20 ตุลาคม 2549.

กุศล เอี่ยมทรัพย์, เสียงทอง นุตาลัย, สุรนนต์ สุภัทรพันธุ์, ลักขณา พงษ์พงษ์ และพีรชาติ เรืองประดิษฐ์. 2545. การทดสอบมะเขือเทศรับประทานสดสายพันธุ์ใหม่ก่อนนำออกส่งเสริมในพื้นที่โครงการหลวง (ระยะที่ 1). สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ ฯ.

จรววยพร นันทพันธุ์. 2546. การวิเคราะห์ความต้องการมะเขือเทศสดและผลิตภัณฑ์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เขาว์ ศรีวิชัย, สิริ เอกมหาราช และเนตรดาว วิเศษโส. 2547. การรวบรวมเอกสารการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์: เน้นการเพาะเลี้ยงกุ้งทะเลระบบอินทรีย์. กรมประมง, กรุงเทพฯ ฯ.

ณัฐกานต์ นวเศรษฐวิสูตร. 2548. การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายด้วย Near Infrared (NIR) Technology. *Asia Pacific Food Thailand* 3 (13): 12-13.

\_\_\_\_\_, นงนุช เกลิมวาสนันต์, ชงชัย สุวรรณสีชนัน และวารุณี ชนะแพสย์. 2545. การประเมินคุณภาพฝรั่งพันธุ์กลมสาตีด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด, น. 285-289. ใน การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีโลก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.

ธงชัย ยันตรศรี, ดนัย บุญเกียรติ, จริญญา พันธุ์รักษา, วชิราพร เถินมงคลและวิลาวัลย์ คำปวน.

2542. เทคโนโลยีการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลาย (NDT). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC). สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

ธงชัย สถาพรวรรคศักดิ์. 2545. **ผักปลอดภัยจากสารพิษ**. กรมส่งเสริมการเกษตร. แหล่งที่มา :

<http://www.doae.go.th/library/html/veg/pakplodpai.pdf>, 20 มิถุนายน 2549.

ธงชัย สุวรรณลิขิต. 2545. การวิเคราะห์สเปกตรัม NIR ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ, น. 99-

129. ใน การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีโลก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิรมล ปัญญาบุษกุล. 2541. รังควัตถุจากผักและผลไม้. มกค 18 (2): 6-14.

นิพนธ์ ไชยมงคล. 2546. **ผักอินทรีย์**. แหล่งที่มา: <http://www.agric-prod.mju.ac.th/web-veg/>, มกราคม 2549.

นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์. 2545. หลักการพื้นฐานของเทคนิคอินฟราเรดย่านใกล้สเปกโทรสโกปี, น.

39-66. ใน การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีโลก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญหงส์ จงคิด, สมภพ จีบเกาะ และนิธาน ทองโคตร. 2549. ชนิดของพืชผักที่เหมาะสมในการปลูก

ร่วมกันภายใต้ระบบเกษตรอินทรีย์. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย) 14 (1): 25-30.

ปรารธนา อเนกปัญญากุล. 2544. การเปรียบเทียบปริมาณธาตุสังกะสีในผักที่ปลูกแบบเกษตร

อินทรีย์และแบบเกษตรเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปิยาภรณ์ กิ่งบุญ. 2544. การสกัดเบต้าแคโรทีนและไลโคพีนจากของเหลือใช้ในกระบวนการ

การผลิตมะเขือเทศเข้มข้นโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พิมล เรียงวัฒนา. 2524. สเปกโตรสโกปีขั้นพื้นฐานกับการประยุกต์ทางเคมี. ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ อักษรเจริญทัศน์, กรุงเทพฯ ๑.

มูลนิธิสายใยแผ่นดิน. 2549. **ผักปลอดสารพิษ**. แหล่งที่มา :

[http://www.greennetorganic.com/content-thai/main%20framesets/c\\_what's\\_new.html](http://www.greennetorganic.com/content-thai/main%20framesets/c_what's_new.html), 20

มิถุนายน 2549.

วัลย์พร เตียประสิทธิ์. 2548. การทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณกรดทั้งหมดของชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ เพชรสามพราน และทูลเกล้า ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วารุณี ธนะแพสย์. 2545. สถานการณ์ปัจจุบันของงานวิจัยและพัฒนาและการใช้ประโยชน์จากเทคนิค NIR Spectroscopy ในประเทศไทย. น. 25-37. ใน การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีโลก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ๑.

วิฑูรย์ ปัญญากุล. 2549. ทิศทางเกษตรอินทรีย์ในศักราชใหม่. **Food Focus Thailand** 1 (1): 35-40.

\_\_\_\_\_ และ เจษณี สุขจิรัตติกาล. 2546. สถานการณ์เกษตรอินทรีย์ไทย เกษตรอินทรีย์โลก. บริษัท ที ซี จี ฟรีนดิง, กรุงเทพฯ ๑.

วีณา จิรัจฉริยากุล. 2545. มะเจือเทศ. **จุดสารข้อมูลสมุนไพร** 17 (3): 3-11.

วีรศักดิ์ สามี. 2548. แคโรทีนอยด์: โครงสร้างทางเคมีและกลไกที่มีผลต่อการทำหน้าที่ของร่างกาย. **Srinakharinwirot Journal of Pharmaceutical Sciences**. Vol. 10 No. 1.

วันดี กฤษณพันธ์. 2539. **สมุนไพรสารพัดประโยชน์**. ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ ๑.

วรรณกนก ทาสสุวรรณ. 2546. การตรวจสอบคุณภาพของส้มเขียวหวานด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รณฤทธิ์ ฤทธิธรรม. 2551. การประเมินคุณภาพของผลฝรั่งแบบไม่ทำลายเพื่อการค้าในเชิงพาณิชย์. ว.วิทยาศาสตร์การเกษตร. ปีที่ 39 ฉบับที่ 39 (พิเศษ) น. 70-73.

———. 2552. การสร้างระบบ NIR สำหรับการวิเคราะห์ประจำวัน. น. 7-1 - 7-16. ใน เทคโนโลยีอินฟราเรดย่านใกล้ในอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2548. เครื่อง NIR spectroscopy : Instrumentation for Near Infrared spectroscopy. น. 23-28. ใน การตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์ด้วยเทคนิค NIR Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิรินภา ศรีณย์วงศ์, จินดา ศรศรีวิชัย และสุมิโอะ คาวาโนะ. 2545. การใช้ประโยชน์ NIRS กับผลไม้เขตร้อน : ช่วงความยาวคลื่นและเครื่องมือสำหรับการประเมินคุณภาพของมะม่วงสด. น. 213-230. ใน การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีโลก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุมาพร เกษมสำราญ. 2545. ขั้นตอนการสร้างสมการประเมินค่าทางเคมีและการทดสอบสมการในเทคนิคสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. น. 131-151. ใน การอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีโลก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันอาหาร. 2549. รายงานมะเขือเทศส่งออก. แหล่งที่มา :

[http://www.nfi.or.th/stat/%5Csummaryreport%5Csummary\\_special.asp?repnumber=special&flag\\_imex=E&startdate=01/01/2005&stopdate=12/31/2005&subhamonizegroupselect=0000000030](http://www.nfi.or.th/stat/%5Csummaryreport%5Csummary_special.asp?repnumber=special&flag_imex=E&startdate=01/01/2005&stopdate=12/31/2005&subhamonizegroupselect=0000000030) มะเขือเทศ. 21 กันยายน 2549.

สิทธิศักดิ์ วรธนะสิรินทร์. 2548. สถานการณ์เกษตรอินทรีย์ของไทย. สถาบันอาหาร 7 (40): 33-35.

สมทรง เลขะกุล. 2542. ชีวเคมีของวิตามิน. พิมพ์ครั้งที่ 2 . ศุภานิชาการพิมพ์, กรุงเทพฯ ฯ.

สุพรรณิกา เวียนทอง. 2548. การประเมินคุณภาพของน้ำมันปาล์มโดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มสเปกโตรสโกปีย่านใกล้อินฟราเรด. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2546. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553. ปัจจัยการผลิต. แหล่งข้อมูล : <http://www.oae.go.th/factor/pestNew.htm> (20 กุมภาพันธ์ 2553).

สถาบันอาหาร. 2549. สัดส่วนมูลค่าการส่งออกผักและผลิตภัณฑ์ของไทยปี 2548. แหล่งที่มา : <http://www.nfi.or.th/stat/graph11.asp>. 20 ตุลาคม 2549

อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2548. การเตรียมตัวอย่าง และการจัดวางตัวอย่างสำหรับสแกน. น. 29-38. ใน การตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์ด้วยเทคนิค NIR Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีการค้าโลก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2551. การปรับแต่ง NIR spectra ก่อนการวิเคราะห์. น. 47-59. ใน การใช้ประโยชน์จากเทคนิค Near Infrared spectroscopy. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระหว่างวันที่ 20-24 ตุลาคม 2551.

\_\_\_\_\_, วรุณี ชนะแพสย์ และสุพรรณิกา เวียนทอง. 2545. การศึกษาเบื้องต้นในการใช้เทคนิค Near infrared spectroscopy ในการวัดค่า Brix ในน้ำของส้ม. น. 291-293. ในการอบรมเชิงปฏิบัติการ การควบคุมคุณภาพสินค้าด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy เพื่อการแข่งขันในเวทีโลก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.

อัญชลี วงษ์วีระจันทร์. 2528. อายุของผลที่มีต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของมะเขือเทศ.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abushita, A. A., E. A. Emhemed, H. G. Daood and P. A. Biacs. 1997. Determination of  
antioxidant vitamins in tomatoes. **Food Chemistry** 60 (2): 207-212.

\_\_\_\_\_, H. G. Daood and P. A. Biacs. 2000. Change in Carotenoids and Antioxidant  
Vitamins in Tomato as a Function of Varietal and Technological Factors. **J. Agric.  
Food Chem.** 48 : 2075-2081.

Agarwal, S. and A. V. Rao. 2000. Tomato lycopene and its role in human health and chronic  
diseases. **CMAJ** 163 (6): 739-744.

Anonymous. 2006. **Near Infrared**. Available Source:  
[http://mvh.sr.unh.edu/mvhtools/near\\_ir.htm](http://mvh.sr.unh.edu/mvhtools/near_ir.htm), June 20, 2006.

\_\_\_\_\_. 2007. **Beer-Lambert law**. Available Source:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/BeerLambert\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/BeerLambert_law), Jan 04, 2007.

\_\_\_\_\_. 2010. **Ascorbic acid**. Available Source:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Ascorbic\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Ascorbic_acid), April 26, 2010.

Berardo, N., O.V. Brenna, A. Amato, P. Valoti, V. Pisacane and M. Motto. 2004. Carotenoids  
concentration among maize genotypes measured by near infrared reflectance  
spectroscopy (NIRS). **Innovative Food Science & Emerging Technologies** 5 : 393-398.

Brenna, O.V. and N. Berardo. 2004. Application of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy  
(NIRS) to the Evaluation of Carotenoids Content in Maize. **J. Agri. Food Chem** 52:  
5577-5582.

Fern, T. 1996. Comparing standard deviation. **NIR News**: Vol. 7 No. 5:5-6

Foley, W. J., A. McIlwee, I. Lawler, L. Aragones, A. P. Woolnough and N. Berding. 1998.

**Ecological applications of near infrared reflectance spectroscopy a tool for rapid, cost-effective prediction of the composition of plant and animal tissues and aspects of animal performance.** *Oecologia* 116 : 293-305.

Gann, P. H., J. Ma, E. Giovannucci, W. Willett, F. M. Sacks, C. H. Hennekens and M. J.

Stamofor. 1999. Lower Prostate Cancer Risk in Men with Elevated Plasma Lycopene Levels: Results of a Prospective Analysis. **Cancer Research** 59: 1225-1230.

Giovannucci, E. 2005. Tomato Products, Lycopene and Prostate Cancer : A Review of the

Epidemiological Literature. American Society for Nutritional Sciences. **J. Nutr.** 135: 2030S-2031S.

Heaton, S. 2002. Assessing organic food quality : **Is it better for you. P. 55-60. Proceedings of the COR Conference, Aberystwyth, UK.**

Ismail, A. 2003. Determination of Vitamin C,  $\beta$ -carotene and Riboflavin Contents in Five Green Vegetables Organically and Conventionally Grown. **Mal J Nutr** 9 (1) : 31-39.

Kawano, S. 1994. **Quality Inspection of Agricultural Products by Nondestructive Techniques in Japan.** *Farming Japan* 29 (1): 14-19.

\_\_\_\_\_ and S. Saranwong. 2004. Nondestructive Evaluation Technology. In Japan-Thailand Joint Symposium on Nondestructive Evaluation Technology, **The Japanese Society for Food Science and Technology & Kasetsart University Thailand.**

Nagata, M. and I. Yamashita. 1992. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **J. Japan. Soc. Food Sci. technol.** (Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi) 39 (10) : 925-928.

- Nishino, H., H. Tokuda, Y. Satomi, M. Masuda, P. Bu, M. Onozuka, S. Yamaguchi, Y. Okuda, J. Takayasu, J. Tsuruta, M. Okuda, E. Ichiishi, M. Murakoshi, T. Kato, N. Misawa, T. Narisawa, N. Takasuka and M. Yano. 1999. Cancer prevention by carotenoids. **Pure Appl. Chem** 71 (12) :2273-2278.
- Osborn, B.G. 2000. **NIR in Food Analysis. Encyclopedia of Analytical Chemistry.** 1-14.
- \_\_\_\_\_, and Fearn, T, 1993, **Near infrared spectroscopy in food and beverage analysis.** New York : Wiley.
- \_\_\_\_\_, T. Fearn and P.H. Hindle. 1993. **Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis**, 2<sup>nd</sup> ed, Longman Scientific & Technical, England.
- Pedro, A.M. K. and M. M. C. Ferreira. 2005. Nondestructive Determination of Solids and Carotenoids in Tomato Products by Near Infrared Spectroscopy and Multivariate Calibration. **Anal. Chem** 77: 2505-2511.
- Rembialkowska, E.2006. **Organic farming as a system to provide better vegetable quality.** Available Source : [http://www.actahort.org/members/showpf?booknrarnr-604\\_52](http://www.actahort.org/members/showpf?booknrarnr-604_52). Oct 26, 2006.
- Slaughter, D.C., D.Barrett and M. Boersig. 1996. Nondestructive Determination of Soluble Solids in Tomatoes using Near Infrared Spectroscopy. **Journal of Food Science** 61 (4): 695-697.
- Suparlan and K. ITOH. 2004. Application of Visible and Near Infrared Spectroscopy for Nondestructive Analysis of Tomato Quality. **Journal Enjiniring Pertanian** 2 (1): 35-42.
- Steve, E. 2002. **Tomatoes gain strength in cancer battle : new studies boost boost the resume of lycopene and fellow carotenoids.** Food processing.

Veyrat, C. C., M. J. Amiot, V. Tyssandier, D. Grasselly, M. Buret, M. Mikolajczak, J. C.

Guilland, C. B. Demange and P. Borel. 2004. Influence of Organic versus Conventional Agricultural Practice on the Antioxidant Microconstituent Content of Tomatoes and Derived Purees; Consequences on Antioxidant Plasma Status in Humans. **J. Agric. Food Chem.** 52: 6503-6509.

Worthington, V. 1998. **Effect of Agricultural Methods on Nutritional Quality : Comparison of Organic with Conventional Crop.** *Alternative Therapies* 4: 58-69.

\_\_\_\_\_. 2001. Nutritional Quality of Organic Versus Conventional Fruit, Vegetable and Grains. **The journal of Alternative and complementary medicine** 7 (2) : 161-173.

Yang, H. and J. Irudayaraj. 2002. **Rapid determination of vitamin C by NIR, MIR and FT-Raman techniques.** *JPP* 54 : 1247-1255.

Zamora, G. S., E. M. Yahia., J. K. Brecht. And A. Gardea. 2005. **Effects of post harvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit.** *LWT* 38: 657-663.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น  
(700-1100 nm) ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set

ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น  
(700-1100 nm) ในกลุ่ม Calibration sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)
1	O250251_011	2.80	27	O250251_029	3.30
2	N250251_021	2.90	28	O250251_030	3.30
3	O250251_010	3.00	29	O250251_036	3.30
4	O250251_034	3.00	30	O250251_004	3.30
5	O250251_011	3.00	31	O250251_056	3.30
6	O250251_017	3.00	32	N120251_009	3.30
7	O250251_049	3.10	33	N250251_009	3.30
8	O250251_022	3.10	34	N250251_010	3.30
9	O250251_022	3.10	35	N250251_020	3.30
10	O250251_034	3.10	36	N250251_035	3.30
11	N250251_038	3.10	37	N250251_027	3.30
12	O250251_012	3.20	38	N250251_042	3.30
13	N250251_026	3.20	39	N060351_050	3.30
14	O120251_026	3.20	40	N060351_068	3.30
15	O250251_018	3.20	27	O250251_029	3.30
16	O250251_024	3.20	28	O250251_030	3.30
17	O250251_046	3.20	41	O120251_022	3.40
18	O250251_048	3.20	42	O250251_002	3.40
19	N250251_014	3.20	43	N120251_042	3.40
20	O250251_005	3.30	44	N250251_069	3.40
21	O250251_031	3.30	45	N060351_034	3.40
22	O250251_062	3.30	46	O120251_035	3.40
23	N270251_043	3.30	47	O140251_048	3.40
24	O120251_046	3.30	48	O140251_050	3.40
25	O110251_053	3.30	49	O250251_006	3.40
26	O250251_026	3.30	50	O250251_018	3.40

## ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)
51	O250251_002	3.40	77	N250251_030	3.50
52	O250251_014	3.40	78	N250251_001	3.50
53	O060351_004	3.40	79	N250251_016	3.50
54	O060351_007	3.40	80	N250251_044	3.50
55	N250251_035	3.40	81	N250251_078	3.50
56	N250251_062	3.40	82	N270251_029	3.50
57	N250251_084	3.40	83	N270251_064	3.50
58	N250251_086	3.40	84	N270251_065	3.50
59	N060351_022	3.40	85	N060351_038	3.50
60	O140251_047	3.50	86	O120251_034	3.60
61	O250251_032	3.50	87	O250251_028	3.60
62	O250251_057	3.50	88	O250251_047	3.60
63	N250251_019	3.50	89	N120251_003	3.60
64	N270251_048	3.50	90	N250251_031	3.60
65	N060351_063	3.50	91	N270251_019	3.60
66	O120251_014	3.50	92	N060351_031	3.60
67	O120251_050	3.50	93	O120251_011	3.60
68	O140251_024	3.50	94	O120251_016	3.60
69	O250251_001	3.50	95	O120251_036	3.60
70	O250251_008	3.50	96	O120251_037	3.60
71	O250251_025	3.50	97	O110251_056	3.60
72	O250251_050	3.50	98	O140251_025	3.60
73	O060351_001	3.50	99	O250251_004	3.60
74	O250251_052	3.50	100	O250251_009	3.60
75	N250251_016	3.50	101	O250251_017	3.60
76	N250251_024	3.50	102	O250251_020	3.60

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)
103	O250251_030	3.60	129	N060351_059	3.70
104	O250251_044	3.60	130	O110251_003	3.70
105	O250251_053	3.60	131	O120251_019	3.70
106	O250251_054	3.60	132	O120251_021	3.70
107	O250251_068	3.60	133	O110251_060	3.70
108	N120251_050	3.60	134	O140251_049	3.70
109	N250251_004	3.60	135	O250251_024	3.70
110	N250251_012	3.60	136	O250251_005	3.70
111	N250251_033	3.60	137	O250251_012	3.70
112	N250251_034	3.60	138	O250251_039	3.70
113	N250251_037	3.60	139	O060351_009	3.70
114	N250251_013	3.60	140	O250251_058	3.70
115	N250251_037	3.60	141	O250251_060	3.70
116	N250251_083	3.60	142	O250251_075	3.70
117	N250251_085	3.60	143	N120251_015	3.70
118	N270251_062	3.60	144	N120251_037	3.70
119	N060351_026	3.60	145	N250251_002	3.70
120	N060351_053	3.60	146	N250251_003	3.70
121	N060351_056	3.60	147	N250251_026	3.70
122	N060351_060	3.60	148	N250251_028	3.70
123	O140251_033	3.70	149	N250251_045	3.70
124	O250251_010	3.70	150	N250251_079	3.70
125	O250251_055	3.70	151	N270251_034	3.70
126	N120251_006	3.70	152	N270251_039	3.70
127	N250251_063	3.70	153	N060351_016	3.70
128	N270251_051	3.70	154	N060351_023	3.70

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)
155	N060351_058	3.70	180	N250251_043	3.80
156	O110251_054	3.80	181	N250251_061	3.80
157	O250251_015	3.80	182	N270251_033	3.80
158	O060351_008	3.80	183	N270251_042	3.80
159	N250251_008	3.80	184	N060351_012	3.80
160	N250251_060	3.80	185	N060351_013	3.80
161	N270251_050	3.80	186	N060351_025	3.80
162	O120251_017	3.80	187	O120251_015	3.90
163	O120251_045	3.80	188	O120251_033	3.90
164	O120251_048	3.80	189	O250251_001	3.90
165	O110251_057	3.80	190	N120251_030	3.90
166	O140251_031	3.80	191	N250251_033	3.90
167	O250251_014	3.80	192	O120251_018	3.90
168	O250251_019	3.80	193	O120251_020	3.90
169	O250251_038	3.80	194	O120251_025	3.90
170	O250251_045	3.80	195	O120251_041	3.90
171	O250251_059	3.80	196	O120251_042	3.90
172	O250251_074	3.80	197	O120251_047	3.90
173	O270251_002	3.80	198	O110251_055	3.90
174	N120251_017	3.80	199	O250251_026	3.90
175	N250251_022	3.80	200	O250251_069	3.90
171	O250251_059	3.80	201	N120251_008	3.90
176	N250251_023	3.80	202	N120251_044	3.90
177	N250251_028	3.80	203	N250251_003	3.90
178	N250251_009	3.80	204	N250251_007	3.90
179	N250251_039	3.80	205	N250251_015	3.90

## ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)
206	N250251_017	3.90	232	N270251_004	4.00
207	N250251_030	3.90	233	N270251_010	4.00
208	N250251_034	3.90	234	N270251_004	4.00
209	N270251_005	3.90	235	N270251_049	4.00
210	N270251_017	3.90	236	N270251_054	4.00
211	N270251_057	3.90	237	N270251_056	4.00
212	N060351_065	3.90	238	N270251_061	4.00
213	N060351_069	3.90	239	O110251_052	4.10
214	O120251_027	4.00	240	O250251_032	4.10
215	N120251_040	4.00	241	N120251_031	4.10
216	N250251_057	4.00	242	N250251_072	4.10
217	N250251_089	4.00	243	N270251_068	4.10
218	N270251_037	4.00	244	O120251_013	4.10
219	O120251_008	4.00	245	O120251_040	4.10
220	O120251_039	4.00	246	O110251_051	4.10
221	O140251_023	4.00	247	O250251_009	4.10
222	O250251_021	4.00	248	O250251_013	4.10
223	O060351_005	4.00	249	O250251_028	4.10
224	N120251_005	4.00	250	O250251_073	4.10
225	N120251_034	4.00	251	N120251_007	4.10
226	N250251_023	4.00	252	N120251_028	4.10
227	N250251_025	4.00	253	N120251_043	4.10
228	N250251_055	4.00	254	N250251_053	4.10
229	N250251_064	4.00	255	N250251_070	4.10
230	N250251_066	4.00	256	N250251_075	4.10
231	N250251_081	4.00	257	N250251_080	4.10

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)
261	N270251_058	4.10	282	N270251_031	4.20
262	N270251_060	4.10	283	N060351_021	4.20
263	N060351_061	4.10	284	N060351_027	4.20
264	N060351_064	4.10	285	N060351_054	4.20
265	N060351_067	4.10	286	O250251_037	4.30
266	O110251_005	4.20	287	N250251_006	4.30
267	N120251_004	4.20	288	N250251_090	4.30
268	N250251_002	4.20	289	N270251_047	4.30
269	N270251_040	4.20	290	O250251_003	4.30
270	O120251_023	4.20	291	O250251_033	4.30
271	O110251_058	4.20	292	O250251_070	4.30
272	O250251_013	4.20	293	N120251_047	4.30
273	O250251_025	4.20	294	N250251_001	4.30
274	O250251_031	4.20	295	N250251_032	4.30
275	O250251_061	4.20	296	N250251_018	4.30
276	N120251_029	4.20	297	N250251_052	4.30
277	N120251_036	4.20	298	N250251_073	4.30
278	N120251_049	4.20	299	N270251_010	4.30
279	N250251_068	4.20	300	N270251_016	4.30
280	N270251_006	4.20	301	N270251_027	4.30
281	N270251_015	4.20	302	N270251_038	4.30
282	N270251_031	4.20	303	N120251_041	4.40
283	N060351_021	4.20	304	N250251_067	4.40
284	N060351_027	4.20	305	N270251_024	4.40
285	N060351_054	4.20	306	N060351_051	4.40
281	N270251_015	4.20	307	O120251_031	4.40

## ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)
308	O250251_064	4.40	334	N270251_011	4.50
309	O250251_065	4.40	335	N060351_040	4.50
310	O270251_004	4.40	336	N060351_043	4.50
311	N120251_024	4.40	337	N060351_049	4.50
312	N120251_032	4.40	338	N060351_066	4.50
313	N120251_045	4.40	339	N270251_023	4.60
314	N250251_006	4.40	340	N060351_047	4.60
315	N250251_056	4.40	341	O250251_037	4.60
316	N270251_001	4.40	342	O270251_001	4.60
317	N270251_007	4.40	343	N120251_039	4.60
318	N270251_012	4.40	344	N250251_005	4.60
319	N270251_044	4.40	345	N270251_002	4.60
320	N270251_059	4.40	346	N270251_063	4.60
321	N270251_067	4.40	347	N060351_017	4.60
322	N060351_036	4.40	348	N060351_028	4.60
323	N250251_076	4.50	349	N270251_028	4.70
324	N270251_001	4.50	350	N060351_039	4.70
325	N060351_045	4.50	351	N120251_018	4.70
326	O110251_006	4.50	352	N120251_048	4.70
327	O250251_006	4.50	353	N250251_007	4.70
328	O250251_042	4.50	354	N270251_053	4.70
329	N120251_033	4.50	355	N060351_018	4.70
330	N250251_040	4.50	356	N060351_030	4.70
331	N270251_003	4.50	357	N060351_035	4.80
332	N270251_009	4.50	358	N120251_016	4.80
333	N270251_014	4.50	359	N270251_011	4.80

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)
361	N060351_041	4.80
362	N060351_057	4.80
363	O250251_041	4.90
364	N250251_071	4.90
365	N270251_025	4.90
366	O110251_004	5.00
367	N060351_044	5.00
368	N120251_010	5.10
369	N120251_025	5.10
370	N270251_002	5.10
371	N270251_008	5.20
372	N250251_020	5.20
373	N060351_070	5.20
374	N060351_046	5.30
375	N270251_012	5.30
376	N060351_024	5.30
377	N270251_036	5.40
378	N270251_045	5.40
379	N060351_037	5.40
380	N250251_054	5.50
381	N270251_008	5.50
382	N250251_051	5.80

ตารางผนวกที่ ก2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 nm) ในกลุ่ม Validation sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)
1	O250251_023	3.00	27	O250251_066	3.60
2	O250251_035	3.00	28	N250251_014	3.60
3	O060351_010	3.10	29	N250251_036	3.60
4	O250251_007	3.20	30	N060351_015	3.60
5	N250251_005	3.20	31	O110251_007	3.70
6	N250251_017	3.30	32	N250251_015	3.70
7	O250251_027	3.30	33	O120251_012	3.70
8	O250251_008	3.30	34	O250251_015	3.70
9	N250251_011	3.30	35	O250251_040	3.70
10	N060351_011	3.30	36	O270251_003	3.70
11	O250251_033	3.40	37	N250251_036	3.70
12	O120251_044	3.40	38	N270251_018	3.70
13	O250251_020	3.40	39	N060351_055	3.70
14	N250251_025	3.40	40	N120251_020	3.80
15	N250251_087	3.40	41	O120251_029	3.80
16	N250251_029	3.50	42	O140251_046	3.80
17	O120251_038	3.50	43	O060351_002	3.80
18	O250251_016	3.50	44	N120251_035	3.80
19	O250251_063	3.50	45	N250251_031	3.80
20	N250251_010	3.50	46	N270251_035	3.80
21	N270251_046	3.50	47	N060351_042	3.80
22	O140251_027	3.60	48	N250251_012	3.90
23	N250251_032	3.60	49	O120251_030	3.90
24	O120251_024	3.60	50	O250251_007	3.90
25	O140251_028	3.60	51	N120251_046	3.90
26	O250251_027	3.60	52	N250251_022	3.90

## ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	TSS (%)
53	N270251_021	3.90	79	N250251_041	4.40
54	O250251_043	4.00	80	N270251_007	4.40
55	N060351_029	4.00	81	N120251_021	4.50
56	O250251_029	4.00	82	O110251_059	4.50
57	N250251_024	4.00	83	N250251_088	4.50
58	N250251_077	4.00	84	N270251_041	4.50
59	N270251_020	4.00	85	N120251_001	4.60
60	N060351_032	4.00	86	N120251_038	4.60
61	N270251_013	4.10	87	N270251_069	4.60
62	O140251_044	4.10	88	O120251_009	4.70
63	N120251_002	4.10	89	N270251_066	4.70
64	N250251_065	4.10	90	N250251_018	4.80
65	N270251_009	4.10	91	N120251_014	4.90
66	N060351_019	4.10	92	N270251_052	5.00
67	O250251_023	4.20	93	N270251_032	5.10
68	O120251_043	4.20	94	N250251_074	5.30
69	O060351_003	4.20	95	N060351_033	5.40
70	N250251_019	4.20			
71	N270251_070	4.20			
72	N120251_011	4.30			
73	O250251_016	4.30			
74	N250251_013	4.30			
75	N250251_082	4.30			
76	O250251_067	4.40			
77	O120251_010	4.40			
78	N120251_023	4.40			

ภาคผนวก ข

ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น  
(700-1100 nm) ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set

**ตารางผนวกที่ ข1** ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 nm) ใน  
กลุ่ม Calibration sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
1	N060351_019	1.35	27	N060351_013	7.07
2	N060351_030	1.94	28	O250251_054	7.09
3	N060351_032	3.69	29	N270251_045	7.15
4	N060351_035	3.93	30	N270251_039	7.20
5	N270251_013	4.03	31	N270251_025	7.53
6	N060351_050	4.09	32	N270251_032	7.61
7	N060351_016	4.34	33	N270251_040	7.66
8	N270251_005	4.38	34	N270251_001	7.95
9	N060351_027	4.42	35	N060351_069	7.98
10	N270251_011	4.73	36	O250251_063	8.08
11	N270251_013	4.84	37	N060351_059	8.32
12	N270251_043	5.00	38	N060351_031	8.37
13	N060351_062	5.03	39	N270251_062	8.40
14	N270251_004	5.23	40	N060351_070	8.51
15	O270251_004	5.49	41	O250251_067	8.62
16	N060351_018	5.76	42	N060351_020	8.64
17	N250251_013	6.05	43	O250251_052	8.69
18	N060351_044	6.27	44	N250251_087	8.76
19	O250251_066	6.35	45	N060351_025	8.77
20	N060351_057	6.35	46	O250251_069	8.82
21	N250251_089	6.45	47	N060351_051	8.92
22	N250251_020	6.53	48	N270251_069	8.93
23	O250251_051	6.88	49	N250251_021	8.94
24	N270251_033	6.91	50	N270251_006	8.94
25	N060351_023	6.98	51	N270251_056	9.00
26	N060351_054	7.00	52	N270251_001	9.03

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
53	N060351_065	9.12	79	N270251_002	11.11
54	O250251_053	9.17	80	N270251_010	11.14
55	N250251_011	9.37	81	N060351_017	11.19
56	N270251_050	9.38	82	O250251_057	11.20
57	N060351_012	9.47	83	N060351_066	11.34
58	N060351_046	9.58	84	N270251_059	11.37
59	N270251_026	9.69	85	N060351_056	11.41
60	N270251_035	9.80	86	O250251_046	11.48
61	N060351_037	9.85	87	N060351_024	11.62
62	N270251_020	9.89	88	O250251_034	11.79
63	N270251_034	9.96	89	O250251_070	11.86
64	N270251_051	10.09	90	N250251_027	11.89
65	N270251_037	10.22	79	N270251_002	11.11
66	N060351_011	10.29	80	N270251_010	11.14
67	O250251_062	10.31	81	N060351_017	11.19
68	N270251_070	10.50	82	O250251_057	11.20
69	N270251_030	10.54	83	N060351_066	11.34
70	N270251_036	10.60	84	N270251_059	11.37
71	N060351_040	10.74	85	N060351_056	11.41
72	N060351_021	10.76	86	O250251_046	11.48
73	N060351_064	10.76	87	N060351_024	11.62
74	O250251_056	10.83	88	O250251_034	11.79
75	N060351_045	10.86	89	O250251_070	11.86
76	O250251_005	10.89	90	N250251_027	11.89
77	N060351_063	10.90	91	N270251_065	12.09
78	N270251_055	10.93	92	N270251_054	12.10

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
93	O250251_011	12.13	119	N270251_024	13.82
94	O250251_002	12.13	120	O250251_011	13.85
95	O250251_075	12.16	121	N250251_026	14.05
96	N250251_075	12.16	122	O250251_023	14.07
97	N270251_057	12.33	123	O250251_064	14.13
98	N250251_023	12.40	124	N270251_028	14.13
99	O250251_045	12.44	125	N060351_043	14.13
100	N060351_026	12.48	126	N270251_003	14.19
101	N060351_029	12.50	127	O250251_012	14.38
102	O250251_068	12.52	128	O250251_049	14.49
103	O250251_061	12.76	129	N060351_039	14.53
104	N270251_012	12.81	130	N060351_034	14.63
105	N270251_009	12.88	131	O250251_020	14.69
106	N270251_023	12.89	132	O250251_029	14.81
107	N270251_061	12.93	133	O250251_027	14.82
108	N060351_038	12.96	134	N060351_052	14.85
109	N270251_067	13.00	135	N250251_029	14.98
110	N270251_060	13.04	136	N270251_041	15.08
111	O250251_071	13.15	137	N250251_015	15.10
112	N060351_048	13.18	138	O250251_010	15.22
113	O270251_002	13.20	139	O250251_018	15.40
114	O250251_017	13.21	140	O250251_019	15.40
115	N270251_042	13.35	141	O250251_024	15.40
116	N060351_061	13.41	142	O250251_059	15.41
117	O250251_074	13.47	143	O250251_035	15.56
118	N060351_028	13.65	144	O250251_007	15.82

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
145	O250251_047	15.88	155	N060351_014	16.94
146	N250251_012	15.92	156	O250251_014	16.95
147	O250251_010	15.95	157	N250251_010	17.06
148	O250251_008	16.03	158	O250251_028	17.30
149	N250251_024	16.18	159	O250251_039	17.33
150	O250251_023	16.22	160	O250251_030	17.53
151	N270251_022	16.46	161	O250251_029	17.55
152	O250251_025	16.55	162	O140251_024	17.60
153	N270251_027	16.69	163	O250251_016	17.77
154	N250251_007	16.84	164	O250251_013	17.78
155	N060351_014	16.94	165	N250251_022	17.99
156	O250251_014	16.95	166	O250251_041	18.02
157	N250251_010	17.06	167	O250251_031	18.24
158	O250251_028	17.30	168	N250251_028	18.42
159	O250251_039	17.33	169	O250251_050	18.45
160	O250251_030	17.53	170	O250251_014	18.54
145	O250251_047	15.88	171	O250251_015	18.58
146	N250251_012	15.92	172	O250251_026	18.60
147	O250251_010	15.95	173	O250251_013	18.62
148	O250251_008	16.03	174	O250251_004	18.72
149	N250251_024	16.18	175	O250251_004	18.78
150	O250251_023	16.22	176	O250251_037	18.86
151	N270251_022	16.46	177	N060351_053	18.94
152	O250251_025	16.55	178	O250251_009	19.00
153	N270251_027	16.69	179	O250251_003	19.06
154	N250251_007	16.84	180	O250251_022	19.10

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
181	O250251_019	19.10	187	O250251_032	19.55
182	O140251_028	19.13	188	N270251_044	19.71
183	O250251_021	19.23	189	O250251_025	20.03
184	N250251_002	19.33	190	O250251_018	20.29
185	O250251_030	19.50	191	O250251_008	20.41
186	O250251_009	19.52	192	O250251_006	20.42
187	O250251_032	19.55	193	O250251_024	20.43
188	N270251_044	19.71	194	O140251_033	20.57
189	O250251_025	20.03	195	O250251_017	20.71
190	O250251_018	20.29	196	O250251_042	21.36
191	O250251_008	20.41	197	O250251_001	21.37
192	O250251_006	20.42	198	N250251_003	21.38
193	O250251_024	20.43	199	O250251_034	22.55
194	O140251_033	20.57	200	O140251_023	22.72
195	O250251_017	20.71	201	O250251_026	22.85
196	O250251_042	21.36	202	O250251_028	23.13
197	O250251_001	21.37	203	O250251_032	23.70
198	N250251_003	21.38	204	N250251_014	23.81
199	O250251_034	22.55	205	N250251_031	24.90
200	O140251_023	22.72	206	N250251_006	25.00
181	O250251_019	19.10	207	O250251_033	25.65
182	O140251_028	19.13	208	O250251_037	28.26
183	O250251_021	19.23			
184	N250251_002	19.33			
185	O250251_030	19.50			
186	O250251_009	19.52			

ตารางผนวกที่ ข2 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 nm) ใน  
กลุ่ม Validation sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
1	O250251_058	3.51	27	N060351_041	12.89
2	N270251_021	4.26	28	N270251_053	13.12
3	N270251_048	4.84	29	N060351_047	13.23
4	N060351_058	5.33	30	N270251_063	13.68
5	N060351_055	6.27	31	N270251_046	14.07
6	N060351_042	6.63	32	N250251_004	14.23
7	O250251_072	7.01	33	N060351_068	14.68
8	O250251_055	7.21	34	N270251_031	14.94
9	N270251_029	7.97	35	O250251_022	15.26
10	O270251_001	8.40	36	N270251_004	15.52
11	N060351_033	8.67	37	N060351_036	15.95
12	N250251_073	8.86	38	O250251_048	16.39
13	O250251_073	8.96	39	O250251_020	16.85
14	O250251_060	9.22	40	O140251_027	17.32
15	N270251_003	9.61	41	O250251_015	17.62
16	N270251_064	9.93	42	O250251_016	18.07
17	N060351_067	10.29	43	N270251_066	18.55
18	N060351_015	10.67	44	O250251_005	18.77
19	N250251_077	10.84	45	O250251_044	19.05
20	N060351_049	11.02	46	O250251_001	19.19
21	N270251_068	11.22	47	O250251_007	19.55
22	N270251_049	11.51	48	O250251_038	20.34
23	O270251_003	12.03	49	N250251_019	20.66
24	O250251_065	12.16	50	O250251_040	21.39
25	O250251_012	12.40	51	O250251_002	23.48
26	N270251_052	12.66	52	O250251_036	25.27

ภาคผนวก ค

ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นสั้น  
(700-1100 nm) ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set

**ตารางผนวกที่ ค1** ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 nm)) ใน  
กลุ่ม Calibration sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
1	N250251_087	0.184	27	N270251_065	0.326
2	O250251_073	0.228	28	N270251_005	0.328
3	N250251_088	0.238	29	O250251_062	0.335
4	N250251_069	0.238	30	N060351_060	0.337
5	N250251_084	0.248	31	O250251_075	0.341
6	N250251_060	0.261	32	N270251_033	0.341
7	N250251_075	0.268	33	N060351_062	0.347
8	N250251_070	0.271	34	N060351_038	0.351
9	O250251_060	0.271	35	O250251_058	0.351
10	N270251_042	0.281	36	N270251_043	0.354
11	N250251_089	0.284	37	N270251_010	0.355
12	O060351_003	0.284	38	N270251_027	0.359
13	N250251_080	0.286	39	N270251_023	0.359
14	N270251_031	0.289	40	O270251_004	0.360
15	N270251_022	0.292	41	N060351_059	0.364
16	N270251_046	0.295	42	N250251_073	0.368
17	N270251_062	0.296	43	N270251_020	0.369
18	O250251_074	0.307	44	N270251_021	0.369
19	N270251_038	0.310	45	N250251_072	0.372
20	N270251_007	0.312	46	O060351_005	0.377
21	N270251_058	0.313	47	O250251_069	0.380
22	N270251_044	0.315	48	N270251_013	0.383
23	N250251_077	0.316	49	N060351_025	0.384
24	O060351_009	0.316	50	N270251_064	0.385
25	N060351_063	0.322	51	N270251_026	0.385
26	N270251_059	0.324	52	N060351_050	0.386

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
53	N270251_028	0.387	79	N250251_078	0.452
54	N270251_067	0.390	80	N270251_070	0.452
55	O270251_002	0.391	81	N060351_017	0.452
56	N060351_058	0.396	82	N060351_014	0.462
57	N270251_063	0.398	83	N250251_081	0.462
58	N060351_053	0.407	84	N060351_067	0.465
59	N270251_055	0.408	85	N270251_029	0.468
60	N270251_051	0.409	86	N250251_066	0.470
61	O250251_072	0.414	87	O250251_052	0.474
62	O250251_059	0.415	88	N270251_034	0.474
63	N250251_058	0.415	89	O060351_004	0.478
64	N060351_032	0.415	90	O250251_068	0.480
65	N250251_090	0.418	79	N250251_078	0.481
66	N270251_054	0.420	80	N270251_070	0.484
67	N060351_013	0.422	81	N060351_017	0.452
68	N270251_001	0.424	82	N060351_014	0.452
69	N270251_004	0.426	83	N250251_081	0.452
70	N060351_011	0.427	84	N060351_067	0.462
71	N060351_056	0.431	85	N270251_029	0.462
72	N270251_019	0.431	86	N250251_066	0.465
73	N250251_051	0.433	87	O250251_052	0.468
74	N270251_014	0.433	88	N270251_034	0.470
75	N270251_017	0.434	89	O060351_004	0.474
76	N060351_069	0.436	90	O250251_068	0.474
77	O250251_051	0.439	91	N250251_056	0.478
78	N270251_037	0.445	92	N060351_064	0.480

## ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
93	N250251_052	0.484	119	N060351_048	0.554
94	N250251_062	0.487	120	N060351_012	0.555
95	N060351_030	0.488	121	N270251_016	0.558
96	N060351_042	0.490	122	N250251_055	0.564
97	O250251_055	0.495	123	N060351_024	0.565
98	N060351_054	0.502	124	N250251_054	0.570
99	N060351_027	0.511	125	O060351_010	0.572
100	N060351_019	0.511	126	N270251_047	0.579
101	N270251_024	0.516	127	O270251_001	0.581
102	N060351_016	0.518	128	N250251_057	0.590
103	N060351_035	0.518	129	N060351_031	0.596
104	N270251_040	0.518	130	N270251_036	0.604
105	N270251_025	0.519	131	N250251_065	0.608
106	N270251_006	0.522	132	N250251_079	0.608
107	O060351_008	0.526	133	O060351_007	0.610
108	N250251_053	0.527	134	N060351_036	0.624
109	N250251_067	0.529	135	N270251_011	0.624
110	N270251_018	0.532	136	N060351_043	0.626
111	N270251_015	0.534	137	N270251_052	0.635
112	N060351_023	0.534	138	N060351_046	0.640
113	N250251_085	0.536	139	N270251_045	0.641
114	N060351_015	0.539	140	O060351_006	0.665
115	N270251_002	0.540	141	N060351_020	0.672
116	N250251_064	0.541	142	N270251_012	0.682
117	N060351_065	0.542	143	N250251_076	0.726
118	N060351_021	0.552	144	N060351_034	0.738

## ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
145	N060351_039	0.738
146	N060351_045	0.750
147	N250251_063	0.751
148	N270251_008	0.758
149	N060351_044	0.783
150	N060351_033	0.798
151	N060351_037	0.870

ตารางผนวกที่ ค2 ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 nm) ใน  
กลุ่ม Validation sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
1	O250251_070	0.227	27	N270251_057	0.519
2	N250251_086	0.256	28	N060351_029	0.531
3	O270251_003	0.276	29	N270251_041	0.536
4	O250251_054	0.287	30	N270251_053	0.547
5	O060351_001	0.298	31	N060351_026	0.562
6	N060351_068	0.314	32	N250251_061	0.574
7	N270251_035	0.324	33	N250251_059	0.599
8	N250251_083	0.335	34	N060351_052	0.611
9	N270251_048	0.350	35	N250251_074	0.635
10	N060351_022	0.356	36	N060351_018	0.680
11	N270251_003	0.365	37	N270251_032	0.738
12	O250251_063	0.374	38	N060351_051	0.788
13	N250251_082	0.384	27	N270251_057	0.519
14	O250251_066	0.388	28	N060351_029	0.531
15	N270251_049	0.402	29	N270251_041	0.536
16	O060351_002	0.414	30	N270251_053	0.547
17	N270251_061	0.418	31	N060351_026	0.562
18	O250251_067	0.426	32	N250251_061	0.574
19	N270251_060	0.433	33	N250251_059	0.599
20	N060351_061	0.442	34	N060351_052	0.611
21	N060351_055	0.454	35	N250251_074	0.635
22	N270251_009	0.469	36	N060351_018	0.680
23	N270251_039	0.479	37	N270251_032	0.738
24	N060351_041	0.486	38	N060351_051	0.788
25	N270251_066	0.495			
26	N060351_047	0.517			



**ภาคผนวก ง**

ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น  
(700-1100 nm) ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set

ตารางผนวกที่ ง1 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 nm )  
ในกลุ่ม Calibration sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
1	N270251_004	0.069	27	N250251_075	0.103
2	O250251_070	0.085	28	N060351_068	0.104
3	N270251_065	0.085	29	N060351_025	0.104
4	N270251_019	0.085	30	N270251_020	0.104
5	N060351_053	0.085	31	N270251_013	0.106
6	O250251_069	0.089	32	O250251_062	0.106
7	N270251_062	0.092	33	N250251_089	0.107
8	N270251_042	0.092	34	N270251_048	0.107
9	O250251_073	0.093	35	N060351_056	0.107
10	N270251_035	0.096	36	N060351_023	0.107
11	N250251_077	0.096	37	O270251_002	0.107
12	N060351_050	0.097	38	N270251_067	0.108
13	N250251_073	0.097	39	N270251_026	0.108
14	N250251_069	0.098	40	N250251_083	0.108
15	N270251_043	0.098	41	N250251_088	0.109
16	N270251_010	0.098	42	N250251_051	0.109
17	N270251_046	0.098	43	O060351_001	0.109
18	N060351_028	0.099	44	N060351_022	0.110
19	O250251_060	0.101	45	N250251_084	0.110
20	N270251_031	0.101	46	N060351_048	0.111
21	O250251_058	0.102	47	N060351_065	0.111
22	N270251_021	0.102	48	N270251_037	0.111
23	N060351_030	0.102	49	N060351_054	0.112
24	N270251_003	0.102	50	O060351_005	0.112
25	N270251_038	0.103	51	O060351_002	0.112
26	N270251_005	0.103	52	N270251_009	0.113

## ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
53	N270251_029	0.113	79	N270251_054	0.120
54	N250251_080	0.113	80	O250251_075	0.120
55	N270251_016	0.113	81	N270251_007	0.120
56	N060351_016	0.114	82	N270251_040	0.121
57	N270251_049	0.114	83	O250251_072	0.121
58	N060351_062	0.115	84	O060351_004	0.121
59	N250251_056	0.115	85	N250251_059	0.122
60	N270251_058	0.115	86	N250251_086	0.123
61	O250251_054	0.115	87	N250251_067	0.123
62	N270251_064	0.116	88	O250251_067	0.123
63	N060351_069	0.116	89	N270251_061	0.123
64	O270251_004	0.116	90	N250251_090	0.124
65	N270251_051	0.116	91	O250251_068	0.124
66	N270251_018	0.117	92	N270251_011	0.125
67	N060351_055	0.117	93	N250251_072	0.125
68	N060351_047	0.117	94	N270251_022	0.126
69	N060351_042	0.117	95	N270251_060	0.126
70	N270251_033	0.117	96	N270251_052	0.126
71	N270251_044	0.118	97	N270251_053	0.127
72	O250251_066	0.118	98	N270251_028	0.128
73	O250251_063	0.118	99	N270251_002	0.128
74	O060351_003	0.119	100	O060351_010	0.128
75	N060351_014	0.119	101	N250251_052	0.129
76	N270251_059	0.119	102	N250251_066	0.131
77	N270251_027	0.119	103	N060351_032	0.131
78	N060351_067	0.120	104	N060351_029	0.131

## ตารางผนวกที่ ง1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
106	N250251_057	0.133	132	O060351_007	0.150
107	N250251_053	0.134	133	N060351_021	0.151
108	N270251_063	0.134	134	N060351_046	0.155
109	N250251_079	0.134	135	N250251_063	0.157
110	N060351_013	0.135	136	N250251_074	0.157
111	N270251_023	0.135	137	O060351_006	0.158
112	N270251_057	0.135	138	N060351_024	0.159
113	N060351_026	0.136	139	N060351_040	0.160
114	N270251_036	0.137	140	N060351_017	0.160
115	N250251_085	0.138	141	N270251_070	0.160
116	N270251_025	0.138	142	N060351_070	0.162
117	O060351_008	0.140	143	N060351_045	0.162
118	N250251_064	0.141	144	O250251_051	0.164
119	N060351_041	0.141	145	N270251_066	0.164
120	O250251_059	0.141	146	N060351_037	0.169
121	N250251_081	0.143	147	N270251_008	0.174
122	O250251_052	0.145	148	N060351_033	0.179
123	N270251_047	0.145	149	N060351_018	0.179
124	N250251_054	0.145			
125	N250251_065	0.146			
126	N060351_052	0.147			
127	N060351_039	0.148			
128	N060351_034	0.148			
129	N060351_031	0.149			
130	N270251_006	0.150			
131	N270251_032	0.150			

ตารางผนวกที่ ง2 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นสั้น (700-1100 nm )  
ในกลุ่ม Validation sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g
1	N060351_063	0.081	27	N250251_078	0.132
2	N060351_038	0.089	28	N060351_036	0.135
3	N060351_058	0.093	29	N270251_045	0.137
4	N270251_001	0.098	30	N250251_082	0.140
5	N060351_060	0.099	31	N060351_020	0.144
6	N250251_070	0.102	32	N060351_035	0.147
7	O250251_074	0.103	33	N250251_076	0.149
8	N270251_034	0.104	34	N060351_012	0.153
9	N060351_059	0.107	35	N060351_044	0.159
10	N270251_017	0.108	36	N060351_051	0.162
11	N270251_014	0.109	37	N270251_012	0.169
12	N250251_055	0.111			
13	N250251_062	0.112			
14	N060351_061	0.113			
15	O270251_003	0.115			
16	O270251_001	0.115			
17	N250251_061	0.117			
18	N060351_064	0.117			
19	N060351_011	0.118			
20	N250251_058	0.119			
21	N060351_043	0.121			
22	N270251_024	0.122			
23	N270251_015	0.123			
24	N250251_060	0.126			
25	N270251_041	0.127			
26	N270251_055	0.130			

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก จ

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นยาว  
(1100-2500 nm) ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set

พ.ศ. ๒๕๖๖

**ตารางผนวกที่ จ1** ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 nm) ในกลุ่ม Calibration sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%
1	O250251_011	2.80	27	O110251_053	3.30
2	N250251_021	2.90	28	O250251_027	3.30
3	O250251_010	3.00	29	O250251_029	3.30
4	O250251_034	3.00	30	O250251_036	3.30
5	O250251_O11	3.00	31	O250251_O04	3.30
6	O250251_O17	3.00	32	N110251_009	3.30
7	O250251_O35	3.00	33	N250251_010	3.30
8	N250251_O38	3.10	34	N250251_011	3.30
9	O250251_022	3.10	35	N250251_020	3.30
10	O250251_O22	3.10	36	N250251_O42	3.30
11	O250251_O34	3.10	37	N060351_050	3.30
12	O250251_O18	3.20	38	N060351_068	3.30
13	N250251_014	3.20	39	O250251_006	3.40
14	O250251_012	3.20	40	O250251_019	3.40
15	N250251_026	3.20	27	O110251_053	3.30
16	O250251_007	3.20	28	O250251_027	3.30
17	O250251_O24	3.20	29	O250251_029	3.30
18	O250251_O46	3.20	30	O250251_036	3.30
19	O250251_O48	3.20	31	O250251_O04	3.30
20	N270251_043	3.30	32	N110251_009	3.30
21	O250251_030	3.30	33	N250251_010	3.30
22	N250251_009	3.30	34	N250251_011	3.30
23	N250251_027	3.30	35	N250251_020	3.30
24	O250251_031	3.30	36	N250251_O42	3.30
25	O250251_062	3.30	37	N060351_050	3.30
26	N250251_017	3.30	38	N060351_068	3.30

## ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%
39	O250251_006	3.40	53	N250251_025	3.40
40	O250251_019	3.40	54	N250251_O35	3.40
41	N110251_042	3.40	55	N250251_062	3.40
42	N250251_087	3.40	56	N060351_022	3.40
43	O110251_022	3.40	57	N060351_034	3.40
44	N250251_027	3.40	58	N250251_016	3.50
45	N250251_086	3.40	59	O110251_050	3.50
46	O110251_002	3.40	60	O250251_063	3.50
47	O140251_048	3.40	61	N250251_001	3.50
48	O250251_002	3.40	62	N270251_046	3.50
49	O250251_018	3.40	63	O250251_008	3.50
50	O250251_020	3.40	64	N250251_010	3.50
39	O250251_006	3.40	65	N270251_029	3.50
40	O250251_019	3.40	66	N060351_038	3.50
41	N110251_042	3.40	67	O110251_014	3.50
42	N250251_087	3.40	68	O140251_047	3.50
43	O110251_022	3.40	69	O250251_001	3.50
44	N250251_027	3.40	70	O250251_016	3.50
45	N250251_086	3.40	71	O250251_032	3.50
46	O110251_002	3.40	72	O250251_052	3.50
47	O140251_048	3.40	73	O250251_057	3.50
48	O250251_002	3.40	74	O250251_072	3.50
49	O250251_018	3.40	75	N250251_024	3.50
50	O250251_020	3.40	76	N250251_030	3.50
51	O250251_033	3.40	77	N250251_016	3.50
52	O060351_007	3.40	78	N250251_019	3.50

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%
79	N250251_O44	3.50	105	O250251_028	3.60
80	N270251_048	3.50	106	O250251_O20	3.60
81	N270251_064	3.50	107	O250251_O30	3.60
82	N060351_062	3.50	108	O250251_053	3.60
83	N060351_063	3.50	109	O250251_066	3.60
84	N250251_004	3.60	110	O250251_068	3.60
85	O110251_001	3.60	111	N110251_050	3.60
86	O110251_036	3.60	112	N250251_014	3.60
87	O250251_009	3.60	113	N250251_031	3.60
88	N110251_003	3.60	114	N250251_037	3.60
89	N250251_032	3.60	115	N250251_013	3.60
90	N250251_083	3.60	116	N250251_O36	3.60
91	N060351_026	3.60	117	N250251_085	3.60
92	O250251_004	3.60	118	N270251_019_2	3.60
93	O250251_O27	3.60	119	N270251_055	3.60
94	O250251_054	3.60	120	N060351_031	3.60
95	N250251_034	3.60	121	N060351_053	3.60
96	N270251_062	3.60	122	N060351_060	3.60
97	N060351_056	3.60	123	O250251_015	3.70
98	O110251_011	3.60	124	O110251_021	3.70
99	O110251_024	3.60	125	O250251_O05	3.70
100	O110251_034	3.60	126	O250251_055	3.70
101	O110251_056	3.60	127	N110251_013	3.70
102	O140251_025	3.60	128	N270251_034	3.70
103	O140251_027	3.60	129	N060351_058	3.70
104	O250251_017	3.60	130	O110251_019	3.70

## ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%
131	O250251_O39	3.70	157	O250251_059	3.80
132	N110251_015	3.70	158	O110251_029	3.80
133	N250251_036	3.70	159	O140251_046	3.80
134	N060351_016	3.70	160	N110251_020	3.80
135	O110251_003	3.70	161	N250251_O31	3.80
136	O110251_012	3.70	162	N270251_035	3.80
137	O110251_060	3.70	163	O110251_017	3.80
138	O140251_033	3.70	164	O250251_O15	3.80
139	O140251_049	3.70	165	N110251_035	3.80
140	O250251_O10	3.70	166	N250251_009	3.80
141	O250251_O12	3.70	167	N250251_061	3.80
142	O250251_O40	3.70	168	O110251_045	3.80
143	O060351_009	3.70	169	O110251_048	3.80
144	O250251_075	3.70	170	O110251_054	3.80
145	O270251_003	3.70	171	O140251_031	3.80
146	N110251_006	3.70	172	O250251_014	3.80
147	N110251_037	3.70	173	O250251_O19	3.80
148	N250251_003	3.70	174	O250251_O38	3.80
149	N250251_015	3.70	175	O060351_008	3.80
150	N250251_028	3.70	176	O270251_002	3.80
151	N250251_O45	3.70	177	N110251_017	3.80
152	N270251_018_2	3.70	178	N250251_022	3.80
153	N270251_039	3.70	179	N250251_023	3.80
154	N270251_051	3.70	180	N250251_008	3.80
155	N060351_023	3.70	181	N250251_O39	3.80
156	N060351_059	3.70	182	N250251_O43	3.80

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%
183	N250251_060	3.80	209	N270251_005_2	3.90
184	N270251_042	3.80	210	N270251_017_2	3.90
185	N270251_050	3.80	211	N270251_021	3.90
186	N060351_013	3.80	212	N060351_069	3.90
187	N060351_042	3.80	213	N250251_023	4.00
188	N250251_O34	3.90	214	O110251_027	4.00
189	O110251_030	3.90	215	N110251_005	4.00
190	O250251_O26	3.90	216	N250251_089	4.00
191	N250251_003	3.90	217	N270251_049	4.00
192	N270251_022	3.90	218	O110251_039	4.00
193	O110251_042	3.90	219	O060351_005	4.00
194	O250251_O07	3.90	220	N270251_010	4.00
195	N110251_044	3.90	221	N270251_054	4.00
196	N270251_057	3.90	222	O110251_008	4.00
197	O110251_015	3.90	223	O140251_023	4.00
198	O110251_020	3.90	224	O250251_O29	4.00
199	O110251_025	3.90	225	O250251_O43	4.00
200	O110251_049	3.90	226	N110251_019	4.00
201	O110251_055	3.90	227	N110251_034	4.00
202	O250251_O01	3.90	228	N250251_024	4.00
203	O250251_069	3.90	229	N250251_057	4.00
204	N110251_030	3.90	230	N250251_064	4.00
205	N250251_007	3.90	231	N250251_077	4.00
206	N250251_012	3.90	232	N270251_004	4.00
207	N250251_017	3.90	233	N270251_004_2	4.00
208	N250251_O33	3.90	234	N270251_020_2	4.00

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%
235	N270251_037	4.00	261	N270251_026	4.10
236	N270251_061	4.00	262	N270251_058	4.10
237	N060351_029	4.00	263	N270251_060	4.10
238	N060351_032	4.00	264	N060351_064	4.10
239	O110251_013	4.10	265	N060351_067	4.10
240	O140251_044	4.10	266	O250251_O25	4.20
241	N110251_007	4.10	267	O110251_043	4.20
242	N250251_065	4.10	268	N250251_002	4.20
243	N270251_009_2	4.10	269	N270251_070	4.20
244	O250251_O09	4.10	270	O110251_023	4.20
245	N110251_002	4.10	271	N110251_036	4.20
246	N110251_043	4.10	272	N060351_021	4.20
247	N250251_075	4.10	273	O110251_005	4.20
248	O110251_040	4.10	274	O110251_058	4.20
249	O110251_051	4.10	275	O250251_013	4.20
250	O110251_052	4.10	276	O250251_O31	4.20
251	O250251_O13	4.10	277	N110251_004	4.20
252	O250251_O32	4.10	278	N110251_029	4.20
253	O250251_073	4.10	279	N110251_049	4.20
254	N110251_012	4.10	280	N250251_068	4.20
255	N110251_028	4.10	281	N270251_015_2	4.20
256	N250251_053	4.10	282	N270251_031	4.20
257	N250251_070	4.10	283	N270251_040	4.20
258	N250251_072	4.10	284	N270251_016_2	4.30
259	N250251_080	4.10	285	N110251_011	4.30
260	N270251_013_2	4.10	286	N250251_018	4.30

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%
287	N270251_027	4.30	313	N250251_056	4.40
288	N250251_001	4.30	314	N250251_067	4.40
289	N250251_052	4.30	315	N270251_001	4.40
290	O250251_037	4.30	316	N270251_059	4.40
291	O250251_003	4.30	317	N270251_067	4.40
292	O250251_070	4.30	318	N060351_051	4.40
293	N110251_047	4.30	319	O250251_042	4.50
294	N250251_013	4.30	320	N110251_033	4.50
295	N250251_032	4.30	321	N270251_001_2	4.50
296	N250251_073	4.30	322	N060351_049	4.50
297	N250251_082	4.30	323	N250251_040	4.50
298	N250251_090	4.30	324	N060351_043	4.50
299	N270251_010_2	4.30	325	O110251_006	4.50
300	N270251_047	4.30	326	O250251_006	4.50
301	N250251_041	4.40	327	N110251_021	4.50
302	O250251_065	4.40	328	N110251_027	4.50
303	N110251_045	4.40	329	N250251_076	4.50
304	O110251_031	4.40	330	N250251_088	4.50
305	N110251_023	4.40	331	N270251_003	4.50
306	N270251_012	4.40	332	N270251_011_2	4.50
307	N060351_036	4.40	333	N270251_041	4.50
308	O250251_064	4.40	334	N060351_040	4.50
309	O250251_067	4.40	335	N060351_045	4.50
310	O270251_004	4.40	336	O250251_037	4.60
311	N110251_024	4.40	337	N270251_069	4.60
312	N250251_006	4.40	338	O270251_001	4.60

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%
339	N270251_023	4.60	365	N250251_021	5.10
340	N110251_001	4.60	366	N110251_010	5.10
341	N110251_039	4.60	367	N270251_030	5.10
342	N270251_002	4.60	368	N270251_008_2	5.20
343	N270251_063	4.60	369	N060351_070	5.20
344	N060351_028	4.60	370	N060351_046	5.30
345	N110251_018	4.70	371	N250251_074	5.30
346	N060351_018	4.70	372	N270251_036	5.40
347	N270251_028	4.70	373	N060351_037	5.40
348	N110251_048	4.70	374	N250251_011	5.40
349	N250251_007	4.70	375	N270251_045	5.40
350	N270251_066	4.70	376	N060351_014	5.50
351	N060351_030	4.70	377	N250251_054	5.50
352	N060351_035	4.80	378	N270251_008	5.50
353	N110251_016	4.80	379	N270251_013	5.60
354	N250251_018	4.80	380	N250251_008	5.90
355	N270251_006_2	4.80			
356	N060351_048	4.80			
357	N060351_057	4.80			
358	N110251_014	4.90			
359	O250251_041	4.90			
360	N270251_025	4.90			
361	O110251_004	5.00			
362	N250251_059	5.00			
363	N270251_052	5.00			
364	N270251_002_2	5.10			

**ตารางผนวกที่ จ2** ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นยาว  
(1100-2500 nm) ในกลุ่ม Valodation sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%
1	O250251_O23	3.00	27	O250251_O47	3.60
2	O250251_O49	3.10	28	N250251_012	3.60
3	O060351_010	3.10	29	N250251_O32	3.60
4	O110251_026	3.20	30	N060351_015	3.60
5	N250251_005	3.20	31	N250251_079	3.70
6	O250251_005	3.30	32	N250251_026	3.70
7	O250251_026	3.30	33	O250251_060	3.70
8	O250251_O08	3.30	34	O110251_007	3.70
9	N250251_035	3.30	35	O250251_024	3.70
10	O110251_035	3.40	36	O250251_058	3.70
11	O250251_O02	3.40	37	N250251_002	3.70
12	O140251_050	3.40	38	N250251_063	3.70
13	O250251_O14	3.40	39	N060351_055	3.70
14	N250251_084	3.40	40	O250251_O45	3.80
15	O250251_025	3.50	41	O110251_057	3.80
16	O250251_O50	3.50	42	N060351_012	3.80
17	O140251_024	3.50	43	O250251_003	3.80
18	O250251_035	3.50	44	O250251_074	3.80
19	N250251_029	3.50	45	N250251_028	3.80
20	N250251_078	3.50	46	N270251_033	3.80
21	O110251_016	3.60	47	O110251_018	3.90
22	O250251_O44	3.60	48	N250251_030	3.90
23	O110251_037	3.60	49	N250251_015	3.90
24	N250251_O37	3.60	50	O110251_047	3.90
25	O110251_032	3.60	51	N110251_008	3.90
26	O140251_028	3.60	52	N250251_022	3.90

## ตารางผนวกที่ จ2

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	%
53	N060351_065	3.90	79	N270251_044	4.40
54	N250251_055	4.00	80	O110251_059	4.50
55	N250251_066	4.00	81	N270251_014	4.50
56	O250251_O21	4.00	82	N110251_026	4.50
57	N110251_040	4.00	83	N270251_009	4.50
58	N250251_081	4.00	84	N060351_066	4.50
59	N270251_056	4.00	85	N060351_047	4.60
60	N270251_014_2	4.10	86	N060351_017	4.60
61	N270251_068	4.10	87	N060351_039	4.70
62	N060351_019	4.10	88	N270251_011	4.80
63	O250251_O28	4.10	89	N060351_041	4.80
64	N110251_031	4.10	90	N250251_071	4.90
65	N270251_003_2	4.10	91	N060351_044	5.00
66	N060351_061	4.10	92	N270251_032	5.10
67	O250251_061	4.20	93	N270251_012_2	5.30
68	N270251_006	4.20	94	N060351_033	5.40
69	O250251_023	4.20	95	N250251_051	5.80
70	N250251_019	4.20			
71	N060351_027	4.20			
72	O250251_O16	4.30			
73	O250251_O33	4.30			
74	N250251_006	4.30			
75	N270251_038	4.30			
76	N270251_007-2	4.40			
77	O110251_010	4.40			
78	N110251_032	4.40			



ตารางผนวกที่ ๑1 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 nm) ใน  
กลุ่ม Calibration sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
1	O250251_058	3.51	27	N270251_039	7.20
2	N060351_032	3.69	28	O250251_055	7.21
3	N060351_035	3.93	29	N270251_025	7.53
4	N060351_050	4.09	30	N270251_040	7.66
5	N270251_008	4.22	31	N270251_001_2	7.95
6	N060351_016	4.34	32	N270251_029	7.97
7	N060351_027	4.42	33	N060351_069	7.98
8	N270251_011	4.73	34	N060351_059	8.32
9	N270251_048	4.84	35	N060351_031	8.37
10	N270251_043	5.00	36	N270251_062	8.40
11	N060351_062	5.03	37	N060351_070	8.51
12	N270251_004_2	5.23	38	N060351_020	8.64
13	N060351_058	5.33	39	N060351_033	8.67
14	N060351_018	5.76	40	O250251_052	8.69
15	N060351_044	6.27	41	O060351_006	8.75
16	N060351_055	6.27	42	N060351_025	8.77
17	O250251_066	6.35	43	O250251_069	8.82
18	N250251_089	6.45	44	N250251_073	8.86
19	N250251_020	6.53	45	N060351_051	8.92
20	N060351_042	6.63	46	N270251_006	8.94
21	O250251_051	6.88	47	N250251_021	8.94
22	N060351_023	6.98	48	O250251_073	8.96
23	N060351_054	7.00	49	N270251_056	9.00
24	O250251_072	7.01	50	N060351_065	9.12
25	N060351_013	7.07	51	O250251_053	9.17
26	N270251_045	7.15	52	O250251_060	9.22

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
53	N250251_011	9.37	81	O250251_057	11.20
54	O060351_005	9.45	82	N060351_066	11.34
55	N060351_012	9.47	83	N270251_059	11.37
56	N060351_046	9.58	84	N060351_056	11.41
57	N270251_003_2	9.61	85	O250251_O46	11.48
58	N270251_035	9.80	86	N060351_024	11.62
59	N060351_037	9.85	87	O250251_O34	11.79
60	N270251_020_2	9.89	88	O250251_070	11.86
61	N270251_064	9.93	89	N250251_027	11.89
62	N270251_051	10.09	90	N270251_054	12.10
63	N270251_037	10.22	91	O250251_011	12.13
64	N250251_033	10.25	92	O250251_O02	12.13
65	N060351_011	10.29	93	O250251_065	12.16
66	O250251_062	10.31	94	N250251_075	12.16
67	N270251_070	10.50	95	O060351_009	12.18
68	N270251_030	10.54	96	O250251_033	12.31
69	N270251_036	10.60	97	N270251_057	12.33
70	N060351_040	10.74	98	O250251_O12	12.40
71	N060351_021	10.76	99	O250251_O45	12.44
72	N060351_064	10.76	100	N060351_026	12.48
73	O250251_056	10.83	101	N060351_029	12.50
74	N060351_045	10.86	102	N270251_052	12.66
75	O250251_O05	10.89	103	O250251_061	12.76
76	N060351_063	10.90	104	N250251_034	12.80
77	N270251_055	10.93	105	N270251_012	12.81
78	N270251_002	11.11	106	N060351_041	12.89

ตารางผนวกที่ ๑1 (ต่อ)

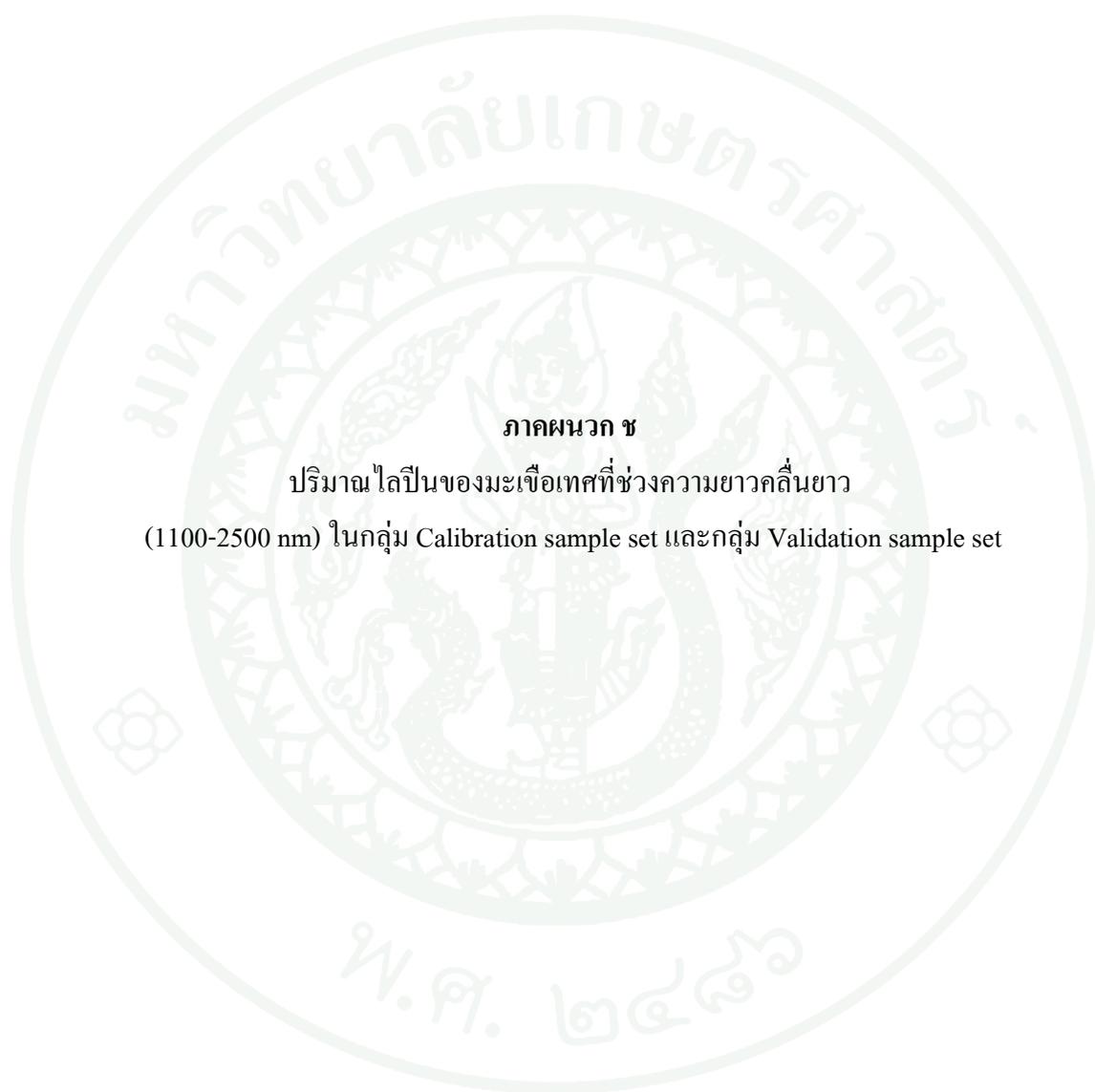
ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
107	N270251_023	12.89	133	N270251_031	14.94
108	N270251_061	12.93	134	N270251_041	15.08
109	N060351_038	12.96	135	N250251_015	15.10
110	N270251_060	13.04	136	O250251_O10	15.22
111	N270251_053	13.12	137	O250251_O22	15.26
112	O250251_071	13.15	138	O250251_O18	15.40
113	N060351_048	13.18	139	O250251_O24	15.40
114	N060351_047	13.23	140	O250251_059	15.41
115	N270251_042	13.35	141	N270251_004	15.52
116	N060351_061	13.41	142	O250251_007	15.82
117	O250251_074	13.47	143	O250251_O47	15.88
118	N250251_026	14.05	144	N250251_012	15.92
119	O250251_O23	14.07	145	N060351_036	15.95
120	N270251_046	14.07	146	O250251_O08	16.03
121	N060351_043	14.13	147	N250251_024	16.18
122	N270251_028	14.13	148	O250251_023	16.22
123	N270251_003	14.19	149	O250251_O48	16.39
124	N250251_004	14.23	150	O250251_025	16.55
125	O250251_012	14.38	151	N270251_027	16.69
126	N060351_039	14.53	152	N250251_007	16.84
127	N060351_034	14.63	153	O250251_O20	16.85
128	N060351_068	14.68	154	O250251_O14	16.95
129	O250251_020	14.69	155	N250251_010	17.06
130	O250251_O29	14.81	156	O250251_O28	17.30
131	O250251_O27	14.82	157	O140251_027	17.32
132	N060351_052	14.85	158	O250251_O30	17.53

ตารางผนวกที่ ๑๑ (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
160	O140251_024	17.60	186	N270251_044	19.71
161	O250251_015	17.62	187	O250251_O25	20.03
162	O250251_013	17.78	188	O250251_018	20.29
163	O250251_035	17.91	189	O250251_O38	20.34
164	N250251_022	17.99	190	O250251_O06	20.42
165	O250251_O41	18.02	191	O250251_024	20.43
166	O250251_O31	18.24	192	O250251_031	20.56
167	N250251_028	18.42	193	O140251_033	20.57
168	O250251_O50	18.45	194	O250251_O42	21.36
169	O250251_036	18.53	195	O250251_001	21.37
170	N270251_066	18.55	196	N250251_003	21.38
171	O250251_O15	18.58	197	O250251_O40	21.39
172	O250251_O26	18.60	198	O250251_034	22.55
173	O250251_O13	18.62	199	O250251_026	22.85
174	O250251_005	18.77	200	O250251_002	23.48
175	O250251_004	18.78	201	O250251_032	23.70
176	O250251_O37	18.86	202	N250251_016	23.89
177	O250251_009	19.00	203	N250251_006	25.00
178	O250251_O03	19.06	204	O250251_037	28.26
179	O250251_022	19.10	201	O250251_032	23.70
180	O140251_028	19.13	202	N250251_016	23.89
181	O250251_O01	19.19	203	N250251_006	25.00
182	N250251_002	19.33	204	O250251_037	28.26
183	O250251_030	19.50			
184	O250251_O09	19.52			
185	O250251_O07	19.55			

ตารางผนวกที่ ๑๒ ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 nm) ใน  
กลุ่ม Validation sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
1	N270251_058	3.52	27	N270251_009	12.88
2	N270251_021	4.26	28	N270251_067	13.00
3	N270251_013_2	4.84	29	O250251_O17	13.21
4	O060351_004	5.49	30	N270251_063	13.68
5	N060351_057	6.35	31	O250251_064	14.13
6	N270251_033	6.91	32	O250251_O49	14.49
7	O250251_054	7.09	33	N250251_036	14.74
8	N270251_032	7.61	34	N250251_029	14.98
9	O250251_063	8.08	35	O250251_O19	15.40
10	O250251_067	8.62	36	O250251_O35	15.56
11	N250251_087	8.76	37	O250251_010	15.95
12	N270251_069	8.93	38	N270251_022	16.46
13	N270251_001	9.03	39	N060351_014	16.94
14	N270251_050	9.38	40	O250251_O39	17.33
15	N270251_026	9.69	41	O250251_O16	17.77
16	N270251_034	9.96	42	O250251_016	18.07
17	N060351_067	10.29	43	O250251_014	18.54
18	N060351_015	10.67	44	O250251_O04	18.72
19	N250251_077	10.84	45	O250251_O44	19.05
20	N060351_049	11.02	46	O250251_O21	19.23
21	N270251_068	11.22	47	O250251_O32	19.55
22	N270251_049	11.51	48	O250251_008	20.41
23	N270251_065	12.09	49	O250251_017	20.71
24	O250251_075	12.16	50	N270251_038	21.92
25	N250251_023	12.40	51	N250251_014	23.81
26	O250251_068	12.52			



ตารางผนวกที่ ข1 ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 nm) ใน  
กลุ่ม Calibration sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
1	N250251_087	0.184	27	N270251_005_2	0.328
2	O250251_070	0.227	28	N250251_083	0.335
3	O250251_073	0.228	29	O250251_075	0.341
4	N250251_088	0.238	30	N270251_033	0.341
5	N250251_084	0.248	31	N060351_028	0.347
6	N250251_086	0.256	32	N060351_062	0.347
7	N250251_075	0.268	33	N060351_038	0.351
8	N250251_070	0.271	34	O250251_058	0.351
9	O270251_003	0.276	35	N270251_043	0.354
10	N270251_056	0.279	36	N270251_010_2	0.355
11	N270251_042	0.281	37	N270251_027	0.359
12	N250251_089	0.284	38	N270251_023	0.359
13	O250251_054	0.287	39	O270251_004	0.360
14	N270251_031	0.289	40	N060351_059	0.364
15	N270251_046	0.295	41	N250251_073	0.368
16	N270251_062	0.296	42	N270251_020_2	0.369
17	O250251_074	0.307	43	N270251_021	0.369
18	N270251_038	0.310	44	N250251_072	0.372
19	N270251_007-2	0.312	45	O060351_005	0.377
20	N270251_058	0.313	46	O250251_069	0.380
21	N270251_044	0.315	47	N270251_013_2	0.383
22	N250251_077	0.316	48	N060351_025	0.384
23	O060351_009	0.316	49	N270251_064	0.385
24	N060351_063	0.322	50	N270251_026	0.385
25	N270251_059	0.324	51	N060351_050	0.386
26	N270251_065	0.326	52	N270251_028	0.387

## ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
53	N270251_068	0.389	79	N270251_070	0.452
54	N270251_067	0.390	80	N060351_017	0.452
55	O270251_002	0.391	81	N060351_014	0.462
56	N060351_058	0.396	82	N250251_081	0.462
57	N270251_049	0.402	83	N060351_067	0.465
58	N060351_053	0.407	84	N270251_029	0.468
59	N270251_055	0.408	85	N250251_066	0.470
60	N270251_051	0.409	86	N270251_034	0.474
61	O250251_059	0.414	87	O060351_004	0.478
62	N250251_058	0.415	88	N270251_039	0.479
63	N060351_032	0.415	89	N250251_056	0.481
64	N250251_090	0.418	90	N060351_064	0.484
65	N270251_054	0.420	91	N250251_052	0.484
66	N060351_013	0.422	92	N060351_041	0.486
67	N270251_001_2	0.424	93	N060351_042	0.490
68	N270251_004_2	0.426	94	O250251_055	0.495
69	N060351_011	0.427	95	N270251_066	0.495
70	N060351_056	0.431	96	O250251_065	0.502
71	N270251_019_2	0.431	97	N060351_027	0.511
72	N250251_051	0.433	98	N060351_019	0.511
73	N270251_014_2	0.433	99	N270251_024	0.516
74	N270251_017_2	0.434	100	N060351_047	0.517
75	N060351_069	0.436	101	N060351_035	0.518
76	O250251_051	0.439	102	N270251_040	0.518
77	N270251_037	0.445	103	N270251_025	0.519
78	N250251_078	0.452	104	N270251_057	0.519

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
105	O060351_008	0.526	131	O060351_007	0.610
106	N250251_053	0.527	132	N060351_036	0.624
107	N250251_067	0.529	133	N060351_043	0.626
108	N060351_029	0.531	134	N270251_052	0.635
109	N270251_015_2	0.534	135	N250251_074	0.635
110	N060351_023	0.534	136	N060351_046	0.640
111	N270251_041	0.536	137	O060351_006	0.665
112	N250251_085	0.536	138	N060351_020	0.672
113	N270251_002_2	0.540	139	N060351_018	0.680
114	N250251_064	0.541	140	N270251_012_2	0.682
115	N060351_065	0.542	141	N270251_050	0.735
116	N270251_053	0.547	142	N060351_034	0.738
117	N060351_048	0.554	143	N060351_039	0.738
118	N060351_012	0.555	144	N270251_032	0.738
119	N270251_016_2	0.558	145	N270251_008_2	0.758
120	N060351_026	0.562	146	N060351_040	0.765
121	N060351_024	0.565	147	N060351_070	0.776
122	N250251_054	0.570	148	N060351_044	0.783
123	O060351_010	0.572	149	N060351_033	0.798
124	N250251_061	0.574	150	N060351_037	0.870
125	O270251_001	0.581	151	N060351_049	0.894
126	N250251_057	0.590			
127	N060351_031	0.596			
128	N250251_059	0.599			
129	N250251_065	0.608			
130	N250251_079	0.608			

ตารางผนวกที่ ข2 ปริมาณไลโคปีนของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นยาว (1100-2500 nm) ใน  
กลุ่ม Validation sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
1	N250251_069	0.238	27	N270251_018_2	0.532
2	O250251_060	0.271	28	N060351_015	0.539
3	N250251_080	0.286	29	N060351_021	0.552
4	N250251_068	0.297	30	N250251_055	0.564
5	N060351_068	0.314	31	N270251_047	0.579
6	N270251_035	0.324	32	N270251_036	0.604
7	N060351_060	0.337	33	N270251_011_2	0.624
8	N270251_048	0.350	34	N270251_045	0.641
9	N060351_022	0.356	35	N250251_076	0.726
10	N270251_003_2	0.365	35	N250251_076	0.750
11	O250251_063	0.374	36	N060351_045	0.788
12	N250251_082	0.384	37	N060351_051	0.532
13	O250251_066	0.388			
14	N270251_063	0.398			
15	O250251_072	0.414			
16	N270251_061	0.418			
17	O250251_067	0.426			
18	N270251_060	0.433			
19	N060351_061	0.442			
20	N060351_055	0.454			
21	N270251_009_2	0.469			
22	O250251_068	0.480			
23	N250251_062	0.487			
24	N060351_054	0.502			
25	N060351_016	0.518			
26	N270251_006_2	0.522			



**ภาคผนวก ข**

ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศในช่วงความยาวคลื่นยาว  
(1100-2500 nm) ในกลุ่ม Calibration sample set และกลุ่ม Validation sample set

ตารางผนวกที่ ซ1 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว  
(1100-2500 nm) ในกลุ่ม Calibration sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
1	N270251_004_2	0.069	27	N060351_068	0.104
2	O250251_070	0.085	28	O060351_009	0.104
3	N270251_019_2	0.085	29	N270251_034	0.104
4	N060351_053	0.085	30	N270251_013_2	0.106
5	N060351_038	0.089	31	N250251_089	0.107
6	N270251_062	0.092	32	N270251_048	0.107
7	N270251_042	0.092	33	N060351_056	0.107
8	O250251_073	0.093	34	N060351_023	0.107
9	N060351_058	0.093	35	O270251_002	0.107
10	N270251_035	0.096	36	N270251_017_2	0.108
11	N250251_077	0.096	37	N270251_067	0.108
12	N060351_050	0.097	38	N250251_083	0.108
13	N250251_073	0.097	39	N250251_088	0.109
14	N250251_069	0.098	40	N270251_014_2	0.109
15	N270251_043	0.098	41	N250251_051	0.109
16	N270251_010_2	0.098	42	N250251_084	0.110
17	N270251_046	0.098	43	N250251_055	0.111
18	O250251_060	0.101	44	N060351_048	0.111
19	N270251_031	0.101	45	N270251_068	0.111
20	O250251_058	0.102	46	N270251_037	0.111
21	N250251_070	0.102	47	N060351_054	0.112
22	N060351_030	0.102	48	N250251_062	0.112
23	N270251_003_2	0.102	49	O060351_005	0.112
24	N270251_038	0.103	50	N270251_029	0.113
25	O250251_074	0.103	51	N060351_061	0.113
26	N250251_075	0.103	52	N250251_080	0.113

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
53	N270251_016_2	0.113	79	O250251_072	0.121
54	N270251_049	0.114	80	O060351_004	0.121
55	O270251_003	0.115	81	N250251_059	0.122
56	N060351_062	0.115	82	N250251_086	0.123
57	N250251_056	0.115	83	N250251_067	0.123
58	N270251_058	0.115	84	O250251_067	0.123
59	O270251_001	0.115	85	N270251_061	0.123
60	N270251_064	0.116	86	N250251_090	0.124
61	O270251_004	0.116	87	O250251_068	0.124
62	N270251_051	0.116	88	N270251_011_2	0.125
63	N270251_018_2	0.117	89	N250251_072	0.125
64	N250251_061	0.117	90	N270251_022	0.126
65	N060351_047	0.117	91	N270251_060	0.126
66	N060351_042	0.117	92	N270251_052	0.126
67	N060351_064	0.117	93	N270251_053	0.127
68	N270251_033	0.117	94	O250251_065	0.128
69	O250251_066	0.118	95	N270251_028	0.128
70	O250251_063	0.118	96	N270251_002_2	0.128
71	N060351_011	0.118	97	O060351_010	0.128
72	N270251_059	0.119	98	N270251_055	0.130
73	N250251_058	0.119	99	N250251_066	0.131
74	N060351_067	0.120	100	N060351_032	0.131
75	O250251_075	0.120	101	N060351_029	0.131
76	N270251_054	0.120	102	N250251_078	0.132
77	N270251_007-2	0.120	103	N250251_057	0.133
78	N270251_040	0.121	104	N250251_053	0.134

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
105	N270251_063	0.134	131	N250251_063	0.157
106	N270251_039	0.135	132	N250251_074	0.157
107	N060351_036	0.135	133	O060351_006	0.158
108	N060351_013	0.135	134	N060351_024	0.159
109	N270251_023	0.135	135	N060351_040	0.160
110	N060351_026	0.136	136	N270251_070	0.160
111	N270251_045	0.137	137	N060351_017	0.160
112	N270251_036	0.137	138	N060351_070	0.162
113	N250251_085	0.138	139	N060351_045	0.162
114	O060351_008	0.140	140	O250251_051	0.163
115	N250251_082	0.140	141	N270251_066	0.164
116	N250251_064	0.141	142	N060351_037	0.169
117	O250251_059	0.141	143	N270251_008_2	0.174
118	N250251_081	0.143	144	N060351_049	0.178
119	N060351_020	0.144	145	N060351_033	0.179
120	N270251_047	0.145	146	N060351_066	0.183
121	N250251_054	0.145	147	N060351_027	0.195
122	N060351_035	0.147			
123	N060351_052	0.147			
124	N060351_034	0.148			
125	N060351_039	0.148			
126	N250251_076	0.149			
127	N270251_006_2	0.150			
128	N270251_032	0.150			
129	O060351_007	0.150			
130	N060351_012	0.153			

ตารางผนวกที่ ข2 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของมะเขือเทศที่ช่วงความยาวคลื่นยาว  
(1100-2500 nm) ในกลุ่ม Validation sample set

ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	mg/100g	ตัวอย่าง	รหัสตัวอย่าง	Mg/100g
1	N060351_063	0.081	27	N250251_079	0.134
2	O250251_069	0.089	28	N270251_057	0.135
3	N270251_056	0.095	29	N270251_025	0.138
4	N270251_001_2	0.098	30	N060351_041	0.141
5	N060351_060	0.099	31	N250251_065	0.146
6	N270251_021	0.102	32	N060351_031	0.149
7	N270251_005_2	0.103	33	N060351_021	0.151
8	N270251_020_2	0.104	34	N060351_044	0.159
9	N060351_059	0.107	35	N060351_051	0.162
10	N270251_026	0.108	36	N270251_012_2	0.169
11	N060351_022	0.110	37	N060351_018	0.179
12	N060351_065	0.111			
13	N270251_009_2	0.113			
14	N060351_016	0.114			
15	O250251_054	0.115			
16	N060351_069	0.116			
17	N060351_055	0.117			
18	N270251_044	0.118			
19	N270251_027	0.119			
20	N060351_043	0.121			
21	N270251_024	0.122			
22	N270251_015_2	0.123			
23	N250251_060	0.126			
24	N270251_041	0.127			
25	N250251_052	0.129			
26	N060351_015	0.131			

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายกฤตกร ทรัพย์เจริญ  
เกิดวันที่ 27 มิถุนายน 2525  
สถานที่เกิด อำเภอสีชล จังหวัดนครศรีธรรมราช  
ประวัติการศึกษา วท.บ. (เทคโนโลยีอาหาร) มหาวิทยาลัยรังสิต  
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ รางวัลระดับชมเชย สาขาวิศวกรรมศาสตร์ รางวัล  
คุณภาพงานวิจัยในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 5 ประจำปี 2551 เรื่อง การประเมินคุณภาพ  
ของมะเขือเทศเกษตรอินทรีย์ด้วยเทคนิค Near Infrared Spectroscopy