

การพัฒนเครื่องต้นแบบเพื่อการตรวจสอบสีของไส้กรอก

โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

IMPROVEMENT A PROTOTYPE MACHINE FOR SAUSAGE
COLOR DETECTION BY IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

นายณพด กิจพิงษ์สินพูน

MR. NAPON KITTAWESINPOON

นายจิรภัฏฐ์ รัตนัทธา

MR. JIRAT RINRAKHA

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อการตรวจสอบสีของไส้กรอก

โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

IMPROVEMENT A PROTOTYPE MACHINE FOR SAUSAGE

COLOR DETECTION BY IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

นายณพล กิจทวีสินพูน

MR. NAPON KITTAWESINPOON

นายจิรัฏฐ์ รินรักษา

MR. JIRAT RINRAKSA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

IMPROVEMENT A PROTOTYPE MACHINE FOR SAUSAGE
COLOR DETECTION BY IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

MR. NAPON KITTAWESINPOON

MR. JIRAT RINRAKSA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF
ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

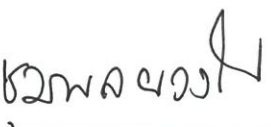
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อการตรวจสอบสีของไส้กรอกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ
IMPROVEMENT A PROTOTYPE MACHINE FOR SAUSAGE
COLOR DETECTION BY IMAGE PROCESSING TECHNIQUE

นักศึกษา	นายณพล กิจทวีสินพูน	รหัสประจำตัว	53010419
	นายจิรัฏฐ์ รินรักษา	รหัสประจำตัว	53010811

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(ผศ.ดร.ชุมพล ยวงใย)



(ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อการตรวจสอบสีของไส้กรอกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ
นักศึกษา	นายณพล กิจทวีสินพูล นายจิรัฏฐ์ รินรักษา
หลักสูตร	วิศวกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ผศ.ดร.ชุมพล ยวงใย ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบันมีการตรวจสอบคุณภาพของอาหารด้วยสายตามนุษย์ เนื่องจากมนุษย์แต่ละคนนั้นมีมาตรฐานที่ไม่เหมือนกัน การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในเชิงตัวเลข จึงมีความเที่ยงตรงกว่าการตรวจสอบสีด้วยสายตามนุษย์ จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องประเมินผลภาพสำหรับตรวจจับภาพไส้กรอกให้มีความอัตโนมัติมากขึ้น และประเมินผลเครื่องเพื่อใช้ในการยืนยันว่าเครื่องสามารถงานใช้ได้จริง

โดยเครื่องประมวลผลภาพที่มีอยู่เดิมต้องใช้มนุษย์เป็นผู้ดำเนินการ ทั้งในขั้นตอนการได้มาของรูปภาพและการวัดคุณลักษณะภาพ อีกทั้งในกระบวนการประมวลผลภาพแต่ละภาพนั้นใช้เวลาค่อนข้างนาน และเป็นกระบวนการที่ไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงพัฒนาเครื่องต้นแบบที่มีอยู่เดิมให้สามารถทำงานได้อัตโนมัติ และมีความต่อเนื่องสอดคล้องกับสายการผลิตจริง

ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบคุณภาพของเครื่องต้นแบบก่อนและหลังได้รับการพัฒนา โดยการเปรียบเทียบความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด จากการทดลองพบว่าระบบมีความสามารถในการแบ่งแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกได้ และค่าสัดส่วนความแปรปรวนของค่า L^* , a^* และ b^* ในการทดสอบความสามารถเครื่องมือวัด มีค่าเท่ากับ 2.00%, 0.18% และ 0.12% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัดส่วนความแปรปรวนของเครื่องประมวลผลภาพก่อนทำการปรับปรุง พบว่าเครื่องที่ทำการปรับปรุงแล้วมีความสามารถในการวัดที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การยอมรับโดยทั่วไป AIAG ซึ่งสามารถยอมรับได้จึงถือได้ว่าระบบการวัดนี้สามารถใช้ได้

Thesis Title	Improvement a Prototype Machine for Sausage Color Detection by Image Processing
Student	Mr.Napon Kitthawesinpoon Mr.Jirat Rinraksa
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2013
Thesis Advisors	Assistant Professor Dr. Chumpol Yuangyai Dr. Udom Janjarassuk

Abstract

The current inspection in food appearance is mostly performed by human. This leads to result inconsistency due to human tiredness. Therefore, automated equipment is required. In this study, a prototype measurement device using image processing technique is developed to detect the sausage color quality in terms of L a*b* system.

We focus on not only the reduction of time spent for image acquisition and processing but also the representation of a real sausage inspection process. In addition, we measure the gage repeatability and reproducibility of the measuring system of L, a*, and b*, which is 2.0%, 0.18% and 0.12% respectively. These values are acceptable and complied with AIAG Standard.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ โดยได้รับความกรุณาจาก ดร.ชุมพลวงโย ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ และ ดร.นิรันดร์ พิสุทธอนันท์ ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ ตรวจสอบ แก้ไขและปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบพระคุณอาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านสำหรับคำแนะนำและข้อเสนอแนะในการทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณ นางสาว พิรญาณ์ แก้วสุวรรณ นางสาว ชญาดา จรัสมนตรี และ นาย สรัสกร บุรณดิลก ที่คอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการทำปริญญาานิพนธ์มาโดยตลอด และเพื่อนร่วมรุ่น Z14 ที่ได้มีโอกาสศึกษาร่วมกันและคอยกระตุ้นข้าพเจ้าเสมอ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัวข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจ และคอยแนะนำแนวทางข้อคิดเห็น ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและมีพระคุณยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพรักทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า และผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายณพล กิจทวีสินพูน

นายจิรัฏฐ์ รินรักษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	4
1.4 ขอบเขตของการศึกษา	4
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ความสำคัญของสีของอาหาร	6
2.2 วิธีการประมวลผลภาพ	6
2.2.1 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพ	6
2.3 แบบจำลองสี	7
2.3.1 ระบบ RGB	7
2.3.2 ระบบ L*a*b*	8
2.3.3 ระบบ HSV	8
2.4 การพัฒนาเครื่องต้นแบบ	9
2.4.1 เซนเซอร์ที่เลือกใช้งาน	9
2.4.2 โปรแกรม MATLAB	9
2.5 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ	9
2.5.1 ความหมายและความสำคัญของการออกแบบการทดลอง	9
2.5.2 หลักการทั่วไปของการออกแบบการทดลอง	10
2.5.3 หลักการสำคัญของการออกแบบการทดลอง	11
2.5.4 การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล	13
2.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด	15
2.6.1 พื้นฐานเกี่ยวกับความสามารถของระบบการวัด	15
2.6.2 การวางแผนศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด	16
2.6.3 การออกแบบการทดลองการศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนเครื่องมือวัด	16
2.6.4 การวิเคราะห์ผลการศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	18
3.1 การเลือกและติดตั้งระบบเซนเซอร์	18
3.1.1 การเลือกชนิดเซนเซอร์	18
3.1.2 คุณสมบัติของเซนเซอร์	20
3.1.3 ขั้นตอนการติดตั้งระบบเซนเซอร์	20
3.1.4 ฟังก์ชันการใช้งาน	22
3.2 การพัฒนาโปรแกรม	22
3.3 การประมวลผลภาพ	22
3.3.1 การได้มาของรูปภาพ	22
3.3.2 การวัดคุณลักษณะ	23
3.4 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องมือวัด	23
3.4.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	23
3.4.2 การออกแบบการทดลอง	23
3.4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	24
3.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด	24
3.5.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	24
3.5.2 การออกแบบการทดลอง	24
3.5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล	26
4.1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด	26
4.2 การทดสอบกับไส้กรอกจริง	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการวิจัย	34
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก. ผลการทดลอง	39
ภาคผนวก ข. ส่วนของโปรแกรม MATLAB	43

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	แสดงจุดเด่นและจุดด้อยของทั้ง 3 ระบบสี	8
2.2	แสดงเกณฑ์ตัดสินระบบการวัด	17
3.1	แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างลิมิตสวิตช์กับเซนเซอร์ชนิดต่างๆ	19
3.2	แสดงการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลและไม่มีผลต่อการทดลอง	24
3.3	แสดงปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษาในการกาทดลองศึกษาปัจจัย	24
4.1	แสดงผลการทดลองวิเคราะห์ระบบการวัด	27
4.2	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L^*	27
4.3	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a^*	28
4.4	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b^*	28
4.5	แสดงผลการคำนวณค่าความแปรปรวนของ $L^*a^*b^*$	30
4.6	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ $L^*a^*b^*$ ของเครื่องประมวลผลภาพก่อนทำการปรับปรุง	31
4.7	แสดงสัดส่วนความแปรปรวนก่อนและหลังปรับปรุง	31
ก.1	รูปแบบการทดลองและผลการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด	39
ก.2	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด ของค่า L^*	40
ก.3	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด ของค่า a^*	41
ก.4	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด ของค่า b^*	41
ก.5	ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ L^* a^* และ b^*	41
ก.6	ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ L^* a^* และ b^* ของเครื่องประมวลผลภาพก่อนทำการปรับปรุง	42
ก.7	ตารางเปรียบเทียบสัดส่วนความแปรปรวนก่อนและหลังการปรับปรุง	42

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก	2
1.2 แสดงการเปรียบเทียบสีไส้กรอก	2
1.3 เครื่องต้นแบบเครื่องแรก	3
1.4 เครื่องต้นแบบเครื่องที่สอง	3
1.5 เครื่องต้นแบบเครื่องที่สาม	4
2.1 แสดงการแยกส่วนของภาพ	7
2.2 แสดงระบบสี RGB	8
2.3 แสดงระบบสี $L^*a^*b^*$	8
2.4 แสดงระบบสี HSV	8
2.5 แผนภาพของกระบวนการ	10
3.1 แสดงวงจรเซนเซอร์	20
3.2 แสดงการประกอบเซนเซอร์กับกล่องสำหรับใส่แผงวงจร	20
3.3 แสดงการเสริมลูมิเนียมโพรไฟล์	21
3.4 แสดงการประกอบตัวส่งสัญญาณกับลูมิเนียมโพรไฟล์	21
3.5 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์	21
3.6 แสดงการเชื่อมต่อแดปเตอร์กับเซนเซอร์	21
3.7 แสดงแดปเตอร์ที่ใช้	21
3.8 แสดงการติดตั้งระบบเซนเซอร์ที่เสร็จสมบูรณ์	22
3.9 แสดงขั้นตอนการเตรียมภาพถ่าย	22
3.10 แสดงขั้นตอนการแปลงค่าสีและแยกแยะคุณภาพของสี	22
3.11 แสดงตัวอย่างรูปที่ได้จากการถ่ายภาพ	22
3.12 แสดงบริเวณที่เกิดการสะท้อนของแสง	23
3.13 รูปแสดงสีของกระดาษที่ใช้เป็นตัวอย่าง	24
4.1 แสดง Residual Plots ของค่า $L^*a^*b^*$ ในการวิเคราะห์ระบบการวัดตามลำดับ	29
4.2 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์	32
4.3 แสดงตัวอย่างรูปที่ได้จากการถ่ายภาพ	32
4.4 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพโดยใช้โปรแกรม MATLAB	33
5.1 เครื่องประมวลผลภาพและสายพาน	34

บทที่ 1

บทนำ

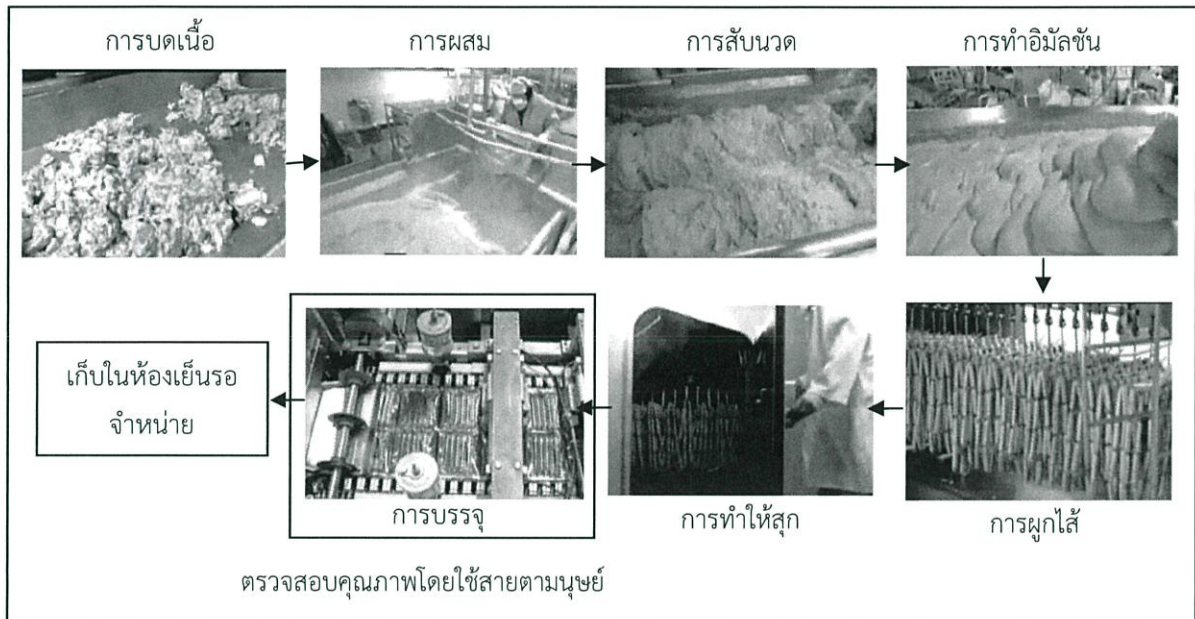
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมลำดับแรกที่ได้รับการสนับสนุนมาตั้งแต่ประเทศไทยเริ่มประกาศใช้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 1 ในปี พ.ศ.2504 เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินลงทุนน้อยใช้วัตถุดิบภายในประเทศมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า และสามารถนำเอาทรัพยากรที่อุดมสมบูรณ์ของประเทศไปพัฒนาเพื่อประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้มาก ทำให้ง่ายต่อการพัฒนาเพื่อการลงทุน นอกจากนี้อุตสาหกรรมอาหารยังก่อให้เกิดผลเชื่อมโยงไปสู่กิจกรรมการผลิตอื่นๆ ที่เป็นอุตสาหกรรมสนับสนุน ได้แก่ บรรจุกัมภ์ และนำไปสู่การจ้างงานและรายได้ประชาชาติที่สูงขึ้น [4] อุตสาหกรรมอาหาร เป็นอุตสาหกรรมที่โดดเด่น ปี 2011 มีการขยายตัวก้าวกระโดดถึง 20% ซึ่งนับว่าอยู่ในระดับสูง เมื่อเทียบการส่งออกรวมขยายตัวในระดับ 15.9% โดยปีหนึ่งประเทศไทยส่งออกอาหารกว่า 33 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 32 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือคิดเป็น ร้อยละ 14.2 ของการส่งออกทั้งหมด ตลาดอุปกรณ์แปรรูปและบรรจุอาหาร หรือ Food processing and packaging equipment : FPPE ของไทยโตเฉลี่ย 20% ทุกปี ตั้งแต่ปี 1999 โดยในปี 2011 มีมูลค่าการค้า 270 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้า 61.0% ตลาดอุปกรณ์แปรรูปและบรรจุหีบห่อของไทยขยายตัวเพื่อรองรับมาอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นการได้เปรียบที่ประเทศไทยจะมุ่งเน้นในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าเพิ่ม ต่อยอดมูลค่าสินค้าเกษตรหากเปิด AEC แล้ว เราจะมีโอกาสมากในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป โดยเฉพาะอาหารพร้อมรับประทาน [5] โดยสถาบันอาหารคาดการณ์ว่าการเปิด AEC จะช่วยให้ฐานลูกค้าในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เพิ่มขึ้นราว 600 ล้านคน [12]

ไส้กรอก เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเนื้อสัตว์ชนิดหนึ่งซึ่งนิยมบริโภคกันมาก เนื่องจากเป็นอาหารที่มีคุณค่าโปรตีนสูง มีความสะดวกและประหยัดเวลาในการบริโภค ตลาดหลักจะเป็นตลาดภายในประเทศ มีการส่งออกและนำเข้าไม่มากนัก โดยความต้องการบริโภคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลำดับตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและรายได้ แต่หลังจากเกิดวิกฤติเศรษฐกิจในประเทศตั้งแต่ปี 2540 ทำให้ความต้องการมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามคาดว่าในปี 2543 ปริมาณความต้องการบริโภคจะปรับตัวดีขึ้นตามภาวะเศรษฐกิจที่เริ่มฟื้นตัวการผลิตไส้กรอกที่ทำจากเนื้อสุกรของไทยส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม โรงงานส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลรวมถึงจังหวัดใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเป็นแหล่งบริโภคสำคัญ สำหรับช่องทางการจำหน่ายนั้น การจำหน่ายไปยังซูเปอร์มาร์เกต เป็นช่องทางการจำหน่ายที่นิยมกันมากที่สุดโดยเฉพาะผู้ผลิตรายใหญ่ เนื่องจากเป็นโอกาสที่จะจำหน่ายไส้กรอกได้มากที่สุด สำหรับผู้ผลิตขนาดเล็กส่วนใหญ่จะขายผ่านตัวแทนจำหน่ายโดยมีตลาดหลัก คือ ตลาดสดในกรุงเทพฯ และจังหวัดใหญ่ ๆ การลงทุนผลิตไส้กรอกเป็นการลงทุนที่ไม่ต้องใช้ความชำนาญและเงินทุนมากนัก เนื่องจากผู้ขายเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกส่วนใหญ่จะมีการอบรมการผลิตไส้กรอกและการใช้เครื่องจักรให้ด้วย อย่างไรก็ตาม ผู้ที่จะลงทุนผลิตไส้กรอกจำเป็นที่จะต้องมีการจำหน่ายที่ดีและมีตลาดที่จะรองรับอยู่แล้วเพื่อให้สามารถแข่งขันกับผู้ผลิตอื่นในตลาดได้ เนื่องจากไส้กรอกเป็นสินค้าที่มีการแข่งขันค่อนข้างรุนแรงและส่วนใหญ่ผู้ผลิตแต่ละรายจะมีตลาดของตนเองอยู่แล้ว จึงยากที่ผู้ผลิตรายอื่นจะเข้าไปแทรกในตลาดนั้นได้ ปัญหาที่ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมผลิตไส้กรอกในปัจจุบันเผชิญอยู่ส่วนใหญ่จะเป็นด้านความต้องการที่ชะลอลง และสภาพคล่องทางการเงินของผู้ผลิตมีน้อยเนื่องจากสถาบันการเงินเข้มงวดในการปล่อยสินเชื่อ ส่งผลให้ผู้ผลิตหลายรายโดยเฉพาะขนาดเล็กต้องเลิกกิจการไปหลายแห่งเพราะไม่สามารถรับภาระต้นทุนที่สูงขึ้นได้ การตลาดความต้องการในปัจจุบันและอนาคต การแปรรูปเนื้อสัตว์เพื่อให้สามารถเก็บรักษาไว้บริโภคได้นานขึ้น สามารถทำได้ 2 วิธีหลัก คือ วิธีที่ใช้เทคโนโลยีพื้นบ้าน เช่น หมนยอ กุนเชียง เป็นต้น และวิธีที่ใช้เทคโนโลยี [20]

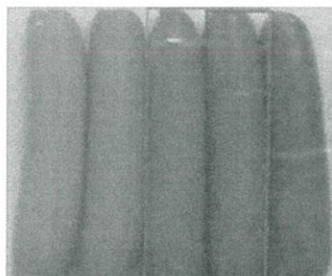
จากสภาวะการส่งออกที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิต เนื่องจากมีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกซื้อของผู้บริโภค ซึ่งคุณลักษณะทางกายภาพเป็นสิ่งแรกที่ทำให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะรับรู้คุณสมบัติทางประสาทสัมผัสอื่นๆ [3] และสิ่งซึ่งเป็นหนึ่งในคุณลักษณะหลักที่มีผลกระทบต่อรับรู้ของผู้บริโภคในด้านคุณภาพ ซึ่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารได้รับการพัฒนาอย่างมากมาย ซึ่งในแต่ละอุตสาหกรรมอาหารต้องมีการตรวจสอบคุณภาพอาหาร ในเรื่องของรูปร่าง การปรุงสุก สีของอาหาร

ในกระบวนการผลิตไส้กรอกหลังจากที่ผ่านขั้นตอนการผลิตไส้กรอก การบดเนื้อ การผสม การสับขนาด การทำอิมัลชัน การผูกไส้ การทำให้สุก หลังจากนั้นจะทำการบรรจุลงในถุงซึ่งหลังจากผ่านขั้นตอนการบรรจุจะทำการตรวจสอบคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกดังรูปที่ 1.1 โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกหมู มผช. 330/2547 ได้กำหนดคุณลักษณะสีที่ต้องการของไส้กรอกหมูคือ ต้องมีสีที่ดีตามธรรมชาติของส่วนประกอบที่ใช้สม่ำเสมอทั้งหมดทั้งชิ้นไม่มีสีผิดปกติ เช่น สีเขียวคล้ำ สีดำ [8] การควบคุมคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่สำเร็จรูปแล้วก่อนส่งจำหน่ายนั้นจึงมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากจะช่วยจำลองสถานการณ์ของลักษณะการมองเห็นผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคเมื่อมาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ ควบคุมไม่ให้ของเสียส่งไปถึงผู้บริโภค และเป็นหลักประกันให้กับผู้บริโภคมั่นใจในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งถ้าไส้กรอกผลิตไม่ตรงกับคุณลักษณะดังกล่าวจะทำให้เกิดความสูญเสียกับผู้ประกอบการได้



รูปที่ 1.1 แสดงการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก (Triwood1973, 2008)

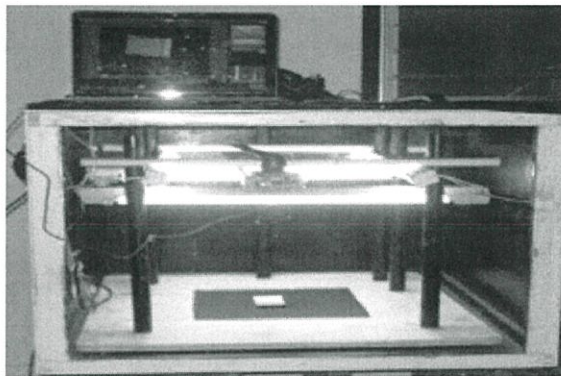
ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นในกระบวนการผลิตไส้กรอกจึงจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบคุณภาพในการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและลดความสูญเสียต่างๆที่จะเกิดขึ้นการตรวจสอบในปัจจุบันใช้การตรวจสอบด้วยสายตา ซึ่งยังต้องได้รับการพัฒนาอีกมากเพราะการใช้เพียงสายตาในการตรวจวัดคุณภาพอาจไม่เกิดมาตรฐานเดียวกัน เนื่องจากข้อจำกัดทางร่างกายในการมองเห็นที่ต่างกัน ความเหนื่อยล้า และมนุษย์ไม่สามารถบันทึกข้อมูลในขณะทำการตรวจสอบได้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในเชิงสถิติ เพื่อควบคุมในกระบวนการที่เกิดขึ้น และสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาต่อไปในอนาคตได้ สิ่งเหล่านี้ถือเป็นข้อบกพร่องของการตรวจสอบคุณภาพอาหารโดยใช้สายตา ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงนำวิธีการประมวลผลภาพ (Image processing) มาประยุกต์ใช้ในการประเมินผลสีของไส้กรอก เพื่อให้การแบ่งแยกสีของไส้กรอกมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.2 แสดงการเปรียบเทียบสีไส้กรอก

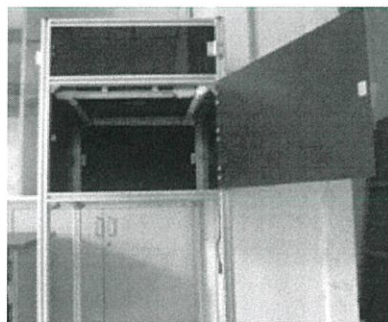
งานวิจัยที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการประมวลผลภาพในการประเมินคุณภาพของอาหารได้มีการรวบรวมไว้ในปี ค.ศ. 2004 [23] ซึ่งไม่ปรากฏว่ามีการใช้วิธีการประมวลผลภาพในการควบคุมสีของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกและมีความคิดที่จะสร้างเครื่องมือประเมินผลภาพอาหาร เพื่อใช้เก็บข้อมูลอาหารและจำลองสถานการณ์การทำงานในอุตสาหกรรมอาหารให้ใกล้เคียงที่สุดเท่าที่ความสามารถของเครื่องมือและเทคโนโลยีจะเป็นไปได้ โดยใช้หลักการความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด เพื่อทดสอบและยืนยันว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือในมาตรฐานที่ยอมรับได้

ในอดีตได้มีการศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นแล้วโดย พิรญาณม์ แก้วสุวรรณ ดังแสดงในรูปที่ 1.3 แต่เนื่องจากวัสดุที่ใช้สร้างไม่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ โครงสร้างโดยรวมทำจากไม้ แล้วทาสี ไม่มีประตูมิดชิด มีน้ำหนักมากและไม่สามารถเก็บภาพชิ้นงานที่มีการเคลื่อนที่ได้



รูปที่ 1.3 เครื่องต้นแบบเครื่องแรก

ต่อมา ปิยาภรณ์ มาตย์วิเศษ และ ชุมพล ยวงโย ได้พัฒนาเครื่องต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 1.4 โดยใช้วัสดุที่สามารถใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ โครงสร้างใช้ อลูมิเนียมและอะคริลิกสีดำ มีน้ำหนักเบา มีประตูเปิด-ปิด อย่างมิดชิด แต่ก็ยังไม่สามารถถ่ายภาพชิ้นงานที่มีการเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงมีความคิดที่จะสร้างสายพานลำเลียงขึ้นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องต้นแบบที่มีอยู่ เพื่อให้สามารถเก็บภาพชิ้นงานที่เคลื่อนที่บนสายพานได้



รูปที่ 1.4 เครื่องต้นแบบเครื่องที่สอง

ต่อมา ชญาดา จรัสมนตรี และ สรัสกร บุรณดิกลง ได้พัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องประมวลผลภาพ สร้างสายพานลำเลียง ดังแสดงในรูปที่ 1.5 โครงสร้างทั้งหมดเลือกใช้ สเตนเลสสตีล 304 ลักษณะท่อกลวง ลูกกลิ้งตัวขับเคลื่อน Bearing UCF 205 สายพานเลือกใช้สายพาน ชนิด ฟุต เกรด เพราะเป็นสายพานที่ใช้ในการลำเลียงอาหารโดยเฉพาะ มอเตอร์ 0.5 แรงม้า สามารถจับภาพใส่กรอกที่เคลื่อนที่บนสายพานอย่างเป็นระเบียบและภาพที่ถ่ายได้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ แต่การได้มาของรูปภาพและการวัดคุณลักษณะภาพนั้นยังใช้คนในการทำยังไม่เป็นอัตโนมัติ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะพัฒนาให้เป็นอัตโนมัติทั้งกระบวนการ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องต้นแบบที่มีอยู่ ด้วยการติดตั้งเซนเซอร์และพัฒนาโปรแกรม



รูปที่ 1.5 เครื่องต้นแบบเครื่องที่สาม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. พัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องประเมินผลภาพสำหรับตรวจจับภาพใส่กรอกให้มีความอัตโนมัติมากขึ้น
2. ประเมินผลเครื่องเพื่อใช้ในการยืนยันว่าเครื่องสามารถงานใช้ได้จริง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เครื่องมือสามารถใช้งานร่วมกับวิธีการประเมินผลด้วยภาพในการประเมินผลสีของใส่กรอก และประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติในการควบคุมคุณภาพสีของใส่กรอกได้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

พัฒนาเครื่องต้นแบบที่สามารถจับภาพใส่กรอกที่เคลื่อนที่บนสายพานอย่างเป็นระเบียบ ให้มีความอัตโนมัติมากขึ้นและภาพที่ถ่ายได้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ โดยใช้หลักการความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัดในการทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องต้นแบบ การเลือกใช้วัสดุ การประกอบสร้างเครื่องมือ อีกทั้งศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับปัญหาการวัดคุณภาพของอาหาร รวมทั้งศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้ ความสำคัญของสีของอาหาร วิธีการประมวลผลภาพ คุณลักษณะของใส่กรอก การวิเคราะห์ระบบการวัด ศึกษาขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการประมวลผลภาพ
2. ศึกษาขั้นตอนและวิธีการที่ใช้ในการประมวลผลภาพ
3. ปรับปรุงเครื่องต้นแบบให้มีประสิทธิภาพและมีความเป็นอัตโนมัติมากขึ้น
4. เลือกวัสดุและกำหนดคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือวัด
5. ประกอบเครื่องมือวัด

6. ทดสอบการทำงานของเครื่องมือและลองทำการประมวลผลภาพ
7. แปลงภาพเป็นข้อมูลโดยใช้โปรแกรม MATLAB
8. การวิเคราะห์ระบบการวัด ศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัดเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการสร้างเครื่องมือวัด
9. ศึกษาคุณลักษณะของข้อมูลโดยการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ
10. ประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ได้กรอก

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและแนวคิดต่างๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ซึ่งประกอบไปด้วย การพัฒนาเครื่องต้นแบบ ความสำคัญของสีของอาหาร วิธีการประมวลผลภาพ แบบจำลองสี การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ระบบการวัด

2.1 ความสำคัญของสีของอาหาร

สีเป็นหนึ่งในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคสามารถประเมินได้ด้วยประสาทสัมผัสซึ่งปรากฏทางกายภาพ (Physical appearance) สีเกิดขึ้นจากแสงตกกระทบผลิตภัณฑ์อาหารแล้วสะท้อนเข้าตาในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร สีจัดเป็นปัจจัยแรกทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดการจูงใจของผู้บริโภค และทำให้ผู้บริโภคสามารถรับรู้ถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์สีจะเป็นสิ่งบ่งชี้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ [10] เช่น มะม่วงสุกจะมีสีเหลืองอมเขียว [21] สีของมันฝรั่งทอด [23] แอปเปิ้ลเขียว [24] สีของเนื้อหมู [26] เป็นต้น

2.2 วิธีการประมวลผลภาพ

วิธีการประมวลผลภาพ (Image processing) คือ กระบวนการที่นำภาพป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โดยจะเรียกใช้กรรมวิธีต่างๆ ในจัดการทางรูปภาพเพื่อให้ได้คุณลักษณะตามต้องการ ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นรูปภาพเช่นเดียวกัน ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ระดับสูง เช่น การจดจำลักษณะได้อย่างแม่นยำหรือการทำให้ได้ค่าการวัดออกมา เป็นต้น [11]

ในอุตสาหกรรมอาหาร การประเมินคุณภาพของอาหารยังใช้วิธีการตรวจสอบโดยใช้ของมนุษย์ ซึ่งต้องผ่านการคัดเลือกหรือฝึกอบรมจนสามารถแยกแยะลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ การใช้วิธีการตรวจสอบดังกล่าวทำให้ต้องใช้แรงงานเป็นจำนวนมาก ค่าใช้จ่ายสูง อีกทั้งยังมีข้อจำกัดต่างๆ จากความสามารถของมนุษย์ พนักงานเกิดความล้าและไม่มีความน่าเชื่อถือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบให้มีความถูกต้องและมีความคงที่ จึงได้นำวิธีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งจะทำให้การประเมินคุณภาพของอาหารมีความถูกต้องและมีความคงที่เพิ่มขึ้น แก้ไขข้อผิดพลาดของการตรวจสอบโดยใช้คน คุณสมบัติที่ใช้ในการตรวจสอบ ได้แก่ ขนาด รูปร่าง สี และเนื้อสัมผัสของอาหาร [19]

2.2.1 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพ

ในการทำการประมวลผลภาพประกอบไปด้วยขั้นตอนทั่วไป 5 ขั้นตอนดังนี้

2.2.1.1 การได้มาของรูปภาพ (Image acquisition)

การรับสัญญาณจากอุปกรณ์ถ่ายภาพต่างๆ แล้วแปลงสัญญาณที่ได้ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องวิดีโอ กล้องเว็บแคม เครื่องสแกน หรืออุปกรณ์รับสัญญาณภาพอื่นๆ

2.2.1.2 การเตรียมภาพถ่าย (Image pre-processing)

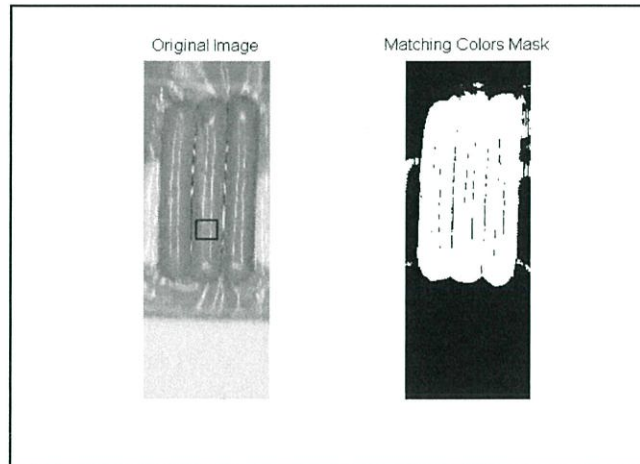
เป็นขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพ เนื่องจากอาจมีสัญญาณรบกวน ส่งผลให้คุณภาพของภาพถ่ายลดลงวัตถุประสงค์ของการเตรียมภาพถ่ายคือการลดการบิดเบือนและเพิ่มคุณสมบัติของภาพที่มีความสำคัญต่อการประมวลผลภาพในอนาคตต่อไป

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ลดขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายออกไป โดยเมื่อได้รูปภาพมาโปรแกรม MATLAB ทำการวิเคราะห์ค่า $L^*a^*b^*$ แทนที่ไม่มีการเตรียมภาพถ่าย

2.2.1.3 การแยกส่วนของภาพ (Image segmentation)

เป็นขั้นตอนการแยกส่วนภาพเฉพาะที่สนใจในการศึกษาเท่านั้น ในการถ่ายภาพนั้นนอกจากภาพที่สนใจศึกษาจะถ่ายติดพื้นหลังของภาพมาด้วยส่งผลให้การนำภาพไปวิเคราะห์ที่มีความผิดพลาด จึงจำเป็นต้องทำการแยกส่วนภาพโดยแยกส่วนเฉพาะบริเวณที่ต้องการศึกษา

ในการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาโปรแกรม MATLAB ให้ทำการแยกส่วนของภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการแยกส่วนของภาพ

2.2.1.4 การวัดคุณลักษณะ (Object measurement)

หลังจากขั้นตอนการได้มาของรูปภาพแล้ว ทำการวัดคุณลักษณะของวัตถุ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคือ ขนาด รูปร่าง เนื้อสัมผัส และสี ในการศึกษานี้มีจุดประสงค์ในการวัดสี โดยจะทำการแปลงค่าสีจากภาพที่ได้โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งจะแปลงค่าสีจากระบบ RGB ไปเป็น $L^*a^*b^*$

2.2.1.5 การแบ่งประเภท (Classification)

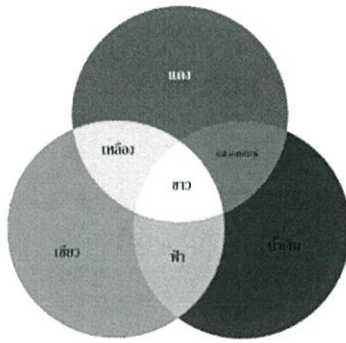
เป็นขั้นตอนการแบ่งประเภทตามข้อจำกัดในแต่ละประเภทของชั้นทดสอบ โดยการเปรียบเทียบชั้นทดสอบที่วัดได้กับเกณฑ์ที่กำหนดว่าชั้นทดสอบที่วัดได้มีความใกล้เคียงกับเกณฑ์ใดมากที่สุด

2.3 แบบจำลองสี

แบบจำลองสี (Color models) ใช้ในการบ่งชี้และบอกปริมาณสีซึ่งประกอบไปด้วยแบบจำลอง 3 ระบบคือ RGB $L^*a^*b^*$ และ HSV แต่ละแบบจำลองเป็นการบอกค่าสีที่แตกต่างกันออกไปเหมาะกับการใช้งานในแต่ละประเภท

2.3.1 ระบบ RGB

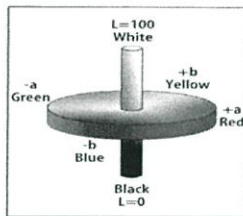
ระบบ RGB เป็นระบบสีของแสง ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงกลายเป็นแสงสีรุ้ง ประกอบไปด้วย 7 สีซึ่งเป็นช่วงที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นซึ่งเกิดจากความเข้มของสามสีหลัก ได้แก่ แดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) ทั้ง 3 สีถือเป็นแม่สีใช้ในการสร้างสีฟ้า สีแดงอมชมพู สีเหลืองและสีขาวแสดงดังรูปที่ 2.1 ระบบนี้นิยมนำมาใช้สำหรับหน้าจอโทรทัศน์และคอมพิวเตอร์ รวมถึงการเก็บข้อมูลภาพในระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งการสร้างพิกเซลสีจะเกิดจากการยิงแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน



รูปที่ 2.2 แสดงระบบสี RGB

2.3.2 ระบบ L*a*b*

ระบบ L*a*b* เป็นระบบการวัดสีที่เป็นมาตรฐานสากลและเป็นที่ยอมรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารพัฒนาโดย ระบบ L*a*b* ประกอบด้วย ส่วนประกอบ L* กำหนดค่าความสว่างของสี ค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ส่วนประกอบ a* แสดงองค์ประกอบระหว่างสีเขียวและสีแดง ค่าช่วง 120 ถึง +120 ส่วนประกอบ b* แสดงองค์ประกอบระหว่างสีน้ำเงินและสีเหลือง ระบบ L*a*b* เป็นระบบสีที่ไม่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์รับข้อมูล เช่น กล้องดิจิทัล จอภาพ และเครื่องพิมพ์

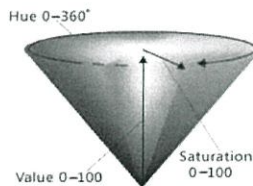


Lab model

รูปที่ 2.3 แสดงระบบสี L*a*b

2.3.3 ระบบ HSV

ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบคือค่า H คือค่าสีหรือสีที่มีความแตกต่างออกไปตามความถี่ของแสงเช่นแดงเหลือง เขียวน้ำเงินหรือม่วง เป็นต้น (Pure color) ค่า S คือความอิ่มตัวของสีเป็นตัวบ่งบอกระดับสีเมื่อเทียบกับค่าสีเช่นสีแดงและสี ชมพูกล่าวคือสีชมพูคือสีแดงนั่นเองแต่สีชมพูมีความอิ่มตัวที่น้อยกว่าหรือมีสีขาวเป็นส่วนผสมมากกว่าสีแดงล้วนๆค่า V คือระดับความสว่างของสีที่มีค่าสีและความอิ่มตัวเท่ากับค่าใดๆโดยที่ระดับความสว่างต่ำสุดหมายถึงสีดำไม่ว่าจะมีค่าสีหรือค่าความอิ่มตัวเท่าใดและระดับความสว่างสูงสุดหมายถึงสีขาวซึ่งเป็นสีที่สว่างที่สุดของค่าสีและความอิ่มตัวนั้นๆ



รูปที่ 2.4 แสดงระบบสี HSV

ตารางที่ 2.1 แสดงจุดเด่น จุดด้อยของทั้ง 3 ระบบ

ระบบสี	จุดเด่น	จุดด้อย
L*a*b*	สีของภาพมีความมั่นคง ไม่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ เช่น กล้อง จอภาพ เป็นต้น [29]	ไม่สามารถเข้าใจได้ในทันที ต้องทำการศึกษาการแปลค่า L*a*b* ก่อน [23]
RGB	ง่ายต่อการใช้งาน ภาพที่ถ่ายได้จะออกมาอยู่ในระบบ RGB [16]	สีของภาพขึ้นอยู่กัอุปกรณ์ถ่ายภาพ [23]
HSV	มีความละเอียดในการจำแนกสี [14]	ไม่สามารถเข้าใจได้ในทันที ต้องทำการศึกษาการแปลค่า HSV ก่อน [23]

ในขั้นตอนการประมวลผลภาพสีนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงภาพสีต้นฉบับที่อยู่ในระบบ RGB เป็นระบบอื่นได้ เนื่องจากแบบจำลองสีแต่ละระบบเหมาะสมกับการใช้งานที่ต่างกัน

สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้ระบบสี L*a*b* เนื่องจากเป็นระบบไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ สามารถแบ่งแยกสีได้มากกว่าระบบ RGB และสามารถบอกความเข้มและความสว่างของวัตถุได้ ซึ่งจะสามารถอธิบายสีของไส้กรอกที่เป็นตัวอย่างในงานวิจัยนี้ได้มากกว่าระบบสี RGB จากการศึกษางานวิจัยที่ทำการวิเคราะห์สีของไส้กรอกจะใช้ระบบ L*a*b*

2.4 การพัฒนาเครื่องต้นแบบ

เครื่องประมวลผลภาพที่ได้ทำการพัฒนานั้น ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ การติดตั้งเซนเซอร์และการพัฒนาโปรแกรม งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การทำให้เครื่องประมวลผลมีความอัตโนมัติมากขึ้น การเลือกเซนเซอร์ที่นำมาติดตั้ง เลือกใช้เซนเซอร์แบบ Photoelectric Sensors (ตรวจจับวัตถุโดยใช้ลำแสง) ที่มีตัวรับตัวส่งอยู่แยกจากกันแบบ Opposed mode เนื่องจากเหมาะสมกับความต้องการใช้งานและเชื่อถือได้มากที่สุดสำหรับการตรวจจับวัตถุทึบแสง ประสิทธิภาพดีแม้สภาพแวดล้อมมีสิ่งปนเปื้อน สะดวกในการใช้งาน

2.4.1 เซนเซอร์ที่เลือกใช้

Photoelectric Sensors (ตรวจจับวัตถุโดยใช้ลำแสง) ที่มีตัวรับตัวส่งอยู่แยกจากกันแบบ Opposed mode เนื่องจากเหมาะสมกับความต้องการใช้งานและเชื่อถือได้มากที่สุดสำหรับการตรวจจับวัตถุทึบแสง ประสิทธิภาพดีแม้สภาพแวดล้อมมีสิ่งปนเปื้อน สะดวกในการใช้งาน

2.4.2 โปรแกรม MATLAB

ทำการพัฒนาในส่วนของ Code ให้สามารถแปลงค่าสีจากระบบ RGB ไปเป็น L*a*b* ได้โดยอัตโนมัติ

2.5 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

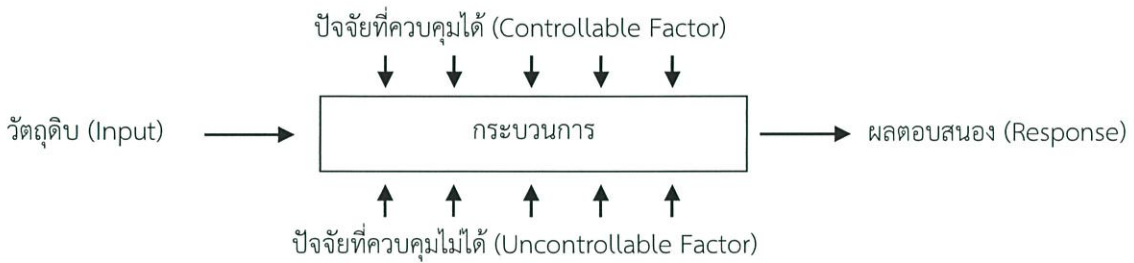
กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งช่วยให้สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและสมเหตุสมผลกับปัญหาได้ นำไปสู่การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาต่อไป

2.5.1 ความหมายและความสำคัญของการออกแบบการทดลอง

สตีล (Steel) ทอริ (Torrie) และ ดิคคี (Dickey) ได้ให้คำจำกัดความคำว่า “การทดลอง” ไว้ดังนี้ “การทดลองเป็นวิธีตรวจสอบตามแผนที่กำหนดขึ้น เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงใหม่ๆ หรือเพื่อยืนยัน หรือเพื่อปฏิเสธผลของการทดลองที่ผ่านมา โดยที่การตรวจสอบดังกล่าวจะช่วยนำไปสู่การตัดสินใจขั้นตอนดำเนินการ เช่น การแนะนำพันธุ์พืช วิธีการหรือการแนะนำการใช้ยากำจัดแมลง”

แบบแผนการทดลองถูกกำหนดขึ้นเพื่อจัดตั้งทดลอง (Treatment) ให้กับหน่วยทดลอง (Experimental Unit) ทำให้หน่วยทดลองมีการตอบสนองและสามารถวัดค่าจากหน่วยทดลองได้ และทำให้การทดลองนั้นๆ มีข้อมูลที่สามารถตอบคำถามเกี่ยวกับอิทธิพลของสิ่งที่ทดลองได้ เช่น การประมาณค่าอิทธิพลของสิ่งที่ทดลอง หรือการเปรียบเทียบความแตกต่างของอิทธิพลของสิ่งที่ทดลอง

การวางแผนการทดลองที่ดีถือว่ามีค่ามาก เพราะจะทำให้ได้ผลและข้อสรุปที่ตรงกับวัตถุประสงค์ โดยทั่วไปการทดลองเป็นการดำเนินการตามขั้นตอนที่วางแผนไว้อย่างเป็นระบบและมีแบบแผน กระบวนการจะมีการใส่วัตถุดิบเข้าไป (Input) ซึ่งในที่นี้คือสิ่งที่ทดลองที่สนใจ ในกระบวนการที่เป็นขั้นตอนอาจมีปัจจัยบางอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งมีทั้งควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ เมื่อผ่านกระบวนการเรียบร้อยแล้ว ผลที่ได้ออกมาเป็นผลตอบสนอง (Response) ที่สามารถวัดค่าได้ กระบวนการเหล่านี้เป็นองค์ประกอบรวมของการปฏิบัติการของเครื่องจักร หรือระบบการทำงานเป็นต้น แสดงไว้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภาพของกระบวนการ

2.5.2 หลักการทั่วไปของการออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองจำเป็นต้องใช้หลักการที่ซับซ้อน ผู้วิจัยจะยกตัวอย่างหลักการที่จำเป็นสำหรับการศึกษาคำนี้

2.5.2.1 หลักพื้นฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ในการวิเคราะห์ผลและการหาข้อสรุป จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นหลัก การวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป ซึ่งจะให้ผลดีและถูกต้องกว่าการนำค่าเฉลี่ยที่ต้องการเปรียบเทียบหลายๆ ค่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะใช้การทดสอบ F-test ในการทดสอบ ซึ่งเป็นตัวที่ใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบความแปรปรวนของ 2 กลุ่มประชากรว่าเท่ากันหรือแตกต่างกัน โดยที่หลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวนคือ การพิจารณาความแปรปรวนระหว่างกลุ่มกับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ถ้าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่าเท่ากับความแปรปรวนภายในกลุ่ม ก็จะส่งผลว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละประชากรไม่แตกต่างกัน แต่ถ้ามีความแตกต่างกันนั้นคือ ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มจะมีค่ามากกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่มก็จะส่งผลว่าค่าเฉลี่ยของแต่ละประชากรแตกต่างกัน ยิ่งค่าเฉลี่ยของแต่ละประชากรแตกต่างกันมากเท่าไรก็ยิ่งส่งผลให้ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่ามากกว่าค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มเท่านั้น หรือก็คือทำให้ค่า F ซึ่งเป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มยังมีค่ามากขึ้น ค่า F หาได้จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนจะคำนวณค่า Mean Square ซึ่งก็คือ ค่า Sum square หารด้วย Degree of freedom ของตัวมันเอง โดยการคำนวณจากการใช้ค่า Mean Square ระหว่างกลุ่มหารด้วย Mean Square ภายในกลุ่ม หรือเป็นการเปรียบเทียบความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มนั่นเอง ซึ่งค่า Mean Square ก็คือ ค่าความแปรปรวนนั่นเอง นอกจากนี้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตัวแปรตาม กับข้อมูลตัวแปรอิสระ [19]

2.5.2.2 ความหมายของค่าต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองจะมีค่าต่างๆ ที่เป็นคำเฉพาะสำหรับในการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยจึงนำความหมายบางส่วนที่จำเป็นสำหรับการศึกษานี้

1. สิ่งทดลอง (Treatment) หมายถึง วิธีการหรือขบวนการใช้กระทำกับหน่วยทดลอง หรือเป็นสิ่งที่มอิทธิพลต่อสิ่งที่เราสนใจศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะวัดผลของขบวนการนี้
2. หน่วยทดลอง (Experimental Unit) หมายถึง หน่วยของวัสดุ หรือวัตถุทดลองที่ได้ทดลองเดียวกันและพร้อมกัน
3. ปัจจัย (Factor) หมายถึง ตัวแปรอิสระที่สนใจจะศึกษาว่ามีความสัมพันธ์หรือมีผลกระทบต่อตัวแปรตามหรือไม่
4. ระดับปัจจัย (Factor level) หมายถึง ประเภทต่างๆ ของปัจจัยที่กำลังศึกษา
5. ผลตอบสนอง (Response) หมายถึง สิ่งที่ได้วัดได้จากหน่วยทดลอง หรือก็คือผลจากสิ่งทดลองที่กระทำต่อหน่วยทดลองนั้นๆ

2.5.2.3 ขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง

การทดลองที่ดีควรมีการวางแผนไว้ล่วงหน้าเพื่อช่วยทำให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพสามารถตอบวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้ครบถ้วน ให้ได้ผลสรุปที่เที่ยงตรงและประหยัดค่าใช้จ่ายตลอดจนสามารถลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ซึ่งขั้นตอนในการวางแผนการทดลอง มีดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลอง
2. ทำการเลือกสิ่งทดลองที่จะใช้ในการทดลอง
3. ทำการเลือกหน่วยการทดลองและกำหนดขนาดของการทดลอง
4. ทำการเลือกแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพ
5. ดำเนินการทดลอง
6. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง
7. สรุปผลการทดลอง

2.5.3 หลักการสำคัญของการออกแบบการทดลอง

2.5.3.1 การทำซ้ำ (Replication)

หมายถึง การจัดสิ่งทดลอง (Treatment) หนึ่งๆลงในหน่วยทดลอง (Experimental Error) มากกว่าหนึ่งหน่วย ทั้งนี้ไม่จำเป็นว่าทุกๆ การปฏิบัติจะต้องมีจำนวนซ้ำที่เท่ากัน จะมีจำนวนซ้ำแตกต่างกันก็ได้ แต่ปกติมักจะใช้จำนวนซ้ำเท่ากันก็เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ มีประโยชน์ดังนี้

1. ทำให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนได้ (Experimental Error) ซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์ความแปรปรวน ถ้าไม่มีการทำซ้ำก็จะประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองไม่ได้ เมื่อประมาณค่าไม่ได้ก็ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์หรือเปรียบเทียบเชิงนัยสำคัญเชิงสถิติได้
2. เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรง (Accuracy) ของการทดลองปกติแล้วค่าที่ได้จากการทดลองจะเป็นค่าของตัวอย่าง (Sample) ซึ่งเราใช้เป็นตัวประมาณค่า (Estimator) ที่แท้จริงของประชากร เช่น S^2 เป็นตัวประมาณค่าของ σ^2 หรือค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (Sample mean, \bar{Y}) เป็นตัวประมาณค่าของค่าเฉลี่ยประชากร (μ) ดังนั้นเมื่อจำนวนซ้ำกันมากขึ้นจำนวนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการคำนวณค่าทางสถิติก็มีความแม่นยำขึ้นด้วย ซึ่งทำให้ได้ค่าทางสถิติจากตัวอย่างแต่ละค่าก็ย่อมใกล้เคียง กับค่าที่แท้จริงของประชากรมากยิ่งขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นการเพิ่มความเที่ยงตรงของการทดลองหรือได้ค่าสถิติต่างๆที่ไม่ลำเอียงหรือมีอคติ (Unbias) จึงทำให้การทดลองนั้นน่าเชื่อถือมากขึ้น
3. เพิ่มความแม่นยำ (Precision) ในการทำการทดลองการเพิ่มจำนวนซ้ำ นอกจากจะทำให้ความเที่ยงตรงสูงแล้วยังเพิ่มความแม่นยำอีกด้วย เช่น การหาค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (\bar{Y}) ของประชากรใดประชากรหนึ่งการหาจากตัวอย่างหลายกลุ่มค่าเฉลี่ยที่ได้ก็จะใกล้เคียงกับค่าจริงของประชากร ทำให้เกิดความแม่นยำสูง เมื่อมีการทดลองแบบเดียวกันอีกก็จะได้ผลใกล้เคียงกันนอกจากนี้การเพิ่มจำนวนซ้ำทำให้ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error)

ของค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ($S_{\bar{Y}}$) จะลดลงเนื่องจาก ($S_{\bar{Y}} = \frac{S}{n}$) เมื่อ S เป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างและ n คือ จำนวนซ้ำ นั่นคือ เมื่อ n เพิ่มขึ้น ($S_{\bar{Y}}$) ก็ลดลง ค่า ($S_{\bar{Y}}$) แสดงถึงความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (\bar{Y}) ของสิ่งทดลองต่างๆ ดังนั้นเมื่อค่า ($S_{\bar{Y}}$) ลดลงก็แสดงว่าค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของสิ่งทดลองใกล้เคียงกันจึงทำให้มีความแม่นยำสูงเป็นผลให้การทดลองนั้นมีความแม่นยำสูงตามไปด้วย

4. เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลอง การเพิ่มจำนวนซ้ำจะทำให้องศาอิสระ (Degree of freedom : Df) ของตัวความคลาดเคลื่อน (Error term) มากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มจำนวนซ้ำก็เท่ากับทำให้ค่าความแปรปรวน (Variance) ของความคลาดเคลื่อนลดลง ซึ่งมีผลทำให้การทดลองมีความไวในการวัดความแตกต่าง (Sensitivity) ได้ดีหรือมีความไวในการเปรียบเทียบสูงนั่นเอง นั่นคือจะสามารถวัดความแตกต่างที่ต่างเพียงเล็กน้อยระหว่างสิ่งทดลองได้ดีขึ้น
5. สามารถขยายขอบเขตของการอนุมานได้ (Inference) กล่าวคือยิ่งเพิ่มจำนวนซ้ำก็จะได้หน่วยการทดลองที่มีความหลากหลายมากขึ้นก็จะทำให้ได้ผลการทดลองที่สามารถสรุปได้กว้างขึ้น เช่น ถ้าพูดถึงดินก็จะได้ตัวแทนดินที่หลากหลายมากขึ้น หรือถ้าทำการปลูกหลายๆจังหวัดก็จะได้ผลสรุปที่สามารถสรุปไปได้กว้างขึ้นตามอาณาเขตที่ศึกษา
6. ในกรณีที่หน่วยทดลองมีการสูญหาย (Missing) ในระหว่างทำการทดลอง ผลการทดลองของสิ่งทดลองนั้นๆ ยังคงมีเหลืออยู่ จากหน่วยทดลองซ้ำของเรา และถ้ามีการวางแผนที่ดีแล้วการวิเคราะห์ผลก็ยังคงทำได้เช่นเดิม

2.5.3.2 การสุ่ม

หมายถึงการเลือกสิ่งทดลอง (Treatment) แต่ละสิ่งให้กับหน่วยทดลอง (Experimental unit) โดยไม่เจาะจงหรือไม่ยึดติดนั่นเอง ดังนั้น อิทธิพลของปัจจัยต่างๆอันเป็นแหล่งของความคลาดเคลื่อนต่อสิ่งทดลองหนึ่งๆจะเป็นไปโดยสุ่ม มีประโยชน์ดังนี้

1. ลดความลำเอียง (Bias) อันเนื่องมาจากตัวผู้ทำการทดลอง
2. เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประมาณค่า ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (Experimental error) ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนในการทดลองขึ้นอยู่กับความแตกต่างหรือความแปรปรวนระหว่างการทดลอง (Experimental unit) ต่างๆที่ได้รับสิ่งทดลองอย่างเดียวกัน ดังนั้นการประมาณค่าคลาดเคลื่อนนี้จะมีประสิทธิภาพเมื่อหน่วยการทดลองที่ได้รับสิ่งทดลองอย่างเดียวกันกระจายทั่วไปอยู่ในการทดลองนั้น เพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าค่าสังเกต (Observation) ที่ได้้นั้นเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งสิ่งเหล่านี้จำเป็นมากสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติอันได้แก่ การทดสอบสมมติฐานและการประมาณค่า นั่นคือ จะได้ว่าตัวประมาณค่า (Estimator) ของความคลาดเคลื่อนจากการทดลองและค่าประมาณของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลอง (Treatment means) เป็นค่าตัวประมาณที่ใช้ได้ (Valid) และไม่เอียงแฉ (Unbias) นั่นคือค่าสังเกตที่ได้จะต้องเกิดจากผลของ treatment อย่างเดียวเท่านั้นไม่ใช่ผลจากอิทธิพลของสิ่งอื่น

2.5.3.3 การจัดกลุ่ม (Blocking)

หมายถึง การจัดหน่วยทดลองที่มีลักษณะหรือคุณสมบัติเหมือนกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน (นั่นคืออยู่ใน Block เดียวกัน) หรือก็คือหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันนี้จะมีลักษณะใกล้เคียงกันมากที่สุด ในขณะที่หน่วยทดลองที่ต่างบล็อกกันก็จะมีลักษณะแตกต่างกันมากที่สุดด้วย

ซึ่งในการจัดสิ่งทดลองในหน่วยการทดลองของแต่ละบล็อกนั้น จะต่างกันไปขึ้นอยู่กับแผนการทดลอง (Experimental Design) นั้นๆ เช่น ถ้าจัดให้ในแต่ละบล็อกมีจำนวนสิ่งทดลองครบทุกสิ่งทดลอง จะเรียกการจัดบล็อกแบบนี้ว่า “บล็อกสมบูรณ์” (Complete Block) แต่ถ้าเป็นการจัดให้ในแต่ละบล็อกมีจำนวนสิ่งทดลองไม่ครบทุกสิ่งทดลอง จะเรียกการจัดบล็อกแบบนี้ว่า “บล็อกไม่สมบูรณ์” (Incomplete Block) ซึ่งการคำนวณค่าทางสถิติของบล็อกสมบูรณ์จะทำได้ง่ายกว่าบล็อกไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าการจัดเก็บบล็อกสมบูรณ์แล้วจะทำให้บล็อกมีขนาดใหญ่เกินไป ก็มักจะใช้บล็อกไม่สมบูรณ์เพื่อที่จะไม่ให้ขนาดของบล็อกใหญ่เกินไป เนื่องจากหลักการของการจัดบล็อกที่ว่า ภายในบล็อกเดียวกันจะต้องมีความสม่ำเสมอหรือเหมือนกันมากที่สุด และต่างบล็อกกันจะต้องแตกต่างกันมากที่สุด ซึ่งบล็อกที่มีขนาดใหญ่ภายในบล็อกมักจะมี

ความสม่ำเสมอที่น้อยกว่าบล็อกที่มีขนาดเล็ก จึงเป็นผลทำให้การควบคุมความคลาดเคลื่อนไม่มีประสิทธิภาพ มีประโยชน์ ดังนี้

1. เพื่อความแม่นยำ ให้แก่การทดลองทั้งนี้เพราะความแตกต่างระหว่างบล็อก จะถูกดึงออกไปจากความคลาดเคลื่อนจากการทดลองในการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อให้เหลือแต่ความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่แท้จริง
2. เป็นการเปรียบเทียบผลของสิ่งทดลองที่มีต่อหน่วยทดลองที่มีลักษณะเหมือนกัน ซึ่งจัดให้หน่วยทดลองที่เหมือนกันอยู่ในบล็อกเดียวกัน และหน่วยทดลองที่ต่างกันก็อยู่ต่างบล็อกกัน
3. ขยายขอบเขตของการทดลอง เช่น สถานที่ที่ใช้ในการทดลองอาจอยู่คนละจังหวัดกันก็ได้ หรือทำการทดลองในเวลาที่แตกต่างกันก็ได้ โดยใช้สถานที่ที่ทำการทดลองหรือเวลาเป็นบล็อก

จะเห็นว่าการทำซ้ำ การสุ่ม และการจัดกลุ่มมีความสัมพันธ์ต่อการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนอย่างมีประสิทธิภาพและลดค่าความคลาดเคลื่อน จึงเป็นหลักการที่สำคัญสำหรับการวางแผนการทดลอง

2.5.4 การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional factorial design) มีความสำคัญอย่างมากในการทดลองเพื่อคัดเลือปัจจัย (Screening) เนื่องจากมีการลดจำนวนรันการทดลองลงจนเหลือขนาดการทดลองที่สามารถทำได้จริงซึ่งจะทำให้เกิดผลอย่างหนึ่งที่เรียกว่าคอนฟาวด์ (Confounded) หมายถึงอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถทำการประเมินแยกค่าออกมาได้เดี่ยวๆ ดังนั้นต้องเลือกส่วนที่จะมาทำให้ถูกต้องเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้ ซึ่งบางครั้งอาจจะต้องใช้ความรู้เฉพาะเกี่ยวกับกระบวนการและผลิตภัณฑ์เพื่อมาตัดสินใจด้วย

จากแผนการทดลอง (Experiment Design) ต่างๆ การที่จะเป็นแผนการทดลองนั้น (Design) เราจะพิจารณาหรือศึกษาถึงธรรมชาติหน่วยทดลอง (Experiment Unit) ว่าหน่วยทดลองมีความเหมือนหรือต่างกันมากน้อยแค่ไหน อย่างไร เมื่อทราบถึงธรรมชาติของหน่วยทดลองแล้วจึงค่อยหาแผนการทดลอง (Design) ที่เหมาะสมกับหน่วยทดลองนั้นๆทำการทดลอง ซึ่งแผนการทดลองต่างๆที่ผ่านมาในส่วนของสิ่งทดลอง (Treatment) เราจะพิจารณาเพียงแค่หนึ่งหรือสองปัจจัย (Factor) ถ้าเกิดปัจจัยนั้นแบ่งออกเป็นหลายๆระดับ (Level) สมมติว่าแบ่งออกเป็น 3 ระดับ การทดลองนั้นก็จะมี 3 หรือ 3 หนึ่ง จึงจะเห็นว่าวิธีการที่เราจะเรียกว่าเป็นแผนการทดลองนั้น เราจะพิจารณาถึงแต่หน่วยทดลองไม่ได้พิจารณาถึงสิ่งทดลองแต่การทดลองแบบแฟคทอเรียลเราจะพิจารณาถึงสิ่งทดลองที่ไม่ได้ประกอบด้วยปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว แต่สิ่งทดลองจะประกอบด้วยปัจจัยหลายๆปัจจัยทดลองไปพร้อมกัน (Factorial Experiment) ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงสิ่งที่ทดลองจึงไม่ได้ถูกเรียกว่าเป็นแผนการทดลอง (Design) แต่เป็นเพียงการทดลองเท่านั้น และจะใช้แผนการทดลองพื้นฐานแบบไหนหรือในการทดลองนั้นก็จะต้องพิจารณาจากหน่วยทดลองของการทดลองครั้งนั้นๆอีกครั้งหนึ่ง

ตัวอย่างการทดลอง ถ้าผู้ทำการทดลองสนใจผลผลิตของพืชว่าจะได้ผลผลิตในการปลูกมากน้อยเพียงใด ผู้ทำการทดลองอาจเกิดคำถามดังต่อไปนี้

1. ควรปลูกพืชชนิดใด
2. ต้องใช้ปุ๋ยมากน้อยเพียงใด
3. วิธีการให้น้ำเป็นอย่างไร
4. จะควบคุมแมลงโดยวิธีธรรมชาติหรือพ่นยา
5. ระยะปลูกควรห่างกันมากน้อยแค่ไหน

ในแผนการทดลองแบบต่างๆ เมื่อผู้ทำการทดลองสนใจว่าจะใช้ปุ๋ยมากน้อยแค่ไหน ปุ๋ยก็เป็นหนึ่งปัจจัย (Factor) ซึ่งถ้าผู้ทำการทดลองแบ่งปุ๋ยออกเป็น 3 สูตร แสดงว่าปุ๋ยเป็น 1 ปัจจัยโดยแบ่งเป็น 3 ระดับ (Level) ซึ่งจะทำให้เกิด 3 หรือ 3 หนึ่ง ในแผนการทดลองครั้งนั้น แต่ถ้าผู้ทำการทดลองเกิดคำถามต่างๆขึ้นใน 5 ข้อ แต่ละข้อก็เป็นแต่ละปัจจัย (Factor) ดังนั้น ถ้าผู้ทำการทดลองจะทำการทดลองศึกษาทีละปัจจัยก็จะต้องทำการทดลองถึง 5 ครั้ง ซึ่งเสียเวลายุ่งยากและถ้าแต่ละปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน (Interaction) ก็อาจจะทำให้การแปลผลของการทำการทดลองที่ทำทีละปัจจัย อาจไม่ถูกต้องนัก เมื่อเป็นเช่นนี้จึงเกิดการทดลองแบบแฟคทอเรียลขึ้นหรือก็คือการทดลองที่แต่ละหรือที่ประกอบไปด้วยหลายๆปัจจัย ศึกษาไปพร้อมกันแทนที่จะศึกษาทีละปัจจัย

2.5.4.1 อิทธิพลร่วม (Interaction)

ในการทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่แต่ละทริทเมนต์ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย (Factor) หรือมากกว่า ถ้าสมมติว่าหนึ่งทริทเมนต์ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัย เมื่อเรากำหนดให้ปัจจัยหนึ่งคงที่และอีกปัจจัยมีหลายระดับ หลังจากนั้นก็ทำการศึกษาว่าปัจจัยที่กำหนดให้คงที่ให้ผลเป็นอย่างไรกันต่อทุกๆระดับของอีกปัจจัยหนึ่งหรือไม่ ถ้าให้ผลเป็นระดับเดียวกันของทุกๆระดับของอีกปัจจัยหนึ่งก็แสดงว่าทั้งสองปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกันหรือเป็นอิสระต่อกัน แต่ถ้าให้ผลแตกต่างกันก็แสดงว่าปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกันหรือไม่อิสระต่อกัน แต่โดยทั่วไปแล้วผลของ 2 ปัจจัยหรือมากกว่า มักไม่อิสระต่อกัน เมื่อเป็นเช่นนั้นผู้ทำการทดลองทำการทดลองโดยศึกษาที่ละปัจจัยก็อาจทำให้ผลการทดลองเมื่อนำไปใช้จริงอาจไม่ถูกต้องนัก เพราะในชีวิตจริงการปลูกพืชครั้งหนึ่งๆจะเป็นการยากที่จะควบคุมปัจจัยอื่นๆให้คงที่ได้ ดังนั้นการทดลองแบบแฟคทอเรียลจึงมีความสำคัญและสรุปผลได้กว้างกว่า การพิจารณาถึงอิทธิพลร่วมของสองปัจจัยอาจพิจารณาได้จากการพิจารณาจากกราฟและพิจารณาจากการคำนวณ

2.5.4.2 สัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ในการทดลองแบบแฟคทอเรียลในหนึ่งทริทเมนต์จะประกอบไปด้วยหลายๆปัจจัย (Factor) ซึ่งเรามักแทนสัญลักษณ์ของแต่ละปัจจัยด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ เช่น ในการปลูกอุนที่อุณหภูมิ (A) 3 ระดับ ในปุ๋ยเคมี (B) 4 ระดับและปุ๋ยคอก (C) 2 ชนิด ซึ่งในแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็นหลายๆระดับ เราก็จะแทนระดับของปัจจัยนั้นๆด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก และจะห้อยด้วยตัวเลข เพื่อให้ทราบถึงระดับต่างๆของปัจจัยนั้นๆ โดยที่ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แทนถึงระดับของปัจจัยจะเป็นภาษาอังกฤษตัวเดียวกันกับตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เราใช้แทนปัจจัยนั้นๆ เช่น อุณหภูมิ มี 3 ระดับ a_1, a_2, a_3 ปุ๋ยเคมีมี 4 ระดับก็จะได้ b_1, b_2, b_3, b_4 และปุ๋ยคอก (C) มี 2 ชนิด ก็จะได้ c_1 และ c_2 นอกจากนี้ในการทดลองแบบแฟคทอเรียลทริทเมนต์จะประกอบด้วยหลายๆปัจจัยรวมกัน (combination) เราจึงมักเรียกชื่อของการทดลองแบบแฟคทอเรียลด้วยตัวเลขของระดับในแต่ละปัจจัยคูณกัน เช่น จากตัวอย่างของการปลูกอุนที่มี 3 ปัจจัย ก็จะมีชื่อว่า “ $3 \times 4 \times 2$ แฟคทอเรียล” แต่ถ้าในแต่ละปัจจัยมีจำนวนระดับเท่ากันทุกปัจจัย เช่น ถ้ามี 2 ปัจจัยที่มีระดับเท่ากันทั้ง 2 ปัจจัย คือมี 2 ระดับก็จะเรียกว่า “ 2^2 แฟคทอเรียล” แต่ถ้าทั้ง 3 ปัจจัย มี 2 ระดับเท่ากัน ก็จะเป็น “ 2^3 แฟคทอเรียล” ถ้าเป็น 2 ปัจจัยมี 3 ระดับเท่ากัน ก็เรียกว่า “ 3^2 แฟคทอเรียล” และถ้ามี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ก็เรียกว่า “ 2^k แฟคทอเรียล” จะเห็นได้ว่าการทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นการจัดปัจจัยหลายๆปัจจัยรวมกัน (Combination) เท่านั้น ไม่ใช่แบบแผนของการทดลอง (Experiment Design) ดังนั้นการจัดคอมบินชันของปัจจัยต่างๆลงในหน่วยทดลอง (Experiment Unit) จึงยังคงต้องอาศัยหลักการของแต่ละแผนการทดลองอื่นๆ

2.5.4.3 ข้อดี ข้อเสีย และประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ข้อดีของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1. ในกรณีที่แต่ละปัจจัยเป็นอิสระต่อกัน ค่าของอิทธิพลเดี่ยว จะเท่ากับค่าของอิทธิพลหลัก (Main effect) จึงใช้เฉพาะอิทธิพลหลักในการอธิบายบทบาทของปัจจัยนั้นได้และมีความแม่นยำ (Precision) เท่ากันเสมือนผู้ทำการทดลองใช้แต่ละปัจจัยนั้นในการทำการทดลองเท่านั้น
2. ในกรณีที่แต่ละปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกันก็จะสามารถทำให้สามารถศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆไปพร้อมๆกัน และรู้ถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆเหล่านั้นด้วย ทำให้สรุปผลได้ถูกต้องมากขึ้นและกว้างขวางขึ้น เพราะถ้าทำการทดลองทีละปัจจัยอาจไม่ทราบถึงอิทธิพลร่วมทำให้การสรุปผลอาจผิดพลาดได้

ข้อเสียของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1. เมื่อจำนวนปัจจัยเพิ่มมากขึ้น หรือระดับของแต่ละปัจจัยเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ขนาดของการทดลองมีขนาดใหญ่ทำให้ความแปรปรวนในการทดลองมีมากขึ้น ความแม่นยำก็น้อยลงและการหาวัสดุทดลองที่ใกล้เคียงก็ยากขึ้นแม้จะมีการจัดบล็อกก็จะทำให้บล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้น
2. การทดลองที่มีขนาดใหญ่จะแปลผลได้ยากขึ้นโดยเฉพาะเมื่อแต่ละปัจจัยมีอิทธิพลร่วมกัน

ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1. ใช้ในการทดลองพื้นฐาน เมื่อต้องการสำรวจปัจจัยต่างๆที่มีจำนวนมาก เพื่อดูว่ามีปัจจัยใดบ้างที่สำคัญและปัจจัยใดไม่สำคัญ
2. ใช้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างปัจจัยต่างๆโดยเฉพาะ เพื่อดูว่าปัจจัยต่างๆนั้น มีอิทธิพลร่วมกันหรือไม่อย่างไร
3. ใช้ในการทดลองที่ต้องการข้อเสนอแนะภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ซึ่งอาจใช้เงื่อนไขต่างๆนั้นเป็นปัจจัยได้ เช่น ต้องการศึกษาว່าคควรปลูกกุหลาบที่อุณหภูมิระดับไหน ความชื้นเท่าไรจึงจะดี

2.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบวัดเป็นวิเคราะห์ความสามารถเครื่องมือวัด เพื่อเป็นการบ่งบอกว่าเครื่องมือวัดมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด ทั้ง ความแม่นยำเที่ยงตรง และเสถียรภาพของเครื่องมือวัด (Gauge) ความสามารถของเครื่องมือวัดประกอบไปด้วย ความสามารถในการวัดซ้ำและความสามารถในการวัดเหมือน จุดประสงค์ในการวิเคราะห์เครื่องมือวัดนั้น เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในเครื่องมือวัดว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดมีความสามารถในการแบ่งแยกผลิตภัณฑ์ [2]

2.6.1 พื้นฐานเกี่ยวกับความสามารถของระบบการวัด

ความสามารถของระบบการวัดมีความสำคัญในเชิงของคุณภาพและการปรับปรุงกระบวนการ โดยในการทำงานการผลิตต่างๆ มักจะมีปัจจัยต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งมีผลต่อค่าที่วัดได้ทำให้ค่าจากการวัดมีความผันแปรเสมอระบบการวัดประกอบด้วย เครื่องมือวัด พนักงานวัด ปัจจัยแวดล้อม ช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกัน และปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อความสามารถของระบบการวัด เช่น การตั้งค่า หรือการปรับเทียบ

ความแปรปรวนจากปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อเครื่องมือวัด และความแปรปรวนจากตัวชิ้นงานเอง จะส่งผลต่อค่าความแปรปรวนรวมทั้งหมดสามารถอธิบายความหมายของระบบการวัดอย่างดังสมการที่ 2.1

$$\sigma_{Total}^2 = \sigma_{Part}^2 + \sigma_{Gauge}^2 \quad (2.1)$$

σ_{Total}^2	คือ ความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมด
σ_{Part}^2	คือ ความแปรปรวนเนื่องจากชิ้นงาน
σ_{Gauge}^2	คือ ความแปรปรวนเนื่องจากเครื่องมือวัด

จากที่กล่าวข้างต้น ความสามารถของเครื่องมือวัดประกอบไปด้วย ความสามารถในการวัดซ้ำแล้วความสามารถในการวัดเหมือน ซึ่งความสามารถทั้ง 2 อย่างนี้ส่งผลต่อความแปรปรวนของเครื่องมือวัด ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$\sigma_{Gauge}^2 = \sigma_{Repeatability}^2 + \sigma_{Reproducibility}^2 \quad (2.2)$$

σ_{Gauge}^2	คือ ความแปรปรวนเนื่องจากเครื่องมือวัด
$\sigma_{Repeatability}^2$	คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการวัดซ้ำ
$\sigma_{Reproducibility}^2$	คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการวัดเหมือน

ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) คือความผันแปรของค่าวัดที่เกิดจากการวัดโดยการใช้ผู้วัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ

ความสามารถในการวัดเหมือน (Reproducibility) ซึ่งหมายถึง ความแปรปรวนของค่าวัดที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยผู้ทำการวัดเป็นคนละคนกัน

2.6.2 การวางแผนศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด

การศึกษาความผันแปรของระบบการวัดในรูปความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัดนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องเริ่มต้นจากขั้นตอนการวางแผนการศึกษาโดยมีประเด็นพิจารณา ดังนี้

2.6.2.1 จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษาระบบ GR&R

การกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมีพนักงานวัดคือ ผู้ใช้เครื่องมือวัดในการกำหนดค่าตัวเลขกับชิ้นงานเพื่อการตัดสินใจจำนวนเท่าใด ถ้าเครื่องมือวัดดังกล่าวไม่ใช่พนักงานในการดำเนินการวัดเลย (เครื่องมือวัดอัตโนมัติ) หรือมีการใช้พนักงานวัดเพียงคนเดียวแสดงว่าค่าความผันแปรในระบบการวัดไม่ได้มาจากสาเหตุด้านพนักงานวัด และในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คนโดยจะต้องเป็นพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีแล้ว และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษาเป็นประจำ

2.6.2.2 จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษาระบบ GR&R

จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานั้นโดยปกติจะแนะนำให้ใช้ 10 ตัวอย่างถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้จะต้องพยายามให้ผลคูณของจำนวนของสิ่งตัวอย่างกับจำนวนของพนักงานวัดมีค่ามากกว่า 15 และถ้าไม่สามารถดำเนินการได้ให้เพิ่มจำนวนการทำซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่างและสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดนี้ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญซึ่งถ้าใช้สิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญแล้วจะมีความหมายเท่ากับการใช้สิ่งตัวอย่างเดียวกันด้วยจำนวนวัดซ้ำมากๆ และในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความไวเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้ว จะต้องทำให้ข้อมูลมีความแตกต่างกันไม่ต่ำกว่า 5 ประเภท ในกรณีที่มีการตรวจสอบแบบทำลาย จะต้องกำหนดให้ “ล็อต (lot)” หมายถึงสิ่งตัวอย่างสำหรับการศึกษา GR&R

2.6.2.3 วิธีการประเมินผลความสามารถในการวัดซ้ำและวัดเหมือน

เมื่อการทดลองสิ้นสุดลง ต้องมีการประเมินผลถึงคุณภาพของข้อมูลก่อน เช่น การประเมินผลความสามารถในการแยกความแตกต่างของเครื่องมือวัด ความคงรูป และความต้องการกันของระบบการวัด จากนั้นจึงทำการประเมินผลความสามารถในการวัดซ้ำและวัดเหมือน ซึ่งมีวิธีการประเมินผล 3 วิธีประกอบด้วย

1. วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range method) เหมาะกับการทดลองในช่วงสั้นๆ และไม่มีกรวัดซ้ำ วิธีการนี้มีข้อดีคือประเมินผลได้ง่าย แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ ไม่สามารถแยกความสามารถในการวัดซ้ำและวัดเหมือนออกจากกันได้
2. วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and range method) เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้สามารถแยกการวัดซ้ำออกจากกรวัดเหมือนได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่าการวัดซ้ำได้
3. วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้จากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงานและชิ้นงาน เป็นสาเหตุของความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่าการวัดซ้ำได้ [2]

2.6.3 การออกแบบการทดลองการศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด

รูปแบบการทดลองทั่วไปที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดจะทำการทดลองแบบ Three factor factorial โดยทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ซึ่งตัวแปรได้แก่ ชิ้นงาน (Part ; $i = 1, 2, \dots, a$) พนักงานวัด (Operator ; $j = 1, 2, \dots, b$) วิธีการ (Method ; $k = 1, 2, \dots, c$) และระบบการวัด (Measurement ; $l = 1, 2, \dots, n$) [33] แสดงดังสมการที่ 2.3

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijkl} \quad (2.3)$$

ซึ่ง	μ	คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมด
	τ_i	คือ อิทธิพลของชิ้นงาน
	β_j	คือ อิทธิพลของพนักงานวัด
	γ_k	คือ อิทธิพลของวิธีการ
	$(\tau\beta)_{ij}$	คือ อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัด
	$(\tau\gamma)_{ik}$	คือ อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและวิธีการ
	$(\beta\gamma)_{jk}$	คือ อิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและวิธีการ
	$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$	คือ อิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงาน พนักงานวัดและวิธีการ
	ϵ_{ijkl}	คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

2.6.4 การวิเคราะห์ผลการศึกษาศามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัด

ในการตีความหมายผลการวิเคราะห์จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะต้องเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างชิ้นงานและพนักงานก่อนซึ่งถ้าพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานกับพนักงานวัดมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลการวัดจะเปลี่ยนไป ซึ่งจะพบว่าอิทธิพลร่วมมีผลมาก และในกรณีที่อิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญจึงจำเป็นต้องตีความหมายจากอิทธิพลหลัก (Main effect) ของพนักงานวัดหรือชิ้นงานอีก เพราะว่าแม้อิทธิพลหลักของพนักงานวัดจะดูเหมือนมีผลอย่างไรไม่มีนัยสำคัญ แต่แท้ที่จริงแล้วมีอิทธิพลมากเมื่อมีการประเมินค่าความผันแปรด้านความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือนของเครื่องมือวัดในการวิเคราะห์ระบบการวัด มีเกณฑ์ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐาน AIAG Standard ดังแสดงตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์ตัดสินระบบการวัด

$\% \sigma_{gauge}^2 / \sigma_{part}^2 \leq 10$	ยอมรับได้โดยไม่ต้องทำการแก้ไขระบบการวัด
$10 < \% \sigma_{gauge}^2 / \sigma_{part}^2 < 30$	อาจยอมรับได้ โดยต้องพิจารณาความเหมาะสมของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการวัด
$30 \% \leq \sigma_{gauge}^2 / \sigma_{part}^2$	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไขระบบการวัด

$\% \sigma_{gauge}^2 / \sigma_{part}^2$ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการแยกแยะผลิตภัณฑ์ของเครื่องมือวัด ในบางตำราเรียกว่า ค่า อัตราส่วน P/TV หรือ P/TV Ratio (Precision-to-Total Variation Ratio) นอกจากการใช้อัตราส่วนนี้ในการวิเคราะห์ระบบการวัดแล้ว การใช้อัตราส่วน P/T หรือ P/T Ratio (Precision-to-Tolerance Ratio) สามารถใช้เป็นเกณฑ์วัดความสามารถของเครื่องมือวัดเช่นเดียวกัน โดยการเลือกใช้อัตราส่วนในการวิเคราะห์ระบบการวัดนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการวิเคราะห์ความสามารถของระบบวัด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบไปด้วยส่วนที่ 1 คือการเลือกและการติดตั้งระบบเซนเซอร์ ในส่วนที่ 2 คือขั้นตอนระหว่างการทำทดลองเป็นขั้นตอนต่างๆในการได้มาของข้อมูล ข้อมูลดังกล่าวคือรูปภาพของชิ้นงานขณะเคลื่อนที่บนสายพาน และส่วนสุดท้ายคือ การวิเคราะห์ระบบวัดเป็นการนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์เครื่องมือวัด

3.1 การเลือกและติดตั้งระบบเซนเซอร์

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการติดตั้งระบบเซนเซอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยการเลือกชนิดของเซนเซอร์ คุณสมบัติของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ การติดตั้งและฟังก์ชันการใช้งาน

3.1.1 การเลือกชนิดเซนเซอร์

การเลือกชนิดเซนเซอร์ที่จะนำมาใช้กับเครื่องประมวลผลภาพ โดยต้องการเซนเซอร์ที่สามารถตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่บนสายพานและสามารถส่งงานให้กล้องถ่ายภาพได้ การเลือกระบบเซนเซอร์ควรเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน เซนเซอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีหลายแบบ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน จะทำให้ได้เซนเซอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งานในโครงการนี้ที่สุด โดยเซนเซอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีดังนี้

3.1.1.1 LimitSwitch (สวิตช์จำกัดระยะ)

การทำงานจะอาศัยแรงกดจากภายนอกมากระทำ เช่น วางของทับที่ปุ่มกดหรือลูกเบี้ยวมาชนที่ปุ่มกด เซนเซอร์ชนิดนี้ไม่สามารถที่จะติดตั้งกับเครื่องต้นแบบได้ เนื่องจากต้องการตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่อยู่บนสายพาน

3.1.1.2 Photoelectric Sensors (ตรวจจับวัตถุโดยใช้ลำแสง)

การควบคุมแสงที่ใช้ในกระบวนการผลิตอัตโนมัติต่างๆ โดยทำงานตรวจจับแสงที่มองเห็นหรือแสงที่มองไม่เห็น และตอบสนองการทำงานตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงที่ได้รับ ซึ่งประกอบด้วยตัวส่ง (Emitter) และ ตัวรับ (Receiver) มี 2 แบบด้วยกันคือ

1. ตัวรับตัวส่งอยู่ในตัวเดียวกัน เรียกว่า Diffuse reflect ใช้กับพื้นที่ที่จำกัด
2. ตัวรับตัวส่งอยู่แยกจากกัน เรียกว่า Oppose Mode ใช้กับพื้นที่ที่ไม่จำกัด

3.1.1.3 Proximity Sensors (ตรวจจับวัตถุโดยการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า)

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับตรวจจับการมีหรือไม่มีของวัตถุ โดยอาศัยหลักการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1. ชนิดสนามแม่เหล็ก (Inductive) สามารถตรวจจับวัตถุที่เป็นโลหะได้เท่านั้น
2. ชนิดสนามไฟฟ้า(Capacitive) สามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกชนิด แต่มีความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงรอบข้าง เช่น อุณหภูมิและความชื้น จึงไม่เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร

ซึ่งพอที่จะสรุปจุดเด่นจุดด้อยในการนำเซนเซอร์แบบต่างๆมาใช้งานได้ตามตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างลิมิตสวิตช์กับเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ

	จุดเด่นในการใช้งาน	จุดด้อยในการใช้งาน
<p>ลิมิตสวิตช์ (Limit Switches)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - ติดตั้งสะดวก , ง่าย - เป็นอุปกรณ์ที่มีสวิทช์แยก (Isolated) - ไม่ต้องมีไฟเลี้ยงวงจรในการทำงาน - การทำงานเชื่อถือได้ - มีความสามารถในการรับกระแสได้สูงในการทำงาน - มีความแม่นยำและเที่ยงตรง - ราคาต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่นๆ 	<ul style="list-style-type: none"> - มีอายุการใช้งานจำกัด - มีความเร็วการทำงานจำกัด (ประมาณ 1.5 เมตร/วินาที) - หน้าคอนแทกเสื่อมและทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด - ดัชนีการป้องกัน (IP) ถูกจำกัด - ความน่าเชื่อถือต่ำเมื่อทำงานที่มีระดับสัญญาณต่ำ
<p>เซ็นเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Proximity Sensors)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - อายุการใช้งานไม่ได้ขึ้นอยู่กับ จำนวน ครั้งของการทำงาน - มีลำตัวที่แข็งแรงสามารถใช้งานในโรงงานได้ดี - มีดัชนีการป้องกัน (IP) สูง - สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ดี - ไม่มีส่วนประกอบใดๆ ที่ต้องสัมผัสกับวัตถุที่ตรวจจับ - สามารถตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงได้ 	<ul style="list-style-type: none"> - ระยะการตรวจจับจำกัด (ประมาณ 60 mm) - ตรวจจับได้เฉพาะวัตถุที่เป็นโลหะเท่านั้น - การคำนวณจุดการทำงาน (Switching Point) ได้ยาก หากเป้าตรวจจับไม่ได้มาตรฐาน (เล็กกว่า) และชนิดของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก
<p>เซ็นเซอร์แบบเก็บประจุ (Capacitive Proximity Sensors)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกชนิด - สามารถตรวจจับผ่านแผ่นกั้น (Partition) ได้ 	<ul style="list-style-type: none"> - มีความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลง รอบข้าง เช่น อุณหภูมิและความชื้น - ระยะการตรวจจับที่จำกัด
<p>เซ็นเซอร์แบบใช้แสง (Photo Electric Sensors)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถตรวจจับในระยะไกลได้ - สามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกชนิด - สามารถตรวจจับวัตถุได้ทุกขนาด รวมถึงวัตถุที่มีลักษณะแหลมคม - มีเอาต์พุตทั้งแบบรีเลย์หรือโซลิตสเตท - มีชนิดที่ออกแบบสำหรับตรวจจับแถบสี (Colour Mark) 	<ul style="list-style-type: none"> - ประสิทธิภาพการทำงานลดลงเมื่อมีฝุ่นหรือสิ่งสกปรกจับที่ด้านหน้าชุด ส่งหรือชุดรับแสง - การทำงานอาจผิดพลาดได้หากมีการใช้งานบริเวณรอบข้างที่มีแสง สว่างจ้าเกินไป

3.1.2 คุณสมบัติของเซนเซอร์

เลือกใช้เซนเซอร์แบบที่สอง คือ Photoelectric Sensors (ตรวจจับวัตถุโดยใช้ลำแสง) ที่มีตัวรับตัวส่งอยู่แยกจากกันแบบ Opposed mode เนื่องจากเหมาะสมกับความต้องการใช้งานและเชื่อถือได้มากที่สุดสำหรับการตรวจจับวัตถุที่บดแสงประสิทธิภาพดีแม้สภาพแวดล้อมมีสิ่งปนเปื้อน สะดวกในการใช้งาน

3.1.2.1 ประเภทของเซนเซอร์

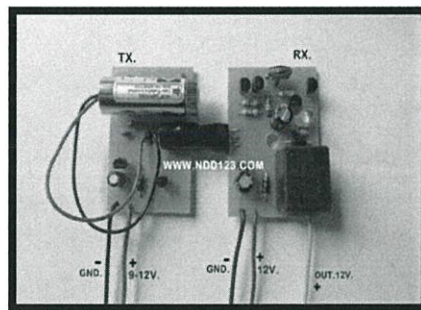
Photo electric Sensors (ตรวจจับวัตถุโดยใช้ลำแสง) ที่มีตัวรับตัวส่งอยู่แยกจากกันแบบ Opposed mode โดยใช้ลำแสงเลเซอร์เป็นส่งสัญญาณ และมี LDR เป็นตัวรับแสงเพื่อแปลงสัญญาณ

3.1.2.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์

ตัวส่งสัญญาณจะฉายแสงเลเซอร์ไปที่ LDR ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงเพื่อแปลงสัญญาณ เมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ตัดผ่านลำแสง จะทำให้วงจรต่อหน้าสัมผัสรีเลย์ จ่ายไฟดีซีที่มีแรงดันเท่ากับเพาเวอร์ซัพพลายด์ จ่ายแรงดันไฟบวกออกมา เพื่อส่งงานให้วงจรต่างๆที่นำมาต่อพ่วงทำงาน วงจรหัวส่งใช้ไฟเลี้ยง 9-12 โวลท์ ส่วนวงจรหัวรับใช้ไฟเลี้ยง 12 โวลท์

3.1.3 ขั้นตอนการติดตั้งระบบเซนเซอร์

เนื่องจากเซนเซอร์ที่ได้มามีลักษณะเป็นแผงวงจรเปลือยเปล่า (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) จึงจำเป็นต้องใส่กล่องใส่แผงวงจรแบบพลาสติกทึบ เพื่อลดการรบกวนจากแสงภายนอก และเพื่อป้องกันแผงวงจรชำรุด ก่อนจะนำไปติดตั้งกับสายพานลำเลียง



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรเซนเซอร์

3.1.3.1 ขั้นตอนการประกอบแผงวงจรเข้ากับกล่องสำหรับใส่แผงวงจร

เริ่มต้นด้วยการเจาะรูกล่องสำหรับเป็นช่องส่งสัญญาณและช่องรับสัญญาณ รุสายไฟและรูยึดแผงวงจรกับกล่องด้วยน็อต ใช้น็อตยึดแผงวงจรเข้ากับกล่องเพื่อยึดตำแหน่งของแผงวงจร แล้วขันน็อตปิดฝากล่องให้แน่น ตรวจสอบความเรียบร้อยของระบบเซนเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

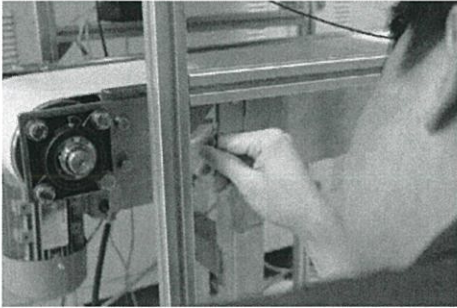


รูปที่ 3.2 แสดงการประกอบเซนเซอร์กับกล่องสำหรับใส่แผงวงจร

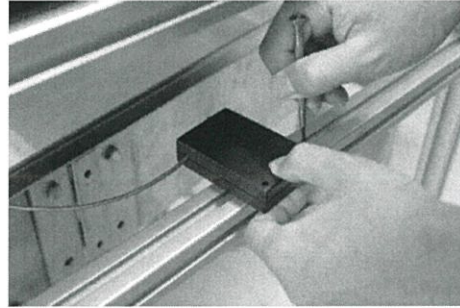
3.1.3.2 ขั้นตอนการติดตั้งระบบเซนเซอร์กับเครื่องประมวลผลภาพ

ได้ปรับปรุงเครื่องประมวลผลภาพโดยการเสริมอลูมิเนียมโปรไฟล์เพื่อใช้เป็นรางเพื่อติดตั้งระบบเซนเซอร์ ดังรูปที่

3.3 แล้วทำการประกอบตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณเข้ากับรางด้วยน็อต ดังรูปที่ 3.4

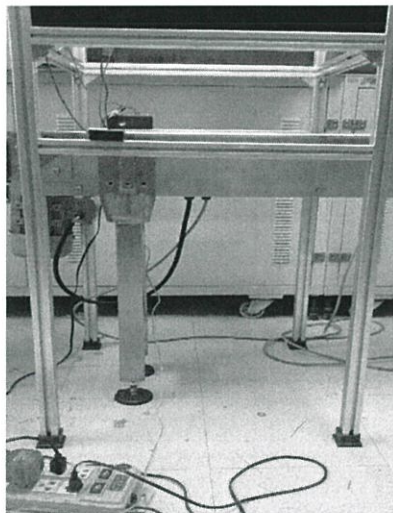


รูปที่ 3.3 แสดงการเสริมอลูมิเนียมโปรไฟล์



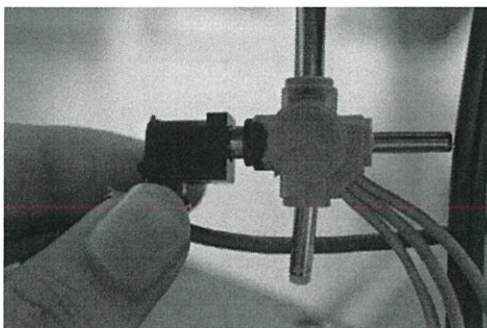
รูปที่ 3.4 แสดงการประกอบตัวส่งสัญญาณกับอลูมิเนียมโปรไฟล์

ตำแหน่งของเซนเซอร์ ติดตั้งสูงจากพื้น 72 เซนติเมตร สูงจากสายพานเล็กน้อย แสดงดังรูปที่ 3.5

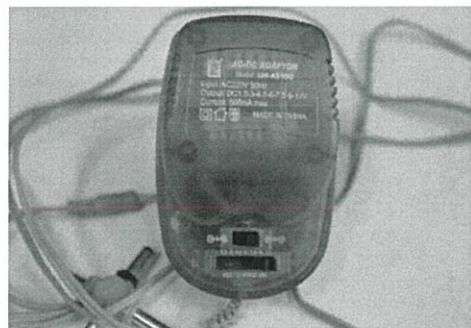


รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์

เซนเซอร์ใช้ไฟ 12 โวลต์ ซึ่งได้จากการใช้โอต์แดปเตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์เป็น 12 โวลต์ โดยเชื่อมต่อตัวรับกระแสไฟฟ้าของเซนเซอร์กับเอาพุทของอแดปเตอร์ ดังรูปที่ 3.6



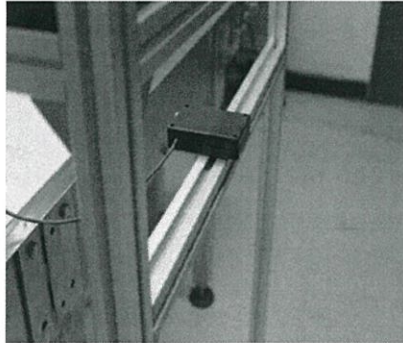
รูปที่ 3.6 แสดงการเชื่อมต่ออแดปเตอร์กับเซนเซอร์



รูปที่ 3.7 แสดงอแดปเตอร์ที่ใช้

3.1.4 ฟังก์ชันการใช้งาน

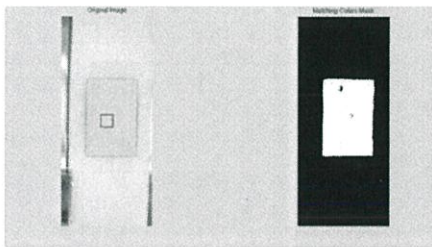
การใช้งานเสริม ฟังก์ชันสามารถปรับให้รีเลย์หน่วงเวลาหลังจากที่มีการตัดผ่านลำแสงได้



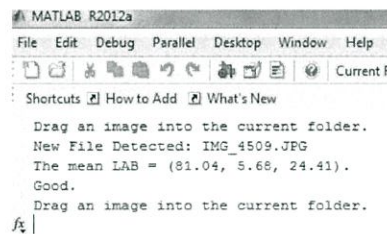
รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้งระบบเซนเซอร์ที่เสร็จสมบูรณ์

3.2 การพัฒนาโปรแกรม

ได้มีการปรับปรุงโปรแกรม ให้มีฟังก์ชันการใช้งานมากขึ้น โดยสามารถเรียกใช้งานภาพอัตโนมัติเมื่อมีการถ่ายภาพเกิดขึ้น สามารถเตรียมภาพถ่ายอัตโนมัติ โดยตัดสิ่งรบกวนออกและเลือกวิเคราะห์เฉพาะส่วนที่เป็นสีของชิ้นงานเท่านั้น ดังรูปที่ 3.9 สามารถแปลงค่าสีจาก RGB ไปเป็น $L^*a^*b^*$ อัตโนมัติ สามารถกำหนดช่วงของค่าสี $L^*a^*b^*$ เพื่อแยกแยะคุณภาพของสี ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการเตรียมภาพถ่าย



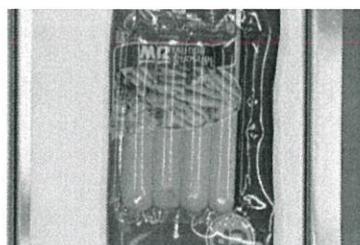
รูปที่ 3.10 แสดงขั้นตอนการแปลงค่าสีและแยกแยะคุณภาพของสี

3.3 การประมวลผลภาพ

การควบคุมคุณภาพสีของไส้กรอก จะใช้การวัดสีโดยอาศัยหลักการประมวลผลภาพ จากหัวข้อ 2.2 การประมวลผลภาพ ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน

3.3.1 การได้มาของรูปภาพ

ใช้กล้องดิจิทัล Canon D500 ซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนของเครื่องประมวลผลภาพ เชื่อมต่อกล้องเข้ากับระบบเซนเซอร์สั่งการถ่ายภาพโดยโดยการตรวจจับวัตถุของเซนเซอร์ ถ่ายภาพขณะที่วัตถุเคลื่อนที่อยู่บนสายพาน ภาพที่ได้ออกมาดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างรูปที่ได้จากการถ่ายภาพ

3.3.2 การวัดคุณลักษณะ

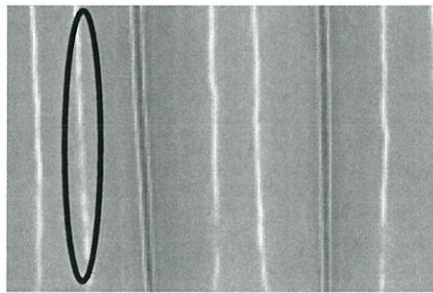
ทำการวัดค่าสีจากภาพที่ได้ในขั้นตอนที่ 3.2.2 โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งจะแปลงค่าสีจากระบบ RGB ไปเป็น $L^*a^*b^*$

3.4 การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเครื่องมือวัด

ใช้หลักการความสามารถในการวัดซ้ำและวัดเหมือนในการวิเคราะห์เครื่องมือวัด เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นว่าเครื่องมือวัด สามารถทำงานร่วมกับสายพาน หรือเครื่องมือวัดสามารถวัดสีของวัตถุที่เคลื่อนที่บนสายพานได้

3.4.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ใช้กระดาษสี 1 สีเพื่อแทนไส้กรอก เนื่องจากการถ่ายภาพไส้กรอกอาจเกิดการสะท้อนแสงเนื่องจากพลาสติกที่หุ้มไส้กรอกไว้ แสดงในรูปที่ 3.12 โดยการใช้ตัวอย่างที่เป็นกระดาษสีสามารถใช้ในการบ่งบอกได้ว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการแบ่งแยกสีของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.12 แสดงบริเวณที่เกิดการสะท้อนของแสง

3.4.2 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองเพื่อรองรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเครื่องมือวัดนั้น จะต้องทำการศึกษาปัจจัยซึ่งเครื่องมืออย่างแรกก็นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยคือ ความรู้เดิมและประสบการณ์

จากการศึกษาของ ชญาดา จรัสมนตรี และ สรัสกร บุรณดิถิก ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1 ได้แก่

1. ความเร็วขดเตอร์
2. ขนาดรูรับแสง
3. ค่า ISO
4. แสงภายนอก
5. พื้นหลัง
6. ระยะห่างกล้องกับวัตถุ

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลและไม่มีผลต่อการทดลอง

ปัจจัย	มีผล	ไม่มีผล
ความเร็วชัตเตอร์	✓	
ขนาดรูรับแสง	✓	
ค่า ISO	✓	
แสงภายนอก	✓	
พื้นหลัง	✓	
ผู้ทำการทดลอง		✓
ระยะห่างกล้องกับวัตถุ	✓	
ตำแหน่งของตัวอย่าง		✓

ใช้กล้องดิจิทัล CanonD5100 ตั้งค่ากล้อง ISO400 ความเร็วชัตเตอร์ 1/60 ค่ารูรับแสง 5.0

3.4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิเคราะห์ผลโดยใช้ โปรแกรม MINITAB 16 โดยใช้ ANOVA จากนั้นนำปัจจัยไม่มีผลต่อค่า $L^*a^*b^*$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อนำไปพิจารณาในการทดสอบความสามารถของระบบการวัด (GR&R)

3.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด

ใช้หลักการความสามารถในการวัดซ้ำและวัดเหมือนในการวิเคราะห์เครื่องมือวัด เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นว่าเครื่องมือวัดสามารถแบ่งแยกผลิตภัณฑ์ได้

3.5.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ใช้กระดาษ 10 สีเพื่อแทน สีต่างๆของไส้กรอก ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 รูปแสดงสีของกระดาษที่ใช้เป็นตัวอย่าง

3.5.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ระบบการวัด ใช้การออกแบบการทดลอง แบบ Full factorial design โดยประกอบไปด้วย ปัจจัย 3 ปัจจัย ซึ่งคือปัจจัยพนักงาน ปัจจัยแสงภายนอก และปัจจัยชิ้นงาน โดยชิ้นงานคือสีของกระดาษที่แสดงในรูปที่ 3.13 จำนวน 10 ตัวอย่าง ระดับของปัจจัยแสดงในตารางที่ 3.3 ทำการทดลองทั้งหมด 40 ครั้ง ผลที่ได้คือ ค่า $L^*a^*b^*$ ดังที่ได้อธิบายไปในหัวข้อ 3.2

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงปัจจัยที่ทำการศึกษาระดับของปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ	
ผู้ทำการทดลอง	คนที่ 1	คนที่ 2
แสงภายนอก	มี	ไม่มี
สีของชิ้นทดสอบ	1-10	

3.5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองวิเคราะห์ผลโดยใช้ โปรแกรม MINITAB 16 โดยใช้ Balanced ANOVA จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณค่าความแปรปรวน เพื่อเปรียบเทียบว่าเครื่องมีความสามารถในการแบ่งแยกผลิตภัณฑ์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการทดลองตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเครื่องต้นแบบก่อนและหลังพัฒนา ผลการวัดที่ได้จะปรากฏอยู่ในรูปของระบบสี $L^*a^*b^*$ ผลที่ได้จากการทดลองคือ ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

4.1 ผลการการวิเคราะห์ระบบการวัด

ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ระบบการวัด การทดลองในหัวข้อนี้ เป็นผลการทดลองของหัวข้อ 3.3.3 แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวิเคราะห์ระบบวัด

ลำดับทดลอง	สีของขั้นทดสอบ	ผู้ทำการทดลอง	แสงภายนอก	ผลการทดลอง		
				L*	a*	b*
1	1	คนที่ 1	มี	77.41	17.10	51.63
2	1	คนที่ 1	ไม่มี	76.49	17.90	51.93
3	1	คนที่ 2	มี	77.28	17.52	51.88
4	1	คนที่ 2	ไม่มี	77.04	17.93	51.78
5	2	คนที่ 1	มี	77.94	15.31	27.74
6	2	คนที่ 1	ไม่มี	77.55	15.41	27.97
7	2	คนที่ 2	มี	77.96	15.55	27.82
8	2	คนที่ 2	ไม่มี	77.55	15.28	27.82
9	3	คนที่ 1	มี	70.83	30.31	38.70
10	3	คนที่ 1	ไม่มี	69.67	31.04	38.86
11	3	คนที่ 2	มี	70.75	30.58	39.09
12	3	คนที่ 2	ไม่มี	69.45	31.19	38.88
13	4	คนที่ 1	มี	68.04	37.70	29.63
14	4	คนที่ 1	ไม่มี	66.04	38.39	30.19
15	4	คนที่ 2	มี	67.89	38.05	29.92
16	4	คนที่ 2	ไม่มี	66.21	38.29	30.07
17	5	คนที่ 1	มี	69.07	34.82	21.70
18	5	คนที่ 1	ไม่มี	68.12	34.60	22.67
19	5	คนที่ 2	มี	69.32	34.82	22.24
20	5	คนที่ 2	ไม่มี	68.56	34.48	22.31
21	6	คนที่ 1	มี	67.75	25.35	38.47
22	6	คนที่ 1	ไม่มี	65.74	25.71	37.71
23	6	คนที่ 2	มี	67.71	25.53	38.23
24	6	คนที่ 2	ไม่มี	66.04	25.73	37.56
25	7	คนที่ 1	มี	62.62	29.63	24.34
26	7	คนที่ 1	ไม่มี	60.08	29.08	23.46
27	7	คนที่ 2	มี	62.22	29.58	23.53

28	7	คนที่ 2	ไม่มี	60.62	29.01	23.44
29	8	คนที่ 1	มี	56.61	17.88	15.16
30	8	คนที่ 1	ไม่มี	54.05	17.67	14.32
31	8	คนที่ 2	มี	56.40	17.97	15.04
32	8	คนที่ 2	ไม่มี	53.83	17.55	14.32
33	9	คนที่ 1	มี	57.18	16.42	17.41
34	9	คนที่ 1	ไม่มี	54.81	15.93	16.68
35	9	คนที่ 2	มี	56.51	16.24	17.10
36	9	คนที่ 2	ไม่มี	54.03	15.91	16.38
37	10	คนที่ 1	มี	77.55	16.79	56.00
38	10	คนที่ 1	ไม่มี	76.54	17.63	55.87
39	10	คนที่ 2	มี	77.31	16.83	56.19
40	10	คนที่ 2	ไม่มี	76.92	17.42	55.38

จากตารางที่ 4.1 เป็นตารางแสดงผลของค่าวัดที่ได้ ซึ่งนำไปเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ด้วย Balanced ANOVA แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L*

Source	Df	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Opt	1	0.006	0.006	0.02	0.02	0.894
Outside	1	21.040	21.040	21.040	26.39	0.001
Part	9	2504.722	2504.722	278.302	405.40	0.000
Opt*Outside	1	0.197	0.197	0.197	5.79	0.039
Opt*Part	9	0.779	0.779	0.086	2.54	0.091
Outside*Part	9	5.707	5.707	0.634	18.60	0.000
Error	9	0.307	0.307	0.034		
Total	39	2532.756				

	Source	Variance Component
1	Opt	-0.0122
2	Outside	1.0121
3	Part	69.4040
4	Opt*Outside	0.0163
5	Opt*Part	0.0262
6	Outside*Part	0.3000
7	Error	0.0341

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a*

Source	Df	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Opt	1	0.16	0.16	0.16	0.16	0.753
Outside	1	0.118	0.118	0.118	0.36	0.567
Part	9	2607.124	2607.124	289.680	1171.47	0.000
Opt*Outside	1	0.093	0.093	0.093	10.96	0.009
Opt*Part	9	0.132	0.132	0.015	1.73	0.213
Outside*Part	9	2.170	2.170	0.241	28.36	0.000
Error	9	0.077	0.077	0.009		
Total	39	2609.729				

	Source	Variance Component
1	Opt	-0.0042
2	Outside	-0.0104
3	Part	72.3583
4	Opt*Outside	0.0085
5	Opt*Part	0.0031
6	Outside*Part	0.1163
7	Error	0.0085

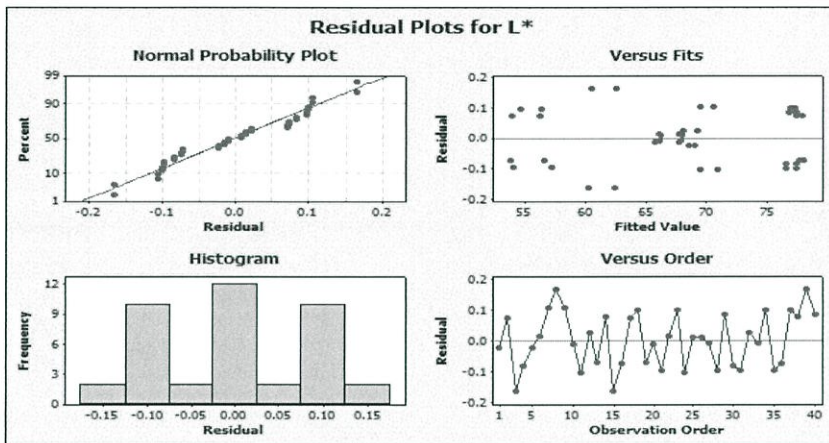
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b*

Source	Df	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Opt	1	0.05	0.05	0.05	0.68	0.621
Outside	1	0.45	0.45	0.45	1.64	0.261
Part	9	7031.92	7031.92	781.32	3696.42	0.000
Opt*Outside	1	0.10	0.10	0.10	1.73	0.221
Opt*Part	9	0.34	0.34	0.04	0.66	0.727
Outside*Part	9	2.08	2.08	0.23	4.06	0.024
Error	9	0.51	0.51	0.06		
Total	39	7035.45				

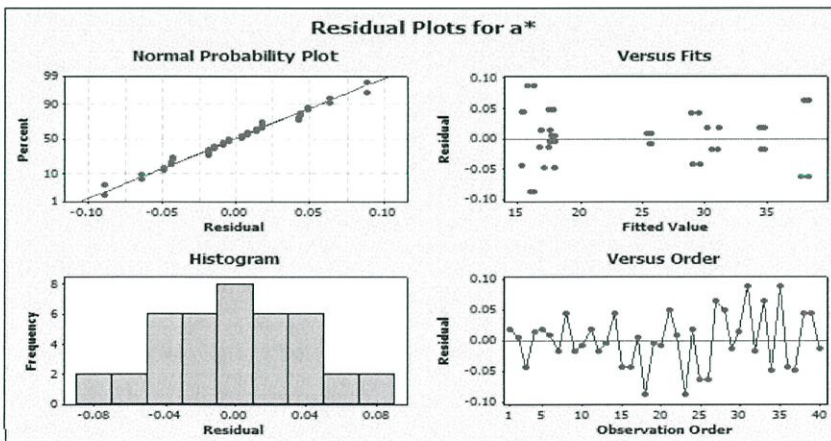
	Source	Variance Component
1	Opt	-0.001
2	Outside	0.009
3	Part	195.278
4	Opt*Outside	0.004
5	Opt*Part	-0.010
6	Outside*Part	0.087
7	Error	0.057

จากตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L^* โดยใช้โปรแกรม MINITAB พบว่าปัจจัยแสงภายนอก (Outside Light) นั้นมีผลต่อค่า L^* อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากเป็นค่าความสว่างของสี ทั้งนี้ อาจเกิดจากเครื่องประมวลผลภาพไม่สามารถป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอกได้ แสงภายนอกจึงมีผลต่อค่าสี L^* สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ ค่า a^* และ b^* (ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4) จากการวิเคราะห์พบว่าไม่มีอิทธิพลของปัจจัยใดที่มีผลต่อค่า a^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

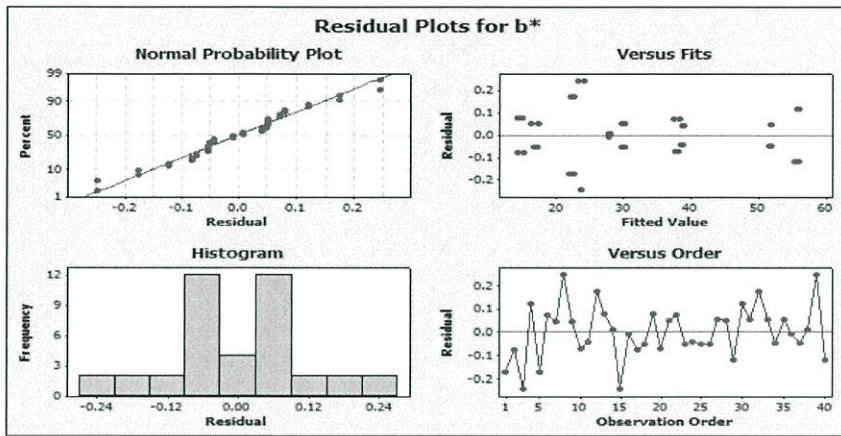
จากรูปที่ 4.1 แสดง Residual plot ของค่า L^* a^* และ b^* จากกราฟ Normal Probability พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติเนื่องจากค่าตกค้างของค่า L^* a^* และ b^* มีการเรียงตัวเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณากราฟฮิสโตแกรมพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ สำหรับกราฟ Versus Fits พบว่าค่าตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ และกราฟ Versus order พบว่าค่าตกค้างเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นถือว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือพอที่จะสามารถสรุปผลได้และไม่มีความผิดปกติโดย Residual plots ของค่า L^* , a^* และ b^* แสดงผลไปในทิศทางเดียวกัน



ก. Residual plot ของค่า L^*



ข. Residual Plot ของค่า a^*



ค. Residual Plot ของค่า b*

รูปที่ 4.1 แสดง Residual plot ของค่า L* a* และ b* ในการวิเคราะห์ระบบการวัดตามลำดับ

จากการทดลอง การวิเคราะห์ระบบการวัดใช้ค่าองค์ประกอบของความแปรปรวน (Variance component) โดยใช้ Balanced ANOVA จากนั้นทำการคำนวณค่าความแปรปรวนตามสมการที่ 4.1 แสดงตัวอย่างดังนี้

$$\sigma_{gauge}^2 = \sigma^2 + \sigma_{\beta}^2 + \sigma_{\gamma}^2 \quad (4.1)$$

คำนวณค่าความแปรปรวนของค่า L* ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.2 จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \sigma_{gauge}^2 &= 0 + 1.0121 + 0.0262 + 0.0163 + 0.3000 + 0.0341 \\ &= 1.3887 \end{aligned}$$

คำนวณค่าความแปรปรวนของค่า a* ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3 จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \sigma_{gauge}^2 &= 0 + 0 + 0.0085 + 0.0031 + 0.1163 + 0.0085 \\ &= 0.3640 \end{aligned}$$

คำนวณค่าความแปรปรวนของค่า b* ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.4 จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \sigma_{gauge}^2 &= 0 + 0.009 + 0.004 + 0 + 0.087 + 0.057 \\ &= 0.2380 \end{aligned}$$

สำหรับค่า ความแปรปรวนที่เป็นลบ ในความเป็นจริงไม่สามารถเป็นลบได้แต่เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ทำให้ค่า ที่คำนวณออกมาเป็นลบ ดังนั้นในการคำนวณต้องแทนค่าที่เป็นลบด้วยศูนย์ จากการคำนวณดังกล่าวสามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 4.10 จากตารางจะเห็นว่าค่าสัดส่วนระหว่างความแปรปรวนของระบบการวัดและความแปรปรวนของชิ้นงานของ L* a* และ b* เท่ากับ 2.00% 0.18% และ 0.12% ตามลำดับซึ่งแสดงว่าความแปรปรวนของเครื่องมือวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความแปรปรวนเนื่องจากชิ้นงาน

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ L* a* และ b*

ความแปรปรวน	L*	a*	b*
σ_{gauge}^2	1.3887	0.1364	0.2380
σ_{part}^2	69.4040	72.3583	195.278
$\sigma_{gauge}^2 / \sigma_{part}^2$	2.00%	0.18%	0.12%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าระบบการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก แต่ค่า L^* ยังถือได้ว่ายังมีอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆที่ทำให้ค่าในการวัดเปลี่ยนแปลง จากปัจจัยของแสงภายนอกที่เข้ามาทำให้ระบบเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสายพานลำเลียงนั้นลอดผ่านใต้เครื่องประมวลผลภาพ เครื่องประมวลผลภาพจึงไม่สามารถป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอกได้ ดังนั้นในการพัฒนาต่อไปควรจะทำให้เครื่องประมวลผลภาพสามารถป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอกไม่เข้ามาเกี่ยวข้องกับระบบการวัดนี้อีก เมื่อเปรียบเทียบกับคำแนะนำสำหรับเกณฑ์การยอมรับโดยทั่วไปซึ่ง AIAG [2] ได้ระบุไว้ว่า ถ้าสัดส่วนความแปรปรวนต่ำกว่า 10% โดยทั่วไปแล้วถือว่าสามารถยอมรับได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของเครื่องประมวลผลภาพก่อนทำการปรับปรุง (ดังตารางที่ 4.6) พบว่าเครื่องที่ทำการปรับปรุงแล้วมีความสามารถในการการวัดที่ดีกว่า (ดังตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.6 ตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ L^* a^* และ b^* ของเครื่องประมวลผลภาพก่อนทำการปรับปรุง (ชญาดา และ สรัสกร, 2555)

ความแปรปรวน	L^*	a^*	b^*
σ_{gauge}^2	1.5498	0.798	0.798
σ_{part}^2	51.7301	107.416	139.288
$\sigma_{gauge}^2 / \sigma_{part}^2$	3.2989%	0.7429%	0.5771%

ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบสัดส่วนความแปรปรวนก่อนและหลังการปรับปรุง

% $\sigma_{gauge}^2 / \sigma_{part}^2$	ก่อนปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
L^*	3.29%	2.00%
a^*	0.74%	0.18%
b^*	0.57%	0.12%

ค่าสัดส่วนระหว่างความแปรปรวนของระบบการวัดและความแปรปรวนของชิ้นงานของ L^* a^* และ b^* ก่อนปรับปรุง เท่ากับ 3.29% 0.74% 0.57% และหลังปรับปรุง เท่ากับ 2.00% 0.18% และ 0.12% ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.7) เห็นได้ว่า ค่าสัดส่วนระหว่างความแปรปรวนของระบบการวัดและความแปรปรวนของชิ้นงาน ลดลง เนื่องจากขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายด้วยมนุษย์มีความไม่แน่นอน ผู้เตรียมภาพอาจถ่ายเลือกส่วนของภาพที่นำมาวิเคราะห์ด้วยขนาดที่ไม่เท่ากัน แม้จะเป็นชิ้นงานเดียวกันแต่ค่าที่ได้อาจไม่เท่ากัน การเตรียมภาพถ่ายด้วยโปรแกรมจึงมีความเที่ยงตรงกว่า

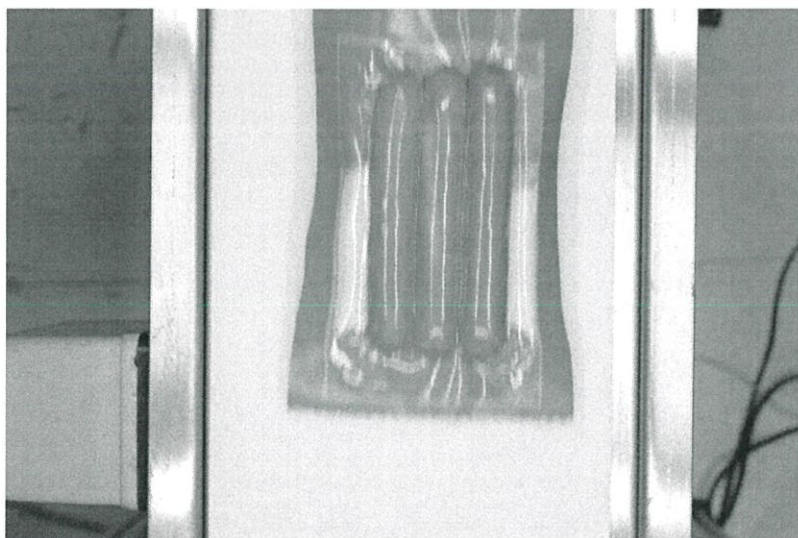
4.2 การทดสอบกับไส้กรอกจริง

ทดสอบใช้เครื่องประมวลผลภาพกับไส้กรอกจริง เพื่อทดสอบว่าเครื่องประมวลผลภาพสามารถถ่ายภาพไส้กรอกและประมวลผลภาพไส้กรอกได้อัตโนมัติ โดยใช้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่มีขายตามร้านสะดวกซื้อ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์

การทดสอบทำโดย วางผลิตภัณฑ์ใส่กรอกไว้บนสายพาน สายพานจะลำเลียงผลิตภัณฑ์ผ่านระบบเซนเซอร์ เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับใส่กรอกได้เครื่องประมวลผลภาพจะทำการถ่ายภาพและวิเคราะห์เพื่อหาค่า $L^*a^*b^*$ เริ่มการทดสอบผู้ทดสอบวางผลิตภัณฑ์ใส่กรอกไว้บนสายพาน เมื่อผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ตัดลำแสงของเซนเซอร์ ระบบเซนเซอร์สามารถตรวจจับและส่งงานกล้องให้ถ่ายภาพใส่กรอกได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างรูปที่ได้จากการถ่ายภาพ

ผลการทดสอบกับใส่กรอกจริงที่ขายตามท้องตลาด

L = 57.50

A = 22.34

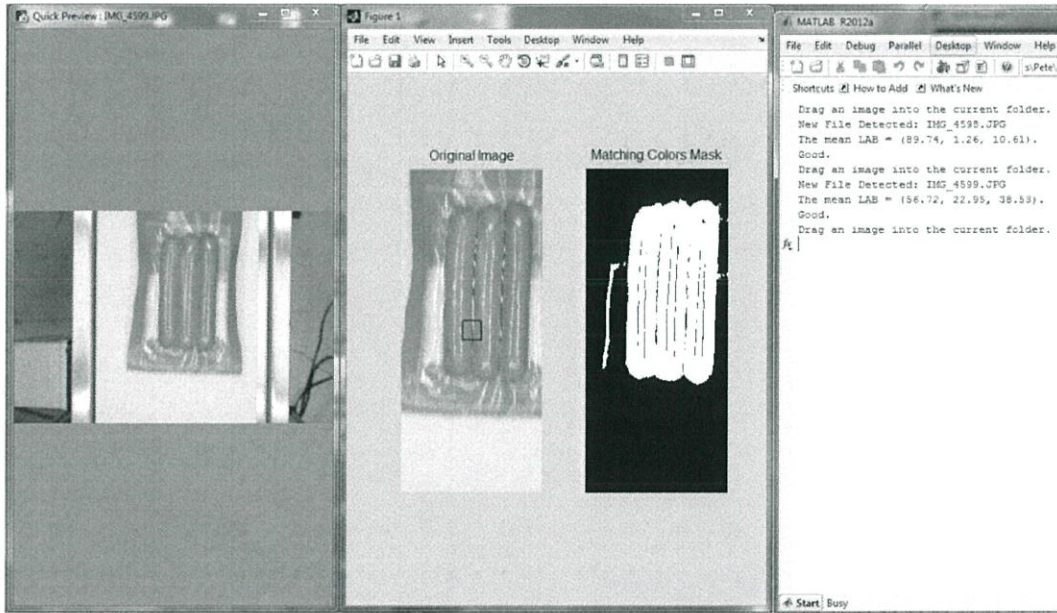
B = 37.14

L คือค่าความสว่างของสี

A คือองค์ประกอบระหว่างสีเขียวและสีแดง

B คือองค์ประกอบระหว่างสีน้ำเงินและสีเหลือง

ภาพถ่ายที่ได้จะถูกบันทึกลงในคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์หาค่า $L^*a^*b^*$ ด้วยโปรแกรม MATLAB ดังแสดงในรูปที่ 4.4 โปรแกรมแบ่งออกเป็นสามส่วน ส่วนแรกแสดงภาพถ่ายที่ได้ ส่วนที่สองแสดงการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่าย ใน Original Image จะมีการตรวจจับสีด้วย Box Pixel เพื่อแยกเอาเฉพาะสีที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ และ Matching Colors Mask แสดงส่วนของภาพที่นำไปใช้ โดยสีขาวแสดงถึงส่วนที่นำมาวิเคราะห์ สีดำแสดงถึงส่วนที่ถูกตัดออก และส่วนที่สามแสดงค่า $L^*a^*b^*$ ที่ได้จากการวิเคราะห์



รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพโดยใช้โปรแกรม MATLAB

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องประมวลผลภาพสามารถถ่ายภาพและประมวลผลภาพได้กรอกได้อัตโนมัติ แต่ยังมีข้อบกพร่องที่โปรแกรมได้นำสีบางส่วนที่นอกเหนือจากสีของไส้กรอกมาใช้ในการคำนวณ ทำให้ค่าที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งเกิดมาจากโปรแกรมได้นำสีของแพ็กเกจมีความใกล้เคียงกับสีของไส้กรอกที่ตรวจพบใน Box Pixel มาคำนวณด้วย

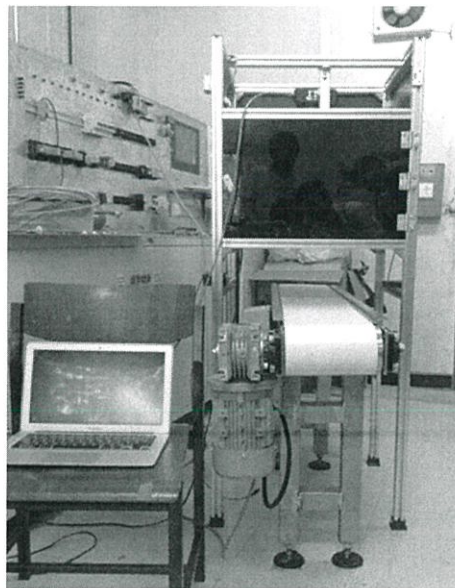
บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการพัฒนาเครื่องประมวลผลภาพของไส้ที่มีอยู่ สามารถทำงานได้อัตโนมัติ และสามารถใช้งานกับไส้กรอกที่เคลื่อนที่อยู่บนสายพานได้ โดยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ การปรับปรุงเครื่องประมวลผลภาพให้มีความเป็นอัตโนมัติมากขึ้น และการวิเคราะห์ระบบการวัด

1. ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาเครื่องประมวลผลภาพ จุดประสงค์เพื่อต้องการให้เครื่องประมวลผลภาพสามารถถ่ายภาพและคำนวณเพื่อหาค่า $L^*a^*b^*$ ได้อัตโนมัติ โดยการเลือกเซนเซอร์และพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการเขียนโปรแกรมหาค่า เซนเซอร์ที่ใช้คือ โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ ชนิดแบบสองหัวประกอบด้วยตัวรับและตัวส่งสัญญาณ จากนั้นทำการประกอบเข้ากับเครื่องประมวลผลภาพเพื่อให้สามารถตรวจจับไส้กรอกที่เคลื่อนที่ตามสายพานและสั่งงานกล้องให้ถ่ายภาพ และการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ใน MATLAB โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานั้น สามารถเลือกภาพถ่ายและคำนวณหาค่า $L^*a^*b^*$ ได้อัตโนมัติ ผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องประมวลผลภาพให้สามารถนำมาใช้งานอัตโนมัติและสามารถใช้งานร่วมกับสายพานลำเลียงได้ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เครื่องประมวลผลภาพและสายพาน

2. การวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อเป็นการประเมินความสามารถของเครื่องมือวัด และสร้างความเชื่อมั่นในการสร้างเครื่องมือวัดการโดยการศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและวัดเหมือน จากผลการทดลองพบว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการแบ่งแยกค่า $L^* a^*$ และ b^* เท่ากับ 2.00% 0.18% และ 0.12% ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดสามารถใช้งานได้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดก่อนการปรับปรุงที่มีค่าความสามารถในการแบ่งแยกค่า $L^* a^*$ และ b^* เท่ากับ 3.30% 0.74% และ 0.58% ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้พัฒนาเครื่องประมวลผลภาพจนสามารถถ่ายภาพและวัดสีของไส้กรอกขณะที่ไส้กรอกเคลื่อนที่อยู่บนสายพานลำเลียง และสามารถทำงานโดยอัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องใช้มนุษย์ทำการควบคุมเครื่องประมวลผลภาพ เช่นการได้มาของรูปภาพใช้โฟโต้อิเล็กทรอนิกส์เซอร์ในการสั่งเครื่องประมวลผลภาพให้ทำการถ่ายภาพไส้กรอกที่เคลื่อนที่ตามสายพานลำเลียง กระบวนการวัดคุณลักษณะของภาพไม่ต้องใช้มนุษย์ในการแปลงค่าสีเป็นระบบ $L^*a^*b^*$ โดยการใช้ MATLAB จากที่กล่าวมาส่งผลให้เครื่องประมวลผลภาพสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ทั้งนี้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานั้นไม่สามารถแยกแยะจำนวนชิ้นงานในภาพถ่ายได้และเวลาในการวิเคราะห์ชิ้นงานยังถือว่าช้าเมื่อเทียบกับสายการผลิตจริง จึงมีข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไปดังนี้

1. การได้มาของรูปภาพขั้นตอนที่ทำอยู่เป็นการถ่ายภาพนิ่ง สามารถถ่ายภาพชิ้นงานได้ที่ละชิ้นและยังมีความล่าช้า อาจทำการใช้การถ่ายวิดีโอแทน เพื่อให้มีความต่อเนื่อง และสอดคล้องกับสายการผลิตจริง
2. เครื่องประมวลผลภาพไม่สามารถป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอกได้ จึงควรปรับปรุงให้สามารถป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอกได้จริง
3. โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นยังไม่สามารถแยกแยะลักษณะคุณภาพอื่นๆ เช่น ขนาด รูปร่าง ได้ อาจปรับปรุงให้สามารถตรวจสอบลักษณะคุณภาพอื่นๆได้

บรรณานุกรม

- [1] กิตติศักดิ์พลอยพานิชเจริญ. 2553. การวิเคราะห์ระบบการวัด MSA ประมวลผลด้วย Minitab 15. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี
- [2] กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ. 2549 การประมวลผลภาพดิจิทัล. คณะวิศวกรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 24-28
- [3] กระทรวงอุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนไส้กรอกหมู มผช.330/2547. สำนักงานมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม.
- [4] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2554. อุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์ (ไส้กรอกจากเนื้อสุกร)[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :intranet.dip.go.th/doc/download/.../Industrial%20
- [5] จิราวัลย์ จิตรถเวช. 2552 การวางแผนและการวิเคราะห์ผลทดลอง. กรุงเทพมหานคร : โครงการส่งเสริมและพัฒนาเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
- [6] วราศิริ พวงมาลัย, วริศร์วรเวทย์สกุล และวัชรพงษ์คุปต์วดีนันท์. การรู้จำภาพใบหน้า. ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์] กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2551.
- [7] ปิยาภรณ์ มาตย์วิเศษและชุมพล ยวงโย. 2555. การบูรณาการการประมวลผลภาพและวิธีการเชิงสถิติสำหรับการควบคุมคุณภาพผักกาดแก้ว. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] พิรญาณ์ แก้วสุวรรณ, 2555 .การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติโดยใช้ภาพสีสำหรับไส้กรอก. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] ชญาดา จรัสมนตรีและสร้อยกร บุนนาค. 2555. เครื่องต้นแบบเพื่อการตรวจสอบสีของไส้กรอกโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ วิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] วัชร คุชแก้ว. 2548. “การตรวจวัดคุณภาพสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแฟรงค์เฟอ์เตอร์ที่จำหน่ายในเขตลาดกระบัง.” ปัญหาพิเศษปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [11] วราวุฒิ ครุสง. 2546. การประกันคุณภาพในอุตสาหกรรมอาหาร. กรุงเทพฯ : ดิสแควร์อินเตอร์เนชันแนล.
- [12] วราศิริ พวงมาลัย, วริศร์วรเวทย์สกุล และวัชรพงษ์คุปต์วดีนันท์. การรู้จำภาพใบหน้า. ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์] กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2551.
- [13] ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. 2551. อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :<http://fic.nfi.or.th/thaifood/product52-meat.asp>.
- [14] Automotive Industry Action Group (AIAG). “Measurement System Analysis (MSA),” 3rd edition, Michigan, pp. 77, 2002.
- [15] Chambers, I.V.E. and Bowers, J. 1993. “Consumer perception of sensory quality in muscle foods : sensory characteristics of meat.” Food Technology. 47(116) : 118-120.
- [16] Du, C. and Sun, D.W. 2004. “Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation.” Trends in Food Science & Technology. 15(5) : 230-249.
- [17] Ford, A. and Roberts, A. 1998. Color Space Conversions. [online]. Available :<http://www.poynton.com/PDFs/coloureq.pdf>.
- [18] Kang, S.P. East, A.R. and Trujillo, F.J. 2008. “Colour vision system evaluation of bicolourfruit : A case study with ‘B74’ mango.” Postharvest Biology and Technology.
- [19] Lu, J. Tan, J. Shatadal, P. and Gerrard, D.E. 2000. “Evaluation of pork color by using computer vision.” Meat Science. 56(1) : 57-60.
- [20] Mendoza, F. and Aguilera, J.M. 2004. “Application of Image Analysis for Classification of Ripening Bananas” Journal of Food Science. 69(9) : 471-477.

- [21] Montgomery, D.C. 2009. Design and Analysis of Experiments (International Student Version). 7th ed. The United States of America : John Wiley and Sons, INC.
- [22] Montgomery, D.C. 2009. Introduction to statistical quality control. 6th ed. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- [23] O’Sullivan, M.G. Byrne, D.V. Martens, H. Gidskehaug, L.H. Andersen, H.J. and Martens, M. 2003. “Evaluation of pork colour : prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis.” *Meat Science*. 65(2) : 909-918.
- [23] Pedreschi, F. LeÓN, J. Mery, D. and Moyano, P. 2006. “Development of a computer vision system to measure the color of potato chips.” *Food Research International*. 39(10) : 1092–1098.
- [24] Triwood1973. 2008. Mass Producing Hot Dogs in a Factory. [Online].Available :http://www.youtube.com/watch?v=moM1s3cltTc&feature=player_embedded.
- [25] Yam, K.L. and Papadakis, S.E. 2004. “A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces.” *Journal of Food Engineering*. 61(1) :137–142.
- [26] Mendoza, F. Dejmek, P.A. and Aguilera, J.M. 2006. “Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis.” *Postharvest Biology and Technology*. 41(3) : 285-295.
- [27] Mendoza, F. Dejmek, P.A. and Aguilera, J.M. 2007. “Colour and image texture analysis in classification of commercial potato chips.” *Food Research International*. 40(9) : 1146-1154.
- [28] Montgomery, D.C. 2009. Design and Analysis of Experiments (International Student Version). 7th ed. The United States of America : John Wiley and Sons, INC.
- [29] Montgomery, D.C. 2009. Introduction to statistical quality control. 6th ed. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- [30] Montgomery, D.C. and Runger, G.C. 2009. Applied Statistics and Probability for Engineers. 5th ed. New York : John Wiley and Sons.
- [31] Papadakis, S.E. Abdul-Malek, S. Kamdem, R.E. and Yam, K.L. 2000. “A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods.” *Food Technology*. 5(12) : 48–51.
- [32] Srikaeo, K. and Hourigan, J.A. 2002. “The use of statistical process control (SPC) to enhance the validation of critical control points(CCPs) in shell egg washing.” *Food Control*. 13(4–5) : 263–273.
- [33] Srikaeo, K. Furst, J. and Ashton, J. 2005. “Characterization of wheat-based biscuit cooking process by statistical process control techniques.” *Food control*. 16(4) : 309-317.
- [34] Sun, D.W. and Brosnan, T. 2003. “Pizza quality evaluation using computer vision-part1 pizza base and sauce spread.” *Journal of Food Engineering*. 57(1) : 81–89.
- [35] Tao, Y. Heinemann, P.H. Vargheses, Z. Morrow, C.T. and Sommer, H.J. 1995. “Machinevision for color inspection of potatoes and apples.” *Transactions of the ASAE*. 38(5) : 1555–1561.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลการทดลอง

1. ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

ตารางที่ ก.1 รูปแบบการทดลองและผลการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด

ลำดับทดลอง	สีของชั้นทดสอบ	ผู้ทำการทดลอง	แสงภายนอก	ผลการทดลอง		
				L*	a*	b*
1	1	คนที่ 1	มี	77.41	17.10	51.63
2	1	คนที่ 1	ไม่มี	76.49	17.90	51.93
3	1	คนที่ 2	มี	77.28	17.52	51.88
4	1	คนที่ 2	ไม่มี	77.04	17.93	51.78
5	2	คนที่ 1	มี	77.94	15.31	27.74
6	2	คนที่ 1	ไม่มี	77.55	15.41	27.97
7	2	คนที่ 2	มี	77.96	15.55	27.82
8	2	คนที่ 2	ไม่มี	77.55	15.28	27.82
9	3	คนที่ 1	มี	70.83	30.31	38.70
10	3	คนที่ 1	ไม่มี	69.67	31.04	38.86
11	3	คนที่ 2	มี	70.75	30.58	39.09
12	3	คนที่ 2	ไม่มี	69.45	31.19	38.88
13	4	คนที่ 1	มี	68.04	37.70	29.63
14	4	คนที่ 1	ไม่มี	66.04	38.39	30.19
15	4	คนที่ 2	มี	67.89	38.05	29.92
16	4	คนที่ 2	ไม่มี	66.21	38.29	30.07
17	5	คนที่ 1	มี	69.07	34.82	21.70
18	5	คนที่ 1	ไม่มี	68.12	34.60	22.67
19	5	คนที่ 2	มี	69.32	34.82	22.24
20	5	คนที่ 2	ไม่มี	68.56	34.48	22.31
21	6	คนที่ 1	มี	67.75	25.35	38.47
22	6	คนที่ 1	ไม่มี	65.74	25.71	37.71
23	6	คนที่ 2	มี	67.71	25.53	38.23
24	6	คนที่ 2	ไม่มี	66.04	25.73	37.56
25	7	คนที่ 1	มี	62.62	29.63	24.34

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) รูปแบบการทดลองและผลการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด

26	7	คนที่ 1	ไม่มี	60.08	29.08	23.46
27	7	คนที่ 2	มี	62.22	29.58	23.53
28	7	คนที่ 2	ไม่มี	60.62	29.01	23.44
29	8	คนที่ 1	มี	56.61	17.88	15.16
30	8	คนที่ 1	ไม่มี	54.05	17.67	14.32
31	8	คนที่ 2	มี	56.40	17.97	15.04
32	8	คนที่ 2	ไม่มี	53.83	17.55	14.32
33	9	คนที่ 1	มี	57.18	16.42	17.41
34	9	คนที่ 1	ไม่มี	54.81	15.93	16.68
35	9	คนที่ 2	มี	56.51	16.24	17.10
36	9	คนที่ 2	ไม่มี	54.03	15.91	16.38
37	10	คนที่ 1	มี	77.55	16.79	56.00
38	10	คนที่ 1	ไม่มี	76.54	17.63	55.87
39	10	คนที่ 2	มี	77.31	16.83	56.19
40	10	คนที่ 2	ไม่มี	76.92	17.42	55.38

ตารางที่ ก.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด ของค่า L*

Source	Df	Seq SS	MS	F	P
Part	9	2504.722	278.302	405.40	0.000
Opt	1	0.006	0.006	0.02	0.894
Error	9	0.307	0.034		
Total	39	2532.756			

	Source	Variance Component
1	Part	69.4040
2	Opt	-0.0122
3	Error	0.0341

ตารางที่ ก.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด ของค่า a*

Source	Df	Seq SS	MS	F	P
Part	9	2607.124	289.680	1171.47	0.000
Opt	1	0.016	0.016	0.36	0.753
Error	9	0.077	0.009		
Total	39	2609.729			

	Source	Variance Component
1	Part	72.3583
2	Opt	-0.042
3	Error	0.0085

ตารางที่ ก.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด ของค่า b*

Source	Df	Seq SS	MS	F	P
Part	9	7031.92	781.32	3696.42	0.000
Opt	1	0.05	0.05	0.68	0.621
Error	9	0.51	0.06		
Total	39	7035.45			

	Source	Variance Component
1	Part	195.278
2	Opt	-0.001
3	Error	0.057

ตารางที่ ก.5 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ L* a* และ b*

ความแปรปรวน	L*	a*	b*
σ_{gauge}^2	1.3887	0.1364	0.2380
σ_{part}^2	69.4040	72.3583	195.278
$\sigma_{gauge}^2/\sigma_{part}^2$	2.00%	0.18%	0.12%

ตารางที่ ก.6 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ L^* a^* และ b^* ของเครื่องประมวลผลภาพก่อนทำการปรับปรุง (ชญาดา และ สรัสกร, 2555)

ความแปรปรวน	L^*	a^*	b^*
σ_{gauge}^2	1.5498	0.798	0.798
σ_{part}^2	51.7301	107.416	139.288
$\sigma_{gauge}^2/\sigma_{part}^2$	3.2989%	0.7429%	0.5771%

ตารางที่ ก.7 ตารางเปรียบเทียบสัดส่วนความแปรปรวนก่อนและหลังการปรับปรุง

% $\sigma_{gauge}^2/\sigma_{part}^2$	ก่อนปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
L^*	3.29%	2.00%
a^*	0.74%	0.18%
b^*	0.57%	0.12%

ภาคผนวก ข.

ส่วนของโปรแกรม MATLAB

1. คำสั่งที่ใช้ในการแปลงสีจากระบบ RGB เป็นระบบ L*a*b

```
clc;clear;close all
%Input
time_pause = 1;
l_good = [0 100];
a_good = [0 100];
b_good = [0 100];
size_of_the_center_box = 50;
image_folder =;
trim_image = [950 1700]; %Trim image so that we don't have to process too many pixels.
%Code
dir_content = dir(image_folder);
filenames = {dir_content.name};
current_files = filenames;
continue_loop = true;
print_no_file = true;
while continue_loop
    dir_content = dir(image_folder);
    filenames = {dir_content.name};
    new_files = setdiff(filenames,current_files);

    if ~isempty(new_files) % deal with the new files
        new_filename = new_files{1};
        extension = new_filename(end-2:end);

        if (strcmp(extension,'JPG')) || ...
            (strcmp(extension,'jpg')) || ...
            (strcmp(extension,'JPEG')) || ...
            (strcmp(extension,'jpeg'))
            fprintf(['New File Detected: ' new_files{1} '\n'])
            dir_content = dir(image_folder);
            filenames = {dir_content.name};
            current_files = filenames;
            print_no_file = true;
            %continue_loop = false;
            pause(time_pause)
            %check_lab(new_files{1},l_good,a_good,b_good); %User-defined function
```

```
    calculate_mean_LAB(new_files{1},size_of_the_center_box,l_good,a_good,b_good, trim_image)
else
    %Do nothing
end
pause(time_pause)
else
    if print_no_file
        fprintf('Drag an image into the current folder. \n')
    end
    print_no_file = false;
end
pause(0.5)
end
%Note
%SETDIFF(A,B) when A and B are vectors returns the values in A that are not in B.
```