

การประมวลผลภาพสีกรอกเพื่อตรวจสอบสีในระหว่างการจัดเก็บ  
IMAGE PROCESSING FOR COLOR INSPECTION OF COOKED SAUSAGES  
DURING STORAGE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-270-133

การประมวลผลภาพสีกรอกเพื่อตรวจสอบสีในระหว่างการจัดเก็บ  
IMAGE PROCESSING FOR COLOR INSPECTION OF COOKED SAUSAGES  
DURING STORAGE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2562  
KMITL-2019-EN-M-270-133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMAGE PROCESSING FOR COLOR INSPECTION OF COOKED SAUSAGES  
DURING STORAGE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2019

**KMITL-2019-EN-M-270-133**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมวลผลภาพใส้กรอกเพื่อตรวจสอบสีในระหว่างการจัดเก็บ
นักศึกษา	นายขวัญชัย ชอบสำราญ
รหัสประจำตัว	57601473
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. นวภัทรา หนูนา

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของแสงสว่างที่มีต่อการเปลี่ยนสีของใส้กรอกหมูที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกใส้ทำจากวัสดุโพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (Linear Low-Density Polyethylene; LLDPE) และโพลีเอไมด์+โพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (Polyamide+ Linear Low-Density Polyethylene; PA+LLDPE) ในระหว่างการจัดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $3\pm 1$  องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อรอการจำหน่ายให้กับผู้บริโภค โดยเปรียบเทียบการจัดเก็บภายใต้สภาวะปราศจากแสงสว่างและแสงสว่างที่มีแหล่งกำเนิดแสงต่างชนิดกัน (ฟลูออเรสเซนต์และแอลอีดี) ที่อุณหภูมิแสงเท่ากับ 3000 เคลวิน และ 6500 เคลวิน โดยปรับระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงกับผลิตภัณฑ์ให้มีค่าความสว่างบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์เท่ากับ 200 และ 500 ลักซ์ โดยประมาณ ผลประเมินการเปลี่ยนแปลงค่าสีของใส้กรอกซึ่งได้จากวิธีการเทียบสีด้วยสายตามนุษย์ การวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (ระบบ RGB) และการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (ระบบ CIE  $L^*a^*b^*$ ) ให้ผลที่สอดคล้องกัน โดยแสงสว่างมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของใส้กรอกที่บรรจุอยู่ในถุงโพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (LLDPE) อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีอธิบายได้จากการลดลงของค่าสีแดง ( $a^*$ ) หรือการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง ( $L^*$ ) โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสมบัติเกี่ยวกับสีของใส้กรอกนี้ ได้นำมาใช้ในการพัฒนาระบบตรวจสอบสีของใส้กรอกด้วยระบบแมชชีนวิชั่น ที่อาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างชุดอุปกรณ์รับภาพและโปรแกรมประมวลผลภาพบนคอมพิวเตอร์ ผลการทดสอบความถูกต้องในการตรวจสอบสีของใส้กรอกอยู่ที่ 93% ซึ่งสามารถพัฒนาเป็นระบบตรวจสอบและประเมินผลแบบอัตโนมัติหรือพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Image Processing for Color Inspection of Cooked Sausages during Storage
Student	Mr. Kwanchai Chopsamran
Student ID.	57601473
Degree	Master of Engineering
Program	Food Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Navapattra Nunak

## ABSTRACT

The objective of this article is to study the effect of illumination on color changes in cooked pork sausage packed in transparency plastic linear low-density polyethylene (LLPDE) and polyamide & linear low-density polyethylene (PA & LLDPE) and stored at temperature of  $3\pm 1^{\circ}\text{C}$  for 4 weeks under various light conditions before conveying them to products distribution to the consumers. The experiments were compared among the storage conditions of dark and light from different light sources (fluorescent and LED) at light temperatures of 3000 K and 6500 K. The distance between light source and sample was adjusted until the light intensity incident on a sample surface was close to 200 and 500 lux. The results obtained from the visual inspection, image analysis (RGB model) and color measuring instrument were in agreement among them and indicated that sausages packed in LLDPE had a significant highest discoloration ( $P < 0.05$ ) in the light storage. Color changes were estimated by decreasing of redness ( $a^*$ ) or increasing of lightness ( $L^*$ ). The data obtained from the study of the color properties of this sausage has been used to develop sausage color inspection using machine vision systems based on the collaboration between the image sensor device set and the image processing program on the computer. From experimental result, the accuracy of the sausage color inspection is 92%, which can be further developed as an automated inspection and evaluation system or can be developed as a mobile application.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. นวภัทรา หนูนาท อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.ทวีพล  
ชื่อสัตย์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ รวมถึงช่วยแก้ปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง  
ด้วยดี และขอขอบคุณคณาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่ให้ความรู้และสนับสนุน  
การทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณนางสาวเมธินี สงไทย นายพนธกร ศิริปริญญาพันธ์ และนายรัฐโชติ วชิรปัญญาพันธ์  
สำหรับความช่วยเหลือต่าง ๆ ในระหว่างการศึกษาและวิจัย

ขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ให้การความสนับสนุนช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ  
สุดท้ายนี้คุณค่าและคุณประโยชน์ที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้เขียนขอบอบแต่ผู้มี  
พระคุณทุก ๆ ท่าน และขอให้ทุก ๆ ท่านจงประสบแต่ความสุขความเจริญตลอดไป

ขวัญชัย ขอบสำราญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูปภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
1.6 รายละเอียดวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร.....	5
2.1 สีและการเปลี่ยนสีของไส้กรอกในระหว่างการจัดเก็บ.....	5
2.2 ระบบแมชชีนวิชั่น.....	5
2.2.1 ส่วนประกอบของระบบแมชชีนวิชั่น.....	5
2.2.2 การประมวลผลภาพ.....	6
2.2.3 ภาพดิจิทัล.....	8
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบแมชชีนวิชั่น.....	13
2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสีของไส้กรอก.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบชุดทดลองและวิธีการทดลอง.....	15
3.1 การเตรียมตัวอย่างไส้กรอกบรรจุถุง.....	15
3.2 การออกแบบห้องควบคุมสถานะแสง.....	17
3.3 การทดลอง.....	18
3.3.1 การจัดเก็บไส้กรอกในพื้นที่ควบคุมสถานะแสง.....	18
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	19
3.4.1 การประเมินผลทางประสาทสัมผัส.....	19
3.4.2 การวิเคราะห์สีจากภาพดิจิทัล.....	20
3.4.3 การวัดสี.....	21
3.4.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	23
3.5 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบสีไส้กรอก.....	23
3.5.1 อุปกรณ์รับภาพและแหล่งกำเนิดแสง.....	23
3.5.2 โปรแกรมประมวลผลภาพร่วมกับอุปกรณ์รับภาพ.....	25
3.5.3 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพสำหรับคัดแยกสีไส้กรอก.....	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	38
4.1 ผลของแสงสว่างและชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอก.....	38
4.2 การเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกในระหว่างการเก็บรักษา.....	40
4.3 ชุดอุปกรณ์ตรวจสอบสีของไส้กรอกด้วยแมชชีนวิชั่น.....	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	45
เอกสารอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	48
ประวัติผู้เขียน.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อVอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ความต้องการของระบบคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพ.....	25
4.1 การเปลี่ยนสีของไส้กรอกที่จัดเก็บภายใต้แหล่งกำเนิดแสงและบรรจุก้อนต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์ภาพดิจิทัลในระบบ RGB และแปลงในค่า “L*” และ “a*” .....	38
4.2 การเปลี่ยนสีของไส้กรอกที่จัดเก็บภายใต้แหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์ภาพดิจิทัลในระบบ RGB และแปลงในค่า “L*” และ “a*” .....	39



## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น.....	6
2.2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ.....	7
2.3 แถบสีสเปกตรัม (Spectrum).....	9
2.4 ระบบสี RGB.....	9
2.5 ค่าสีในระบบ HSV.....	10
2.6 ภาพระดับสีเทา.....	11
2.7 เทคนิคการทำเทรซโฮลด์.....	12
3.1 แผ่นตัวอย่างสีใส่กรอกสำหรับเทียบสีผลิตภัณฑ์ Bayern Wiener.....	16
3.2 ผลิตภัณฑ์ใส่กรอก Bayern Wiener บรรจุใส่ถุงพลาสติก.....	17
3.3 ผลิตภัณฑ์ใส่กรอก Bayern Wiener บรรจุใส่ถุงพลาสติก (ก) แอลแอลดีพีอี และ (ข) ถุงพีอี/แอลแอลดีพีอี.....	17
3.4 ชุดทดลองควบคุมสภาวะแสง.....	18
3.5 ภาพตัวอย่างใส่กรอกบรรจุถุงวางในตะกร้า.....	19
3.6 การประมวลผลภาพดิจิทัลสำหรับประเมินการเปลี่ยนสีของใส่กรอก.....	20
3.7 การวิเคราะห์สีใส่กรอกจากภาพดิจิทัล.....	21
3.8 การตัดและเรียงตัวอย่างใส่กรอกใส่ถาดแก้วเพื่อการตรวจวัดสีใส่กรอกด้วยเครื่องวัดสี	22
3.9 การตรวจวัดสีใส่กรอกด้วยเครื่องวัดสี.....	22
3.10 กล่องควบคุมแสงสำหรับตรวจวัดสีใส่กรอกด้วยการประมวลผลภาพ.....	24
3.11 หน้าต่างโปรแกรม NI Vision Builder AI.....	26
3.12 หน้าต่างวางเปล่าที่ยังไม่ได้เขียนโปรแกรม.....	26
3.13 หน้าต่างแถบ Inspection Steps: Acquire Images .....	27
3.14 หน้าต่างส่วนของ Simulate Acquisition Setup .....	27
3.15 หน้าต่างแถบของ Inspection Steps: Locate Features .....	28
3.16 หน้าต่างแถบของ Setting.....	29
3.17 หน้าต่างแถบของ Limits .....	29
3.18 หน้าต่างแถบของ Inspection Steps: Locate Features .....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 หน้าต่างแถบของ Setting.....	30
3.20 หน้าต่างแถบ Inspection Step.....	31
3.21 หน้าต่างแถบ Use Additional Tools.....	32
3.22 หน้าต่างแถบ Set Inspection Status .....	32
3.23 การนำภาพใส่กรอกเข้าสู่โปรแกรม.....	33
3.24 การ Calibration รูปภาพ.....	34
3.25 การเลือกรูปภาพสำหรับใช้จำลองการตรวจสอบ.....	34
3.26 การกำหนดขนาดใส่กรอกในภาพเทียบกับขนาดจริง.....	35
3.27 การเขียนโปรแกรมและเครื่องมือที่นำมาใช้ในการตรวจสอบ (1) .....	35
3.28 การเขียนโปรแกรมและเครื่องมือที่นำมาใช้ในการตรวจสอบ (2) .....	36
3.29 การเขียนโปรแกรมภายในบล็อกด้วย Vision Assistant (1).....	36
3.30 การเขียนโปรแกรมภายในบล็อกด้วย Vision Assistant (2).....	37
3.31 ตัวอย่างใส่กรอกที่ผ่านการตรวจสอบ.....	37
4.1 การเปลี่ยนแปลงค่า $L^*$ ของใส่กรอกในระหว่างการจัดเก็บเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ตัวอย่างควบคุม คือ ใส่กรอกที่จัดเก็บในห้องปราศจากแสง).....	40
4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า $a^*$ ของใส่กรอกในระหว่างการจัดเก็บเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ตัวอย่างควบคุม คือ ใส่กรอกที่จัดเก็บในห้องปราศจากแสง).....	41
4.3 การตรวจสอบใส่กรอกที่มีสีปกติ.....	42
4.4 การตรวจสอบใส่กรอกที่มีสีไม่ปกติ.....	43
4.5 การตรวจสอบใส่กรอกที่มีสีไม่ปกติจำนวนหลายจุด.....	43

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สีเป็นพารามิเตอร์แรกทางด้านคุณภาพที่ถูกประเมินโดยผู้บริโภคและเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ผู้บริโภคใช้สำหรับตัดสินใจก่อนการเลือกซื้อหรือแม้กระทั่งก่อนการบริโภค การประเมินลักษณะของสีมีหลายวิธี ได้แก่ การประเมินด้วยสายตามนุษย์ (visual inspection) การวัดด้วยเครื่องวัดสี (color measuring instrument) หรือการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (digital image analysis) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพซึ่งอาจใช้โปรแกรมสำเร็จรูปหรือนักวิจัยอาจพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในงานเฉพาะด้านสำหรับงานด้านอาหารนิยมวัดสีด้วยเครื่องวัดสีเพื่อการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้วยระบบ CIE-LAB ( $L^*a^*b^*$ ) อย่างไรก็ตาม พื้นที่ในการวัดสีของเครื่องวัดสีในปัจจุบันมีขนาดพื้นที่ที่จำกัด จึงไม่เหมาะสมสำหรับอาหารหลายชนิด แต่สามารถใช้การวิเคราะห์ภาพได้โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลซึ่งเป็นการบันทึกภาพในแต่ละพิกเซลด้วยเซนเซอร์ที่มีความสามารถในการรับความเข้มแสงสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) โดยอยู่ในรูปแบบของโมเดล RGB และปัจจุบันได้มีนักวิจัยพัฒนากระบวนการแปลงภาพสีดิจิทัล RGB ให้อยู่ในรูปแบบสีในระบบ  $L^*a^*b^*$  (Mery and Pedreschi, 2005; León *et al.*, 2006) ซึ่งความแม่นยำที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวยังคงขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ต้องการวัดสีและความสัมพันธ์ของระบบสีที่เกิดจากประเด็นของการศึกษา ดังนั้น ในขั้นตอนก่อนการพัฒนากระบวนการประมวลผลภาพเพื่อนำไปใช้ จึงจำเป็นต้องศึกษาความสัมพันธ์ของระบบสีในเบื้องต้นเสียก่อน

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีใส่กรอกหมูในระหว่างการเก็บรักษา โดยคำนึงถึงระยะเวลาของการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ ซึ่งเริ่มตั้งแต่สิ้นสุดกระบวนการผลิต จัดเก็บในห้องเก็บผลิตภัณฑ์ จนถึงจัดวางบนชั้นวางผลิตภัณฑ์เพื่อรอการจำหน่ายสู่ผู้บริโภค ซึ่งใช้ระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 30 วัน โดยในระหว่างกระบวนการดังกล่าวผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องได้รับแสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ใส่กรอกเกิดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน นักวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาเกี่ยวกับการรักษาคุณภาพของใส่กรอกในประเด็นต่าง ๆ เช่น ชนิดของบรรจุภัณฑ์ วิธีการบรรจุ และส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น (Summo *et al.*, 2006; Rubio *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาในประเด็นสถานะของการ

จัดเก็บใส่กรอกในบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะการจัดเก็บในที่มืดและที่สว่างด้วยแหล่งกำเนิดแสงต่าง ชนิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันมีอยู่ค่อนข้างจำกัด Haile *et al.* (2013) ศึกษาผลของวิธีการบรรจุและการจัดเก็บแฮมสุกในพื้นที่ที่มีแสงและในที่มืดที่มีต่อความคงตัวของสีและการออกซิเดชันของลิพิดในระหว่างการจัดเก็บ 48 ชั่วโมง ซึ่งพบว่า การเก็บผลิตภัณฑ์แฮมสุกในที่มืดไม่ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงแต่ยังคงมีการออกซิเดชันของลิพิดเกิดขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ห่อหุ้มด้วยฟอยล์สามารถลดการเปลี่ยนของสีได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์โปร่งใสในกรณีการจัดเก็บในที่มืดสว่าง ผลิตภัณฑ์ที่โดนแสงจะมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ), เมทเมโทโกลบิน และองศาฮิว (Hue angle,  $H^\circ$ ) สูงขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ), โครมา (Chroma) และไนโตรโซไมโอโกลบินต่ำลง Böhner *et al.* (2014) ศึกษาผลของแหล่งกำเนิดแสง (หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL), หลอดเมทัลฮาไลด์ (MH), หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีการปรับสีของแสง (FL-MP) และหลอดแอลอีดี (LED)) และความเข้มข้นของออกซิเจน (0.0%, 0.5%, 1.0% และ 2.0%) ที่มีต่อการเปลี่ยนสีและการออกซิเดชันของไส้กรอกต้ม ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนสีของไส้กรอกต้มเกิดจากการออกซิเดชันของไนโตรซิลไมโอโกลบิน (MbNO) เป็นเมทเมโทโกลบิน (MMb) ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงภายใต้แหล่งกำเนิดแสงสว่าง ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) ของไส้กรอกลดลง โดยหลอดกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น (300-550 nm) เช่น FL จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีได้อย่างมาก ส่วนหลอดที่มีความยาวคลื่นกลาง (551-800 nm) และคลื่นยาว (801-1100 nm) เช่น MH, FL-MP และ LED จะช่วยลดการเปลี่ยนสีลงได้ อย่างไรก็ตาม ยังคงขาดการศึกษาเกี่ยวกับชนิดของแหล่งกำเนิดแสง อุณหภูมิของแสง และระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลต่อค่าความเข้มของแสงหรือความส่องสว่างบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์ รวมทั้งยังขาดการศึกษาความสัมพันธ์ของระบบสีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสีไส้กรอกภายใต้สภาวะแสงสว่างที่แตกต่างกัน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแสงสว่าง (ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง อุณหภูมิของแสงและความส่องสว่างบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์) ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอกที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกใสทำด้วยวัสดุชนิดโพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (Linear Low-Density Polyethylene; LLDPE) และโพลีเอไมด์+โพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (Polyamide+ Linear Low-Density Polyethylene; PA+ LLDPE) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $3 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยเป็นการศึกษาที่พิจารณาถึงสภาวะการจัดเก็บจริงในตู้เก็บสินค้า ซึ่งจำเป็นต้องให้แสงสว่างกับผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการเปรียบเทียบวิธีการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยวิธีการเทียบสีด้วยสายตามนุษย์ การวิเคราะห์ภาพสีดิจิทัลในรูปแบบของโมเดล RGB และการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีในระบบสี CIE  $L^*a^*b^*$  เพื่อนำไปพิจารณาสำหรับการพัฒนาระบบประมวลผล

ภาพของไส้กรอกในระหว่างการจัดเก็บ และออกแบบชุดตรวจสอบคุณภาพไส้กรอกบนคอมพิวเตอร์ร่วมกับอุปกรณ์รับภาพ เพื่อให้เกิดประโยชน์สำหรับการนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลายในอนาคต

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลของแสงสว่าง (ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง อุณหภูมิของแสงและความสว่างบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์) ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอกที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกใส

1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างชุดตรวจสอบคุณภาพสีของไส้กรอกในระหว่างการจัดเก็บด้วยแมชชีนวิชั่น โดยใช้คอมพิวเตอร์และการประมวลผลภาพร่วมกับอุปกรณ์รับภาพ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ไส้กรอกหมูรมควัน Bayern Wiener 135 g (Natural/ size 9 cm.)

1.3.2 ถุงพลาสติกใสทำด้วยวัสดุชนิดโพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (Linear Low-Density Polyethylene; LLDPE) หนา 80 ไมโครเมตร และโพลีเอไมด์+โพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (Polyamide+ Linear Low-Density Polyethylene; PA+ LLDPE) หนารวม 65 ไมโครเมตร (PA15/LLDPE50 : ชั้นโพลีเอไมด์หนา 15 ไมโครเมตร/ชั้นโพลีเอไมด์+โพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำหนา 50 ไมโครเมตร)

1.3.3 สภาวะการเก็บรักษาในตู้เก็บสินค้าที่อุณหภูมิ  $3\pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์

1.3.4 การตรวจสอบสีของไส้กรอกที่สีเพี้ยนไปจากมาตรฐานที่กำหนดไว้

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีแสง การวัดสี และการประมวลผลภาพ

1.4.2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

1.4.3 ศึกษาข้อสมมุติฐานที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก เช่น ชนิดบรรจุภัณฑ์

ชนิดของแสง อุณหภูมิของแสง และค่าความสว่างของแสง

1.4.4 ออกแบบและสร้างชุดทดลองควบคุมสภาวะแสง

1.4.5 ดำเนินการทดลอง

1.4.6 ออกแบบและสร้างชุดตรวจสอบสีของไส้กรอกด้วยระบบแมชชีนวิชั่น

1.4.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ผลของแสงสว่าง (ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง อุณหภูมิของแสงและความสว่างบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์) ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรองที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกใส

1.5.2 ได้ชุดตรวจสอบการเปลี่ยนสีของไส้กรอง

## 1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาทั้งหมดออกเป็น 5 บท โดยเนื้อหาแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอง ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอง หลักการประมวลผลภาพ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ การออกแบบชุดทดลอง การทดลอง และการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรองระหว่างการเก็บรักษา การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพร่วมกับอุปกรณ์รับภาพสำหรับใช้กับชุดตรวจสอบคุณภาพไส้กรองด้วยแมชชีนวิชัน

บทที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนสีของไส้กรองในระหว่างการจัดเก็บ และผลการทดสอบชุดตรวจสอบคุณภาพไส้กรองด้วยแมชชีนวิชัน

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

### ตรวจเอกสาร

#### 2.1 สีและการเปลี่ยนสีของไส้กรอกในระหว่างการจัดเก็บ

สีของไส้กรอกเป็นคุณลักษณะที่สำคัญสำหรับการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค โดยผู้บริโภคบางส่วนใช้สีเป็นตัวแปรในการพิจารณาความสดของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์โดยส่วนใหญ่ที่วางจัดจำหน่ายบนชั้นวางในซูเปอร์มาร์เก็ตจึงบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ใส เช่น ถุงหรือกล่องพลาสติกใส (Eyler and Oztan, 2011; Gibis and Rieblinger, 2011)

ไมโอโกลบิน (myoglobin) เป็นรงควัตถุสีแดงในเนื้อสัตว์ ที่ทำให้เนื้อสัตว์มีสีที่แตกต่างกัน โดยเมื่อไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนและได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จะเกิดการฟอร์มตัวของไนโตรโซไมโอโกลบิน (nitrosomyoglobin, dMbNO) ขึ้น ทำให้สีของไส้กรอกมีการเปลี่ยนเป็นสีโทนชมพู โดยหาก dMbNO สัมผัสกับแสงและออกซิเจนจะทำให้เกิดเมทไมโอโกลบิน (metmyoglobin, MMb) ขึ้น ทำให้สีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเปลี่ยนเป็นสีโทนน้ำตาล (Møller, Bertelsen and Skibsted, 2002) ค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ สามารถวัดได้จาก ค่า  $a^*$  โดยเมื่อผลิตภัณฑ์สัมผัสกับแสงและเกิดการออกซิเดชันขึ้น ค่าความเป็นสีแดง (ค่า  $a^*$ ) ของผลิตภัณฑ์จะลดลง ไนโตรซิลไมโอโกลบิน (MbNO) เป็นสารที่มีความไวต่อแสง และเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะทำให้เกิดเมทไมโอโกลบินและสารอื่น ๆ ขึ้น ซึ่งเมทไมโอโกลบินเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนสีน้ำตาลเป็นสีน้ำตาลเทา (gray brown color) ซึ่งส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดงของไส้กรอกลดลงเมื่อได้รับแสงและออกซิเจน (Andersen and Skibsted, 1992)

#### 2.2 ระบบแมชชีนวิชั่น

##### 2.2.1 ส่วนประกอบของระบบแมชชีนวิชั่น

ระบบแมชชีนวิชั่น เป็นการประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งทำงานร่วมกับอุปกรณ์รับภาพ คือ การประมวลผลภาพเพื่อให้คอมพิวเตอร์เข้าใจทัศนียภาพหรือแยกแยะวัตถุ ซึ่งในบางกรณีคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่ในการประมวลผลภาพอาจเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น หุ่นยนต์ ระบบควบคุมที่โปรแกรมได้ หรือชุดควบคุมสายพานลำเลียง เป็นต้น เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติครบวงจร โดยคอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะและแยกแยะวัตถุต่าง ๆ ได้ ซึ่งช่วย

อำนวยความสะดวก ลดระยะเวลาในการดำเนินงาน ให้ความถูกต้องแม่นยำ เพิ่มประสิทธิภาพในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำไปใช้ กรุณาแจ้งผู้จัดทำเอกสารทราบล่วงหน้า มิฉะนั้นจะถือว่าละเมิดลิขสิทธิ์และไม่มีการรับประกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตและช่วยลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงานเนื่องจากความล้าและมาตรฐานที่แตกต่างกันของแต่ละบุคคล ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นสามารถประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมได้หลายอย่าง เช่น การตรวจสอบสีที่ผิดเพี้ยนของผลิตภัณฑ์ การตรวจสอบรูปร่าง และการวัดขนาดของชิ้นงาน เป็นต้น ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นแสดงดังรูปที่ 2.1 (Scott, 1998)



รูปที่ 2.1 ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น

### 2.2.2 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) เป็นการนำรูปภาพเข้าและปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการเช่น ความคมชัด การประหยัดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล หรือใช้สำหรับการประมวลผลในระดับสูง เช่น การจดจำรูปร่างลักษณะได้อย่างแม่นยำ

การวิเคราะห์รูปภาพ (Image Analysis) เป็นการนำรูปภาพเข้าและส่งค่าที่วัดได้ออก ซึ่งกระบวนการประมวลผลภาพจะได้ค่าการวัดออกมา เช่น การวัดสี การวัดขนาด เป็นต้น ซึ่งในการวิเคราะห์รูปภาพนั้นหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องมีการประมวลผลภาพเสมอ โดยวัตถุประสงค์ของการประมวลผลภาพในกระบวนการวิเคราะห์ภาพก็คือ การทำให้คุณภาพของภาพดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การวิเคราะห์ภาพมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

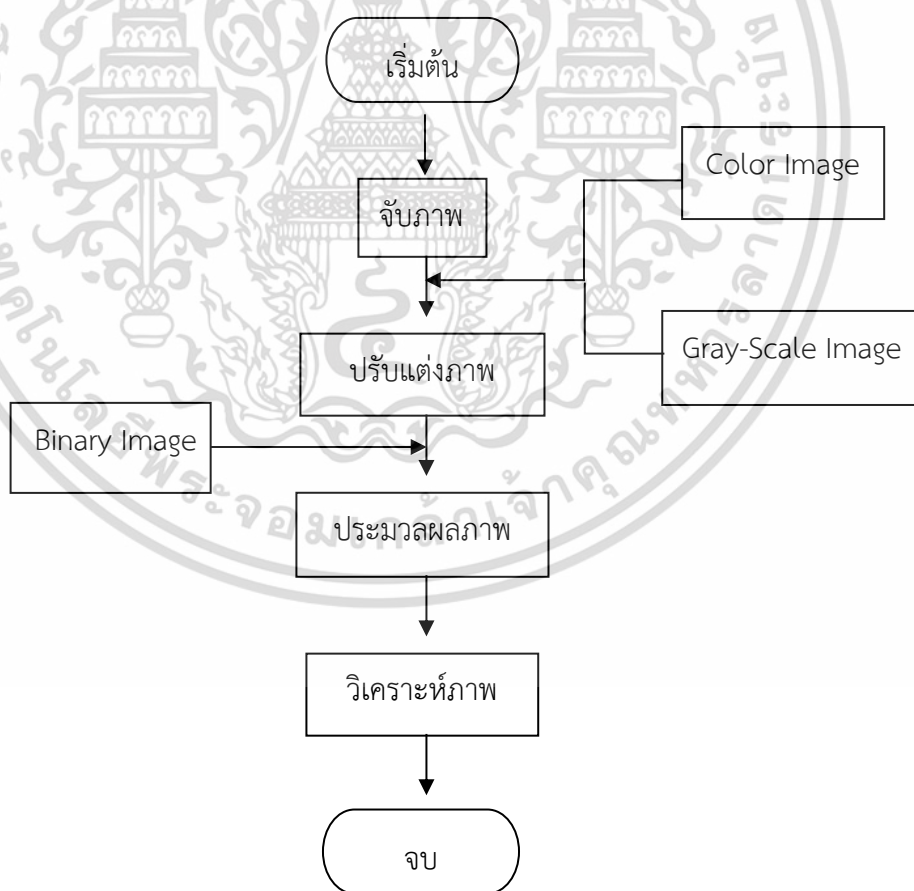
การประมวลผลภาพเป็นการเรียกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใด ๆ มากระทำกับภาพ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ โดยขั้นตอนการประมวลผลภาพโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นแสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมวลผลภาพประกอบด้วยหลายขั้นตอน ได้แก่ การรับภาพ การปรับปรุงคุณภาพของภาพ การแยกส่วน และการจัดกลุ่ม ซึ่งขั้นตอนต่าง ๆ นั้นสามารถสลับและทำซ้ำได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของภาพ รายละเอียดสำหรับแต่ละขั้นตอน มีดังนี้

1) การรับข้อมูลภาพ (Image Acquisition) การรับข้อมูลภาพแบ่งออกเป็น 2 หน่วยพื้นฐาน หน่วยแรกทำหน้าที่รับสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและส่งกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นสัดส่วนต่อสเปกตรัมที่วัดได้ และหน่วยที่สองทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเพื่อสามารถนำไปประมวลผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ โดยอาศัยอุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เช่น เฟรมแกร็บเบอร์ (Frame Grabber) เป็นต้น

2) การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image Pre-Processing) การประมวลผลภาพเบื้องต้น คือ กระบวนการทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพมากขึ้น ซึ่งมีหลากหลายกระบวนการด้วยกัน ได้แก่ การลดทอนสัญญาณ การตรวจจับขอบวัตถุที่อยู่ในภาพ การแปลงสมบัติทางกายภาพของภาพ การแปลงสี การวิเคราะห์ภาพเชิงความถี่ และการบีบอัดข้อมูลภาพ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

ที่มา : Scott, 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กระบวนการแยกส่วนภาพ (Segmentation) กระบวนการนี้เป็นการแยกส่วนของภาพที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็นส่วน ๆ โดยพิจารณาว่าส่วนใดเป็นส่วนของวัตถุ (Objects) ส่วนใดเป็นฉากหลัง สำหรับกระบวนการแยกภาพมีหลายวิธี เช่น การใช้ค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) การแยกโดยใช้ขอบของวัตถุ การแยกโดยใช้คุณลักษณะของสี (Hue) การแยกโดยค่าความอิ่มตัวของสี (Saturation) และการแยกโดยค่าความเข้ม (Intensity) เป็นต้น

4) การจำแนกวัตถุและการตีความหมาย (Classification and Interpretation) การจำแนกวัตถุเป็นกระบวนการจัดกลุ่มให้วัตถุที่พิจารณาอยู่นั้นว่าเป็นวัตถุในกลุ่มไหน โดยอาศัยข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับคุณลักษณะของวัตถุตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละกลุ่ม ดังนั้นระบบต้องมีตัวอย่างของวัตถุแต่ละกลุ่มก่อน

### 2.2.3 ภาพดิจิทัล (digital image)

ภาพดิจิทัลสามารถนิยามเป็นฟังก์ชันสองมิติ  $f(x,y)$  โดยที่  $x$  และ  $y$  เป็นพิกัดของภาพ และแอมพลิจูดของ  $f$  ที่พิกัด  $(x,y)$  ใดๆภายในภาพคือค่าความเข้มแสงของภาพ (Intensity) ที่ตำแหน่งนั้นๆ และเมื่อ  $x,y$  และแอมพลิจูดของ  $f$  เป็นค่าจำกัด (Finite value) จึงเรียกรูปภาพนี้ว่าเป็นภาพดิจิทัล (Digital Image) และถ้ากำหนดให้ภาพ  $f(x,y)$  มีขนาด  $M$  แถวและ  $N$  คอลัมน์ และพิกัดของจุดกำเนิด (Origin) ของภาพคือที่ตำแหน่ง  $(x,y) = (0,0)$

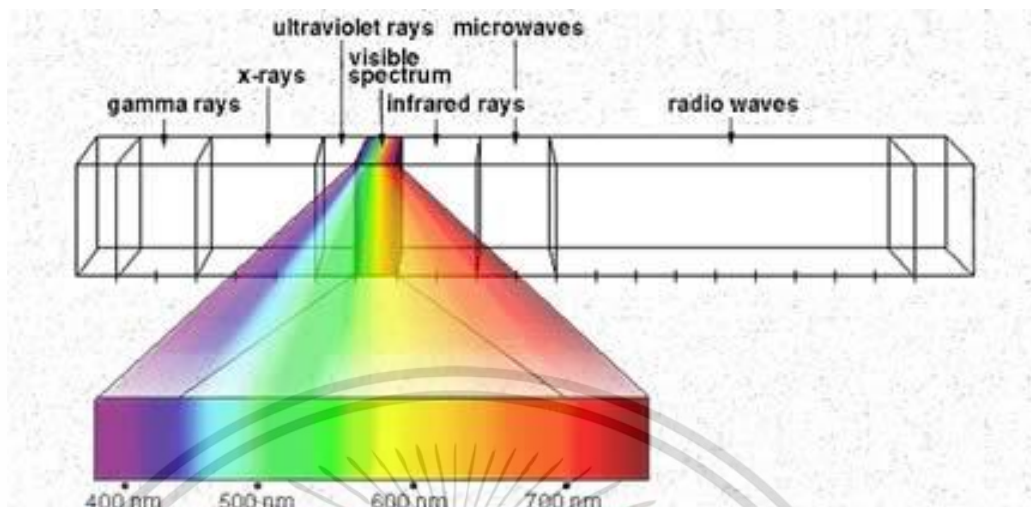
#### 1) ภาพสี (Color image)

ภาพสี มีอยู่หลายรูปแบบ เช่น รูปแบบ RGB ซึ่งเหมาะสำหรับแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ รูปแบบ CMY เหมาะจะใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องพิมพ์ เป็นต้น

สีคือส่วนหนึ่งในธรรมชาติของแสงอาทิตย์ โดยให้ลำแสงส่องผ่านแท่งแก้วปริซึม แสงจะหักเห เพราะแท่งแก้วปริซึมความหนาแน่นมากกว่าอากาศเมื่อลำแสงหักเหผ่านปริซึมจะปรากฏแถบสีสเปกตรัม (Spectrum) หรือที่เรียกว่า ีรุ้ง (Rainbow) คือ สีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง แสดงดังรูปที่ 2.3 และเมื่อแสงตกกระทบโมเลกุลของสสาร พลังงานบางส่วนจะดูดกลืนสีจากแสงบางส่วน และสะท้อนสีบางสีให้ปรากฏเห็นได้ พื้นผิววัตถุที่เราเห็นเป็นสีแดง เพราะ วัตถุดูดกลืนแสงสี อื่นไว้ สะท้อนเฉพาะแสงสีแดงออกมา วัตถุสีขาวจะสะท้อนแสงสีทุกสี และวัตถุสีดำจะดูดกลืนทุกสี

จากทฤษฎีการหักเหของแสงของนิวตัน และจากสามเหลี่ยมสี CIE พบว่า แสงสีเป็นพลังงานเพียง ชนิดเดียวที่ปรากฏสี จากด้านทั้ง 3 ด้านของรูปสามเหลี่ยมสี CIE นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดแม่สีของแสงไว้ 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แถบสีสเปกตรัม (Spectrum)

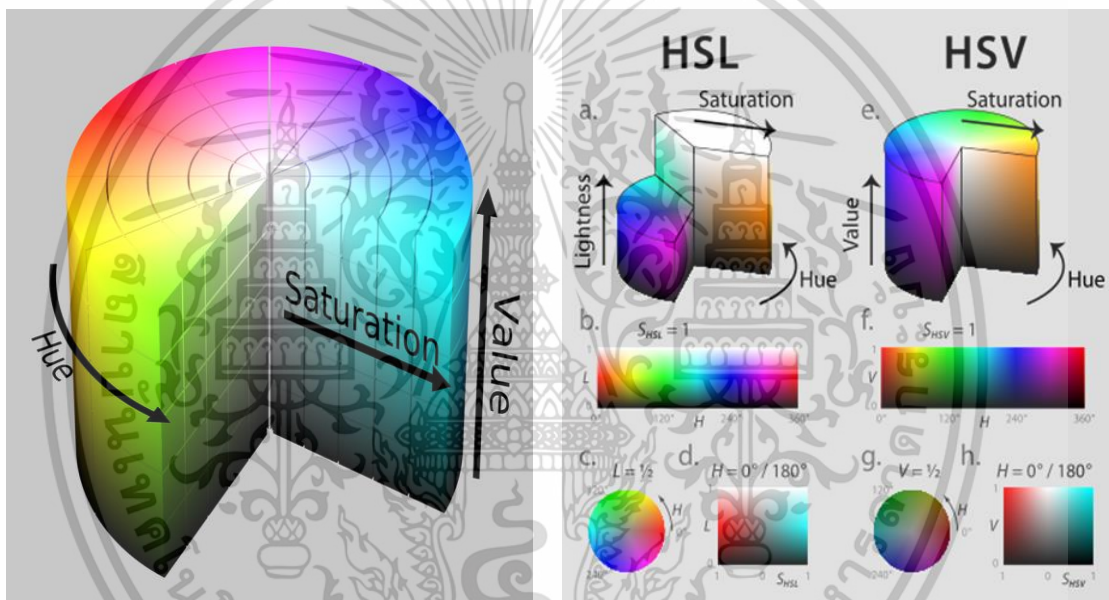
ระบบสี RGB คือ ระบบแสงสีมีพื้นฐานจากหลักการของการมองเห็นแสงสีและการผสมของแสงสีในอัตราส่วนต่างๆ เป็นระบบที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยอาศัยหลักการการรวมแม่สีของแสงเข้าด้วยกัน ได้แก่แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีเหลือง มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 225 เมื่อนำมาฉายรวมกันจะทำให้เกิดสีใหม่อีก 3 สีคือ สีม่วงมาเจนต้า (Magenta) สีฟ้าไซแอน (Cyan) และสีเหลือง (Yellow) เมื่อนำแสงสีทั้งหมดรวมกันจะได้แสงสีขาว ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบสี RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสี HSV เป็นระบบสีที่อาศัยหลักการใช้ค่าของสี (Hue, H) ค่าความเข้มของเนื้อสี หรือค่าความบริสุทธิ์ของสี (Saturation, S) และ ค่าความสว่างของสี (Value, V) โดย Hue คือค่าสีหลัก เช่น สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ถ้าเกิด ค่าของสีมีค่าเท่ากับ 0 จะแทนให้เป็นสีแดง และเมื่อค่าของสีมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนไป ตามความถี่สเปกตรัมของสีจนถึง 256 แล้วจะกลับมาเป็นสีแดงเช่นเดิมอีกครั้ง และสามารถแทน ให้อยู่ในรูปองศาได้คือ สีแดง มีค่าเท่ากับ 0 องศา สีเขียว มีค่าเท่ากับ 120 องศา และสีน้ำเงิน มีค่าเท่ากับ 240 องศา สำหรับค่าความเข้มของเนื้อสีหรือค่าความเข้มของเนื้อสีเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้น สีจะมีความเข้มมากขึ้นเรื่อยๆ และสุดท้ายค่าความสว่างของสีเมื่อมีค่าเพิ่มมากขึ้นภาพจะมีความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าสีในระบบ HSV สามารถแสดงได้ดังรูป ที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ค่าสีในระบบ HSV

การแปลงระบบสี RGB เป็น HSV เนื่องจากภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผลนั้นเก็บค่าสีในระบบ RGB ซึ่งค่าสีที่อยู่ในระบบ RGB นั้นจะประกอบไปด้วยค่าสีค่าแสง และค่าความสว่างซึ่งจะมีความซับซ้อนในการแยกแยะสีเนื่องจากมีค่าแสงและค่าความสว่างผสมอยู่ ด้วยการแปลงระบบสีแบบ RGB ให้เป็นแบบ HSV เพื่อให้สามารถทำการแยกสีในกระบวนการทำเทรซโฮลด์ได้ดีกว่า โดยระบบสีแบบ RGB และ HSV สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ 2.1, 2.2 และ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v \leftarrow \{\max(R, G, B)\} \quad (2.1)$$

$$s \leftarrow \begin{cases} \frac{v - \min(R, G, B)}{v} & \text{if } v \neq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.2)$$

$$H \leftarrow \begin{cases} 60(G - B) / (v - \min(R, G, B)) & \text{if } v = R \\ 120 + 60(B - R) / (v - \min(R, G, B)) & \text{if } v = G \\ 240 + 60(R - G) / (v - \min(R, G, B)) & \text{if } v = B \end{cases} \quad (2.3)$$

เมื่อ

R G B แทนค่าของสีในระบบ RGB มีค่าระหว่าง 0.0 - 1.0

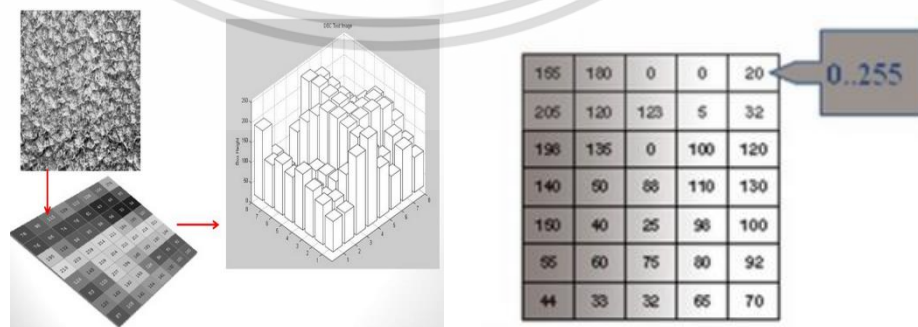
H S V แทนค่าของสีในระบบ HSV

max = ค่าสูงสุดใน (R, G, B)

min = ค่าต่ำสุดใน (R, G, B)

## 2) ภาพระดับสีเทา (Gray scale image)

ภาพระดับสีเทา (Gray-Scale Image) แต่ละพิกเซลจะเก็บข้อมูลของความเข้มแสงเป็นข้อมูล 8 บิต มีความเข้มแสงได้ถึง 256 ระดับ โดยจะแทนสีดำด้วยเลข 0 และแทนสีขาวด้วยเลข 255 ซึ่งค่าระหว่าง 0-255 จะเป็นความเข้มแสงในโทนสีเทา ภาพ gray scale หรือภาพระดับเฉดสีเทา คือ ความแตกต่างของระดับความเข้มแสง ในภาพนั้นๆ ซึ่งภาพ gray scale แบ่งระดับได้ทั้งหมด 256 ระดับ (0-255) ความเข้มหรือเป็นภาพ 8 บิตนั่นเอง โดยระดับสีสว่างหรือสีขาวแทนด้วยเลข 255 และระดับสีมืดหรือสีดำแทนด้วยเลข 0 ส่วนค่าระหว่าง 0-255 ก็คือระดับเฉดของสีเทาดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ภาพระดับสีเทา

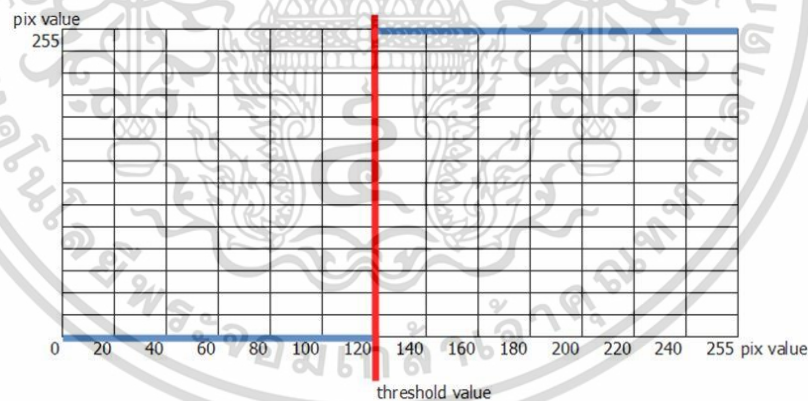
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) ภาพขาวดำ (Black-White image)

รูปภาพขาวดำ (Black-White Image) รูปภาพที่ประกอบด้วยสีขาวและสีดำเท่านั้น คอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์รูปภาพชนิดนี้ได้ง่ายกว่ารูปภาพชนิดอื่น ๆ โดยแทนสีดำด้วยค่า 0 และสีขาวด้วยค่า 1 หรือแทนสีดำด้วยค่า 0 และสีขาวด้วยค่า 255

การแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาวดำ เป็นกระบวนการแปลงภาพสีให้มีการแสดงผล 2 ระดับคือ ขาวและดำ โดยแปลงข้อมูลภาพเป็นภาพไบนารี (Binary Image) ที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับหรือ 1 บิตคือ 0 และ 1 โดย 0 แทนจุดภาพที่มีสีขาว และ 1 แทนจุดภาพที่มีสีดำ เรียกวิธีการนี้ว่าเป็นเทคนิคเทรชโฮลด์ (Threshold) คือ การเปรียบเทียบค่าพิกเซลกับค่าคงที่ที่เรียกว่าค่าเทรชโฮลด์ โดยค่าพิกเซลในภาพที่มีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์จะถูกกำหนดเป็น 1 (จุดดำ) และถ้าค่าของพิกเซลใด ๆ ในภาพมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเทรชโฮลด์จะถูกกำหนดให้เป็น 0 (จุดขาว)

การเทรชโฮลด์เป็นกระบวนการแปลงภาพสีเพื่อให้มีการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับคือ ขาวและดำ นั้นไม่สามารถกระทำได้ทันที ต้องทำการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทา ก่อน โดยอาจใช้วิธีสกัดสีใดสีหนึ่งจากภาพ ได้แก่ สีแดง สีเขียว หรือ สีน้ำเงิน โดยเลือกสีที่มีคุณลักษณะที่ต้องการมากที่สุด โดยจะแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพไบนารี (Binary image) มีกระบวนการแปลงภาพที่มีความเข้มหลายระดับเป็นภาพที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับหรือ 1 บิต คือ 0 และ 1 ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เทคนิคการทำเทรชโฮลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบแมชชีนวิชั่น

ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นได้รับการพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัยต่าง ๆ จำนวนมาก ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นสำหรับงานวิจัยทางด้านผลิตผลการเกษตรและผลิตภัณฑ์อาหาร มีดังนี้

Igathinathane *et al.* (2008) ใช้การประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม ImageJ สำหรับการวัดความกว้าง ความยาว ของธัญพืช ซึ่งสามารถประมวลผลได้  $254 \pm 125$  ชิ้น/วินาที โดยมีค่าความถูกต้องมากกว่า 96.6%

Abdullah *et al.* (2005) ใช้ระบบประมวลผลภาพในการจำแนกรูปแบบและความสูงของมะเฟือง โดยการวัดคุณลักษณะเฉพาะของมะเฟือง เช่น มิติ สี ค่าความอึมตัวของสี และค่าความเข้มแล้วนำค่าที่ได้ไปจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิคทางสถิติและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบประสาทเทียมหลายชั้น จากการทดลองได้ค่าความถูกต้องของการจำแนกกลุ่มด้วยเทคนิคทางสถิติและโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น เท่ากับ 77.5% และ 95.7% ตามลำดับ

นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาเครื่องคัดแยกด้วยสี ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อคัดแยกวัสดุที่มีสีแตกต่างกันออกจากกัน โดยอาหารที่ลำเลียงบนสายพานลำเลียงจะถูกถ่ายภาพ แล้วนำภาพที่ได้ไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์ ถ้าสีของอาหารไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ก็จะถูกคัดแยกออกโดยแรงกล เช่น ใช้อากาศแรงดันสูงผลักแยกออกไป โดยเครื่องคัดด้วยแยกสีนี้สามารถประยุกต์ใช้เพื่อคัดแยกวัตถุดิบ เช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช ถั่วเมล็ดแห้ง โกโก้ ชา กาแฟ หรือการคัดสีของวัตถุดิบที่นำมาใช้เพื่อการแปรรูปอาหาร ใช้แยกความแก่อ่อนของผักผลไม้ เช่น มะเขือเทศ พริก พริกที่ใช้แปรรูปทำซอสพริก น้ำจิ้มไก่ หรือพริกป่นที่จะใช้สีของพริกที่แดงจัด เป็นต้น

### 2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสีของไส้กรอก

นักวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาเกี่ยวกับการรักษาคุณภาพของไส้กรอกในประเด็นต่าง ๆ เช่น ชนิดของบรรจุภัณฑ์ วิธีการบรรจุ และส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น (Summo *et al.*, 2006; Rubio *et al.*, 2008)

Haile *et al.* (2013) ศึกษาผลของวิธีการบรรจุและการจัดเก็บแอมสุกในพื้นที่ที่มีแสงและในที่มืดที่มีต่อความคงตัวของสีและการออกซิเดทีฟของลิพิดในระหว่างการจัดเก็บ 48 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าการเก็บผลิตภัณฑ์แอมสุกในที่มืดไม่ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงแต่ยังคงมีการออกซิเดชันของลิพิดเกิดขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ห่อหุ้มด้วยพอลิเมอร์สามารถลดการเปลี่ยนของสีได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบรรพจน์ที่โปร่งใสในกรณีที่เกิดเก็บในที่ที่มีแสงสว่าง ผลิตภัณฑ์ที่โดนแสงจะมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ), เมทโมโอโกลบิน และองศาฮิว (Hue angle,  $H_o$ ) สูงขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ), โครมา (Chroma) และไนโตรโซเมโอโกลบินต่ำลง

Böhner *et al.* (2014) ศึกษาผลของแหล่งกำเนิดแสง (หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL), หลอดเมทัลฮาไลด์ (MH), หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีการปรับสีของแสง (FL-MP) และหลอดแอลอีดี (LED)) และความเข้มข้นของออกซิเจน (0.0%, 0.5%, 1.0% และ 2.0%) ที่มีต่อการเปลี่ยนสีและการออกซิเดชันของไส้กรอกต้ม ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนสีของไส้กรอกต้มเกิดจากการออกซิเดชันของไนโตรซิลเมโอโกลบิน (MbNO) เป็นเมทโมโอโกลบิน (MMb) ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงภายใต้แหล่งกำเนิดแสงสว่าง ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) ของไส้กรอกลดลง โดยหลอดกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น (300-550 nm) เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL) จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีได้อย่างมาก ส่วนหลอดที่มีความยาวคลื่นกลาง (551-800 nm) และคลื่นยาว (801-1100 nm) เช่น MH, FL-MP และ LED จะช่วยลดการเปลี่ยนสีลงได้ อย่างไรก็ตาม ยังคงขาดการศึกษาเกี่ยวกับชนิดของแหล่งกำเนิดแสง อุณหภูมิของแสง และระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลต่อค่าความเข้มของแสงหรือความส่องสว่างบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์ รวมทั้งยังขาดการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของระบบสีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสีไส้กรอกภายใต้สภาวะแสงสว่างที่แตกต่างกัน

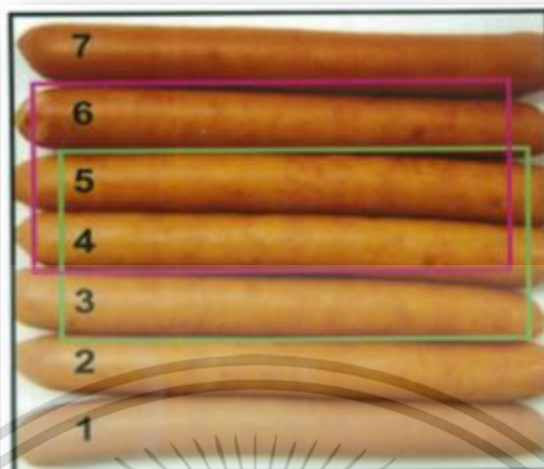
## บทที่ 3

### การออกแบบชุดทดลองและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบชุดทดลองและวิเคราะห์ผลของแสงสว่างและชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอกหมูในระหว่างการจัดเก็บที่สภาวะแสงต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบสภาพการจัดเก็บในที่ปราศจากแสงสว่าง และแสงสว่างที่มีแหล่งกำเนิดแสงต่างชนิดกัน ได้แก่ ฟลูออเรสเซนต์ และแอลอีดี ที่อุณหภูมิแสงเท่ากับ 3000 และ 6500 เคลวิน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์และพบว่าแสงมีผลต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอก นักวิจัยจึงออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบสีไส้กรอก ที่สามารถนำไปใช้สำหรับการตรวจสอบในบริเวณพื้นที่การจัดเก็บ เพื่อรอการจัดจำหน่ายให้กับผู้บริโภคได้ โดยรายละเอียดสำหรับการออกแบบชุดทดลอง และอุปกรณ์ตรวจสอบสี ดังอธิบายไว้ในบทที่ 3 นี้

#### 3.1 การเตรียมตัวอย่างไส้กรอกบรรจุถุง

ไส้กรอกหมูรมควัน (Bayern Wiener) มีส่วนผสมหลักคือ เนื้อหมู (62%) ไขมัน (13%) และส่วนผสมอื่น ๆ (25%) โดยนำเนื้อหมูชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระยะเวลาไม่มากกว่า 72 ชั่วโมง (นับหลังจากถอดกระดูกออก) มาตัดแต่งเลือกหาสิ่งแปลกปลอมและสิ่งไม่พึงประสงค์ เช่น ขน เศษกระดูก ฟังผืด เอ็น จุดเลือด จุดขี้ และอื่น ๆ ออก จากนั้นนำเข้าเครื่องบดเนื้อ โดยใช้ชุดใบมีดบดสำหรับเนื้อบดขนาด 6 มิลลิเมตร ผสมเนื้อที่บดแล้วเข้ากับส่วนผสมอื่น ๆ พร้อมน้ำเย็น (อุณหภูมิ 0 – 4 องศาเซลเซียส) ในเครื่องผสมแบบสุญญากาศ ที่ความดัน -0.8 บาร์เกจ เป็นเวลา 6 นาที จะได้เนื้อสำหรับขึ้นรูปเป็นไส้กรอก เรียกว่า “อิมัลชันแบบเนื้อหยาบ” นำอิมัลชันป้อนเข้าเครื่องขึ้นรูป เพื่ออัดเข้าไปในเคสซิง (Natural Casing) ซึ่งทำจากไส้แกะ พร้อมกับบิดแบ่งเป็นท่อนสั้น ๆ ต่อกันเป็นเส้นยาว จากนั้นอบเส้นอิมัลชัน (ไส้กรอกดิบ) ในเครื่องอบแบบมีระบบรมควัน เพื่อให้ไส้กรอกสุก โดยมีอุณหภูมิใจกลางเท่ากับ 71 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และนำไปลดอุณหภูมิจนไส้กรอกมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ไส้กรอกหมูรมควันที่ได้มีสีเหลือง-น้ำตาล เนื้อแน่น ไม่ยุ่ย น้ำหนักต่อชิ้น  $135 \pm 2$  กรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $18 \pm 1$  เซนติเมตร ความยาว  $9 \pm 1$  เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 แผ่นตัวอย่างสีใสกรอกสำหรับเทียบผลิตภัณฑ์ Bayern Wiener

จากนั้นในขั้นตอนสุดท้ายซึ่งเป็นขั้นตอนการบรรจุ ได้นำไส้กรอกมาตัดเป็นท่อนตามที่แบ่งไว้ แล้วบรรจุใส่ถุง จำนวน 7 ชั้นต่อถุง ปิดผนึกถุงด้วยเครื่องบรรจุถุงแบบสุญญากาศ (รูปที่ 3.2) โดยถุงที่ใช้บรรจุเป็นถุงพลาสติกใส 2 ชนิด ได้แก่

1) ถุงโพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (Linear Low-Density Polyethylene; LLDPE) ซึ่งทำจากวัสดุโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น ความหนา 80 ไมโครเมตร/ด้าน เรียบโดยย่อว่า ถุงแอลแอลดีพีอี (LLDPE) (รูปที่ 3.3 ก)

2) ถุงโพลีเอไมด์+โพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (Polyamide+ Linear Low-Density Polyethylene; PA+ LLDPE) ซึ่งเป็นถุงฟิล์มลามิเนต PA15/LLDPE50 คือทำจากวัสดุฟิล์มโพลีเอไมด์ (PA) หนา 15 ไมโครเมตรประกบกับฟิล์มโพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (LLDPE) หนา 50 ไมโครเมตร รวมเป็นความหนา 65 ไมโครเมตร/ด้าน เรียบโดยย่อว่า ถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี (รูปที่ 3.3 ข)



รูปที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก Bayern Wiener บรรจุใส่ถุงพลาสติก



รูปที่ 3.3 ผลิตภัณฑ์ไส้กรอก Bayern Wiener บรรจุใส่ถุงพลาสติก (ก) แอลแอลดีพีอี และ (ข) ถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี

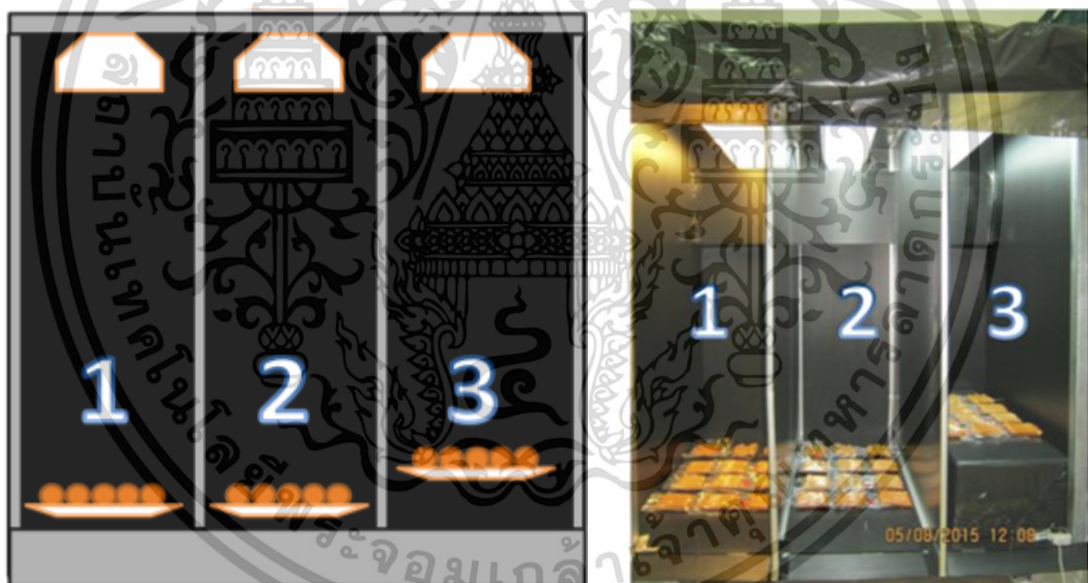
### 3.2 การออกแบบห้องควบคุมสถานะแสง

ชุดทดลองผลของแสงสว่างที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอก แสดงดังรูปที่ 3.4 ประกอบด้วยห้องควบคุมแสงขนาด 120 x 140 x 140 เซนติเมตร แบ่งพื้นที่ออกเป็น ส่วน ๆ ภายในติดตั้งหลอดไฟชนิดต่าง ๆ เข้ากับโคม LUSO LWPF1-240/PC โดยสามารถปรับระยะเวลาการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงให้ห่างจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวผลิตภัณฑ์ที่ระยะต่าง ๆ ได้ โดยให้วัดค่าความสว่างด้วยเครื่องวัดแสง (Heavy Duty Light Meter Model 407026UM) ให้ได้ เท่ากับ 200 ลักซ์ และ 500 ลักซ์ โดยประมาณ ได้แก่

- 1) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL) 3000 เคลวิน 500 ลักซ์ (Phillip TLD 36w/830 warm white 1 หลอด/โคม สูง 115 เซนติเมตร)
- 2) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL) 6500 เคลวิน 500 ลักซ์ (Phillip TLD 36w/865 cool daylight 1 หลอด/โคม สูง 105 เซนติเมตร)
- 3) หลอดแอลอีดี (LED) 6500 เคลวิน 500 ลักซ์ (EVE LED T8 22w 6,500K 2000Lm 1 หลอด/โคม สูง 95 เซนติเมตร)
- 4) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL) 6500 เคลวิน 200 ลักซ์ (Phillip TLD 36w/865 cool daylight 2 หลอด/โคม สูง 300 เซนติเมตร) ในห้องเก็บสินค้าปกติ



รูปที่ 3.4 ชุดทดลองควบคุมสภาวะแสง

### 3.3 การทดลอง

#### 3.3.1 การจัดเก็บไส้กรอกในพื้นที่ควบคุมสภาวะแสง

จัดวางไส้กรอกที่บรรจุในถุงพลาสติกลงในตะกร้า (รูปที่ 3.5) เพื่อใช้สำหรับจัดเก็บในห้องควบคุมภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน โดยทำสัญลักษณ์ไว้บนถุงเพื่อแสดงชนิดของถุงที่บรรจุไส้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรอกและสภาวะแสงสำหรับการจัดเก็บ สุ่มนำถุงใส่กรอกออกมาประเมินการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การประเมินด้วยสายตามนุษย์ การวิเคราะห์สีจากภาพดิจิทัล และการวัดสีจากเครื่องวัดสี โดยสุ่มตัวอย่างสัปดาห์ละครั้ง จำนวน 4 สัปดาห์ กรณีการประเมินด้วยสายตามนุษย์และการบันทึกภาพดิจิทัลซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย ใช้ตัวอย่างทดสอบชุดเดิมสำหรับทั้ง 4 สัปดาห์ สำหรับการวิเคราะห์สีด้วยเครื่องวัดสี ใช้วิธีการสุ่มถุงตัวอย่างออกมาวัดตามเวลาที่กำหนดไว้ ทำการบันทึกอุณหภูมิภายในห้องจัดเก็บผลิตภัณฑ์ทุก 5 นาที ด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิและตัวบันทึกข้อมูล (Thermo data Recorder-tr51) เพื่อให้แน่ใจว่าอุณหภูมิของห้องเก็บผลิตภัณฑ์ไม่เป็นหนึ่งในตัวแปรที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยพบว่าอุณหภูมิภายในห้องควบคุมเท่ากับ  $3\pm 1$  องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลาของการทดลอง



รูปที่ 3.5 ภาพตัวอย่างใส่กรอกบรรจุถุงจัดวางในตะกร้า

### 3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

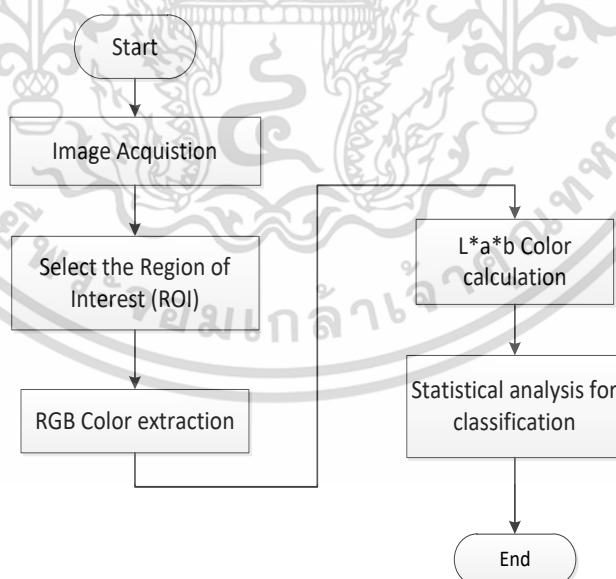
#### 3.4.1 การประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ประเมินลักษณะสีของใส่กรอกด้วยวิธีการเทียบทางสายตาโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการอบรม ผู้ทดสอบทำการเทียบสีของใส่กรอกที่บรรจุอยู่ในถุงไนลอนและถุงพีอี ซึ่งจัดเก็บภายใต้สภาวะแสงสว่างที่

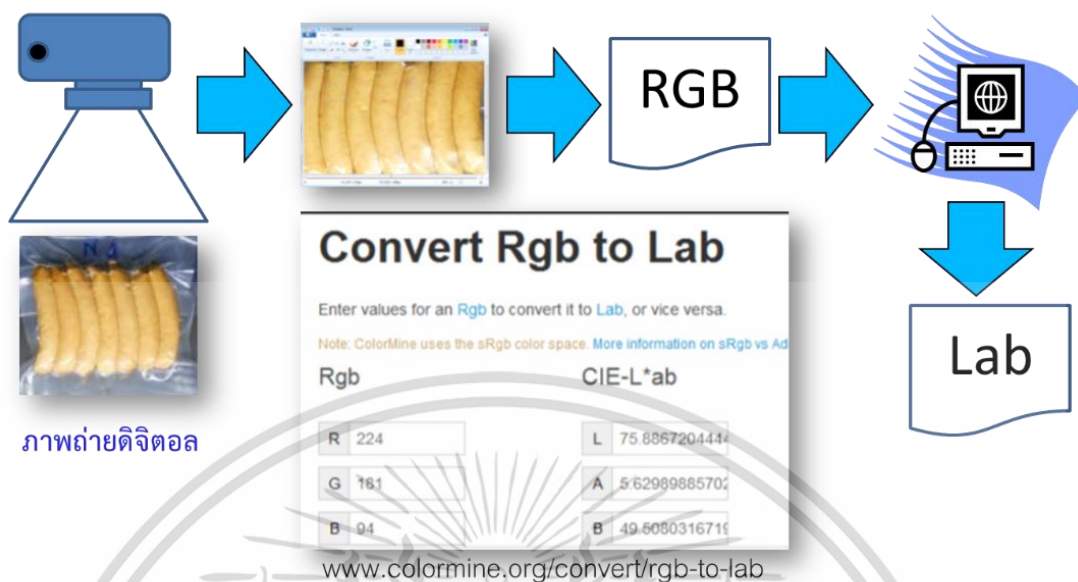
แตกต่างกัน โดยเทียบกับแผ่นรูปสินค้าตัวอย่างที่มีการแบ่งสีออกเป็น 7 ระดับ ในการประเมินผู้ทดสอบใช้วิธีการเทียบระดับสีของผลิตภัณฑ์ด้านที่รับแสงสว่างและระบุผลที่ได้ (ยอมรับ/ไม่ยอมรับ)

### 3.4.2 การวิเคราะห์สีจากภาพดิจิทัล

จัดวางอุณหภูมิแสงในห้องควบคุมแสงเพื่อควบคุมให้สภาวะแสงคงเดิมสำหรับทุกการทดลอง และบันทึกภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล (Canon PowerShot A495) ปรับตั้งแบบ Manual ไม่ใช้แฟลช โดยกำหนดเงื่อนไขการทำงานของกล้องเหมือนกันทุกครั้ง ภายในห้องควบคุมแสงติดแผ่นพลาสติกสีดำเพื่อลดการสะท้อนที่ผิว โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด Warm white เนื่องจากหลอดกำเนิดสามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นของแสงสี แดง เขียว น้ำเงินได้ใกล้เคียงกับแสงจากดวงอาทิตย์ ทำการบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงของสีเช่นเดียวกับการประเมินผลด้วยสายตา และวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม ImageJ 1.5b (National Institute of Health, USA) โดยวัดค่าสีอยู่ในระบบสี RGB เทคนิควิธีหรือขั้นตอนวิธี (Algorithm) การประมวลผลภาพดิจิทัลดังแสดงใน รูปที่ 3.6 ซึ่งประกอบด้วย การนำเข้าข้อมูลภาพ (Image Acquisition) จากกล้องดิจิทัล จากนั้นทำการแยกส่วนของภาพที่สนใจโดยตัดส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากภาพ (ROI) แยกองค์ประกอบของสีในรูปแบบ RGB และแปลงเป็น  $L^*a^*b^*$  เพื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงของสีกับวิธีอื่น (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.6 การประมวลผลภาพดิจิทัลสำหรับประเมินการเปลี่ยนสีของไส้กรอก



รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์สีที่สกัดจากภาพดิจิทัล

### 3.4.3 การวัดสี

ตัดตัวอย่างไส้กรอกความยาว 2.54 เซนติเมตร เพื่อวัดสีที่ผิวของไส้กรอกด้านที่รับแสงสว่าง โดยใช้เครื่องวัดสีระบบ spectrophotometer Hunter lab (ColorFlexEZ, Hunter Associates Laboratory, Inc., VA) ดังแสดงใน รูปที่ 3.8 และ รูปที่ 3.9 ผลของการวัดสีที่ได้แสดงในรูป  $L^*a^*b^*$  ( $L^*$  - ความสว่าง  $a^*$  - ความเป็นสีแดง/สีเขียว และ  $b^*$  - ความเป็นสีเหลือง/สีน้ำเงิน) และคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของสีเปรียบเทียบกับค่าสีเริ่มต้นก่อนการทดลอง  $\Delta E$  (สมการที่ 3.1) ทำการทดสอบตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง จำนวน 7 ชิ้น

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.8 การตัดและเรียงตัวอย่างใส่กรอกใส่ถ้วยแก้วเพื่อการตรวจวัดสีใส่กรอกด้วยเครื่องวัดสี



รูปที่ 3.9 การตรวจวัดสีใส่กรอกด้วยเครื่องวัดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

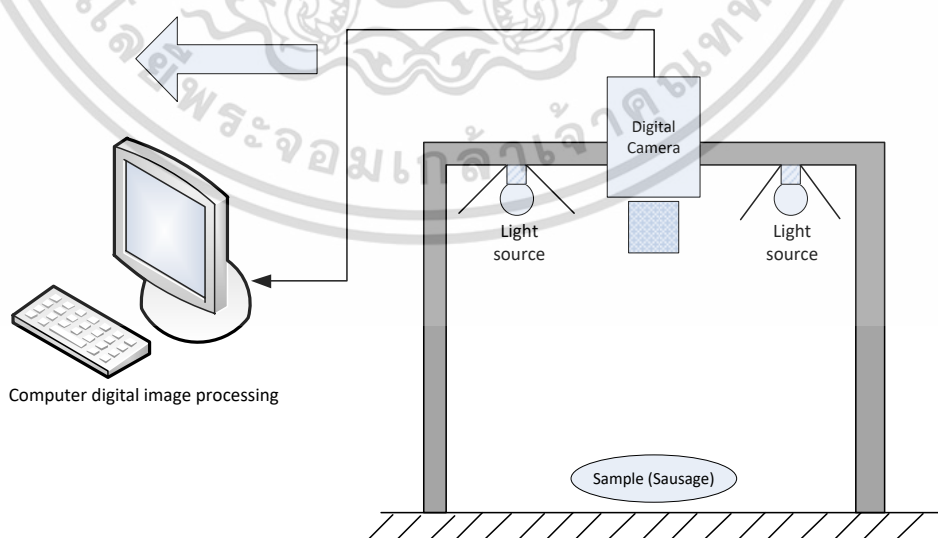
ประมวลผลข้อมูลการเปลี่ยนสีของไส้กรอกด้วยโปรแกรม SPSS โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี One way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## 3.5 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบสีไส้กรอก

ชุดอุปกรณ์ตรวจสอบสีของไส้กรอกด้วยแมชชีนวิชั่น (รูปที่ 3.1) ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้ กล้องควบคุมแสง ชุดอุปกรณ์รับภาพโปรแกรมสำหรับการประมวลผลภาพแบบเวลาจริง และคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล

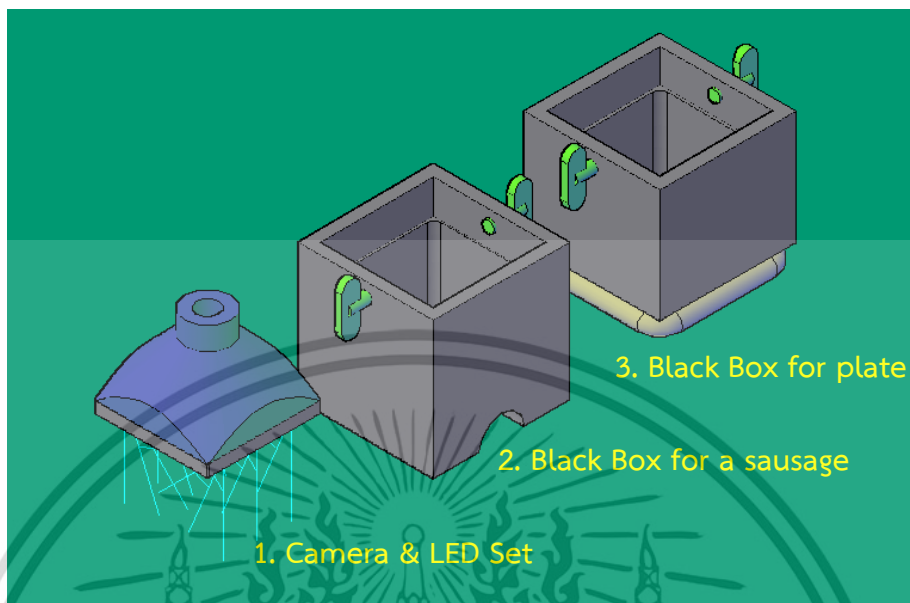
### 3.5.1 อุปกรณ์รับภาพและแหล่งกำเนิดแสง

อุปกรณ์รับภาพเป็นกล้อง USB 2.0 ขนาดเล็ก ที่ปลายกล้องมีแหล่งกำเนิดแสงในตัว และสามารถปรับระดับความสว่างของแสงได้ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การตรวจวัดคุณภาพและการประมวลผลภาพมีความถูกต้องลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม จึงได้ทำการออกแบบกล่องควบคุมแสงที่มีลักษณะเป็นกล่องที่ควบคุมแสงขนาดเล็กสำหรับเก็บภาพของตัวอย่าง โดยสร้างจากเครื่องพิมพ์สามมิติ มีขนาดของกล่อง กว้าง 12 ซม. ยาว 12 ซม. และ สูง 12 ซม. กล้องจับภาพถูกติดตั้งอยู่ด้านบนของกล่อง แหล่งกำเนิดแสงเป็นแบบหลอดแอลอีดี จำนวน 2 หลอด ตำแหน่งของตัวอย่างสามารถปรับขึ้นลงได้ ตามพื้นที่ในการมองของกล้อง (Field of View) ดังแสดงในรูปที่ 3.10

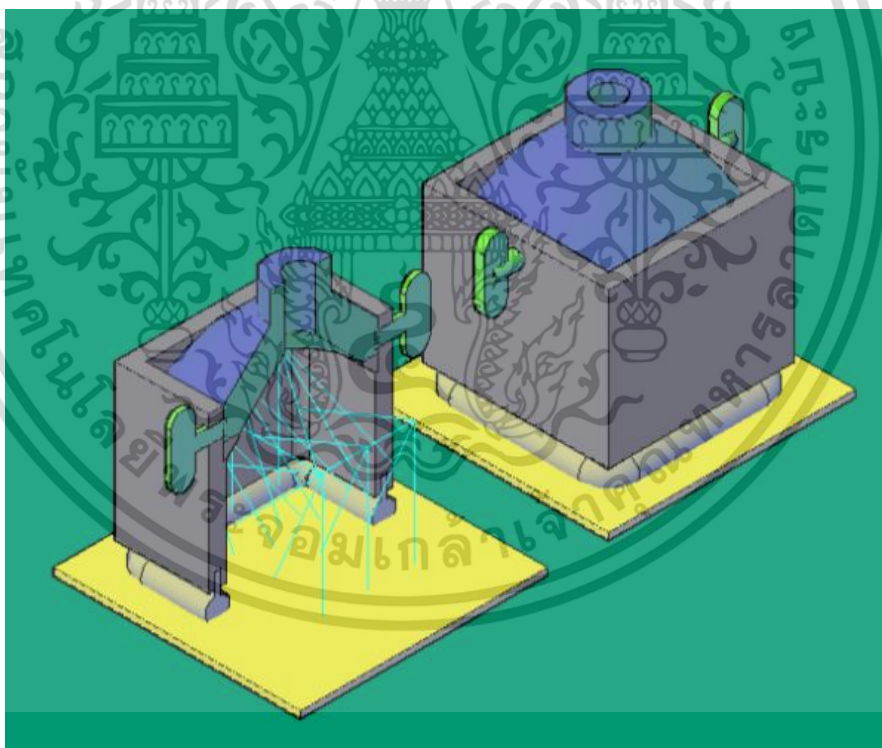


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.10 กล่องควบคุมแสงสำหรับตรวจวัดสีไส้กรอกด้วยการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 โปรแกรมประมวลผลภาพร่วมกับอุปกรณ์รับภาพ

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้โปรแกรม NI Vision Builder for Automated Inspection เวอร์ชันปี 2014 ของบริษัท National Instrument สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รับภาพที่ติดตั้งอยู่กับชุดควบคุมแสง ซึ่งโปรแกรมนี้ใช้การเขียนโปรแกรมแบบภาษารูปภาพที่เข้าใจง่าย สามารถประมวลผลภาพได้แบบเวลาจริง (Real-time image processing) และสามารถประยุกต์ใช้งานได้ในอุตสาหกรรม โดยโปรแกรมนี้ต้องการทรัพยากรคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลดังตารางที่ 3.1

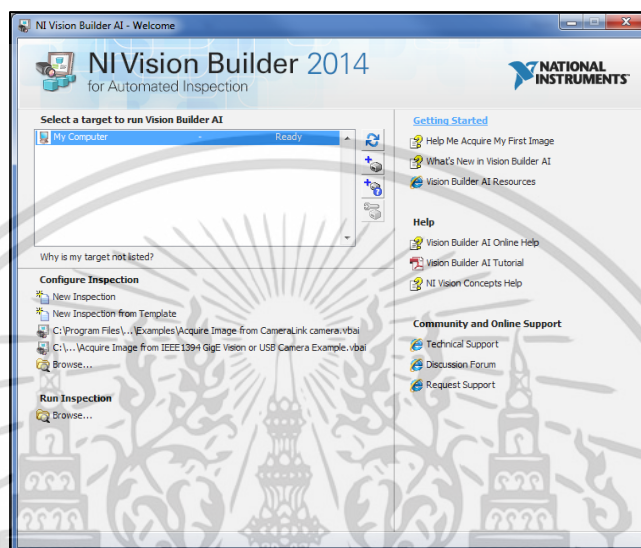
ตารางที่ 3.1 ความต้องการของระบบคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพ

	Minimum	Recommended
Processor	Pentium 4/M or equivalent	Core Duo or equivalent
Memory	512 MB RAM	1 GB RAM
Display	1,024 × 768 resolution video adapter with a 24- or 32-bit display	1,280 × 1,024 resolution video adapter with a 24- or 32-bit display
Operating System	Windows 8.1 (32- and 64-bit) Windows 8 (32- and 64-bit) Windows 7 (32- and 64-bit) Windows Vista (32- and 64-bit) Windows XP SP3 (32-bit) Windows Server 2012 R2 (64-bit) Windows Server 2008 R2 (64-bit) Windows Server 2003 R2 (32-bit)	
Browser	Microsoft Internet Explorer 6.0 or later	
Hard Disk Space	1 GB	

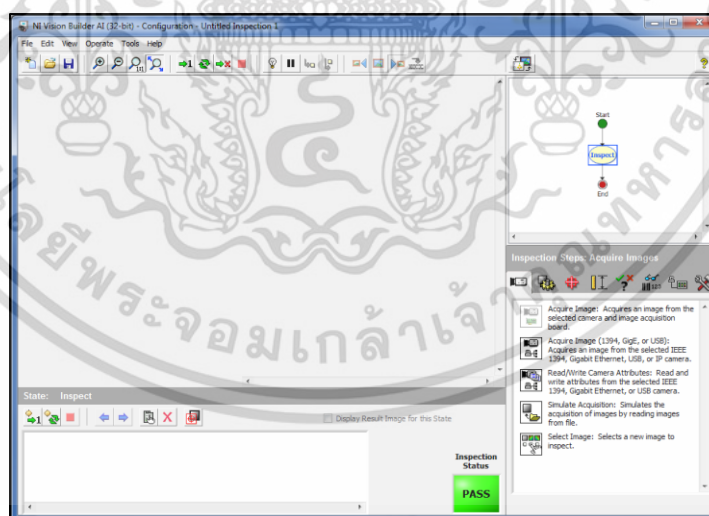
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรมภาษารูปภาพด้วย Vision Builder AI

1. เปิดโปรแกรม Vision Builder AI เลือก New Inspection เมื่อเปิดโปรแกรมแล้วให้ทำการตั้งชื่อโปรเจกต์ จากนั้นจะพบหน้าจอเริ่มต้นที่ยังไม่มีโปรแกรม



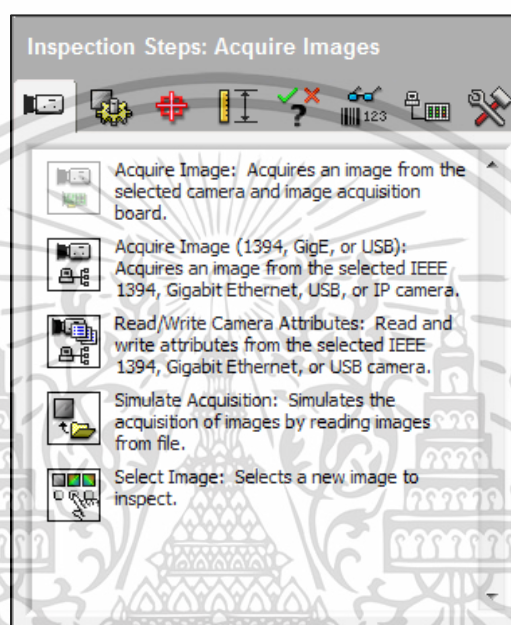
รูปที่ 3.11 หน้าต่างโปรแกรม NI Vision Builder AI



รูปที่ 3.12 หน้าต่างวางแปล่าที่ยังไม่ได้เขียนโปรแกรม

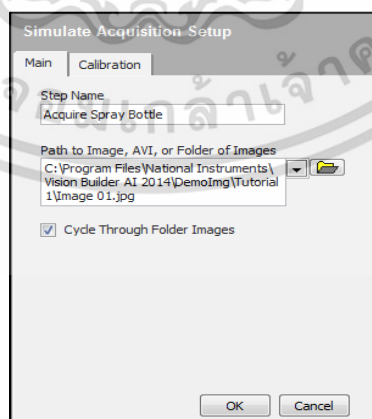
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลือกแถบ Inspection Steps: Acquire Images ดังรูป 3.13 เพื่อเลือกชนิดของอุปกรณ์รับภาพที่ใช้ในโปรเจค สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เลือกกล่องเป็นแบบ USB 2.0 แต่ในการพัฒนาโปรแกรมจะนิยมใช้วิธี Off-line โดยเก็บภาพจากตัวอย่างไว้ในโพลเดอร์เพื่อทำการเขียนโปรแกรมโดยเลือก Simulate Acquisition



รูปที่ 3.13 หน้าต่างแถบ Inspection Steps: Acquire Images

3. ที่ช่อง Step Name ใส่ชื่อให้สอดคล้องกับฟังก์ชันของโปรแกรม



รูปที่ 3.14 หน้าต่างส่วนของ Simulate Acquisition Setup

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

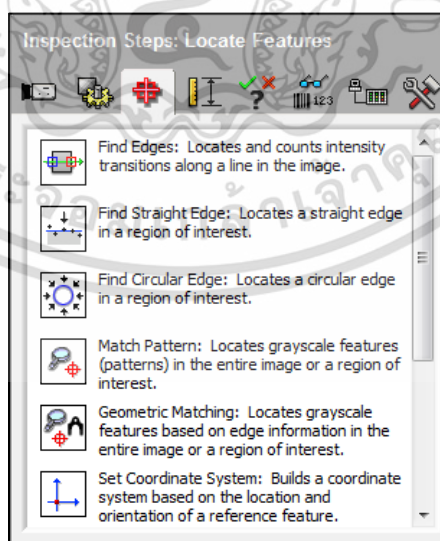
4. ให้แน่ใจว่าได้เลือก Cycle Through Folder Images แล้ว เพื่อเปิดใช้งานให้โปรแกรมดึงภาพทั้งหมดที่อยู่ใน Folder มาประมวลผล แต่ถ้าไม่เลือกหรือไม่เปิดใช้งาน โปรแกรมจะประมวลผลเฉพาะภาพที่ถูกเลือกเท่านั้น จากนั้นกดปุ่ม OK

5. การตรวจสอบวัตถุในภาพ มักจะจำกัดพื้นที่ในการตรวจสอบหรือเรียกว่า Region of Interest (ROI) และการประมวลผล มากกว่าที่จะตรวจสอบภาพทั้งหมดด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้:

- เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบวัตถุ โดยการหลีกเลี่ยงวัตถุที่ไม่เกี่ยวข้อง
- เพื่อเพิ่มความเร็วในการตรวจสอบวัตถุ

เพื่อจำกัดพื้นที่ในการตรวจสอบชิ้นส่วนของวัตถุตามที่ต้องการ จะต้องให้ชิ้นส่วนของวัตถุอยู่ภายในพื้นที่กำหนดเสมอ (ROI) ถ้าวัตถุภายใต้การตรวจสอบถูกยึดไว้ และมักจะปรากฏในตำแหน่งและมีทิศทางในภาพเหมือนเดิมเสมอ ตามที่ต้องการตรวจสอบจะสามารถกำหนดพื้นที่ (ROI) ในการตรวจสอบแบบตรงไปตรงมาไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อน แต่ถ้าวัตถุภายใต้การตรวจสอบมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งหรือมีการหมุนภายในภาพ พื้นที่ในการตรวจสอบ (ROI) จะต้องสามารถเปลี่ยนแปลงและหมุนตามวัตถุได้ภายใต้การตรวจสอบนั้น เพื่อให้พื้นที่ในการตรวจสอบ (ROI) สามารถเคลื่อนย้ายสัมพันธ์กับวัตถุที่กำลังตรวจสอบ จะต้องตั้งค่าระบบพิกัดให้สัมพันธ์กับลักษณะเฉพาะที่มีความสำคัญและไม่ซ้ำรูปแบบของวัตถุที่อยู่ภายใต้การตรวจสอบ โดยทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

6. เลือกแถบ Inspection Steps: Locate Features ดังรูป 3.15

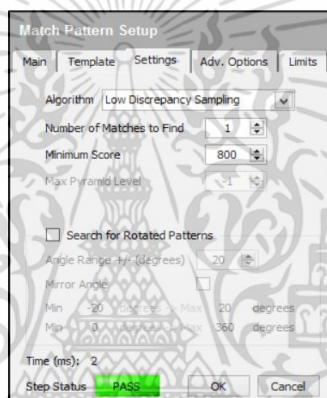


รูปที่ 3.15 หน้าต่างแถบของ Inspection Steps: Locate Features

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

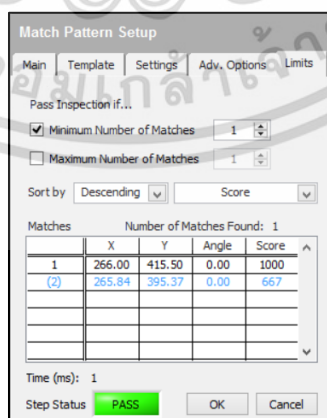
7. เลือกแถบ Template และกดปุ่ม Edit Template หน้าต่าง NI Vision Template Editor จะปรากฏขึ้นมาดังรูป เลือกแถบ Specify Match Options ลากเครื่องหมายเส้นกากบาทสีแดงบนภาพ Template ไปยังขอบด้านซ้ายล่างของพื้นที่ภาพวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนจุดโฟกัสของ Template จุดโฟกัสจะขึ้นบริเวณของ Template ที่ต้องการที่จะใช้เป็นตำแหน่งในการเปรียบเทียบ โดยตำแหน่งเริ่มต้นของจุดโฟกัสจะอยู่ที่ศูนย์กลางของ Template คุณสามารถปรับเปลี่ยนจุดโฟกัสได้โดยการย้ายเครื่องหมายเส้นกากบาทสีแดงหรือกำหนดค่าที่ Match Offset หลังจากนั้น ในการตรวจสอบวัตถุ จะใช้ตำแหน่งในการเปรียบเทียบนี้เป็นจุดเริ่มต้นของระบบพิกัด

8. เลือกแถบ Setting ตั้งค่าที่ช่อง Number of Matches to Find เท่ากับ 1



รูปที่ 3.16 หน้าต่างแถบของ Setting

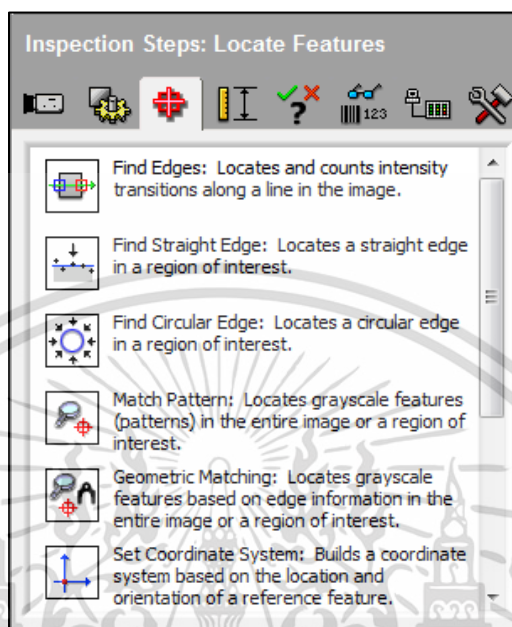
9. เลือกแถบ Limits ตั้งค่าที่ช่อง Minimum Number of Matches เท่ากับ 1



รูปที่ 3.17 หน้าต่างแถบของ Limits

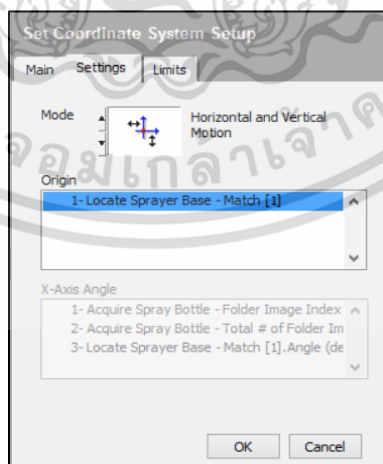
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เลือกแถบ Inspection Steps: Locate Features เลือก Set Coordinate System ดังรูป



รูปที่ 3.18 หน้าต่างแถบของ Inspection Steps: Locate Features

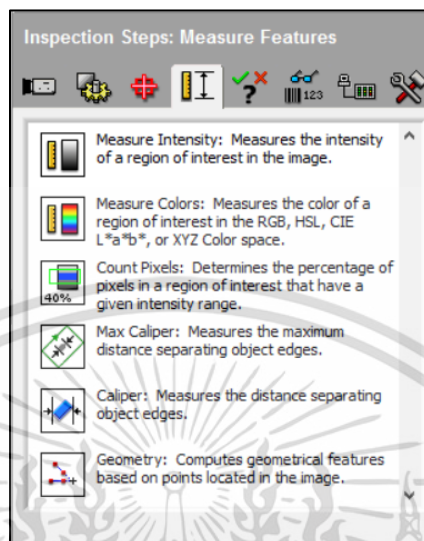
11. เลือกแถบ Settings ดังรูป 3.19 ที่ช่อง Mode ให้เลือก Horizontal and Vertical Motion เนื่องจากวัตถุมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งในแนวแกน X และแนวแกน Y แต่วัตถุไม่มีการหมุน



รูปที่ 3.19 หน้าต่างแถบของ Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 12. เลือกลำดับ Inspection Steps: Measure Features ดังรูป 3.20



รูปที่ 3.20 หน้าต่างแถบของ Inspection Steps: Measure Features

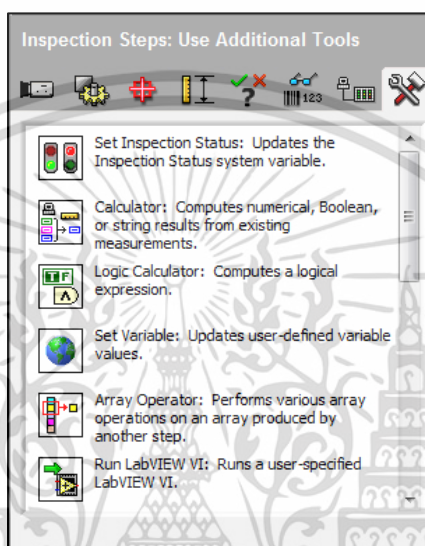
13. ที่ช่อง Step Name ใส่ชื่อให้สอดคล้องกับฟังก์ชันของโปรแกรม จากนั้นเลือก Reposition Region of Interest เพื่อเปิดใช้งานการเชื่อมโยงพื้นที่ในการตรวจสอบ (ROI) ที่ถูกกำหนดไว้ในขั้นตอนนี้กับ Coordinate System ที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้านี้เพื่อให้ Vision Builder AI สามารถปรับตำแหน่งและทิศทางของ ROI ในภาพให้สัมพันธ์กันกับ Coordinate System ที่ได้ถูกกำหนดไว้

14. เลือกลำดับ Limits ดังรูป ที่ด้านล่าง โปรแกรม Vision Builder AI จะแสดงข้อมูลค่าความเข้มแสงของ Pixel ทั้งหมดที่ตีไว้ภายในกรอบสามกรอบหรือพื้นที่ในการตรวจสอบ (ROI) ค่าความเข้มแสงของ Pixel จะมีย่านตั้งแต่ 0 ถึง 255 ซึ่งค่า 0 จะเท่ากับสีดำ และค่า 255 จะเท่ากับสีขาว ค่าของ Minimum Intensity ที่ด้านล่างจะแสดงค่าต่ำสุดของ Pixel ที่อยู่ภายในพื้นที่ในการตรวจสอบ (ROI) ขอบของวัตถุที่ต้องการตรวจวัดจะปรากฏเป็นภาพโครงร่างสีดำที่เป็น Pixel สีดำ (ซึ่งจะมีค่าความเข้มแสงที่ต่ำ) และภาพจะปรากฏอยู่บนพื้นหลังของภาพที่สว่าง (ซึ่งจะมีค่าความเข้มแสงที่สูง)

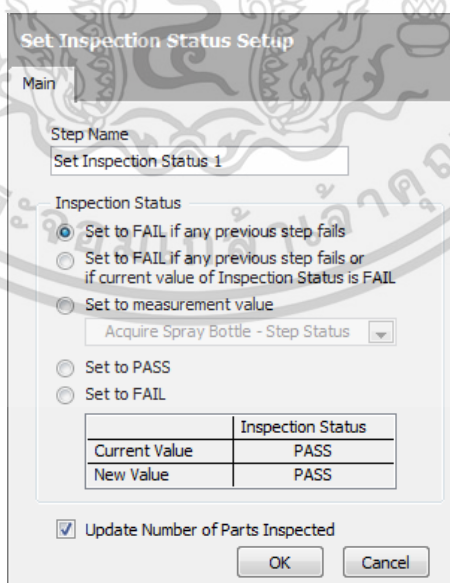
ดังนั้น เมื่อมีวัตถุที่ต้องการตรวจวัดปรากฏอยู่ในภาพ ค่าของ Minimum Intensity จะต่ำ และเมื่อไม่มีวัตถุที่ต้องการตรวจวัดปรากฏอยู่ในภาพ ค่าของ Minimum Intensity จะสูง เพราะว่า Pixel

ทั้งหมดของพื้นที่ในการตรวจสอบ (ROI) เป็นพื้นหลังของภาพที่สว่างเท่านั้น เลือก Minimum Intensity เพื่อเปิดการใช้งานค่าของ Minimum Intensity และตั้งค่าของ Maximum ที่ 50.00 จากนั้นกดปุ่ม OK

15. เลือกแถบ Inspection Steps: Use Additional Tools เลือก Set Inspection Status ดังรูป 3.21, 3.22



รูปที่ 3.21 หน้าต่างแถบ Use Additional Tools



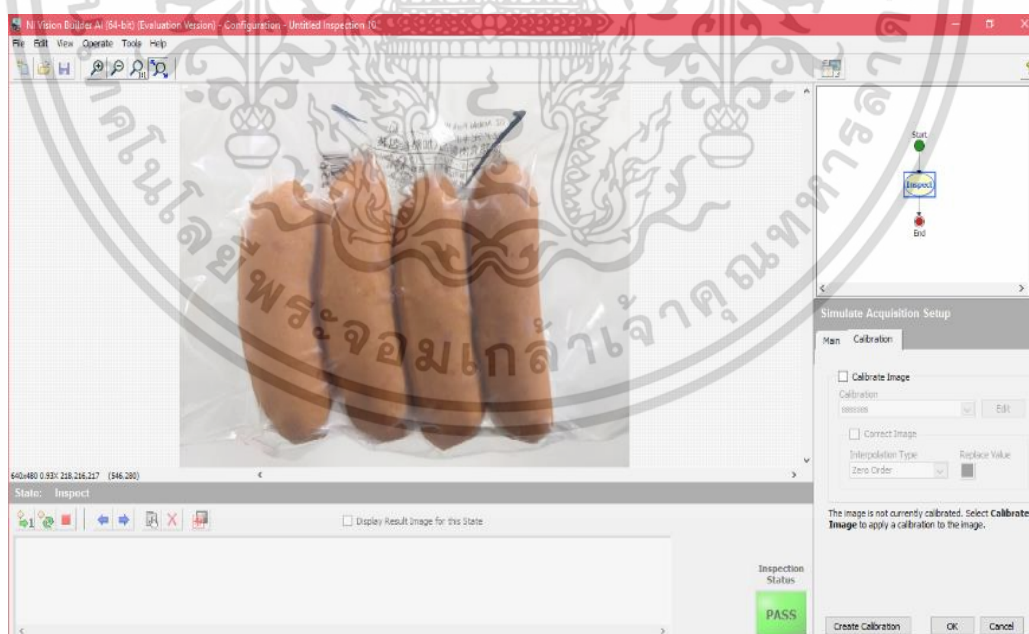
รูปที่ 3.22 หน้าต่างแถบ Set Inspection Status

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพสำหรับคัดแยกสีไส้กรอก

ชุดอุปกรณ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณภาพของไส้กรอก โดยจะต้องทำการตรวจสอบสีของไส้กรอกที่ผ่านการจัดเก็บให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนด ปัจจุบันนี้โรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหารจะต้องคำนึงถึงคุณภาพในกระบวนการผลิต เพื่อให้มีสินค้าที่ดี มีคุณภาพ และสุขอนามัยที่ดีมายังผู้บริโภค แต่การที่จะได้อาหารที่มีคุณภาพนั้น ต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมที่อยู่ใกล้ตัว ทั้งสถานที่ในการผลิต และบุคลากรที่ใช้ในการผลิตอาหารนั้น ๆ ให้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดและอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้คุณภาพของอาหารนั้นมีปัญหาคือการใช้แรงงานของมนุษย์ในการทำงาน ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดนี้ขึ้นได้เมื่อมนุษย์มีความเหนื่อยล้า ซึ่งต่างจากเครื่องจักรกลที่มีความแม่นยำมากกว่า มีข้อผิดพลาดน้อยกว่า เมื่อนำเครื่องจักรกลมาช่วยในการทำงานส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีคุณภาพตามที่กำหนด และมีส่วนให้ค่าใช้จ่ายนั้นลดลงตามไปด้วยซึ่งเป็นผลดีกับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรม โดยมีขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรมดังต่อไปนี้

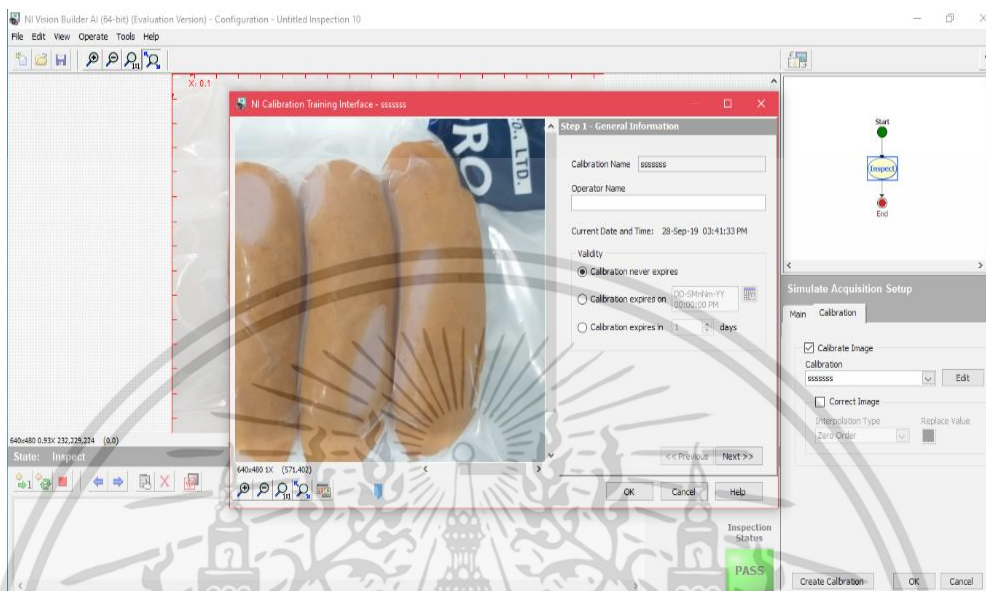
1. เปิดโปรแกรม Ni Vision Builder เพื่อใช้ในการตรวจสอบสีของไส้กรอก
2. ทำการเลือกรูปที่จะทำการทดลอง โดยจะต้องทำการ Calibration รูปภาพ โดยจะต้องกำหนดขนาด 640x480 พิกเซล



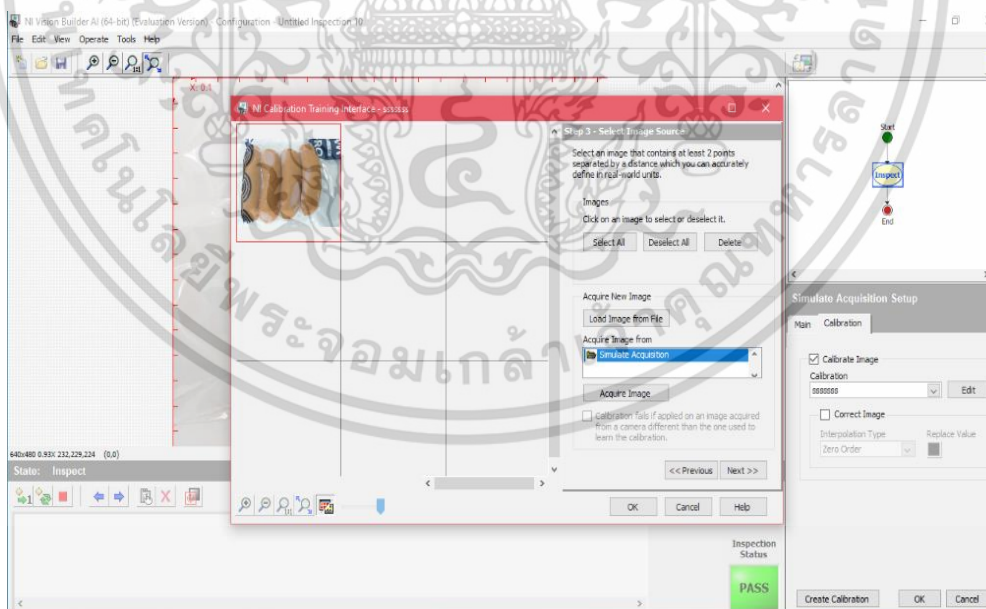
รูปที่ 3.23 การนำภาพไส้กรอกเข้าสู่โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ทำการตั้งชื่อไฟล์รูปภาพ และเลือกรูปภาพที่ต้องการ



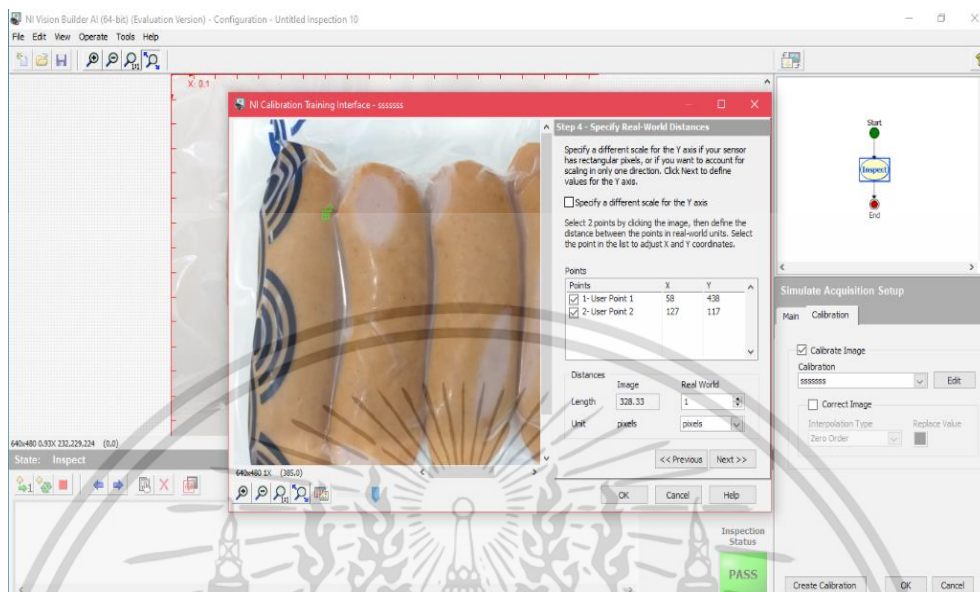
รูปที่ 3.24 การ Calibration รูปภาพ



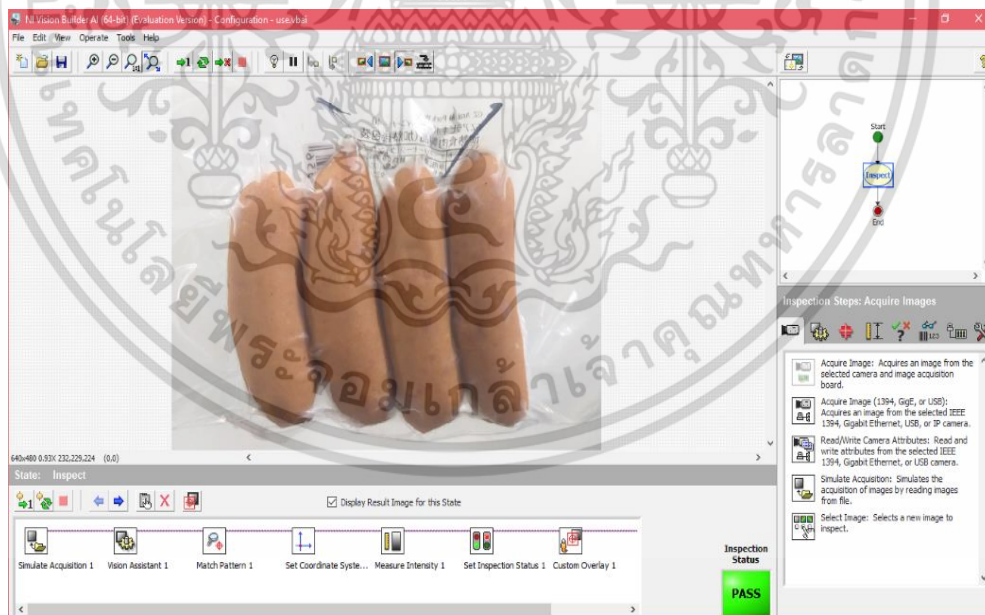
รูปที่ 3.25 การเลือกรูปภาพสำหรับใช้จำลองการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. กำหนดจุด Specify Real-World Distances จากนั้นกดปุ่ม ok



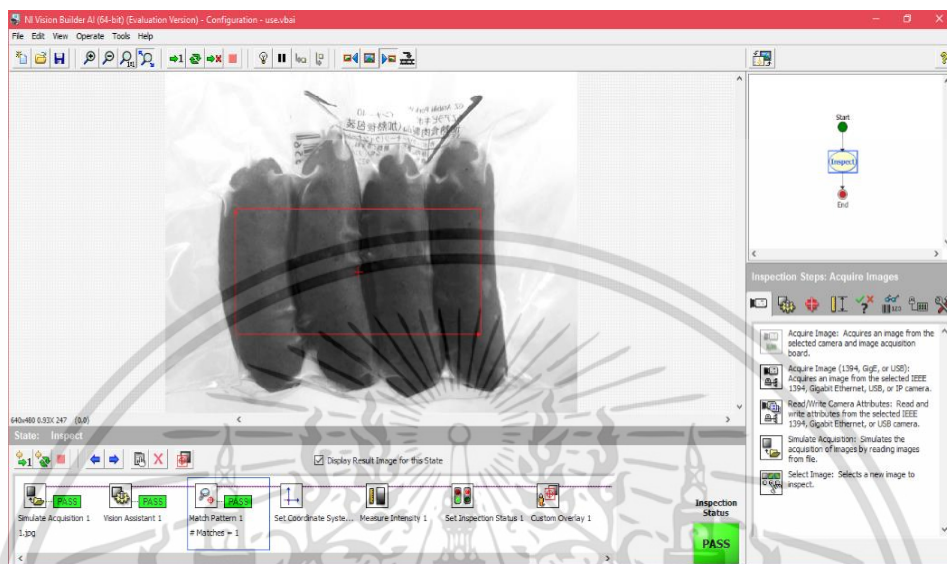
รูปที่ 3.26 การกำหนดขนาดไส้กรอกในภาพเทียบกับขนาดจริง



รูปที่ 3.27 การเขียนโปรแกรมและเครื่องมือที่นำมาใช้ในการตรวจสอบ (1)

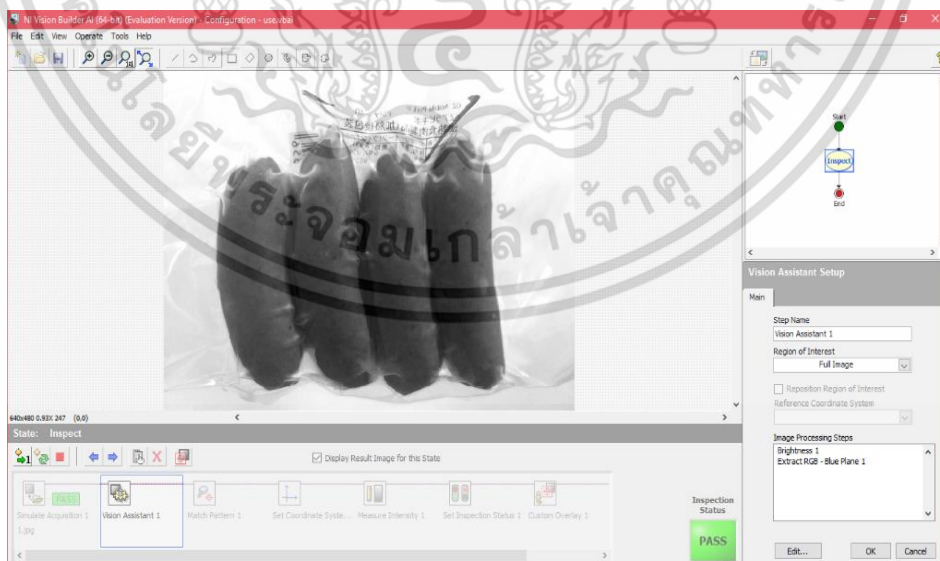
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การกำหนดการทำงานในการตรวจสอบสีของไส้กรอก โดยการเขียนโปรแกรมและการเลือกใช้เครื่องมือในการประมวลผลภาพ ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 การเขียนโปรแกรมและเครื่องมือที่นำมาใช้ในการตรวจสอบ (2)

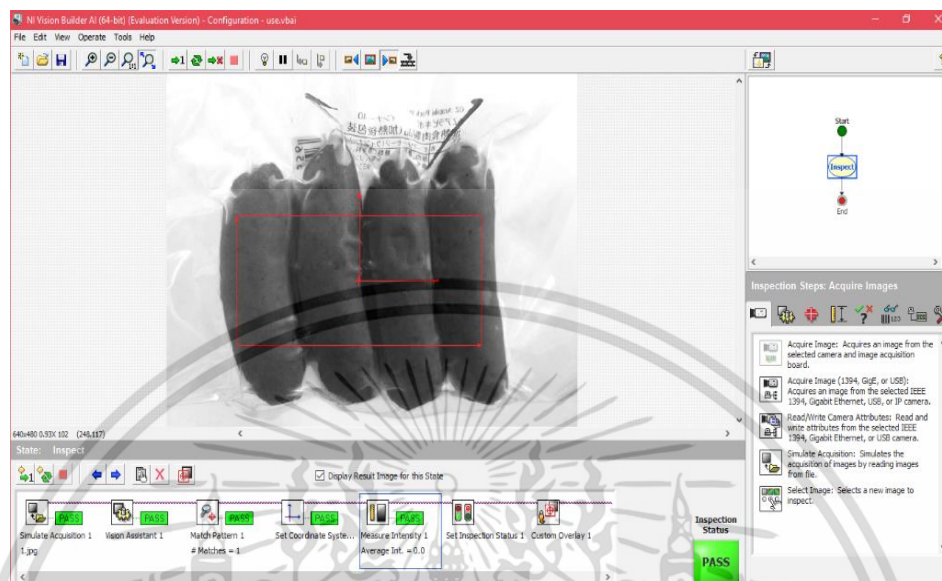
7. กำหนด Vision Assistant เพื่อช่วยการประมวลผลของรูปภาพ โดยกำหนดภาพให้ง่ายต่อการตรวจสอบ



รูปที่ 3.29 การเขียนโปรแกรมภายในบล็อกด้วย Vision Assistant (1)

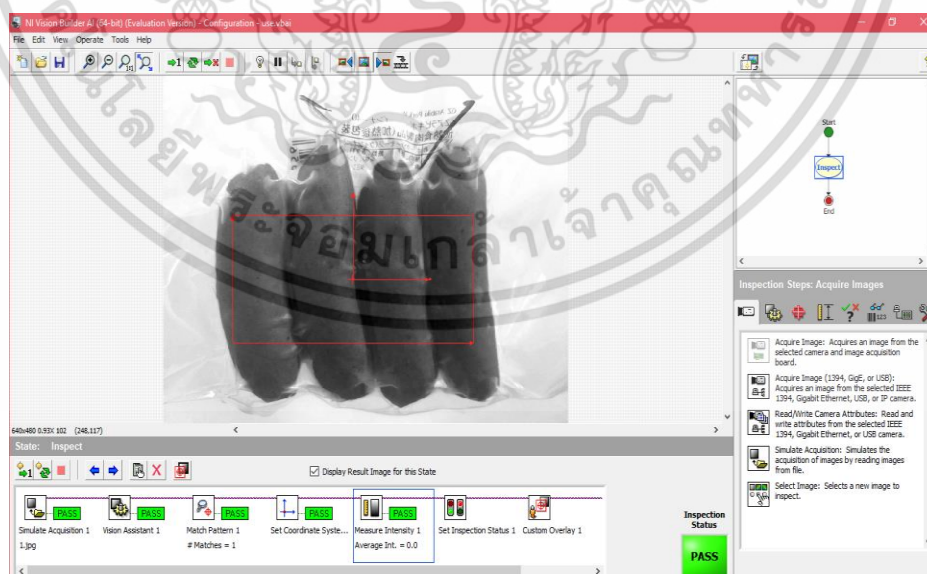
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8. การใช้ Measure Intensity เพื่อกำหนดขนาดของสิ่งที่ทำการตรวจสอบ ตาม Math Pattern



รูปที่ 3.30 การเขียนโปรแกรมภายในบล็อกด้วย Vision Assistant (2)

## 9. Set Inspection Status การกำหนดให้แสดงสถานะ ผ่านหรือไม่ผ่าน ตามการทำงานของ กระบวนการตรวจสอบ



รูปที่ 3.31 ตัวอย่างใส่กรอกที่ผ่านการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลของแสงสว่างและชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอก

จากการศึกษาผลของแสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง 2 ชนิด ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL) และ หลอดแอลอีดี (LED) ที่อุณหภูมิแสง 3000 เคลวิน และ 6500 เคลวิน ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอกที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกใสทำด้วยวัสดุชนิดแอลแอลดีพีอี (LLDPE) และวัสดุชนิดพีเอ/แอลแอลดีพีอี (PA/LLDPE) ในสภาวะสุญญากาศ โดยจัดเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $3\pm 1$  องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยไส้กรอกเริ่มต้นการเก็บมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เท่ากับ  $47.21\pm 0.51$  และค่าสีแดง ( $a^*$ ) เท่ากับ  $14.18\pm 0.04$  ดังแสดงใน รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกด้วยสายตาเปรียบเทียบกับมาตรฐานสีของบริษัทที่ใช้ในเชิงพาณิชย์และค่าสีของตัวอย่างที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE ซึ่งคำนวณในรูปของการเปลี่ยนแปลงสีรวม ( $\Delta E$ ) แสดงใน ตารางที่ 4.1 สำหรับการวิเคราะห์สีจากภาพดิจิทัลในระบบ RGB แสดงใน ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนสีของไส้กรอกที่จัดเก็บภายใต้แหล่งกำเนิดแสงและบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์ภาพดิจิทัลในระบบ RGB และแปลงในค่า " $L^*$ " และ " $a^*$ "

แหล่งกำเนิดแสง	ชนิดบรรจุภัณฑ์	$\Delta E$	การตรวจสอบด้วยสายตา
<b>ควบคุม</b>	<b>LLDPE</b>	$1.76\pm 0.40$ ef	ยอมรับได้
FL 3,000K, 500Lux		$7.46\pm 0.16$ b	ไม่ยอมรับ
FL 6,500K, 200Lux		$5.72\pm 0.18$ c	ไม่ยอมรับ
FL 6,500K, 500Lux		$8.94\pm 0.40$ a	ไม่ยอมรับ
LED 6,500K, 500Lux		$8.95\pm 0.74$ a	ไม่ยอมรับ
<b>ควบคุม</b>	<b>PA/LLDPE</b>	$0.97\pm 0.22$ g	ยอมรับได้
FL 3,000K, 500Lux		$2.28\pm 0.28$ de	ยอมรับได้
FL 6,500K, 200Lux		$1.27\pm 0.19$ fg	ยอมรับได้
FL 6,500K, 500Lux		$1.59\pm 0.53$ fg	ยอมรับได้
LED 6,500K, 500Lux		$2.92\pm 0.32$ d	ยอมรับได้

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ตัวอย่างควบคุมคือตัวอย่างที่จัดเก็บห้องที่สภาวะปราศจากแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนสีของไส้กรอกที่จัดเก็บภายใต้แหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์ภาพดิจิทัลในระบบ RGB และแปลงในค่า “L\*” และ “a\*”

แหล่งกำเนิดแสง	ชนิดบรรจุภัณฑ์	RGB color space			CIE LAB	
		R	G	B	L <sup>1</sup>	a <sup>1</sup>
<b>ควบคุม</b>	<b>LLDPE</b>	<b>224</b>	<b>181</b>	<b>94</b>	<b>75</b>	<b>6</b>
FL 3,000K, 500Lux		221	203	133	81	-3
FL 6,500K, 200Lux		229	208	132	83	-3
FL 6,500K, 500Lux		226	209	145	83	-3
LED 6,500K, 500Lux		211	180	104	79	1
<b>ควบคุม</b>	<b>PA/LLDPE</b>	<b>220</b>	<b>177</b>	<b>93</b>	<b>74</b>	<b>6</b>
FL 3,000K, 500Lux		219	194	136	79	1
FL 6,500K, 200Lux		219	190	126	78	2
FL 6,500K, 500Lux		224	195	130	79	2
LED 6,500K, 500Lux		225	191	117	78	2

<sup>1</sup> ค่า “L\*” และค่า “a\*” ที่แปลงโดยใช้เว็บไซต์ [www.colormine.org/convert/rgb-to-lab](http://www.colormine.org/convert/rgb-to-lab)

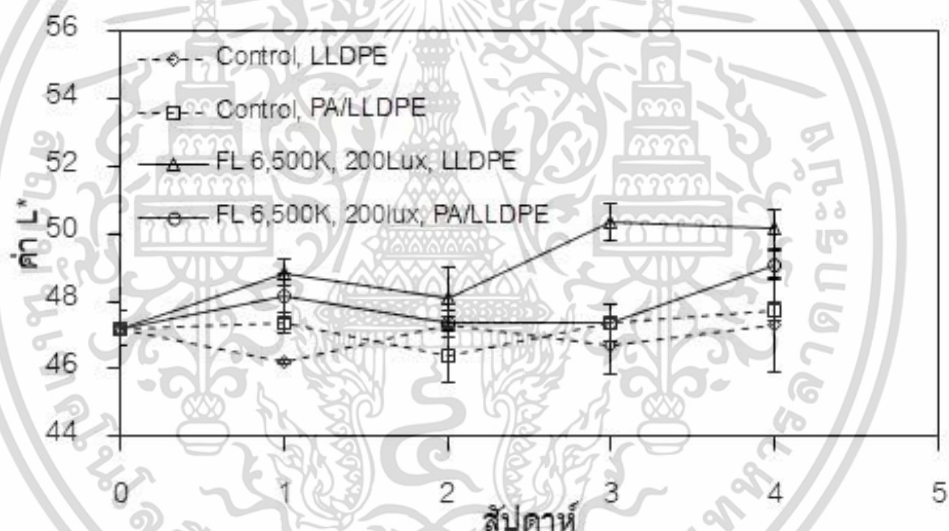
ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในระหว่างระยะเวลาเก็บรักษา แหล่งกำเนิดแสงสว่างมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาไว้ในสภาวะที่ไม่มีแสงสว่าง แหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าอุณหภูมิสีมากและโดยเฉพาะแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าความสว่างมากมีแนวโน้มทำให้ไส้กรอกเกิดการเปลี่ยนแปลงสีมากขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ไส้กรอกที่บรรจุในถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี (PA/LLDPE) มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $\Delta E$  น้อยกว่าไส้กรอกที่บรรจุในถุงแอลแอลดีพีอี (LLDPE) อย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ซึ่งเป็นการพิสูจน์ให้เห็นว่าชนิดของถุงบรรจุช่วยลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงได้ ตัวอย่างที่บรรจุในถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี (PA/LLDPE) และเก็บรักษาภายใต้แหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาไว้ในห้องมืด โดยผลที่ได้จากการประเมินค่าสีทั้ง 3 วิธี สอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยการประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงของสีไส้กรอกตลอดระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ ด้วยสายตา ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีที่เปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะแสงสว่างที่ต่างกันได้ในขณะที่การวิเคราะห์ภาพสื่อดิจิตอลและการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีสามารถแยกความแตกต่างของสีได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องวัดสีให้ผลแตกต่างอย่างชัดเจนที่สุด อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากเครื่องวัดสีและการวิเคราะห์

ภาพสื่อดิจิตอลมีค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากภาพสื่อดิจิตอลได้มาจากการถ่ายภาพผ่านบรรจุภัณฑ์ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่การวัดด้วยเครื่องวัดสีเป็นการวัดสีผิวผลิตภัณฑ์โดยตรง และทั้งสองวิธีมีกระบวนการรับภาพของเซ็นเซอร์ที่ต่างชนิดกัน

## 4.2 การเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่างไส้กรอกบรรจุในถุงแอลแอลดีพีอี (LLDPE) และถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี (PA/LLDPE) เก็บรักษาไว้ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงแบบฟลูออเรสเซนต์ (FL) ที่มีอุณหภูมิแสงเท่ากับกับ 6500 เคลวิน และมีค่าความสว่างเป็น 200 Lux เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่บรรจุในถุงชนิดเดียวกันที่เก็บรักษาไว้ในสภาวะที่ไม่มีแสง ทำการสุ่มตัวอย่างมาวัดค่าสีทุก ๆ สัปดาห์ โดยพิจารณาค่าสีที่สำคัญของไส้กรอกคือ  $L^*$  และ  $a^*$  (Haile *et al.*, 2013 และ Böhrner *et al.*, 2014) ซึ่งผู้บริโภคมักจะพิจารณาเลือกความสดของผลิตภัณฑ์จากสีของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงค่า  $L^*$  และ  $a^*$  ของตัวอย่างทั้งหมดแสดงอยู่ใน รูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 ตามลำดับ

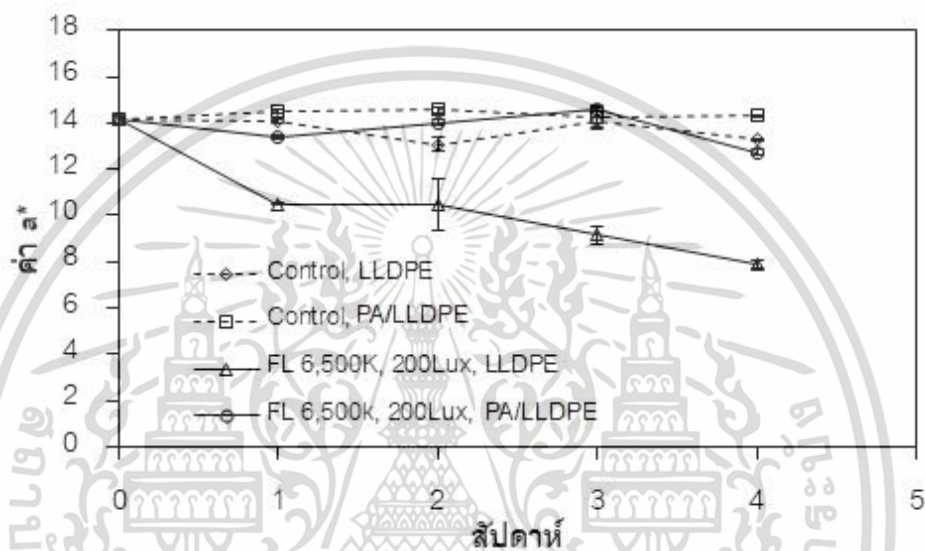


รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่า  $L^*$  ของไส้กรอกในระหว่างการจัดเก็บเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ตัวอย่างควบคุม คือ ไส้กรอกที่จัดเก็บในห้องปราศจากแสง)

รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างไส้กรอกที่เก็บรักษาไว้ในสภาวะแหล่งกำเนิดแสงแบบ FL ที่มีอุณหภูมิสีเป็น 6,500 เคลวิน และมีค่าความสว่างเป็น 200 ลักซ์ มีแนวโน้มค่า  $L^*$  เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษาอย่างชัดเจน โดยในสัปดาห์ที่ 4 ตัวอย่างไส้กรอกในถุงแอลแอลดีพีอี (LLDPE) และถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี (PA/LLDPE) มีค่าความสว่างเท่ากับ  $50.15 \pm 0.58$  และ  $49.09 \pm 0.42$  ตามลำดับ ตัวอย่างไส้กรอกในถุงแอลแอลดีพีอี (LLDPE) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า  $L^*$  มากกว่าตัวอย่างในถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี (PA/LLDPE) ภายใต้สภาวะแหล่งกำเนิดแสงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกัน ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมทั้งที่บรรจุในถุงแอลแอลดีพีอี (LLDPE) และถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี (PA/LLDPE) ในสถานะที่ไม่มีแสง มีค่า  $L^*$  ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของค่า  $L^*$  ในตัวอย่างไส้กรอกที่เก็บรักษาไว้ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงเป็นเพราะว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) ที่แผ่มาจากแหล่งกำเนิดแสง โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดแสงแบบฟลูออเรสเซนต์ที่มีโครงสร้างเป็นหลอดแก้วสุญญากาศและมีไอปรอทอยู่ข้างใน เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านทำให้ไอปรอทปล่อยพลังงานในรูปรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Böhner *et al.*, 2014)



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  ของไส้กรอกในระหว่างการจัดเก็บเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (ตัวอย่างควบคุม คือ ไส้กรอกที่จัดเก็บในห้องปราศจากแสง)

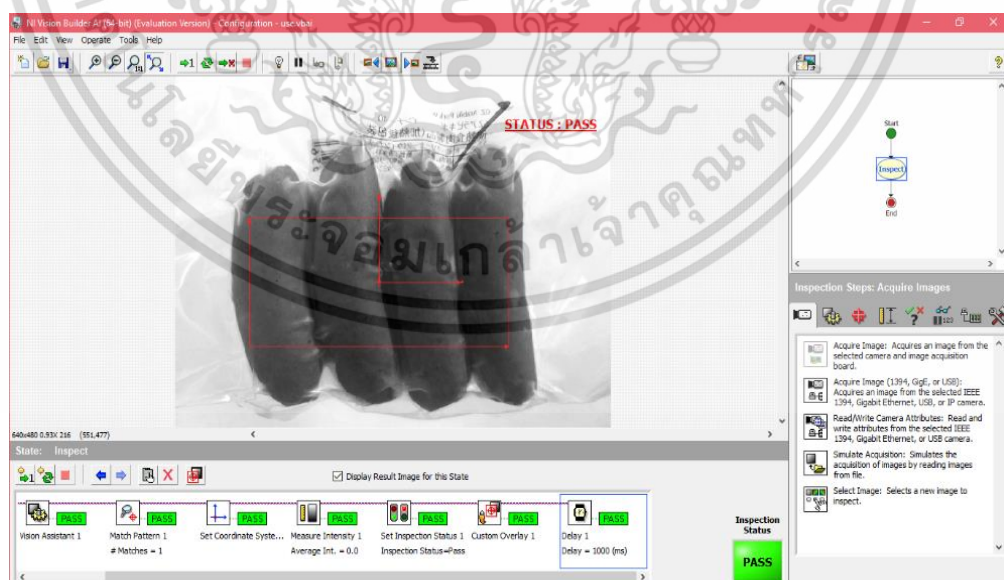
สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า  $a^*$  หรือค่าความเป็นสีแดงของตัวอย่างไส้กรอกบรรจุในถุงแอลแอลดีพีอี (LLDPE) และถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี (PA/LLDPE) แสดงอยู่ใน รูปที่ 4.2 ซึ่งพบว่าไส้กรอกที่บรรจุในถุงแอลแอลดีพีอี (LLDPE) มีค่าความเป็นสีแดงลดลงตามระยะเวลาของการเก็บภายใต้สถานะที่มีแหล่งกำเนิดแสงสว่าง และเป็นตัวอย่างที่มีค่า  $a^*$  ลดลงมากที่สุด ในขณะที่ไส้กรอกที่บรรจุในถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี (PA/LLDPE) ภายใต้สถานะมีแหล่งกำเนิดแสงมีการลดลงของค่า  $a^*$  น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ การลดลงของค่า  $a^*$  ของไส้กรอกในการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Böhner *et al.* (2014) ซึ่งไส้กรอกมีไมโอโกลบินและมีไนไตรต์เป็นส่วนประกอบ เมื่อได้รับความร้อนจะกลายเป็นไนโตรโซไมโอโกลบิน และถ้าไส้กรอกสัมผัสกับแสงและออกซิเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้สีของไส้กรอกเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะการลดลงของค่า  $a^*$  (Andersen and Skibsted, 1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ชุดอุปกรณ์ตรวจสอบสีของไส้กรอกด้วยแมชชีนวิชั่น

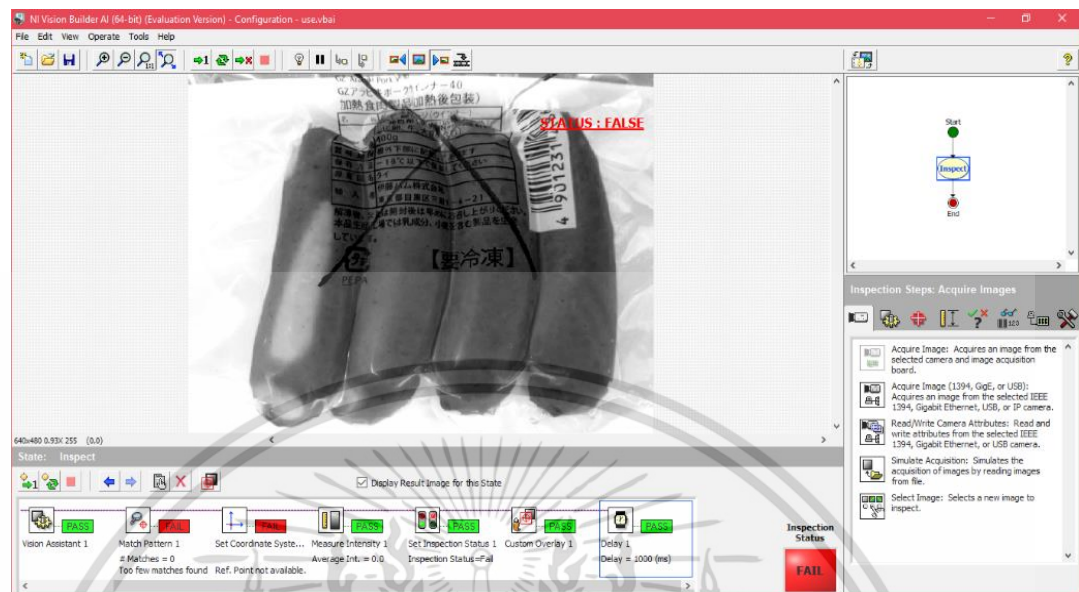
ชุดอุปกรณ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณภาพของไส้กรอก โดยจะต้องทำการตรวจสอบสีของไส้กรอกให้ได้มาตรฐานตามที่กำหนด และอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลให้คุณภาพของอาหารนั้นมีปัญหาคือการใช้แรงงานของมนุษย์ในการทำงาน ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดนี้ขึ้นได้เมื่อมนุษย์มีความเหนื่อยล้า ซึ่งต่างจากเครื่องจักรกลที่มีความแม่นยำมากกว่า มีข้อผิดพลาดน้อยกว่า เมื่อนำเครื่องจักรกลมาช่วยในการทำงานส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีคุณภาพตามที่กำหนด และมีส่วนให้ค่าใช้จ่ายนั้นลดลงตามไปด้วยซึ่งเป็นผลดีกับผู้ประกอบการในอุตสาหกรรม

ในการทดสอบการทำงานของชุดตรวจสอบนี้ ได้นำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่บรรจุในถุงแอลแอลดีพีอี (LLDPE) และถุงพีเอ/แอลแอลดีพีอี (PA/LLDPE) ที่นำออกมาจากสายการผลิต ที่มีทั้งผ่านการตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจ และตัวอย่างที่มีความผิดปกติ เช่น สีเพี้ยน สีดำ เป็นต้น ตัวอย่างที่ได้นี้ถูกนำมาถ่ายภาพเพื่อใช้สร้างเงื่อนไขการทำงานให้โปรแกรม โดยทำการทดสอบด้วยการเก็บภาพจากกล้องและชุดควบคุมแสงที่พัฒนาขึ้นมา โดยในการทดสอบจากตัวอย่างทั้งสิ้น 10 ตัวอย่าง ทำการทดสอบซ้ำไปมาจำนวน 100 ครั้ง ทั้งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านมาตรฐาน และไม่ผ่านมาตรฐาน ซึ่งผลการทดลองพบว่าชุดอุปกรณ์ที่ออกแบบนี้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของสีไส้กรอกได้ที่ 93 % ซึ่งปัจจัยที่ทำให้การตรวจสอบผิดพลาดเกิดจากการวางตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม ทำให้แสงจากภายนอกลอดผ่านเข้ามาส่งผลให้ภาพสีไส้กรอกผิดเพี้ยนไป ดังภาพตัวอย่างผลการทดลองต่อไปนี้

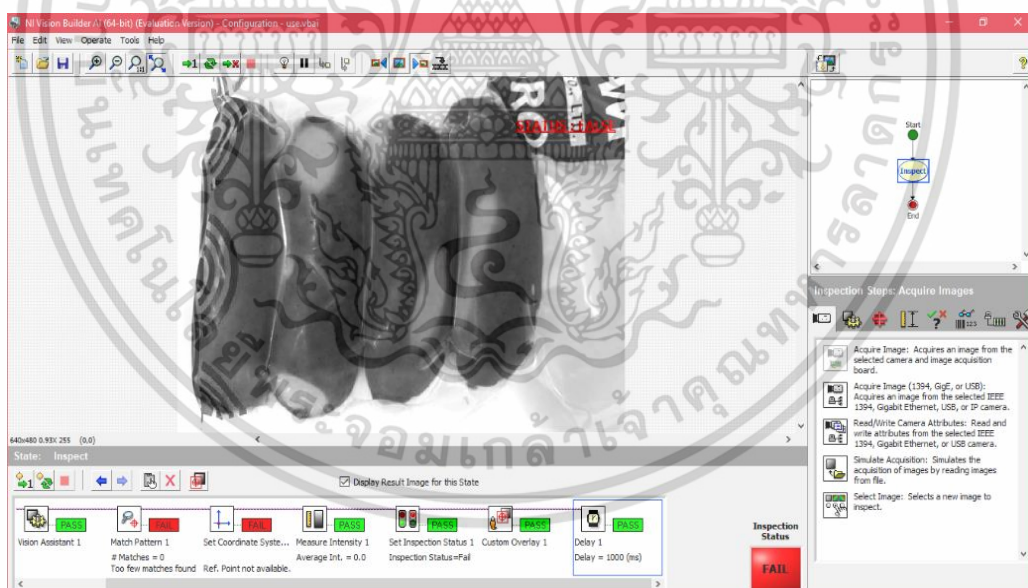


รูปที่ 4.3 การตรวจสอบไส้กรอกที่มีสีปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

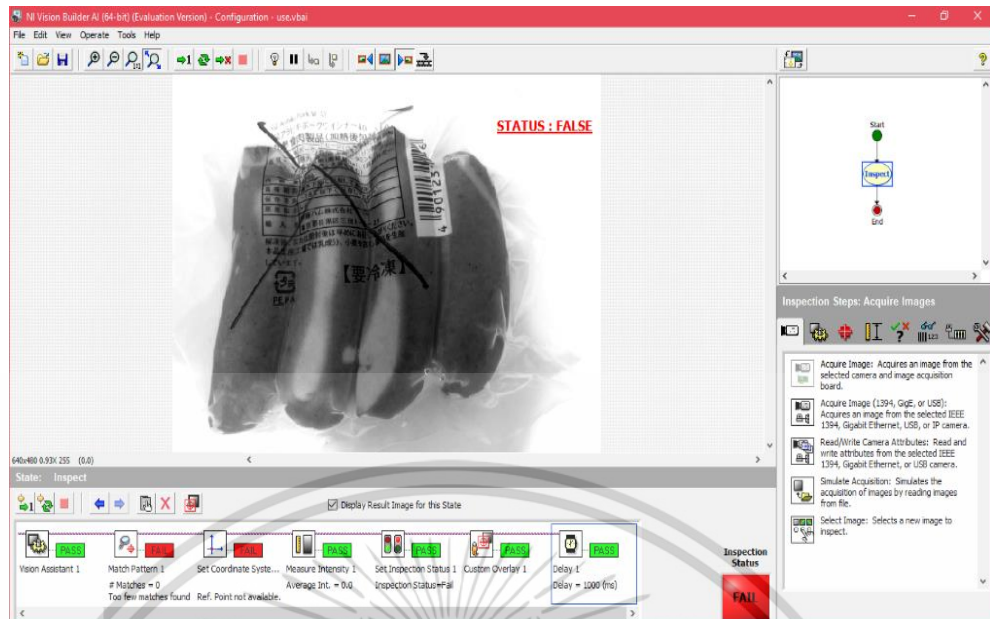


รูปที่ 4.4 การตรวจสอบไส้กรอกที่มีสีไม่ปกติ

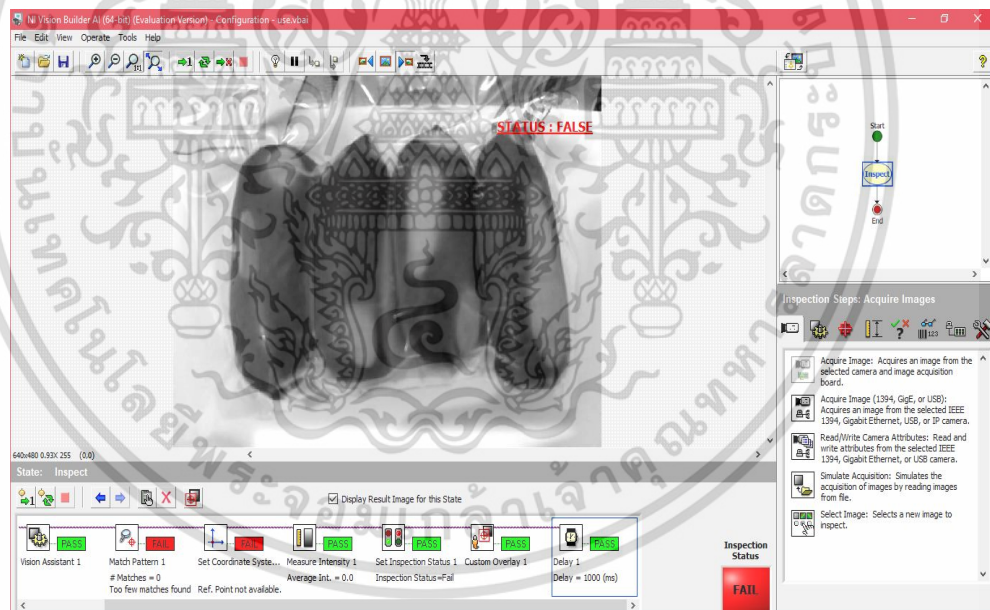


รูปที่ 4.5 การตรวจสอบไส้กรอกที่มีสีไม่ปกติจำนวนหลายจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 (ต่อ) การตรวจสอบไส้กรอกที่มีสีไม่ปกติจำนวนหลายจุด



รูปที่ 4.5 (ต่อ) การตรวจสอบไส้กรอกที่มีสีไม่ปกติจำนวนหลายจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การเก็บรักษาไส้กรอกที่สภาวะแสงสว่างที่แตกต่างกันส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของไส้กรอก ซึ่งจัดเป็นพารามิเตอร์สำคัญตัวหนึ่งที่ใช้ในการตัดสินใจทางด้านคุณภาพของผู้บริโภค โดยการตรวจประเมินด้วยสายตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงสีไส้กรอกที่บรรจุในถุงโพลีเอไมด์+โพลีเอทิลีนเชิงเส้นความหนาแน่นต่ำ (Polyamide+ Linear Low-Density Polyethylene; PA+ LLDPE) ภายใต้สภาวะแสงสว่างที่ต่างกันได้ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยภาพสีดิจิทัลและจากเครื่องวัดสีสามารถแยกความแตกต่างนั้นได้และให้ผลที่สอดคล้องกัน จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ภาพสีดิจิทัลสามารถใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการตรวจสอบคุณภาพไส้กรอกทางกายภาพแทนการตัดสินใจด้วยสายตามนุษย์ได้ ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์กับการพัฒนาโปรแกรมได้หลากหลายระบบปฏิบัติการ เช่น การพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน เพื่อให้ผู้ใช้งานในส่วนของการควบคุมและประกันคุณภาพในโรงงานสามารถตรวจสอบคุณภาพด้วยความแม่นยำทั้งในและนอกสถานที่ และสามารถนำเทคนิควิธีนี้ไปใช้ในการสร้างและพัฒนาเครื่องตรวจสอบและประเมินผลแบบอัตโนมัติต่อไปได้ โดยก่อนการพัฒนา ระบบประมวลผลภาพเพื่อใช้ในงานควบคุมคุณภาพควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกด้วยวิธีประมวลผลภาพเพิ่มเติม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ ในแต่ละสัปดาห์

จากการทดลอง โดยการนำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกมาทำการตรวจวัดด้วยระบบแมชชีนวิชั่น ในการทำการทดลองพบว่า สามารถตรวจสอบความถูกต้องของสีไส้กรอกได้ถูกต้องที่ 93%ของการทดสอบ 100 ซ้ำจาก 10 ตัวอย่างทดลอง ซึ่งปัจจัยที่ทำให้การตรวจสอบผิดพลาดเกิดจากการวางตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม ทำให้แสงจากภายนอกลอดผ่านเข้ามาส่งผลให้ สีไส้กรอกผิดเพี้ยนไป ระบบที่ออกแบบนี้สามารถพัฒนาไปสู่ระบบคัดแยกแบบอัตโนมัติ หรือพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาเพื่อให้สะดวกในการใช้งานต่อไปได้

## เอกสารอ้างอิง

- Abdullah, M.Z., Mohamad-Saleh J., Fathinul-Syahir A.S. and B.M.N. Mohd-Azemi. 2005. Discrimination and classification of fresh-cut starfruits (*Averrhoa carambola* L.) using automated machine vision system. **Journal of Food Engineering** 2006 (76): 506–523
- Andersen, H.J. and L.H. Skibsted. 1992. Kinetics and mechanism of thermal-oxidation and photooxidation of nitrosylmyoglobin in aqueous solution. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 40: 1741-1750
- Böhner, N., Hösl, F., Rieblinger, K. and W. Danzl. 2014. Effect of retail display illumination and headspace oxygen concentration on cured boiled sausages. **Food Packaging and shelf life** 1: 131-139.
- Eyiler, E. and A. Oztan. 2011. Production of frankfurters with tomato powder as a natural additive. **LWT – Food Science and technology** 44 (1): 307 – 311.
- Gibis, D., K. Rieblinger. 2011. Oxygen scavenging films for food application. **Procedia Food Science** 1: 229-234.
- Haile, D., de Smet, S., Claeys, E. and E. Vossen. 2013. Effect of light, packaging condition and dark storage durations on colour and lipid oxidative stability of cooked ham. **Journal of Food Sci Technol** 50: 239-247.
- Igathinathane, C., Pordesimo, L.O. and W.D. Batchelor. 2008. “Major orthogonal dimensions measurement of food grains by machine vision using ImageJ”. **Food Research International** 42: 76–84.
- León, K. Mery, D. Pedreschi, F. and J. León. 2006. Color measurement in  $L^*a^*b^*$  units from RGB digital images. **Food Research International** 39: 1084-1091.
- Mery, D. and F. Pedreschi. 2005. Segmentation of colour food images using a robust algorithm. **Journal of Food Engineering** 66: 353-360.
- Møller, J.K.S., Bertelsen, G. and L. H. Skibsted. 2002. Photooxidation of nitrosylmyoglobin at low oxygen pressure. Quantum yields and reaction stoichiometries. **Meat Science** 60(4): 421-425.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Scott, U.E. 1998. Computer Vision and Image Processing a practical approach using CVIPtools. Prentice-Hall International (UK) Limited, England.
- Summo, C., Caponio, F. and A. Pasqualone. 2006. Effect of vacuum-packaging on the quality level of ripened sausages. **Meat Science** 74: 249-254.
- Rosenvold, K. and E. Wiklund. 2011. Retail colour display life of chilled lamb as affected by processing conditions and storage temperature. **Meat Science**: 354-360.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องเดิมการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 54 ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# The Proceedings of 54<sup>th</sup> KASETSART UNIVERSITY ANNUAL CONFERENCE

สาขาวิทยาศาสตร์ Science  
สาขาพันธุวิศวกรรม Genetic Engineering  
สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์  
Architecture and Engineering  
สาขาอุตสาหกรรมเกษตร Agro-Industry  
สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม  
Natural Resources and Environment

กลุ่มที่ 2



นวัตกรรมด้านการเกษตรเพื่อห่วงโซ่มูลค่าระดับโลก

## Agricultural Innovation for Global Value Chain



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลของแสงสว่างที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอกหมูในระหว่างการจัดเก็บ

## Effect of illumination on color changes in cooked pork sausages during storage

ขวัญชัย ขอบสำราญ<sup>1\*</sup> เอกพงษ์ ชีวติโสภณ<sup>1</sup> ทวีพล ชื้อสตัย<sup>2</sup> และ นวภัทรา หนูนาค<sup>1</sup>Kwanchai chopsamran<sup>1\*</sup>, Ekkapong Cheevitsopon<sup>1</sup>, Taweepol Suesut<sup>2</sup> and Navaphattra Nunak<sup>1</sup>

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลของแสงสว่างที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอกหมูที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกใสทำจากวัสดุโพลีเอทิลีน (LLDPE) และไนลอน (Nylon+LLDPE) ในระหว่างการจัดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3±1 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 สัปดาห์ เพื่อประกอบการจำหน่ายให้กับผู้บริโภค โดยเปรียบเทียบการจัดเก็บภายใต้สภาวะปราศจากแสงสว่างและแสงสว่างที่มีแหล่งกำเนิดแสงต่างชนิดกัน (ฟลูออเรสเซนต์และแอลอีดี) ที่อุณหภูมิแสงเท่ากับ 3000 เคลวิน และ 6500 เคลวิน โดยปรับระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสงกับผลิตภัณฑ์ให้มีค่าความสว่างบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์เท่ากับ 200 และ 500 ลักซ์ โดยประมาณ ผลประเมินการเปลี่ยนแปลงค่าสีของไส้กรอกซึ่งได้จากวิธีการเทียบสีด้วยสายตามนุษย์ การวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (ระบบ RGB) และการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี (ระบบ CIE L\*a\*b\*) ให้ผลที่สอดคล้องกัน โดยแสงสว่างมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกที่บรรจุอยู่ในถุง LLDPE อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีอธิบายได้จากการลดลงของค่าสีแดง (a\*) หรือการเพิ่มขึ้นของค่าความสว่าง (L\*) การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการประมวลผลภาพดิจิทัลสามารถใช้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการควบคุมและประกันคุณภาพในโรงงาน ซึ่งสามารถพัฒนาเป็นระบบตรวจสอบและประเมินผลแบบอัตโนมัติหรือพัฒนาเป็นอุปกรณ์พกพาต่อไปได้

## ABSTRACT

The objective of this article is to study the effect of illumination on color changes in cooked pork sausage packed in transparency plastic polyethylene (LLPDE) and nylon (nylon+LLDPE) and stored at temperature of 3±1°C for 4 weeks under various light conditions before conveying them to products distribution to the consumers. The experiments were compared among the storage conditions of dark and light from different light sources (fluorescent and LED) at light temperatures of 3000 K and 6500 K. The distance between light source and sample was adjusted until the light intensity incident on a sample surface was close to 200 and 500 lux. The results obtained from the visual inspection, image analysis (RGB model) and colour measuring instrument were in agreement among them and indicated that sausages packed in LLPDE had a significant highest discoloration (P<0.05) in the light storage. Color changes were estimated by decreasing of redness (a\*) or increasing of lightness (L\*). Finally, it can be concluded that the digital image processing could be used as an alternative technique to quality control and assurance in the factory and this could be developed to an automatic inspection and evaluation system or a portable device.

Key Words: cooked pork sausage, light source, illumination, color, image processing

\* Corresponding author; e-mail address: kwanchai.kch@gmail.com

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520<sup>1</sup>Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520<sup>2</sup>Department of Instrumentation and Control Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

## คำนำ

สีเป็นพารามิเตอร์แรกทางด้านคุณภาพที่ถูกประเมินโดยผู้บริโภคและเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ผู้บริโภคใช้สำหรับตัดสินใจก่อนการเลือกซื้อหรือแม้กระทั่งก่อนการบริโภค การประเมินลักษณะของสีมีหลายวิธี ได้แก่ การประเมินด้วยสายตามนุษย์ (visual inspection) การวัดด้วยเครื่องวัดสี (color measuring instrument) หรือการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล (digital image analysis) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ภาพซึ่งอาจใช้โปรแกรมสำเร็จรูปหรือนักวิจัยอาจพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในงานเฉพาะด้าน สำหรับงานด้านอาหารนิยมวัดสีด้วยเครื่องวัดสีเพื่อการประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์ด้วยระบบ CIE-LAB ( $L^*a^*b^*$ ) อย่างไรก็ตาม พื้นที่ในการวัดสีของเครื่องวัดสีในปัจจุบันมีขนาดพื้นที่ที่จำกัด จึงไม่เหมาะสำหรับอาหารหลายชนิด แต่สามารถใช้การวิเคราะห์ภาพได้โดยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลซึ่งเป็นการบันทึกภาพในแต่ละพิกเซลด้วยเซนเซอร์ที่มีความสามารถในการรับความเข้มแสงสีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) โดยอยู่ในรูปแบบของโมเดล RGB และปัจจุบันได้มีนักวิจัยพัฒนากระบวนการแปลงภาพสีดิจิทัล RGB ให้อยู่ในรูปแบบสีในระบบ  $L^*a^*b^*$  (Mery and Pedreschi, 2005; León *et al.*, 2006) ซึ่งความแม่นยำที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวยังคงขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ต้องการวัดสีและความสัมพันธ์ของระบบสีที่เกิดจากประเด็นของการศึกษา ดังนั้น ในขั้นตอนก่อนการพัฒนากระบวนการประมวลผลภาพเพื่อนำไปใช้ จึงจำเป็นต้องศึกษาความสัมพันธ์ของระบบสีในเบื้องต้นเสียก่อน

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีได้กรอกหมูในระหว่างการเก็บรักษา โดยคำนึงถึงระยะเวลาของการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ ซึ่งเริ่มตั้งแต่สิ้นสุดกระบวนการผลิต จัดเก็บในห้องเก็บผลิตภัณฑ์ จนถึงจัดวางบนชั้นวางผลิตภัณฑ์เพื่อรอการจำหน่ายสู่ผู้บริโภค ซึ่งใช้ระยะเวลาทั้งสิ้นประมาณ 30 วัน โดยในระหว่างกระบวนการดังกล่าวผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องได้รับแสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้กรอกเกิดการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน นักวิจัยจำนวนมากได้ศึกษาเกี่ยวกับการรักษาคุณภาพของได้กรอกในประเด็นต่าง ๆ เช่น ชนิดของบรรจุภัณฑ์ วิธีการบรรจุ และส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น (Summo *et al.*, 2006; Rubio *et al.*, 2008) อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาในประเด็นสภาวะของการจัดเก็บได้กรอกในบรรจุภัณฑ์โดยเฉพาะการจัดเก็บในที่มืดและที่สว่างด้วยแหล่งกำเนิดแสงต่างชนิดกันมีอยู่ค่อนข้างจำกัด Haile *et al.* (2013) ศึกษาผลของวิธีการบรรจุและการจัดเก็บแฮมสุกในพื้นที่ที่มีแสงและในที่มืดที่มีต่อความคงตัวของสีและการออกซิเดชันของลิพิดในระหว่างการจัดเก็บ 48 ชั่วโมง ซึ่งพบว่า การเก็บผลิตภัณฑ์แฮมสุกในที่มืดไม่ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงแต่ยังคงมีการออกซิเดชันของลิพิดเกิดขึ้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ห่อหุ้มด้วยฟอยล์สามารถลดการเปลี่ยนของสีได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์โปร่งใสในกรณีการจัดเก็บในที่มืด ผลิตภัณฑ์ที่โดนแสงจะมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ), เมทเมอโกลบิน และองศาฮิว (Hue angle,  $H^\circ$ ) สูงขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ), โครมา (Chroma) และไนโตรซอไมโอโกลบินต่ำลง Böhrner *et al.* (2014) ศึกษาผลของแหล่งกำเนิดแสง (หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL), หลอดเมทัลฮาไลด์ (MH), หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีการปรับสีของแสง (FL-MP) และหลอดแอลอีดี (LED)) และความเข้มข้นของออกซิเจน (0.0%, 0.5%, 1.0% และ 2.0%) ที่มีต่อการเปลี่ยนสีและการออกซิเดชันของได้กรอกต้ม ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนสีของได้กรอกต้มเกิดจากการออกซิเดชันของไนโตรซอไมโอโกลบิน (MbNO) เป็นเมทเมอโกลบิน (MMb) ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงภายใต้แหล่งกำเนิดแสงสว่าง ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง ( $a^*$ ) ของได้กรอกลดลง โดยหลอดกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น (300-550 nm) เช่น FL จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีได้อย่างมาก ส่วนหลอดที่มีความยาวคลื่นกลาง (551-800 nm) และคลื่นยาว (801-1100 nm) เช่น MH, FL-MP และ LED จะช่วยลดการเปลี่ยนสีลงได้ อย่างไรก็ตาม ยังคงขาดการศึกษาเกี่ยวกับชนิดของแหล่งกำเนิดแสง อุณหภูมิของแสง และระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลต่อค่าความเข้มของแสงหรือความส่องสว่างบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์ รวมทั้งยังคงขาดการศึกษาความสัมพันธ์ของระบบสีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสีใ้กรอกภายใต้สภาวะแสงสว่างที่แตกต่างกัน

ดังนั้น บทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแสงสว่าง (ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง อุณหภูมิของแสงและความส่องสว่างบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์) ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของใ้กรอกที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกใสทำด้วยวัสดุชนิดโพลีเอทิลีน (LLDPE) และไนลอน (Nylon + LLDPE) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $3 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยเป็นการศึกษาที่พิจารณาถึงสภาวะการจับเก็บจริงในตู้เก็บสินค้า ซึ่งจำเป็นต้องให้แสงสว่างกับผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการเปรียบเทียบวิธีการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยวิธีการเทียบสีด้วยสายตามนุษย์ การวิเคราะห์ภาพสีดิจิทัลในรูปแบบของโมเดล RGB และการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีในระบบสี CIE  $L^*a^*b^*$  เพื่อนำไปพิจารณาสำหรับการพัฒนาระบบประมวลผลภาพของใ้กรอกในระหว่างการจับเก็บแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ เพื่อให้เกิดประโยชน์สำหรับการนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลายในอนาคต

## อุปกรณ์และวิธีการ

### การเตรียมตัวอย่าง

ใ้กรอกหมูรมควินสีเหลือง-น้ำตาล (Bayern Wiener) มีส่วนผสมหลักคือ เนื้อหมู (62%) ไขมัน (13%) และส่วนผสมอื่น ๆ (25%) โดยนำเนื้อหมูชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มาตัดแต่งเลือกหาสิ่งแปลกปลอมและสิ่งไม่พึงประสงค์และนำเข้าเครื่องบดเนื้อ จากนั้นผสมเนื้อที่บดแล้วเข้ากับส่วนผสมอื่น ๆ พร้อมน้ำเย็น (อุณหภูมิ 0 – 4 องศาเซลเซียส) ในเครื่องผสมแบบสุญญากาศ ที่ความดัน 0.8 บาร์ เป็นเวลา 6 นาที จะได้เนื้อสำหรับขึ้นรูปเป็นใ้กรอก เรียกว่า “อิมัลชันแบบเนื้อหยาบ” นำอิมัลชันบดเข้าเครื่องขึ้นรูปเพื่ออัดเข้าไปในเคสซึ่งซึ่งทำจากใ้แกะ พร้อมกับบิดแบ่งเป็นท่อนสั้น ๆ ต่อกันเป็นเส้นยาว จากนั้นอบเส้นอิมัลชัน (ใ้กรอกดิบ) ในเครื่องอบแบบมีระบบหมุน เพื่อให้ใ้กรอกสุก โดยมีอุณหภูมิใจกลางเท่ากับ 71 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และนำไปลดอุณหภูมิจนใ้กรอกมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส จากนั้นในขั้นตอนสุดท้ายซึ่งเป็นขั้นตอนการบรรจุ ได้นำใ้กรอกมาตัดเป็นท่อนตามที่แบ่งไว้แล้วบรรจุใส่ถุง จำนวน 7 ชิ้นต่อถุง ปิดผนึกถุงด้วยเครื่องบรรจุแบบสุญญากาศ โดยถุงที่ใช้บรรจุเป็นถุงพลาสติกใส 2 ชนิด ได้แก่ 1) ถุงไนลอน ซึ่งทำจากวัสดุไนลอนและโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene; LLDPE) และ 2) ถุงพีอีซึ่งทำจากวัสดุโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น โดยทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ

### การจัดเก็บ

จัดใ้กรอกบรรจุในตะกร้าและเก็บไว้ในห้องควบคุมภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน โดยทำสัญลักษณ์ไว้บนถุงเพื่อแสดงชนิดของถุงที่บรรจุใ้กรอกและสภาวะแสงสำหรับการจัดเก็บ นำถุงใ้กรอกออกมาประเมินลักษณะ ของผลิตภัณฑ์สัปดาห์ละครั้ง จำนวน 4 สัปดาห์ โดยกรณีการประเมินด้วยสายตามนุษย์และการบันทึกภาพดิจิทัลซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย ใช้ตัวอย่างทดสอบชุดเดิมสำหรับทั้ง 4 สัปดาห์ สำหรับการวิเคราะห์สีด้วยเครื่องวัดสี ใช้วิธีการสุ่มถุงตัวอย่างออกมาวัดตามเวลาที่กำหนดไว้ ทำการบันทึกอุณหภูมิภายในห้องจัดเก็บผลิตภัณฑ์ทุก 5 นาที ด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิและตัวบันทึกข้อมูล เพื่อให้แน่ใจว่าอุณหภูมิของห้องไม่แปรผันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



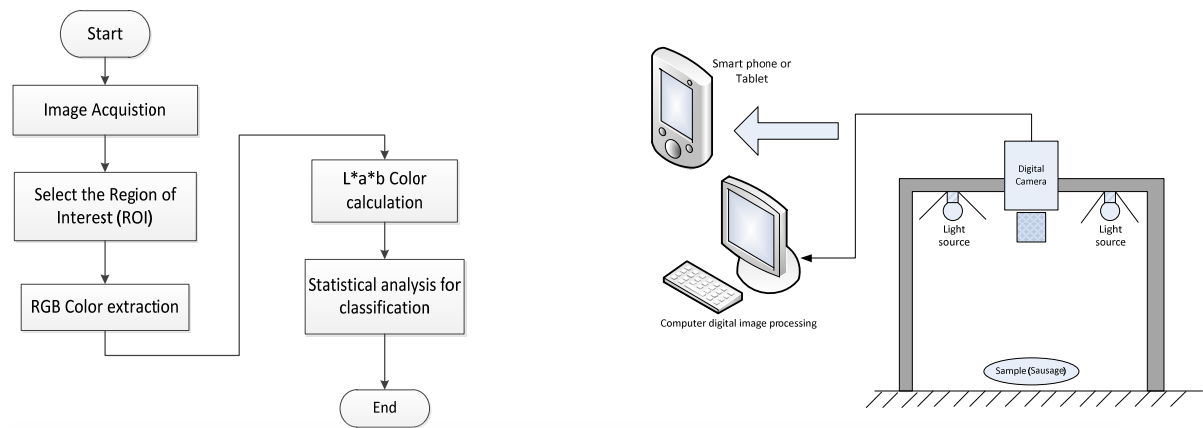


Figure 1 Digital image processing for evaluation of sausage color changes

### การวิเคราะห์ทางสถิติ

ประมวลผลข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรม SPSS โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี One way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### ผลของแสงสว่างและชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอก

จากการศึกษาผลของแสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง 2 ชนิด ได้แก่ หลอด FL และ หลอด LED ที่อุณหภูมิแสง 3000 เคลวิน และ 6500 เคลวิน ที่มีต่อการเปลี่ยนสีของไส้กรอกที่บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกใสทำด้วยวัสดุชนิดโพลีเอทิลีน (LLDPE) และไนลอน (Nylon + LLDPE) ในสภาวะสุญญากาศ โดยจัดเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $3 \pm 1$  องศาเซลเซียส ระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยไส้กรอกเริ่มต้นการเก็บมีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เท่ากับ  $47.21 \pm 0.51$  และค่าสีแดง ( $a^*$ ) เท่ากับ  $14.18 \pm 0.04$  และค่าสีเหลืองเท่ากับ  $26.52 \pm 0.29$  ดังแสดงใน Figure 2 ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกด้วยสายตาเปรียบเทียบกับมาตรฐานสีของบริษัทที่ใช้ในเชิงพาณิชย์และค่าสีของตัวอย่างที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE ซึ่งคำนวณในรูปของการเปลี่ยนแปลงสีรวม ( $\Delta E$ ) แสดงใน Table 1 สำหรับการวิเคราะห์สีจากภาพดิจิทัลในระบบ RGB แสดงใน Table 2

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในระหว่างระยะเวลาเก็บรักษา แหล่งกำเนิดแสงสว่างมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาไว้ในสภาวะที่ไม่มีแสงสว่าง แหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าอุณหภูมิสีมากและโดยเฉพาะแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าความสว่างมากมีแนวโน้มทำให้ไส้กรอกเกิดการเปลี่ยนแปลงสีมากขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ไส้กรอกที่บรรจุในถุง Nylon+LDPE มีการเปลี่ยนแปลงค่า  $\Delta E$  น้อยกว่าไส้กรอกที่บรรจุในถุง LLDPE อย่างชัดเจน ( $P < 0.05$ ) ซึ่งเป็นการพิสูจน์ให้เห็นว่าชนิดของถุงบรรจุช่วยลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงได้ ตัวอย่างที่บรรจุในถุง Nylon+LLDPE และเก็บรักษาภายใต้แหล่งกำเนิดแสงต่าง ๆ มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวมใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมที่เก็บรักษาไว้ในห้องมืด โดยผลที่ได้จากการประเมินค่าสีทั้ง 3 วิธี สอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยการประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงของสีไส้กรอกตลอดระยะเวลาการเก็บ 4 สัปดาห์ ด้วยสายตา ไม่สามารถแยกความแตกต่างของสีที่เปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะแสงสว่างที่ต่างกันได้ในขณะที่การวิเคราะห์ภาพดิจิทัลและการวัดสีด้วยเครื่องวัดสีสามารถแยกความแตกต่างของสีได้ โดยเฉพาะผลที่ได้จากการวัดสีให้ผลแตกต่างอย่างชัดเจนที่สุด อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการวัดสีและการวิเคราะห์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพสีดิจิตอลมีค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากภาพสีดิจิตอลได้มาจากการถ่ายภาพผ่านบรรจุภัณฑ์ในขณะที่การวัดด้วยเครื่องวัดสีเป็นการวัดสีผิวผลิตภัณฑ์โดยตรง และทั้งสองวิธีมีกระบวนการรับภาพของเซ็นเซอร์ที่ต่างชนิดกัน

**Table 1** Changes in color of sausages under various light sources and packages during storage for 4 weeks evaluated by visual inspection and color measuring instrument

Light sources	Package types	$\Delta E$	Visual inspection
Control	LLDPE	1.76±0.40ef	Acceptance
FL 3,000K, 500Lux		7.46±0.16b	Unacceptance
FL 6,500K, 200Lux		5.72±0.18c	Unacceptance
FL 6,500K, 500Lux		8.94±0.40a	Unacceptance
LED 6,500K, 500Lux		8.95±0.74a	Unacceptance
Control	Nylon+LLDPE	0.97±0.22g	Acceptance
FL 3,000K, 500Lux		2.28±0.28de	Acceptance
FL 6,500K, 200Lux		1.27±0.19fg	Acceptance
FL 6,500K, 500Lux		1.59±0.53fg	Acceptance
LED 6,500K, 500Lux		2.92±0.32d	Acceptance

Different letters in the same column indicate that values are significantly different ( $P < 0.05$ ). The control sample was stored in the dark room.

**Table 2** Changes in color of sausages under various light sources and packaging during storage for 4 weeks evaluated by color digital image analysis in RGB and converted to "L" and "a" values

Light sources	Package types	RGB color space			CIE LAB	
		R	G	B	L <sup>1</sup>	a <sup>1</sup>
Control	LLDPE	224	181	94	75	6
FL 3,000K, 500Lux		221	203	133	81	-3
FL 6,500K, 200Lux		229	208	132	83	-3
FL 6,500K, 500Lux		226	209	145	83	-3
LED 6,500K, 500Lux		211	180	104	79	1
Control	Nylon+LLDPE	220	177	93	74	6
FL 3,000K, 500Lux		219	194	136	79	1
FL 6,500K, 200Lux		219	190	126	78	2
FL 6,500K, 500Lux		224	195	130	79	2
LED 6,500K, 500Lux		225	191	117	78	2

<sup>1</sup>"L" and "a" values were converted using this website ([www.colormine.org/convert/rgb-to-lab](http://www.colormine.org/convert/rgb-to-lab))

### การเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่างไส้กรอกบรรจุในถุง LLDPE และถุง Nylon+LLDPE เก็บรักษาไว้ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงแบบ FL ที่มีอุณหภูมิแสงเท่ากับกับ 6500 เคลวิน และมีค่าความสว่างเป็น 200 Lux เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่บรรจุในถุงชนิดเดียวกันที่เก็บรักษาไว้ในสภาวะที่ไม่มีแสง ทำการสุ่มตัวอย่างมาวัดค่าสีทุก ๆ สัปดาห์ โดยพิจารณาค่าที่สำคัญของไส้กรอกคือ L\* และ a\* (Haile *et al.*, 2013 และ Böhrer *et al.*, 2014) ซึ่งผู้บริโภคมักจะพิจารณาเลือกความสดของผลิตภัณฑ์จากสีของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงค่า L\* และ a\* ของตัวอย่างทั้งหมดแสดงอยู่ใน Figure 2 และ Figure 3 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

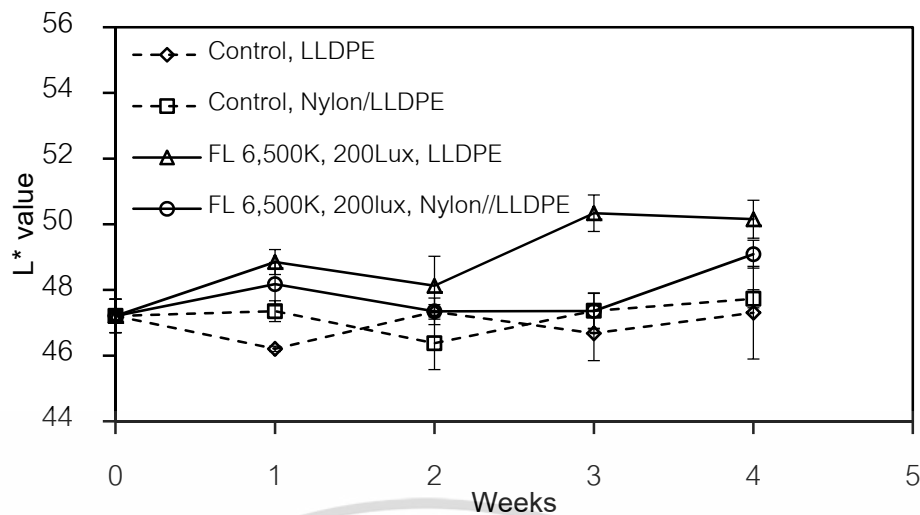


Figure 2 Changes in the L\* value of sausages during storage for 4 weeks. (Control sample was storage in dark room)

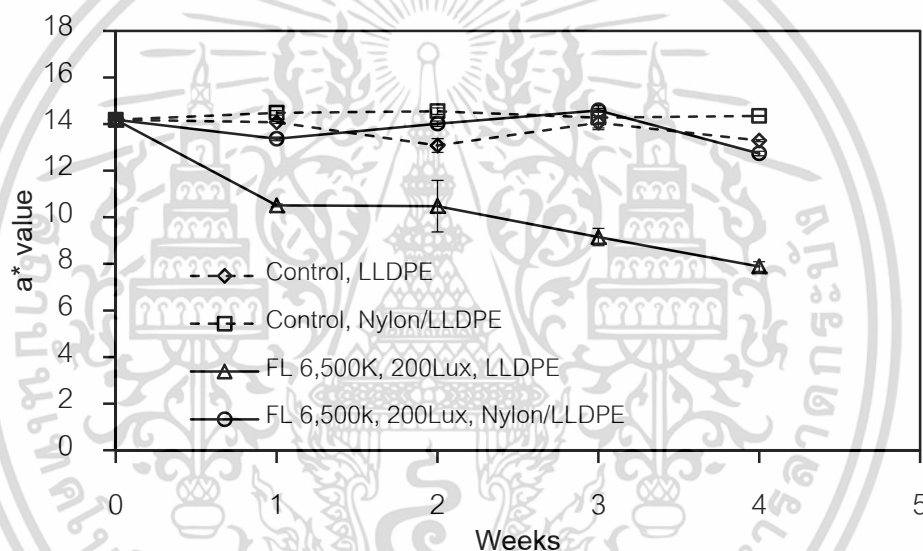


Figure 3 Changes in the a\* value of sausages during storage for 4 weeks. (Control sample was storage in dark room)

Figure 2 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างไส้กรอกที่เก็บรักษาไว้ในสภาวะแหล่งกำเนิดแสงแบบ FL ที่มีอุณหภูมิสีเป็น 6,500 เคลวิน และมีค่าความสว่างเป็น 200 ลักซ์ มีแนวโน้มค่า L\* เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเก็บรักษาอย่างชัดเจน โดยในสัปดาห์ที่ 4 ตัวอย่างไส้กรอกในถุง LLDPE และในถุง Nylon+LLDPE มีค่าความสว่างเท่ากับ  $50.15 \pm 0.58$  และ  $49.09 \pm 0.42$  ตามลำดับ ตัวอย่างไส้กรอกในถุง LLDPE มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า L\* มากกว่าตัวอย่างในถุง Nylon+LLDPE ภายใต้สภาวะแหล่งกำเนิดแสงแบบเดียวกัน ในขณะที่ตัวอย่างควบคุมทั้งที่บรรจุในถุง LLDPE และถุง Nylon+LLDPE ในสภาวะที่ไม่มีแสง มีค่า L\* ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา การเพิ่มขึ้นของค่า L\* ในตัวอย่างไส้กรอกที่เก็บรักษาไว้ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงเป็นเพราะว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) ที่แผ่มาจากแหล่งกำเนิดแสง โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดแสงแบบฟลูออเรสเซนต์ที่มีโครงสร้างเป็นหลอดแก้วสุญญากาศและมีไอปรอทอยู่ข้างใน เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านทำให้ไอปรอทปล่อยพลังงานในรูปรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Böhner et al., 2014) สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า a\* หรือค่าความเป็นสีแดงของเอกสารเป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างไส้กรอกบรรจุในถุง LLDPE และถุง Nylon+LLDPE แสดงอยู่ใน Figure 3 ซึ่งพบว่าไส้กรอกที่บรรจุในถุง LLDPE มีค่าความเป็นสีแดงลดลงตามระยะเวลาของการเก็บภายใต้สภาวะที่มีแหล่งกำเนิดแสงสว่าง และเป็นตัวอย่างที่มีค่า  $a^*$  ลดลงมากที่สุด ในขณะที่ไส้กรอกที่บรรจุในถุง Nylon+LLDPE ภายใต้สภาวะมีแหล่งกำเนิดแสงมีการลดลงของค่า  $a^*$  น้อยกว่าอย่างชัดเจน การลดลงของค่า  $a^*$  ของไส้กรอกในการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Böhner et al. (2014) ซึ่งไส้กรอกมีไมโอโกลบินและมีไนโตรไซต์เป็นส่วนประกอบ เมื่อได้รับความร้อนจะกลายเป็นไนโตรโซไมโอโกลบิน และถ้าไส้กรอกสัมผัสกับแสงและออกซิเจนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้สีของไส้กรอกเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะการลดลงของค่า  $a^*$  (Andersen and Skibsted, 1992)

### สรุป

การเก็บรักษาไส้กรอกที่สภาวะแสงสว่างที่แตกต่างกันส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของไส้กรอก ซึ่งจัดเป็นพารามิเตอร์สำคัญตัวหนึ่งที่ใช้ในการตัดสินใจทางด้านคุณภาพของผู้บริโภค โดยการตรวจประเมินด้วยสายตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงของสีภายใต้สภาวะแสงสว่างที่ต่างกันได้ในขณะที่การวิเคราะห์ด้วยภาพสีดิจิทัลและจากเครื่องวัดสีสามารถแยกความแตกต่างนั้นได้และให้ผลที่สอดคล้องกัน จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ภาพสีดิจิทัลสามารถใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการตรวจสอบคุณภาพไส้กรอกทางกายภาพแทนการตัดสินใจด้วยสายตามนุษย์ได้ ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์กับการพัฒนาโปรแกรมได้หลากหลายระบบปฏิบัติการ เช่น การพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเพื่อให้ผู้ใช้งานในส่วนของการควบคุมและประกันคุณภาพในโรงงาน สามารถตรวจสอบคุณภาพด้วยความแม่นยำทั้งในและนอกสถานที่ และสามารถนำเทคนิควิธีนี้ไปใช้ในการสร้างและพัฒนาเครื่องตรวจสอบและประเมินผลแบบอัตโนมัติต่อไปได้ โดยก่อนการพัฒนากระบวนการประมวลผลภาพเพื่อใช้ในงานควบคุมคุณภาพควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของไส้กรอกด้วยวิธีประมวลผลภาพเพิ่มเติม ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ ในแต่ละสปีดาร์

### เอกสารอ้างอิง

- Andersen, H.J. and L.H. Skibsted. L. H. 1992. Kinetics and mechanism of thermal-oxidation and photooxidation of nitrosylmyoglobin in aqueous solution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40: 1741-1750.
- Böhner, N., Hösl, F., Rieblinger, K. and W. Danzl. 2014. Effect of retail display illumination and headspace oxygen concentration on cured boiled sausages. *Food Packaging and shelf life I* : 131-139.
- Haile, D., de Smet, S., Claeys, E. and E. Vossen. 2013. Effect of light, packaging condition and dark storage durations on colour and lipid oxidative stability of cooked ham. *Journal of Food Sci Technol* 50: 239-247.
- León, K. Mery, D. Pedreschi, F. and J. León. 2006. Color measurement in  $L^*a^*b^*$  units from RGB digital images. *Food Research International* 39: 1084-1091.
- Mery, D. and F. Pedreschi. 2005. Segmentation of colour food images using a robust algorithm. *Journal of Food Engineering* 66: 353-360.
- Summo, C., Caponio, F. and A. Pasqualone. 2006. Effect of vacuum-packaging on the quality level of ripened sausages. *Meat Science* 74: 249-254.
- Rosenvold, K. and E. Wiklund. 2011. Retail colour display, life of chilled lamb as affected by processing conditions and storage temperature. *Meat Science*: 354-360.

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ห้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย(ขวัญชัย)ไชย์ ชอบสำราญ  
ที่อยู่ 72/1 หมู่ 8 ต.ช่องสาริกา อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี 15220

### ประวัติการศึกษา

- 2531 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาไฟฟ้าอุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- 2541 ศิลปะศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการทั่วไป  
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
- 2557 เทคโนโลยีบัณฑิต เทคโนโลยีอุตสาหกรรม (ไฟฟ้า)  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

### ประสบการณ์การทำงานและความเชี่ยวชาญ

- 2552-ปัจจุบัน บ.อีโตแฮม เบทาโกร ฟู้ดส์ จำกัด  
ผู้จัดการแผนกอาวุโสวิศวกรรม
- 2548-2552 บ.อาหารเบทเทอร์ จำกัด(ลพบุรี)  
ผู้ช่วยผู้จัดการโครงการ/ออกแบบขบวนการ/ออกแบบระบบ
- 2544-2548 บ.เบทาโกรโฮลดิ้งจำกัด  
หัวหน้าส่วนโครงการโคเซน/ปรับปรุงขบวนการผลิต
- 2531-2544 บ.อาหารเบทเทอร์ จำกัด(อ้อมน้อย)  
ผู้ช่วยหัวหน้าส่วนซ่อมบำรุง แผนกวิศวกรรม/โรงงานผลิตลูกชิ้น  
ไส้กรอก  
หัวหน้าหน่วยงานถนอมขน แผนกผลิต/โรงงานชำแหละไก่สด  
เจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุง แผนกวิศวกรรม/โรงงานชำแหละไก่สด

### ความเชี่ยวชาญ

- ออกแบบ/จัดวางผังขบวนการผลิต
- ออกแบบ/สร้างเครื่องมือและเครื่องจักรขบวนการแปรรูปอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้