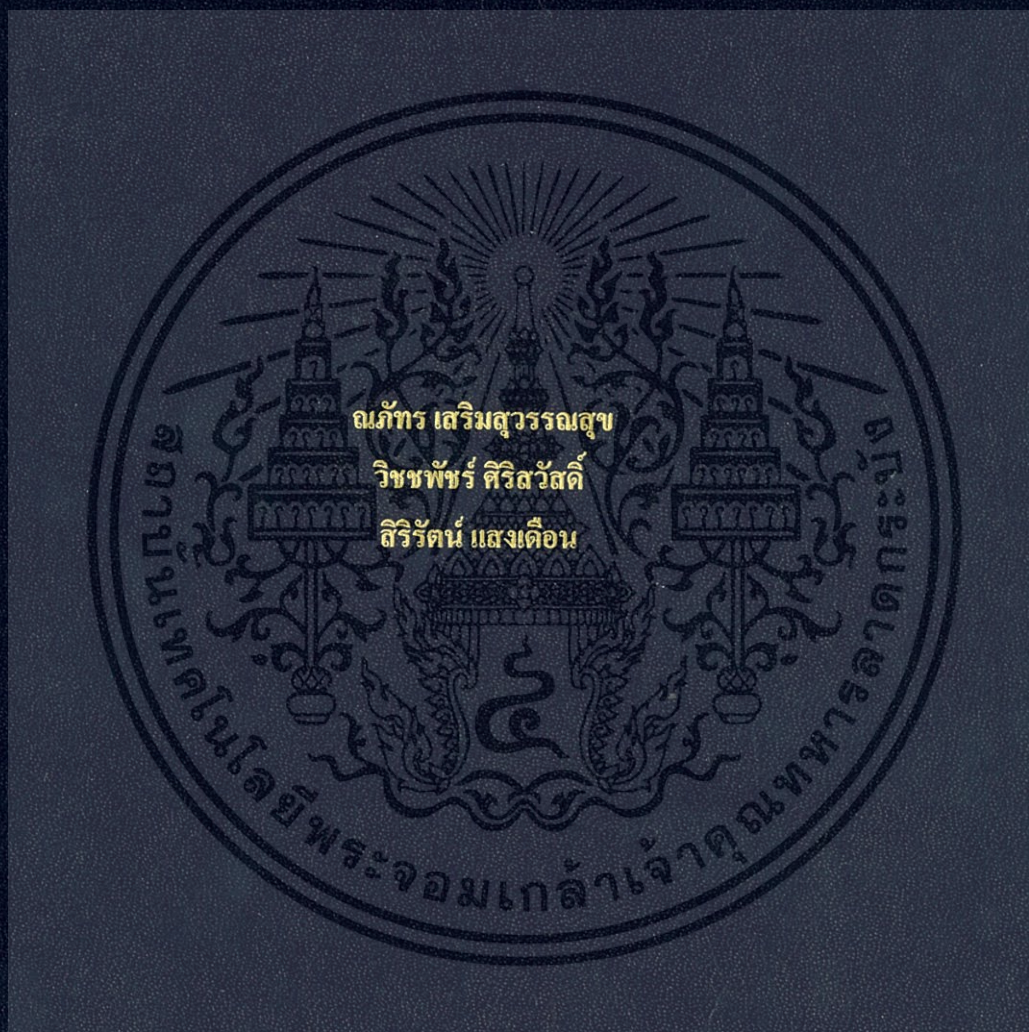


การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สีราคาประหยัดสำหรับงานอุตสาหกรรม

DEVELOPMENT OF A LOW-COST
COLOR ANALYSIS INSTRUMENT FOR INDUSTRIAL USE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สีราคาประหยัดสำหรับงานอุตสาหกรรม

DEVELOPMENT OF A LOW-COST
COLOR ANALYSIS INSTRUMENT FOR INDUSTRIAL USE



T143913



ณภัทร

เสริมสุวรรณสุข

วิชัยพัชร

ศิริสวัสดิ์

สิริรัตน์

แสงเดือน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **143913**
วัน,เดือน,ปี **04 มี.ค. 2559**

b. **128102559**
.....
.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT OF A LOW-COST
COLOR ANALYSIS INSTRUMENT FOR INDUSTRIAL USE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC 2015** นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2558

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สีราคาประหยัดสำหรับงานอุตสาหกรรม

DEVELOPMENT OF A LOW-COST COLOR ANALYSIS INSTRUMENT
FOR INDUSTRIAL USE

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|--------------------|----------------|--------------|----------|
| 1. นางสาวณภัทร | เสริมสุวรรณสุข | รหัสนักศึกษา | 55010322 |
| 2. นายวิซซพัชร์ | ศิริสวัสดิ์ | รหัสนักศึกษา | 55011137 |
| 3. นางสาวสิริรัตน์ | แสงเดือน | รหัสนักศึกษา | 55011318 |



(ดร.มธุรดา จิโนรส)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์เรื่อง

การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สีราคาประหยัดสำหรับงาน
อุตสาหกรรม

นักศึกษา

นางสาวณภัทร เสริมสุวรรณสุข รหัสนักศึกษา 55010322
นายวิชชพัทธ์ ศิริสวัสดิ์ รหัสนักศึกษา 55011137
นางสาวสิริรัตน์ แสงเดือน รหัสนักศึกษา 55011318

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมอาหาร

พ.ศ.

2558

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ดร.มธุรดา จิโนรส

บทคัดย่อ

ลักษณะปรากฏและโดยเฉพาะอย่างยิ่งสี เป็นสมบัติเบื้องต้นที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ส่งผล เป็นอย่างยิ่งต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภค ปัจจุบันแม้จะมีเครื่องวัดสีมาตรฐานที่มีความ แม่นยำสูงวางจำหน่ายแต่เครื่องมือเหล่านั้นมีราคาค่อนข้างสูง จึงนำมาสู่โครงการวิจัยและพัฒนา ระบบเพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ อันได้แก่ สี ขนาด และค่ารูปร่าง ในราคา ประหยัดสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยโครงการนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ และโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ สี ขนาด และรูปร่าง โดยเริ่มจากการพัฒนาชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชนิดทั้งนี้ได้พัฒนา ชุดถ่ายภาพระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer vision system, CVS) โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล ถ่ายภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงแบบหลอดคววแสง (Fluorescent lamp) และแหล่งกำเนิดแสงแบบไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode, LED) และเครื่องกราด ภาพ (Scanner) 2 ระบบ ได้แก่ ระบบ CCD (Couple charge device) และเครื่องกราดภาพระบบ CIS (Contact Image Sensor) นอกจากนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของ อาหารด้วยชุดคำสั่งในโปรแกรม MATLAB[®] ทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นกับค่า จากวิธีมาตรฐาน พบว่าความแม่นยำในการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากเครื่องกราดภาพมีค่าความแม่นยำ ในการวิเคราะห์ สี ขนาด และรูปร่างใกล้เคียงกัน โดยเครื่องกราดภาพระบบ CIS มีค่าความแม่นยำใน การวิเคราะห์มากกว่าระบบ CCD เมื่อทำการวิเคราะห์วัตถุความหนาไม่เกิน 1 มม. ที่ความละเอียด ภาพ 1200 dpi โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำเฉลี่ยของระบบ $98.29\% \pm 1.00$ และ $97.87\% \pm 2.13$ ตามลำดับ ส่วนการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันพบว่า เมื่อ เปรียบเทียบความแม่นยำในการวัด สี ขนาด และรูปร่าง ระบบ LED มีความแม่นยำมากกว่าระบบที่ ใช้หลอดคววแสง โดยพิจารณาจากค่า RMSE ที่น้อยกว่า เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบที่ พัฒนากับอุปกรณ์มาตรฐานโดยการวัด สี ขนาด และรูปร่างของวัสดุอาหาร เมื่อเทียบสีที่วัดได้กับผล จากเครื่องวัดสี (Colorimetric spectrophotometer) พบว่าเครื่องกราดภาพระบบ CIS มีความ แม่นยำมากกว่า CVS ระบบ LED โดยมีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ $91.07\% \pm 18.39$ และ $94.17\% \pm 2.59$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการวัดการกระจายขนาดของวัสดุอาหารกับวิธี มาตรฐาน (การร่อนด้วยตะแกรงร่อน) พบว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยระบบที่ทำการ พัฒนาขึ้นสามารถวิเคราะห์ขนาดได้ละเอียดกว่าวิธีการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ภาพ, อนุภาคขนาดเล็ก, ลักษณะปรากฏของอาหาร, สี, ขนาด, การ กระจายขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Development of a Low-Cost Color Analysis Instrument for Industrial Use
Students	Ms. Napat Sermsuwannasuk Student ID. 55010322 Mr. Witchapat Sirisawad Student ID. 55011137 Ms. Sirirat Sangduen Student ID. 55011318
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic year	2015
Project Advisor	Dr. Maturada Jinorose

Abstract

Food appearance especially color is an importance property of food product as it affecting to the buying behavior of a consumer. Although, the standard color measurement instruments with high accuracy are available, however, those instruments are expensive. Therefore, in this project the low-cost system for inspection and analysis (i.e., color, size and shape) of small opaque food particles for industrial use was developed. The involved design and development of the image acquisition system and algorithms that could be used to inspect and evaluate color, size and shape characteristics of the particles. The project began with development of image acquisition systems, study of factors that affect the results and comparison of efficiency of the developed systems. The computer vision system was developed using digital photography with different illuminants including fluorescent lamp and LED (Light-emitting diode) and two different types of scanner including CCD (Couple Charge Device) and CIS (Contact Image Sensor). Furthermore, algorithms for analysis of food appearance properties were developed via the use of functions in MATLAB[®].

The results obtained from developed systems and standard methods were compared. It was found that both scanner systems had similar accuracy rate in analysis of color, size and shape. Moreover, CIS scanner was more accurate than the CCD, when measure objects with thickness less than 1 mm at 1200 dpi resolution, the average accuracy were $98.29\% \pm 1.00$ and $97.87\% \pm 2.13$, respectively. Whereas the CVS systems, it was found that the LED system was more accurate, in analysis of color, size and shape, than the fluorescent lamp system, considered from lower RMSE value of accuracy. Evaluation of efficiency of the developed systems were done using various food powder and particles, compared results between developed systems and standard methods (i.e., colorimetric spectrophotometer and vernier caliper), found that CIS scanner was more accurate than LED system, the average accuracy were $91.07\% \pm 18.39$ and $94.17\% \pm 2.59$, respectively. Finally, the image-analysis results in term of particle size distribution of food samples were noted to correlate well with standard method (Sieve analysis) and even show more details than the sieve analysis method.

Keyword: Image analysis; Small particle; Food appearance; Color; Size; Particle size distribution

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.มธุดา จิโนรส ที่คอยให้ความรู้ คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการดำเนินโครงการ ตลอดจนช่วยชี้แนะแก้ไขในสิ่งบกพร่อง และให้การสนับสนุนตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ ทางคณะผู้ทดลองขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณอาจารย์และบุคลากรทุกท่านในสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยอบรมสั่งสอนและถ่ายทอดประสบการณ์ต่าง ๆ ตลอดจนให้การสนับสนุนโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญานิพนธ์ นางสาวอัษฎนันท์ เสถียรกิจอำไพ ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำโครงการ

สุดท้ายนี้คณะผู้ทดลองขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนตลอดมา รวมถึงเพื่อน ๆ วิศวกรรมอาหารรุ่นที่ 17

คณะผู้ทดลอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	VIII
บทที่ 1 บททำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	2
2.1 ลักษณะปรากฏ (Apperance)	2
2.2 สีของอาหาร (Food color)	3
2.3 การมองเห็นสี (Color vision)	3
2.4 การรับรู้สี (Color perception)	3
2.4.1 แหล่งกำเนิดแสง	3
2.4.2 พื้นผิวของวัตถุ	5
2.4.3 ผู้สังเกตการณ์	5
2.5 ระบบสี (Color space)	5
2.5.1 ระบบเพื่อใช้กับอุปกรณ์แสดงผล	6
2.5.2 ระบบเพื่ออธิบายการรับรู้สีของมนุษย์	6
2.5.3 ระบบเพื่อใช้กับอุปกรณ์	6
2.6 การแปลงระบบสี	7
2.7 การส่องผ่าน (Permeability)	9
2.7.1 ความโปร่งแสง (Translucency)	9
2.7.2 ความมันวาว (Glossiness)	9
2.8 พื้นผิวสัมผัสของอาหาร (Food surface texture)	9
2.9 ขนาด (Size) และการกระจายขนาด (Size distribution)	9
2.9.1 ขนาด	10
2.9.2 วิธีมาตรฐานวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาด	10
2.10 รูปร่าง (Shape)	12
2.10.1 แฟกเตอร์รูปร่าง (Shape Factor)	12
2.11 การวิเคราะห์ภาพ (Image analysis)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11.1 การประมวลผลภาพ (Image processing)	13
2.11.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพ (Data analysis)	13
2.12 ค่า Threshold	14
2.13 เครื่องกราดภาพ (Scanner)	15
2.13.1 Charge Coupled Device (CCD)	15
2.13.2 Contact Image Sensor (CIS)	15
2.13.3 การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องกราดภาพระบบ CCD และระบบ CIS	16
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	17
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ	17
3.2 การพัฒนาระบบ	17
3.2.1 การพัฒนาชุดถ่ายภาพ (Hardware)	17
3.2.2 การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์สี ขนาด และรูปร่าง (Software)	18
3.3 การสอบเทียบประสิทธิภาพโปรแกรมวิเคราะห์ภาพที่พัฒนาขึ้น	18
3.3.1 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัดสี	18
3.3.2 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัดขนาดและรูปร่าง	19
3.4 การทดลองกับวัสดุอาหาร	19
3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล	21
4.1 การพัฒนาระบบ	21
4.1.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการวัด	21
4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมวิเคราะห์ภาพที่พัฒนา	22
4.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพการวัดสี	22
4.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพการวัดขนาดและรูปร่าง	25
4.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองกับวัสดุอาหาร	26
4.3.1 การวัดสีวัสดุอาหาร	26
4.3.2 การวัดขนาดและค่าแฟกเตอร์รูปร่างของวัสดุอาหาร	26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	33
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาต่อ	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	37
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	38
ภาคผนวก ข รูปการทดลอง	44
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม	48
ภาคผนวก ง ชุดคำสั่งที่พัฒนาขึ้น	55



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แพคเตอร์รูปร่าง	12
4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องกราฟภาพระบบ CIS ที่ค่าความละเอียดต่าง ๆ	22
4.2 ค่าสีเฉลี่ยของแผ่นสีมาตรฐานสีขาวที่วัดได้จากเครื่องกราฟภาพระบบ CIS และคอมพิวเตอรวิทัศน์ของระบบ LED ในระบบสี CIEXYZ	25
4.3 ค่า RMSE จากการวัดแผ่นสีมาตรฐานสีขาวของเครื่องกราฟแสงและคอมพิวเตอรวิทัศน์ระบบ LED	25
4.4 ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของชุดอุปกรณ์แต่ละประเภท	25
4.5 ค่าสเกลของชุดอุปกรณ์แต่ละประเภท	26
4.6 ค่าสีเฉลี่ยของวัสดุอาหารที่วัดได้จากเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer, เครื่องกราฟภาพระบบ CIS และคอมพิวเตอรวิทัศน์ของระบบ LED ในระบบสี CIEXYZ	27
4.7 ค่าสีเฉลี่ยของวัสดุอาหารที่วัดได้จากเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer, เครื่องกราฟภาพระบบ CIS และคอมพิวเตอรวิทัศน์ของระบบ LED ในระบบสี CIELAB	28
4.8 ค่าสีเฉลี่ยของวัสดุอาหารที่วัดได้จากเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer, เครื่องกราฟภาพระบบ CIS และคอมพิวเตอรวิทัศน์ของระบบ LED ในระบบสี CIELCh	29
4.9 ค่า RMSE ในระบบ CIEXYZ ของวัสดุอาหาร	30
4.10 ค่าผลต่างของสี (Color difference, ΔE^*) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer	30
4.11 ค่าแพคเตอร์รูปร่าง (Shape factor) จากเครื่องกราฟภาพระบบ CIS	32
4.12 ค่าแพคเตอร์รูปร่าง (Shape factor) จากคอมพิวเตอรวิทัศน์ระบบ LED	32
4.13 เปรียบเทียบความยาวแกนหลักของถั่วเขียวและเปลือกและสาकु	32
4.14 เปรียบเทียบความแม่นยำจากการวัดความยาวแกนหลัก (Major axis)	32
ก.1 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานที่วัดได้จากเครื่องวัดสี colorimetric spectrophotometer ในระบบสี XYZ	39
ก.2 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานที่วัดได้จากเครื่องกราฟภาพระบบ CCD ในระบบสี XYZ	40
ก.3 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานที่วัดได้จากเครื่องกราฟภาพระบบ CIS ในระบบสี XYZ	41
ก.4 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานที่วัดได้จากคอมพิวเตอรวิทัศน์ระบบหลอดวาแสงในระบบสี XYZ	42
ก.5 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานที่วัดได้จากคอมพิวเตอรวิทัศน์ระบบ LED ในระบบสี XYZ	43
ข.1 ตัวอย่างภาพแผ่นสีมาตรฐานที่ถ่ายได้จากในแต่ละระบบ	45
ข.2 ตัวอย่างภาพวัสดุอาหารที่ถ่ายจากเครื่องกราฟภาพระบบ CIS และ คอมพิวเตอรวิทัศน์ระบบ LED	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะปรากฏต่าง ๆ	2
2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	3
2.3 การกระจายพลังงานสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ประเภท A, C และ D ₆₅	4
2.4 การกระจายพลังงานสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ประเภท F	4
2.5 การสะท้อนของแสง	5
2.6 มุมมองของผู้สังเกตการณ์ที่ 2 องศาและ 10 องศา	5
2.7 รูปแบบการวางของชั้นตะแกรง	11
2.8 ตัวอย่างกราฟความถี่สะสม (Percent Cumulative graph)	11
2.9 หลักการทำงานของระบบ CCD	15
2.10 หลักการทำงานของระบบ CIS	16
3.1 แผ่นสีมาตรฐาน	18
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีในระบบ CIEXYZ ที่วัดได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐานและเครื่องกราดแสงระบบ CIS	23
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีในระบบ CIEXYZ ที่วัดได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐานและเครื่องกราดแสงระบบ CCD	23
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีในระบบ CIEXYZ ที่วัดได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐานและคอมพิวเตอร์วิทัศน์ของระบบ LED	24
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีในระบบ CIEXYZ ที่วัดได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐานและคอมพิวเตอร์วิทัศน์ของหลอดคววแสง	24
4.5 การกระจายขนาดของผงขมิ้น วิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน	30
4.6 การกระจายขนาดของผงขมิ้น วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เครื่องกราดภาพระบบ CIS	31
4.7 การกระจายขนาดของผงขมิ้น วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED	31

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวางและมีการแข่งขันสูง การเข้าใจความต้องการของผู้บริโภคเป็นสิ่งสำคัญและหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์คือลักษณะปรากฏของอาหาร ซึ่งหนึ่งในลักษณะปรากฏที่สำคัญคือสีของอาหาร แต่การจะตรวจสอบและควบคุมลักษณะสีของอาหารนั้นจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดที่ดีด้วย แม้ในปัจจุบันจะมีเครื่องวัดสีมาตรฐานที่มีความแม่นยำสูงวางจำหน่าย แต่เนื่องจากเครื่องมือเหล่านั้นมีราคาค่อนข้างสูง จึงนิยมใช้เฉพาะในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อุตสาหกรรมขนาดย่อมโดยทั่วไปยังนิยมตรวจสอบและประเมินผลิตภัณฑ์อาหารด้วยสายตาโดยผู้ชำนาญอยู่ ส่งผลให้บางครั้งผลิตภัณฑ์มีลักษณะไม่เป็นไปตามที่ต้องการเนื่องจากความเมื่อยล้าของสายตาเมื่อทำการตรวจวิเคราะห์เป็นเวลานาน

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์ภาพเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจในปัจจุบัน เพราะสามารถทำได้สะดวก รวดเร็ว แม่นยำและใช้ตัวอย่างในปริมาณไม่มากในการตรวจวิเคราะห์ จึงนำมาสู่งานวิจัยและพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ อันได้แก่ สีและรูปร่างของวัสดุอาหารที่มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

พัฒนาเทคนิคและอุปกรณ์ตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะปรากฏราคาประหยัดสำหรับวัสดุอาหารที่มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก โดยใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพ เพื่อใช้ในการควบคุมและตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็กประเภททึบแสงในงานควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. พัฒนาเทคนิคและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของอนุภาคของแข็งที่มีขนาดเล็กประเภททึบแสง โดยใช้โปรแกรม MATLAB[®] ช่วยในการออกแบบและการพัฒนาระบบการวิเคราะห์
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการตรวจสอบและวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของอนุภาคของแข็งทึบแสงขนาดเล็ก (อันได้แก่ ค่าสีเฉลี่ย ความสม่ำเสมอของสี การปนหรือการผสมเม็ดสี รูปร่างขนาดและการกระจายขนาด)
3. พัฒนาเครื่องต้นแบบ เพื่อความสะดวกในการตรวจสอบคุณภาพภายในห้องปฏิบัติการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เทคนิคและเครื่องต้นแบบในการวิเคราะห์สีราคาประหยัดที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมอาหารด้านต่าง ๆ ได้ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมและตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ยิ่งไปกว่านั้นธุรกิจขนาดเล็กและขนาดกลางมีการขยายแผนธุรกิจซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถประเมินลักษณะปรากฏให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานที่มีความเข้มงวดในการส่งออก

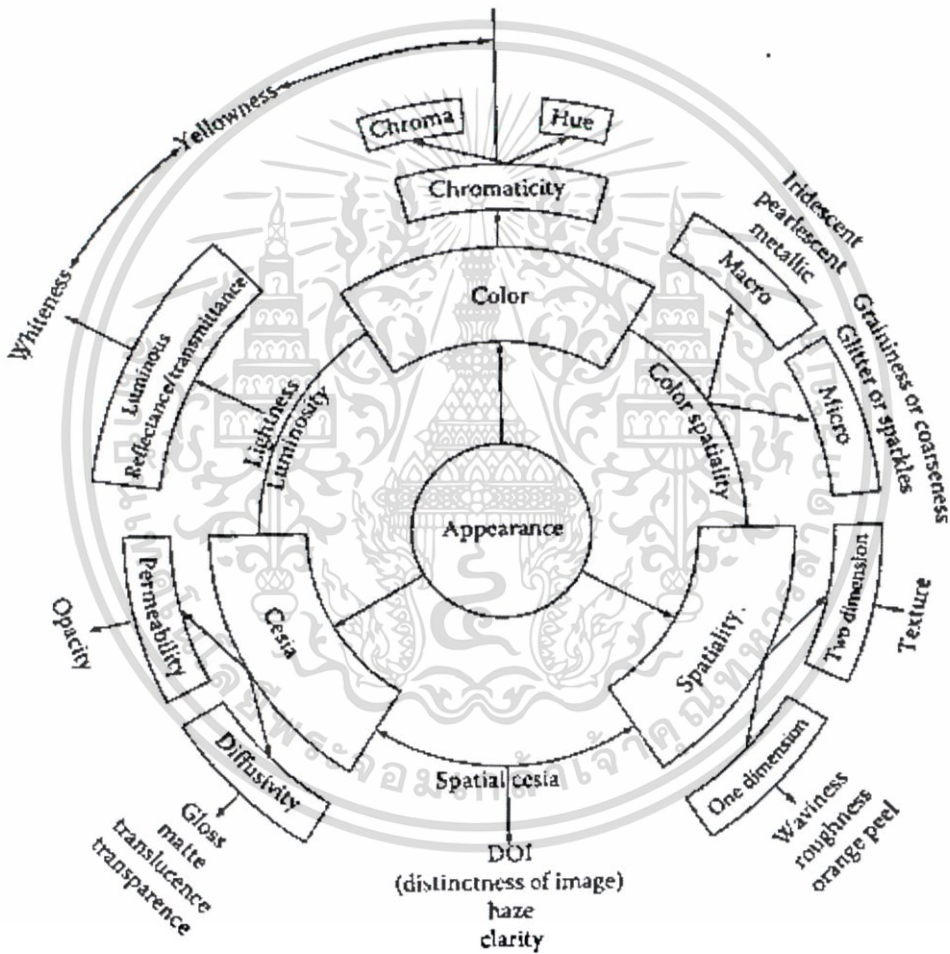
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ลักษณะปรากฏ (Appearance)

ลักษณะปรากฏของอาหารในธรรมชาตินั้นพัฒนาขึ้นตามเงื่อนไขหลายประการ เช่น ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา อุตุนิยมวิทยา และลักษณะการมองเห็นของสิ่งมีชีวิต ลักษณะปรากฏของอาหารนั้นมีความสำคัญที่สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพ นอกจากนี้ลักษณะปรากฏยังสามารถบ่งบอกถึงความผิดปกติของกระบวนการผลิตหรือวัตถุดิบต่าง ๆ ที่อยู่ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอีกด้วย เช่น การเน่าเสีย ความสุกดิบ (Buera and Caivano, 2012)



รูปที่ 2.1 ลักษณะปรากฏต่าง ๆ (Buera and Caivano, 2012)

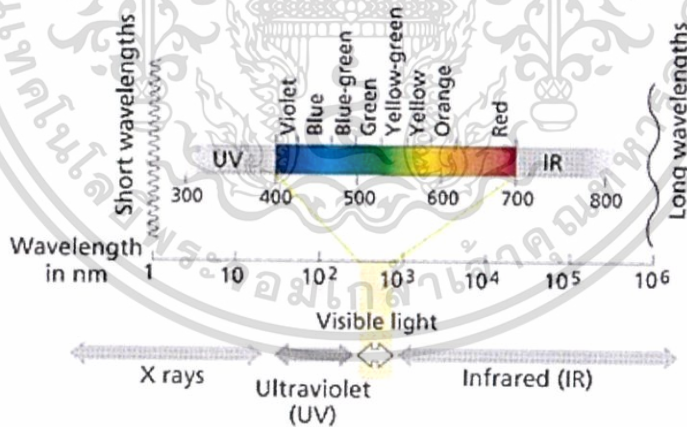
2.2 สีของอาหาร (Food color)

สีเป็นสมบัติทางกายภาพของอาหารเชิงทัศนศาสตร์ (Optical properties) ที่มีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค สีของอาหารเป็นสมบัติทางกายภาพ ซึ่งแตกต่างอย่างสิ้นเชิงกับสมบัติทางกายภาพและสมบัติอื่น ๆ เช่น สมบัติเชิงเรขาคณิต สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากสีเป็นสมบัติที่เกิดจากการรับรู้สัญญาณในรูปของคลื่นแสงที่ตกกระทบดวงตาของมนุษย์ซึ่งมีไม่จำกัดทุกทั้งสี อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์รับและส่งสัญญาณผ่านไปยังสมอง และแปลงค่าเป็นค่าสี ตามที่แต่ละบุคคลมีข้อมูลอยู่ในระบบ ความทรงจำ สีของอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่ส่งผลต่อการยอมรับและไม่ยอมรับของผู้บริโภค ถ้า สีของอาหารผิดปกติไป ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะไม่ยอมรับ โดยอาจไม่คำนึงถึงคุณภาพด้านอื่น เช่น กลิ่น รสชาติ หรือเนื้อสัมผัส (Buera and Caivano, 2012)

2.3 การมองเห็นสี (Color vision)

ตาเป็นอวัยวะประสาทสัมผัสด้านการมองเห็น ที่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วง ความยาวคลื่นที่ตามองเห็น (Visible wavelength) มีความยาวคลื่นระหว่าง 400-700 นาโนเมตร (Linford, 2014) ซึ่งมนุษย์จะมองเห็นเป็นแสงขาว แต่เมื่อนำไปส่องผ่านปริซึมแล้วจะสามารถแยก ตามความยาวคลื่นได้ทั้งหมด 7 ช่วงซึ่งทำให้เกิดสีที่แตกต่างกัน ได้แก่ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และแดง ซึ่งตาของมนุษย์จะมีความไวต่อสีปฐมภูมิที่ประกอบไปด้วยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (Wu and Sun, 2013) โครงสร้างของตาจะมีส่วนที่เรียกว่าเรตินา (Retina) ที่ทำหน้าที่ในการส่ง สัญญาณไปยังสมองผ่านทางเส้นประสาทตา โดยเซลล์ประสาทนี้จะแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ เซลล์รูป แท่ง (Rod cell) ที่ทำหน้าที่ในการมองเห็นในที่มืดมีแสงสลัว และมีความไวต่อการรับแสง ส่วนอีกชนิด คือเซลล์รูปกรวย (Cone cell) ทำหน้าที่ในการมองเห็นสี และความคมชัดของการมองเห็น โดยตาจะ มองเห็นสีจากการสะท้อนของแสงขาวที่กระทบกับวัตถุ แสงสีที่ไม่ถูกดูดกลืนจะสะท้อนกลับเข้าสู่ตา เช่น การที่เห็นใบไม้เป็นสีเขียวเพราะสเปกตรัมทุกสีในแสงขาวถูกดูดกลืนแสงยกเว้นแสงสีเขียว ซึ่งมี ค่าประมาณ 500 นาโนเมตร ในวัตถุทึบสีขาวจะสะท้อนทุก ๆ ช่วงความยาวคลื่นในช่วงที่ตาสามารถ มองเห็นได้ ในขณะที่วัตถุทึบสีดำจะไม่สะท้อนคลื่นความยาวใด ๆ ออกมา (Linford, 2014)



รูปที่ 2.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Fluxgro, 2015)

2.4 การรับรู้สี (Color perception)

การมองเห็นวัตถุและสีต่าง ๆ เกิดจากปัจจัยสำคัญ 3 ประการ ได้แก่

2.4.1 แหล่งกำเนิดแสง

1. แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ (Light source)

แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ ได้แก่ แสงแดดจากดวงอาทิตย์ (Hunter, 2015) ซึ่งแสงแดดใน

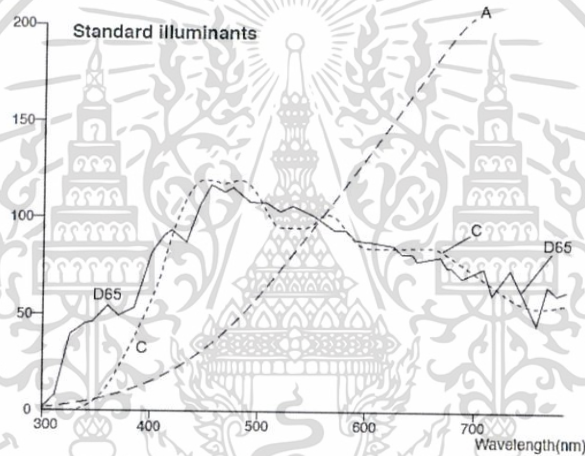
แต่ละบริเวณจะมีการกระจายพลังงานที่ต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฤดูกาล และช่วงเวลา ดังนั้นการมองเห็นสีภายใต้สภาวะที่ต่างกัน จะส่งผลให้เกิดการมองเห็นสีที่แตกต่างกันได้ (CIE, 2015)

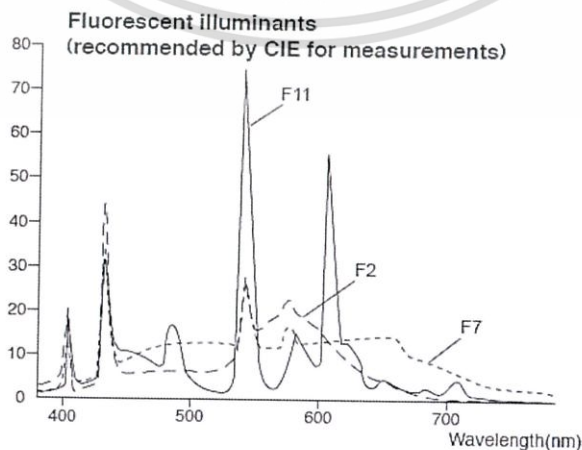
2. แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ (Illuminant)

องค์กร CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) ได้มีการกำหนดมาตรฐานการส่องสว่าง (Standard Illuminants) โดยสามารถแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

- CIE standard illuminant A แทนแสงสว่างจากหลอดไฟแบบไส้ (Incandescent Lighting) มีอุณหภูมิสี 2855.6 เคลวิน (ASTM: E-308, 2015)
- CIE standard illuminant C แทนแสงสว่างในเวลากลางวัน (daylight) มีอุณหภูมิสีเท่ากับ 6774 เคลวิน (ASTM: E-308, 2015)
- CIE standard illuminant D₆₅ แทนค่าเฉลี่ยของแสงสว่างในเวลากลางวัน มีอุณหภูมิสีเท่ากับ 6504 เคลวิน (ASTM: E-308, 2015)
- CIE standard illuminant F แทนแสงสว่างจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ASTM: E-308, 2015)



รูปที่ 2.3 การกระจายพลังงานสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ประเภท A, C และ D₆₅ (Konica Minolta, 2015)

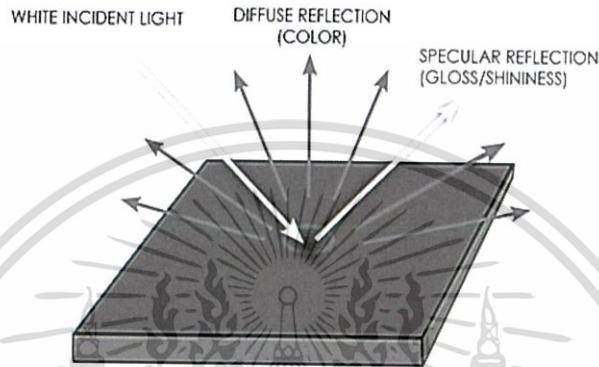


รูปที่ 2.4 การกระจายพลังงานสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ประเภท F (Konica Minolta, 2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 พื้นผิวของวัตถุ

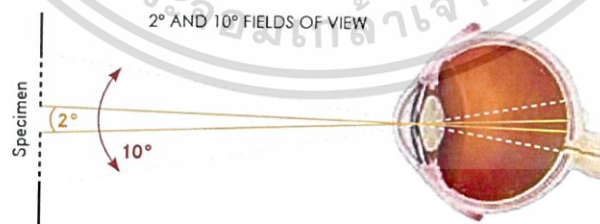
เมื่อแสงตกกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ จะเกิดแสงสะท้อนออกมา 2 ลักษณะ ได้แก่ แสงสะท้อนสมบูรณ (Specular reflection) และแสงสะท้อนไม่สมบูรณ (Diffuse reflection) โดยแสงสะท้อนสมบูรณจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีพื้นผิวเรียบ และมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ซึ่งทำให้เกิดความมันวาว (Gloss) ส่วนแสงสะท้อนไม่สมบูรณจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีพื้นผิวขรุขระ และมีมุมสะท้อนมีได้หลายค่า ซึ่งทำให้มองเห็นสีของวัตถุ (HunterLab, 2015)



รูปที่ 2.5 การสะท้อนของแสง (HunterLab, 2015)

2.4.3 ผู้สังเกตการณ์

ปัจจุบัน CIE ได้แนะนำให้ใช้มาตรฐานผู้สังเกตการณ์ที่ 10 องศา (10° standard observer) เนื่องจากมีความเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมที่ต้องมีการตรวจวัดสีต่าง ๆ แต่ 2° standard observer ยังคงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการวัด โดยมาตรฐานผู้สังเกตการณ์ที่ 2 องศา และ 10 องศา เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการคำนวณค่าสีที่ตอบสนองต่อการมองเห็นของมนุษย์ (HunterLab, 2015) ซึ่งมาตรฐานผู้สังเกตการณ์ที่ 10 องศาจะทำให้รับรู้สีได้กว้างกว่าที่ 2 องศา



รูปที่ 2.6 มุมมองของผู้สังเกตการณ์ที่ 2 องศาและ 10 องศา (HunterLab, 2015)

2.5 ระบบสี (Color space)

การรับรู้สีด้วยตาของมนุษย์สามารถอธิบายได้ด้วยพารามิเตอร์ 3 ตัว ซึ่งเรียกว่าค่า tristimulus ในระบบสีจะใช้สมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ของค่า tristimulus สำหรับแต่ละสี โดยทั่วไปจะแบ่งระบบสีออกตามวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 3 ประเภท ได้แก่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อใช้กับอุปกรณ์แสดงผล เพื่ออธิบายการรับรู้สีของมนุษย์ และเพื่อใช้กับอุปกรณ์บางชนิดเพื่อช่วยในการเลือกสีของมนุษย์ และบางชนิดใช้สำหรับการประมวลผลข้อมูลในเครื่องจักร (Zheng, 2008)

2.5.1 ระบบเพื่อใช้กับอุปกรณ์แสดงผล

ระบบเพื่อใช้กับอุปกรณ์แสดงผลถูกนำมาใช้สำหรับกระบวนการของอุปกรณ์การแสดงผลต่าง ๆ เช่น การเก็บข้อมูลภาพ การจัดเก็บข้อมูลแสดงผล เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถรับรู้ได้แม้จะมีความแตกต่างของสีน้อย ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมใช้ในการประเมินการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการแปรรูป เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาในระหว่างการเก็บรักษาที่ส่งผลต่อสีของมะเขือเทศ ระบบที่นิยมใช้มากที่สุดในการแสดงผล ได้แก่ ระบบ RGB ซึ่งถูกกำหนดพิกัดโดยแกน 3 แกน ได้แก่ แกนสีแดง, แกนสีเขียว และแกนสีน้ำเงิน ระบบ RGB เป็นระบบที่ถูกนำไปใช้ในกล้องถ่ายภาพและการแสดงผลผ่านจอแสดงผล ระบบ YIQ และระบบ CMYK เป็นอีกสองระบบที่นิยมนำมาใช้ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้สำหรับโทรทัศน์และสื่อสิ่งพิมพ์ ดังนั้นจึงไม่นิยมการใช้สำหรับการวัดสีในอุตสาหกรรมอาหาร (Zheng, 2008)

2.5.2 ระบบเพื่ออธิบายการรับรู้สีของมนุษย์

ระบบนี้จะสอดคล้องกับแนวความคิดเรื่อง tint shade และ tone ซึ่งกำหนดโดยศิลปินและอยู่บนพื้นฐานตามลักษณะธรรมชาติของสี โดยทั่วไประบบประเภทนี้มักใช้ค่า hue-saturation (HS) เป็นหลัก เช่น ระบบ HSI (hue, saturation, intensity) ระบบ HSV (hue, saturation, value) ระบบ HSL (hue, saturation, lightness) และระบบ HSB (hue, saturation, brightness) โดย Hue คือ ลักษณะของการรับรู้สี เพื่อตัดสินว่าเป็นสีอะไร (ASTM: E-284, 2013) อาทิ สีแดง สีเหลือง สีเขียว และ สีน้ำเงิน หรือการผสมกันของสี (Zheng, 2008) Saturation คือ ลักษณะของการมองเห็นที่ช่วยในการตัดสินใจจากสัดส่วนของสีบริสุทธิ์ (ASTM: E-284, 2013) ซึ่งความแตกต่างจากระบบ RGB ที่ใช้พิกัดทรงลูกบาศก์ในการกำหนดสี ส่วนในระบบสี HS จะมีการกำหนดสีด้วยพิกัดทรงกระบอก เพราะเป็นระบบที่ถูกพัฒนาบนพื้นฐานแนวคิดของการรับรู้ภาพในสายตาของมนุษย์ ซึ่งทำให้สามารถทำการวัดสีได้ง่าย โดยเฉพาะกับการประเมินพื้นผิวของอาหาร อย่างไรก็ตามระบบสีนี้ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสีที่แตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการประเมินการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการ (Zheng, 2008)

2.5.3 ระบบเพื่อใช้กับอุปกรณ์

ระบบประเภทนี้มักถูกใช้ในอุปกรณ์ตรวจวัดสี โดยระบบสีสำหรับอุปกรณ์วัดหลายระบบมีการกำหนดค่ามาตรฐานจาก Commission International d'Eclairage (CIE) เช่น ระบบ CIEXYZ ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดระบบสี ซึ่งถูกสร้างโดย CIE ในปี 1931 โดยมีพื้นฐานมาจากการรับรู้ของแสงทางสรีรวิทยา ในระบบ CIEXYZ จะกำหนดฟังก์ชันการจับคู่สี 3 คู่ ซึ่งเรียกว่า Standard Observer (มาตรฐานผู้สังเกตการณ์) เพื่อสัมพันธ์กับสีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงินของเซลล์รูปกรวยในตา ทว่ามีข้อดีว่าการกระตุ้นการมองเห็นสีที่ละชนิดของเซลล์รูปกรวยนั้นในความเป็นจริงเป็นไปได้ยาก ประกอบกับไม่มีค่าที่ใช้ในการอธิบายการรับรู้ค่า brightness ซึ่งในระบบนี้ Y จะหมายถึงค่า lightness ส่วน X และ Z เป็นองค์ประกอบเสมือนของสีปฐมภูมิ 2 สี ซึ่งมีลักษณะเหมือนเส้นโค้งที่มีความไวต่อสีแดงและสีน้ำเงินของเซลล์รูปกรวย อย่างไรก็ตามระบบ CIEXYZ ไม่มีตัวแทนของการไล่โทนสีในวัตถุ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการพัฒนาระบบ CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) หรือที่เรียกว่า CIELAB และ CIE 1976 ($L^*u^*v^*$) หรือที่เรียกว่า CIELUV ซึ่งใช้การแปลงค่าแบบไม่เป็นเชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นของระบบ CIEXYZ และเป็นระบบที่มีการนำไปใช้ในอุปกรณ์การวัดสีต่าง ๆ ในการวัดสีของอาหารระบบ CIELAB เป็นระบบที่นิยมนำมาใช้งาน (Wu and Sun, 2013)

2.6 การแปลงระบบสี

จากข้อมูลข้างต้นคณะผู้วิจัยได้เลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} และ 10° standard observer ซึ่งสามารถแปลงค่าสีเป็นระบบสีต่าง ๆ ได้โดยใช้สามการต่าง ๆ ดังนี้

การแปลงค่าจากระบบ RGB เป็น HSV

R, G และ B จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

$$C_{\max} = \max(R,G,B) \quad (2.1)$$

$$C_{\min} = \min(R,G,B) \quad (2.2)$$

$$d = C_{\max} - C_{\min} \quad (2.3)$$

$$H = \begin{cases} 60^\circ \times \left(\frac{G - B}{d} \right) & ; C_{\max} = R \\ 60^\circ \times \left(\frac{B - R}{d} + 2 \right) & ; C_{\max} = G \\ 60^\circ \times \left(\frac{R - G}{d} + 4 \right) & ; C_{\max} = B \end{cases} \quad (2.4)$$

$$S = \begin{cases} 0 & ; C_{\max} = 0 \\ d/C_{\max} & ; C_{\max} \neq 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$V = C_{\max} \quad (2.6)$$

การแปลงค่าจากระบบ RGB เป็น CIEXYZ (Sun, 2008)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

การแปลงค่าจากระบบ CIEXYZ เป็น Hunter L, a, b (Jha, 2010)

$$L = 100 \sqrt{\frac{Y}{Y_n}} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a = K_a \left(\frac{X/X_n - Y/Y_n}{\sqrt{Y/Y_n}} \right) \quad (2.9)$$

$$b = K_b \left(\frac{Y/Y_n - Z/Z_n}{\sqrt{Y/Y_n}} \right) \quad (2.10)$$

โดย $Y_n = 100$, $X_n = 94.83$, $Z_n = 107.38$, $K_a = 172.10$ และ $K_b = 66.70$

การแปลงค่าจากระบบ CIEXYZ เป็น CIELAB (ASTM D2244, 2015)

$$L^* = 116 \times \sqrt[3]{Y/Y_n} - 16 \quad \text{เมื่อ } Y/Y_n > 0.008856 \quad (2.11)$$

$$L^* = 903.3 \times \left(\frac{Y}{Y_n} \right) \quad \text{เมื่อ } Y/Y_n \leq 0.008856 \quad (2.12)$$

$$a^* = 500 \times \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (2.13)$$

$$b^* = 200 \times \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (2.14)$$

โดย

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \begin{cases} \sqrt[3]{X/X_n} & ; X/X_n > 0.008856 \\ 7.87(X/X_n) + \frac{16}{116} & ; X/X_n \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \begin{cases} \sqrt[3]{Y/Y_n} & ; Y/Y_n > 0.008856 \\ 7.87(Y/Y_n) + \frac{16}{116} & ; Y/Y_n \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \begin{cases} \sqrt[3]{Z/Z_n} & ; Z/Z_n > 0.008856 \\ 7.87(Z/Z_n) + \frac{16}{116} & ; Z/Z_n \leq 0.008856 \end{cases}$$

$Y_n = 100$, $X_n = 94.83$ และ $Z_n = 107.38$

การแปลง CIELAB เป็น CIELCh (ASTM D2244, 2015)

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (2.16)$$

ความแตกต่างของสี (ASTM D2244, 2015)

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^*{}^2 + \Delta a^*{}^2 + \Delta b^*{}^2} \quad (2.17)$$

$$\Delta H^* = \sqrt{\Delta E^*{}^2 - \Delta L^*{}^2 + \Delta C^*{}^2} \quad (2.18)$$

$$\Delta L^* = L^* \text{ ตัวอย่าง} - L^* \text{ มาตรฐาน} \quad (2.19)$$

$$\Delta C^* = C^* \text{ ตัวอย่าง} - C^* \text{ มาตรฐาน} \quad (2.20)$$

$$\Delta a^* = a^* \text{ ตัวอย่าง} - a^* \text{ มาตรฐาน} \quad (2.21)$$

$$\Delta b^* = b^* \text{ ตัวอย่าง} - b^* \text{ มาตรฐาน} \quad (2.22)$$

2.7 การส่องผ่านของอาหาร (Food permeability)

2.7.1 ความโปร่งแสง (Translucency)

ความโปร่งแสงเป็นสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการ สะท้อน, ดูดกลืน, การถ่ายเทและการกระจายตัวของแสง ซึ่งอาหารส่วนมากมีลักษณะโปร่งแสงเป็นลักษณะที่ไม่ทึบหรือโปร่งใสทั้งหมด โดยจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายใน เช่น โครงสร้างเส้นใยภายในอาหาร โครงสร้างทางเคมี การพันธะของเส้นใยภายในอาหาร โดยค่าความโปร่งแสงสามารถบอกถึงความหนาแน่น ความเป็นเนื้อเดียวและความใสของอาหารได้ การวัดความโปร่งแสงออกมาเป็นค่านี้ทำได้ยาก จึงมีการใช้วิธีวัดทางอ้อมเพื่อหาค่าความโปร่งแสง แม้ไม่ได้เป็นวิธีมาตรฐานแต่สามารถนำมาวิเคราะห์ความโปร่งแสงได้ (Saluena and Gamasa, 2012)

2.7.2 ความมันวาว (Glossiness)

ความมันวาวหรือการเปร่งแสงเป็นลักษณะปรากฏที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารที่แสดงถึงความสดใหม่ โดยทั่วไปอาหารส่วนมากมักไม่ได้ปรากฏความมันวาว ยกเว้นในผลไม้บางชนิดที่มีแกวซ์เคลือบอยู่บริเวณผิวเช่น แอปเปิล ส้ม ความมันวาวจะแสดงถึงความสดซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ ความมันวาวจึงเป็นลักษณะปรากฏที่สำคัญต่อสินค้าและอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตรบางประเภท เราจะสามารถใช้เครื่องมือวัดทางกายภาพเพื่อจะได้ข้อมูลโดยวัดการสะท้อนแสงของอาหาร (Buera and Caivano, 2012)

2.8 พื้นผิวสัมผัสของอาหาร (Food surface texture)

พื้นผิวสัมผัสเป็นลักษณะที่เฉพาะตัวของอาหารซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายใน เช่น โครงสร้างเส้นใยภายในอาหาร ที่ส่งผลต่อพื้นผิวสัมผัสและลักษณะปรากฏขึ้น เช่น หยาบ ละเอียด อ่อนนุ่ม เป็นต้น (Buera and Caivano, 2012)

2.9 ขนาด (Size) และการกระจายขนาด (Size distribution)

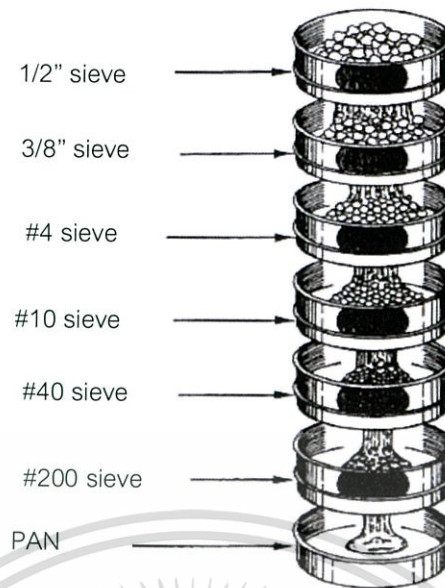
2.9.1 ขนาด

ขนาดของอนุภาคเป็นลักษณะหลักในการกำหนดสมบัติทางกายภาพและสมบัติพิเศษของผลิตภัณฑ์ เช่น การไหล, ความหนาแน่น, ความสามารถในการละลายและอัตราการเกิดปฏิกิริยา

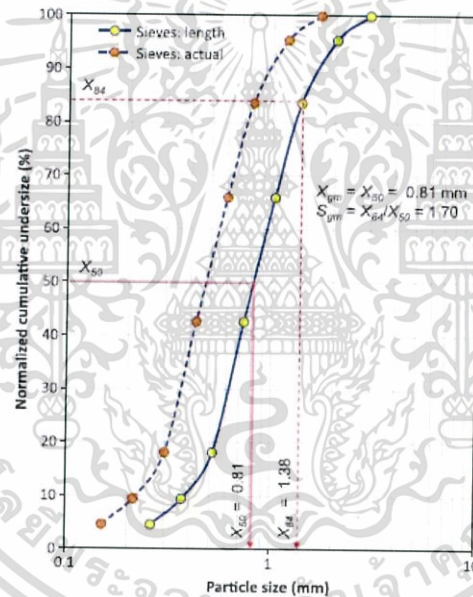
การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคมีความจำเป็นสำหรับการปรับแต่งกระบวนการ คุณสมบัติ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ในอาหาร ขนาดอนุภาคจะเกี่ยวข้องกับการละลาย เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ เป็นต้น หลักการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคคือ การวัดขนาดอนุภาคและวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งเกี่ยวข้องกับความถี่ทรงกลม ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอนุภาค ซึ่งส่งผลต่อความสม่ำเสมอของอนุภาคซึ่งมีผลสอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพอื่นๆ

2.9.2 วิธีมาตรฐานวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาด

การวัดขนาดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีความเหมาะสมแก่การใช้งานในอุตสาหกรรมอาหาร วิธีการสำหรับการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ วิธีโดยตรง เช่น การวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) และเทคนิคการกระเจิงของแสง (Laser Scattering) กระบวนการทางไฟฟ้า และ วิธีโดยอ้อม เช่น การตกตะกอน การเหวี่ยงแยก ซึ่งโดยทั่วไปอุตสาหกรรมอาหารเลือกใช้วิธีการโดยตรงในการวิเคราะห์ (Schuck et al., 2012) คือ การวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) เป็นหนึ่งในวิธีการที่ง่ายและนิยมเป็นอย่างมากในการแยกขนาดอนุภาคในรูปของสัดส่วนตามขนาดอนุภาค โดยอาศัยหลักการการร่ว่งผ่านของอนุภาคกับตะแกรงร่อนที่มีขนาดต่าง ๆ โดยจะมีการใส่แรงลงไปให้ตะแกรงร่อนให้ขยับไปมาเพื่อให้เกิดการกระจายตัวของของวัตถุให้ง่ายต่อการผ่านตะแกรง และของแข็งที่มีขนาดใหญ่เกินขนาด (oversize) จะค้างอยู่บนตะแกรง ส่วนของแข็งที่เล็กเกินขนาด (undersize) จะลอดผ่านช่องตะแกรงไปได้ โดยจะมีการควบคุมอุปกรณ์ และตัวแปรอื่น ๆ เช่น การกระจายขนาด ขนาดตาข่าย น้ำหนักตัวอย่าง การเคลื่อนไหวของตะแกรง วัสดุตะแกรง และความชื้น โดยการคำนวณอัตราส่วนน้ำหนักตัวอย่างในแต่ละตะแกรงเพื่อทำการระบุและการวัด ปริมาณของตัวอย่างทั้งที่เหลืออยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นและที่ผ่านออกไป โดยสามารถระบุขนาดในแต่ละชั้นได้ด้วยขนาดของตะแกรง และการใช้กราฟความถี่สะสมเพื่อบอกขนาดของตัวอย่างและการกระจายอนุภาควิเคราะห์ได้จากปริมาณตัวอย่างที่เหลืออยู่ในแต่ละชั้นตะแกรงโดยความละเอียดของข้อมูลขึ้นอยู่กับรูปแบบการวางตะแกรงและขนาดของตะแกรงที่ใช้ (ASTM: MNL17-2ND-EB, 2012)



รูปที่ 2.7 รูปแบบการวางของชั้นตะแกรง (food network solution, 2015)



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างกราฟความถี่สะสม (Percent Cumulative graph) (Igathinathane, 2012)

การใช้เครื่องมือช่วยให้ตะแกรงเคลื่อนไหวหรือเสริมความสามารถในการร่อนผ่าน จะช่วยให้การร่อนมีประสิทธิภาพดีขึ้นและในเวลาน้อยลง โดยจะต้องคำนึงถึงปริมาณตัวอย่างที่ทดลอง เพื่อความแม่นยำของการวิเคราะห์ผลลัพธ์อาจผิดพลาดได้เนื่องจากความชื้นและไฟฟ้าสถิตในตัวอย่าง โดยเครื่องมือข้อดีเรื่องความสม่ำเสมอของการส่งแรงที่สม่ำเสมอและประหยัดเวลา ใช้งานง่าย เป็นอิสระในการดำเนินงานอื่น ๆ ในขณะที่เครื่องทำงาน โดยตัวเครื่องเขย่านั้นแบ่งเป็นการเคลื่อนไหวแบบสั่นหรือแบบหมุน (หรือทั้งสอง) และมีความสามารถในการทำซ้ำที่เชื่อถือได้ โดยมีรูปแบบดังต่อไปนี้ แบบเหวี่ยงขึ้น-ลง (Throw-action sieving) แบบเหวี่ยงเป็นวงกลม (Horizontal sieving) แบบผสม (Tapping sieving) แบบใช้คลื่นความถี่ช่วย (Super Sonic sieving) แบบใช้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วย (Wet sieving) แบบใช้อากาศช่วย (Air Circular Jet Sieving) (ASTM: MNL17-2ND-EB, 2012)

2.10 รูปร่าง (Shape)

2.10.1 แฟกเตอร์รูปร่าง (Shape Factor)

ในการวัดรูปร่างเพื่อบอกรูปร่างที่ไม่สามารถวัดออกมาโดยตรงได้ด้วยการวัดเพียงอย่างเดียว จึงต้องใช้การคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องเพื่อบ่งบอกถึงความเป็นรูปร่างอย่างค่าแฟกเตอร์รูปร่าง (shape factor) เป็นต้น โดยเทคนิคในการวัดสามารถทำได้หลายวิธียกตัวอย่างเช่น

1. เทคนิควัดจากภาพฉาย (plan of projection) การเปลี่ยนภาพ 3 มิติ ให้เป็น 2 มิติ โดยการวิเคราะห์จากภาพฉายหรือที่ถ่ายออกมาจากวัตถุอยู่ในรูปของภาพ 2 มิติ เพื่อทำการวัดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

2. เทคนิคการวัดจากภาพ 3 มิติ (Stereo vision) เป็นเทคนิคที่ใช้กล้องส่องจากมุมมองที่แตกต่างกันในการรับภาพในเวลาเดียวกันและพิจารณาความสอดคล้องกันจากข้อมูล 3 มิติ มาถอดข้อมูลออกเป็นค่าพารามิเตอร์ สำหรับเทคนิคนี้ความเร็วในการเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็ว (เร็วที่สุดเท่าที่กล้องสามารถเข้าถึง) แต่เนื่องจากเทคนิคนี้ในการตรวจจับที่มีสอดคล้องกันของกล้องหลายตัว ซึ่งเป็นเรื่องยากสำหรับวัตถุที่มีพื้นผิวไม่แข็งแรง (Russ, 2005)

ตารางที่ 2.1 แฟกเตอร์รูปร่าง (Russ, 2005)

Parameter	Calculation	Parameter	Calculation
Formfactor	$\frac{4\pi \cdot \text{Area}}{\text{Perimeter}^2}$	Curl	$\frac{\text{Length}}{\text{FiberLength}}$
Roundness	$\frac{4 \cdot \text{Area}}{\pi \cdot \text{MaxDiameter}^2}$	Convexity	$\frac{\text{ConvexPerimeter}}{\text{Perimeter}}$
Aspect Ratio	$\frac{\text{Max.Dimension}}{\text{Min.Dimension}}$	Solidity	$\frac{\text{Area}}{\text{ConvexArea}}$
Elongation	$\frac{\text{FiberLength}}{\text{FiberWidth}}$	Rectangular	$\frac{\text{Area}}{\text{Min.Rectangular Area}}$

2.11 การวิเคราะห์ภาพ (Image analysis)

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์และเทคนิควิเคราะห์ภาพในการวิเคราะห์ลักษณะปรากฏของอาหารกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถตรวจวัดประเมินสี ความแตกต่างของสี และคำนวณค่าแฟกเตอร์รูปร่างและตัวบอกรูปร่างชนิดต่าง ๆ ได้สะดวกและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวดเร็วจากภาพถ่ายชิ้นวัสดุ นอกจากนี้การใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ยังทำให้สามารถเปรียบเทียบชิ้นวัสดุเดียวกันได้ทั้งก่อนและหลังกระบวนการผลิต เนื่องจากสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของวัสดุระหว่างกระบวนการผลิต อีกทั้งยังเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดเด่นที่สำคัญของการประยุกต์ใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพ (สั๊กมน, 2555)

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์และเทคนิควิเคราะห์ภาพในการวิเคราะห์ลักษณะปรากฏ (Wang et al.,2012) เช่นได้ทำการปรับปรุงระบบการประเมินสีของผิว Sweet cherries โดยใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ในการวิเคราะห์ (Manninen et al.,2015) ทำการวัดสีเขียวของผักจากรูภาพดิจิทัลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ เป็นต้น

2.11.1 การประมวลผลภาพ (Image processing)

การได้มาของรูปภาพ (Image acquisition) จะมีองค์ประกอบพื้นฐาน 4 ประการ ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง กล้องถ่ายภาพ (Camera) ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และส่วนชุดคำสั่ง (Software) ซึ่งใช้ในการรับและการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับ การเลือกองค์ประกอบพื้นฐานให้เหมาะสมนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงมักใช้ตามมาตรฐาน CIE ชนิดใดชนิดหนึ่งซึ่งให้แสงสีขาว แหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง D₆₅ ซึ่งให้แสงเทียบวัน (Average daylight) หรือเลือกตามสภาพแสงสถานที่จำหน่าย การเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการรับรู้สีของวัตถุ ดังนั้นควรมีการสอบเทียบสีและความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงทุกครั้งก่อนทำการวัดเพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น การจัดวางตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพก็มีความสำคัญเช่นกัน โดยทั่วไปมักจัดให้กล้องถ่ายภาพและแหล่งกำเนิดแสงทำมุมกัน 45 องศา เพื่อให้สามารถดักแสงที่สะท้อนจากวัตถุได้ดีที่สุด นอกจากนี้อาจจัดแหล่งกำเนิดแสงเป็นวงกลมล้อมรอบวัตถุเพื่อให้เกิดการกระจายแสงที่สม่ำเสมอ ปัจจัยสำคัญอีกประการ คือ การเลือกสีของพื้นหลัง โดยทั่วไปควรเลือกพื้นหลังที่มีสีตัดกับสีของวัตถุอย่างชัดเจนเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ และการถ่ายภาพควรทำในสภาพแวดล้อมปิด เพื่อหลีกเลี่ยงผลของแสงแวดล้อมและการสะท้อนแสงจากแหล่งต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการ เมื่อได้รูปถ่ายแล้วจึงทำการแยกรูปภาพ (Image Segmentation) (สั๊กมน, 2555)

การแยกรูปภาพ เป็นการแยกวัตถุออกจากพื้นหลังเพื่อกำหนดพื้นที่ที่สนใจ โดยเริ่มต้นจากการกำหนดตำแหน่งของพื้นที่ของวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์ แล้วแปลงภาพสีของวัตถุให้อยู่ในรูปของภาพระดับสีเทา ต่อมากำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) เพื่อแยกพื้นหลังออกจากวัตถุโดยใช้เทคนิคการหาขอบ (Edge detection) โดยขั้นตอนนี้จะแปลงภาพสเกลสีเทา (Gray Scale) ให้ไปเป็นภาพลักษณะฐานสอง (Binary Image) ซึ่งมีเพียงสีดำ (พื้นหลัง) และสีขาว (วัตถุ) เท่านั้น แยกวัตถุอื่นที่ไม่ต้องการออกจากวัตถุ (พื้นที่) ที่ต้องการ หลังจากกำหนดตำแหน่งพื้นที่ของวัตถุแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งเดียวกันกับภาพสีต้นฉบับ (สั๊กมน, 2555)

2.11.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพ (Data analysis)

เมื่อได้ตำแหน่งของตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์แล้วจึงทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์สี โดยเมื่อได้ตำแหน่งพื้นที่ของวัตถุที่ต้องการแล้วจะทำให้ได้ค่าสี RGB ซึ่งสามารถแปลงค่าดังกล่าวไปเป็นค่าในระบบสีอื่น ๆ ได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ การวิเคราะห์รูปร่าง ทำได้โดยใช้ค่าแฟกเตอร์รูปร่าง (Shape factor) เส้นผ่านศูนย์กลางแกนหลักแกนรอง และเส้นรอบรูป ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ของเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์เพื่อบอกรูปร่างของวัตถุที่ตรวจวัด การวิเคราะห์ขนาดสามารถทำได้โดยการนับจำนวนพิกเซลของตำแหน่งวัตถุที่ต้องการ แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ขนาดของวัตถุ ส่วนการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคสามารถทำได้โดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน โดยนำตัวอย่างไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนเบอร์ต่าง ๆ แล้วชั่งน้ำหนักตะแกรงร่อนแต่ละชั้น จากนั้นจึงนำน้ำหนักมาสร้างกราฟฮิสโตแกรมแล้วจึงหาค่าการกระจายตัว (สั๊กมน, 2555)

2.12 ค่า Threshold

ค่า Threshold เป็นค่าที่ใช้แปลงภาพสเกลสีเทา Gray scale ให้เป็น Binary image ซึ่งมีเพียงสีดำ และสีขาว เพื่อแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง โดยการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของภาพ Gray scale กับค่า Threshold หากความเข้มแสงของจุดพิกเซลน้อยกว่าค่า Threshold แล้ว ที่จุดพิกเซลนั้นจะเป็นสีดำ (0) และในทางกลับกันถ้าความเข้มแสงมากกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold ที่จุดพิกเซลนั้นจะเป็นสีขาว (1) โดยทั่วไปมีการใช้ฮิสโตแกรมสำหรับการเลือกค่า Threshold จากการสังเกตพบว่าค่า Threshold จะเกิดขึ้นที่จุดต่ำสุดระหว่างสองยอดของกราฟ (Parker, 2011) จึงเป็นที่มาของวิธีการเบื้องต้นของการเลือกค่า Threshold แบบอัตโนมัติ คือ หายอดทั้งหมดในฮิสโตแกรมแล้วกำหนดให้ค่า Threshold อยู่ระหว่างยอด โดยปัจจุบันวิธีที่เป็นที่นิยม คือวิธีการของ Otsu (1979) (Otsu's Thresholding method) (Russ, 2011)

เป้าหมายหลักของการหาค่า Threshold ด้วยวิธี Otsu คือ การเลือกค่า Threshold ที่ทำให้การกระจายตัวรวมของทั้งสองยอดมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งสามารถวัดได้โดยนำความแปรปรวนภายในกลุ่มมารวมกัน (Within-class variance, σ^2_{within}) ดังสมการ 2.23 (Otsu, 1979)

$$\sigma^2_{\text{within}(T)} = w_B(T)\sigma_B^2(T) + w_W(T)\sigma_W^2(T) \quad (2.23)$$

เมื่อ T คือ ค่า Threshold ที่ใช้แบ่งทั้งสองบริเวณออกจากกัน

$$w_B(T) = \sum_{i=0}^{T-1} p(i) \quad (2.24)$$

เมื่อ $w_B(T)$ คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดของบริเวณด้านสีดำ ที่มีค่าความเข้มแสงตั้งแต่ 0 จนถึงค่าความเข้มแสงเท่ากับ $T - 1$

$$w_W(T) = \sum_{i=T}^{L-1} p(i) \quad (2.25)$$

เมื่อ $w_W(T)$ คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดของบริเวณด้านสีขาว ที่มีค่าความเข้มแสงตั้งแต่ T จนถึงค่าความเข้มแสงสูงสุด

$\sigma_B^2(T)$ คือ ความแปรปรวนของด้านสีดำ

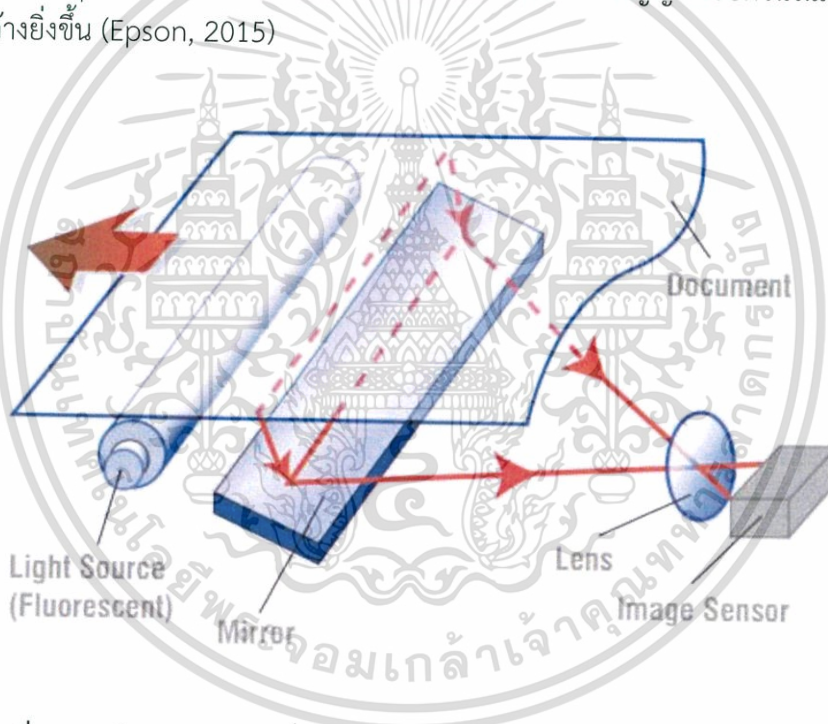
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\sigma_W^2(T)$ คือ ความแปรปรวนของด้านสีขาว
 $p(i)$ คือ จุดพิกเซลที่พิกัด i

2.13 เครื่องกราดภาพ (Scanner)

2.13.1 Charge Coupled Device (CCD)

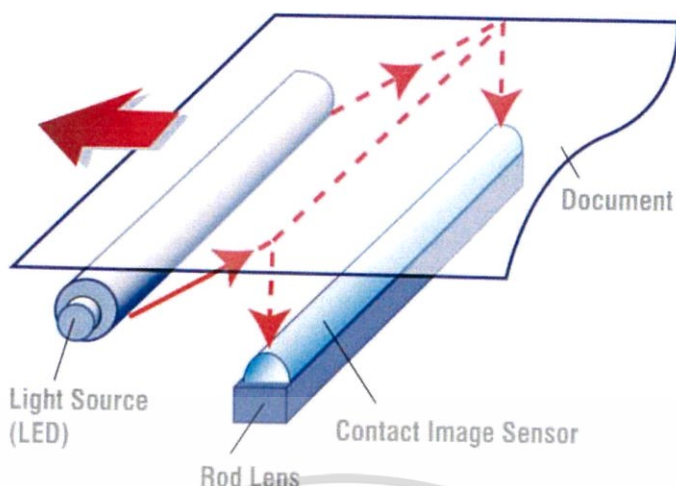
เป็นการเก็บภาพโดยวิธีการฉายแสง การสะท้อนแสง การส่ง และการรับแสงของเซนเซอร์ ในสแกนเนอร์แบบแทนที่ใช้ระบบ CCD แสงจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งปกติคือแสงจากคาร์โบทแบบเย็น จะสะท้อนที่วัตถุแล้วถูกหักเหด้วยกระจกเงาและรับเข้าตัวเซนเซอร์ผ่านทางเลนส์ ซึ่งประกอบด้วยอิมเมจเซนเซอร์ CCD ที่มีสมบัติจับแสงจำนวนมาก ในบางระบบ อิมเมจเซนเซอร์ CCD เหล่านี้ อาจมีไมโครเลนส์วางอยู่หน้าไดโอดทุกๆ ตัวเพื่อการจับแสงที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ด้วยสมบัติความไวแสงของชิป (Chip) CCD ในการจับภาพและแปลงข้อมูลแสงในภาพให้เป็นแฟ้มข้อมูลดิจิทัล สิ่งที่ได้จาก CCD คือ ทำให้ภาพนั้นมีคุณภาพดีขึ้น ความไวแสงของสแกนเนอร์ดีขึ้น ลดสัญญาณรบกวนในภาพ และช่วงไดนามิกที่กว้างยิ่งขึ้น (Epson, 2015)



รูปที่ 2.9 หลักการทำงานเครื่องกราดภาพของระบบ CCD (paradigm, 2007)

2.13.2 Contact Image Sensor (CIS)

สำหรับระบบ CIS แสงจาก LED สี RGB (แดง เขียว น้ำเงิน) จะถูกสะท้อนออกมาจากต้นฉบับ จากนั้น แสงนั้นจะถูกส่งผ่านชุดเลนส์จำนวนหนึ่งโดยตรง แล้วไปตกที่เซนเซอร์รับภาพ (Epson, 2015)



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่องกราดภาพระบบ CIS (paradigm, 2007)

2.13.3 การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องกราดภาพระบบ CCD และ ระบบ CIS

เทคโนโลยีทั้งสองชนิดนี้ ต่างมีข้อดีของตนทั้งคู่ โดยทั่วไป ระบบ CIS มีการบิดเบี้ยวของภาพน้อย แสงมีความสม่ำเสมอ มีขนาดกระทัดรัดและกินไฟน้อยกว่า แต่สีที่ได้ค่อนข้างเปลี่ยนไปสีจริงของวัตถุเล็กน้อย ในขณะที่ระบบ CCD มีช่วงสีกว้าง ความละเอียดสูงให้ความคมชัดมากกว่า ความเร็วการสแกนและอัตราส่วนการรับกวนสัญญาณสูงกว่า ให้ความเที่ยงตรงของสีดี แต่มีราคาสูงกว่าระบบ CIS (Epson, 2015)

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

1. เครื่องวัดสีประเภท Colorimetric spectrophotometer (HunterLab ColorFlex EZ, USA)
2. เครื่องเขย่าคัตขนาด (Sieve shaker) (Orto Alresa, TA 002, Spain) โดยใช้ตะแกรงเบอร์ 50 (300 ไมโครเมตร), เบอร์ 70 (210 ไมโครเมตร), เบอร์ 100 (150 ไมโครเมตร), เบอร์ 140 (105 ไมโครเมตร) (Endecotts) และเบอร์ 120 (120 ไมโครเมตร) (Retsch)
3. แผ่นสีมาตรฐาน (X-rite, ColorChecker Passport Photo, USA)
4. เครื่องวัดแสง (Lux meter) (Tenmars, TM-201L, Taiwan)
5. เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์แบบดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mitutoyo, 500-196-20, Japan)
6. เครื่องคอมพิวเตอร์ (Lenovo, Y410P, Intel®, Core™, i7-4700MQ CPU @ 2.40 GHz, RAM 8.00 GB)
7. กล้องถ่ายภาพดิจิตอลระบบ CCD (Couple charge device) (Sumsung Digimax, NV3, Korea)
8. เครื่องกราดภาพ (Scanner) ระบบ CCD (Epson, Perfection V30, Indonesia)
9. เครื่องกราดภาพระบบ CIS (Contact image sensor) (Epson, Perfection V39, Indonesia)
10. กล้องถ่ายภาพขนาด 41x30x29 เซนติเมตร ที่มีแหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดวาวแสง (Fluorescent lamp) แบบหลอดคู่ มีอุณหภูมิแสง 5400 K และมีค่าความเข้มแสงสูงสุด 5520 ลักซ์ จากการวัดด้วยเครื่องวัดแสง
11. กล้องถ่ายภาพขนาด 41x31x31.5 เซนติเมตร ที่มีแหล่งกำเนิดแสงเป็นไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode, LED) มีอุณหภูมิแสง 5500 K และมีค่าความเข้มแสงสูงสุด 6920 ลักซ์ จากการวัดด้วยเครื่องวัดแสง
12. โปรแกรม MATLAB® and Image Processing Toolbox Release 2010 (The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States)
13. โปรแกรม IBM® SPSS® Statistics version 11 (IBM Corporation, Armonk, New York, United States)

3.2 การพัฒนาระบบ

3.2.1 การพัฒนาชุดถ่ายภาพ (Hardware)

ระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer vision system, CVS) ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพ 2 ประเภท มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการวัดโดยศึกษาอิทธิพลของแหล่งกำเนิดแสง ด้วยการใช้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงแบบหลอดวาวแสง (Fluorescent lamp) และหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode, LED) ทำการ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดสี ขนาด และรูปร่างของวัตถุเพื่อเลือกกระบวนที่มีความเหมาะสมต่อ งานโครงการนี้

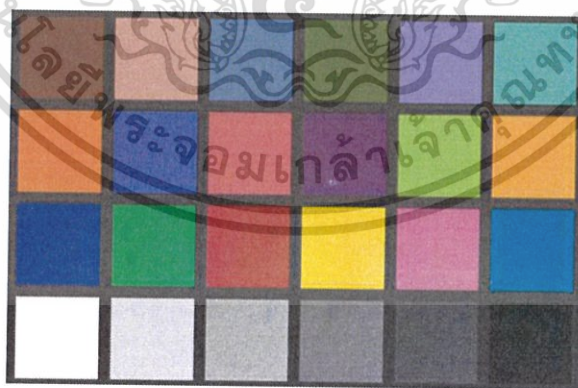
เครื่องกราดภาพ ประกอบด้วยเครื่องกราดภาพ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบ CCD (Couple charge device) และระบบ CIS (Contact image sensor) มีความแตกต่างกันในด้านการรับภาพ ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.13 ดังนั้นจึงต้องทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อเลือกกระบวนที่มีความเหมาะสมต่อโครงการนี้

3.2.2 การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์สี ขนาด และรูปร่าง (Software)

นำภาพที่ได้มาปรับปรุงคุณภาพของรูปที่ได้มาจากชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ ด้วยชุดคำสั่งใน MATLAB® เพื่อให้มีความแม่นยำในการตรวจวิเคราะห์มากขึ้น เช่น การกำจัดสัญญาณรบกวน ด้วยคำสั่ง `imsubtract` จากนั้นทำการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง ซึ่งในการตรวจวัดสีจะใช้การทำ Thresholding ด้วยวิธีการของ Otsu (Otsu, 1979) ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.12 และใช้การทำ edge detection ในการตรวจจับขนาดและรูปร่างของวัตถุ เมื่อได้ตำแหน่งของตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์แล้วจึงทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้แก่ วิเคราะห์สี วิเคราะห์รูปร่าง โดยใช้ค่าแพกเตอร์รูปร่าง ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.9.1 ในการวิเคราะห์เพื่อบอกรูปร่างของวัตถุที่ทำการตรวจวัด วิเคราะห์ขนาดโดยการการนับจำนวนพิกเซลของตำแหน่งวัตถุที่ต้องการแล้วเทียบส่วนด้วยค่าสเกล (Scale factor) เพื่อแปลงหน่วยจากพิกเซลเป็นมิลลิเมตร จากนั้นจึงหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ขนาดของ วัตถุ อ่านค่าสี RGB ของตำแหน่งของตัวอย่าง ค่าสี RGB สามารถแปลงค่าเป็นระบบสีอื่น ๆ ได้ด้วย สมการทางคณิตศาสตร์ ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.6 จากนั้นพัฒนาส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphic User Interface, GUI) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้นได้อย่างสะดวก

3.3 การสอบเทียบประสิทธิภาพโปรแกรมวิเคราะห์ภาพที่พัฒนาขึ้น

3.3.1 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัดสี



รูปที่ 3.1 แผ่นสีมาตรฐาน (The BabelColor, 2016)

วัดแผ่นสีมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ด้วยเครื่องวัดสีประเภท Colorimetric spectrophotometer โดยเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด D_{65} ที่มุม Standard observer angle 10 องศา และค่าสีที่วัดได้อยู่ในระบบ CIEXYZ, CIELAB และ CIELch และนำแผ่นสีมาตรฐานไปถ่ายภาพ ด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์และเครื่องกราดแสงแต่ละประเภท แล้ววิเคราะห์ค่าสีโดยระบบที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนาขึ้นจากนั้นสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากเครื่องวัดสีและค่าที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม SPSS® วิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) และพิจารณาค่า R-square ที่ดีที่สุดมาใช้ในแต่ละชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ นำค่าจากระบบสีที่วิเคราะห์ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นแปลงผ่านสมการ 3.1 ถึง 3.6 เพื่อได้ค่าสีที่ใกล้เคียงค่าสีที่วัดได้จากเครื่องวัดสี

เครื่องกราดภาพ ระบบ CIS

$$X_{\text{Real}} = 1.2557X \quad (3.1)$$

$$Y_{\text{Real}} = 1.2899Y \quad (3.2)$$

$$Z_{\text{Real}} = 1.2079Z \quad (3.3)$$

คอมพิวเตอร์วิทัศน์ ระบบ LED

$$X_{\text{Real}} = 2.5425X \quad (3.4)$$

$$Y_{\text{Real}} = 2.5374Y \quad (3.5)$$

$$Z_{\text{Real}} = 2.2620Z \quad (3.6)$$

3.3.2 การสอบเทียบประสิทธิภาพการวัดขนาดและรูปร่าง

วัดขนาดตัวอย่างที่มีรูปทรงมาตรฐาน (สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 0.8×0.8 เซนติเมตร จำนวน 10 ชิ้น และวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.8 เซนติเมตร จำนวน 10 ชิ้น ทำจากกระดาษ 230 แกรม) ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ แล้วบันทึกขนาด เพื่อบันทึกค่าแฟกเตอร์รูปร่าง (Shape factor) อันได้แก่ Roundness, Rectangularity, Formfactor, Circularity และ Aspect Ratio ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และนำตัวอย่างข้างต้นไปถ่ายภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์และเครื่องกราดแสงแต่ละประเภท แล้ววิเคราะห์ขนาดและค่าแฟกเตอร์รูปร่างด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น หาค่าสเกล (Scale factor) ด้วยการนำกระดาษกราฟไปถ่ายภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์และเครื่องกราดแสงแต่ละประเภท จากนั้นใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นวัดขนาดเส้นกราฟแปลงเป็นค่าสเกล เพื่อใช้แปลงหน่วยจากพิกเซลเป็นมิลลิเมตร นำค่าของขนาดที่วิเคราะห์ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นแปลงหน่วยด้วยค่าสเกลเพื่อให้ได้ค่าของขนาดเป็นหน่วยมิลลิเมตร

3.4 การทดลองกับวัสดุอาหาร

วัสดุวัสดุอาหาร ได้แก่ ถั่วเขียวซีกเลาะเปลือก ผงพริกขี้หนูป่น ผงใบมะกรูดป่น และผงขมิ้น (ยี่ห้อตราमीที่ 1, บริษัท ง่วนสุน, ประเทศไทย) ด้วยเครื่องวัดสี โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิด D₆₅ ที่มีมุม Standard observer angle 10 องศา ค่าสีที่วัดได้อยู่ในระบบ CIEXYZ, CIELAB และ CIELCh จากนั้นวัดขนาดวัสดุอาหารด้วยวิธีมาตรฐาน ได้แก่ เวอร์เนียร์คาลิเปอร์และเครื่องเขยัดคัตขนาด นำวัสดุอาหารไปถ่ายภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์และเครื่องกราดภาพที่ได้เลือกหลังทำการสอบเทียบประสิทธิภาพแล้ว นำภาพถ่ายที่ได้ไปวิเคราะห์สี ขนาด และค่าแฟกเตอร์รูปร่างด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีมาตรฐาน และผลที่วิเคราะห์ได้จากระบบที่พัฒนา โดยใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) ดังสมการที่ 3.7 บ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนของสี ขนาด และค่า

เอกลักษณะของสีที่วัดได้ และค่าสีที่วัดได้จากระบบที่พัฒนาขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่าง ใช้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ (Percentage of accuracy) ดังสมการที่ 3.8 (Willmott and Matsuura, 2005) ในการสรุปผลการทดลอง

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (3.7)$$

เมื่อ e_i = ผลต่างระหว่างค่าประมาณจากแบบจำลองกับค่าข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

$$\text{Percentage of accuracy} = \left(1 - \left| \frac{X_t - X_m}{X_t} \right| \right) \times 100\%$$

(3.8)

เมื่อ X_t = ค่าจริง
 X_m = ค่าที่ได้จากการวัด

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลองวัดค่าสี ขนาด และรูปร่างด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างละ 3 ซ้ำ จากนั้นจึงนำมาทำการวัดสี ขนาด และรูปร่าง ด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น แล้วจึงวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS® โดยใช้คำสั่ง Descriptive Statistic และ Chart builder ในการคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมถึงวาดกราฟการกระจาย (Scatter plot) ของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การพัฒนาระบบ

4.1.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการวัด

แหล่งกำเนิดแสง (Illuminant)

จากการทดลองวัดความเข้มแสงด้วยเครื่องวัดแสง พบว่าค่าความเข้มแสงสูงสุดของหลอด LED มีค่า 5520 ลักซ์ และค่าความเข้มแสงสูงสุดของหลอดวาแสง มีค่า 6920 ลักซ์ ถึงแม้ความเข้มแสงของหลอด LED จะน้อยกว่าหลอดวาแสงแต่มีความเสถียรมากกว่า คือ มีความสม่ำเสมอ และไม่มีการกระพริบ จึงทำให้การเปรียบเทียบสีของวัตถุสามารถทำได้ใกล้เคียงค่าที่ได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐานมากกว่า เนื่องจากการให้ความสว่างที่สม่ำเสมอซึ่งทำให้ค่าสีที่ได้ไม่มีความต่างกันมากนัก ส่งผลให้ผลการแปลงสีมีความเป็นเชิงเส้นที่ดีกว่า

พื้นหลัง (Background)

จากการทดลองพบว่าการใช้พื้นหลังสีขาวทำให้เกิดเงาโดยรอบวัตถุ ทำให้การตรวจวัดขนาดเกิดการคลาดเคลื่อน ส่วนการใช้พื้นหลังสีดำจะทำให้สีของวัตถุมีความหม่นลง เนื่องจากคลื่นแสงจะถูกดูดกลืนบางส่วนจึงทำให้คลื่นแสงสะท้อนกลับออกมาน้อย แต่ไม่เกิดเงารอบวัตถุ ดังนั้นในการทดลองจึงเลือกใช้พื้นหลังสีดำเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนการวิเคราะห์จากเงาของวัตถุ ส่วนสีที่หม่นนั้นไม่เป็นปัญหาเนื่องจากสามารถใช้ผลการแปลงค่าสีเพื่อแปลงค่าให้ได้สีที่ใกล้เคียงกับค่าสีที่วัดได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐาน

ความละเอียดของภาพ (Resolution)

พบว่าเมื่อเพิ่มค่าความละเอียดของภาพจะทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนลดลง โดยที่ 1200 dpi (Dot per Inch) มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.1

การกระจายของวัตถุ (Distribution)

ในการตรวจจับอนุภาคของแข็งประเภททึบแสงจำเป็นต้องมีการทำให้อนุภาคกระจายตัวให้ห่างกันที่สุด ไม่เกาะกันเป็นก้อน เพื่อความแม่นยำในการวัดขนาด และค่าแฟกเตอร์รูปร่างของอนุภาค โดยความคลาดเคลื่อนจะแปรผันตามปริมาณของอนุภาคที่เกาะกัน

การรบกวนจากสิ่งไม่พึงประสงค์

เมื่อทำการเก็บภาพถ่ายจากชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ จะต้องมีการทำความสะอาดพื้นหลังก่อนการถ่ายภาพครั้งต่อไป เพื่อป้องกันไม่ให้มีฝุ่นผงปนเข้ามาที่วัตถุอาหาร ซึ่งจะทำให้เกิดการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดขึ้นได้

ตารางที่ 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องกราฟระบบ CIS ที่ค่าความละเอียดต่าง ๆ

dpi (Dot per Inch)	Roundness	Rectangularity	Formfactor	Circularity	Aspect Ratio
400	9.23±1.46	3.68±1.61	5.11±0.59	2.52±0.29	1.73±1.69
600	5.58±1.49	3.92±1.42	2.72±0.62	1.35±0.31	1.65±1.52
800	3.81±1.19	4.067±1.53	1.35±0.64	0.67±0.32	1.61±1.61
1200	1.91±1.07	4.26±1.58	0.52±0.57	0.26±0.29	1.61±1.51

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรมวิเคราะห์ภาพที่พัฒนา

4.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพการวัดสี

ในการทดลองนี้จะศึกษาผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ได้จากเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer กับค่าสีที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นในระบบ CIEXYZ โดยพิจารณาจากลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลเครื่องกราฟแสง (Scanner)

จากการทดสอบพบว่ากราฟของระบบ CIS มีความเป็นเชิงเส้นมากกว่าระบบ CCD ส่งผลให้ในระบบ CIEXYZ ค่า R-square ของระบบ CIS มีค่ามากกว่าระบบ CCD โดยระบบ CIS มีค่า R-square คือ 0.96 และระบบ CCD มีค่า R-square คือ 0.93 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 และเมื่อนำสมการความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ระบบมาใช้ในการแปลงค่าสีให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดสี พบว่าระบบ CIS มีความแม่นยำมากกว่าระบบ CCD โดยพิจารณาจากค่า RMSE เฉลี่ยของระบบ CIS น้อยกว่าระบบ CCD เนื่องจากในระบบ CCD ต้องมีการสะท้อนด้วยกระจกเงาก่อนเข้าเซนเซอร์รับภาพ ซึ่งกระจกเงาอาจมีการเคลื่อนออกจากตำแหน่งเดิมจากการเคลื่อนย้ายเครื่องกราฟภาพ ทำให้ค่าของสีคลาดเคลื่อน ในขณะที่ระบบ CIS เมื่อแสงสะท้อนออกจากต้นฉบับจะตรงเข้าเซนเซอร์รับภาพทันที จึงทำให้ค่าสีที่ได้มีความใกล้เคียงกว่าระบบ CCD โดยระบบ CIS มีค่า RMSE เฉลี่ยคือ 1.94 และระบบ CCD มีค่า RMSE เฉลี่ยคือ 4.03

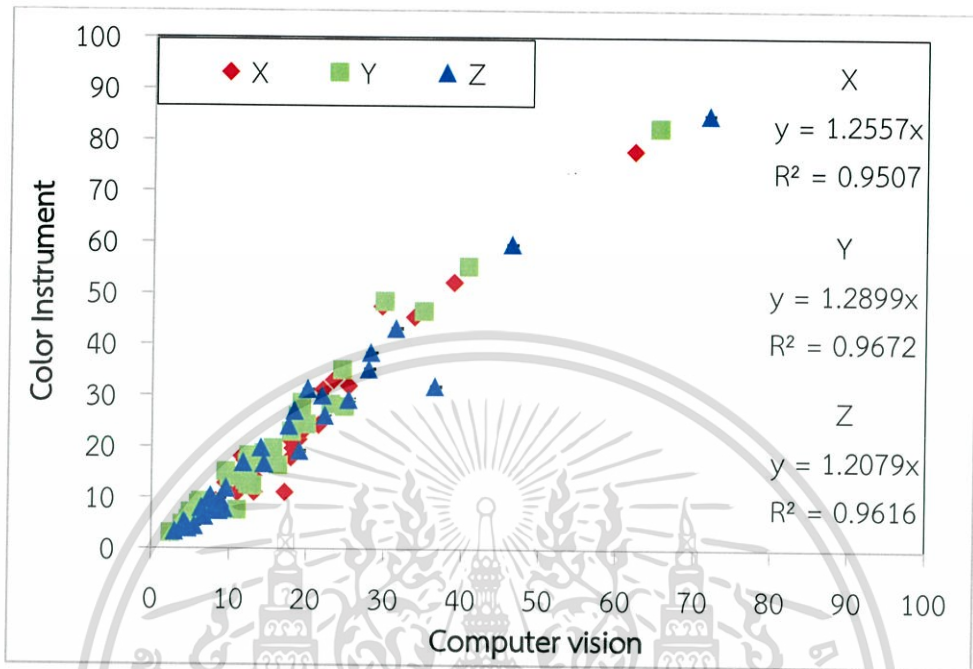
คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer vision system)

จากการทดสอบพบว่าการกระจายตัวของข้อมูลจากระบบ LED มีความเป็นเชิงเส้นมากกว่าหลอดวาแสง ส่งผลให้ในระบบ CIEXYZ ค่า R-square ของระบบ LED มีค่ามากกว่าหลอดวาแสง โดยระบบ CIS มีค่าเฉลี่ยของ R-square คือ 0.88 และระบบ CCD มีค่าเฉลี่ยของ R-square คือ 0.82 ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 และเมื่อนำสมการความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ระบบมาใช้ในการแปลงค่าสีให้วาแสง เพราะ LED จะให้ค่าความสว่างที่สม่ำเสมอและไม่กระพริบ ในขณะที่หลอดวาแสงมีการกระพริบของไฟ ทำให้ค่าสีที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลมากกว่า LED ซึ่งส่งผลต่อสมการแปลงสีโดยพิจารณาจากค่า RMSE เฉลี่ยของระบบ LED น้อยกว่าหลอดวาแสง โดยระบบ LED มีค่า RMSE เฉลี่ยคือ 6.56 และหลอดวาแสง มีค่า RMSE เฉลี่ยคือ 6.75

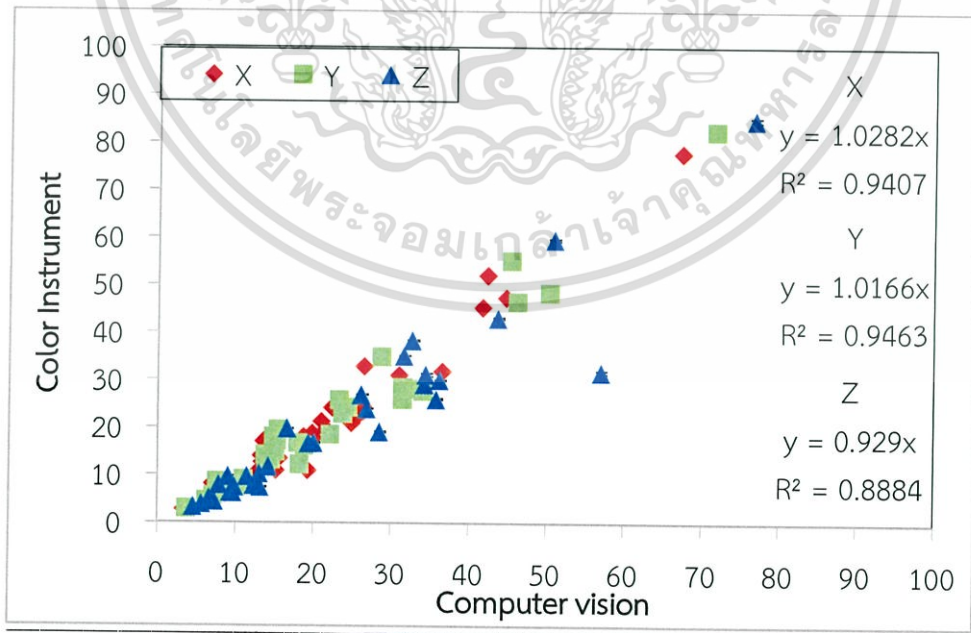
จากการทดสอบพบว่าความคลาดเคลื่อนของค่าสีส่วนมากมักพบในช่วงสีขาวยและสีน้ำเงินหรือสีที่มีสีน้ำเงินปน เนื่องจากสีของแหล่งกำเนิดแสงเป็นค่าเฉลี่ยของแสงสว่างในเวลากลางวัน (Average daylight) ซึ่งให้เป็นแสงสีขาวยปนฟ้า ประกอบกับในโมเดลระบบ RGB จะพบว่าสีน้ำเงินและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีขาวเป็นสีคู่ตรงข้ามกัน ดังนั้นเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อนจึงส่งผลกระทบต่อทั้งสองสี โดยดูที่ค่า Z แกน y ที่ค่าประมาณ 30 จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 จะพบว่า มีจุดที่ข้อมูลไม่เกาะกลุ่มกับจุดข้อมูลอื่น ๆ อย่างชัดเจน

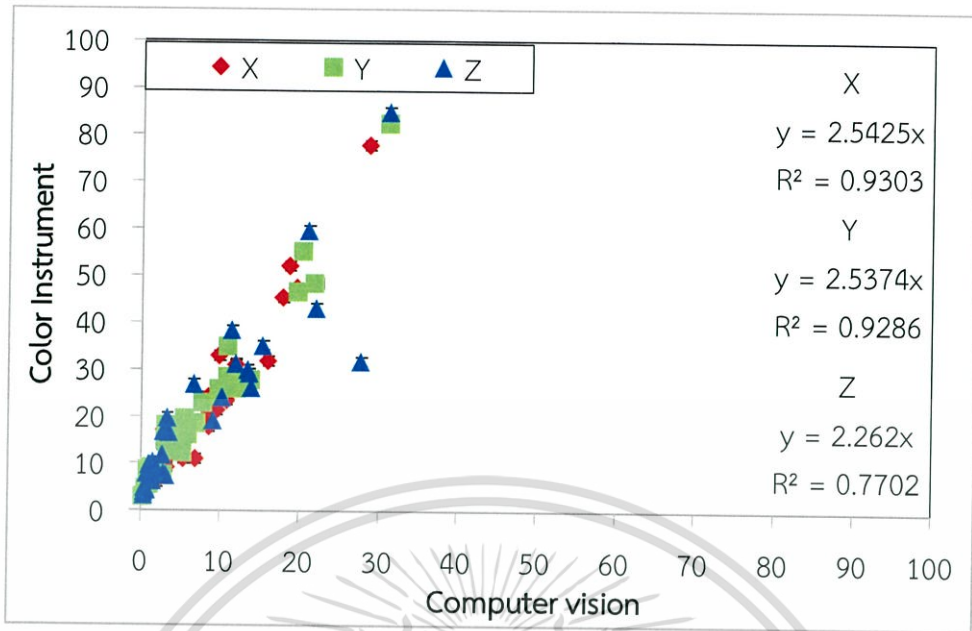


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีในระบบ CIEXYZ ที่วัดได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐานและเครื่องกราดแสงระบบ CIS

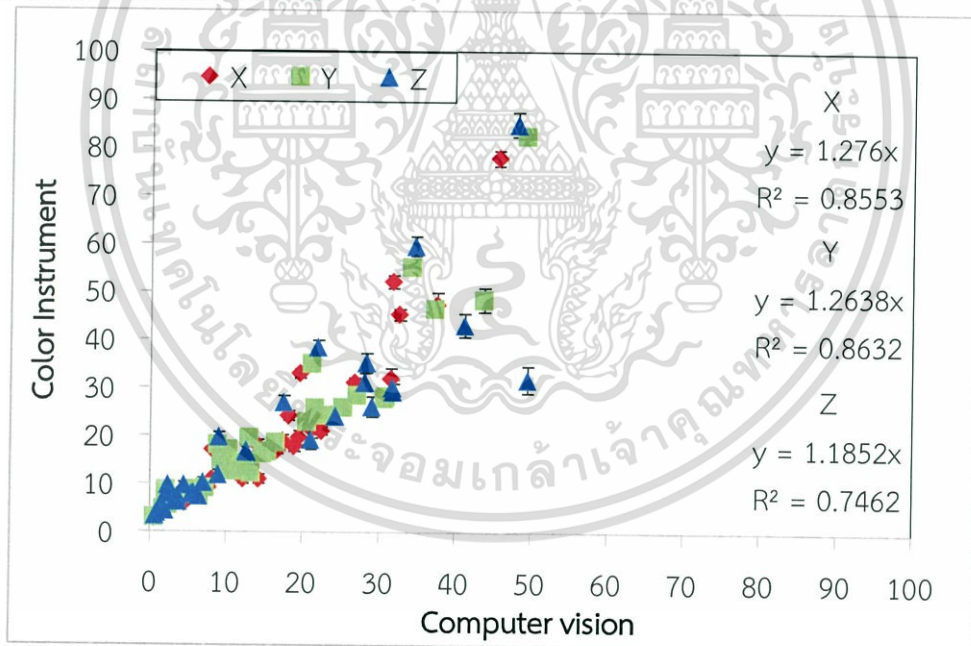


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีในระบบ CIEXYZ ที่วัดได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐานและเครื่องกราดแสงระบบ CCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีในระบบ CIEXYZ ที่วัดได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐานและคอมพิวเตอร์วิทัศน์ของระบบ LED



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีในระบบ CIEXYZ ที่วัดได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐานและคอมพิวเตอร์วิทัศน์ของหลอดวาแสง

ทดสอบดาร์วัตวัสดุสีขาวด้วยการวัดแผ่นสีมาตรฐานสีขาว (บริษัท Juki, ประเทศญี่ปุ่น) มีค่ามาตรฐานดังนี้ $X = 91.07$, $Y = 96.05$ และ $Z = 104.07$ จากการวัดสีด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นและด้วยเครื่องวัดสี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 พบว่าเครื่องกราฟภาพระบบ CIS ให้ผลการวัดใกล้เคียงกับเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer มากกว่าคอมพิวเตอร์วิทัศน์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นาปะไซะระเษนด้านกาการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทัศน์ระบบ LED โดยมีค่า RMSE เฉลี่ย 2.17 และ 24.93 ตามลำดับ เครื่องกราดภาพระบบ CIS มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย 2.18% และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย 29.35%

จากการทดลองนี้จึงสรุปว่าหากตรวจวัดสีของวัตถุที่มีสีขาว ค่าสีที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นจะมีสีที่หม่นกว่า ซึ่งมีผลต่อการวัดสีของวัตถุที่มีสีดำ หรือมีสีใกล้เคียงกับสีของพื้นหลังจะทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการตรวจจับค่าสีลดลง

ตารางที่ 4.2 ค่าสีเฉลี่ยของแผ่นสีมาตรฐานสีขาวที่วัดได้จากเครื่องกราดภาพระบบ CIS และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ของระบบ LED ในระบบสี CIEXYZ

ระบบ	X	Y	Z
เครื่องกราดภาพระบบ CIS	90.59±0.05	97.78±0.06	99.77±0.01
คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED	70.21±3.65	75.84±3.94	70.34±3.76

ตารางที่ 4.3 ค่า RMSE จากการวัดแผ่นสีมาตรฐานสีขาวของเครื่องกราดแสงและคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED

ระบบ	X	Y	Z	ค่าเฉลี่ย RMSE
เครื่องกราดภาพระบบ CIS	0.48	1.73	4.30	2.17
คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED	20.86	20.21	33.73	24.93

4.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพการวัดขนาดและรูปร่าง

จากการทดลองพบว่าเครื่องกราดภาพระบบ CIS มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยมากกว่าเครื่องกราดภาพระบบ CCD และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED มีค่าความแม่นยำเฉลี่ยมากกว่าคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบหลอดวาแสง ดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยค่าสเกลที่ใช้แปลงหน่วยจากพิกเซลเป็นมิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งผลที่ได้มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลจากการวัดสี คือเครื่องกราดภาพระบบ CIS มีความแม่นยำมากกว่าระบบ CCD และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED มีความแม่นยำมากกว่าระบบหลอดวาแสง ดังนั้นจึงเลือกใช้เครื่องกราดภาพระบบ CIS และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED มาใช้ในโครงการนี้เพื่อพัฒนาระบบต่อไป

ตารางที่ 4.4 ค่าความแม่นยำเฉลี่ยของชุดอุปกรณ์แต่ละประเภท

ระบบ	ค่าความแม่นยำเฉลี่ย
เครื่องกราดภาพ ระบบ CCD	97.87% ± 2.13
เครื่องกราดภาพ ระบบ CIS	98.29% ± 1.00
คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบหลอดวาแสง	93.65% ± 2.68
คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED	94.17% ± 2.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าสเกลของชุดอุปกรณ์แต่ละประเภท

ระบบ	ค่าสเกล
เครื่องกราฟภาพระบบ CIS (1200 dpi)	47.23
คอมพิวเตอร่วิทัศน์ระบบ LED	11.09

4.3 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองกับวัสดุอาหาร

4.3.1 การวัดสีวัสดุอาหาร

จากการวัดสีวัสดุอาหารด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นและด้วยเครื่องวัดสีมาตรฐาน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6 ถึงตารางที่ 4.8 พบว่าเครื่องกราฟภาพระบบ CIS มีค่า RMSE น้อยกว่าคอมพิวเตอร่วิทัศน์ระบบ LED ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ส่งผลให้การวัดสีจากเครื่องกราฟภาพระบบ CIS มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer มากกว่าคอมพิวเตอร่วิทัศน์ระบบ LED โดยมีค่า RMSE เฉลี่ย คือ 2.73 และ 14.69 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าเครื่องกราฟภาพระบบ CIS มีค่าผลต่างของสีเฉลี่ยน้อยกว่าคอมพิวเตอร่วิทัศน์ระบบ LED ดังแสดงในตารางที่ 4.10 โดยค่าผลต่างของสีของถั่วเขียวเลาะเปลือกของระบบ CIS ที่มีค่าสูงกว่า สามารถเกิดได้จากการสุมวางตัวอย่างของถั่วเขียวเลาะเปลือกซึ่งมีสีภายในและภายนอกที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ค่าผลต่างมีค่ามากขึ้น ประกอบด้วยเครื่องกราฟภาพระบบ CIS สามารถตรวจวัดสีได้อย่างแม่นยำกว่าคอมพิวเตอร่วิทัศน์ระบบ LED ทำให้เห็นถึงผลต่างของสีที่มากกว่า

4.3.2 การวัดขนาดและค่าแฟกเตอร์รูปร่างของวัสดุอาหาร

จากการทดลองพบว่า การวิเคราะห์ด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นจะสามารถตรวจพบอนุภาคขนาดเล็กได้ละเอียดกว่าวิธีการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อนซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 โดยดูจากช่วงขนาดระหว่าง 0.01 - 0.03 ตารางมิลลิเมตร จะสังเกตเห็นว่า Ratio ในรูปที่ 4.6 ซึ่งได้จากระบบ CIS มีปริมาณมากกว่ารูปที่ 4.5 ซึ่งได้จากตะแกรงร่อนอย่างชัดเจน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างประมาณ 40% และเมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อนกับคอมพิวเตอร่วิทัศน์ระบบ LED พบว่าถึงแม้คอมพิวเตอร่วิทัศน์ระบบ LED จะตรวจจับอนุภาคขนาดเล็กได้ไม่ละเอียดเท่าระบบที่ใช้เครื่องกราฟภาพ แต่สามารถบอกการกระจายขนาดของวัสดุอาหารที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.07 ตารางมิลลิเมตรได้ดีกว่าการใช้ตะแกรงร่อน ดังแสดงในรูปที่ 4.7 เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อนจะทราบแค่ขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดที่ไม่สามารถผ่านช่องเปิดลงไปได้เท่านั้น แต่คอมพิวเตอร่วิทัศน์ระบบ LED จะสามารถบอกการกระจายในช่วงขนาดที่ใหญ่กว่า 0.07 ตารางมิลลิเมตรได้

ตารางที่ 4.6 ค่าสีเฉลี่ยของวัสดุอาหารที่วัดได้จากเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer, เครื่องกราฟภาพระบบ CIS และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ของระบบ LED ในระบบสี CIEXYZ

วัสดุอาหาร	เครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer			เครื่องกราฟภาพระบบ CIS			คอมพิวเตอร์วิทัศน์ของระบบ LED		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
ถั่วเขียว									
เลาะเปลือก	36.48±0.02	35.50±0.02	8.59±0.06	32.34±1.22	34.73±1.38	13.29±0.71	21.18±2.39	22.57±2.81	3.41±0.38
ผงใบมะกรูดป่น	21.18±0.01	22.77±0.01	10.00±0.02	14.92±0.13	16.27±0.13	8.98±0.04	7.59±0.89	8.54±1.03	1.79±0.16
ผงพริกชี้หนูป่น	18.40±0.01	14.55±0.01	3.43±0.02	16.70±0.26	12.32±0.21	4.10±0.08	13.87±1.30	8.49±0.77	0.88±0.06
ผงขมิ้น	26.43±0.13	23.09±0.16	3.68±0.25	26.50±0.09	21.86±0.11	6.30±0.06	16.52±1.30	12.01±1.21	1.35±0.15

ตารางที่ 4.7 ค่าสีเฉลี่ยของวัสดุอาหารที่วัดได้จากเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer, เครื่องกราฟภาพระบบ CIS และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ของระบบ LED ในระบบสี CIELAB

วัสดุอาหาร	เครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer			เครื่องกราฟภาพระบบ CIS			คอมพิวเตอร์วิทัศน์ของระบบ LED		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
ถั่วเขียว									
เลาะเปลือก	66.05±0.02	10.03±0.07	55.56±0.16	64.60±1.06	-2.10±0.37	41.82±0.23	53.86±2.89	-0.07±1.24	58.20±2.70
ผงใบมะกรูดป่น	54.73±0.01	-1.39±0.01	31.52±0.03	46.02±0.16	-3.16±0.07	22.24±0.25	34.45±2.08	-4.77±0.44	37.34±2.10
ผงพริกชี้หนูป่น	44.88±0.02	27.14±0.01	41.92±0.09	40.88±0.36	31.25±0.05	32.46±0.14	34.85±1.59	43.42±1.59	47.51±1.95
ผงขมิ้น	55.06±0.17	20.38±0.20	57.98±0.25	53.69±0.13	25.60±0.15	43.33±0.05	41.12±1.87	32.52±0.93	52.34±1.54

ตารางที่ 4.8 ค่าสีเฉลี่ยของวัสดุอาหารที่วัดได้จากเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer, เครื่องกราฟภาพระบบ CIS และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ของระบบ LED ในระบบสี CIELCh

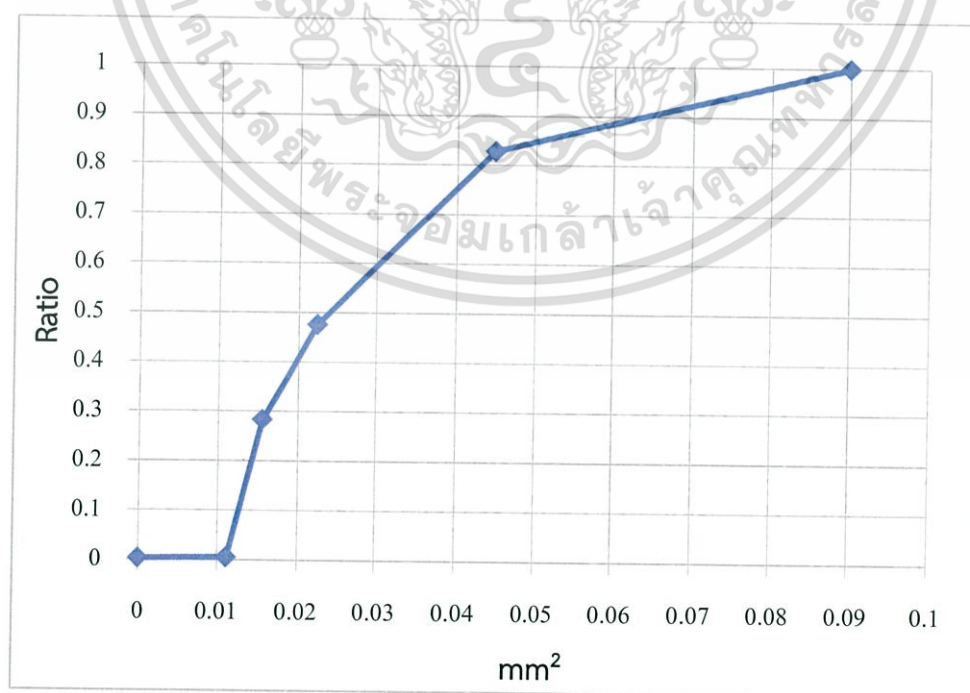
วัสดุอาหาร	เครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer			เครื่องกราฟภาพระบบ CIS			คอมพิวเตอร์วิทัศน์ของระบบ LED		
	L^*	C^*	h	L^*	C^*	h	L^*	C^*	h
ถั่วเขียว									
เลาะเปลือก	66.05±0.02	56.46±0.17	79.87±0.04	64.60±1.06	41.93±0.24	91.86±0.44	53.86±2.89	58.39±2.69	88.77±2.98
ผงใบมะกรูดป่น	54.73±0.01	31.57±0.03	92.70±0.02	46.02±0.16	22.55±0.24	98.06±0.27	34.45±2.08	37.75±2.14	97.20±0.27
ผงพริกชี้หูป่น	44.88±0.02	49.92±0.07	57.16±0.05	40.88±0.36	45.10±0.13	45.98±0.10	34.85±1.59	64.37±2.50	47.57±0.16
ผงขมิ้น	55.06±0.17	61.45±1.19	70.73±0.19	53.69±0.13	50.36±0.11	59.45±0.12	41.12±1.87	61.68±0.90	58.16±1.45

ตารางที่ 4.9 ค่า RMSE ในระบบ CIEXYZ ของวัสดุอาหาร

วัสดุอาหาร	เครื่องградภาพระบบ CIS			คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED		
	X	Y	Z	X	Y	Z
ถั่วเขียวเลาะเปลือก	4.26	1.37	4.73	21.27	10.04	31.32
ผงใบมะกรูดป่น	6.26	6.50	1.02	7.63	6.44	14.48
ผงพริกชี้หนูป่น	1.72	2.23	0.67	13.91	8.23	11.44
ผงขมิ้น	0.10	1.23	2.62	16.56	14.52	20.51
ค่า RMSE เฉลี่ย		2.73			14.69	

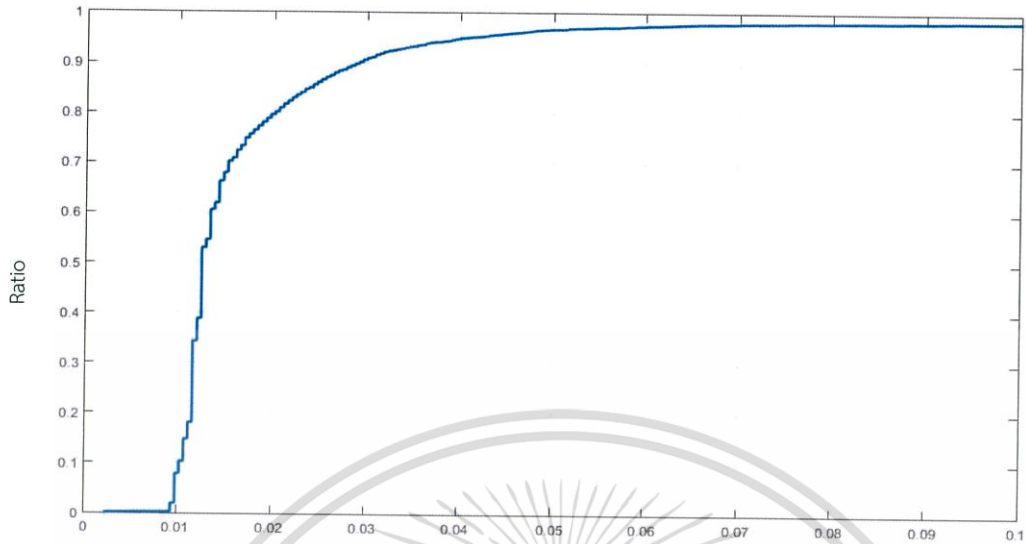
ตารางที่ 4.10 ค่าผลต่างของสี (Color difference, ΔE^*) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดสี Colorimetric spectrophotometer

วัสดุอาหาร	เครื่องградภาพระบบ CIS	คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED
ถั่วเขียวเลาะเปลือก	18.39	16.50
ผงใบมะกรูดป่น	12.85	21.36
ผงพริกชี้หนูป่น	11.06	19.92
ผงขมิ้น	15.62	19.33
ค่าเฉลี่ยของ ΔE^*	14.48	19.28

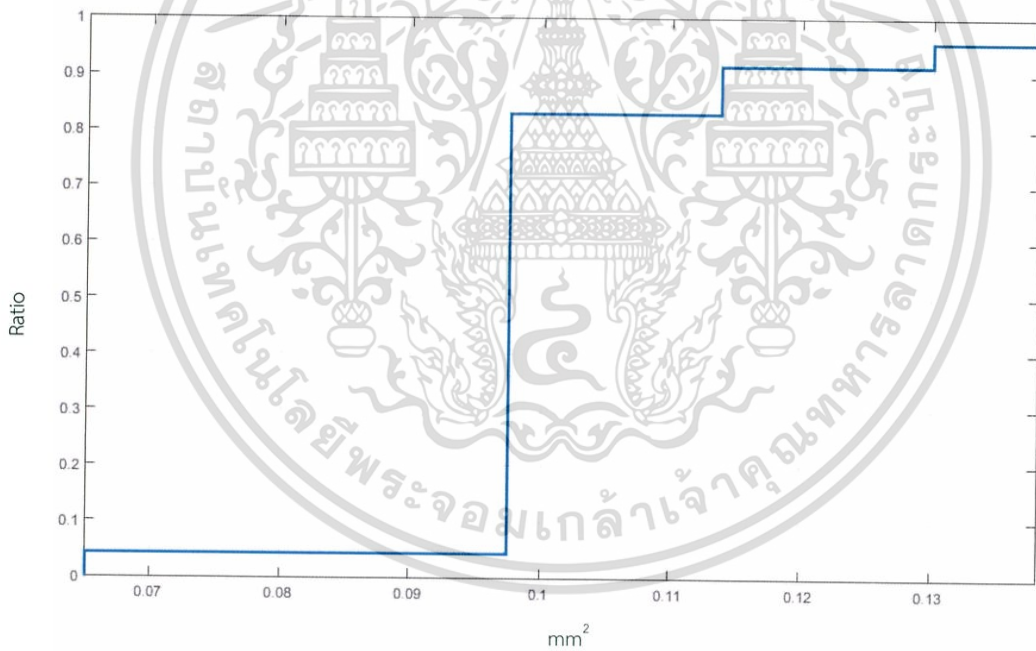


รูปที่ 4.5 การกระจายขนาดของผงขมิ้น วิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ระบบ CIS



รูปที่ 4.7 การกระจายขนาดของผงขมิ้น วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED

จากการวัดรูปร่างวัสดุอาหารด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ ตารางที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์รูปร่างของถั่วเขียวเลาะเปลือกระหว่างเครื่องกราดภาพระบบ CIS กับคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED พบว่าทั้งสองระบบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือจะได้ค่า Roundness ที่น้อยกว่า 0.7 แสดงว่าวัตถุมิรูปร่างไม่เป็นทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ค่าแฟกเตอร์รูปร่าง (Shape factor) จากเครื่องกราฟาพระบบ CIS

วัสดุอาหาร	Roundness	Rectangularity	Formfactor	Circularity	Aspect Ratio
ถั่วเขียว					
เลาะเปลือก	0.70±0.00	0.76±0.01	0.85±0.00	0.92±0.00	0.81±0.01
สาคุ	0.88±0.01	0.78±0.01	0.89±0.01	0.94±0.00	0.89±0.01

ตารางที่ 4.12 ค่าแฟกเตอร์รูปร่าง (Shape factor) จากคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED

วัสดุอาหาร	Roundness	Rectangularity	Formfactor	Circularity	Aspect Ratio
ถั่วเขียว					
เลาะเปลือก	0.69±0.00	0.75±0.01	0.88±0.00	0.94±0.00	0.80±0.02
สาคุ	0.94±0.01	0.78±0.01	0.94±0.00	0.97±0.00	0.96±0.01

เมื่อเปรียบเทียบการวัดความยาวแกนหลัก (Major axis) ของถั่วเขียวเลาะเปลือกและสาคุ ด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นและเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 พบว่าเครื่องกราฟาพระบบ CIS ให้ผลการวัดถั่วเขียวเลาะเปลือกมีค่าใกล้เคียงกับเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ มากกว่าคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED โดยมีค่าความแม่นยำอยู่ที่ 96.23% และ 95.91% ตามลำดับ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดสาคุ พบว่าเครื่องกราฟาพระบบ CIS มีความแม่นยำน้อยกว่าคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED โดยมีค่าเป็น 85.38% และ 94.25% ตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความหนาของสาคุที่มากกว่าถั่วเขียวเลาะเปลือก จึงสรุปได้ว่าหากวัตถุที่นำมาตรวจวัดมีความหนามากกว่า 1 มิลลิเมตร ให้ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED ในการวัดขนาดและรูปร่าง เพื่อให้มีความแม่นยำ

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบความยาวแกนหลักของถั่วเขียวเลาะเปลือกและสาคุ

วัสดุอาหาร	เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์	เครื่องกราฟาพระบบ CIS	คอมพิวเตอร์วิทัศน์ของระบบ LED
ถั่วเขียวเลาะเปลือก	4.72±0.50	4.90±0.52	4.91±0.52
สาคุ	2.83±0.17	3.24±0.18	2.99±0.13

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบความแม่นยำจากการวัดความยาวแกนหลัก (Major axis)

ระบบ	เครื่องกราฟาพระบบ CIS	คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED
ถั่วเขียวเลาะเปลือก	96.23%	95.91%
สาคุ	85.38%	94.25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทยมีการแข่งขันสูง ซึ่งการตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคเป็นสิ่งสำคัญ โดยลักษณะปรากฏของอาหารมีผลเป็นอย่างยิ่งต่อการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมคุณภาพลักษณะปรากฏเบื้องต้น โดยโครงการนี้ได้ทำการพัฒนาระบบที่สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ อันได้แก่ สี ขนาด และค่าแฟกเตอร์รูปร่างของอนุภาคของแข็งประเภททึบแสง ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบไปด้วย ชุดถ่ายภาพระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision system, CVS) โดยใช้กล้องถ่ายภาพระบบ CCD (Couple Charge Device) เพื่อทำการศึกษาลักษณะของแหล่งกำเนิดแสงที่มีต่อประสิทธิภาพการวิเคราะห์โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงแบบหลอดทวาวแสง (Fluorescent lamp) และแหล่งกำเนิดแสงเป็นไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode, LED) และเครื่องกราดภาพ (Scanner) 2 ระบบเพื่อศึกษาผลที่ได้จากเทคนิคการถ่ายภาพ ได้แก่ การถ่ายภาพแบบ Area scan โดยการใช้เครื่องกราดภาพระบบ CCD และการถ่ายภาพระบบ Line scan โดยการใช้เครื่องกราดภาพระบบ CIS (Contact Image Sensor) จากนั้นนำภาพที่ได้จากแต่ละอุปกรณ์มาปรับปรุงและทำการวิเคราะห์ด้วยชุดคำสั่งที่พัฒนาขึ้นใน MATLAB[®] ทำการกำจัดสัญญาณรบกวน และทำการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง เมื่อได้ตำแหน่งของตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์แล้วจึงทำการวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้แก่ สี ขนาดและรูปร่าง มีการแปลงค่าสีเป็นระบบต่าง ๆ และทำการเปรียบเทียบระบบกับวิธีทางมาตรฐาน โดยสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีที่ได้จากเครื่อง Colorimetric Spectrophotometer และค่าที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการแปลงค่าสีให้ได้ใกล้เคียงกับมาตรฐาน ในส่วนของวิเคราะห์ขนาดที่เปรียบเทียบด้วยค่าสเกล (Scale factor) ด้วยการวัดขนาดและรูปร่างมาตรฐานด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ คำนวณค่าแฟกเตอร์รูปร่าง (Shape factor) เปรียบเทียบค่าที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้น

เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการวัดค่าสีด้วยการวัดค่าสีของแผ่นสีมาตรฐาน เปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากระบบที่ทำการพัฒนาจากชุดอุปกรณ์ต่าง ๆ เปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องวัดสีมาตรฐาน และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการวัดขนาดและรูปร่างโดยการวัดขนาดของกระดาษรูปทรงมาตรฐานที่ได้จากระบบที่ทำการพัฒนาในแต่ละอุปกรณ์กับการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ พบว่า คอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่มีแหล่งกำเนิดแสงแบบ LED ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบหลอดทวาวแสงโดยค่าสีจากการทดสอบประสิทธิภาพระบบมีค่า RMSE เท่ากับ 6.56 และ 6.56 ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์ขนาด พบว่าระบบ LED มีความแม่นยำมากกว่าแบบหลอดทวาวแสง โดยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย $94.17\% \pm 2.59$ และ $93.65\% \pm 2.68$ ตามลำดับจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องกราดภาพระบบ CIS และภาพระบบ CCD พบว่าระบบ CIS มีความแม่นยำในการวัดสีมากกว่า CCD โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 1.94 และ 4.03 ตามลำดับ ในส่วนของการวิเคราะห์ขนาด ระบบ CIS มีความแม่นยำมากกว่า CCD โดยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ $98.29\% \pm 1.00$ และ $97.87\% \pm 2.13$ ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้เครื่องกราดภาพระบบ CIS และคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED มาทำการพัฒนาต่อไป เมื่อทำการทดลองกับวัสดุอาหารจริงพบว่าเครื่องกราดภาพระบบ CIS มีความไม่วุ่นวายใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่นยำในการตรวจวัดสี ขนาด และรูปร่าง มากกว่าคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED โดยมีค่า RMSE เฉลี่ยเท่ากับ 2.73 และ 14.69 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดขนาดของระบบที่พัฒนาขึ้นเทียบกับการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ พบว่าระบบ CIS มีแม่นยำสูงกว่าคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED โดยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 96.23% และ 95.91% ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อทำการวัดการกระจายของอนุภาค (Particle size distribution) พบว่าระบบที่ทำการพัฒนาขึ้นสามารถตรวจพบอนุภาคขนาดเล็กได้ละเอียดกว่าการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อนซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่นิยมใช้โดยทั่วไป โดยระบบ CIS สามารถตรวจจับขนาดได้ตั้งแต่ 0.01 ตารางมิลลิเมตรขึ้นไป ในขณะที่คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED สามารถตรวจจับขนาดอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.07 ตารางมิลลิเมตรขึ้นไป

5.2 ข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาต่อ

แม้ผลที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นจะมีประสิทธิภาพและความแม่นยำเป็นที่น่าพอใจแต่ยังสามารถปรับปรุงระบบคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED ให้ดีขึ้นได้ โดยทำการลดระยะห่างระหว่างกล้องและวัสดุอาหาร เนื่องจากภาพถ่ายต้องมีระยะที่เหมาะสมในการเก็บภาพ อาจต้องทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าความไวแสง ISO, ค่า white balance และขนาดของรูรับแสง เพื่อให้ได้สีที่ใกล้เคียงกับสีของวัตถุที่มองเห็นด้วยสายตามากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

สำนักงาน ทพหัตถดิน ๓ อุตสาหกรรม. 2555. การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. กรุงเทพฯ : ท้อป.

Epson. 2015. เทคโนโลยี CCD. [Online]. Available : www.epson.co.th

ASTM D2244-15a. 2015. Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color

Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates. ASTM International. West

Conshohocken. PA. 2015. DOI: 10.1520/D2244-15A. www.astm.org

ASTM E284-13b. 2013. Standard Terminology of Appearance. ASTM International. West

Conshohocken. PA. 2013. DOI: 10.1520/E0284. www.astm.org

ASTM E308-15. Standard Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE

System. ASTM International. West Conshohocken. PA. 2015. DOI: 10.1520/E0308-

15. www.astm.org

ASTM MNL17-2ND-EB. 2012. Paint and Coating Testing Manual. ASTM International. West

Conshohocken. PA. 2012. DOI: 10.1520/ MNL17-2ND-EB. www.astm.org

Buera, M.P. and Caivano, J.L.. 2012. **Color in Food: Technological and Psychophysical Aspect**. Cornwall : TJI Digital.

CIE. 2015. ISO 11664-2:2007(E)/CIE S 014-2/E:2006: Joint ISO/CIE Standard: Colorimetry –

Part 2: CIE Standard Illuminants for Colorimetry. [Online]. Available: www.cie.co.at/index.php?i_ca_id=484.

Fluxgro. 2015. **Electromagnetic Spectrum**. [Online]. Available : <http://www.fluxgro.com/resources/>

HunterLab. 2015. **Basics of Color Theory Powerpoint**. [Online]. Available : <http://www.hunterlab.com/application-notes.html>.

HunterLab. 2015. **CIE Standard Observers and Calculation of CIE X, Y, Z Color Values**. [Online]. Available : <http://www.hunterlab.com/application-notes.html>.

HunterLab. 2015. **Color versus Appearance**. [Online]. Available : <http://www.hunterlab.com/application-notes.html>.

HunterLab. 2015. **Food Color Measurement**. [Online]. Available : <http://www.hunterlab.com/food-color-measurement.html>.

Igathinathane, C. Ulusoy, U. and Pordesimo, L.O. 2012. “Comparison of particle size

distribution of celestite mineral by machine vision Σ Volume approach and

mechanical sieving.” **Powder Technology**, 2012(2012) : 137-146

Jha, S.N., Editor. **Nondestructive Evaluation of Food Quality.** Heidelberg : Springer, 2010.

Konica Minolta. 2012. **Colour Measurement Solutions for the Food Industry.**

[Online]. Available : https://www.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/5Resources/Catalogue_Download/KMSEU_Solutions-FoodIndustry_EN_A4_low.pdf

Linford, C. 2004. **The Complete Guide to Digital Color : creative use of color in the**

digital arts. New York : Harper Design International.

Manninen, H. Paakki, M. Hopia, A. and Franzen, R. 2015. “Measuring the green color of

vegetables from digital images using image analysis.” **LWT – food science and**

technology. 2015(63) : 1184-1190.

Otsu, N. 1979. “A threshold selection method from gray-level histograms.” **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.** 1979(1): 62–66.

Parker, J.R. 2011. **Algorithms for Image Processing and Computer Vision.** 2nd ed. Indianapolis : Wiley Publishing.

Russ, J.C. 2011. **The Image Processing Handbook.** 6th ed. Boca Raton : Taylor and

Francis Group.

Saluena, B.H. and Gamasa, C.S. 2012. “Optical properties of foods.” 89-118. In Arana, I.

Physical properties of foods. Boca Raton : Taylor and Francis Group.

Schuck, P. Dolivet, A. and Jeantet, R. **Analytical methods for food and dairy powder.**

Malaysia : Vivar printing, 2012

The BabelColor Company. 2016. **ColorChecker.** [Online]. Available :

<http://www.babelcolor.com/colorchecker.htm>.

Wang, Q. Wang, H. Xie, L. and Zhang, Q. 2012. “Outdoor color rating of sweet cherries

using computer vision.” **Computers and Electronics in Agriculture.**

2012(87)

: 113-120.

Willmott, C.J. and Matsuura, K. 2005. “Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model

performance.” **Climate Research.** 2005(30) : 79-82.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Wu, D. and Sun, D.W. 2013. "Color measurements by computer vision for food quality control – A review." *Trends in Food Science & Technology*. 2013(29) : 5-20.
- Zheng, C. Sun, D.W., Editors. **Computer vision technology for food quality evaluation**. 1st ED. Amsterdam : Elsevier, 2008.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



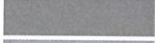
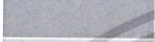









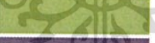




















เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก





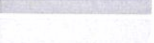



























ผลการทดลอง

ตาราง ก.1 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานที่วัดได้จากเครื่องวัดสี Colorimetric Spectrophotometer ในระบบสี XYZ

		Hunter lab		
		X	Y	Z
COLOR 1		2.77	2.90	3.37
COLOR 2		8.13	8.58	9.76
COLOR 3		17.11	18.03	19.77
COLOR 4		32.90	34.90	38.35
COLOR 5		52.06	55.12	59.55
COLOR 6		77.80	82.38	84.85
COLOR 7		14.05	19.54	35.14
COLOR 8		24.18	17.08	26.91
COLOR 9		45.28	46.42	7.82
COLOR 10		10.95	7.40	3.91
COLOR 11		10.87	16.14	7.43
COLOR 12		5.98	5.52	19.12
COLOR 13		31.01	28.43	6.26
COLOR 14		22.31	27.68	8.01
COLOR 15		5.73	4.58	10.32
COLOR 16		17.77	12.56	9.76
COLOR 17		9.19	8.75	26.05
COLOR 18		23.41	18.51	4.40
COLOR 19		20.97	28.15	29.16
COLOR 20		16.92	16.65	30.01
COLOR 21		7.50	9.05	4.85
COLOR 22		12.72	13.90	24.01
COLOR 23		24.43	22.82	16.65
COLOR 24		7.68	7.01	5.06
COLOR 25		19.57	13.25	16.80
COLOR 26		17.97	14.89	31.20
COLOR 27		10.99	12.21	31.75
COLOR 28		18.83	25.77	43.08
COLOR 29		13.48	24.22	11.79
COLOR 30		47.34	48.34	7.44
COLOR 31		31.82	25.83	6.35
COLOR 32		21.28	14.22	7.94



















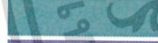

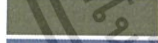











เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานที่วัดได้จากเครื่องกราฟภาพระบบ CCD ในระบบสี XYZ

		CCD								
		1			2			3		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
COLOR 1		3.47	3.84	4.72	3.39	3.75	4.62	3.29	3.65	4.48
COLOR 2		7.06	7.75	9.08	7.12	7.82	9.18	6.98	7.65	8.96
COLOR 3		13.61	14.93	16.66	13.64	14.95	16.73	13.68	14.98	16.75
COLOR 4		26.47	28.76	32.68	26.50	28.77	32.66	26.69	28.98	32.95
COLOR 5		42.28	45.39	50.85	42.31	45.44	50.81	42.56	45.63	51.24
COLOR 6		67.23	71.56	76.53	67.22	71.52	76.47	67.57	71.89	77.23
COLOR 7		13.28	15.49	31.65	13.33	15.55	31.78	13.27	15.48	31.67
COLOR 8		22.43	15.37	26.23	22.56	15.46	26.34	22.46	15.36	26.24
COLOR 9		41.56	46.09	12.38	41.84	46.36	12.49	41.86	46.46	12.44
COLOR 10		15.18	10.08	5.73	15.24	10.10	5.71	15.29	10.14	5.73
COLOR 11		12.89	18.88	9.85	12.96	18.98	9.92	13.00	19.06	9.96
COLOR 12		8.75	7.24	28.57	8.72	7.20	28.52	8.72	7.16	28.70
COLOR 13		31.01	31.46	9.71	31.17	31.61	9.78	31.12	31.59	9.73
COLOR 14		25.60	34.10	12.34	25.66	34.16	12.41	25.69	34.25	12.38
COLOR 15		7.47	6.35	13.14	7.50	6.36	13.17	7.42	6.28	13.05
COLOR 16		20.05	13.95	11.60	20.15	14.01	11.51	20.10	13.99	11.51
COLOR 17		12.56	11.07	35.64	12.67	11.19	35.93	12.63	11.11	36.03
COLOR 18		26.36	22.16	7.39	26.60	22.36	7.39	26.49	22.31	7.36
COLOR 19		25.00	32.30	34.23	24.92	32.18	34.27	25.05	32.37	34.42
COLOR 20		18.92	18.11	36.20	18.94	18.12	36.30	18.95	18.14	36.35
COLOR 21		8.60	11.15	6.78	8.57	11.11	6.80	8.56	11.12	6.69
COLOR 22		13.43	14.29	26.89	13.40	14.28	26.89	13.42	14.31	26.95
COLOR 23		26.32	23.76	19.39	26.41	23.82	19.46	26.54	24.00	19.56
COLOR 24		8.41	8.20	6.73	8.34	8.13	6.61	8.40	8.19	6.66
COLOR 25		21.66	14.57	20.06	21.87	14.74	20.27	21.69	14.62	20.08
COLOR 26		18.76	15.15	34.52	18.94	15.32	34.80	18.74	15.21	34.16
COLOR 27		19.31	18.27	57.03	19.50	18.50	57.41	19.32	18.35	56.80
COLOR 28		19.90	23.33	43.68	20.10	23.63	44.03	19.88	23.36	43.52
COLOR 29		15.64	24.48	14.30	15.76	24.72	14.35	15.60	24.47	14.18
COLOR 30		44.67	50.27	13.24	45.13	50.86	13.36	44.55	50.11	13.16
COLOR 31		36.54	31.45	9.29	36.87	31.79	9.39	36.47	31.41	9.34
COLOR 32		21.11	13.86	7.95	21.30	13.98	7.98	20.96	13.76	7.81


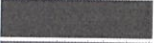

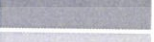




























เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานที่วัดได้จากเครื่องกราฟภาพระบบ CIS ในระบบสี XYZ

		CIS								
		1			2			3		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z
COLOR 1		2.46	2.54	3.06	2.44	2.52	3.04	2.45	2.53	3.03
COLOR 2		5.96	6.15	7.39	5.96	6.14	7.38	6.00	6.18	7.42
COLOR 3		12.02	12.57	14.18	11.96	12.51	14.13	12.04	12.60	14.19
COLOR 4		23.51	24.63	28.34	23.46	24.58	28.26	23.57	24.69	28.39
COLOR 5		38.98	40.87	46.49	38.75	40.64	46.21	38.93	40.82	46.42
COLOR 6		62.15	65.26	71.78	62.22	65.31	71.79	62.11	65.27	71.59
COLOR 7		13.16	15.73	27.98	13.11	15.67	27.94	13.21	15.78	28.20
COLOR 8		21.53	14.99	18.41	21.45	14.93	18.36	21.67	15.06	18.51
COLOR 9		33.84	35.07	9.38	33.73	34.96	9.34	34.00	35.26	9.41
COLOR 10		17.23	11.07	4.79	17.26	11.10	4.83	17.28	11.10	4.82
COLOR 11		11.06	16.39	7.83	11.11	16.47	7.88	11.06	16.40	7.82
COLOR 12		5.94	4.81	18.94	6.00	4.84	19.30	5.98	4.82	19.23
COLOR 13		22.10	19.40	6.91	22.02	19.33	6.89	22.29	19.55	6.97
COLOR 14		19.25	25.00	9.31	19.09	24.80	9.23	19.33	25.10	9.31
COLOR 15		4.84	4.06	7.67	4.80	4.03	7.63	4.86	4.08	7.69
COLOR 16		17.85	12.41	8.78	18.08	12.54	8.87	18.13	12.58	8.87
COLOR 17		8.30	7.28	22.43	8.33	7.35	22.40	8.29	7.30	22.40
COLOR 18		19.33	14.53	5.63	19.44	14.61	5.65	19.35	14.55	5.62
COLOR 19		18.01	23.14	25.42	17.82	22.90	25.17	18.23	23.43	25.71
COLOR 20		12.92	12.41	22.03	12.84	12.33	21.92	13.00	12.48	22.15
COLOR 21		5.44	6.44	4.41	5.40	6.41	4.36	5.48	6.49	4.44
COLOR 22		9.51	10.00	17.65	9.51	10.00	17.70	9.61	10.11	17.85
COLOR 23		20.00	18.08	14.57	20.01	18.09	14.59	19.99	18.06	14.53
COLOR 24		5.72	5.13	4.22	5.74	5.15	4.23	5.72	5.13	4.22
COLOR 25		18.16	12.11	11.84	18.14	12.10	11.83	18.35	12.24	11.98
COLOR 26		11.60	9.56	20.03	11.65	9.60	20.13	11.76	9.70	20.33
COLOR 27		13.17	12.95	36.42	13.24	13.01	36.57	13.31	13.09	36.77
COLOR 28		15.50	18.80	31.35	15.63	18.97	31.56	15.67	19.05	31.66
COLOR 29		12.26	19.99	9.61	12.23	19.95	9.59	12.33	20.11	9.67
COLOR 30		29.51	29.87	8.68	29.69	30.09	8.70	29.76	30.12	8.77
COLOR 31		25.41	19.37	6.72	25.39	19.35	6.71	25.58	19.48	6.74
COLOR 32		19.01	12.46	6.52	19.03	12.47	6.51	19.05	12.48	6.49














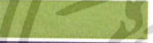



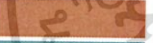
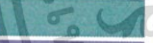

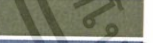











เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบหลอดวาแสงในระบบสี XYZ

		หลอดวาแสง								
		1			2			3		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
COLOR 1		0.56	0.55	0.70	0.58	0.58	0.74	0.61	0.62	0.79
COLOR 2		1.87	1.96	2.15	1.96	2.07	2.41	2.23	2.36	2.76
COLOR 3		7.83	8.52	8.23	8.07	8.78	8.95	8.94	9.66	10.11
COLOR 4		18.98	20.48	20.65	19.36	20.90	21.85	20.79	22.43	23.62
COLOR 5		30.76	33.18	32.84	31.27	33.79	34.51	33.23	35.79	36.79
COLOR 6		44.42	47.90	45.66	45.03	48.56	47.89	47.46	50.98	50.68
COLOR 7		10.30	12.62	27.13	10.51	12.85	27.26	11.49	13.95	30.69
COLOR 8		18.01	10.11	16.45	17.41	10.06	17.26	19.34	10.98	19.07
COLOR 9		32.10	36.53	5.36	31.84	36.52	5.38	33.99	39.01	5.75
COLOR 10		12.23	6.54	0.87	11.37	6.16	0.96	13.18	7.06	0.98
COLOR 11		7.85	14.42	3.32	7.91	14.29	3.70	8.70	15.83	3.98
COLOR 12		4.43	2.35	20.35	4.34	2.35	19.74	5.03	2.64	23.28
COLOR 13		26.39	26.53	3.74	26.05	26.57	3.78	27.99	28.41	4.02
COLOR 14		21.08	30.05	5.40	21.24	30.06	6.01	22.43	32.07	6.03
COLOR 15		2.71	1.70	6.42	2.74	1.74	6.78	3.17	1.95	8.00
COLOR 16		18.90	10.80	3.94	18.00	10.60	4.69	20.06	11.62	4.92
COLOR 17		7.35	5.28	28.17	7.35	5.40	27.62	8.27	5.98	31.59
COLOR 18		22.64	16.24	1.95	21.59	15.98	2.02	23.92	17.52	2.13
COLOR 19		21.84	30.20	30.44	22.28	30.42	31.49	23.44	32.21	33.67
COLOR 20		16.24	15.03	30.50	16.49	15.38	31.08	17.59	16.21	33.80
COLOR 21		4.38	7.03	1.69	4.46	7.11	1.88	4.91	7.88	1.91
COLOR 22		11.11	11.91	23.17	11.42	12.24	23.72	12.20	12.94	26.18
COLOR 23		23.33	20.03	11.76	23.21	20.32	13.02	24.84	21.50	13.54
COLOR 24		4.66	3.42	1.24	4.44	3.35	1.39	5.07	3.77	1.43
COLOR 25		18.36	9.85	11.62	21.25	11.38	13.88	19.12	10.25	12.57
COLOR 26		13.14	8.78	26.35	15.56	10.32	30.12	13.90	9.28	28.10
COLOR 27		13.39	12.49	46.75	15.31	14.19	52.40	14.19	13.19	49.60
COLOR 28		16.29	20.41	38.88	18.88	23.15	43.71	17.29	21.49	41.16
COLOR 29		11.55	21.53	8.11	13.23	24.27	10.12	12.19	22.61	8.92
COLOR 30		35.52	41.64	6.18	40.35	46.48	6.85	37.06	43.38	6.43
COLOR 31		29.68	23.85	3.05	34.08	27.17	3.46	30.93	24.99	3.20
COLOR 32		19.79	10.79	1.94	23.21	12.74	2.48	20.79	11.43	2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.5 ค่าสีของแผ่นสีมาตรฐานที่วัดได้จากคอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED ในระบบสี XYZ

		LED								
		1			2			3		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
COLOR 1		0.33	0.32	0.39	0.35	0.34	0.45	0.33	0.32	0.41
COLOR 2		0.84	0.88	0.95	0.96	0.98	1.22	0.89	0.93	1.08
COLOR 3		2.60	2.87	2.67	3.42	3.65	4.16	2.93	3.25	3.22
COLOR 4		9.21	10.25	10.18	10.80	11.76	12.99	9.89	10.99	11.41
COLOR 5		17.58	19.24	19.02	20.03	21.60	23.48	18.67	20.45	20.99
COLOR 6		27.27	29.74	28.68	30.27	32.75	33.88	28.63	31.29	31.11
COLOR 7		4.50	4.84	13.63	5.79	6.31	17.32	5.19	5.71	15.42
COLOR 8		7.75	4.28	5.43	9.40	5.15	7.98	8.55	4.71	6.78
COLOR 9		16.81	18.59	2.71	19.04	21.06	3.07	17.97	19.96	2.92
COLOR 10		5.04	2.72	0.42	5.95	3.20	0.52	5.23	2.83	0.46
COLOR 11		3.00	5.44	1.39	3.61	6.53	1.76	3.32	6.03	1.57
COLOR 12		1.75	0.99	7.73	2.34	1.25	10.74	2.02	1.11	9.10
COLOR 13		11.05	10.02	1.36	12.99	11.96	1.64	12.02	11.06	1.51
COLOR 14		8.57	12.70	2.07	10.36	15.06	2.54	9.57	14.10	2.30
COLOR 15		0.75	0.57	1.35	0.93	0.68	1.86	0.84	0.63	1.60
COLOR 16		7.98	4.42	1.03	9.34	5.18	1.42	8.62	4.79	1.21
COLOR 17		2.88	1.78	12.07	3.73	2.22	15.98	3.32	2.02	14.07
COLOR 18		10.11	6.47	0.72	11.63	7.75	0.89	10.87	7.17	0.82
COLOR 19		7.64	11.30	11.72	9.67	13.70	15.66	8.80	12.81	13.81
COLOR 20		4.66	3.84	11.74	6.15	5.26	15.24	5.48	4.69	13.67
COLOR 21		0.92	1.21	0.52	1.09	1.46	0.64	1.01	1.35	0.58
COLOR 22		2.94	2.79	8.32	4.21	4.00	11.99	3.73	3.58	10.46
COLOR 23		8.62	6.89	2.63	10.60	8.72	4.47	9.72	8.02	3.59
COLOR 24		1.03	0.87	0.47	1.29	1.07	0.61	1.17	0.99	0.55
COLOR 25		8.68	4.69	2.81	8.69	4.68	3.16	7.76	4.19	2.60
COLOR 26		5.37	3.31	12.07	5.45	3.30	12.77	4.68	2.87	11.30
COLOR 27		7.06	5.61	27.87	7.21	5.53	29.07	6.51	4.89	26.53
COLOR 28		8.40	10.24	21.92	8.57	10.16	23.17	7.90	9.42	21.30
COLOR 29		5.39	10.35	2.78	5.28	10.05	2.91	4.90	9.40	2.57
COLOR 30		20.18	22.60	3.31	20.15	22.39	3.28	18.74	20.86	3.05
COLOR 31		16.59	12.61	1.57	16.44	12.42	1.54	15.29	11.46	1.41
COLOR 32		9.82	5.30	0.76	9.86	5.31	0.83	9.04	4.89	0.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





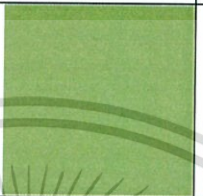

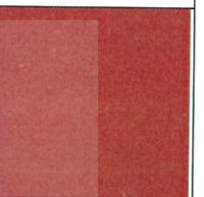

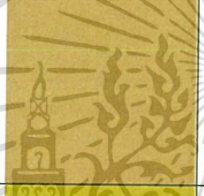


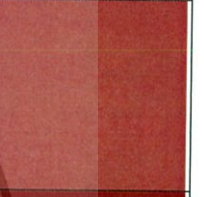
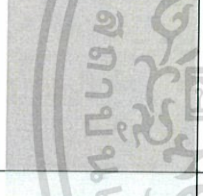
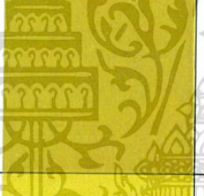
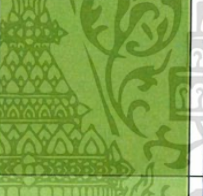


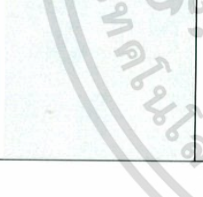




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รูปการทดลอง

การทดลอง

ตาราง ข.1 ตัวอย่างภาพแผ่นสีมาตรฐานที่ถ่ายได้จากในแต่ละระบบ

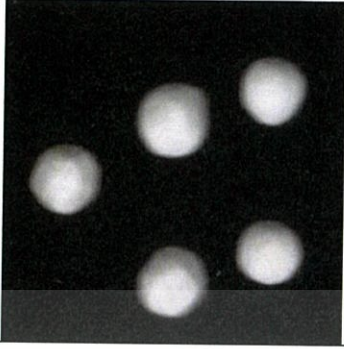
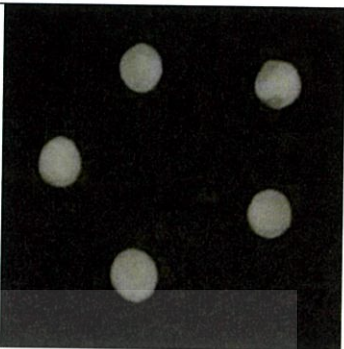
อุปกรณ์	Color				
	Color 6	Color 9	Color 14	Color 20	Color 32
CCD					
CIS					
หลอด วา ว แสง					
LED					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.2 ตัวอย่างภาพวัสดุอาหารที่ถ่ายจากเครื่องกราดภาพระบบ CIS และ คอมพิวเตอร์วิทัศน์ระบบ LED

วัสดุอาหาร	อุปกรณ์	
	CIS	LED
ผงมะกรูด		
ผงขมิ้น		
ผงพริกชี้หนูป่น		
ถั่วเขียวเลาะเปลือก		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุอาหาร	อุปกรณ์	
	CIS	LED
เม็ดสาคุ		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

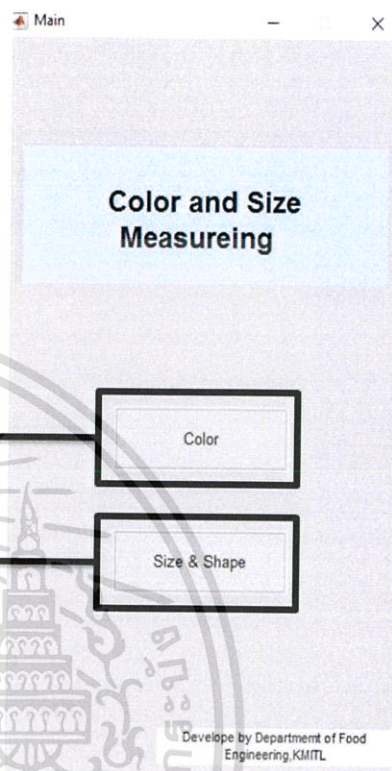
ขั้นตอนการใช้งาน

หน้าแรกโปรแกรม “Color and Size Measuring”

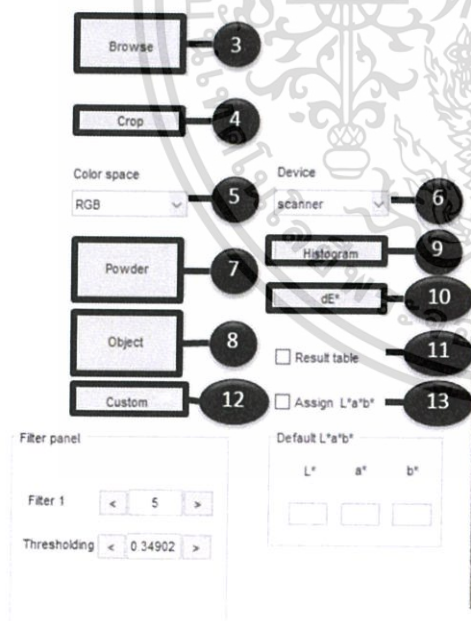
1. เลือกรูปแบบการวิเคราะห์

ปุ่ม Color (หมายเลข 1) การวิเคราะห์สี

ปุ่ม Size & Shape (หมายเลข 2) การวิเคราะห์ขนาดและรูปร่าง

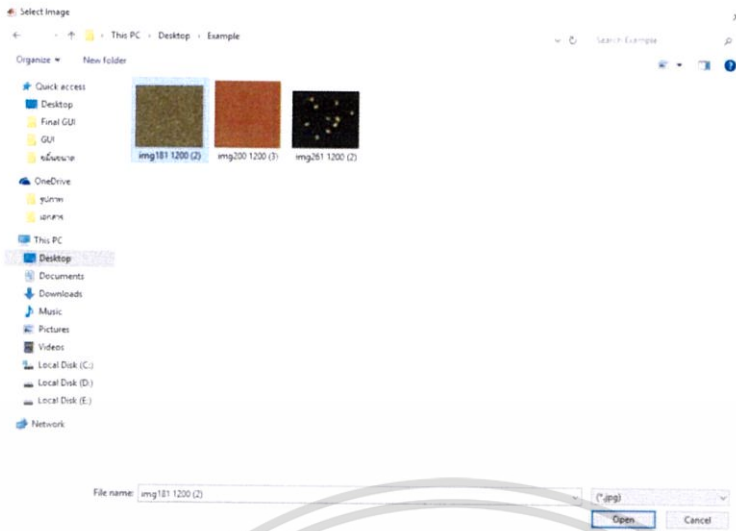


หน้าต่างการวิเคราะห์สี



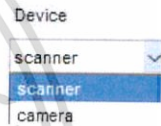
1. กดปุ่ม Browse (หมายเลข 3) เพื่อเลือกรูปภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปภาพและชื่อไฟล์ที่เลือกจะแสดงในช่องหมายเลข 14 และ 15 ตามลำดับ สามารถปรับแต่งขนาดรูปภาพได้ด้วยปุ่ม Crop (หมายเลข 4)

2. ตั้งค่าโปรแกรมให้ตรงกับอุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายภาพ Device (หมายเลข 6)



3. เลือกระบบสี Color space (หมายเลข 5)



4. เลือกวิธีการวิเคราะห์รูปภาพ

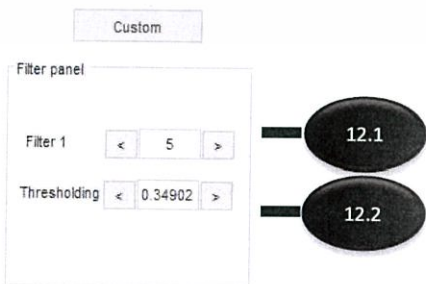
- Powder (หมายเลข 7) การวิเคราะห์ภาพวัตถุขนาดเล็ก

คำนวณทุกพื้นที่บนรูปภาพ เหมาะสำหรับภาพวัตถุขนาดเล็กหรือเป็นผงที่มีการกระจายเต็มรูปภาพ

- Object (หมายเลข 8) การวิเคราะห์วัตถุ

ทำการแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง เหมาะแก่วัตถุที่มีลักษณะเป็นชิ้น

ในการการวิเคราะห์ด้วย Object (หมายเลข 8) สามารถตั้งค่าการตรวจจับได้ด้วยปุ่ม Custom (หมายเลข 12)



- Filter 1 (หมายเลข 12.1) การกำจัดฝุ่น

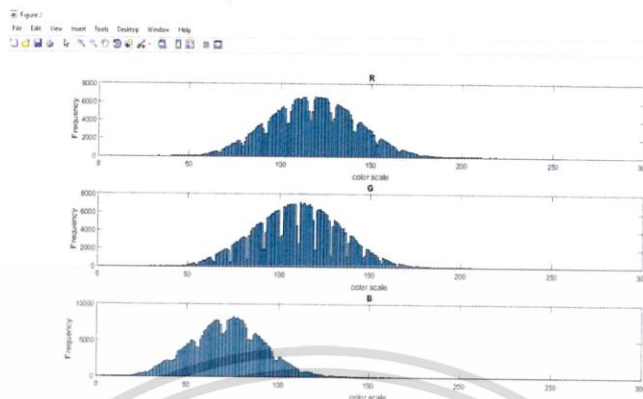
- Thresholding (หมายเลข 12.2) การปรับการแปลงค่า gray scale เป็น binary image

5. หลังการประมวลผล สีเฉลี่ยและค่าสีเฉลี่ยจะแสดงในช่องหมายเลข 16 17 และ 18

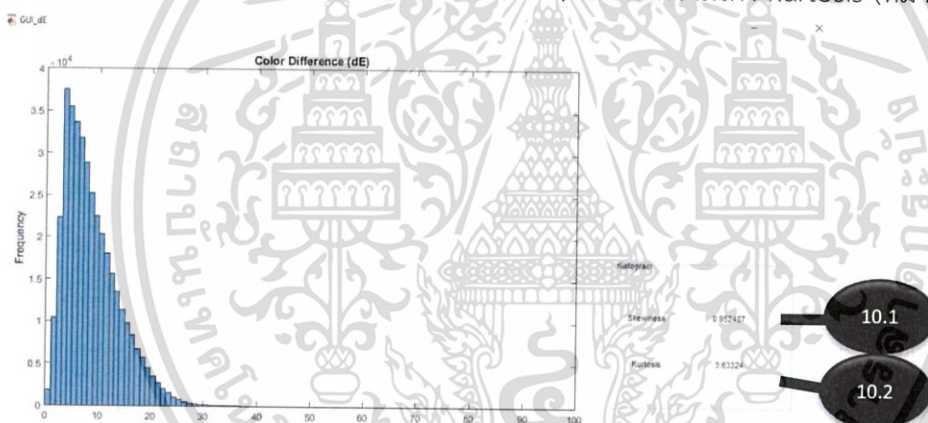
ตามลำดับ โดยสามารถเลือกระบบสีได้ที่ Color space (หมายเลข 5) และสามารถแสดง

เอกสารนี้เป็นตารางเก็บข้อมูลได้โดยเลือก result table (หมายเลข 11) ม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เลือกปุ่ม Histogram (หมายเลข 9) เพื่อแสดง Color distribution histogram โดยสามารถเลือกระบบสีที่ต้องการได้ที่ Color space (หมายเลข 5)



7. เลือกปุ่ม dE^* (หมายเลข 10) เพื่อแสดง $L^*a^*b^*$ Color different histogram ΔE^* พร้อมค่าความเบ้ Skewness (หมายเลข 10.1) และค่าความโค้ง kurtosis (หมายเลข 10.2)



โดยสามารถป้อนค่าสี $L^*a^*b^*$ เพื่อหาค่าความต่าง ระหว่างค่าสีที่ป้อนกับสีที่วัดได้ด้วยการเลือก Assign $L^*a^*b^*$ (หมายเลข 13)

ถ้าเป็น Powder (หมายเลข 7) แสดงค่าความต่างของแต่ละ pixel กับค่าสีเฉลี่ย

ถ้าเป็น Object (หมายเลข 8) แสดงค่าความต่างของแต่ละวัตถุกับค่าสีเฉลี่ย

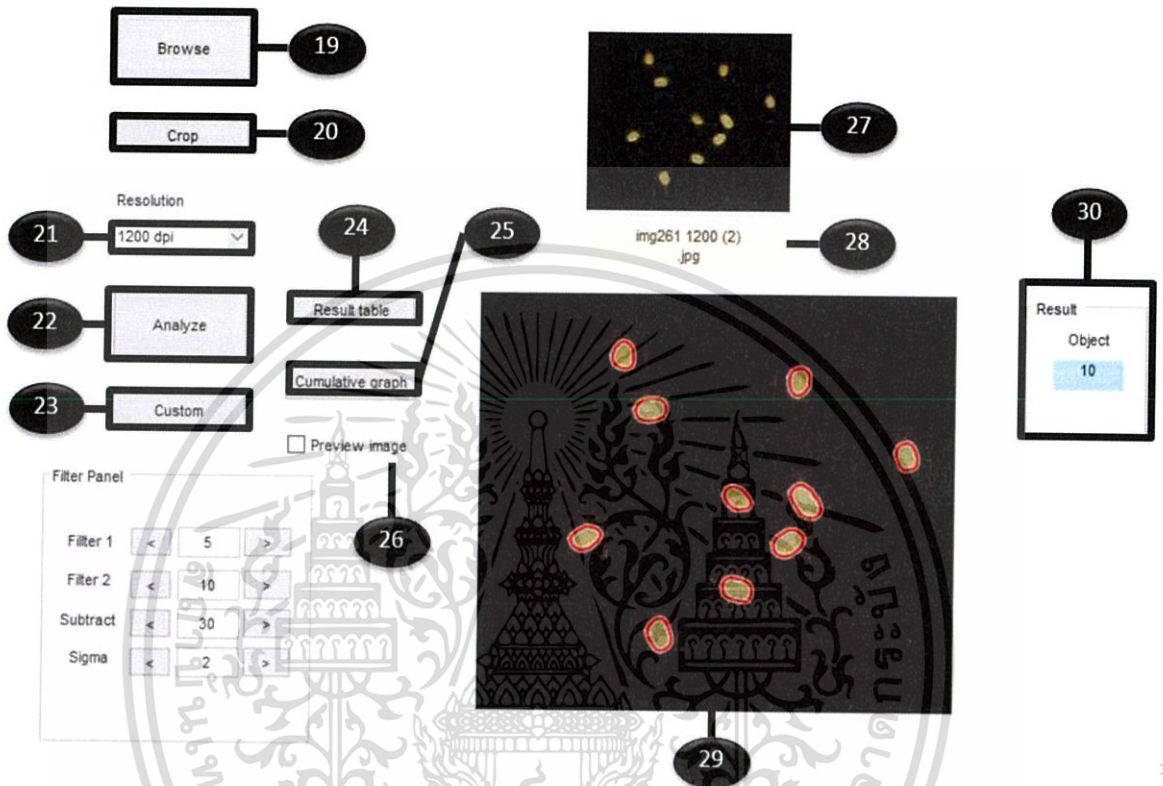
Assign $L^*a^*b^*$

Default $L^*a^*b^*$

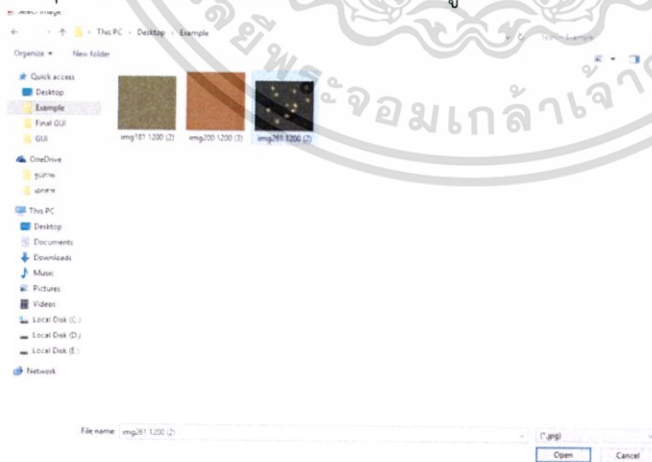
L^*	a^*	b^*
40	20	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่างการวิเคราะห์ขนาดและรูปร่าง



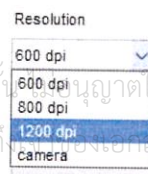
1. กดปุ่ม Browse (หมายเลข 3) เพื่อเลือกรูปภาพ



รูปภาพและชื่อไฟล์ที่เลือกจะแสดงในช่องหมายเลข 27 และ 28

สามารถปรับแต่งขนาดได้ด้วยปุ่ม Crop (หมายเลข 20)

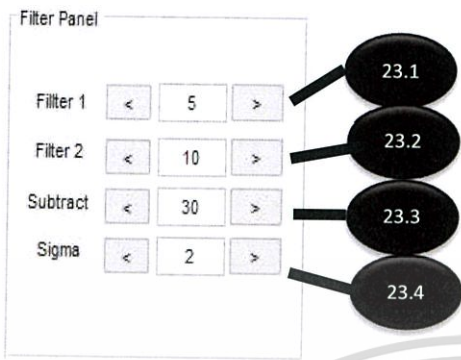
2. ตั้งค่า Resolution ให้ตรงกับรูป (หมายเลข 21)



3. วิเคราะห์รูปภาพ ปุ่ม Analyze (หมายเลข 22)

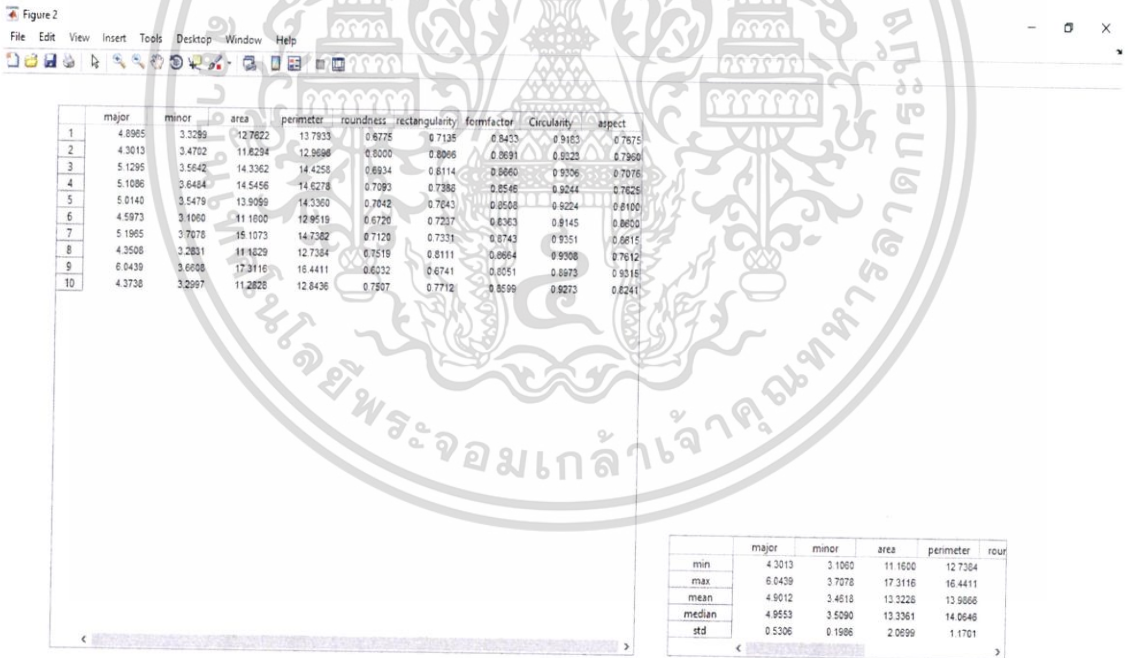
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถตั้งค่าการตรวจจับได้ด้วยปุ่ม Custom (หมายเลข 23)



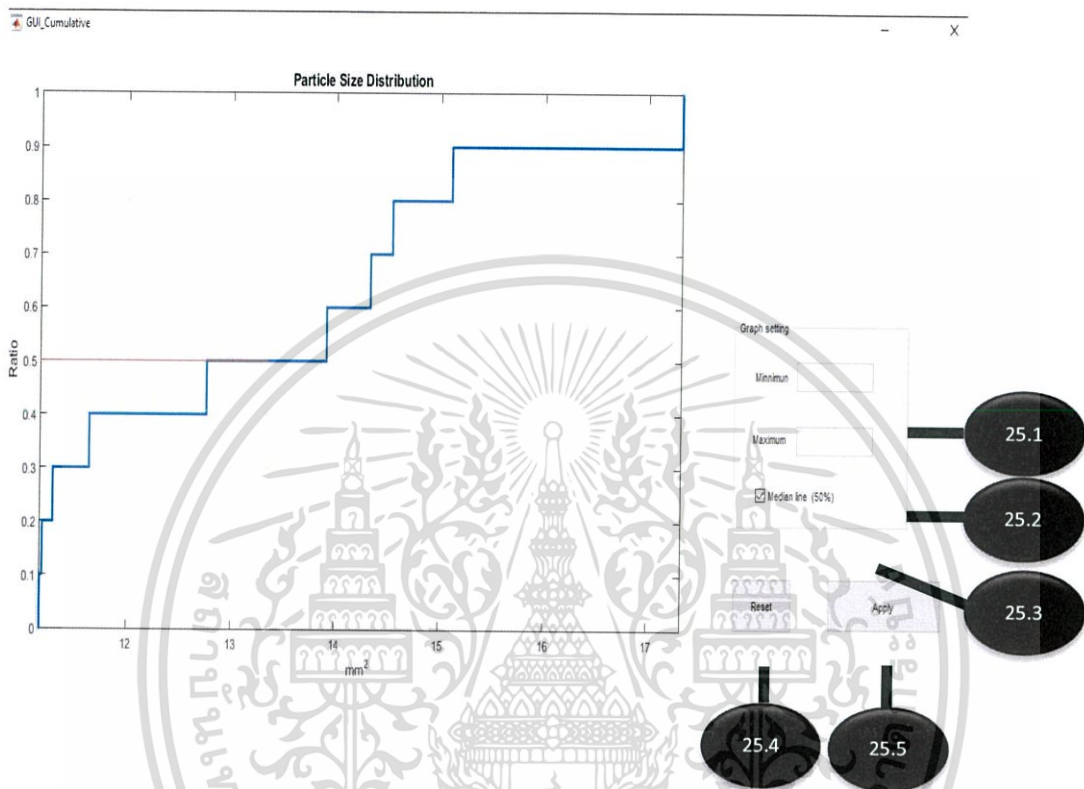
- Filter 1 (หมายเลข 23.1) เพื่อการกำจัดฝุ่น
- Filter2 (หมายเลข 23.2) เพื่อเชื่อมช่องว่างและลบส่วนเกิน
- Subtract (หมายเลข 23.3) เพื่อปรับความคมชัดของภาพ
- Sigma (หมายเลข 23.4) เพื่อปรับระดับความเข้ม/อ่อน วัตถุ

4. รูปหลังการประมวลผลและจำนวนวัตถุ จะแสดงในช่องหมายเลข 29 และ 30 โดยสามารถแสดงตารางเก็บข้อมูลได้ด้วยปุ่ม result table (หมายเลข 24) และเลือก preview image (หมายเลข 26) เพื่อดูรูปตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แสดง Cumulative graph (หมายเลข 25)



สามารถตั้งค่ากราฟได้ด้วย

Graph setting Minimum (หมายเลข 25.1) ค่าน้อยที่สุดของแกน x
 Maximum (หมายเลข 25.2) ค่ามากที่สุดของแกน x
 Median line (หมายเลข 25.3) เส้นแบ่ง 50%

Apply (หมายเลข 25.5) เพื่อปรับกราฟ

Reset (หมายเลข 25.4) ปรับค่ากลับเป็นค่าเริ่มต้นของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง ชุดคำสั่งที่พัฒนาขึ้น

ตัวแปรที่ต้องมีการกำหนดค่า input

Handles.device
handles.checkbox1
handles.scale
handles.pop

รหัสคำสั่ง Color analysis (segmentation)

```
[file path]=uigetfile({'*.jpg'; '*.bmp'; '*.jpeg'; '*.png'}, 'Select Image'); % browse image file
image =[path file];
im = imread (image); %read image data
im2 =imread (image)
im3 = imread (image);
imgray = rgb2gray(im); %change e image to gray scale
imwie = wiener2(imgray,[5 5]);
se = strel('disk',5); %create disk shape filter
imfill1 = imopen (imwie,se); %remove object that smaller than 'se'
handles.level = graythresh (imfill1); %threshold level
imbw = im2bw(imfill1,handles.level); %change e gray scale image to binary image
im3(repmat(~imbw,[1 1 3]))=0; %repeat '~imbw' to 'im3'
[L,handles.N] = bwlabel(imbw); %label object & number of object
xyz = rgb2xyz(im3); %change e RGB to XYZ

for p = 1:handles.N
    label = L==p; %label = 1 when L = p
    [r,c] = find (label==1); %find position that label = 1
    im2 = xyz;
    im2(repmat(~label,[1 1 3])) = 0; %repeat '~label' to 'im2'
    x = im2(:,:,1); %separate x y z
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y = im2(:,:,2);
z = im2(:,:,3);
[D] = find(x>0|y>0|z>0); %find position that x or y or z >0
if handles.device == 0;
    x2 = x(D)*1.2557;
    y2 = y(D)*1.2899;
    z2 = z(D)*1.2079;
elseif handles.device == 1;
    x2 = x(D)*2.5425;
    y2 = y(D)*2.5374;
    z2 = z(D)*2.2620;
end
ss = size(x2,1);
for i = 1:ss
    if x2(i,1)>1
        x2(i,1) = 1;
    end
    if y2(i,1)>1
        y2(i,1) = 1;
    end
    if z2(i,1)>1
        z2(i,1) = 1;
    end
end
xyz3{p,1} = [x2 y2 z2];
x4(p,1) = mean(xyz3{p,1}(:,1)); %average xyz color of each object
y4(p,1) = mean(xyz3{p,1}(:,2));
z4(p,1) = mean(xyz3{p,1}(:,3));

rgb2{p,1} = xyz2rgb(xyz3{p,1},'OutputType','uint8'); %change xyz to rgb (output 0-
255)
red2(p,1) = mean(rgb2{p,1}(:,1)); %average rgb color of each object
green2(p,1) = mean(rgb2{p,1}(:,2));
blue2(p,1) = mean(rgb2{p,1}(:,3));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lab2{p,1} = xyz2lab(xyz3{p,1});           %change e xyz to L*a*b*
l2(p,1) = mean(lab2{p,1}(:,1));          %average L*a*b* color of each object
a2(p,1) = mean(lab2{p,1}(:,2));
b2(p,1) = mean(lab2{p,1}(:,3));

%calculate Lch
L2{p,1} = lab2{p,1}(:,1);
C{p,1} = sqrt((lab2{p,1}(:,2).^2)+(lab2{p,1}(:,3).^2));
for jj = 1:ss;
    if lab2{p,1}{jj,2}>=0 & lab2{p,1}{jj,3}>=0;
        H{p,1} = rad2deg(atan(lab2{p,1}{jj,3}/lab2{p,1}{jj,2}));
    elseif lab2{p,1}{jj,2}<0 & lab2{p,1}{jj,3}>=0;
        H{p,1} = rad2deg(atan(lab2{p,1}{jj,3}/lab2{p,1}{jj,2}))+180;
    elseif lab2{p,1}{jj,2}<0 & lab2{p,1}{jj,3}<0;
        H{p,1} = rad2deg(atan(lab2{p,1}{jj,3}/lab2{p,1}{jj,2}))+180;
    else lab2{p,1}{jj,2}>=0 & lab2{p,1}{jj,3}<0;
        H{p,1} = rad2deg(atan(lab2{p,1}{jj,3}/lab2{p,1}{jj,2}))+360;
    end
end
L3(p,1) = mean(L2{p,1});
C3(p,1) = mean(C{p,1});
H3(p,1) = mean(H{p,1});                 %average Lch color of each object

rgb4{p,1} = xyz2rgb(xyz3{p,1});         %change xyz to rgb (output 0-1)

%calculate HSV
hhh = size(rgb2{p,1},1);
for hh = 1:hhh
    Cmax{p,1}(hh,1) = max(rgb4{p,1}(hh,:));
    Cmin{p,1}(hh,1) = min(rgb4{p,1}(hh,:));
    d{p,1}(hh,1) = Cmax{p,1}(hh,1)-Cmin{p,1}(hh,1);
    if rgb4{p,1}(hh,1)>=rgb4{p,1}(hh,2) && rgb4{p,1}(hh,1)>=rgb4{p,1}(hh,3)
        h = 60*(rem(((rgb4{p,1}(hh,2)-rgb4{p,1}(hh,3))/d{p,1}(hh,1))),6));
    elseif rgb4{p,1}(hh,2)>=rgb4{p,1}(hh,1) && rgb4{p,1}(hh,2)>=rgb4{p,1}(hh,3)
        h = 60*(((rgb4{p,1}(hh,3)-rgb4{p,1}(hh,1))/d{p,1}(hh,1))+2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif rgb4{p,1}{hh,3}>=rgb4{p,1}{hh,1} && rgb4{p,1}{hh,3}>=rgb4{p,1}{hh,2}
    h = 60*(((rgb4{p,1}{hh,1}-rgb4{p,1}{hh,2))/d{p,1}{hh,1})+4);
end
if isnan(h)
    Hue{p,1}{hh,1} = 0 ;
else
    Hue{p,1}{hh,1} = h;
end
if Hue{p,1}{hh,1}<0;
    Hue{p,1}{hh,1} = Hue{p,1}{hh,1}+360;
end
if Cmax{p,1}{hh,1} == 0
    S{p,1}{hh,1} = 0;
else
    S{p,1}{hh,1} = (d{p,1}{hh,1}/Cmax{p,1}{hh,1})*100;
end
V{p,1}{hh,1} = Cmax{p,1}{hh,1}*100;
end
Hue2(p,1) = mean(Hue{p,1}); %average HSV color of each object
S2(p,1) = mean(S{p,1});
V2(p,1) = mean(V{p,1});
end

handles.x9 = x4*100; %average color of each object
handles.y9 = y4*100;
handles.z9 = z4*100;
handles.red9 = red2;
handles.green9 = green2;
handles.blue9= blue2;
handles.l9 = l2;
handles.a9 = a2;
handles.b9 = b2;
handles.L9 = L3;
handles.C9 = C3;
handles.H9 = H3;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

handles.Hue9 = Hue2;
handles.S9 = S2;
handles.V9= V2;

handles.x10 = mean(x4)*100;           %average color
handles.y10 = mean(y4)*100;
handles.z10 = mean(z4)*100;
handles.red10 = mean(red2);
handles.green10 = mean(green2);
handles.blue10 = mean(blue2);
handles.l10 = mean(l2);
handles.a10 = mean(a2);
handles.b10 = mean(b2);
handles.L10 = mean(L3);
handles.C10 = mean(C3);
handles.H10 = mean(H3);
handles.Hue10 = mean(Hue2);
handles.S10 = mean(S2);
handles.V10= mean(V2);
end

```

รหัสคำสั่ง Color analysis (Non-segment)

```

[file path]=uigetfile({'*.jpg'; '*.bmp'; '*.jpeg'; '*.png'}, 'Select Image'); % browse image file
image =[path file];
im = imread (image); %read image data
im2 = imread (image);
im3 = imread (image);
xyz = rgb2xyz(im); %change rgb to xyz

if handles.device ==0;
    x2 = xyz(:,:,1)*1.2557;
    y2 = xyz(:,:,2)*1.2899;
    z2 = xyz(:,:,3)*1.2079;
elseif handles.device==1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x2 = xyz(:,:,1)*2.5425;
y2 = xyz(:,:,2)*2.5374;
z2 = xyz(:,:,3)*2.2620;
end

x3 = reshape(x2,[],1);           %reshape matrix
y3 = reshape(y2,[],1);
z3 = reshape(z2,[],1);

ss = size(x3,1);                 %find matrix size
for i = 1:ss
    if x3(i,1)>1
        x3(i,1) = 1;
    end
    if y3(i,1)>1
        y3(i,1) = 1;
    end
    if z3(i,1)>1
        z3(i,1) = 1;
    end
end
xyz3 = [x3 y3 z3];
rgb4 = xyz2rgb(xyz3,'OutputType','uint8'); %change xyz to rgb (output 0-255)
rgb5 = xyz2rgb(xyz3); %change xyz to rgb (output 0-1)
lab2 = xyz2lab(xyz3); %change xyz to lab

%calculate Lch
L2 = lab2(:,1);
C = sqrt((lab2(:,2).^2)+(lab2(:,3).^2));
handles.Size = size(lab2(:,1));
for i = 1:handles.Size;
    if lab2(i,2)>0 & lab2(i,3)>=0;
        H(i,1) = rad2deg(atan(lab2(i,3)/lab2(i,2)));
    elseif lab2(i,2) <0 & lab2(i,3)>=0;
        H(i,1) = rad2deg(atan(lab2(i,3)/lab2(i,2)))+180;
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif lab2(i,2)<0 & lab2(i,3)<0;
    H(i,1) = rad2deg(atan(lab2(i,3)/lab2(i,2)))+180;
elseif lab2(i,2)>=0 & lab2(i,3)<0;
    H(i,1) = rad2deg(atan(lab2(i,3)/lab2(i,2)))+360;
else
    H(i,1) =0;
end
end
end

```

%calculate HSV

```

for i = 1:handles.Size;
    Cmax(i,1) = max(rgb5(i,:));
    Cmin(i,1) = min(rgb5(i,:));
    d(i,1) = Cmax(i,1)-Cmin(i,1);

    if rgb5(i,1)>=rgb5(i,2) & rgb5(i,1)>=rgb5(i,3)
        h(i,1) = 60*(rem(((rgb5(i,2)-rgb5(i,3))/d(i,1)),6));
    elseif rgb5(i,2)>=rgb5(i,1) & rgb5(i,2)>=rgb5(i,3);
        h(i,1) = 60*(((rgb5(i,3)-rgb5(i,1))/d(i,1))+2);
    elseif rgb5(i,3)>=rgb5(i,1) & rgb5(i,3)>=rgb5(i,2)
        h(i,1) = 60*(((rgb5(i,1)-rgb5(i,2))/d(i,1))+4);
    end
    if isnan(h(i,1))
        Hue(i,1) = 0 ;
    else
        Hue(i,1) = h(i,1);
    end
    if Hue(i,1)<0;
        Hue(i,1) = Hue(i,1)+360;
    end
    if Cmax(i,1) == 0
        S(i,1) = 0;
    else
        S(i,1) = (d(i,1)/Cmax(i,1))*100;
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
V(i,1) = Cmax(i,1)*100;
```

```
End
```

```
handles.x9 = xyz3(:,1)*100; %color value of every pixel
handles.y9 = xyz3(:,2)*100;
handles.z9 = xyz3(:,3)*100;
handles.red9 = rgb4(:,1);
handles.green9 = rgb4(:,2);
handles.blue9= rgb4(:,3);
handles.l9 = lab2(:,1);
handles.a9 = lab2(:,2);
handles.b9 = lab2(:,3);
handles.L9 = L2;
handles.C9 = C;
handles.H9 = H;
handles.Hue9 = Hue;
handles.S9 = S;
handles.V9 = V;

handles.x10 = mean(xyz3(:,1))*100; %average color
handles.y10 = mean(xyz3(:,2))*100;
handles.z10 = mean(xyz3(:,3))*100;
handles.red10 = mean(rgb4(:,1));
handles.green10 = mean(rgb4(:,2));
handles.blue10 = mean(rgb4(:,3));
handles.l10 = mean(lab2(:,1));
handles.a10 = mean(lab2(:,2));
handles.b10 = mean(lab2(:,3));
handles.L10 = mean(L2);
handles.C10 = mean(C);
handles.H10 = mean(H);
handles.Hue10 = mean(Hue);
handles.S10 = mean(S);
handles.V10= mean(V);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสคำสั่ง color different histogram

```

for i=1:handles.N
    dE(i,1) = sqrt((handles.l9(i,1)-handles.l10)^2+
(handles.a9(i,1)-handles.a10)^2+(handles.b9(i,1)-handles.b10)^2);
end
ER =skewness(dE);
EE =kurtosis(dE);
histogram(dE,'BinLimits',[0,100],'BinWidth',1);
title('Color Difference (dE*) ','FontWeight','bold','FontSize',12);
xlabel('dE');
ylabel('Frequency ');

```

รหัสคำสั่ง color distribution histogram

```

if handles.pop == 1 ;
    figure(2); clf
    subplot(3,1,1); histogram(handles.red9,'BinLimits',[0,255],'BinWidth',1);
    subplot(3,1,2); histogram(handles.green9,'BinLimits',[0,255],'BinWidth',1);
    subplot(3,1,3); histogram(handles.blue9,'BinLimits',[0,255],'BinWidth',1);
end
if handles.pop == 2 ;
    figure(2); clf
    subplot(3,1,1); histogram(handles.x9,'BinLimits',[0,100],'BinWidth',1);
    subplot(3,1,2); histogram(handles.y9,'BinLimits',[0,100],'BinWidth',1);
    subplot(3,1,3); histogram(handles.z9,'BinLimits',[0,100],'BinWidth',1);
end
if handles.pop == 3 ;
    figure(2); clf
    subplot(3,1,1); histogram(handles.L9,'BinLimits',[0,100],'BinWidth',1);
    subplot(3,1,2); histogram(handles.C9,'BinLimits',[0,100],'BinWidth',1);
    subplot(3,1,3); histogram(handles.H9,'BinLimits',[0,360],'BinWidth',3);
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if handles.pop == 4 ;
    figure(2); clf
    subplot(3,1,1); histogram(handles.l9,'BinLimits',[0,100],'BinWidth',1);
    subplot(3,1,2); histogram(handles.a9,'BinLimits',[-128,128],'BinWidth',3);
    subplot(3,1,3); histogram(handles.b9,'BinLimits',[-128,128],'BinWidth',3);

end
if handles.pop == 5 ;
    figure(2); clf
    subplot(3,1,1); histogram(handles.Hue9,'BinLimits',[0,360],'BinWidth',3);
    subplot(3,1,2); histogram(handles.S9,'BinLimits',[0,100],'BinWidth',1);
    subplot(3,1,3); histogram(handles.V9,'BinLimits',[0,100],'BinWidth',1);
end

```

รหัสคำสั่ง Shape and size analysis

```

[file path]=uigetfile({'*.jpg'; '*.bmp'; '*.jpeg'; '*.png'}, 'Select Image'); % browse image file
image =[path file];
im = imread (image); %read image data
im2 = imread (image);
pb = rgb2gray(im); %change image to grayscale
imsub = imsubtract(pb,30); %image enhancement
imwie = wiener2(imsub,[5 5]); %image noise-removal filter
se = strel('disk',5); %create disk shape filter
imf1 = imopen (imwie,se); %remove object that smaller than 'se'
imed = edge(imf1,'canny',0.1,handles.sigma); %detect edge of object
sr = strel('disk',10);
imf2 = imclose(imed,sr); %add disk shape filter to connect edge line
imfil = imfill(imf2,'holes'); %fill hole
imf3 = imopen(imfil,sr);
im2(repmat(~imf3,[1 1 3])) = 0; %repeat '~imf3' to 'im2'
[L,handles.N] = bwlabel(imf3); %label object & number of object

B = bwboundaries(imf3); %locate edge position

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%measure properties of image regions
```

```
stats = regionprops('table',imf3,'area','MajorAxisLength','MinorAxisLength');
```

```
handles.Area3 = stats.Area/(handles.scale^2);
```

```
for p = 1:handles.N
```

```
    label = L==p;
```

```
%label = 1 when L = p
```

```
    [r,c] = find (label==1);
```

```
%find position that label = 1
```

```
    H(p,1) = max(r-min(r))+1;
```

```
% Bounding box/Feret
```

```
    W(p,1) = max(c-min(c))+1;
```

```
    kx = B{p,1}(:,1);
```

```
    ky = B{p,1}(:,2);
```

```
    R1 = size(kx,1);
```

```
    C1 = size(ky,1);
```

```
% Perimeter
```

```
t1 = zeros(R1,1);
```

```
for i = 1:(R1-1)
```

```
    p1 = sqrt((kx(i+1)-kx(i))^2+(ky(i+1)-ky(i))^2);
```

```
    t1(i) = p1;
```

```
end
```

```
p2 = sqrt((kx(1)-kx(R1))^2+(ky(1)-ky(R1))^2);
```

```
p3 = sum(t1);
```

```
handles.perimeter(p,1) = (p3+ p2);
```

```
handles.perimeter2(p,1) = (p3+ p2)/handles.scale;
```

```
handles.major2(p,1) = stats.MajorAxisLength(p)/handles.scale;
```

```
handles.minor2(p,1) = stats.MinorAxisLength(p)/handles.scale;
```

```
%% Shape factor %%
```

```
% Aspect ratio
```

```
if H(p,1)< W(p,1)
```

```
    handles.Aspect(p,1)= H(p,1)/W(p,1);
```

```
else
```

```
    handles.Aspect(p,1)= W(p,1)/H(p,1);
```

```
end
```

```
% Roundness
```

```
handles.Roundness(p,1) = (4*stats.Area(p))/((22/7)*(stats.MajorAxisLength(p)^2));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% Rectangularity
handles.Rectangularity(p,1) = (stats.Area(p))/(W(p,1)*H(p,1));
% Elongation
handles.Elongation(p,1) = 1-handles.Aspect(p,1);
%Form Factor
handles.Formfactor(p,1) = (4*(22/7)*stats.Area(p))/(handles.perimeter(p,1))^2;
% Circularity
handles.Circularity(p,1) = (handles.Formfactor(p,1)^0.5);
end

```

```

axes(handles.axes2); cla; cla reset; %clear axes
imshow (im2);
hold on %hold image
visboundaries(B); %edge highlight
set(handles.text9,'String',handles.N);

if handles.checkbox1 == 1 %preview image
    imtool (im2);
end

```

รหัสคำสั่ง cumulative graph

```

axes(handles.axes1); cla;
handles.maxA = max(handles.Area3)
handles.minA = min(handles.Area3)
[kim,stats]=cdfplot(handles.Area3); %plot cumulative graph
set (kim,'LineWidth',2); hold on %linewidth
handles.a = plot ([0 stats.median],[0.5 0.5]); hold on %plot median line
handles.b = plot ([stats.median stats.median],[0 0.5]); hold on
title('Particle Size Distribution','FontWeight','bold','FontSize',12); %graph title
xlabel('mm^2');
ylabel('Ratio');
xlim([handles.minA handles.maxA]);
ylim([0 1]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสคำสั่ง result table

```

cnames = {'major(mm)','minor(mm)','area(mm^2)','perimeter(mm)',
'roundness','rectangularity','formfactor','Circularity','aspect'};
rnames = [1:handles.N];
d =
[handles.major2,handles.minor2,handles.Area3,handles.perimeter2,handles.Roundness,
handles.Rectangularity,handles.Formfactor,handles.Circularity,handles.Aspect];
t = uitable('Units','normalized','position',[.05 .05 .52 .9],'Data',d,'ColumnName',cnames,
'RowName',rnames); %create table

for y = 1:9; %statistic data
    stats{1,y}= min(d(:,y));
    stats{2,y}= max(d(:,y));
    stats{3,y}= mean(d(:,y));
    stats{4,y}= median(d(:,y));
    stats{5,y}= std(d(:,y));
end

cnames2 = {'major(mm)','minor(mm)','area(mm^2)','perimeter(mm)','roundness'
,'rectangularity','formfactor','Circularity','aspect'};
rnames2 = {'min','max','mean','median','std'};
h = uitable('Units','normalized','position',[.6 .05 .3 .2],'Data',stats,'ColumnName',cnames2,
'RowName',rnames2); %create table

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้