

การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของสับประรดด้วย
เทคนิคเชิงแสง

Development of a Meter for Evaluation of Total Soluble Solid Content and Acidity in
Pineapple by Optical Technique



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของสับประรดด้วย
เทคนิคเชิงแสง

Development of a Meter for Evaluation of Total Soluble Solid Content and Acidity in
Pineapple by Optical Technique



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of a Meter for Evaluation of Total Soluble Solid Content and Acidity in
Pineapple by Optical Technique



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2558
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของ
สับปะรดด้วยเทคนิคเชิงแสง

Development of a Meter for Evaluation of Total Soluble Solid
Content and Acidity in Pineapple by Optical Technique

นักศึกษาผู้จัดทำ

ณิชา จิรกาลนุกุล รหัสประจำตัว 56010445

ธนพร เพียรวิรัตน์ชัย รหัสประจำตัว 56010523

พรานภา รุ่งวิฑู รหัสประจำตัว 56010817

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร

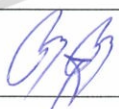
วิศวกรรมเกษตร

ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ดร.รวิภัทร ลากเจริญสุข	
ดร.วสุ อุดมเพทายกุล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของสับปะรดด้วยเทคนิคเชิงแสง	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวณิชา จิรกาลนุกุล	56010445
	นางสาวธนพร เพียรวิรัตน์ชัย	56010523
	นางสาวพรพรรณ รุ่งวิฑู	56010817
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. รวิภัทร ลากเจริญสุข	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.วสุ อุดมแพทยกุล	
ปีการศึกษา	2559	

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นเครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของสับปะรด โดยเครื่องมือนี้ถูกออกแบบให้สามารถวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดจากเนื้อของสับปะรดได้โดยตรง โดยหลักการทำงานของเครื่องมือคือใช้เซ็นเซอร์วัดสีวัดสีเนื้อสับปะรดค่าสีจะถูกบันทึกเป็นค่า RGB จากนั้นค่าสีเนื้อสับปะรด ถูกนำไปแทนในสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งสร้างจากความสัมพันธ์ของค่าสีเนื้อและสมบัติทางเคมีของสับปะรดตามด้วยวิธี Multiple linear regressions (MLR) และแสดงผลสมบัติทางเคมีออกทางหน้าจอ LCD การทำงานทั้งหมดถูกประมวลผลด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ในขั้นตอนการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวัดสมบัติทางเคมีนั้น ตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียเป็นตัวอย่างในการศึกษาจำนวนทั้งสิ้น 20 ตัวอย่างจากซูเปอร์มาร์เก็ต โดยสับปะรดถูกแบ่งออกเป็น 12 ชั้น ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะมีทั้งสิ้น 240 ข้อมูล สีของเนื้อสับปะรดถูกบันทึกด้วยระบบสี RGB จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางเคมีที่เนื้อของสับปะรด ณ บริเวณเดียวกันด้วยวิธีมาตรฐาน (โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ถูกวัดด้วยเครื่อง Refractrometer และปริมาณกรดซิตริกถูกวัดด้วยวิธีการไทเทรต) ค่าสีและสมบัติทางเคมีถูกนำมาสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Multiple linear regressions (MLR) แบบจำลองจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบการทำงานของเครื่องมือวัด ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องมือสำหรับการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็นดังนี้ ค่า r เท่ากับ 0.64, และ RMSE เท่ากับ 2.6° Brix และสำหรับการวัดปริมาณกรดได้ผลเป็นดังนี้ ค่า r เท่ากับ 0.3 และ RMSE เท่ากับ 0.093 %Citric จากผลการทดลองเห็นได้ว่าเครื่องมือตรวจสอบสมบัติทางเคมีของสับปะรดได้โดยตรงจากเนื้อสับปะรด สามารถลดต้นทุน ลดระยะเวลาในการตรวจสอบ และลดการใช้สารเคมีซึ่งเหมาะสมกับเกษตรกรและผู้ประกอบการสับปะรดแปรรูป ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ภาคอุตสาหกรรมผลิตสับปะรดของประเทศไทยเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of a Meter for Evaluation of Total Soluble Solid Content and Acidity in Pineapple by Optical Technique		
Authors	Nicha	Jirakannukul	56010445
	Thanaporn	Pheinvirattanachai	56010523
	Prawnapha	Rungvithu	56010817
Thesis Advisor	Dr. Ravipat Lapcharoensuk		
	Dr. Vasu	Udompetaikul	
Year	2016		

Abstract

This project aimed to develop a Meter for evaluation of total soluble solid content and acidity in pineapple. The meter is designed to measure total soluble solid and Citric acidity directly on pineapple pulp. The principle of the meter is colors of pineapple pulp was measured by color sensor which color values were recorded on RGB. The color values were substituted in equations which were calculated from a relationship between pulp color values and chemical properties with Multiple linear regressions (MLR) method. The chemical properties were showed on LCD display. Process of the meter were controlled by microcontroller. In procedure of development mathematical models for evaluation of chemical properties, the 20 samples of Smooth Cayenne pineapple were collected from supermarket and each sample was divided to 12 pieces. Total of data were 240 data. Colors of pineapple pulp were recorded in RGB system and chemical properties were analysis on same area of the pulp which standard method (total soluble solid content were measured by refractometer and citric acid were evaluated by titratable acidity analysis method). The color values and chemical properties are modeled with Multiple linear regressions (MLR) method. The models were entered to the meter processing. From results of meter performance evaluation, the total soluble solid showed r was 0.64; and RMSE was 2.6°Brix While the Citric acidity showed r was 0.3; and RMSE was 0.093 %Citric The meter has ability to verify the chemical properties of pulp pineapple directly. These results indicated that the meter can assistance for cost saving, save time in the quality checking process and reduce a chemical substance. It is benefit for agriculturist, entrepreneur processing and be useful in pineapple manufacture industry of Thailand exceedingly.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างยิ่งจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษาหลักและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.รวิภัทร ลากเจริญสุข และดร.วสุ อุดมเพทายกุล ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอด รวมถึงขอขอบคุณวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำแก่กลุ่มของข้าพเจ้า

และขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การช่วยเหลือทุนสนับสนุนและสถานที่ในการค้นคว้าหาข้อมูลมาโดยตลอด

นางสาวณิชา จีรกาลนุกุล
นางสาวธนพร เพ็ญวิรัตน์ชัย
นางสาวพรพรรณภา รุ่งวิฑู



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญรูป	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คุณสมบัติทางเคมีของสับปะรด	4
2.2 ระบบสี	5
2.3 การวิเคราะห์ความถดถอย	12
2.4 เครื่องมือวัด	14
2.5 ค่าทางสถิติสำหรับวิเคราะห์สมรรถนะในการวัด	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 ขั้นตอนการนำดำเนินการ	19
3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องวัดสมบัติทางเคมีของสับปะรด	19
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	21
3.3 การสร้างแบบจำลอง	23
3.4 การทดสอบเครื่องมือวัด	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	24
4.1 แบบจำลองสำหรับการวัดสมบัติทางเคมีของสับปะรด	24
4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือ	27
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	28
5.1 สรุปผลการทดลอง	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	28
เอกสารอ้างอิง	29
ภาคผนวก	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 PHOTODIODE TYPE	16
2.2 OUTPUT FREQUENCY SCALING	16
4.1 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรด ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	24
4.2 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณกรดของสับปะรดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	24
4.3 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรด	26
4.4 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณกรดของสับปะรด	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Specular and diffuse reflection	6
2.2 การตอบสนองของเซลล์รูปกรวยและเซลล์รูปแท่งในตามนุษย์ต่อความยาว	7
2.3 หลักการของเครื่องวัดสีระบบ colorimeter	8
2.4 แสดงตำแหน่งของสีบนแผนภาพระบบ C.I.E. (x, y และ Y)	10
2.5 แผนภาพแสดงสีของระบบ Hunter	11
2.6 ตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลและเส้นตรงที่ดีที่สุด	14
2.7 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบ	14
2.8 แผนภาพแสดงขาที่ควบคุมโมดูล	15
2.9 แผนภาพการจัดขาของโมดูล	15
3.1 Diagram	19
3.2 แบบฉายตัวกล้อง	20
3.3 แบบสามมิติตัวกล้อง	20
3.4 แบบฉายตัวฝา	20
3.5 แบบสามมิติตัวฝา	20
3.6 แสดงวิธีการแบ่งชั้นสับปะรดเพื่อทำการทดลอง	21
3.7 การวัดสีเนื้อของสับปะรด	21
3.8 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทำได้โดยใช้เครื่อง Refractometer	22
3.9 การวัดปริมาณกรดด้วยเครื่องไตเตรทแบบโพเทนซีโอเมตริก	23
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากการวัดโดยตรงกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากการทำนาย	25
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดจากการวัดโดยตรงกับปริมาณกรดจากการทำนาย	26
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากการวัดเครื่องมือวัดกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้อ้างอิง	27
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดจากการวัดเครื่องมือวัดกับปริมาณของกรดอ้างอิง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศผู้นำในการผลิตสับปะรด (*Ananas Comosus* L.) 5 อันดับแรก คือ ไทย คอสตาริกา บราซิล ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย โดยมีผลผลิตรวมกันประมาณครึ่งหนึ่งของผลผลิตโลก ในบรรดาประเทศผู้ผลิตรายใหญ่นี้มีเพียงประเทศไทย ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย เท่านั้นที่เน้นการปลูกสับปะรดเพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น สับปะรดกระป๋อง น้ำสับปะรด สับปะรดอบแห้ง และสับปะรดแช่แข็ง เป็นต้น (ศูนย์วิจัยระยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร, 2559) โดยประเทศไทยมียอดการส่งออกสับปะรดตามข้อมูลเดือนมิถุนายน 2559 ในรูปแบบของน้ำสับปะรด มียอดการส่งออกอยู่ที่ 8,960,238 กิโลกรัม, สับปะรดแห้งมียอดการส่งออกอยู่ที่ 57,115 กิโลกรัม, สับปะรดบรรจุภาชนะที่อากาศผ่านเข้าออกไม่ได้มียอดการส่งออกอยู่ที่ 46,724,873 กิโลกรัม และสับปะรดสดแช่เย็นจนแห้งมียอดการส่งออกอยู่ที่ 177,135 กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ในอุตสาหกรรมสับปะรดเพื่อการแปรรูปนิยมใช้พันธุ์ศรีราชาหรือพันธุ์ปัตตาเวีย (*Smooth Cayenne*) ซึ่งปลูกได้ทั่วไปในประเทศไทยโดยจังหวัดชลบุรี ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรีและลำปาง การตรวจสอบคุณภาพของสับปะรดเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการผลิตสับปะรดระดับอุตสาหกรรม สมบัติทางเคมีที่สำคัญที่ใช้ในการตรวจสอบสับปะรด เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด และปริมาณไนเตรท วิธีการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของสับปะรดในปัจจุบันมีความยุ่งยาก ใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบนานและยังต้องทำลายตัวอย่างในการตรวจสอบ อีกทั้งต้องใช้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการตรวจสอบ ส่งผลทำให้มีต้นทุนการผลิตที่สูง ดังนั้นการนำวิธีการตรวจสอบผลผลิตเกษตรแบบไม่ทำลายตัวอย่างมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของสับปะรดจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการตรวจสอบโดยใช้เทคโนโลยีอื่นๆ ที่มีความรวดเร็ว ได้แก่ 1. Near Infrared Spectroscopy ซึ่งหลักการทำงานคือใช้คลื่นแสงในช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ฉายไปยังตัวอย่าง ทำให้โมเลกุลของตัวอย่างดูดกลืนพลังงาน แล้วเกิดการสั่นสะเทือนจะถูกนำมาประมวลผลและหาความสัมพันธ์ สามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็วและตรวจสอบสมบัติของผลไม้ได้หลายชนิดแต่ข้อเสียคือเครื่องมือมีขนาดใหญ่พกพาไม่สะดวกและมีวงจรที่ซับซ้อนยากต่อการใช้งาน 2. การใช้หลักการนำเสียงเคาะสับปะรดไปวิเคราะห์ด้วย Fast Fourier Transform (FFT) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ธรรมชาติกับคุณภาพภายในของสับปะรดทำให้ได้ผลที่รวดเร็วแต่ข้อเสียคือการเคาะสับปะรดของแต่ละบุคคลมีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น เคาะเบา เคาะแรง เคาะตำแหน่งหัว ตำแหน่งท้าย เป็นต้น จึงทำให้ผลที่ได้ไม่เสถียรเพราะเนื้อของสับปะรดในแต่ละจุดมีความถี่ธรรมชาติไม่เท่ากัน (ศิวลักษณ์ ปรูวิรัตน์, 2547)

จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องวัดสมบัติทางเคมีของสับปะรดโดยสมบัติทางเคมีที่สนใจในการศึกษา ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรด โดยเครื่องมือนี้จะถูกออกแบบให้สามารถวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดจากเนื้อของสับปะรดได้โดยตรงในเวลาเดียวกันด้วยเทคนิคเชิงแสง ดังนั้นจึงสามารถช่วยลดต้นทุน ลดการใช้สารเคมี และลดระยะเวลาในการตรวจสอบสมบัติทางเคมี ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ภาคอุตสาหกรรมผลิตสับปะรดของประเทศไทยเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อการพัฒนาเครื่องมือวัดสำหรับตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดในสับปะรดด้วยเทคนิคเชิงแสง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดสมบัติทางเคมีของสับปะรดโดยหลักการการทำงานของเครื่องมือเบื้องต้นคือ เซ็นเซอร์วัดสีซึ่งวัดสีเนื้อสับปะรดและประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลสมบัติทางเคมีออกทางหน้าจอ LCD เพื่อวัดสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรด โดยใช้สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียเป็นตัวอย่างในการศึกษาจำนวนทั้งสิ้น 20 ลูกจากซูเปอร์มาร์เก็ต โดยสับปะรดถูกแบ่งออกเป็น 12 ชิ้น ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะมีทั้งสิ้น 240 ข้อมูล สีของเนื้อสับปะรดถูกวัดจากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางเคมีที่เนื้อของสับปะรด ณ บริเวณเดียวกันด้วยวิธีมาตรฐาน (โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ถูกวัดด้วยเครื่อง Refractometer และปริมาณกรดถูกวัดด้วยวิธีการไทเทรตโดยรายงานผลในเทอมของปริมาณกรดซิตริก) ค่าสีและสมบัติทางเคมีถูกทำมาสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Multiple linear regressions (MLR) แบบจำลองจะถูกป้อนเข้าสู่ระบบการทำงานของเครื่องมือวัด และสมรรถนะของเครื่องมือวัดด้วยตัวอย่างของสับปะรดที่ไม่ทราบค่าทั้งหมดจำนวน 34 ตัวอย่างและแสดงผลของสมรรถนะด้วยค่าทางสถิติ (ค่าสหสัมพันธ์(r) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง(RMSE))

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องมือตรวจสอบสมบัติทางเคมีของสับปะรดที่สามารถตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดได้โดยตรงจากเนื้อที่ ราคาถูก ลดระยะเวลาในการตรวจสอบ ลดการใช้สารเคมีซึ่งเหมาะสมกับเกษตรกรและผู้ประกอบการสับปะรดแปรรูป

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สมบัติทางเคมีของสับปะรดระบบสีไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) เช่น เซ็นเซอร์วัดสี (Color Sensor) การสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Multiple linear regressions (MLR) ค่าทางสถิติสำหรับวิเคราะห์สมรรถนะในการวัดและจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและสร้างเครื่องวัดสมบัติทางเคมีของสับปะรดให้เหมาะสมและง่ายต่อการใช้งาน พร้อมทั้งเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานเพื่อวัดสีของเนื้อสับปะรด
3. สับปะรดจำนวน 20 ตัวอย่าง ถูกรวบรวมมาจากซูเปอร์มาร์เก็ตโดยเลือกสับปะรดเฉพาะพันธุ์ปัตตาเวียซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีการเพาะปลูกมากและเป็นที่ยอมรับของอุตสาหกรรมแปรรูปสับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เก็บข้อมูลค่าสีของสับปะรดด้วยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น และตรวจสอบปริมาณกรดกับปริมาณของแข็งที่ละลาย โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ถูกวัดด้วยเครื่อง Refractrometer และปริมาณกรดถูกวัดด้วยวิธีการไทเทรตโดยรายงานผลในเทอมของปริมาณกรดซิตริกได้ตามตำแหน่งทั้ง 12 จุดที่กำหนดไว้ และทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ซ้ำ โดยจำนวนตัวอย่างสับปะรดที่ใช้ทั้งหมด 20 ลูกจากสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

5. นำข้อมูลค่าสี ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรด มาสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Multiple linear regression (MLR) โดยกำหนดให้ค่าสีเป็นตัวแปรต้นและปริมาณกรดและปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็นตัวแปรตาม เพื่อทำนายสมบัติทางเคมี

6. นำแบบจำลองที่ได้มาเขียนโปรแกรมสำหรับการพัฒนาเครื่องมือวัดสำหรับตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดในสับปะรดด้วยเทคนิคเชิงแสงและทดสอบเครื่องมือวัดโดยการวัดสมบัติทางเคมีของสับปะรดจำนวน 34 ตัวอย่างและรายงานผลด้วยค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์ (r) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE)

7. ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องของเครื่องวัดสมบัติทางเคมีของสับปะรด

8. สรุปผลและเขียนรายงาน



บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติทางเคมีของสับปะรด

2.1.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสับปะรด ได้แก่ น้ำตาลกลูโคสฟรุกโทสและซูโครส เป็นส่วน
ใหญ่ โดยปริมาณน้ำตาลซูโครสมากกว่ากลูโคสและฟรุกโทส โดยทั่วไปสับปะรดจะมีปริมาณของแข็ง
ที่ละลายได้ อยู่ในช่วง 40 กรัม/ลิตรหรือประมาณ 4 องศาบริกซ์ในช่วงเจริญเติบโตของสับปะรด
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้จะมีค่าน้อย แต่ช่วงก่อนการเก็บเกี่ยวหกลสัปดาห์จะมีปริมาณของแข็งที่
ละลายได้จะเพิ่มขึ้น และหลังช่วงเก็บเกี่ยวจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากโดยสามารถตรวจสอบ
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ด้วยเครื่องมือ Refractometer ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาโดย Dr. Ernst Abbe
นักวิทยาศาสตร์ เยอรมัน/ออสเตรีย โดยหลักการทำงานคือเป็นการวัดดัชนีหักเหของแสง (refractive
index) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่ตัวกลางหนึ่งทำให้มุมความเร็ว (velocity) ของแสงแตกต่างกัน (รุ่งทิพย์ จุฑามงคล และสงวนศรี เจริญเหรียญ, 2551)

2.1.2 ปริมาณกรด (จिरภาพงษ์จันทา, 2554)

สับปะรดมีกรดอินทรีย์หลักคือกรดซิตริกอะซีตริกและมาลิกพบในช่วงร้อยละ 0.58-0.78,
0.09-0.32 และ 0.12 - 0.24 (w/v) ตามลำดับโดยกรดอะซีตริกและมาลิกมีแนวโน้มลดลงเมื่อเก็บ
สับปะรดให้สุกทั้งผล นอกจากนี้ยังมีกรดออกซาลิกกรดทาร์ทาริกกรดแอสคอบิกและกรดซัคซินิก ซึ่ง
พบในปริมาณน้อยมาก ปริมาณกรดอินทรีย์ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีการผันแปรไปตามแหล่งปลูก
มากกว่าระดับความสูงที่ต่างกันโดยวิธีการตรวจสอบปริมาณกรดใช้วิธีการไทเทรต (Titration) คือ
วิธีการทางปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis) ใช้ในการหาปริมาณของสารละลาย
มาตรฐาน (สารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนแล้ว) ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายอื่นซึ่ง
ทราบปริมาตร แต่ยังไม่ทราบความเข้มข้น เพื่อนำค่าปริมาตรที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นของ
สารละลายอื่นนั้น สำหรับการไทเทรตทุกชนิด จุดที่สารที่นำมาไทเทรตทำปฏิกิริยากันพอดี
เรียกว่า จุดสมมูลหรือจุดสะเทิน (Equivalence Point) จุดที่กรดทำปฏิกิริยากันพอดีหรือสะเทินพอดี
กับเบส ส่วนจุดที่อินดิเคเตอร์ (Indicator) เปลี่ยนสี เรียกว่า จุดยุติ (End Point) ซึ่งเป็นจุดที่จะยุติ
การไทเทรต โดยถ้าใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมจะทำให้จุดยุติตรงกับจุดสมมูลหรือใกล้เคียงกับจุดสมมูล

มาก แต่ถ้าใช้อินดิเคเตอร์ไม่เหมาะสมอาจจะทำให้จุดยู่อยู่ห่างจากจุดสมมูลมาก ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้

2.2 ระบบสี

2.2.1 การรับรู้สีของมนุษย์(Color Perception)

สีเป็นสิ่งที่สามารถอธิบายถึงลักษณะกายภาพของวัตถุได้และยังเป็นสิ่งชี้วัดคุณภาพของวัตถุนั้นๆ เช่น ความสุกอ่อนของผลไม้ การรับรู้สีของมนุษย์ (Color Perception) มนุษย์มองเห็นวัตถุและสีต่างๆ เกิดจากปัจจัยสำคัญ 3 ประเภท ได้แก่

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) สามารถแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ 2 ประเภท ได้แก่

1.1 แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ(Natural Light Source) เช่น แสงแดดจากดวงอาทิตย์ ดวงดาว ฟ้ามุข ฟ้ามัว แสงจากสัตว์บางชนิดที่มีแสงในตัวเอง เช่น หิ่งห้อย จักจั่น งวงช้างและปลาไหลไฟฟ้า เป็นต้น

1.2 แหล่งกำเนิดแสงมนุษย์ประดิษฐ์(Illuminants) องค์การ CIE (Commission Internationale Del'Eclairage) เป็นหน่วยงานที่ก่อตั้งขึ้นใน 1931 ได้กำหนดมาตรฐานการส่องสว่าง เรียกว่า Standard Illuminants โดยได้กำหนดแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานขึ้น 3 ชนิด ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานสากลในการวัดสี ได้แก่

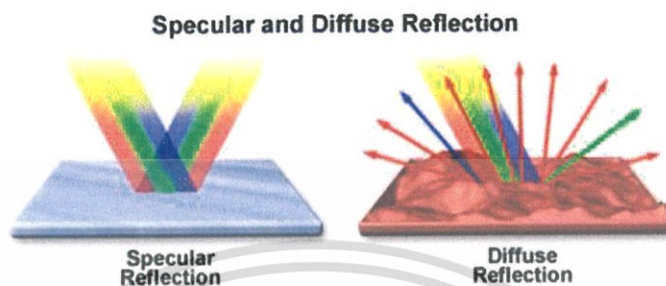
- แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน A (Standard Illumination A) การส่องสว่างจากหลอดไฟแบบไส้ (Incandescent Lighting) มีอุณหภูมิสี (Color Temperature) ประมาณ 2856 เคลวิน (Kelvin: K)

- แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน B (Standard Illumination B) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอด Illumination A ที่ผ่านตัวกรองแสงแล้วให้แสงแดดตอนเที่ยงโดยมีอุณหภูมิแสงประมาณ 4900 เคลวิน (Kelvin: K)

- แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน C (Standard Illumination C) แหล่งกำเนิดแสงที่ได้จากหลอด Illumination A ที่ผ่านตัวกรองแสงแล้วให้แสงแดดตอนกลางวันโดยมีอุณหภูมิแสงประมาณ 6700 เคลวิน (Kelvin: K) (ภคินัย ทองทิพย์พร, 2550)

2. วัตถุที่มีสี แสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดตกกระทบวัตถุที่มีพื้นผิวความมันเงา จะเกิดการสะท้อนแสง เรียกว่า การสะท้อนที่สมบุรณ์ (Specular Reflection) ถ้าวัตถุที่มีพื้นผิวไม่เรียบ ไม่มีความมันเงา เมื่อแสงที่เกิดจากแหล่งกำเนิดตกกระทบกับวัตถุนั้น เรียกว่า การกระเจิงของแสง (Diffuse Reflection) โดยที่อนุภาคของสีในบางช่วงคลื่นจะถูกดูดกลืนเอาไว้ บางช่วงคลื่นจะถูกสะท้อนออกมาทำให้เกิดการมองเห็นสีแตกต่างกันตามความยาวช่วงคลื่นที่มีการสะท้อนออกมา

นอกจากจะมีการสะท้อน และการดูดกลืนในบางช่วงของคลื่นแสงแล้วยังมีการส่องผ่านของแสงบนวัตถุโปร่งแสง และเกิดการกระเจิงของแสงที่พื้นผิว ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Diffuse Transmission แต่ถ้าเป็นวัตถุที่มีความโปร่งใส เช่น กระจกใสจะเกิดการส่องผ่านทะลุวัตถุโปร่งใสนั้น เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Regular transmission

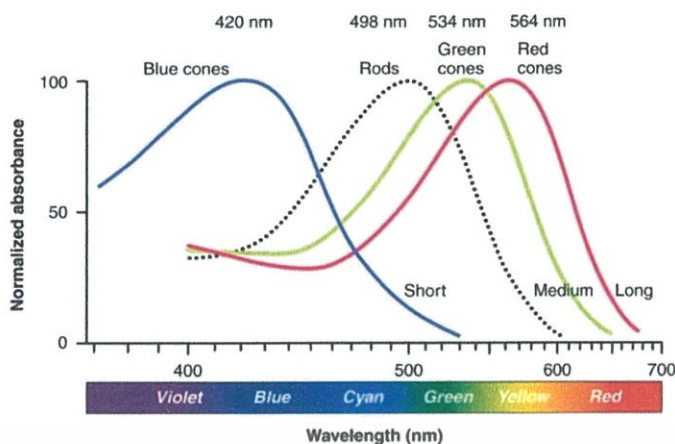


รูปที่ 2.1 Specular and diffuse reflection

ที่มา: Abramowitz (2015)

3. ผู้สังเกตการณ์ (Observer) เป็นปัจจัยสุดท้ายของการมองเห็น เมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุที่มีสี และสะท้อนเข้าสู่ประสาทรับความรู้สึกของตาที่เรียกว่า เรตินา (Retina) ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ประสาท 2 ชนิด คือ เซลล์รูปแท่ง (Rod Cells) มีรูปร่างเป็นแท่งมีความไวต่อสภาพแสงน้อย ทำงานในที่ที่มีแสงสลัวและทำให้เกิดการเห็นเป็นรูปขาวดำ เซลล์ประสาทชนิดที่ 2 คือ เซลล์รูปกรวย (Cone Cells) มีรูปร่างเป็นรูปกรวยมีความไวต่อแสงสว่างและสามารถรับรู้ถึงสีต่างๆ แต่ในที่ที่มีแสงสว่างน้อยหรือมืดสลัว เซลล์รูปแท่งจะมีปฏิกิริยาช้า เซลล์รูปกรวยแบ่งตามความสามารถในการรับรู้สีได้ 3 ประเภท คือ โคนเซลล์แบบสั้น (Short Wavelength Cones) รับรู้แสงสีฟ้า โคนเซลล์แบบกลาง (Middle Wavelength Cones) รับรู้แสงสีเขียว และโคนเซลล์แบบยาว (Long Wavelength Cones) รับรู้แสงสี

เซลล์ประสาททั้งสองจะแปรสัญญาณแสงที่ได้รับสู่เส้นใยประสาท (Optic Nerve) ผ่านสู่สมองรับรู้ การมองเห็นเนื้อสีและความสดใสของสีจะเปลี่ยนไปตามคุณภาพของแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มของแสงที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 2.2 การตอบสนองของเซลล์รูปกรวยและเซลล์รูปแท่งในตามนุษย์ต่อความยาว
ที่มา: วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี (2559)

2.2.2 เครื่องมือวัดค่าสี (Colorimeter)

เครื่องมือวัดสีในระยะเริ่มต้นออกแบบมาเพื่อเลียนแบบการมองเห็นสีของมนุษย์ โดยการใช้เครื่องส่องแสง 3 ตัว ซึ่งแผ่นกรองแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน ติดอยู่หน้าเลนส์ของเครื่อง ลำแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน จากเครื่องส่องแสงส่องไปที่กันชนจอบริเวณครึ่งวงกลมส่วนบน ส่วนล่างของวงกลมบนจอส่องแสงจากเครื่องส่องแสงอีกตัวหนึ่ง หรือแสงสีบริสุทธิ์จากปริซึม หรือเกรตติง ผู้สังเกตสามารถเห็นพื้นที่ของครึ่งวงกลมทั้งสองส่วนบนจอในเวลาเดียวกัน เครื่องส่องแสงแต่ละตัวติดตั้งอุปกรณ์ปรับปริมาณของแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน โดยที่ผู้สังเกตสามารถปรับปริมาณของแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน ที่ผสมกันแล้ว เหมือนกันกับแสงสีใดๆ ที่ต้องการ ดังนั้นเราจึงสามารถบอกสีที่ต้องการทราบค่า ได้ในรูปของสัดส่วน ปริมาณแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน (RGB) ที่ผสมแล้วได้สีที่ต้องการ (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2538) แต่ข้อเสียของการวัดสีโดยการผสมแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน มีสีบางสีที่แม่สีทั้งสามไม่สามารถผสมให้เหมือนได้ จึงแปลงค่าจาก RGB มาเป็นค่า X Y Z ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป การวัดค่าสีที่นิยมใช้แทนการวัดจากมนุษย์คือ การวัดค่าสีด้วย Spectrophotometer และ การวัดค่าสีด้วย Tristimulus Colorimeter

การวัดค่าสีด้วย Spectrophotometer

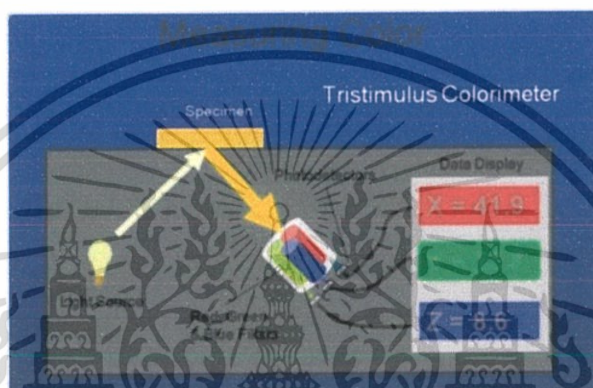
การวัดค่าสีด้วย Spectrophotometer เป็นการวัดปริมาณของแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ โดยวัดอย่างต่อเนื่องตลอดความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้ด้วยวิธีการส่องแสงผ่านปริซึม หรือเกรตติง ซึ่งสามารถเลือกความยาวคลื่นแสงได้ เริ่มตั้งแต่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นเป็นช่วง ช่วงละ 5-20 นาโนเมตร ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือ จนกระทั่งถึง 750 นาโนเมตร และวัดการสะท้อนของแสงทุกช่วงที่ใช้ โดยเครื่องมือจะใช้เซลล์ที่ไวแสงรับแสงสะท้อนแล้วเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ได้นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงสะท้อนกับความยาวคลื่น กราฟที่ได้เรียกว่า Spectrometric ของวัตถุชนิดนั้น (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2538)

การวัดค่าสีด้วย Tristimulus Colorimeter

การวัดค่าสีด้วย Tristimulus Colorimeter ถูกพัฒนามาจากการวัดค่าสีด้วย Spectrophotometer เพื่อความสะดวกและการวัดที่ง่ายขึ้น โดยจะออกแบบมาเพื่อจำลองการมองเห็นสีของมนุษย์ หลักการทำงานคือ มีแหล่งให้ความสว่าง (Light Source) ส่องไปที่วัตถุ สะท้อนจากวัตถุเข้าสู่ ตัวกรองแก้วสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน จากนั้นสามารถอ่านค่าออกมาเป็นค่า Tristimulus (X, Y และ Z) ดังแสดงในรูป 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการของเครื่องวัดสีระบบ colorimeter

ที่มา : Food Network Solution (2559)

ปัจจุบันเครื่องมือวัดสีมีอยู่หลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับรายละเอียดของเรื่องความไวของเซลล์รับแสง ความไว ความเที่ยงตรงและความแม่นยำ การแสดงข้อมูลค่าสีอาจจะแตกต่างกันได้ ระบบที่นิยมใช้บอกค่าสีโดยค่า Tristimulus มีอยู่ 3 ระบบคือ

- C.I.E. x, y และ Y
- Hunter Lab L, a และ b
- C.I.E.LAB L*, a* และ b*

2.2.3 ระบบค่าของสี(Color system)

การมองเห็นของมนุษย์ต่อสีของวัตถุเป็นการมองเห็นที่แตกต่างกันออกไป เช่น สีแดงสามารถแบ่งแยกออกเป็น แดงเลือดหมู แดงอ่อน แดงเข้ม เป็นต้น ดังนั้นเมื่อจำเป็นต้องใช้ค่าของสีเพื่อบ่งบอกคุณภาพของวัตถุสีของอาหารจะต้องมีการใช้ระบบค่าของสีที่ใช้เป็นมาตรฐานสากล เพื่อสามารถเข้าใจได้ตรงกัน และการบอกค่าสีที่นิยมใช้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ระบบค่าสีมันเซลล์ (Munsell Color System)

ผู้คิดค้นคือ อัลเบิร์ตเฮนรี มันเซลล์ (Albert Henry Munsell) จิตรกรชาวอเมริกัน เมื่อปี ค.ศ. 1898 ได้ออกแบบผังของสีเป็นลักษณะรูปทรงกลม หรือผังที่มีการแผ่กระจายของสีออกจากศูนย์กลาง และกำหนดชื่อ ตำแหน่งของสีที่ผสมกันอย่างหลากหลาย จากทฤษฎีสีของมันเซลล์ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ใน 3 มิติ คือ Hue Value และ Chroma ซึ่งความสัมพันธ์นี้ ทำให้ได้สีที่แตกต่างกัน

- Hue คือสีหลักในวงจรัสสี แบ่งออกเป็นสีต่างๆ 100 สี
- Value คือค่าแสดงความสว่างของสี ค่า Value แบ่งออกเป็น 10 ระดับ ตั้งแต่ 0-10 โดยที่ 0 มีค่ามืดที่สุด และ 10 มีค่าสว่างที่สุด สัญลักษณ์แทนด้วย N
- Chroma คือค่าที่แสดงความอิ่มตัวของสี ซึ่งสีที่มีความบริสุทธิ์มากที่สุด คือสีที่ไม่มีแสงสีเทาผสม ได้แก่ สีหลัก (Hue)

2. ระบบ C.I.E. (x, y และ Y)

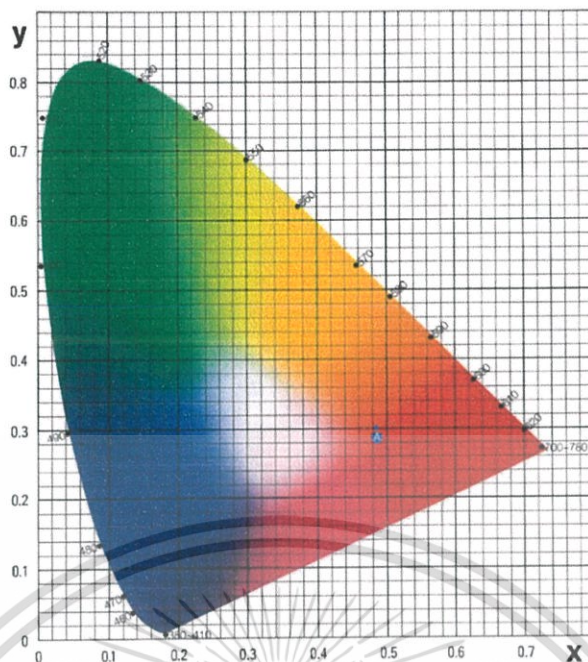
เป็นการบอกค่าสีโดยการกำหนดตำแหน่งของสีบนแผนภาพแสดงสีซึ่งตำแหน่งของสีได้มาจากค่า X, Y และ Z ให้อยู่ในค่าคู่ลำดับ (x,y) เรียกว่าเป็นคู่ลำดับแสงสี (Chromaticity Coordinates) ซึ่งใช้กำหนดตำแหน่งของคู่ลำดับ แสดงตำแหน่งของสีบนแผนภาพ (ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, 2538) แสดงสีดังแสดงในรูป 2.4

$$x = X/(X+Y+Z) \quad (2.1)$$

$$y = Y/(X+Y+Z) \quad (2.2)$$

$$z = 1 - (x+y) \quad (2.3)$$

เป็นแผนภาพแสดงสีระบบ C.I.E. บริเวณเข้าใกล้จุดกึ่งกลางจะไม่มีสีหรือสีขาว เรียกตำแหน่งนี้ว่า Equal Energy White เป็นจุดที่ค่าคู่ลำดับ x เท่ากับ y เท่ากับ 0.33 และเข้าใกล้ขอบจะมีสีที่เข้มขึ้น โดยเส้นรอบรูปเป็นการระบุความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นนาโนเมตร โดยความยาวคลื่นที่มีค่าต่ำสุดคือสีน้ำเงิน 380 นาโนเมตร คือตำแหน่งตรงมุมด้านซ้าย และความยาวคลื่นที่มีค่าสูงสุดคือสีแดง 760 นาโนเมตร



รูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของสีบนแผนภาพระบบ C.I.E. (x, y และ Y)

ที่มา : Animation Model3d house (2559)

3.ระบบ Hunter (L,a,b)

Hunter ได้พัฒนาเครื่องวัดสีระบบ Tristimulus ขึ้นในปีค.ศ.1952 ซึ่งแสดงค่าสีด้วยค่า L, a และ b ซึ่งระบบนี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร (ปานมนัส ศิริสมบุรณ์, 2538) ความหมายของ Hunter (Lab) เป็นดังนี้

ค่า Hunter L (Lightness) เป็นค่าแสดงความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 -100 ซึ่ง โดยเรียงจากมืดที่สุดไปสว่างที่สุด ตามลำดับ

ค่า Hunter a เป็นการแสดงสัญลักษณ์+(บวก)และ-(ลบ) คือ เมื่อค่า Hunter a เป็น + (บวก) จะแสดงค่าความเป็นสีแดง และเมื่อค่า Hunter aเป็น - (ลบ) จะแสดงความเป็นสีเขียว

ค่า Hunter b เป็นการแสดงสัญลักษณ์+(บวก)และ-(ลบ) คือ เมื่อค่า Hunter b เป็น + (บวก) จะแสดงค่าความเป็นสีเหลือง และเมื่อค่า Hunter b เป็น - (ลบ) จะแสดงความเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งค่าที่ได้จากระบบ Hunter สามารถเปลี่ยนเป็นค่าในระบบ C.I.E. (xyY) ได้ด้วย การใช้สมการต่อไปนี้

เปลี่ยนจากระบบ C.I.E. เป็นระบบ Hunter

$$L=100vY \quad (2.4)$$

$$a = (175(1.02X-Y))/Y \quad (2.5)$$

$$b=(70(Y-0.847Z))/Y \quad (2.6)$$

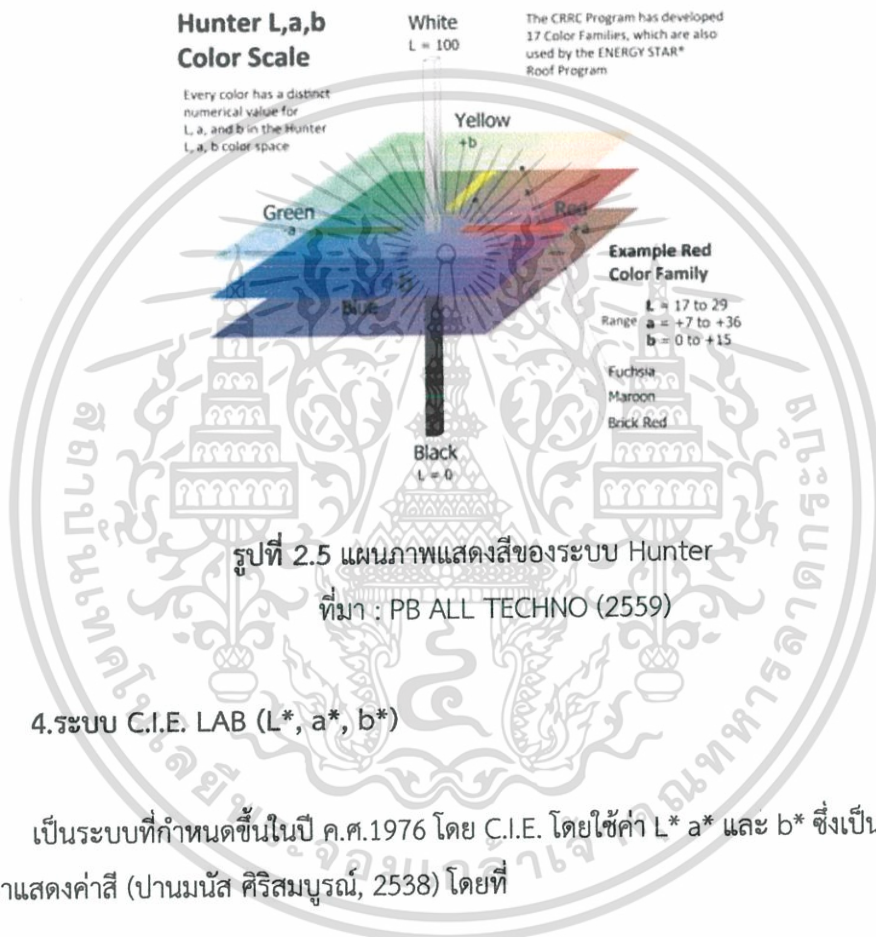
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนจากระบบ Hunter เป็นระบบ C.I.E.

$$Y=(0.01L)^2 \quad (2.7)$$

$$X=0.980(Y+0.01aL/175) \quad (2.8)$$

$$Z=1.181(Y-0.01bL/70) \quad (2.9)$$



4.ระบบ C.I.E. LAB (L^* , a^* , b^*)

เป็นระบบที่กำหนดขึ้นในปี ค.ศ.1976 โดย C.I.E. โดยใช้ค่า L^* a^* และ b^* ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ใหม่มาแสดงค่าสี (ปานมนัส ศิริสมบุญ, 2538) โดยที่

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad \text{เมื่อ } Y/Y_n > 0.008856 \quad (2.10)$$

หรือ

$$L^* = 903.3(Y/Y_n) \quad \text{เมื่อ } Y/Y_n < 0.008856 \quad (2.11)$$

$$a^* = 500(f(X/X_n) - f(Y/Y_n)) \quad (2.12)$$

$$b^* = 200(f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)) \quad (2.13)$$

เมื่อ

$$f(X/X_n) = (X/X_n)^{1/3} \quad \text{เมื่อ } X/X_n > 0.008856 \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(X/X_n) = 7.787 X/X_n + 16/116 \quad \text{เมื่อ } X/X_n < 0.008856 \quad (2.15)$$

$$f(Y/Y_n) = (Y/Y_n)^{1/3} \quad \text{เมื่อ } Y/Y_n > 0.008856 \quad (2.16)$$

$$f(Y/Y_n) = 7.787 Y/Y_n + 16/116 \quad \text{เมื่อ } Y/Y_n < 0.008856 \quad (2.17)$$

$$f(Z/Z_n) = (Z/Z_n)^{1/3} \quad \text{เมื่อ } Z/Z_n > 0.008856 \quad (2.18)$$

$$f(Z/Z_n) = 7.787 Z/Z_n + 16/116 \quad \text{เมื่อ } Z/Z_n < 0.008856 \quad (2.19)$$

X, Y, Z เป็นค่า Tristimulus ของวัตถุตัวอย่าง

X_n, Y_n, Z_n เป็นค่า Tristimulus ของวัตถุสีขาว

ค่า L^* , a^* , และ b^* สามารถนำมาหาค่า Chroma (C^*) และ Hue (H) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (2.20)$$

$$H = \tan^{-1} ((b^*)/(a^*)) \quad (2.21)$$

ข้อดีของระบบ C.I.E.LAB สามารถหาค่าความแตกต่างระหว่าง 2 สี หรือค่า E^* (total difference) ได้จาก

$$E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2.22)$$

นอกจากนี้ยังสามารถหาความแตกต่างของค่า Chroma (C^*) และความแตกต่างของค่า Hue (H^*) ได้จาก

$$L^* = L^*_{\text{ตัวอย่าง}} - L^*_{\text{มาตรฐาน}} \quad (2.23)$$

$$C^* = C^*_{\text{ตัวอย่าง}} - C^*_{\text{มาตรฐาน}} \quad (2.24)$$

$$H^* = [(\Delta E^*)^2 + (\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*)^2]^{1/2} \quad (2.25)$$

2.3 การวิเคราะห์ความถดถอย (Regressive analysis)

การวิเคราะห์ความถดถอยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (X) ตัวเดียวหรือมากกว่า หนึ่งตัวกับตัวแปรตาม (Y) ใช้ในสถานการณ์ทั้งที่สามารถควบคุมตัวแปรอิสระได้และไม่สามารถควบคุมตัวแปรอิสระได้ เพื่อทำนายค่าของตัวแปรตามจากตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้อง

ประเภทของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น

- 1) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยเมื่อมีตัวแปรอิสระ 1 ตัวและตัวแปรตาม 1 ตัวรูปแบบการวิเคราะห์นี้เป็นรูปแบบพื้นฐานที่ง่ายที่สุดของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น มีรูปแบบดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \quad (2.26)$$

โดย Y = ค่าของตัวแปรตาม

X = ค่าของตัวแปรอิสระ

β_0 = ระยะตัดแกน y

β_1 = ความชันเส้นถดถอย หรือ สัมประสิทธิ์ของความถดถอย

ϵ = ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าประมาณของ Y

- 2) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ (Multiple Linear Regression Analysis) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามหนึ่งตัวกับตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว โดยมีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้นและมีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon \quad (2.27)$$

โดย Y = ค่าของตัวแปรตาม

X = ค่าของตัวแปรอิสระตัวที่ 1 ถึงตัวที่ n

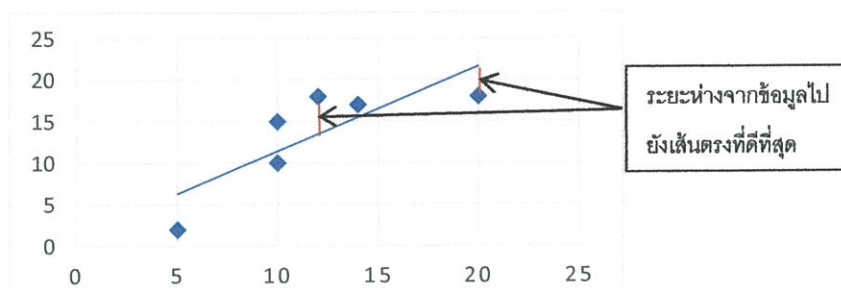
β_0 = ระยะตัดแกน y

β_1, β_2 = ความชันเส้นถดถอย หรือสัมประสิทธิ์ของความถดถอยตัวที่ 1 ถึง

ตัวที่ n

ϵ = ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าประมาณของ Y

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เป็นการนำข้อมูลจากการศึกษามาหาความสัมพันธ์ที่บ่งบอกถึงแนวโน้มของความสัมพันธ์โดยใช้เส้นตรงและหาเส้นตรงที่ดีที่สุดเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ศึกษา โดยเป็นค่าที่น้อยที่สุดของผลรวมระยะห่างกำลังสองจากข้อมูลไปยังเส้นที่ดีที่สุด(เส้นถดถอย) เรียกว่า วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares)

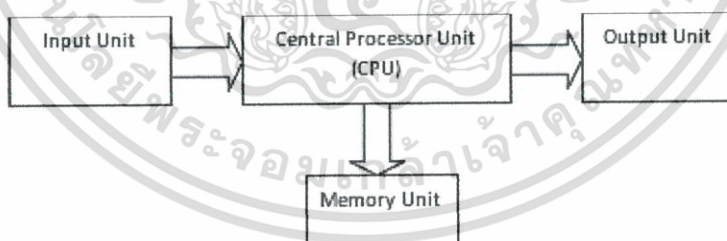


รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลและเส้นตรงที่ดีที่สุด

2.4 เครื่องมือวัด

2.4.1 หลักการเบื้องต้นของเครื่องมือวัด

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กที่สามารถทำงานได้อย่างซับซ้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมือ ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ จำเป็นต้องมีระบบพื้นฐาน ได้แก่ หน่วยนำข้อมูลเข้า (Input Unit) ทำหน้าที่ รับข้อมูลจากภายนอกเข้าระบบเพื่อทำการประมวลผลต่อไป รูปแบบการส่งข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัล, หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processor Unit) หรือ CPU ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ได้รับมาจากส่วนรับข้อมูล และทำหน้าที่ควบคุมการทำงานในระบบ, หน่วยนำข้อมูลออก (Output Unit) ทำหน้าที่นำข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลกลางไปใช้ภายนอกระบบหรือแสดงผลลัพธ์ออกมา และหน่วยความจำ (Memory Unit) เป็นอุปกรณ์เก็บข้อมูลและคำสั่งการทำงานเพื่อการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบ

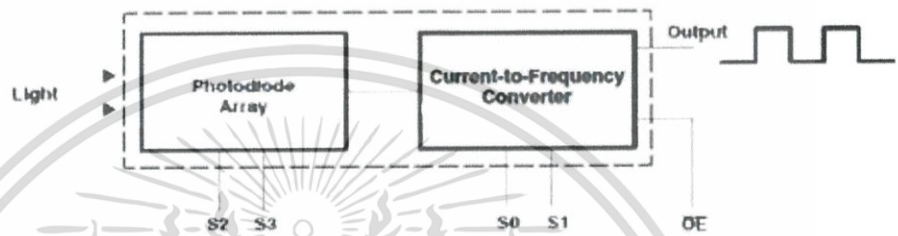
2.4.2 โมดูลวัดสี (Color Sensor) : TCS3200

โมดูล TCS3200 เป็นอุปกรณ์อ่านค่าสี โดยใช้โมดูล TAOS TCS3200 เป็นตัวแยกความถี่ของแสง และแปลงแสงเป็นความถี่ อ่านค่าโดยใช้ photodiodes ขนาด 8x8 ตัว โดยมีเซ็นเซอร์สีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16 ตัว สีเขียว 16 ตัว สีแดง 16 ตัว และแสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง 16 ตัว พร้อมไฟ LED 4 หลอดสะท้อนสีของวัตถุ TCS3200 นี้ทำงานที่แรงดัน 2.7V ถึง 5.5V ใช้กำลังงานต่ำ มีความคลาดเคลื่อน 0.2% ที่ความถี่ 50 kHz สามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง ระยะห่างที่เหมาะสม 10 mm. เมื่อมีแสงตกกระทบตัวเซ็นเซอร์จะเปลี่ยนแปลงค่าของสีที่มากกระทบเป็นสัญญาณความถี่เอาต์พุตสี่เหลี่ยม (Square Wave) โดยมีค่า Duty cycle 50% ซึ่งค่าความถี่จะแปรผันตามค่าของแสงที่ตกกระทบ

Functional Block Diagram

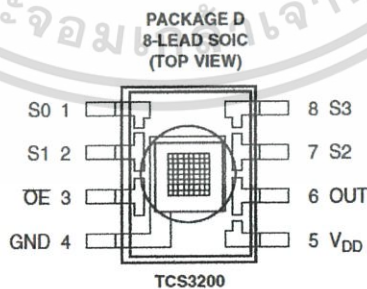


รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงหน้าที่ควบคุมโมดูล

ที่มา : TAOS Inc. (2554)

การจัดขาของโมดูล

โดย V_{DD} ต่อแรงดันไฟ 5V ขา OUT คือขาสัญญาณเอาต์พุตโดยให้ค่าออกมาเป็นความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยม Duty cycle 50% โมดูลจะให้สัญญาณ output ออกมาทางขา S2 และ S3 ถ้า S2 และ S3 ให้สัญญาณ 0 หรือ L ออกมา แปลว่า อ่านค่าได้สีแดง และถ้า S2 และ S3 ให้ค่าออกมาเป็น L และ H แปลว่าเป็นสีน้ำเงิน ตามตารางที่ 1 อีกทั้งสามารถขยายสัญญาณได้โดยความคุมที่ขา S0 และ S1 โดยมี 4 ระดับ ดังตามตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.9 แผนภาพการจัดขาของโมดูล

ที่มา : TAOS Inc. (2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 PHOTODIODE TYPE

S2	S3	PHOTODIODE TYPE
L	L	RED
L	H	BLUE
H	L	CLEAR (No Filter)
H	H	GREEN

ตารางที่ 2.2 OUTPUT FREQUENCY SCALING (f_0)

S0	S1	OUTPUT FREQUENCY SCALING (f_0)
L	L	POWER DOWN
L	H	2%
H	L	20%
H	H	100%

2.5 ค่าทางสถิติสำหรับวิเคราะห์สมรรถนะในการวัด

2.5.1 ค่าความผิดพลาด (Bias)

เป็นค่าความแตกต่างของค่าจากการวัดกับค่าจากการทำนาย โดยทั่วไปค่าความผิดพลาดเป็นค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนระหว่างชุดข้อมูลข้อเท็จจริงกับข้อมูลการทำนาย คำนวณได้จาก

$$\text{bias} = \frac{\sum_{i=1}^M y_i^{\text{meas}} - y_i^{\text{pred}}}{M} \quad (2.28)$$

โดยที่ y_i^{meas} = ข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงจากตัวอย่าง

y_i^{pred} = ข้อมูลที่มาจากการทำนายจากตัวอย่าง

M = จำนวนตัวอย่าง

2.5.2 สัมประสิทธิ์การอธิบาย (Coefficient of Determination ; R^2)

บ่งบอกถึงเปอร์เซ็นต์ของความแปรปรวนในตัวแปรตามซึ่งสามารถอธิบายหรือทำนายได้ด้วยอีกตัวแปรอิสระ ค่า R^2 ที่มากหรือเข้าใกล้ 1 (100%) แสดงให้เห็นถึงสมการถดถอยหรือตัวแปรอิสระมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถต่ำในการอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตาม หรือความถูกต้องในการพยากรณ์ต่ำ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$R^2 = \left[1 - \frac{SSE}{\sum_{i=1}^M (Y_i - Y_m)^2} \right] \times 100 \quad (2.29)$$

โดยที่ SSE = ผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน หรือ Sum of Square Errors

$$SSE = \sum_{i=1}^M (e)^2 \text{ โดยที่ } e \text{ คือค่าความคลาดเคลื่อน} \quad (2.30)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_i))^2 \quad (2.31)$$

2.5.3 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทำนาย (Standard Error of Prediction ; SEP)

หมายถึงค่าความแตกต่างระหว่างค่าทำนายกับค่าอ้างอิง ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$SEP = \left(\sum (x-y)^2 - \left[\frac{\sum (x-y)}{N} \right]^2 \cdot N-1 \right)^2 \quad (2.32)$$

2.5.4 ความสามารถในการทวนซ้ำ (repeatability)

หมายถึง ความสามารถในการทวนซ้ำของเครื่องมือวัด แสดงถึงค่าความถูกต้องใกล้เคียงกันของเครื่องมือวัดที่เดียวกันหลายๆครั้ง โดยวัดซ้ำในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน และอยู่ภายใต้วิธีการวัด ผู้ทำการวัดคนเดียว สภาวะแวดล้อมเดียวกัน ค่าความสามารถในการทวนซ้ำนี้เกี่ยวข้องกับค่าความแม่นยำ (accuracy) ของเครื่องมือวัด

2.5.5 ความสามารถในการทำซ้ำ (reproducibility)

หมายถึง ความสามารถในการแสดงค่าซ้ำของเครื่องมือวัด แสดงถึง ระดับความใกล้เคียงกันของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด โดยวัดซ้ำในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน และสามารถเปลี่ยนแปลง วิธีการวัด ผู้วัด รวมถึงสภาวะแวดล้อมได้ ค่าความสามารถในการทำซ้ำนี้เกี่ยวข้องกับค่าความเที่ยงตรง (precision) ของเครื่องมือวัด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการวิจัยของ Jha และคณะ (2007) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองของค่าสีสำหรับการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของมะม่วงแบบไม่ทำลายรูปแบบค่าสี ซึ่งงานวิจัยใช้ค่าสีที่วัดได้จากเครื่องมือ Colorimeter เพื่อระบุความสุกแก่ของมะม่วงด้วยดัชนีความบริสุทธิ์ (Maturity Index หรือ I_m), ที่หาได้จากอัตราส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) ของมะม่วงที่ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวต่างๆ ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ที่ความบริสุทธิ์เชิงการค้า ตัวอย่างมะม่วงถูกเก็บเกี่ยวจำนวน 315 ตัวอย่างถูกแยกเป็น 3 กลุ่มคือกลุ่มสำหรับสร้างแบบจำลองจำนวน 160 ตัวอย่าง, กลุ่มสำหรับทดสอบแบบจำลองจำนวน 100 ตัวอย่าง และกลุ่มสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสจำนวน 55 ตัวอย่าง ค่าสีในระบบ CIE (Lab) และดัชนีความบริสุทธิ์ถูกนำมาสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression หรือ MLR), กำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square หรือ PLS) และการถดถอยขององค์ประกอบหลัก (Principle component regression) ผลที่ได้แสดงถึงสมรรถนะในการทำนายที่ดี ($r = 0.86-0.91$)

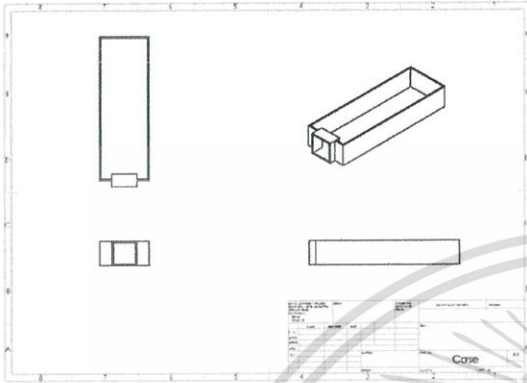
วิภาทร ลากเจริญสุข และคณะ (2559) ได้ศึกษาแบบจำลองจากค่าสีเพื่อตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดเชิงการค้าแบบไม่ทำลาย โดยตัวอย่างสับปะรดจากจังหวัดชลบุรี 100 ตัวอย่าง ค่าสีของสับปะรดถูกบันทึกในมาตรฐาน CIE Hunter ($L^*a^*b^*$) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดโดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้แบบมือถือ แบบจำลองจากค่าสีสำหรับการประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดถูกสร้างด้วยวิธีถดถอยพหุเชิงเส้น (multiple linear regression, MLR) ตัวอย่างจำนวน 80 เปอร์เซ็นต์ จะถูกแบ่งออกเป็นชุดสร้างแบบจำลองและส่วนที่เหลือ 20 เปอร์เซ็นต์ จะถูกใช้เป็นชุดทดสอบแบบจำลอง จากผลการทดลองทำให้เห็นได้ว่าแบบจำลองจากค่าสีมีแนวโน้มจะสามารถใช้ประเมินปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดได้

จากงานวิจัยของ Lapcharoensuk และคณะ (2016) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสับปะรดในระยะช่วงการเก็บเกี่ยว 130, 140, 150, 160 และ 170 วัน หลังบังคับดอก จากตัวอย่างสับปะรด 125 ตัวอย่าง ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างสีเนื้อสับปะรดในระยะช่วงการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกันและสมบัติทางเคมีได้แก่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของสับปะรด พบว่า สีเนื้อสับปะรด (L^* , a^* และ b^*) มีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดของสับปะรด ($r = 0.41$ ถึง 0.80)

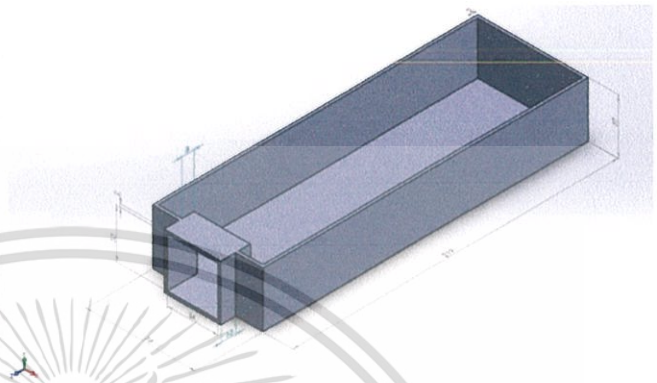
Lapcharoensuk และคณะ (2016) ได้ศึกษาการวัดค่ากรดซิตริกในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย โดยใช้แบบจำลองค่าสี ด้วยการนำตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจำนวน 225 ตัวอย่างมาทำการตรวจสอบปริมาณกรดซิตริก

-การสร้างตัวกล่อง

นำแผ่นอะคริลิกมาใช้เป็นวัสดุในการสร้างกล่อง โดยกล่องมีขนาด กว้าง 219 มิลลิเมตรยาว 74 มิลลิเมตร สูง 37 มิลลิเมตรและมีความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งด้านหน้าของกล่องเป็นส่วนสำหรับใส่เซ็นเซอร์โดยมีขนาด กว้าง 20 มิลลิเมตรยาว 38 มิลลิเมตร สูง 37 มิลลิเมตรและมีความหนา 2 มิลลิเมตรซึ่งมีแบบฉายดังรูปที่ 3.2และแบบสามมิติดังรูปที่ 3.3



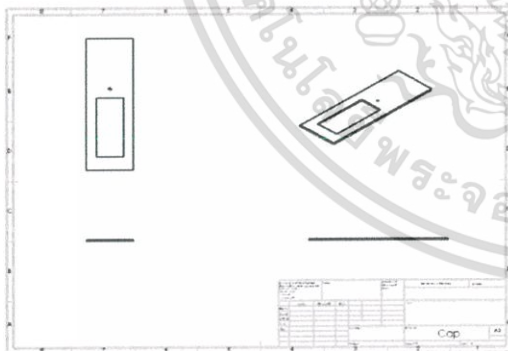
รูปที่ 3.2แบบฉายตัวกล่อง



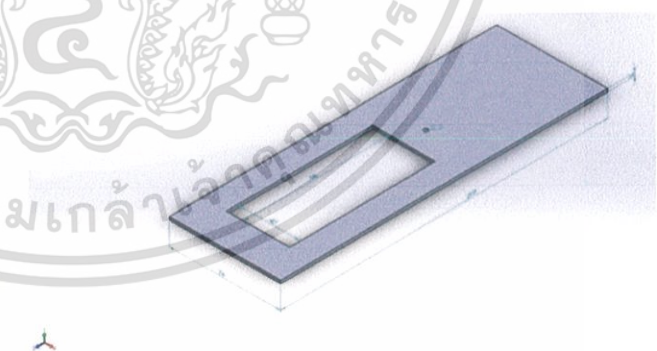
รูปที่ 3.3แบบสามมิติตัวกล่อง

-การสร้างตัวฝาปะกบ

นำแผ่นอะคริลิกมาใช้เป็นวัสดุในการสร้างกล่อง โดยกล่องมีขนาดกว้าง 219 มิลลิเมตรยาว 74 มิลลิเมตร และมีความหนา 2 มิลลิเมตรมีช่องสำหรับใส่หน้าจอ LCD ขนาดกว้าง 42 มิลลิเมตรยาว 98 มิลลิเมตร และมีรูสำหรับสวิตช์เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ซึ่งมีแบบฉายดังรูปที่ 3.4และแบบสามมิติดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แบบฉายตัวฝา

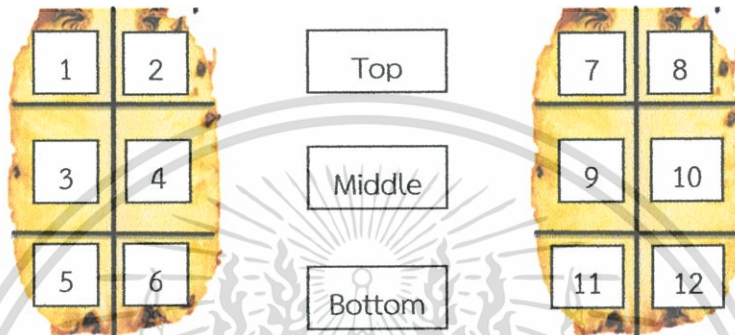


รูปที่ 3.5 แบบสามมิติตัวฝา

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 ตัวอย่าง

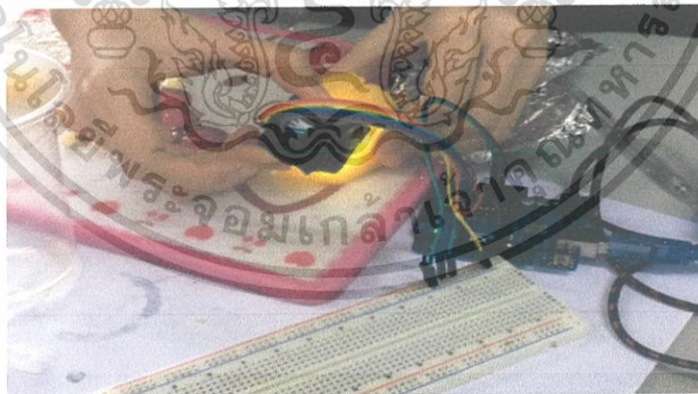
สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจำนวน 20 ลูก ถูกรวบรวมจากซูเปอร์มาร์เก็ต โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 5 ครั้งใน 1 ครั้งใช้ตัวอย่างสับปะรด 4 ลูก สับปะรดแต่ละลูกจะถูกปอกเปลือกและแบ่งออกเป็น 12 ชิ้น ตามรูปที่ 3.6 ก่อนการทดลองทุกครั้งสับปะรดจะถูกวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อปรับอุณหภูมิภายในของสับปะรด



รูปที่ 3.6 แสดงวิธีการแบ่งชิ้นสับปะรดใน 1 ลูก เพื่อทำการทดลอง

3.2.2 การวัดสี

สีของเนื้อสับปะรดถูกบันทึกด้วยระบบ RGB โดยใช้เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น วัดที่ผิวด้านนอกของเนื้อสับปะรด ทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การวัดสีเนื้อของสับปะรด

3.2.3 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้

การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทำได้โดยใช้เครื่อง Refractometer รุ่น Pocket PAL-1 (ATAGO, ประเทศญี่ปุ่น) วัดจากการคั้นน้ำสับปะรด ทั้งหมด 12 ชิ้นต่อ 1 ลูก โดยแต่ละชิ้นทำวัด 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ยการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของน้ำสับปะรดแสดงในรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทำได้โดยใช้เครื่อง Refractometer

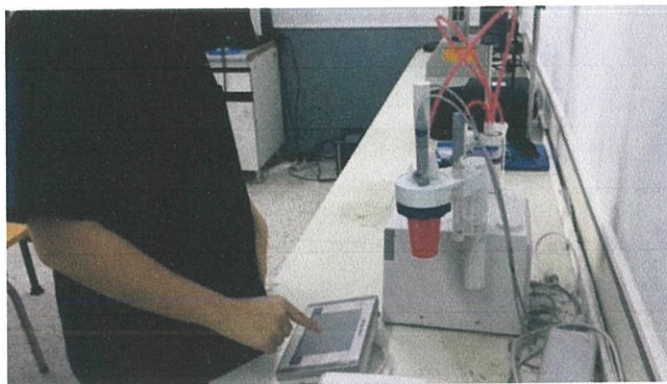
3.2.4 การวัดปริมาณกรด

การวัดปริมาณกรดทำได้โดยวิธีการไทเทรตน้ำส้มประดจากการคั้นน้ำส้มประดแต่ละชั้นด้วยเครื่องไตเตรทแบบโพเทนซิโอเมตริก รุ่น T50 (บริษัท Mettler-toledo จำกัด ประเทศไทยสหรัฐอเมริกา) และโดยแต่ละชั้นทำการทดลอง 3 ซ้ำ และหาค่าเฉลี่ย โดยปริมาณกรดถูกรายงานในรูปแบบของปริมาณกรดซิตริก (percentage of V/V) โดยสมการในการคำนวณเป็นดังนี้

$$\text{ร้อยละของกรดซิตริก} = \frac{(\text{ml NaOH})(\text{N NaOH})(\text{meq.wt.acid})(100)}{(\text{ml sample})} \quad (3.1)$$

โดยที่ ml NaOH = ปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรทกับน้ำส้มประด (ml)
 N NaOH = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (0.1 normal)
 meq.wt.acid = 1 mg สมมูลของน้ำหนักรดซิตริก (0.064)
 ml sample = ปริมาณของน้ำส้มประด (ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การวัดปริมาณกรดด้วยเครื่องไตเตรทแบบโพเทนชิโอเมตริก

3.3. การสร้างแบบจำลอง

สามารถทำได้โดยนำข้อมูลผลการทดลองมาเข้าโปรแกรมคำนวณ The Unscramble (version 9.8, Norway) สร้างสมการแบบจำลองด้วยวิธี Multiple linear regressions (MLR) ให้ตัวแปรต้นคือ ค่าสีและตัวแปรตาม คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดโดยใช้ข้อมูลทั้งสิ้น 240 ข้อมูล

3.4 การทดสอบเครื่องมือวัด

ในการทดสอบเครื่องมือวัด สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจำนวน 34 ตัวอย่างทำการวัดสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นและเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐานโดยรายงานผลสมรรถนะของเครื่องมือวัดด้วยค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์(r) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) โดยใช้โปรแกรม The Unscramble (version 9.8, Norway)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 แบบจำลองสำหรับการวัดสมบัติทางเคมีของสับประรด

4.1.1 ค่าทางสถิติของสมบัติทางเคมีของสับประรดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

จากผลการทดลอง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 13.8 °Brix, ค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.5 °Brix, ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.7 °Brix และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.962 °Brix ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับประรดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

สมบัติทางเคมี	ตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด (°Brix)	ค่าสูงสุด (°Brix)	ค่าเฉลี่ย (°Brix)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (°Brix)
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้	240	8.5	13.8	10.7	0.962

และสำหรับปริมาณกรด มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.77 %Citric, ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.29%Citric, ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.57%Citric และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.098 %Citric ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณกรดของสับประรดที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

สมบัติทางเคมี	ตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด (%Citric)	ค่าสูงสุด(% Citric)	ค่าเฉลี่ย(% Citric)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%Citric)
ปริมาณกรด	240	0.29	0.77	0.57	0.098

4.1.2 แบบจำลองสำหรับวัดสมบัติทางเคมีของสับประรด

จากสมการที่ 4.1 แสดงสมการปริมาณของแข็งที่ละลายได้หรือค่า Brix พบว่าสัมประสิทธิ์ R มีค่าเท่ากับ 0.01 มีค่าเป็นลบ ซึ่งค่า R มีความสัมพันธ์แปรผกผันกับค่า Brix ค่าสัมประสิทธิ์ G มีค่าเท่ากับ 0.132 มีค่าเป็นบวก ค่า G จึงมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับค่า Brix และสัมประสิทธิ์ B มีค่าเท่ากับ 0.168 ซึ่งมีค่าเป็นลบ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า R และค่า Brix จึงแปรผกผันซึ่งกันและกัน ส่วนค่า Intercept นั้นมีค่าเท่ากับ 15.008

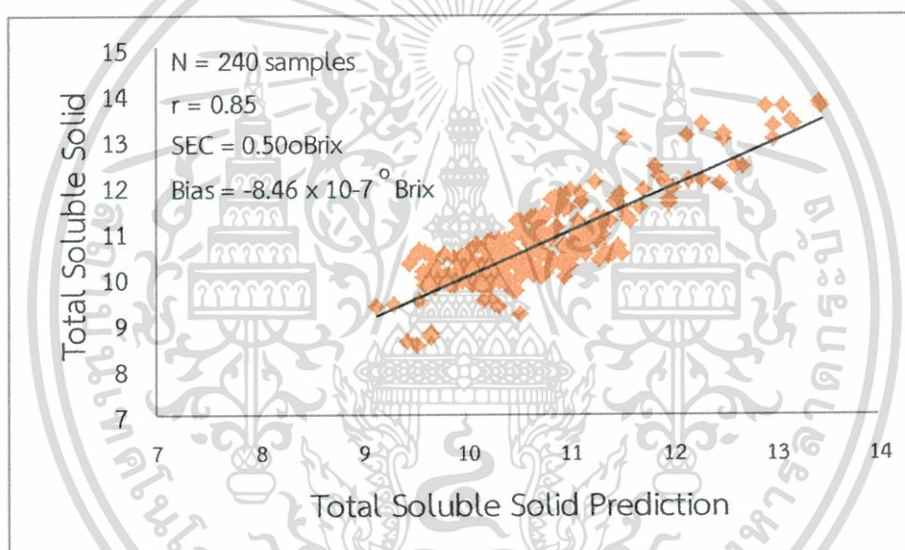
$$\text{Brix} = -0.0084R + 0.1157G - 0.1332B + 12.0364 \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 4.2 แสดงสมการปริมาณกรดของ Citric Acid พบว่า สัมประสิทธิ์ R มีค่าเท่ากับ 0.002 และเป็นค่าลบ ค่า R จึงมีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกับค่า Citric Acid สัมประสิทธิ์ G มีค่าเท่ากับ 0.06 ซึ่งมีค่าเป็นบวก ค่า G จึงมีความสัมพันธ์ที่แปรผันตรงกับค่า Citric Acid และสัมประสิทธิ์ B มีค่าเท่ากับ 0.055 มีค่าเป็นลบ ค่า R จึงมีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกับค่า Citric Acid และในส่วนของค่า Intercept เท่ากับ 0.064

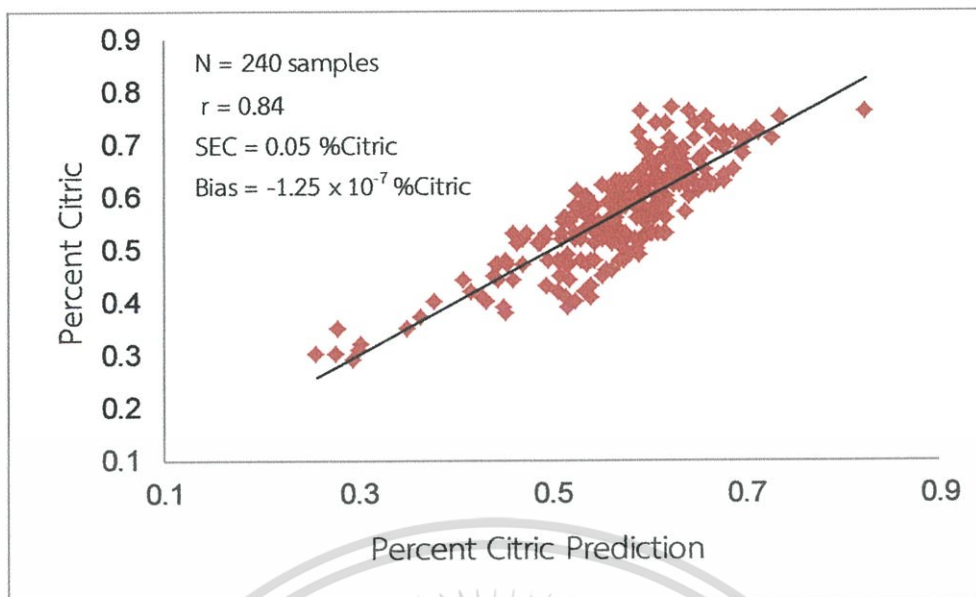
$$\text{Citric Acid} = -0.0017R + 0.0526G - 0.0436B - 1.3909 \quad (4.2)$$

เมื่อนำค่า R G และ B มาแทนค่าลงในสมการแสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากการวัดโดยตรงกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากการทำนายดังแสดงในรูปที่ 4.1 ได้ค่า r เท่ากับ 0.85, ค่า SEC เท่ากับ 0.50°Brix และ Bias เท่ากับ $-8.46 \times 10^{-7}^{\circ}\text{Brix}$



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากการวัดโดยตรงกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากการทำนาย

และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดจากการวัดโดยตรงกับปริมาณกรดจากการทำนาย ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ได้ค่า r เท่ากับ 0.84, ค่า SEC เท่ากับ 0.05 %Citric และ Bias เท่ากับ -1.25×10^{-7} %Citric



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดจากการวัดโดยตรงกับปริมาณกรดจากการทำนาย

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือ

จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าสูงสุดเท่ากับ $11.0^{\circ}Brix$, ค่าต่ำสุดเท่ากับ $8.9^{\circ}Brix$, ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $10.0^{\circ}Brix$ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $0.6^{\circ}Brix$ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรด

สมบัติทางเคมี	ตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด ($^{\circ}Brix$)	ค่าสูงสุด ($^{\circ}Brix$)	ค่าเฉลี่ย ($^{\circ}Brix$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($^{\circ}Brix$)
ปริมาณ ของแข็งที่ ละลายได้	34	8.9	11.0	10.0	0.6

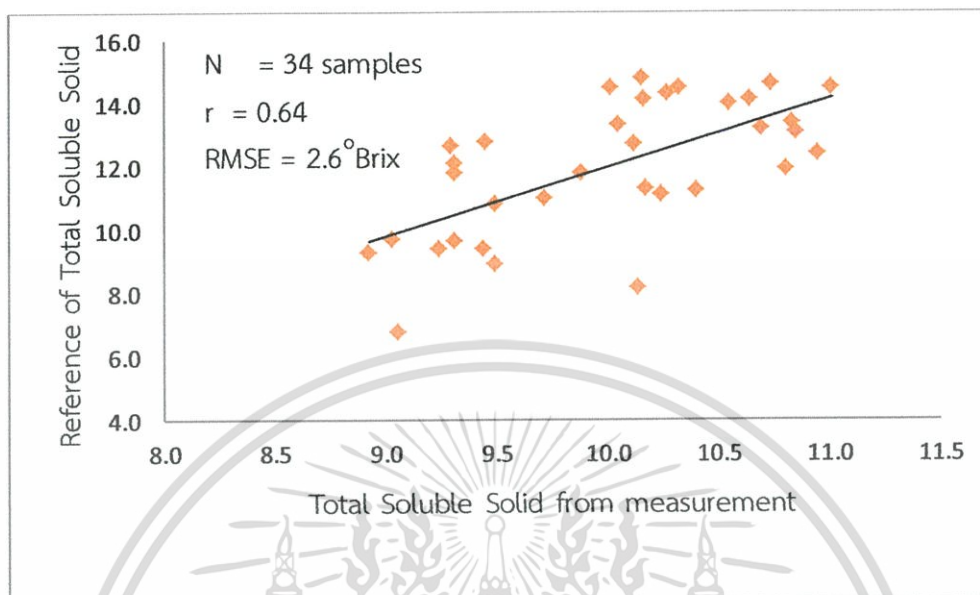
และสำหรับปริมาณกรด มีค่าสูงสุดเท่ากับ $0.80 \%Citric$, ค่าต่ำสุดเท่ากับ $0.49 \%Citric$, ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.69 \%Citric$ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $0.067 \%Citric$ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าทางสถิติของปริมาณกรดของสับปะรด

สมบัติทางเคมี	ตัวอย่าง	ค่าต่ำสุด ($\%Citric$)	ค่าสูงสุด (%) Citric)	ค่าเฉลี่ย (%) Citric)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($\%Citric$)
ปริมาณกรด	34	0.49	0.80	0.69	0.067

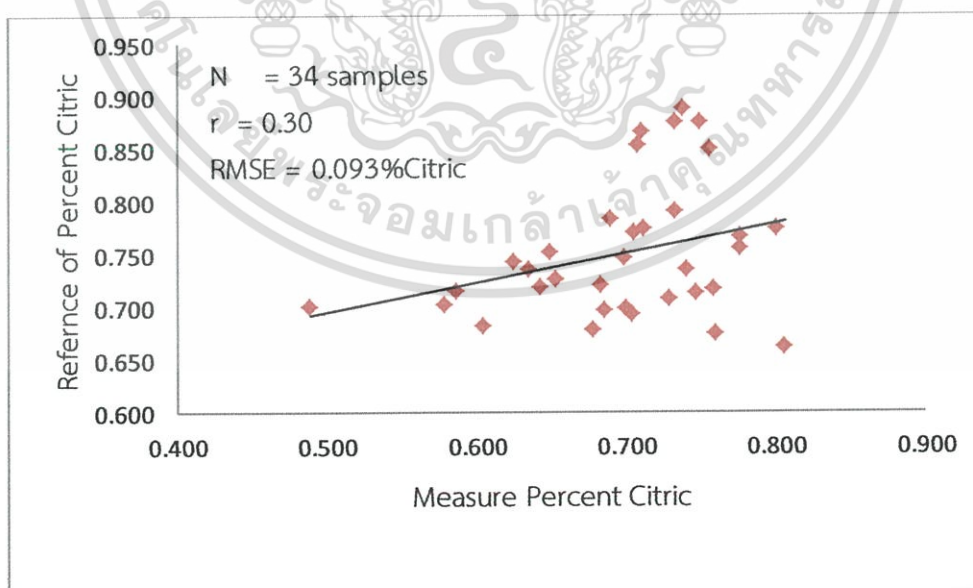
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากการวัดเครื่องมือวัดกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้อ้างอิงค่า r เท่ากับ 0.64 และ RMSE เท่ากับ 2.6° Brix



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากการวัดเครื่องมือวัดกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้อ้างอิง

และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดจากการวัดเครื่องมือวัดกับปริมาณของกรดอ้างอิงดังแสดงในรูปที่ 4.4 ได้ค่า r เท่ากับ 0.3 และ RMSE เท่ากับ 0.093% Citric



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดจากการวัดเครื่องมือวัดกับปริมาณของกรดอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เครื่องวัดคุณสมบัติทางเคมีของสับประรดมีแนวโน้มที่ดีและมีความเป็นไปได้ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรด ซึ่งมีค่าทางสถิติจากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ดังนี้ r เท่ากับ 0.64, และ RMSE เท่ากับ 2.6 ° Brix และค่าทางสถิติจากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือของปริมาณกรด ดังนี้ r เท่ากับ 0.3 และ RMSE เท่ากับ 0.093 %Citric หากเครื่องมือนี้ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ ซึ่งจะทำให้สมรรถนะของเครื่องดีขึ้นและส่งผลประโยชน์ในแง่ของการลดต้นทุนในการวัดคุณสมบัติสำหรับอุตสาหกรรมสับประรดของประเทศไทยต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่าจุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข เพื่อพัฒนาให้เครื่องมือมีสมรรถนะในการวัดสมบัติที่ดีขึ้นมีดังนี้

1. ควรใช้สับประรดจากสวนโดยตรงที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ เพื่อเพิ่มช่วงของข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง
2. ในการวัดค่าสีของเนื้อสับประรดด้วยเซ็นเซอร์ไม่ควรที่จะให้มีแสงจากภายนอกผ่านเข้าไปในตัวรับแสงและควรเลือกใช้เซ็นเซอร์ที่มีคุณภาพสูง เพื่อป้องกันความผิดพลาดของข้อมูล
3. ควรมีการศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบเชิงคุณภาพ เพื่อคัดแยกสับประรดตามคุณภาพที่เป็นที่ต้องการของตลาดหรือไม่เป็นที่ต้องการของตลาด
4. มีการสอบเทียบการวัดความแม่นยำของเซ็นเซอร์อยู่เสมอ

เอกสารอ้างอิง

- Conzen Jörg-Peter (2006). Multivariate Calibration (2nd English edition). Ettlingen, Germany: Bruker Optik GmbH.
- Hunter Associates Laboratory. 2016. hunterlab. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.hunterlab.com/> (22 สิงหาคม 2559)
- Jha, S. N., Chopra, S., Kingsly, A. R. P. 2007. Modeling for nondestructive evaluation of maturity of mango. Journal of food engineering, 78, 22-26.
- LapcharoensukRavipat, AimwongsaTeeramit, KaeynokAumnuai, Phannote Noppadon and KasetyangyunsapaDimae. 2016. Color values models for determination of citric acid in pineapple. Paper presented at the 17th Thailand society of agricultural engineering (TSAE) international conference
- LapcharoensukRavipat, PhannoteNoppadon and KasetyangyunsapaDimae. 2016. Physicochemical Properties of Pineapple at Difference Maturity. Paper presented at the 17th Thailand society of agricultural engineering (TSAE) international conference.
- Putjamat. 2554. หลักการเบื้องต้นของระบบคอมพิวเตอร์. [ระบบออนไลน์]แหล่งที่มา: <http://putjamat.blogspot.com/2011/05/input-cpu-memory-storage-output.html> (22 สิงหาคม 2559)
- จิรภา พงษ์จันตาและคณะ. 2554. งานวิจัยการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์และน้ำตาลในน้ำสับปะรด พันธุ์ปัตตาเวียที่ต่างพื้นที่ปลูกและระดับความสุก. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://agkb.lib.ku.ac.th/ku/search_detail/result/12640 (21 สิงหาคม 2559)
- นวกัทร และ ทวีพล. 2555. ความสามารถในการทนซ้ำและความสามารถในการทำซ้ำ.[ระบบออนไลน์]แหล่งที่มา: www.foodnetworksolution.com (22 สิงหาคม 2559)
- ปานมนัส ศิริสมบุรณ์ (2538). Physical and Engineering Properties of Biological Materials. กรุงเทพมหานคร.
- รวีภัทร ลาภเจริญสุข, อีระมิตย์ เอี่ยมวงษา และอำนาจ เขยนอก.2559. แบบจำลองจากค่าสีเพื่อตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสับปะรดเชิงการค้าแบบไม่ทำลาย. งานวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17
- รุ่งทิพย์ จุฑะ, มงคลสงวนศรี เจริญเหรียญ. 2551. งานวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมเอนไซม์โบรมิเลนกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในผลสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://kukr.lib.ku.ac.th/db/BKN/search_detail/result/11095 (20 สิงหาคม 2559)
- ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. 2547. โครงการการตรวจวัดคุณภาพภายในสับปะรดโดยใช้เทคนิคการตอบสนองต่อคลื่นเสียงการวิเคราะห์ภาพและคุณสมบัติเชิงแสง. [ระบบออนไลน์]แหล่งที่มา: <http://rir.nrct.go.th/rir/?page=researching&nid=18073> (20 สิงหาคม 2559)



ภาคผนวก ก

คำสี่และสมบัติทางเคมีทั้งหมดจากการสร้างแบบจำลองและการทดสอบสมรรถนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้และค่าสีจากการทดลองเพื่อสร้างแบบจำลอง

R	G	B	Brix
109.33	84.67	76.00	13.33
118.33	95.33	86.67	12.4
128.67	103.67	94.00	13.03
109.33	84.67	76.00	13.33
118.33	95.33	86.67	12.4
128.67	103.67	94.00	13.03
64.67	45.67	41.33	13.8
84.00	61.00	55.33	13.7
71.00	52.33	47.67	13.33
77.67	59.33	54.00	13.3
101.33	77.67	72.00	13.07
89.00	66.33	61.67	13
71.33	53.00	48.67	13.7
66.33	48.00	43.00	13.7
70.00	53.33	48.67	13.43
89.33	70.67	65.00	13.1
78.00	61.33	55.67	12.97
139.33	112.00	104.00	11.77
94.33	74.67	68.33	12
98.67	72.33	65.33	12.4
121.33	94.33	88.00	10.67
102.33	74.00	68.33	12.1
93.67	67.00	61.00	12.4
114.33	84.67	78.00	12
152.00	125.67	118.00	10.07
142.00	116.67	109.33	10.2
123.00	99.00	94.33	10.67
133.33	107.00	100.33	10.7
180.67	150.33	141.33	9.4
172.67	146.00	139.33	9.37
164.33	138.00	131.00	10.57
151.00	123.33	116.33	10.57
157.67	132.67	125.67	10.03
154.33	125.33	117.67	9.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Brix
148.00	120.67	113.00	9.7
136.33	110.67	103.67	10.37
120.67	96.00	89.67	10.5
121.33	96.33	90.00	11.2
142.33	114.33	107.33	11.23
163.67	135.00	128.00	9.77
169.33	140.33	132.67	9.5
158.00	131.33	124.00	10
159.67	131.67	124.00	9.9
144.33	116.33	109.33	10.97
142.00	116.33	109.33	10.9
136.00	112.33	105.33	10.47
143.33	115.67	108.33	10.03
141.33	114.67	107.33	10.03
121.67	97.33	90.67	10.53
157.00	128.00	120.00	10.6
157.67	131.00	124.00	10.4
141.33	114.33	107.00	10.8
147.33	118.67	110.67	10.7
152.67	119.00	111.00	10.9
154.00	125.00	117.00	9.9
158.33	130.00	122.33	10.6
139.33	112.00	105.00	11.3
123.00	96.33	90.33	11.27
144.33	112.33	105.00	11.3
161.00	133.00	126.00	10
136.33	106.67	98.67	10.5
146.33	120.33	112.67	9.2
161.00	133.67	126.00	9.8
148.67	123.00	116.00	10
142.33	116.33	109.00	10.8
140.00	110.33	103.00	11.1
145.33	120.33	113.33	10.4
144.33	117.67	110.00	10.5
147.33	120.67	114.00	9.93
147.67	120.67	112.00	10.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Brix
159.33	133.33	124.00	9.83
140.67	116.00	108.33	10
143.67	117.33	109.00	10.07
138.33	109.67	101.67	10.4
140.00	113.00	104.67	10
151.00	125.33	118.00	10.07
151.00	124.67	116.67	10.3
136.33	110.00	102.00	10.5
133.67	106.33	98.67	10.6
105.00	82.00	76.33	11.67
125.00	100.33	93.33	11.13
121.33	99.00	92.33	11.27
131.00	106.67	99.67	10.97
125.00	101.00	94.33	11.17
112.00	89.33	83.33	11.5
140.33	113.33	105.67	10.83
126.33	101.33	95.33	10.87
148.33	120.33	112.33	10.1
152.33	122.33	115.33	10.03
149.00	121.00	113.00	10.47
143.00	113.67	106.67	10.17
140.33	109.00	100.67	10.97
162.67	134.33	126.67	9.8
145.00	117.00	109.00	10.17
142.00	115.00	108.33	10.37
133.67	107.67	100.33	10.63
126.67	99.67	92.67	10.93
141.33	114.00	106.00	10.9
154.00	123.67	115.33	9.9
152.00	125.00	118.00	9.47
155.67	127.67	119.33	9.4
170.67	142.67	134.67	8.5
154.67	126.67	118.67	10.7
167.00	140.00	132.00	8.77
171.00	142.00	133.33	8.67
174.33	146.00	137.67	8.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Brix
138.00	112.00	103.67	10.23
159.33	128.33	120.33	9.77
165.67	134.00	125.00	9.8
163.00	134.67	127.67	10.3
162.00	134.00	126.67	10.5
147.67	120.67	112.67	10.07
130.67	105.67	99.33	10.37
127.00	101.00	94.00	10.37
124.33	98.67	91.00	10.5
135.67	108.00	101.00	10.2
151.00	122.33	115.00	10.17
152.00	125.33	118.33	10
149.67	120.33	112.33	10.3
161.33	129.67	123.00	9.8
159.67	130.00	123.67	9.9
150.67	122.33	116.67	9.87
156.67	125.00	118.67	10.03
157.33	126.00	119.67	10.2
148.67	119.33	112.33	9.77
154.67	124.67	118.33	9.97
149.67	118.67	112.33	10.1
170.33	141.67	133.33	9.83
157.33	127.67	119.67	9.87
158.33	128.67	121.00	10.3
162.33	134.67	126.33	10.17
140.33	109.33	101.33	10.63
139.00	108.33	101.67	10.3
161.33	132.67	125.67	9.9
165.67	136.33	128.00	9.97
150.33	121.67	114.33	10.2
134.67	108.33	101.00	10.5
140.67	109.67	101.67	10.37
161.33	126.67	117.33	9.7
164.00	129.67	119.67	10.3
158.33	129.33	121.00	9.8
122.00	100.00	93.00	10.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Brix
168.67	141.00	133.00	10.1
167.67	140.00	132.33	10
153.67	126.67	120.00	10.4
163.67	137.00	130.00	10.53
140.67	111.67	104.67	10.9
164.67	137.00	129.33	9.9
169.33	141.00	133.33	10.47
142.33	113.67	106.67	11
164.67	139.67	132.33	10.53
146.33	118.67	111.00	10.97
135.67	110.33	103.33	11.03
138.00	108.67	101.67	11.67
135.33	106.67	100.33	11.47
165.33	139.00	131.33	10.13
148.33	121.67	114.67	10.77
138.67	110.00	102.33	11.47
144.00	117.00	108.00	11.7
143.00	113.00	104.00	11.87
117.33	90.00	82.33	12.2
132.67	101.00	93.67	12.07
142.33	110.33	101.33	11.8
155.67	126.00	118.33	10.73
159.00	130.67	122.33	10.67
153.67	124.00	116.67	10.8
138.33	110.67	103.67	11.67
144.00	117.67	109.67	11.17
136.33	109.67	102.00	11.5
134.67	107.67	99.67	11.63
115.33	90.33	83.67	11.9
169.00	141.33	134.00	10.27
138.67	115.33	108.67	10.23
149.00	124.33	117.00	9.97
160.33	132.33	123.67	10.13
151.00	126.00	119.00	10.3
147.33	122.33	115.00	10.03
129.00	101.00	94.00	10.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Brix
153.33	120.67	112.33	11.2
123.00	94.33	88.67	10.53
131.00	101.33	95.33	10.7
137.00	106.67	100.00	10.67
131.67	100.33	94.00	11
132.00	104.33	97.33	11
150.67	117.67	111.67	10.7
146.33	118.33	111.67	10.8
161.67	133.33	126.67	10.1
160.67	130.00	124.33	10.47
161.00	130.33	121.67	10.3
163.33	131.33	123.00	10.13
157.67	128.33	120.00	9.8
145.33	117.33	110.33	10
138.67	111.33	104.67	10.47
139.00	110.00	102.33	10.43
151.33	122.67	114.67	10.4
157.00	127.67	120.00	10
152.33	124.67	117.33	10.07
140.00	112.00	104.00	10.37
129.33	100.00	92.67	10.53
159.33	128.00	120.00	10.13
165.67	132.00	125.67	9.9
149.00	117.67	111.67	9.37
161.33	133.33	125.33	9.97
114.00	89.33	84.67	11.63
142.00	113.00	106.33	11.3
105.00	76.33	71.67	11.93
134.33	107.00	100.33	11.6
118.33	91.67	87.33	11.1
100.67	74.67	69.67	12.1
146.33	114.33	108.00	11.2
126.67	96.67	90.67	11.3
139.33	108.33	102.00	11.4
110.67	82.00	76.00	11.6
117.00	90.00	84.67	11.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Brix
159.00	128.67	121.67	10.47
135.33	108.67	103.00	10.6
116.67	89.67	84.00	11.3
152.67	121.67	114.00	10.33
156.33	125.67	119.00	10.3
134.33	106.67	101.33	10.97
146.33	116.33	110.33	10.8
146.67	116.67	110.67	10.63
122.00	96.33	90.67	10.97
153.67	123.33	116.00	10.47
142.33	115.67	109.33	10.23
140.67	112.00	105.33	10.57
127.33	101.67	96.33	10.47
116.00	86.33	81.33	11.2
129.33	102.67	96.33	11.2
143.00	115.00	108.67	10.97
126.67	97.33	91.67	11
133.67	107.00	102.00	10.73
128.00	100.33	94.00	10.77
152.33	121.67	114.33	10.57
150.67	122.00	115.33	10.7
140.33	109.00	103.00	10.7
144.00	115.00	109.00	10.57
120.33	93.33	87.00	11.5
161.67	127.00	119.33	10.7
146.00	115.67	108.00	11.3

ตารางแสดงปริมาณกรดและค่าสีจากการทดลองเพื่อสร้างแบบจำลอง

R	G	B	Acid
131.67	103.67	95.67	0.69
132.67	105.33	97.33	0.69
115.00	90.33	83.33	0.56
113.33	89.67	82.67	0.56
144.33	114.00	106.00	0.69
142.00	115.67	109.00	0.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Acid
124.33	97.67	90.33	0.55
119.00	95.00	88.00	0.57
148.67	120.33	113.67	0.54
136.00	111.33	105.00	0.58
123.33	99.67	92.67	0.48
113.00	92.00	86.00	0.52
125.00	101.67	95.33	0.52
142.67	117.33	110.00	0.57
145.67	117.67	110.00	0.53
144.00	121.33	114.00	0.53
127.33	106.67	99.67	0.56
109.33	84.67	76.00	0.49
116.67	92.33	83.67	0.53
141.67	107.33	98.33	0.71
165.67	131.67	122.67	0.72
161.33	133.00	122.33	0.76
115.67	90.67	81.67	0.69
109.33	84.67	76.00	0.72
118.33	95.33	86.67	0.71
128.67	103.67	94.00	0.69
116.67	92.33	83.67	0.62
64.67	45.67	41.33	0.3
84.00	61.00	55.33	0.37
71.00	52.33	47.67	0.29
77.67	59.33	54.00	0.35
71.33	53.00	48.67	0.35
66.33	48.00	43.00	0.32
70.00	53.33	48.67	0.31
67.33	50.67	46.33	0.3
78.00	61.33	55.67	0.4
139.33	112.00	104.00	0.59
94.33	74.67	68.33	0.44
98.67	72.33	65.33	0.53
158.00	129.67	123.00	0.76
152.00	125.67	118.00	0.63
173.00	143.33	137.67	0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Acid
115.00	93.67	87.67	0.53
133.33	107.00	100.33	0.54
123.67	98.33	91.00	0.53
117.00	94.67	87.33	0.53
126.67	102.33	95.00	0.55
136.67	113.33	105.67	0.62
146.67	119.33	113.67	0.55
151.00	123.33	116.33	0.55
157.67	132.67	125.67	0.62
154.33	125.33	117.67	0.67
148.00	120.67	113.00	0.67
136.33	110.67	103.67	0.56
121.33	96.33	90.00	0.52
142.33	114.33	107.33	0.52
163.67	135.00	128.00	0.69
158.00	131.33	124.00	0.57
144.33	116.33	109.33	0.52
142.00	116.33	109.33	0.49
128.67	102.00	94.67	0.59
134.67	108.00	100.33	0.6
136.00	112.33	105.33	0.5
143.33	115.67	108.33	0.58
141.33	114.67	107.33	0.61
121.00	96.33	89.33	0.48
121.67	97.33	90.67	0.48
114.00	88.67	81.67	0.42
91.67	69.67	63.67	0.44
157.00	128.00	120.00	0.75
157.67	131.00	124.00	0.74
141.33	114.33	107.00	0.64
147.33	118.67	110.67	0.66
152.67	119.00	111.00	0.65
154.00	125.00	117.00	0.67
158.33	130.00	122.33	0.74
139.33	112.00	105.00	0.63
154.00	122.67	115.00	0.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Acid
144.33	112.33	105.00	0.62
138.33	112.67	105.67	0.53
148.67	123.00	116.00	0.56
142.33	116.33	109.00	0.53
140.00	110.33	103.00	0.48
145.33	120.33	113.33	0.52
147.33	120.67	114.00	0.6
140.33	112.67	103.67	0.63
127.00	99.33	92.00	0.55
140.00	113.00	104.67	0.63
151.00	125.33	118.00	0.64
125.67	101.00	93.67	0.56
136.33	110.00	102.00	0.56
133.67	106.33	98.67	0.52
125.00	100.33	93.33	0.41
121.33	99.00	92.33	0.52
131.00	106.67	99.67	0.53
117.00	92.00	85.00	0.49
125.00	101.00	94.33	0.4
112.00	89.33	83.33	0.44
126.33	101.33	95.33	0.51
152.33	122.33	115.33	0.56
145.00	117.00	109.00	0.63
142.00	115.00	108.33	0.46
126.67	99.67	92.67	0.42
154.00	123.67	115.33	0.62
152.00	125.00	118.00	0.67
138.67	111.33	104.00	0.63
155.67	127.67	119.33	0.7
170.67	142.67	134.67	0.71
154.67	126.67	118.67	0.65
167.00	140.00	132.00	0.68
152.33	124.33	116.67	0.68
171.00	142.00	133.33	0.75
174.33	146.00	137.67	0.71
112.33	87.67	81.33	0.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Acid
124.33	98.67	91.33	0.45
100.00	74.67	68.33	0.4
138.67	112.33	104.67	0.58
129.00	102.67	95.33	0.46
101.33	79.33	73.00	0.48
106.67	80.33	74.33	0.41
163.00	134.67	127.67	0.77
162.00	134.00	126.67	0.76
147.67	120.67	112.67	0.64
127.00	101.00	94.00	0.56
124.33	98.67	91.00	0.59
151.00	122.33	115.00	0.74
152.00	125.33	118.33	0.63
123.33	96.33	89.00	0.58
161.33	129.67	123.00	0.58
159.67	130.00	123.67	0.58
150.67	122.33	116.67	0.55
156.67	125.00	118.67	0.53
157.33	126.00	119.67	0.55
176.00	147.33	141.33	0.63
155.67	125.67	118.33	0.63
167.67	136.67	130.67	0.57
148.67	119.33	112.33	0.6
154.67	124.67	118.33	0.53
149.67	118.67	112.33	0.54
157.33	127.67	119.67	0.68
158.33	128.67	121.00	0.6
140.33	109.33	101.33	0.56
139.00	108.33	101.67	0.52
161.33	132.67	125.67	0.6
150.33	121.67	114.33	0.6
134.67	108.33	101.00	0.63
140.67	109.67	101.67	0.57
124.33	95.33	88.00	0.6
143.33	110.33	101.00	0.64
133.33	107.33	100.00	0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Acid
132.00	106.33	98.67	0.58
115.00	90.67	82.33	0.5
91.67	69.67	63.00	0.47
119.00	94.67	88.00	0.45
117.00	92.33	85.33	0.47
133.33	107.33	99.67	0.58
122.00	100.00	93.00	0.51
113.00	88.67	82.67	0.47
117.67	92.33	85.00	0.47
168.67	141.00	133.00	0.71
167.67	140.00	132.33	0.69
153.67	126.67	120.00	0.64
163.67	137.00	130.00	0.65
152.33	123.67	115.67	0.62
140.67	111.67	104.67	0.58
164.67	137.00	129.33	0.7
170.67	143.67	136.67	0.61
169.33	141.00	133.33	0.64
142.33	113.67	106.67	0.57
163.67	138.00	131.33	0.67
164.67	139.67	132.33	0.73
146.33	118.67	111.00	0.68
138.00	108.67	101.67	0.62
168.67	143.67	135.67	0.73
165.33	139.00	131.33	0.72
148.33	121.67	114.67	0.7
154.00	127.00	119.67	0.67
150.67	121.67	114.00	0.67
138.67	110.00	102.33	0.65
117.33	90.00	82.33	0.58
132.67	101.00	93.67	0.58
155.67	126.00	118.33	0.69
159.00	130.67	122.33	0.72
153.67	124.00	116.67	0.67
153.33	128.00	120.67	0.62
138.33	110.67	103.67	0.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Acid
147.00	120.67	113.33	0.64
155.00	128.67	121.33	0.68
160.00	133.67	126.33	0.64
144.00	117.67	109.67	0.62
136.33	109.67	102.00	0.63
134.67	107.67	99.67	0.6
115.33	90.33	83.67	0.53
169.00	141.33	134.00	0.63
172.33	144.33	136.67	0.65
138.67	115.33	108.67	0.55
167.67	141.67	134.33	0.62
151.00	126.00	119.00	0.57
147.33	122.33	115.00	0.58
129.00	101.00	94.00	0.6
123.00	94.33	88.67	0.45
137.00	106.67	100.00	0.61
131.67	100.33	94.00	0.51
132.00	104.33	97.33	0.48
150.67	117.67	111.67	0.41
146.33	118.33	111.67	0.51
161.67	133.33	126.67	0.53
160.67	130.00	124.33	0.59
171.33	140.00	132.00	0.65
159.33	128.00	120.00	0.62
149.00	117.67	111.67	0.39
149.33	117.33	110.33	0.63
142.00	113.00	106.33	0.53
167.00	134.33	127.67	0.61
98.33	74.00	66.00	0.58
166.33	134.00	127.67	0.53
155.00	124.00	117.67	0.52
146.33	114.33	108.00	0.53
126.67	96.67	90.67	0.51
159.33	129.00	121.67	0.64
156.00	124.00	117.33	0.48
139.33	108.33	102.00	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	G	B	Acid
159.00	128.67	121.67	0.66
152.67	121.67	114.00	0.63
156.33	125.67	119.00	0.58
146.33	116.33	110.33	0.47
146.67	116.67	110.67	0.44
113.67	89.00	83.67	0.42
122.00	96.33	90.67	0.38
142.33	115.67	109.33	0.43
127.33	101.67	96.33	0.39
129.33	102.67	96.33	0.48
143.00	115.00	108.67	0.57
133.67	107.00	102.00	0.47
128.00	100.33	94.00	0.48
152.33	121.67	114.33	0.53
150.67	122.00	115.33	0.58
140.33	109.00	103.00	0.43
144.00	115.00	109.00	0.47
146.00	115.67	108.00	0.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้