

การคัดขนาดกุ้งขาวสดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย

FRESH WHITE SHRIMP SORTING BASED ON IMAGE ANALYSIS TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-270-067

การคัดขนาดกุ้งขาวสดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย

FRESH WHITE SHRIMP SORTING BASED ON IMAGE ANALYSIS TECHNIQUE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-270-067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# FRESH WHITE SHRIMP SORTING BASED ON IMAGE ANALYSIS TECHNIQUE



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-270-067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2019**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การคัดขนาดกุ้งขาวสดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย  
Thesis Title Fresh White Shrimp Sorting based on Image Analysis Technique  
นักศึกษา นายราชธานี ผดุงเจริญ  
รหัสประจำตัว 60601152  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2019-EN-M-270-067

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล	
ผศ.ดร.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม	
ผศ.ดร.ธีรินทร์ ฉายศิริโชติ	
ดร.มธุรดา จิโนรส	
ผศ.ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2562 เวลา 13.00-15.00 น.  
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคัดขนาดกุ้งขาวสดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย
นักศึกษา	นายราชธานี ผดุงเจริญ
รหัสประจำตัว	60601152
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร.มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์

## บทคัดย่อ

กุ้งเป็นสัตว์น้ำที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ การเลี้ยงกุ้งของประเทศไทยในปัจจุบันพบว่ามีการใช้แรงงานคนและต้นทุนในการผลิตเป็นจำนวนมาก ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะพันธุ์ไปจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิตและการคัดเกรดกุ้ง ปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีเพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตกุ้งสูงขึ้น ยิ่งกว่านั้นในการคัดแยกขนาดกุ้งที่อาศัยแรงงานคนส่งผลให้คุณภาพกุ้งที่ได้มีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ การนำเทคโนโลยีใหม่มาประยุกต์ใช้ในการผลิตและการควบคุมนั้น สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้น การวิเคราะห์ภาพถ่ายเป็นเทคนิคหนึ่งอาศัยการตรวจสอบคุณภาพที่มองเห็นจากลักษณะปรากฏภายนอกของผลิตภัณฑ์ได้อย่างสะดวก การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายในการคัดเกรดคุณภาพกุ้งและสร้างต้นแบบเครื่องคัดขนาดกุ้งแบบง่าย โดยมุ่งเน้นขั้นตอนการคัดกุ้งออกเป็นขนาดแตกต่างกัน 4 กลุ่ม ทำการวางแผนปัจจัยศึกษาลักษณะทางกายภาพของกุ้งขาวสดสายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* ประกอบด้วย จำนวนตัวต่อกิโลกรัม น้ำหนัก ความยาวรอบรูป พื้นที่ภาพถ่าย สี RGB นำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติและสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายกุ้งกับคุณภาพกุ้งเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับชุดควบคุมการคัดเกรดกุ้งอัตโนมัติ

ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายของกุ้งขาวพบว่าค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์พื้นที่ภาพถ่ายและค่าความยาวรอบรูปของกุ้งขาวมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักกุ้งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ( $r = 0.917-0.958$  และ  $r = 0.737-0.796$  ตามลำดับ) จึงได้นำค่าพื้นที่ภาพถ่ายและค่าความยาวรอบรูปมาสร้างเป็นสมการเพื่อทำนายขนาดหรือน้ำหนักของกุ้งขาวด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งพบว่าสมการทำนายน้ำหนักกุ้งขาวจากค่าพื้นที่ภาพถ่ายในรูปแบบของสมการยกกำลัง (Power) นั้นให้ค่าความสัมพันธ์กับน้ำหนักกุ้งขาวได้ดีกว่าสมการในรูปแบบเอกซ์โพเนนเชียล และแบบเส้นตรงตามลำดับ สมการที่ได้คือ  $y = 0.303 x^{1.305}$  เมื่อ  $y$  คือน้ำหนักกุ้งที่ทำนายได้ และ  $x$  คือพื้นที่ภาพถ่ายของกุ้ง มีสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.864 และความคลาดเคลื่อน ( $SEE$ ) เท่ากับ 0.107

สำหรับเครื่องต้นแบบเพื่อใช้คัดขนาดกุ้งขาวสดสายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* ที่สร้างประกอบด้วย 4 ส่วนสำคัญ คือ 1) ส่วนลำเลียงกุ้ง 2) ส่วนตรวจสอบขนาดด้วยภาพถ่าย 3) ส่วน

ประมวผลและควบคุม และ 4) ส่วนคัดแยกกุ้ง จากการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบพบว่ามีความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนของการคัดขนาดกุ้งโดยอาศัยการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากพื้นที่ภาพฉาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.26% และ 6.74% ตามลำดับ และขนาดกุ้งที่ผ่านการคัดแยกด้วยเครื่องต้นแบบมีคุณภาพได้มาตรฐานถูกต้องกว่าการคัดแยกด้วยคนถึง 11.67 %

**คำสำคัญ:** กุ้ง, วิเคราะห์ภาพถ่าย, คัดเกรด, ขนาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	Fresh White Shrimp Sorting based on Image Analysis Technique
<b>Student</b>	Mr. Rachatane Phadungcharoen
<b>Student ID.</b>	60601152
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Food Engineering
<b>Year</b>	2019
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Maradee Phongpipatpong

## ABSTRACT

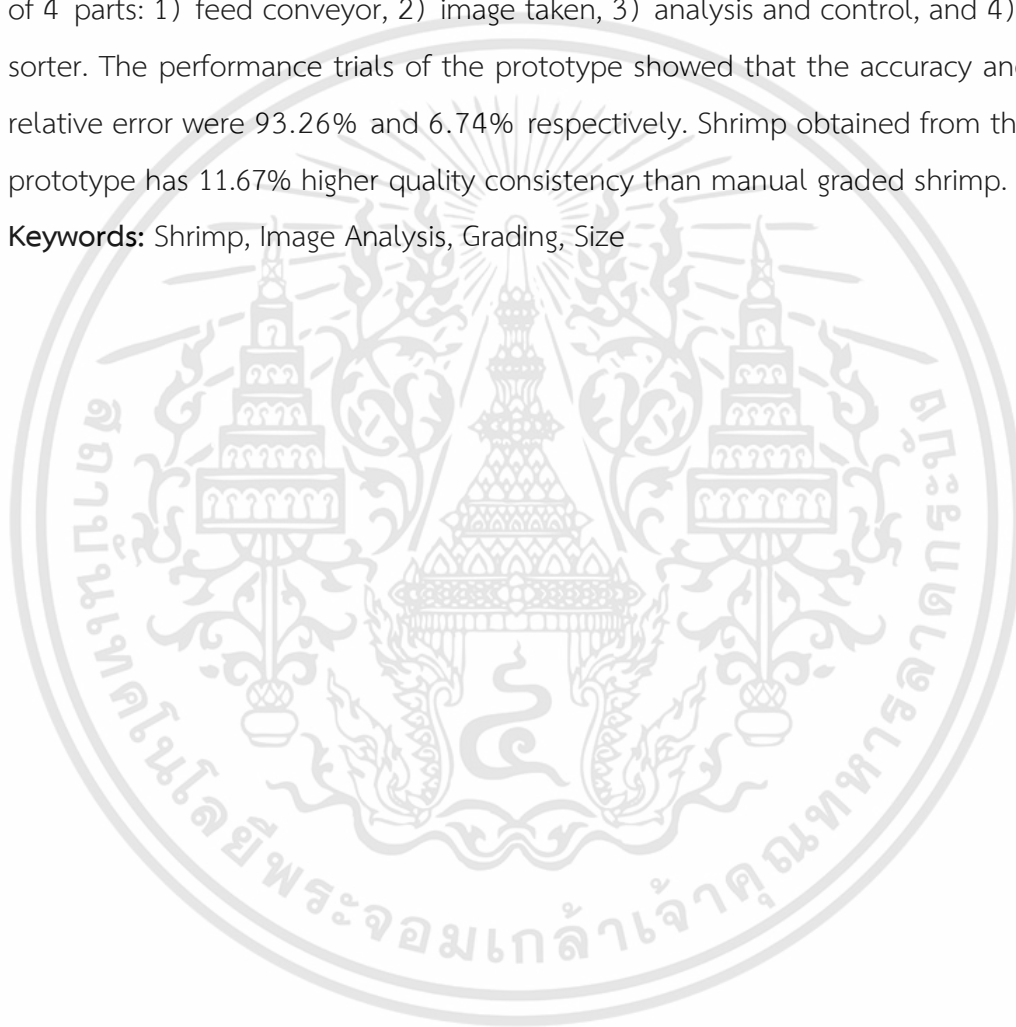
Shrimp is popular seafood for both domestic and overseas consumptions. Nowadays, shrimp farming in Thailand is considered capital and labor intensive production, starting from breeding, harvesting, and grading due to a growing labor shortage. This causes an increase in shrimp production cost. Moreover, human errors from labor especially during grading shrimp, make inconsistent product quality issues. New technologies can be applied to help improve production and increase productivity. Image analysis is a convenient technique to inspect the outer appearance of product. Therefore, this research aimed to apply the image processing technique for shrimp grading by classifying shrimp weights into 4 different product sizes. Whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) were used as the sample. Experiments were conducted and physical properties including number of shrimps per kilo-count, shrimp weight, perimeter, projected area and color were determined. The statistical data analysis and mathematical equations were also developed in order to explain the relation between experimental values and the parameters obtained from image analysis. This technique can be further developed for automated shrimp grading machine which helps increase production efficiency and decrease labor force in shrimp farming. It also provides more consistency of product quality.

The image analysis results of white shrimp show that the correlation coefficients between the projected area and the perimeter are better correlated with white shrimp weight than the RGB color ( $r = 0.917-0.958$  and  $r = 0.737-0.796$  respectively). Therefore, the projected area and the perimeter are selected to develop the mathematical equations by regression analysis in order to predict the white shrimp

weight or size. It is found that the equation expressed in the power form with projected area provided a better fitted values than the exponential and the linear forms, respectively. The power model can be presented as  $y = 0.303x^{1.305}$  ( $y$  is the shrimp weight and  $x$  is the projected area of white shrimp) with  $R^2 = 0.864$  and standard error of estimate ( $SEE$ ) = 0.107.

The shrimp sorter prototype was also fabricated based on the experimental results which can divide white shrimp into 4 different sizes. The prototype consisted of 4 parts: 1) feed conveyor, 2) image taken, 3) analysis and control, and 4) shrimp sorter. The performance trials of the prototype showed that the accuracy and mean relative error were 93.26% and 6.74% respectively. Shrimp obtained from the sorter prototype has 11.67% higher quality consistency than manual graded shrimp.

**Keywords:** Shrimp, Image Analysis, Grading, Size



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ การนำเสนอวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการตรวจสอบรูปเล่มวิทยานิพนธ์ จนสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยเอาใจใส่ดูแลถ่ายทอดวิชาความรู้แก่นักศึกษา มาโดยตลอด รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง จนทำให้สามารถก้าวผ่านอุปสรรคต่าง ๆ มาจนถึงทุกวันนี้ และทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคน ที่คอยให้คำแนะนำต่าง ๆ คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด รวมไปถึงทุก ๆ ท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

คุณค่าและประโยชน์อันมีจากโครงการนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งนี้ หากรายงานฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออนุมัติรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

ราชธานี ผดุงเจริญ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูปภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กุ้งขาวแวนนาไม ( <i>Litopenaeus vannamei</i> ).....	4
2.1.1 อุตสาหกรรมกุ้งในประเทศไทย.....	5
2.1.2 การแปรรูปกุ้ง.....	5
2.2 การคัดแยก (Sorting).....	8
2.3 การตรวจสอบด้วยภาพ (Visual Inspection).....	10
2.4 ระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	13
2.4.1 การควบคุมแบบวงเปิด (Open loop control).....	14
2.4.2 ระบบควบคุมฟีดตัว.....	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย.....	19
3.1 วัตถุประสงค์และอุปกรณ์.....	19
3.1.1 วัตถุประสงค์.....	19
3.1.2 อุปกรณ์.....	19
3.2 การวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่าย.....	20
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	22
3.3.1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	22
3.3.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำ.....	23

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การประยุกต์ใช้ผลจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายในการออกแบบอุปกรณ์คัดขนาดกึ่งแบบอัตโนมัติ	23
3.4.1 อุปกรณ์	24
3.5 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์คัดขนาด	25
3.5.1 วัตถุประสงค์	25
3.5.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำในการคัดขนาด	25
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายของกึ่งสด	26
4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลกึ่งขาว	26
4.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลกึ่งขาวและข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย	28
บทที่ 5 การออกแบบและทดสอบระบบอุปกรณ์คัดขนาดกึ่งแบบอัตโนมัติด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย	34
5.1 การออกแบบอุปกรณ์คัดขนาดกึ่งขาว	34
5.2 ส่วนประกอบอุปกรณ์คัดขนาดกึ่งขาว	36
5.2.1 ส่วนป้อนวัตถุดิบ	36
5.2.2 ส่วนกล้องถ่ายภาพ	37
5.2.3 ส่วนคัดขนาด	38
5.2.4 ส่วนการประมวลผล	40
5.3 ต้นทุนสำหรับสร้างเครื่องคัดขนาดกึ่งขาวสดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย	40
5.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์	41
5.5 ผลการทดสอบระบบคัดขนาดกึ่งขาวด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย	44
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
6.1 สรุปผลการวิจัย	46
6.2 ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก ก	51
ภาคผนวก ข	65
ภาคผนวก ค	76
ประวัติผู้เขียน	94

# สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่าทางสถิติเชิงพรรณนาของน้ำหนักตัวอย่างกึ่งขาวสด.....	27
ตารางที่ 4.2 ค่า $r$ และค่านัยสำคัญทางสถิติ (P-value) ของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกึ่ง กับค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย.....	28
ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ในสมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (SEE) สำหรับสมการแบบเส้นตรง (Linear).....	29
ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ในสมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (SEE) สำหรับสมการแบบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential).....	29
ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ในสมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (SEE) สำหรับสมการแบบยกกำลัง (Power).....	29
ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ในสมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (SEE) สำหรับการวิเคราะห์แบบ Multiple Linear Regression.....	30
ตารางที่ 4.7 ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของการทำนายน้ำหนักกึ่งขาว.....	33
ตารางที่ 5.1 ราคาชิ้นส่วนเครื่องจักร.....	41
ตารางที่ 5.2 ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกึ่ง.....	42
ตารางที่ 5.3 ความแม่นยำของการคัดขนาดกึ่งขาว.....	45

# สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 กุ้งขาวแวนนาไม ( <i>Litopenaeus vannamei</i> ).....	4
รูปที่ 2.2 Morphology of White Shrimp.....	5
รูปที่ 2.3 รูปแบบเด็ดหัวไม่ลอกเปลือก.....	6
รูปที่ 2.4 รูปแบบเด็ดหัวลอกเปลือก.....	6
รูปที่ 2.5 รูปแบบเด็ดหัวลอกเปลือกถอดหาง.....	6
รูปที่ 2.6 รูปแบบเด็ดหัวลอกเปลือกผ่าหลังถอดหาง.....	6
รูปที่ 2.7 รูปแบบเด็ดหัวลอกเปลือกผ่าหลัง.....	6
รูปที่ 2.8 รูปแบบผีเสื้อ (Butterfly).....	6
รูปที่ 2.9 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์กุ้งแห้ง.....	7
รูปที่ 2.10 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์กุ้งชุบแป้งทอด.....	8
รูปที่ 2.11 a) หลักการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน b) หลักการคัดขนาดโดยใช้เพลลาหมุนคู่.....	9
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของเครื่องคัดเกรดวัตถุดิบ.....	9
รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการทำงานของระบบ Machine Vision.....	11
รูปที่ 2.14 ประเภทของหลอดไฟ.....	12
รูปที่ 2.15 การจัดวางแหล่งกำเนิดแสงตามมาตรฐาน ASTM.....	12
รูปที่ 2.16 โครงสร้างการทำงานหลักของระบบควบคุม.....	14
รูปที่ 2.17 บอร์ด Arduino MEGA 2560 (keystudio).....	15
รูปที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์การมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์.....	19
รูปที่ 3.2 กระบวนการวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายกุ้ง a) Image acquisition b) Crop image c) Threshold d) Binary Image e) Noise Reduction f) Fill Hole g) Segmentation.....	21
รูปที่ 3.3 Process Control Diagram.....	25
รูปที่ 4.1 การคัดขนาดกุ้งในปัจจุบัน.....	26
รูปที่ 4.2 การชั่งน้ำหนักกุ้งที่คัดได้.....	27
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของข้อมูลน้ำหนักกับพื้นที่ภาพถ่ายแบบ a) Linear c) Exponential e) Power และข้อมูลน้ำหนักกับความยาวรอบรูปแบบ b) Linear d) Exponential f) Power.....	32
รูปที่ 5.1 แบบร่างเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกุ้งขาวสด.....	34
รูปที่ 5.2 แผนผังวงจรระบบควบคุม.....	35
รูปที่ 5.3 เครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกุ้งขาวสด.....	36
รูปที่ 5.4 อุปกรณ์ส่วนป้อนวัตถุดิบ.....	36

## สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.5 ส่วนกล่องถ่ายภาพ.....	37
รูปที่ 5.6 ส่วนคัตขนาด.....	38
รูปที่ 5.7 การทำงานของแผ่นกันกรณีกกลุ่ม A.....	38
รูปที่ 5.8 การทำงานของแผ่นกันกรณีกกลุ่ม B.....	39
รูปที่ 5.9 การทำงานของแผ่นกันกรณีกกลุ่ม C.....	39
รูปที่ 5.10 การทำงานของแผ่นกันกรณีกกลุ่ม D.....	40



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กุ้งเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในประเทศและส่งออกยังต่างประเทศ กุ้งที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือกุ้งขาว ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในบริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก [1] เกษตรกรในประเทศไทยนิยมเรียกว่ากุ้งขาว (พันธุ์แวนนาไม) เนื่องจากเป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตรวดเร็ว เมื่อกุ้งขาวโตเต็มวัยจะมีความยาวได้ถึง 230 มิลลิเมตร เนื่องจากสายพันธุ์ได้รับการพัฒนาเป็นเวลานาน ในปี 2559 ประเทศไทยมีผลผลิตกุ้งขาวทั้งแบบพัฒนาและแบบกึ่งพัฒนารวม ประมาณ 300,000 ตัน [2] และมีปริมาณการส่งออกกุ้งของประเทศไทย 139,000 ตัน [3] คิดเป็นมูลค่าการส่งออกประมาณ 1,324.88 ล้านบาทหรือร้อยละ 1.5 ของมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรทั้งหมดของประเทศไทย โดยมากอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้ง การเลี้ยงลูกกุ้งในบ่อเลี้ยง การควบคุมดูแลคุณภาพน้ำ ไปจนถึงการจับกุ้งที่มีการเจริญเติบโตจนสามารถจับขายได้ ซึ่งการใช้แรงงานคนนั้นส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กุ้งและต้นทุนในการผลิตเนื่องจากการจัดการบ่อเลี้ยงกุ้ง การควบคุมคุณภาพน้ำ รวมไปถึงการจับและคัดเกรดกุ้งก่อนนำไปจำหน่าย จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีทักษะและความเชี่ยวชาญ [4] นอกจากนี้หากขาดการจัดการที่ดีอาจก่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงและการจัดการกุ้ง ประกอบกับแนวนโยบายการพัฒนาประเทศไทยเปลี่ยนระบบเศรษฐกิจแบบเดิมไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม THAILAND 4.0

ในกระบวนการแปรรูปกุ้งขาว ขั้นตอนการคัดเกรดกุ้งถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญและมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างยิ่ง การนำเอาเทคโนโลยีหรือเทคนิควิธีการใหม่ ๆ มาประยุกต์ใช้กับกระบวนการเป็นสิ่งที่สามารถแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดจากความผิดพลาดของมนุษย์ได้ ปัญหาความสม่ำเสมอในการคัดขนาดกุ้งที่ตามมาตราฐานสินค้าเกษตร เรื่อง “กุ้งทะเล” ที่กำหนดมาตรฐานด้านขนาดรวมถึงการบรรจุกุ้ง โดยระบุว่า “กุ้งทะเลที่บรรจุในแต่ละภาชนะบรรจุต้องมีความสม่ำเสมอทั้งในเรื่องคุณภาพ และยอมให้มีสัดส่วนของกุ้งทะเลที่อยู่ในช่วงขนาดต่างจากรหัสขนาดที่ระบุได้ไม่เกิน 10 % โดยน้ำหนัก” [5] ซึ่งปัจจุบันพบว่า การคัดขนาดกุ้งขาวตามน้ำหนักนั้นส่วนใหญ่ยังไม่มี ความสม่ำเสมอตามที่มาตรฐานกำหนด เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์อาหารจำเป็นต้องมีการคัดเลือกให้ถูกต้องเหมาะสม สามารถควบคุมและนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้ดี

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการวิเคราะห์ภาพถ่ายมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมการผลิตเพิ่มขึ้น เช่น อุตสาหกรรมประมง, อุตสาหกรรมเกษตร และอุตสาหกรรมอาหารเพิ่มมากขึ้น การตรวจสอบด้วยภาพสามารถใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและวิเคราะห์ความแปรปรวนของสินค้าหรือวัตถุดิบในระหว่างกระบวนการไปจนกระทั่งขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายมีขั้นตอนการทำงาน ประกอบด้วย 1) การได้มาซึ่งภาพถ่าย (Image acquisition) 2) การกำจัดสัญญาณรบกวน (Image de-noising) 3) การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image enhancement) 4) การแบ่งส่วนภาพ (Image segmentation) 5) การเลือกและแยกคุณลักษณะของภาพ (Image feature selection and extraction) 6) การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (Image classification) 7) การจับคู่คุณลักษณะภาพ (Feature matching) 8) การตัดสินใจ (Decision making) 9) การแสดงผลและสร้างสัญญาณควบคุม (Display of results and Generation of controlling signals) [6] สำหรับอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเกษตรได้มีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ตรวจสอบด้วยภาพมาใช้ในลักษณะของการตรวจสอบความผิดปกติหรือความไม่สมบูรณ์ของสินค้า เช่น การตรวจสอบธัญพืช การตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพของผลไม้ การวัดขนาดผลไม้ รวมทั้งการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อคัดแยกหรือคัดเกรดผลิตภัณฑ์ [7-11] โดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์ในการคัดเกรด เช่น สีและลักษณะปรากฏ [8, 12-14] คุณสมบัติการสะท้อนแสง [15] ผลที่ได้จากการคัดเกรดด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายนั้นค่อนข้างมีความแม่นยำแต่อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำที่ได้ขึ้นกับวิธีการวัดและโปรแกรมควบคุมที่ใช้เป็นสำคัญ งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาวิธีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ในการคัดเกรดกุ้งขาวและหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์จากภาพถ่ายที่ได้กับน้ำหนักกุ้งขาว เพื่อประโยชน์ต่อการจัดการกุ้งในอุตสาหกรรมต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของกุ้งขาวสด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการคัดขนาดกุ้งขาวสดด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย
- 1.2.3 เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกุ้งขาวสด

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 กุ้งที่ใช้เป็นกุ้งขาวสดสายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย แบ่งเป็น 4 ขนาดตามตัวอย่างขนาดที่ระบุในมาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 7019-2556 ประกอบด้วยรหัสขนาด 15 17 19 และ 25

1.3.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพและวิธีการคัดขนาดของกุ้งขาวสดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 ตัวแปรคุณสมบัติทางกายภาพที่ศึกษาประกอบด้วย น้ำหนัก พื้นที่ภาพฉาย (PA) ความยาวรอบรูป (RO) และค่าสีในระบบสี R G B

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 เพื่อทราบข้อมูลวิธีการตัดขนาดกึ่งขาวสดในปัจจุบัน
- 1.4.2 เพื่อทราบความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพของกึ่งขาวสดกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย
- 1.4.3 เพื่อให้ได้เครื่องต้นแบบสำหรับการตัดขนาดกึ่งขาวสด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

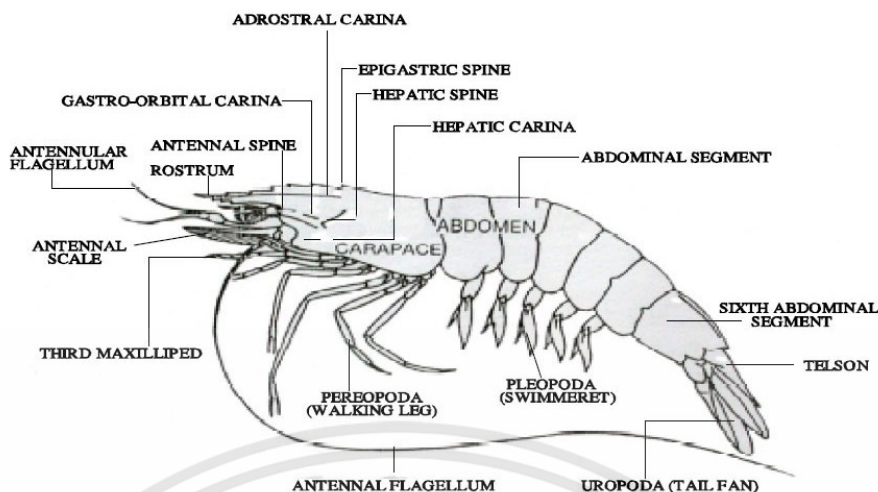
#### 2.1 กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)

กุ้งขาวแปซิฟิก (*Litopenaeus vannamei*) เป็นกุ้งพื้นเมืองในทวีปอเมริกาใต้ พบได้ทั่วไป บริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก เกษตรกรในประเทศไทยนิยมเรียกว่ากุ้งขาวแวนนาไมหรือเรียกกันว่า “กุ้งขาว” (รูปที่ 2.1) เป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพ่อแม่พันธุ์ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์มาเป็นเวลานาน ปัจจุบันเกษตรกรในประเทศไทยมีความนิยมหันมาเลี้ยงกุ้งขาวกันมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทดแทนการเลี้ยงกุ้งกุลาดำในอดีตที่ประสบปัญหาการขาดแคลนผลผลิตกุ้งกุลาดำ เนื่องจากพบการติดโรคในพ่อแม่พันธุ์แม่พันธุ์กุ้งกุลาดำ ส่งผลให้ผลผลิตกุ้งที่ได้มีอัตราการรอดชีวิตต่ำและการเจริญเติบโตช้า

อวัยวะต่าง ๆ ของกุ้งขาว (ดังรูปที่ 2.2) จะมีลักษณะคล้ายกุ้งชนิดอื่นแต่มีลักษณะเฉพาะของกุ้งขาวที่สามารถสังเกตเห็นเด่นชัดคือ บริเวณพินกรี (หนาม, Epigastric spine) ด้านบนจะหยักและถี่ปลายกรีจะตรง โดยที่พินกรีด้านล่าง 2 อันและด้านบน 8 อัน ความยาวของกรีจะยาวกว่าลูกตาไม่มาก และที่สังเกตเห็นได้ชัดคือจะเห็นลำไส้กุ้งชนิดนี้ชัดกว่ากุ้งขาวอื่น ๆ



รูปที่ 2.1 กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*)



รูปที่ 2.2 Morphology of White Shrimp

ที่มา : <http://shrimp-culture.blogspot.com/>

### 2.1.1 อุตสาหกรรมกุ้งในประเทศไทย

อุตสาหกรรมกุ้งในประเทศไทยเน้นทำการผลิตเพื่อการส่งออกเป็นหลัก โดยมีการส่งออกผลิตภัณฑ์กุ้งสด กุ้งแช่เย็น กุ้งแช่แข็ง และกุ้งแปรรูปในปี 2561 ที่ผ่านมามีปริมาณรวม 139,000 ตัน มีมูลค่า 1,324.88 ล้านบาทหรือสหรัฐอเมริกา โดยแบ่งเป็นผลิตภัณฑ์กุ้งสด กุ้งแช่เย็นและกุ้งแช่แข็ง 86,390 ตัน และกุ้งแปรรูป 52,611 ตัน โดยมีตลาดการส่งออกหลักไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น จีน เวียดนาม และออสเตรเลีย คิดเป็นร้อยละ 78.64 ของตลาดการส่งออกทั้งหมด [16] จุดเด่นที่ทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตกุ้งที่สำคัญของโลกคือคุณภาพของสินค้าที่เป็นไปตามมาตรฐานสากล เป็นที่ยอมรับของประเทศคู่ค้า ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตกุ้งที่มีศักยภาพสูง มีเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย และมีอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับการผลิตและแปรรูปอย่างครบวงจร ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการเลี้ยงกุ้งขาวพบมากในพื้นที่ภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคกลาง โดยส่วนใหญ่มีการเลี้ยงในฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนา คือการเลี้ยงกุ้งแบบสมัยใหม่ มีการผสมผสานเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาเพื่อช่วยในการควบคุมดูแลกระบวนการต่าง ๆ ตั้งแต่การจัดวางหรือแผนผังของบ่อเลี้ยง การควบคุมการถ่ายเทของน้ำ มีการควบคุมอุณหภูมิหรือสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเลี้ยงกุ้งขาว เพื่อป้องกันและควบคุมการเกิดโรคและเพื่อคุณภาพที่ดีของกุ้งขาว โดยจะต้องทำการเลี้ยงกุ้งโดยใช้ลูกกุ้งหรือพันธุ์ที่มาจากโรงเพาะฟักเท่านั้น

### 2.1.2 การแปรรูปกุ้ง

ผลิตภัณฑ์จากการแปรรูปกุ้งในปัจจุบันโดยส่วนมากทำการแปรรูปกุ้งในรูปแบบกุ้งแช่เย็นหรือแช่แข็ง ซึ่งสามารถจำแนกตามลักษณะของกุ้งที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์กุ้งแปรรูปแบบเด็ดหัวไม่ปอกเปลือก (Headless shell-on) ผลิตภัณฑ์รูปแบบนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังมีแปรรูปในรูปแบบกุ้งเด็ดหัวปอกเปลือกไม่

ผ่าหลัง (Peeled undeveined tail-on : PUDT/PTO) กุ้งเด็ดหัวปอกเปลือกไม่ผ่าหลังถอดหาง (Peeled undeveined : PUD) กุ้งเด็ดหัวปอกเปลือกผ่าหลังถอดหาง (Peeled deveined : PD) กุ้งเด็ดหัวปอกเปลือกผ่าหลังและรูปแบบผีเสื้อ (Butterfly) [17] แสดงในรูปที่ 2.3-2.8



รูปที่ 2.3 รูปแบบเด็ดหัวไม่ปอกเปลือก



รูปที่ 2.4 รูปแบบเด็ดหัวปอกเปลือก



รูปที่ 2.5 รูปแบบเด็ดหัวปอกเปลือกถอดหาง



รูปที่ 2.6 รูปแบบเด็ดหัวปอกเปลือกผ่าหลัง  
ถอดหาง



รูปที่ 2.7 รูปแบบเด็ดหัวปอกเปลือกผ่าหลัง



รูปที่ 2.8 รูปแบบผีเสื้อ (Butterfly)

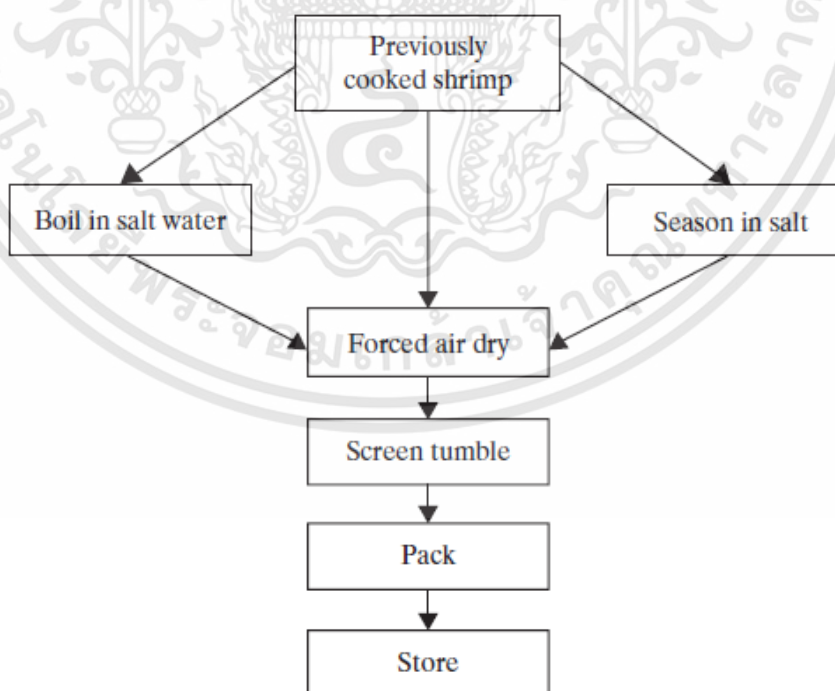
ที่มา : <http://www.mayaogroup.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการแปรรูปกุ้งเริ่มต้นหลังจากกระบวนการจับกุ้งและขนส่งในลักษณะที่กุ้งยังมีชีวิตหรือตายแล้วแช่ในน้ำแข็งไปยังโรงงานแปรรูปโดยควบคุมอุณหภูมิประมาณ 0 องศาเซลเซียสทันที หลังจากกระบวนการจับ จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพ ชั่งน้ำหนัก คัดเกรด แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการล้างและแปรรูปต่อไปจนจบจึงทำการจัดเก็บโดยต้องผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งด้วยการใช้ลมที่มีอุณหภูมิต่ำ (Air blasts) หรือใช้กระบวนการแบบแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว (IQF) เพื่อรอการจำหน่ายหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น

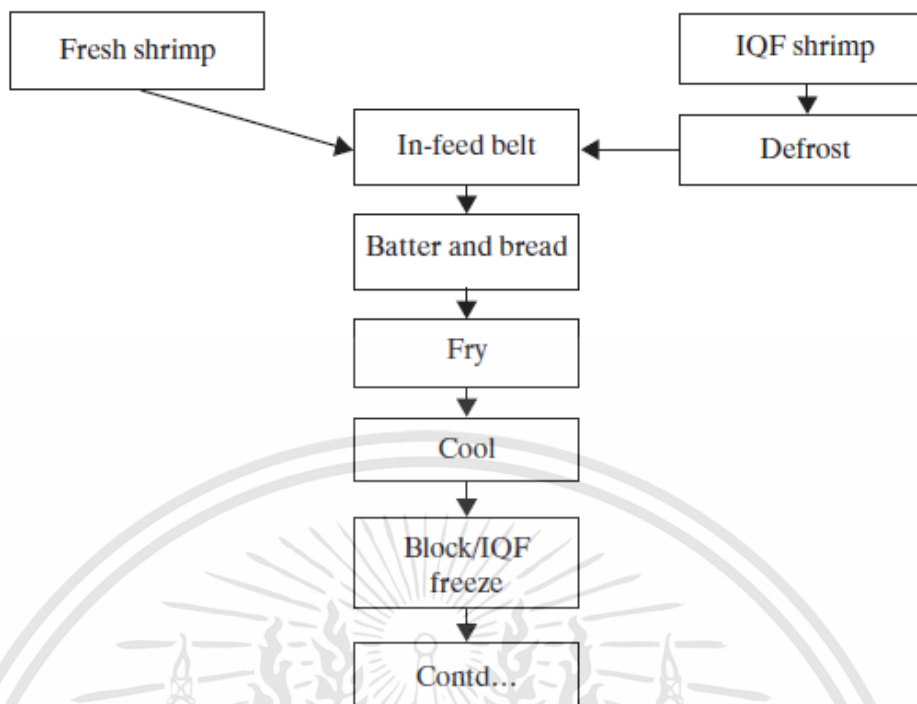
นอกจากผลิตภัณฑ์กุ้งสดแปรรูปแช่แข็งแล้วยังมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กุ้งแห้งดังกระบวนการที่แสดงในรูปที่ 2.9 โดยใช้ลมที่มีอุณหภูมิสูงหรืออากาศแห้งเป่าผ่านวัตถุดิบเป็นระยะเวลา 6-7 ชั่วโมง แล้วทำการเก็บในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ผลิตภัณฑ์กุ้งแห้งที่ได้จะมีน้ำหนักลดลงเหลือประมาณ 10 – 12 เปอร์เซ็นต์

อีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปกุ้งที่เป็นที่นิยมบริโภคในปัจจุบันคือผลิตภัณฑ์กุ้งชุบแป้งหรือเกล็ดขนมปังทอด โดยการแปรรูปจากกุ้งสดเด็ดหัวปอกเปลือกและผ่าหลัง รวมถึงกุ้งสดรูปแบบฝีเสื่อหรือกุ้งสดเด็ดหัวปอกเปลือกที่ทำการผ่าตั้งแต่บริเวณหลังลึกไปจนถึงบริเวณกลางลำตัวหรือเกือบถึงท้องกุ้งด้านล่าง จากนั้นจึงทำการชุบแป้งหรือเกล็ดขนมปังโดยเว้นส่วนหางกุ้ง ซึ่งการชุบแป้งนั้นจะต้องมีน้ำหนักของแป้งในผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 50% ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ หลังจากทำการชุบแป้งแล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการทอดในเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม ดังแสดงกระบวนการในรูปที่ 2.10 โดยทั่วไปจะใช้เวลาในการทอดประมาณ 60 – 90 วินาที



รูปที่ 2.9 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์กุ้งแห้ง

ที่มา : Kanduri และ Eckhardt, 2002



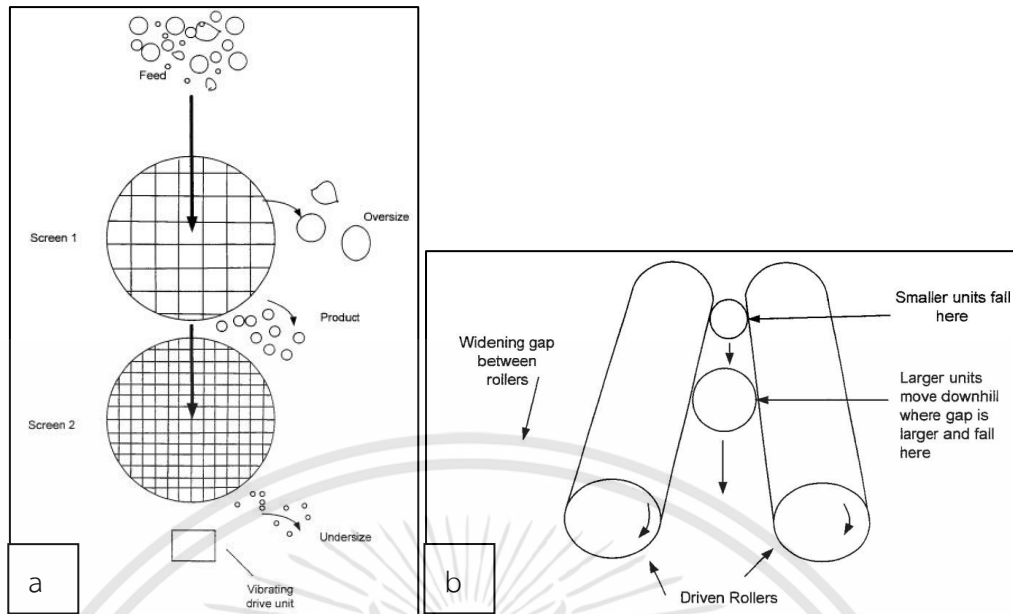
รูปที่ 2.10 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์กุ้งชุบแป้งทอด

ที่มา : Kanduri และ Eckhardt, 2002

## 2.2 การคัดแยก (Sorting)

การคัดแยก คือการจำแนกประเภทตามคุณสมบัติโดยสามารถทำได้โดยการประเมินด้วยคุณสมบัติหลายประการ เช่น ขนาด น้ำหนัก สี และจำแนกออกเป็นหมวดหมู่ เพื่อให้ได้วัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ โดยทั่วไปในการคัดแยกสามารถทำได้โดยพนักงานหรือผู้ชำนาญการที่ผ่านการฝึกฝนมาโดยเฉพาะสำหรับวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์นั้น ๆ [18]

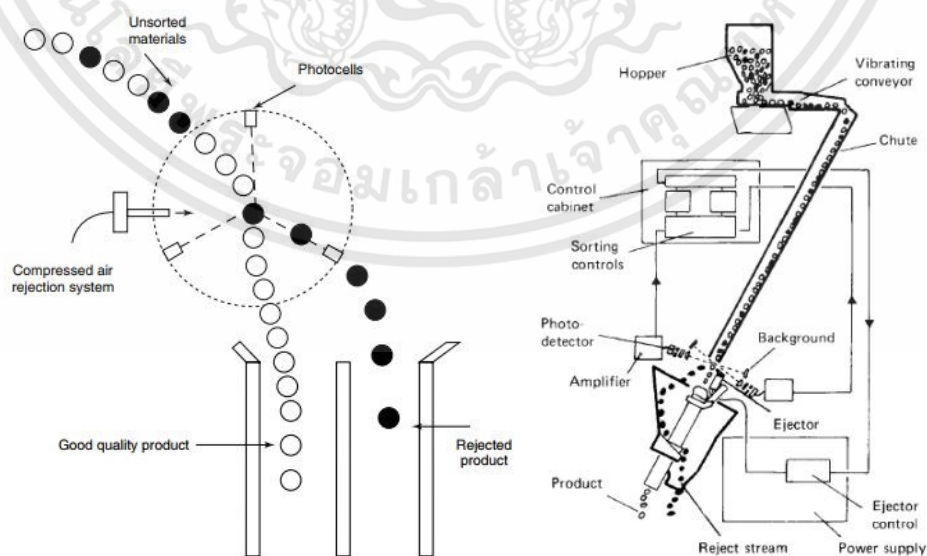
ในปัจจุบันมีเครื่องจักรที่ใช้ในการคัดแยกหรือคัดขนาดมากมายโดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะของวัตถุดิบเพื่อเป็นเกณฑ์ในการคัดและใช้เป็นหลักในการออกแบบเทคนิควิธีการคัดของแต่ละเครื่องจักรตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น เครื่องคัดแยกที่อาศัยขนาดเป็นเกณฑ์ ในรูปที่ 2.11a วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องจักรทางด้านบนของเครื่อง จากนั้นจะถูกกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่กว่ารูเปิดของตะแกรงจะไม่สามารถผ่านไปได้ ซึ่งวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กกว่าจะหล่นผ่านรูเปิดลงไประดับล่างสู่ตะแกรงที่มีขนาดเล็กลงไปเรื่อย ๆ ในรูปที่ 2.11b เป็นการคัดแยกโดยใช้ขนาดเป็นเกณฑ์แต่มีลักษณะกลไกการคัดแยกโดยใช้เพลลาหมุนคู่ที่วางทำมุมกันในแนวระนาบคล้ายรูปตัว V โดยวัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าสู่ปลายด้านซิดของเพลลา ไหลไปตามเพลลาและตกลงสู่ภาชนะรองรับด้านล่าง โดยวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กจะตกก่อนวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่



รูปที่ 2.11 a) หลักการคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน b) หลักการคัดขนาดโดยใช้เพลาลมุนคู่

ที่มา : Brennan และ Grandison, 2012

นอกจากนี้ยังมีเครื่องจักรที่ใช้ในการคัดแยกวัตถุดิบโดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะหลายประการของวัตถุดิบนั้น ๆ ร่วมกันเป็นเกณฑ์หรือการคัดเกรด ยกตัวอย่างเช่น การคัดเกรดเมล็ดธัญพืชโดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะทางด้านสีและรูปร่างร่วมกันในการคัดเกรด ซึ่งมีหลักการทำงานโดยวัตถุดิบถูกป้อนเข้าทางด้านบนของเครื่องจักร จากนั้นไหลตามรางลงมาสู่เซ็นเซอร์ตรวจจับคุณสมบัติ และข้อมูลจะถูกประมวลผลและส่งสัญญาณไปยังชุดอุปกรณ์คัดแยก เพื่อทำการคัดวัตถุดิบที่มีเกรดต่าง ๆ ออกจากกัน ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของเครื่องคัดเกรดวัตถุดิบ

ที่มา : Brennan และ Grandison, 2012

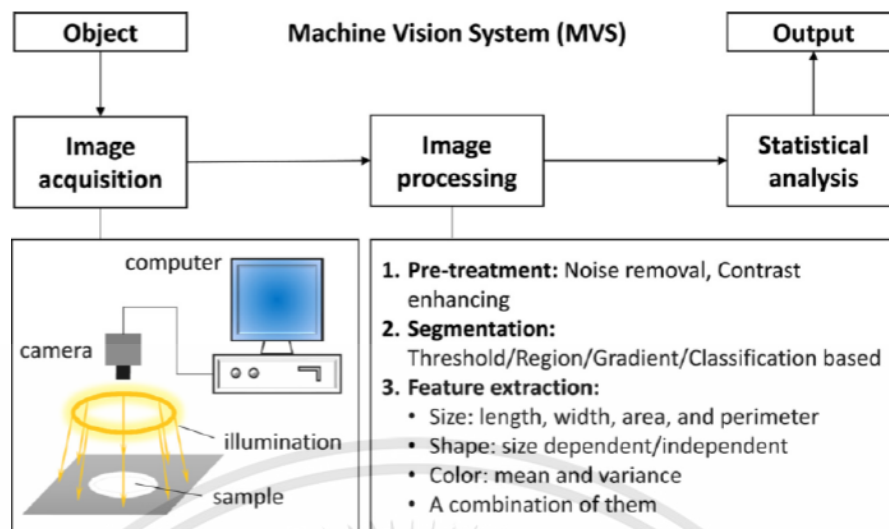
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การตรวจสอบด้วยภาพ (Visual Inspection)

ในอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าทุกชนิดจำเป็นต้องมีการตรวจสอบสินค้าให้มีมาตรฐานหรือคุณภาพตามที่กำหนด ที่ผ่านมามีการตรวจสอบได้ดำเนินการโดยพนักงานหรือบุคลากรพิเศษที่ได้รับการฝึกอบรมมาอย่างเหมาะสมโดยเฉพาะ นับตั้งแต่ปีคริสต์ศักราช 1970 เป็นต้นมา ระบบตรวจสอบภาพอัตโนมัติได้แพร่กระจายในอุตสาหกรรมการผลิตสินค้า การตรวจสอบด้วยภาพมีขั้นตอนการทำงานหลักดังแสดงในรูปที่ 2.13 [19] ประกอบด้วย 1. การได้มาซึ่งภาพถ่าย (Image acquisition) 2. การกำจัดสัญญาณรบกวน (Image de-noising) 3. การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image enhancement) 4. การแบ่งส่วนภาพ (Image segmentation) 5. การเลือกและแยกคุณลักษณะของภาพ (Image feature selection and extraction) 6. การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (Image classification) 7. การจับคู่คุณลักษณะภาพ (Feature matching) 8. การตัดสินใจ (Decision making) 9. การแสดงผลและสร้างสัญญาณควบคุม (Display of results and Generation of controlling signals)

การตรวจสอบด้วยภาพสามารถใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของสินค้าในระหว่างกระบวนการหรือในขั้นสุดท้ายของกระบวนการ ในขณะเดียวกันสามารถใช้เพื่อตรวจจับและวิเคราะห์ความแปรปรวนของกระบวนการผลิตได้ สำหรับอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเกษตรได้มีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ตรวจสอบด้วยภาพมาใช้ในลักษณะของการตรวจสอบความผิดปกติหรือความไม่สมบูรณ์ของสินค้า เช่น การตรวจสอบธัญพืช การตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพของผลไม้ และการวัดขนาดผลไม้ เป็นต้น

แม้ว่าระบบการมองเห็นของมนุษย์ประกอบด้วยดวงตาและสมองมีความสามารถที่น่าอัศจรรย์ แต่การตรวจสอบโดยมนุษย์ยังคงมีข้อเสียที่เกิดขึ้นหลายประการ เช่น ความซ้ำซากจำเจซึ่งทำให้เกิดความเบื่อหน่าย, ความเหนื่อยล้า, ขาดความสามารถในการทำซ้ำที่ดี เป็นต้น ซึ่งการใช้ระบบอัตโนมัติในการตรวจสอบภาพสามารถช่วยแก้ปัญหาเหล่านั้นได้ เนื่องจากระบบสามารถทำงานได้โดยไม่ทำให้เกิดความเหนื่อยล้า ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำ สามารถทำซ้ำได้



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการทำงานของระบบ Machine Vision

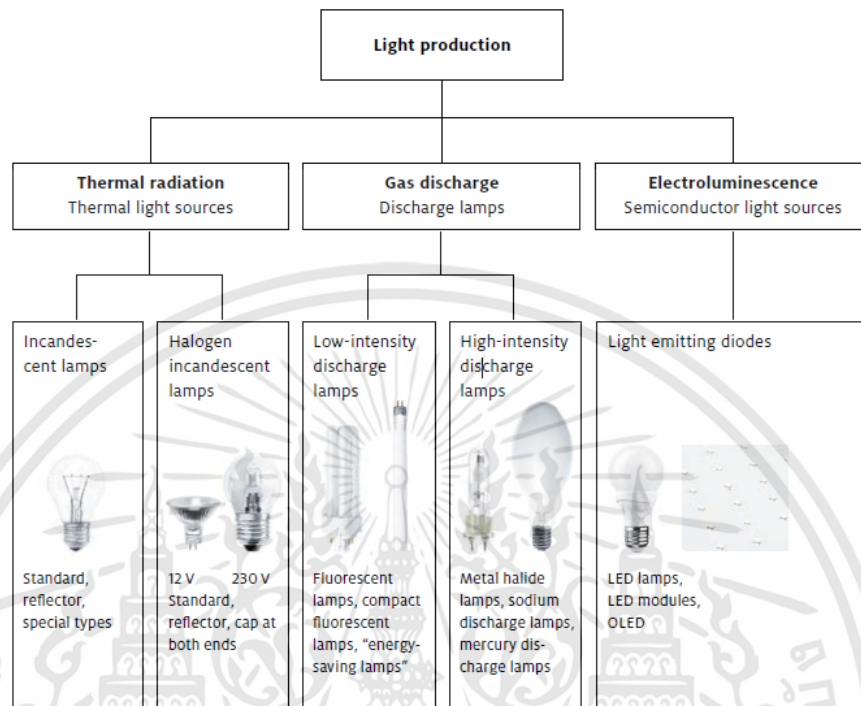
ที่มา : Hong และคณะ, 2014

แต่ถึงอย่างไรระบบตรวจสอบภาพที่ประสบความสำเร็จเป็นอย่างมากยังคงได้รับการแก้ไข ปัญหาทางเทคนิคโดยมนุษย์ ซึ่งเป็นการรวมเอาจุดเด่นหรือจุดแข็งของเทคโนโลยีและความสามารถของมนุษย์เข้าด้วยกันราวกับเป็นตาที่ 3 ในการสังเกตเพื่อให้มีความสามารถในการตรวจสอบมากยิ่งขึ้น [20] ระบบการตรวจสอบด้วยภาพนั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบและเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของระบบ สภาพแวดล้อมบริเวณที่มีการตรวจสอบด้วยภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่รบกวนและเป็นปัญหาต่อการประมวลผล เพื่อการประมวลผลของระบบที่ถูกต้องและแม่นยำ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมสภาพแวดล้อมบริเวณโดยรอบ โดยสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบระบบตรวจสอบด้วยภาพสามารถแบ่งได้เป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

1 การส่องสว่าง (Illumination) นักวิจัยตลอดจนภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ให้ความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการเลือกใช้ประเภทของแหล่งกำเนิดแสง เช่น LED, Fluorescent, Infrared หรือ Ultraviolet เป็นต้น การเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมจำเป็นต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบของระบบที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ พื้นที่ของบริเวณที่ทำการตรวจสอบ รวมไปถึงลักษณะของสีที่เกิดขึ้นจากการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสง โดยแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟต่าง ๆ สามารถจำแนกออกเป็นทั้งหมด 3 ประเภทตามหลักการกำเนิดแสงดังรูปที่ 2.14 ซึ่งนักวิจัยส่วนใหญ่นิยมเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอด LED เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะที่มีความเสถียรของการส่องสว่างสูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีการส่องสว่างโดยให้สีที่แม่นยำ ไม่มีการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) และอินฟราเรด และสามารถควบคุมได้ง่ายและแม่นยำเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดไส้และหลอด Fluorescent [21] นอกจากชนิดของแหล่งกำเนิดแสงแล้ว การวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงหรือหลอดไฟก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM E179 เกี่ยวกับแนวทางมาตรฐานของการเลือกมุมสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติการสะท้อนและการส่องผ่านของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

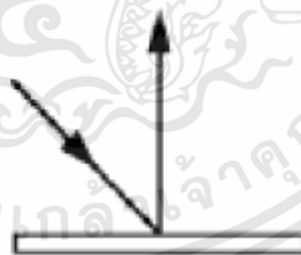
วัสดุ โดยมีการกำหนดมุมสำหรับการตรวจสอบความสว่าง ความทึบแสง และสีของพื้นผิววัสดุที่ไม่ใช่โลหะ กำหนดให้จัดวางแหล่งกำเนิดแสงทำมุมประมาณ 45 องศา [22] ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 ประเภทของหลอดไฟ

ที่มา : The Lighting Handbook, 2018

R(45/0)



รูปที่ 2.15 การจัดวางแหล่งกำเนิดแสงตามมาตรฐาน ASTM

ที่มา : ASTM E179-96, 2017

2 การออกแบบมุมกล้อง (Designing of Camera Angle) มุมของกล้องถ่ายภาพนั้นมีผลต่อลักษณะของภาพที่ได้ ซึ่งจะส่งผลต่อผลการวิเคราะห์และตรวจสอบด้วยภาพ การเลือกมุมกล้องนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวอย่างและลักษณะของข้อมูลภาพที่ต้องการจะนำไปทำการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

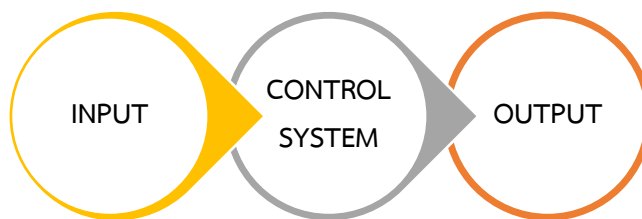
3 อัตราการรับภาพและการเลือกใช้กล้องถ่ายภาพ (Image Acquisition Rate and Camera Selection) ระบบการวิเคราะห์แบบเรียลไทม์มักมีความจำเป็นที่ต้องมีอัตราการรับภาพที่ดี แต่เนื่องจากข้อจำกัดของวงจรรฮาร์ดแวร์จึงอาจไม่เป็นไปตามที่ต้องการอย่างเหมาะสม

4 การเลือกใช้และความน่าเชื่อถือของเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (AI) (Selection and Reliability of Artificial Intelligence (AI) Techniques) ความสำเร็จของระบบในการตรวจสอบขึ้นอยู่กับการทำงานของเทคนิค AI ที่ใช้ ซึ่งเทคนิคที่พัฒนาขึ้นสำหรับกระบวนการหนึ่งอาจไม่สามารถใช้กับกระบวนการอื่นได้โดยตรง โดยจำเป็นที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนแก้ไขและปรับปรุงเพิ่มเติม ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

## 2.4 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

กิจกรรมต่าง ๆ รวมไปถึงการดำรงชีวิตประจำวันในปัจจุบันของคนเรานั้นได้มีการใช้เทคโนโลยีอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ซึ่งถือได้ว่าเป็นอีกส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญ ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์ รถยนต์ เป็นต้น เทคโนโลยีเหล่านี้เป็นตัวอย่างของการโต้ตอบและควบคุมเพื่อสั่งงานระบบหรือกระบวนการระหว่างมนุษย์กับอุปกรณ์เทคโนโลยี ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นการควบคุมด้วยมนุษย์ (Manual Control) ในขณะเดียวกัน หากระบบของกระบวนการนั้นมีการออกแบบให้สามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง โดยอาจทำการออกแบบระบบให้มีความสามารถคล้ายมนุษย์หรือมีการคิดวิเคราะห์การทำงานต่าง ๆ เพื่อควบคุมกระบวนการได้ กล่าวคือไม่จำเป็นต้องมีมนุษย์คอยควบคุมระบบ ระบบเช่นนี้เรียกว่า ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Control) หมายถึงระบบที่สามารถควบคุมกระบวนการทำงานต่าง ๆ ได้ด้วยตัวเองเมื่อมีการสั่งเริ่มการทำงานเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ (Output) ที่เป็นไปตามเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ที่กำหนด (Set point) โดยไม่จำเป็นต้องมีการควบคุมการทำงานของระบบด้วยมนุษย์ [23]

การทำงานของระบบควบคุมโดยทั่วไปเริ่มต้นจากการรับสัญญาณป้อนเข้า (Input) ซึ่งกำหนดความต้องการหรือเป้าหมายให้แก่ระบบควบคุม และมีการดำเนินการของระบบเพื่อสร้างผลลัพธ์ (Output) (แสดงกระบวนการดังรูปที่ 2.16) สัญญาณที่ป้อนเข้าระบบโดยทั่วไปอยู่ในรูปแบบของสัญญาณลมและสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณแต่ละประเภทนั้นมีความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.16 โครงสร้างการทำงานหลักของระบบควบคุม

ระบบควบคุมสามารถออกแบบให้มีการดำเนินการให้เป็นไปตามความต้องการของระบบได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประกอบด้วย การควบคุมแบบวงเปิด (Open loop control) และการควบคุมแบบวงปิด (Close loop control)

#### 2.4.1 การควบคุมแบบวงเปิด (Open loop control)

การควบคุมแบบวงเปิดเป็นการควบคุมแบบหนึ่งที่ออกแบบให้ผลลัพธ์หรือ Output ของระบบไม่ถูกส่งหรือป้อนกลับเข้าสู่ระบบเพื่อทำการวิเคราะห์ซ้ำ

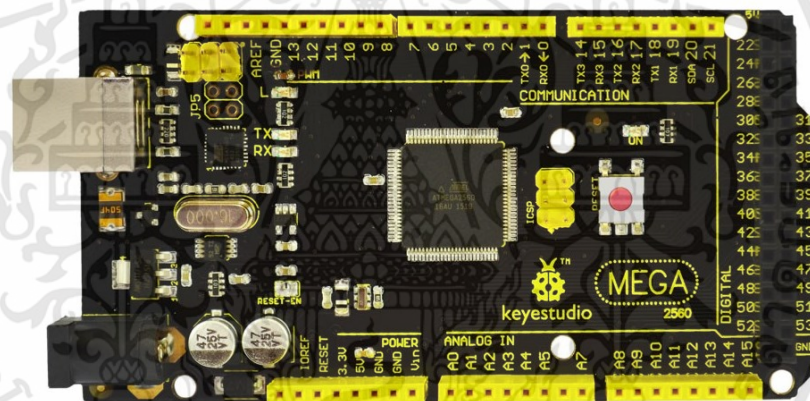
#### 2.4.2 ระบบควบคุมฝังตัว

โดยทั่วไปแล้วระบบการทำงานของคอมพิวเตอร์นั้นประกอบด้วยการทำงานร่วมกันของ อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น หน่วยความจำ จอแสดงผล เมนบอร์ด ฮาร์ดดิสก์ เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบซึ่งคนทั่วไปมักรู้จักกันในลักษณะของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ต่อมาเมื่อมีการวิจัยและพัฒนาทางด้านระบบอิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่องซึ่งส่งผลให้เกิดนวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีขนาดเล็กลง เพื่อวัตถุประสงค์ของการใช้งานเฉพาะทางที่ชัดเจนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น เครื่องเล่นเพลง โทรศัพท์มือถือ หรือแม้กระทั่งนาฬิกาที่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้มีขนาดเล็กลงแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น เช่น สามารถตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ สามารถระบุตำแหน่งได้ เป็นต้น การที่เทคโนโลยีถูกพัฒนาให้มีความสามารถมากขึ้นโดยใช้ทรัพยากรน้อยลงเหลือเพียงที่จำเป็นเช่นนี้เรียกว่า ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded systems) [24] การพัฒนาอย่างรวดเร็วของระบบควบคุมฝังตัวส่งผลให้เกิดการพัฒนาฮาร์ดแวร์สำหรับการประมวลผลควบคุมไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นฮาร์ดแวร์ในการประมวลผลที่สำคัญที่ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยผู้ผลิตทั่วโลก ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อสร้างอุปกรณ์ให้สามารถเข้าถึง สามารถใช้งานและพัฒนาได้อย่างง่ายและมีราคาถูก โดยต้องมีข้อมูลที่ถูกต้องเพียงพอเพื่อสนับสนุนการพัฒนาตามผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายตามความต้องการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักพัฒนารวมไปถึงนิสิตนักศึกษาหรือผู้ที่สนใจปัจจุบันนิยมใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในการศึกษาการควบคุมและสั่งการระบบที่ต้องการ

Arduino board เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ประเภทหนึ่งที่ถูกนิยมนำมาใช้ มีต้นกำเนิดจากนักพัฒนาในประเทศอิตาลีตั้งแต่เมื่อปีคริสต์ศักราช 2005 เป็นบอร์ดที่มีการเปิดกว้างให้บริษัทต่างๆ สามารถผลิตบอร์ดจำหน่ายได้ จึงเป็นเหตุผลให้บอร์ด Arduino นั้นกระจายสู่ นักพัฒนาทั่วโลกอย่างทั่วถึง รูปที่ 2.17 คือบอร์ด Arduino MEGA 2560 ใช้หน่วยประมวลผล Atmel รุ่น ATmega2560 ซึ่งเป็นบอร์ด Arduino ที่มีการผลิตและจำหน่ายภายใต้ตราสินค้า Keystudio จุดเด่นสำคัญของบอร์ด Arduino คือมีราคาต่ำเมื่อเทียบกับบอร์ดอื่น มีการออกแบบภาษาในการโปรแกรมที่เข้าใจง่าย มี ชีลด์ (shields) หรืออุปกรณ์ที่สนับสนุนการทำงานของบอร์ดเป็นจำนวนมาก ในขณะเดียวกันข้อเสียหรือข้อจำกัดของบอร์ดประเภทนี้คือสมรรถนะที่อาจไม่เพียงพอต่อการทำงานบางประเภท มีข้อจำกัดของภาษาที่ใช้โปรแกรมระบบ รวมถึงวัสดุหรือส่วนประกอบของบอร์ดที่อาจไม่เหมาะต่อการทำงานจริงในอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.17 บอร์ด Arduino MEGA 2560 (keystudio)

ที่มา : <https://www.keystudio.com/>

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Zhang และคณะ [25] ได้ทำการสร้างระบบอัตโนมัติโดยใช้ AdaBoost model เพื่อตรวจจับกิ่งเสียจากกระบวนการแปรรูปกิ่งไม้ไม่มีหัว AdaBoost model จะเป็นชุดคำสั่งที่ทำการคัดแยกข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้ Evolution Constructed (ECO) Features ในการทดลองใช้ตัวอย่างกิ่งไม้ไม่มีหัวจำนวน 879 ตัวอย่างเพื่อเก็บข้อมูลและทดสอบกระบวนการ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการตามคุณสมบัติของ ECO มีความแม่นยำในการจัดหมวดหมู่ 95.1% โดยมีอัตราความแม่นยำ 0.948 และการเรียกคืนข้อมูล 0.920

Lee และคณะ [26] ได้ทำการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์รูปร่างของกิ่งไม้ไม่มีหัว เพื่อทำการคัดแยกกิ่งจากกระบวนการแปรรูปที่มีลักษณะสมบูรณ์และกิ่งที่มีลักษณะแตกหักไม่สมบูรณ์ออกจากกัน โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เทคนิค TURN ANGLES CROSS-CORRELATION เป็นการวิเคราะห์มุมของเส้นตรงที่เปลี่ยนไปตามรูปร่างของตัวอย่างกึ่งไม่มีหัว ซึ่งผลการทดลองคัดกึ่งตัวอย่างจำนวน 140 ตัวอย่าง สามารถคัดกึ่งที่มีลักษณะสมบูรณ์ได้ถึง 91.2% และสามารถคัดกึ่งที่มีลักษณะแตกหักไม่สมบูรณ์ได้ 90.6%

Arakeri และ Lakshmana [7] ได้นำเสนอระบบการคัดเกรดผลมะเขือเทศที่มีประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์วิทัศน์ โดยฮาร์ดแวร์ได้รับการพัฒนาเพื่อจับภาพของมะเขือเทศและทำการคัดแยกผลมะเขือเทศออกเป็นประเภทต่าง ๆ ที่เหมาะสม ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์ผลที่มีความเสียหายและความสุกของมะเขือเทศโดยใช้โปรแกรม MATLAB ผลที่ได้จากการทำการทดลองได้ผลสำเร็จด้วยความแม่นยำ 96.47% ในการประเมินความสุกของมะเขือเทศจำนวน 340 ตัวอย่าง และจากการทดลองคัดแยกผลมะเขือเทศที่มีความเสียหายพบว่าสามารถคัดแยกได้ผลสำเร็จด้วยความแม่นยำ 100% ในการคัดแยกมะเขือเทศจำนวน 520 ตัวอย่าง

Baigvand และคณะ [8] ได้มีการศึกษาการจัดทำระบบการคัดเกรดด้วยวิธีคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อคัดเกรดผลมะเดื่อ ซึ่งระบบคัดเกรดประกอบด้วยเครื่องป้อน, สายพานลำเลียง, กล้อง CCD, ระบบแสงสว่างและชุดคัดแยก โดยใช้สามตัวแปรในการคัดเกรด ได้แก่ สี ขนาด และขนาดรอยแยกของผลมะเดื่อ ในการคัดเกรด อัลกอริทึมจะกำหนดความเข้มของสีและเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างผลมะเดื่อแต่ละตัวอย่าง ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้สีและขนาดของมันตามลำดับ สำหรับการคำนวณพื้นที่รอยแยก ภาพจะได้รับการทำ binarized โดยใช้ความแตกต่างของความเข้มของสีของผลมะเดื่อเพื่อกำหนดพื้นที่ของรอยแยก จากนั้นใช้โปรแกรม LabVIEW สำหรับเขียนอัลกอริทึมเพื่อคัดแยกผลมะเดื่อโดยอ้างอิงตามดัชนีคุณภาพที่กำหนดออกเป็นห้าเกรด ผลการศึกษาพบว่าระบบที่ได้รับการพัฒนาปรับปรุงมีความแม่นยำในการคัดเกรดได้ถึง 95.2% อัตราความสามารถในการทำงานของระบบคือ 90 กก. / ชม.

Manickavasagan และคณะ [12] ได้ศึกษาเทคนิคการถ่ายภาพสี RGB เพื่อแบ่งผลอินทผลัมสายพันธุ์ Fard, Khalas และ Naghal ออกเป็นสามประเภทโดยพิจารณาจากความแข็ง, กิ่งแข็ง และอ่อน จากตัวอย่างทั้งหมด 3300 ตัวอย่าง โดยภาพสี RGB ของตัวอย่างแต่ละภาพถูกถ่ายโดยกล้อง CCD และวิเคราะห์โดยใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB โดยมีการวิเคราะห์ทั้งหมด 13 คุณลักษณะของแต่ละภาพ ประกอบด้วย Mean intensity, Standard deviation, Variance, Eccentricity, Solidity, Extent, Variance-GLCM, Contrast-GLCM, Correlation-GLCM, Energy-GLCM, Homogeneity-GLCM, Maximum probability-GLCM และ Entropy-GLCM แบบจำลองได้รับการพัฒนาโดยใช้การวิเคราะห์จำแนกเชิงเส้นในทุกคุณสมบัติ และใช้การจำแนกแบบขั้นตอนสำหรับบางคุณสมบัติ โดยผลการทดลองการวิเคราะห์จำแนกแบบเชิงเส้นมีความแม่นยำในการจำแนกได้ถึง 69%, 87% และ 82% สำหรับ Fard, Khalas และ Naghal ตามลำดับ และการใช้จำแนกแบบขั้นตอนมีความแม่นยำในการจำแนก 68%, 86% และ 81% สำหรับพันธุ์ Fard, Khalas และ Naghal ตามลำดับ

Mizushima และ Lu [27] ได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถปรับค่าได้อัตโนมัติสำหรับการแบ่งส่วนของภาพสีโดยใช้เทคนิค linear support vector machine (SVM) และวิธีการกำหนดเกณฑ์ของ Otsu เพื่อใช้ในการคัดแยกและคัดเกรดแอปเปิ้ล ซึ่งวิธีนี้จะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแสงและ/หรือสีของผลไม้ได้ ในการวิเคราะห์จะใช้ตัวอย่างแอปเปิ้ล 300 ตัวอย่าง ที่มีสีแตกต่างกัน 3 ระดับคือ ส้ม แดง และแดงเข้ม จากการทดลองเกิดข้อผิดพลาดในการแบ่งส่วนตั้งแต่ 3% ถึง 25% สำหรับเทคนิค SVM แบบปรับค่าไม่ได้ ในขณะที่ SVM ที่ปรับค่าได้มีผลลัพธ์ที่สม่ำเสมอและถูกต้องโดยมีข้อผิดพลาดในการแบ่งส่วนน้อยกว่า 2%

Jarimopas และ Jaisin [28] พัฒนาระบบคัดแยกการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับฝักมะขามหวานโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยรูปร่าง (ตรง, โค้งเล็กน้อยและโค้ง), ขนาด (เล็ก, กลางและใหญ่) และความเสียหาย โดยใช้ฝักจากมะขามหวานสองสายพันธุ์ “สีทอง” และ “สีชมพู” ร่วมกับระบบการคัดแยกด้วยกล้อง CCD ที่ปรับให้ทำงานกับการดทิวโมโครคอนโทรลเลอร์เซ็นเซอร์และไมโครคอมพิวเตอร์ ทำการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยควบคุมทั้งสามไม่มีผลต่อรูปร่างขนาดและข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 5% ดัชนีรูปร่างเฉลี่ยของฝักแบบตรงโค้งเล็กน้อยและโค้งเป็น 51.1%, 61.6% และ 75.8% ตามลำดับ ความยาวของฝักพบว่าได้รับอิทธิพลจากขนาดและสายพันธุ์โดยฝักของสีทอง และ สีชมพู อยู่ระหว่าง 10.0 ถึง 14.0 ซม. และ 8.5 ถึง 12.4 ซม. ตามลำดับ ระบบคัดแยกวิสัยทัศน์สามารถแยกฝักมะขามสีทองที่ประสิทธิภาพการคัดแยกเฉลี่ย ( $E_w$ ) 89.8% และ 94.3% สำหรับสีชมพู

Hosseinpour และคณะ [29] ศึกษาการใช้เทคนิคตรวจสอบด้วยภาพสำหรับตรวจสอบในระหว่างกระบวนการทำแห้งกึ่ง โดยศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งและความเร็วในการอบแห้งต่อการเปลี่ยนสีของกึ่ง ได้แก่ ความสว่าง ( $L^*$ ), สีแดง ( $a^*$ ), สีเหลือง ( $b^*$ ), ความแตกต่างของสีทั้งหมด ( $\Delta E$ ), ความเข้มของสี ( $CH$ ), มุมสี ( $H^\circ$ ), และดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ( $BI$ ) ทำการทดลองการอบแห้งบนเครื่องอบแห้งที่ติดตั้งระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้อุณหภูมิอากาศร้อน (HAD) ที่อุณหภูมิ 50–90 องศาเซลเซียสและการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (SSD) อุณหภูมิ 110–120 องศาเซลเซียสที่ความเร็วลม 1-2 เมตรต่อวินาที และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายการเปลี่ยนแปลงสีของกึ่ง ผลการวิจัยพบว่าพารามิเตอร์สีมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญจากตัวแปรที่ศึกษา ซึ่งความสว่างของตัวอย่างลดลงในขณะที่พารามิเตอร์สีอื่น ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อดำเนินการอบแห้ง และพบว่าคุณสมบัติสีของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากวิธี SSD นั้นเป็นที่ยอมรับมากกว่าตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการ HAD นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณความชื้นของกึ่งระหว่างการอบแห้งมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์สีและเวลาการอบแห้งอย่างแม่นยำโดยใช้แบบจำลองสมการถดถอยกำลังสอง และอัตราส่วนความชื้นมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการเปลี่ยนแปลงความสว่างเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงสีแดงและสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Varnamkhasti และคณะ [30] ศึกษาความสดและคุณภาพของกุ้งที่เลี้ยง (*Litopenaeus vannamei*) ในช่วง 9 วันของการเก็บรักษาบนน้ำแข็งโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ ผ่านการเปลี่ยนสีของหัว ขา และหางของกุ้ง 36 พารามิเตอร์สีของภาพเช่น ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของสีแดง ( $r$ ), สีเขียว ( $g$ ), สีฟ้า ( $b$ ), ค่าสีหลัก ( $h$ ), ความอิ่มตัวของสี, ค่าความสว่าง ( $v$ ), ข้อมูล luma ( $i$  และ  $y$ ), องค์ประกอบ luma ( $y$ ), ความเข้มของสี ( $cr$ ), ความสว่าง ( $L^*$ ), สีแดง ( $a^*$ ), สีเหลือง ( $b^*$ ), chroma ( $c$ ) และ hue ( $h$ ) พารามิเตอร์บางอย่างเช่น  $b^*$ , จากรูปภาพด้านข้างและค่าเฉลี่ย  $r$ , ความแปรปรวน  $b$ , ค่าเฉลี่ย  $v$ , ค่าเฉลี่ย  $y$ , ค่าเฉลี่ย  $b^*$  และ ( $L^*$ ) เป็นต้น โดยสามารถวิเคราะห์ความสดของกุ้งโดยมีความแม่นยำสูงสุด 90% ซึ่งการประเมินความสดใหม่โดยใช้การประมวลผลภาพถือเป็นเทคนิคที่มีศักยภาพสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร

Poonnoy และ Chum-in [31] ศึกษาการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพและแบบจำลองการถดถอยแบบไม่เชิงเส้นในการประมาณน้ำหนักกุ้งซูชิ โดยใช้ตัวอย่างกุ้ง 300 ตัว คละขนาด ซื่อจากซูเปอร์มาร์เก็ตในพื้นที่ นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักแต่ละตัวด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลและแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มละ 150 ตัวอย่าง สำหรับการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยแบบไม่เชิงเส้นและสำหรับการตรวจสอบความแม่นยำ จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยกล้อง Charge Coupled Device (CCD) สีซึ่งเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์วิชั่น (Vision Builder AI) ประมวลผลภาพที่ได้และนับจำนวนพิกเซลเพื่อแสดงพื้นที่ที่คาดการณ์ของกุ้ง จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพิกเซลและน้ำหนักกุ้งโดยใช้สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 4 แบบที่ใช้ในการวิจัยคือ 1) สมการเชิงเส้น 2) สมการเส้นโค้ง 3) สมการเส้นโค้งแบบ intercept และ 4) สมการเอกซ์โพเนนเชียล จากนั้นหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAE), รากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (RMSE) และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (MRE) โดยพบว่ามีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุด 0.20g, มีค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาด 0.25 % และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.73 % ในขณะเดียวกันพบว่าเวลาในการประมวลผลเฉลี่ยของกุ้งแต่ละตัวคือ 0.5 วินาทีหรือประมาณ 7,200 กุ้งต่อชั่วโมง

## บทที่ 3

### วัตถุติด อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

#### 3.1 วัตถุติดและอุปกรณ์

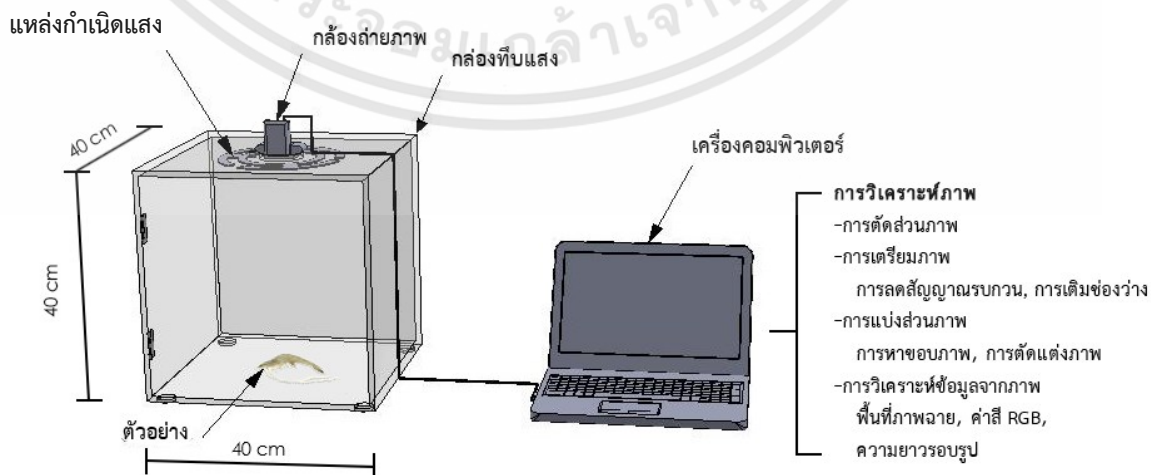
##### 3.1.1 วัตถุติด

กุ้งขาวสด สายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* แบ่งเป็น 4 ขนาดตามมาตรฐาน มกษ. 7019-2556 [5] จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 390 ตัว ประกอบด้วย

- รหัสขนาด 15 จำนวน 100 ตัว มีขนาดระหว่าง 50 – 54 ตัวต่อกิโลกรัม
- รหัสขนาด 18 จำนวน 90 ตัว มีขนาดระหว่าง 65 – 69 ตัวต่อกิโลกรัม
- รหัสขนาด 19 จำนวน 100 ตัว มีขนาดระหว่าง 70 – 74 ตัวต่อกิโลกรัม
- รหัสขนาด 25 จำนวน 100 ตัว มีขนาดระหว่าง 100 – 104 ตัวต่อกิโลกรัม

##### 3.1.2 อุปกรณ์

- 1) กล้องถ่ายภาพทีบแสงพื้นผิวสีขาวขนาด กว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร
- 2) กล้องถ่ายภาพเว็บแคม รุ่น Logitech C922 Pro 1080p Stream Webcam
- 3) แฉงไฟ Wracer LED แบบวงกลม กำลังไฟ 18 วัตต์ แสงสีขาว 6500K 1850 ลูเมน
- 4) เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก รุ่น Dell Inspiron 15, Intel Core i5 1.8 GHz, 4 GB of RAM
- 5) ซอฟต์แวร์ MATLAB เวอร์ชัน R2016a License Number : 40474096



รูปที่ 3.1 การติดตั้งอุปกรณ์การมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่าย

กุ้งขาวสด สายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* จำนวนทั้งหมด 390 ตัว ถูกนำมาซึ่งน้ำหนักและถ่ายภาพ เพื่อนำภาพมาวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ โดยการวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายตัวอย่างกุ้งด้วยโปรแกรม MATLAB 2017 การวิเคราะห์ภาพถ่ายเริ่มต้นจากกระบวนการถ่ายภาพโดยใช้กล้องถ่ายภาพเว็บแคม (Webcam) (รูปที่ 3.2a) ซึ่งทำให้ได้ภาพถ่ายกุ้งขาวพร้อมกับพื้นหลังตามการตั้งค่ากล้องถ่ายภาพจึงทำให้มีส่วนพื้นที่ของภาพที่ไม่ต้องการจำนวนมาก จึงต้องมีกระบวนการต่อไปเพื่อทำการลดพื้นที่ที่ไม่ต้องการออก คือขั้นตอนการตัดภาพเพื่อให้ได้ภาพเฉพาะตัวกุ้ง (Crop Image) (รูปที่ 3.2b) จะเห็นได้ว่าภาพที่ผ่านขั้นตอนตัดภาพจะเหลือเพียงภาพเฉพาะส่วนของกุ้งตามที่ต้องการศึกษา จากนั้นนำภาพที่ได้มาทำการแยกวัตถุที่ต้องการออกจากพื้นหลัง (Image Threshold) (รูปที่ 3.2c) เป็นการแยกภาพกุ้งออกจากพื้นหลังสีขาวโดยใช้ความแตกต่างของสีในระบบ RGB (RGB Color Threshold) ของแต่ละพิกเซลของภาพ โดยการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของค่าสีที่เหมาะสม แล้วจึงทำการแปลงภาพให้ได้ภาพกึ่งในลักษณะภาพขาว-ดำ (Binary) (รูปที่ 3.2d) ซึ่งได้เป็นขอบเขตพื้นที่ที่ทำการแยกพื้นหลังออกจากตัวกุ้ง และทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายด้วยการลดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) (รูปที่ 3.2e) และการเติมจุดว่างในภาพ (Fill Hole) (รูปที่ 3.2f) เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น ขั้นตอนต่อมาเป็นการเลือกพื้นที่ของภาพที่สนใจ (Segmentation) (รูปที่ 3.2g) โดยมีการหาขอบภาพเฉพาะตัวกุ้ง (Edge Finding) อาศัยการวิเคราะห์หาขอบภาพจากภาพขาว-ดำ (Binary Image) จากนั้นทำการเลือกเฉพาะบริเวณของส่วนหัว ตัว และหางกุ้ง (Trimming) เพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติ โดยเส้นสีแดงเป็นเส้นขอบรูปกุ้งที่ทำการตัดส่วนของหนวดกุ้ง ให้เหลือเฉพาะส่วนของหัว ลำตัว และหางของกุ้งเอาไว้เท่านั้น เนื่องจากมีความเป็นไปได้ว่ากุ้งบางตัวอาจไม่มีหนวดหรือหนวดอาจหลุดออกไป ซึ่งหากไม่ทำการตัดส่วนของหนวดกุ้งออกจะก่อให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ภาพ โดยเฉพาะการวิเคราะห์หาเส้นรอบรูปกุ้ง ซึ่งเส้นสีน้ำเงินเป็นเส้นขอบรูปของกุ้งก่อนทำการตัดบริเวณของหนวดกุ้งออก สุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ข้อมูล (Feature Extraction) เพื่อให้ได้ค่าพื้นที่ภาพฉาย ค่าเฉลี่ยสี RGB และความยาวรอบรูปกุ้ง



รูปที่ 3.2 กระบวนการวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายกุ้ง a) Image acquisition b) Crop image c) Threshold d) Binary Image e) Noise Reduction f) Fill Hole g) Segmentation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

#### 3.3.1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและการวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติอาศัยข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่รวบรวมนำมาคำนวณทางสถิติเชิงพรรณนาโดยทำการหาค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Coefficient of Correlation) (สมการที่ 3.3)

$$\text{Mean} \quad \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (3.1)$$

$$\text{Standard Deviation} \quad SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (3.2)$$

$$\text{Coefficient of Correlation} \quad r = \frac{N(\sum_{i=1}^N X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^N X_i)(\sum_{i=1}^N Y_i)}{\sqrt{[N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2][N \sum_{i=1}^N Y_i^2 - (\sum_{i=1}^N Y_i)^2]}} \quad (3.3)$$

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายกับคุณภาพของกิ่งขาว โดยกำหนดเกณฑ์คุณภาพกิ่ง คือ ค่าน้ำหนักของกิ่งขาว แบ่งออกเป็น 4 ระดับตามมาตรฐานสินค้าเกษตร และตัวแปรคุณสมบัติกิ่งจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยของสีในระบบ RGB ค่าความยาวรอบตัวกิ่ง (Perimeter) และพื้นที่ที่ภาพฉาย (Projected area) ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยอาศัยแบบจำลองความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของสมการเส้นตรง (Linear) สมการเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) และสมการยกกำลัง (Power) สมการที่ใช้แสดงได้ดังนี้

$$\text{Linear} \quad y = a + bx \quad (3.4)$$

$$\text{Exponential} \quad y = ae^{bx} \quad (3.5)$$

$$\text{Power} \quad y = ax^b \quad (3.6)$$

โดยที่  $x$  คือ ตัวแปรคุณสมบัติด้านค่าเฉลี่ยของสี ค่าความยาวรอบตัวกิ่ง และพื้นที่ที่ภาพฉายที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย  
 $y$  คือ น้ำหนักของกิ่งขาว  
 $N$  คือ จำนวนทั้งหมดของตัวอย่างกิ่งขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination :  $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (Standard Error Of Estimate :  $SEE$ ) จากสมการดังนี้

$$\text{Coefficient of Determination} \quad R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.7)$$

$$\text{Standard Error of Estimate} \quad SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2}{N-2}} \quad (3.8)$$

โดยที่  $\hat{y}_i$  คือ ค่าที่พยากรณ์ได้

$y_i$  คือ ค่าจริงที่ได้จากการเก็บข้อมูล

$N$  คือ จำนวนตัวอย่างที่วัด

### 3.3.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำ

หลังจากที่ทำการทดลองเพื่อหาสมการที่ใช้ทำนายน้ำหนักจากตัวแปรพื้นที่ภาพถ่ายของกุ้งแล้วจึงมีการทดลองเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Error) และเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ (Accuracy) ของของการทำนาย โดยทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายกับค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักจริงของกุ้งขาวจากสมการ

$$\text{Error (\%)} \quad \% \text{ error} = \left| \frac{X_{\text{mea}} - X_t}{X_t} \right| \times 100 \quad (3.9)$$

$$\text{Accuracy (\%)} \quad \% \text{ Accuracy} = 100 - \left( \left| \frac{X_{\text{mea}} - X_t}{X_t} \right| \times 100 \right) \quad (3.10)$$

เมื่อ  $X_{\text{mea}}$  คือ ค่าที่ได้จากการทำนาย

$X_t$  คือ ค่าจริงที่ได้จากการชั่งน้ำหนักกุ้งขาว

### 3.4 การประยุกต์ใช้ผลจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายในการออกแบบอุปกรณ์คัดขนาดกุ้งแบบอัตโนมัติ

จากผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายกุ้งขาวที่นำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแล้วทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบสมการทำนายลักษณะของข้อมูลที่เหมาะสมกับข้อมูลการวิเคราะห์ภาพถ่ายมากที่สุด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบอุปกรณ์คัดขนาดกุ้งแบบอัตโนมัติได้โดยอาศัยการทำงานของโปรแกรม MATLAB เพื่อเป็นส่วนประมวลผลการวิเคราะห์ภาพและส่งสัญญาณโดยทำงาน

เชื่อมต่อกับชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ARDUINO MEGA 2560 ที่จะเป็นตัวสั่งการและควบคุมอุปกรณ์ในระบบเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกึ่งอัตโนมัติ

### 3.4.1 อุปกรณ์

การดำเนินงานในการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกึ่งขาวสด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนสำคัญประกอบด้วย

#### 1) ส่วนของชุดวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image Analysis Section)

ส่วนการลำเลียงวัตถุดิบประกอบด้วย

- สายพานลำเลียงขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ความยาวสายพานเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 60 เซนติเมตร
- ชุดขับเคลื่อนสายพานประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลต์ และลูกกลิ้งสายพาน

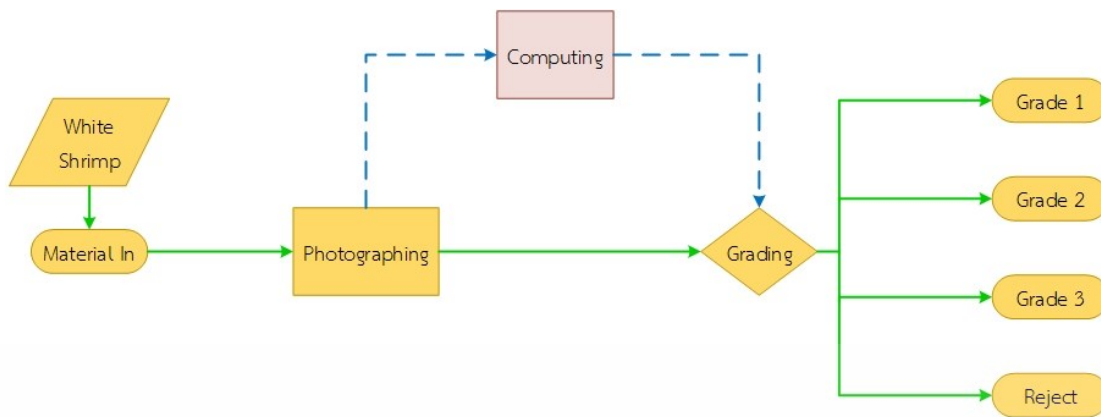
ส่วนการถ่ายภาพประกอบด้วย

- กล้องถ่ายภาพทีบแสงพื้นผิวสีขาว ขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 23 x 30 x 20 เซนติเมตร
- กล้องถ่ายภาพเว็บแคม (Logitech C922 Pro Stream Webcam)
- แฉงไฟ LED ส่องสว่างแบบวงกลม กำลังไฟ 18 วัตต์
- เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ E18-D80NK ประเทศจีน
- เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Intel Core i5 1.8 GHz, 4 GB of RAM)

#### 2) ส่วนของชุดระบบคัดขนาดกึ่ง (Sorter Section)

- ชุดบังคับทิศทางวัตถุดิบขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร ประกอบด้วยช่องสำหรับคัดแยกกึ่ง 4 ขนาด
- บอร์ดรุ่น MEGA 2560 ยี่ห้อ Keystudio ประเทศจีน
- เซอร์โวมอเตอร์ รุ่น SG90 ยี่ห้อ Tower Pro ประเทศไต้หวัน

โดยมีการออกแบบระบบขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่องและสัมพันธ์กันตามขั้นตอน เริ่มต้นจากการป้อนวัตถุดิบหรือกึ่งขาวเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ภาพซึ่งประกอบด้วยการถ่ายภาพแล้วส่งสัญญาณไปประมวลผลที่โปรแกรม เมื่อการวิเคราะห์ภาพเสร็จสิ้นจึงส่งสัญญาณไปยังชุดคัดแยกที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคัดแยกกึ่งขาวออกตามขนาดต่าง ๆ ดังแสดงแผนผังการทำงานของเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกึ่งอัตโนมัติในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 Process Control Diagram

### 3.5 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์คัดขนาด

#### 3.5.1 วัตถุประสงค์

ตัวอย่างกุ้งขาวสด สายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* 4 ขนาด คือ รหัสขนาด 15 จำนวน 100 ตัว รหัสขนาด 17 จำนวน 100 ตัว รหัสขนาด 19 จำนวน 100 ตัว และรหัสขนาด 25 จำนวน 95 ตัว (มาตรฐาน มกษ. 7019-2556) รวมจำนวน 395 ตัว จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา นำมาเป็นตัวอย่างทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

#### 3.5.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำในการคัดขนาด

หลังจากดำเนินการออกแบบและสร้างประกอบเครื่องต้นแบบเสร็จแล้วจึงทำการทดสอบการทำงานของเครื่องโดยการทดสอบการคัดขนาดตัวอย่างกุ้งขาวสดทั้งหมด 395 ตัว คัดออกเป็น 4 ขนาดประกอบด้วย

รหัสขนาด 15 มีขนาดระหว่าง 50 – 54 ตัวต่อกิโลกรัม

รหัสขนาด 17 มีขนาดระหว่าง 60 – 64 ตัวต่อกิโลกรัม

รหัสขนาด 19 มีขนาดระหว่าง 70 – 74 ตัวต่อกิโลกรัม

รหัสขนาด 25 มีขนาดระหว่าง 100 – 104 ตัวต่อกิโลกรัม

จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความแม่นยำในการคัดขนาดจากสมการที่ 3.11 โดยใช้ค่าน้ำหนักจริงของตัวอย่างกุ้งที่ได้จากการชั่งน้ำหนักเป็นเกณฑ์ในการตัดสินความแม่นยำในการคัดขนาดกุ้งขาวด้วยเครื่องต้นแบบ

$$\text{Accuracy of sorting (\%)} \quad \% \text{ Accuracy} = \left( \frac{N}{N_T} \right) \times 100 \quad (3.11)$$

เมื่อ  $N$  คือ จำนวนตัวอย่างกุ้งที่คัดได้ถูกต้อง  
 $N_T$  คือ จำนวนตัวอย่างกุ้งทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายของกุ้งสด

#### 4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลกุ้งขาว

จากการลงพื้นที่สำรวจสถานที่คัดขนาดกุ้งขาวในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทราพบว่า ในการคัดขนาดกุ้งออกเป็นขนาดต่าง ๆ ที่กำหนดนั้นมีวิธีการคัดโดยมีพนักงานตั้งแต่ 5 ถึง 10 คนโดยประมาณ ขึ้นอยู่กับปริมาณกุ้งที่นำมาทำการคัด โดยพนักงานจะยืนล้อมรอบโต๊ะขนาดใหญ่และทำการคัดขนาดกุ้งใส่ลงในตะกร้าตามขนาดต่าง ๆ ที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การคัดขนาดกุ้งในปัจจุบัน

เมื่อพนักงานทำการคัดกุ้งตามขนาดต่าง ๆ แล้วจึงบรรจุกุ้งลงตะกร้าเพื่อนำไปซึ่งน้ำหนักของกุ้งทั้งหมดที่คัดได้ ดังรูปที่ 4.2 จากนั้นจึงนำไปบรรจุรวมกันไว้ในถังขนาดใหญ่เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่การคัดขนาดกุ้งจำเป็นต้องอาศัยพนักงานเป็นจำนวนมาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาด้านการควบคุมคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐาน อันเนื่องมาจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ (Human error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การชั่งน้ำหนักกุ้งที่คัดได้

จากการเก็บข้อมูลจากการชั่งน้ำหนักตัวอย่างกุ้งขาวสดจำนวน 390 ตัว แบ่งเป็น 4 ขนาด ประกอบด้วยรหัสขนาด 15, 18, 19, 25 เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้หลักสถิติเชิงพรรณนา ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกุ้งที่ได้ระบุในการซื้อขาย อีกทั้งยังมีความไม่สม่ำเสมอในกุ้งที่มีขนาดในกลุ่มเดียวกัน สังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ( $SD$ ) ซึ่งพบว่ามีสัดส่วนของกุ้งที่อยู่นอกเหนือจากน้ำหนักที่กำหนดเกิน 10% ในขณะที่มาตรฐานสินค้าเกษตรยอมให้มีสัดส่วนของกุ้งทะเลอยู่ในช่วงขนาดต่างจากขนาดที่ระบุได้ไม่เกิน 10%

ตารางที่ 4.1 ค่าทางสถิติเชิงพรรณนาของน้ำหนักตัวอย่างกุ้งขาวสด

หน่วย : กรัม

รหัส ขนาด	ข้อมูลมาตรฐาน (มกษ.7019-2556)			ข้อมูลที่ได้จากแหล่งซื้อ						
	จำนวน (ตัว/ กิโลกรัม)	$Wt_{Max}$	$Wt_{Min}$	$Wt_{Mean}$	จำนวน (ตัว/ กิโลกรัม)	$Wt_{Max}$	$Wt_{Min}$	$Wt_{Mean}$	$SD$	Error (%)
15	50-54	22.00	16.67	19.23	52	24.60	9.10	16.43	3.32	61.00
18	65-69	16.92	13.04	14.92	66	21.07	8.03	13.33	2.77	63.33
19	70-74	15.71	12.16	13.89	72	17.53	8.73	12.59	2.13	54.00
25	100-104	11.00	8.65	9.80	102	13.27	4.50	9.10	1.69	48.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลกึ่งขาวและข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย

ข้อมูลที่ได้จากการชั่งน้ำหนักกึ่งและการวิเคราะห์ภาพถ่ายถูกนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในรูปแบบเชิงเส้นของตัวแปรด้วยวิธีทางสถิติ จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าสหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกึ่งกับค่าพื้นที่ภาพฉาย (PA) มีค่ามากที่สุด ( $r > 0.9$ ) ขณะที่ความยาวรอบรูปกึ่ง (RO) มีค่าสหสัมพันธ์รองลงมา ( $r > 0.7$ ) และในส่วนค่าสี R G B พบว่าไม่แสดงความสัมพันธ์ต่อน้ำหนักกึ่งมากนัก โดยมีค่าสหสัมพันธ์ ( $r$ ) ที่ได้อยู่ในช่วง 0.143 - 0.543 ซึ่งหมายความว่าข้อมูลที่ได้มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นในเชิงบวก เนื่องจากค่า  $r$  มีค่าเป็นบวก คือเมื่อน้ำหนักกึ่งที่ได้จากการชั่งมีค่าสูงขึ้น ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 4.2 ค่า  $r$  และค่านัยสำคัญทางสถิติ (P-value) ของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกึ่งกับค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย

ค่าวิเคราะห์ จากภาพถ่าย	ค่าสหสัมพันธ์ ( $r$ ) ของขนาดกึ่งในสมการที่ 3.6			
	52 ตัว/กก	66 ตัว/กก	72 ตัว/กก	102 ตัว/กก
PA	0.917***	0.953**	0.932**	0.928**
R	-0.158	-0.146	-0.389**	-0.358**
G	-0.231*	-0.143	-0.463**	-0.501**
B	-0.228*	-0.269**	-0.526**	-0.543**
RO	0.796**	0.786**	0.788**	0.737**

\*\*\* ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001, \*\* ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01,

\* ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

เมื่อได้ข้อมูลความสัมพันธ์จากค่า  $r$  ในตารางที่ 4.2 และเมื่อนำมาวิเคราะห์สามารถเลือกชุดข้อมูลที่ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด 2 ชุด คือ 1) ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกึ่งกับข้อมูลพื้นที่ภาพฉาย และ 2) ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกึ่งกับความยาวรอบรูปกึ่ง จึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อทำนายความสัมพันธ์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ใน 3 รูปแบบ คือ 1) สมการเส้นตรง (Linear) 2) สมการเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential) และ 3) สมการยกกำลัง (Power) ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลในตารางประกอบด้วย ค่าพารามิเตอร์ในสมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (SEE) ของข้อมูลกึ่งทั้ง 4 ขนาด รวมถึงข้อมูลกึ่งโดยรวมทั้งหมดโดยไม่แบ่งขนาด (All)

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ในสมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย ( $SEE$ ) สำหรับสมการแบบเส้นตรง (Linear)

ขนาดกึ่ง/ ค่าวิเคราะห์ภาพถ่าย		Linear (สมการที่ 3.4)			
		$y = a+bx$			
		$a$	$b$	$R^2$	$SEE$
52	PA	-2.748	0.969	0.841	1.330
	RO	-11.598	1.733	0.634	2.020
66	PA	-3.618	0.969	0.908	0.841
	RO	-11.663	1.648	0.618	1.723
72	PA	-2.556	0.798	0.869	0.779
	RO	-7.744	1.365	0.621	1.319
102	PA	-2.504	0.845	0.861	0.631
	RO	-7.141	1.266	0.543	1.145
All	PA	-3.918	0.958	0.837	1.481
	RO	-14.048	1.823	0.777	1.735

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ในสมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย ( $SEE$ ) สำหรับสมการแบบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential)

ขนาดกึ่ง/ ค่าวิเคราะห์ภาพถ่าย		Exponential (สมการที่ 3.5)			
		$y = ae^{bx}$			
		$a$	$b$	$R^2$	$SEE$
52	PA	5.030	0.059	0.830	0.084
	RO	2.885	0.106	0.639	0.123
66	PA	3.717	0.072	0.896	0.067
	RO	1.973	0.125	0.634	0.126
72	PA	3.740	0.063	0.863	0.063
	RO	2.462	0.109	0.624	0.104
102	PA	2.283	0.099	0.877	0.069
	RO	1.303	0.150	0.562	0.131
All	PA	3.272	0.076	0.847	0.113
	RO	1.460	0.145	0.790	0.132

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ในสมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย ( $SEE$ ) สำหรับสมการแบบยกกำลัง (Power)

ขนาดกึ่ง/ ค่าวิเคราะห์ภาพถ่าย		Power (สมการที่ 3.6)			
		$y = ax^b$			
		$a$	$b$	$R^2$	$SEE$
52	PA	0.510	1.161	0.833	0.083
	RO	0.140	1.707	0.636	0.123
66	PA	0.348	1.272	0.906	0.064
	RO	0.077	1.888	0.635	0.126
72	PA	0.354	1.212	0.873	0.061
	RO	0.163	1.606	0.620	0.105
102	PA	0.324	1.271	0.878	0.069
	RO	0.067	1.921	0.574	0.129
All	PA	0.303	1.305	0.864	0.107
	RO	0.041	2.129	0.796	0.130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย ( $SEE$ ) เพื่อนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกสมการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายน้ำหนักของกุ้งขาวจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายพบว่า สมการที่ทำนายน้ำหนักกุ้งจากค่าพื้นที่ภาพฉาย ( $PA$ ) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดที่สูงกว่าสมการทำนายจากค่าความยาวเส้นรอบรูป ( $RO$ ) สำหรับกุ้งทุกขนาด นอกจากนั้นค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของสมการโดยอาศัยพื้นที่ภาพฉาย ( $PA$ ) ยังพบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการใช้ค่าความยาวเส้นรอบรูปในการทำนาย

นอกจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีดังแสดงข้างต้นแล้ว การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เป็นอีกหนึ่งวิธีในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ซึ่งจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณโดยใช้ตัวแปรพื้นที่ภาพฉายร่วมกับเส้นรอบรูปพบว่ามีผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ในสมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย ( $SEE$ ) สำหรับการวิเคราะห์แบบ Multiple Linear Regression

ขนาดกุ้ง/ ค่าวิเคราะห์ภาพถ่าย	Multiple Linear Regression $y = a_1x_1 + a_2x_2 + b$				
	$a_1$	$a_2$	$b$	$R^2$	$SEE$
52	0.770	0.548	-7.678	0.870	1.212
66	0.871	0.261	-5.866	0.915	0.816
72	0.677	0.319	-5.025	0.882	0.740
102	0.753	0.241	-4.332	0.871	0.612
All	0.624	0.782	-9.606	0.878	1.282

จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 4.6 พบว่า การวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณนั้นสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกุ้งกับตัวแปรพื้นที่ภาพฉายและความยาวรอบรูปได้ดีกว่าการวิเคราะห์โดยใช้ตัวแปรเดียว สังเกตจากค่า  $R^2$  ที่มีค่าสูงกว่า และค่า  $SEE$  ที่มีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์แบบ Linear Regression

ในส่วนของรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ที่ใช้ทำนายขนาดกุ้งขาวนั้น เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่วิเคราะห์โดยไม่ทำการแบ่งขนาดพบว่าสมการในรูปแบบสมการหลายตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ Multiple Linear Regression นั้นสามารถนำมาอธิบายความสัมพันธ์ได้ดีกว่ารูปแบบอื่น แต่อย่างไรก็ตาม การนำสมการในรูปแบบหลายตัวแปรมาใช้วิเคราะห์ในงานนี้ส่งผลถึงระยะเวลาในการประมวลผลของการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่เพิ่มมากขึ้น โดยให้ความแม่นยำเพิ่มขึ้นมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ความเร็วที่ใช้ในการประมวลผลเป็นปัจจัยสำคัญต่อการนำไปประยุกต์ใช้ให้เป็นผลสำเร็จ เพื่อพัฒนาเครื่องจักรคัดขนาดกุ้งซึ่งอาจไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้การวิเคราะห์แบบใช้หลายตัวแปรในการทำนาย ดังนั้นในงานนี้จึงเลือกใช้รูปแบบสมการตัวแปรเดียวสำหรับการทำนายน้ำหนักกุ้งขาว

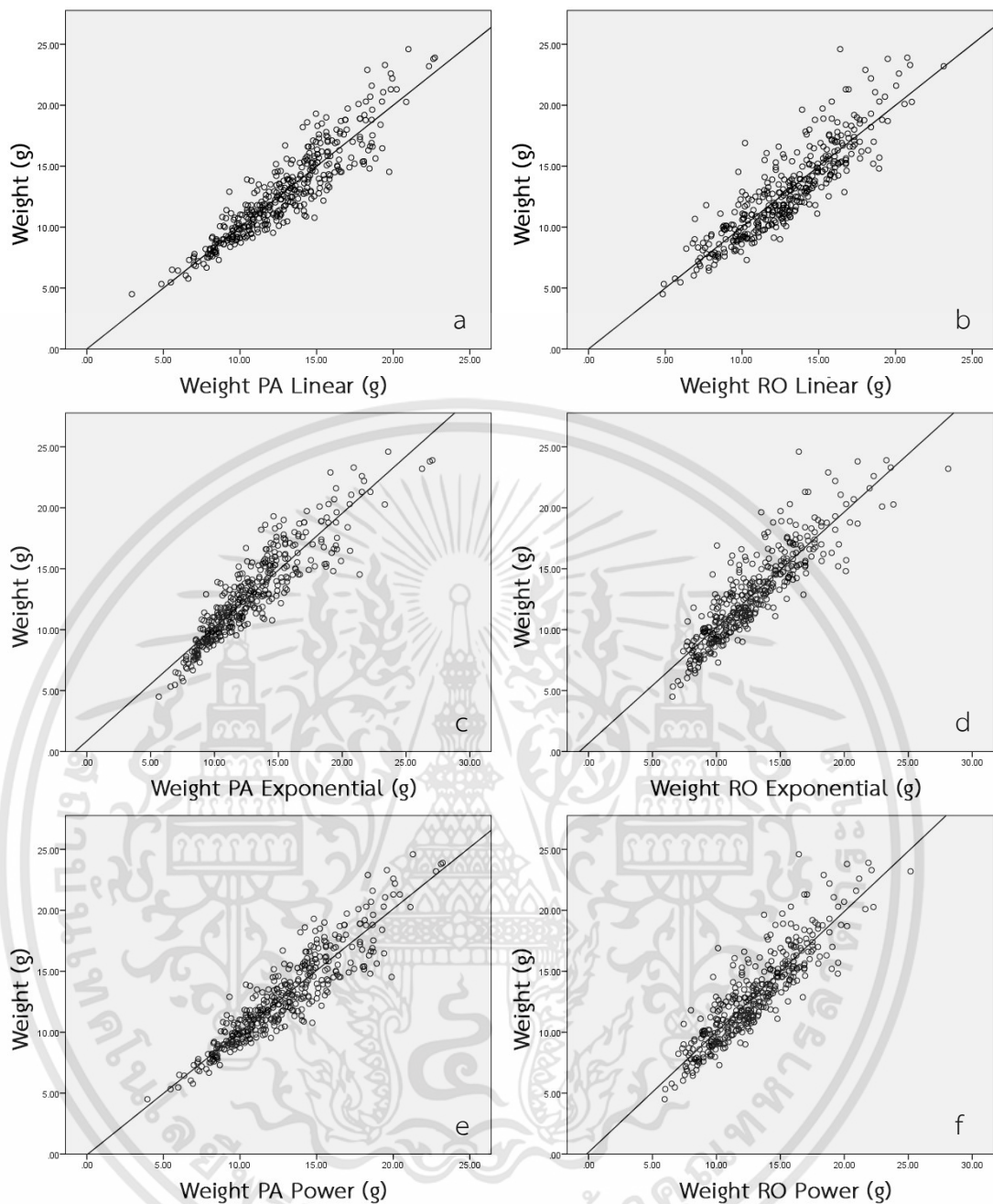
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการแบบยกกำลัง (Power) และแบบเอกซ์โพเนนเชียลเพื่อใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์จากภาพถ่ายได้ดีกว่าสมการเส้นตรง โดยพิจารณาจากค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกุ้งขาวกับพื้นที่ภาพถ่ายในสมการแบบยกกำลัง (Power) มีค่าเท่ากับ 0.864 และสำหรับสมการแบบเอกซ์โพเนนเชียลและสมการเส้นตรงมีค่าเท่ากับ 0.847 และ 0.837 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (SEE) ในสมการแบบยกกำลังมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.107 และมีค่าเท่ากับ 0.113 และ 1.481 สำหรับสมการแบบเอกซ์โพเนนเชียลและสมการเส้นตรงตามลำดับ และสมการทั้ง 2 รูปแบบนี้ใช้เวลาในการประมวลผลที่สั้นกว่าสมการแบบหลายตัวแปรมาจากข้อมูลทั้งหมดที่ได้ จึงเลือกสมการทำนายน้ำหนักของกุ้งขาวจากข้อมูลพื้นที่ภาพถ่าย โดยใช้สมการแบบยกกำลัง (Power) ดังสมการที่ 3.12

$$\text{Shrimp weight prediction} \quad y = 0.303x^{1.305} \quad (3.12)$$

เมื่อ  $y$  คือ น้ำหนักกุ้งที่ทำนายได้  
 $x$  คือ พื้นที่ภาพถ่ายกุ้ง

และเมื่อนำข้อมูลมาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์โดยแบ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับพื้นที่ภาพถ่ายและความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับความยาวรอบรูปของกุ้งทั้งหมดทั้งหมด 390 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักกุ้งขาวที่ได้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการในรูปแบบต่าง ๆ กัน ประกอบด้วย การทำนายด้วยสมการเส้นตรง สมการสมการเอกซ์โพเนนเชียล และสมการยกกำลัง ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าการกระจายความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากค่าน้ำหนักที่ได้จริง กับค่าที่ได้จากสมการที่ใช้ค่าพื้นที่ภาพถ่ายน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากสมการเส้นรอบรูปเล็กน้อย



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของข้อมูลน้ำหนักกับพื้นที่ภาพฉายแบบ a) Linear c) Exponential e) Power และข้อมูลน้ำหนักกับความยาวรอบรูปแบบ b) Linear d) Exponential f) Power

จากสมการทำนายน้ำหนักกึ่งชาวสดที่ได้จึงนำไปสู่การทดลองเพื่อตรวจสอบความแม่นยำและความแม่นยำในการทำนายน้ำหนักของกึ่ง โดยทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายกึ่งชาวสด (พันธุ์แวนนาไม) จำนวน 395 ตัว โดยแบ่งเป็น 4 ขนาด คือ รหัสขนาด 15 (50-54 ตัว/กก.), 17 (60-64 ตัว/กก.), 19 (70-74 ตัว/กก.), 25 (100-104 ตัว/กก) โดยทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อทำนายน้ำหนักจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3.12 โดยนำค่าน้ำหนักที่ทำนายได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักจริงของกุ้งขาวโดยใช้สมการที่ 3.9 และ 3.10 ซึ่งผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของการทำนายน้ำหนักกุ้งขาว

สมการทำนาย	เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ			
	รหัสขนาด	รหัสขนาด	รหัสขนาด	รหัสขนาด
	15	17	19	25
PA ( $y = 0.303x^{1.305}$ )	92.52	92.95	93.68	93.89
RO ( $y = 0.041x^{2.129}$ )	86.82	87.93	91.73	89.49

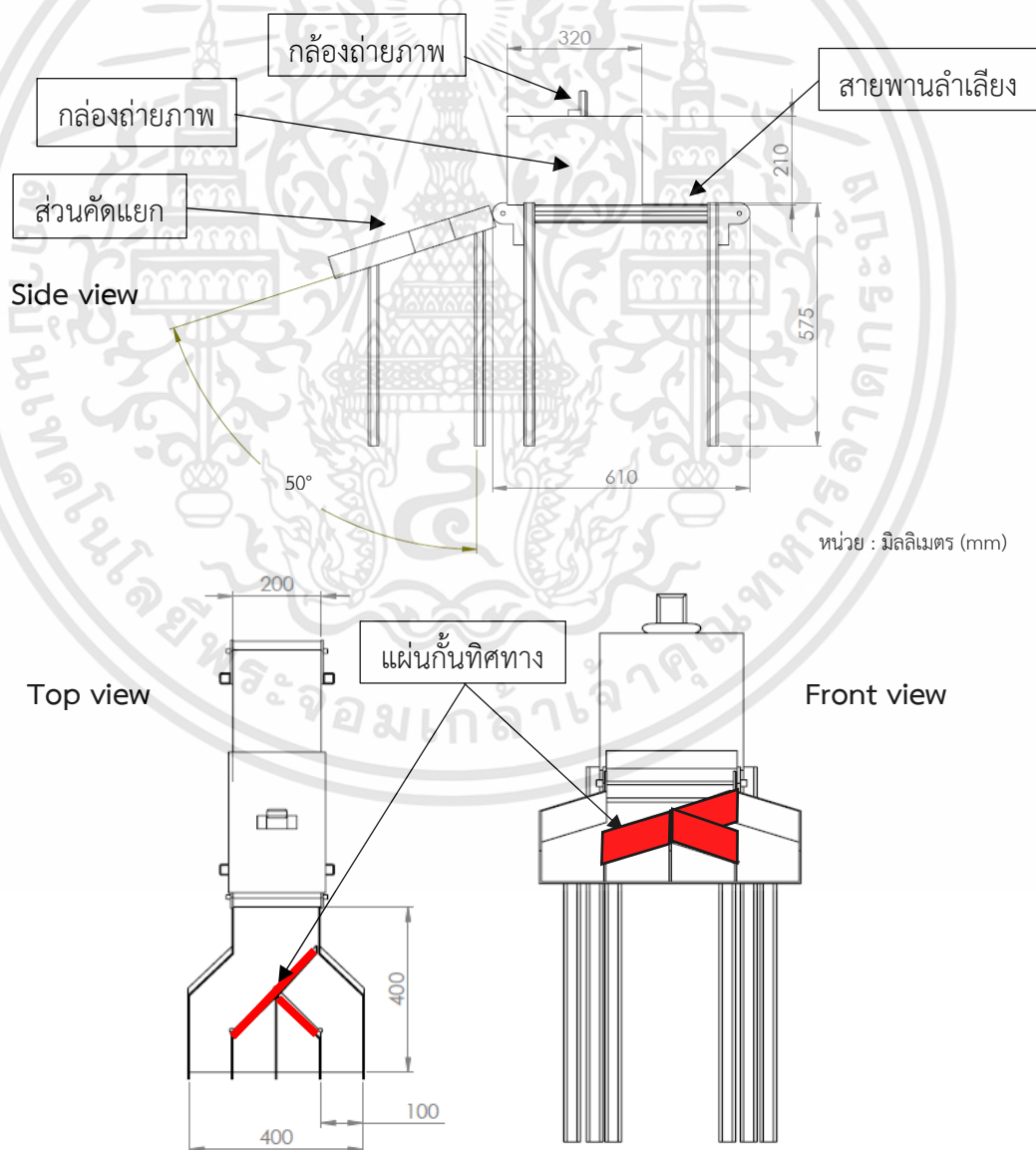
ผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าการทำนายน้ำหนักจากข้อมูลพื้นที่ภาพถ่ายของกุ้งนั้นมีความแม่นยำมากกว่าการทำนายโดยใช้ข้อมูลเส้นรอบรูป โดยมีความแม่นยำเฉลี่ย 93.26% และ 88.99% สำหรับการทำนายด้วยพื้นที่ภาพถ่ายและความยาวรอบรูปตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การทำนาย ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย ( $SEE$ ) ของสมการที่บ่งชี้ว่าการทำนายด้วยข้อมูลพื้นที่ภาพถ่ายนั้นให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักจริงมากที่สุด

## บทที่ 5

# การออกแบบและทดสอบระบบอุปกรณ์คัดขนาดกุ้งแบบอัตโนมัติ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย

### 5.1 การออกแบบอุปกรณ์คัดขนาดกุ้งขาว

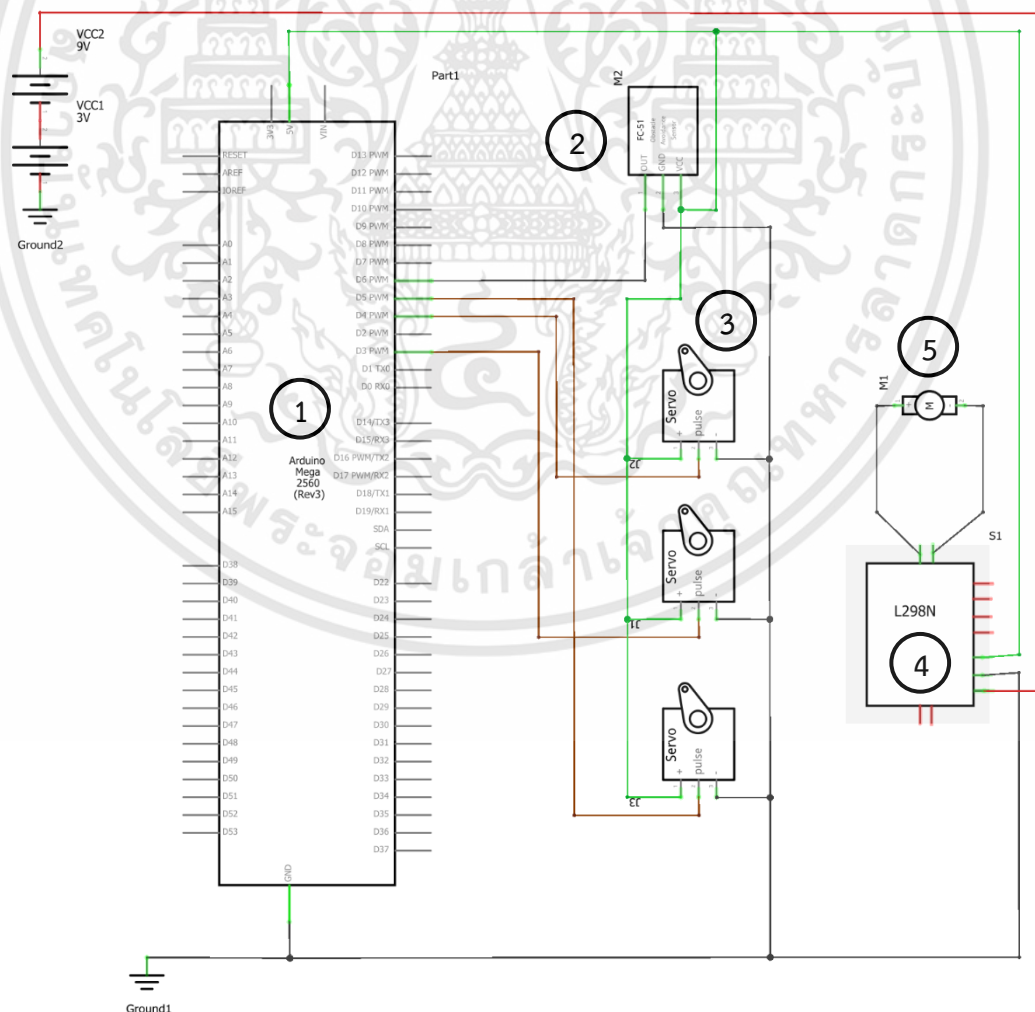
ในการออกแบบเพื่อสร้างเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกุ้งขาวสดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายนั้นมีการเลือกใช้วัสดุที่สามารถตัดประกอบได้ง่าย แต่ยังคงมีความแข็งแรงในการใช้งาน จึงได้เลือกใช้วัสดุสำหรับโครงสร้างหลักทำจากอลูมิเนียมที่มีความแข็งแรงและมีน้ำหนักเบา และเลือกใช้วัสดุสำหรับส่วนประกอบอื่น ๆ ทำจากอะคริลิก ความหนา 3 มิลลิเมตรดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แบบร่างเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกุ้งขาวสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมการทำงาน ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino MEGA 2560) โดยออกแบบให้ควบคุมการทำงานของสายพานป้อนวัตถุดิบและการคัดแยกขนาด การทำงานเริ่มต้นโดยการป้อนตัวอย่างกึ่งครึ่งละ 1 ตัวสู่สายพานลำเลียงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลต์ หมุนด้วยความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที จากนั้นลำเลียงด้วยสายพานเข้าสู่กล้องถ่ายภาพ ทำการถ่ายภาพและวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB 2016 แล้วจึงส่งสัญญาณเพื่อควบคุมแผ่นกั้นที่ต่อกับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อบังคับทิศทางกึ่งให้เคลื่อนไปตามทิศทางที่กำหนด ซึ่งสามารถแสดงแผนผังการเชื่อมต่อวงจรระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ได้ดังรูปที่ 5.2 หมายเลข 1 คืออุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino MEGA 2560) ทำหน้าที่ควบคุมและสั่งงานอุปกรณ์ทั้งหมดประกอบด้วย เซ็นเซอร์แสงสำหรับตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนผ่าน (หมายเลข 2) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ตรวจจับวัตถุที่ผ่านเข้ามาแล้วส่งสัญญาณไปประมวลผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ หากมีวัตถุผ่านเข้ามาจึงส่งสัญญาณเพื่อสั่งการให้อุปกรณ์หมายเลข 4 คืออุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ (หมายเลข 5) เพื่อหยุดการหมุนแล้วจึงเริ่มกระบวนการวิเคราะห์ภาพ จากนั้นจึงส่งสัญญาณเพื่อสั่งงานอุปกรณ์หมายเลข 3 คือเซอร์โวมอเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมการเปิด-ปิดแผ่นกั้นสำหรับบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบ



รูปที่ 5.2 แผนผังวงจรระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Number	Part name
1	Micro controller Arduino MEGA 2560
2	Sensor E18-D80NK
3	Servo motor SG90 Tower Pro
4	Motor Drive Module L298N
5	12V DC motor

## 5.2 ส่วนประกอบอุปกรณ์คัตขนาดกึ่งขาว

อุปกรณ์คัตขนาดกึ่งขาว (รูปที่ 5.3) สามารถแบ่งส่วนประกอบออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย 1) ส่วนป้อนวัตถุดิบ 2) ส่วนกล่องถ่ายภาพ 3) ส่วนคัตขนาด และ 4) ส่วนการประมวลผล



รูปที่ 5.3 เครื่องต้นแบบสำหรับคัตขนาดกึ่งขาวสด

### 5.2.1 ส่วนป้อนวัตถุดิบ



รูปที่ 5.4 อุปกรณ์ส่วนป้อนวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของอุปกรณ์สำหรับป้องกันวัตถุบั้นมีลักษณะเป็นระบบการป้องกันหรือการลำเลียงวัตถุแบบสายพานลำเลียงขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร มีระยะในการเคลื่อนที่ของสายพานยาว 60 เซนติเมตร อาศัยการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์ หมุนที่ความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ในรูปที่ 5.4

### 5.2.2 ส่วนกล้องถ่ายภาพ



อุปกรณ์ส่วนกล้องถ่ายภาพวัตถุบั้นดังแสดงในรูปที่ 5.5 มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง 23 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร มีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพแบบ Web camera ความละเอียด 800x600 พิกเซล ที่บริเวณด้านบนของกล่องในตำแหน่งกึ่งกลาง ร่วมกับแผงไฟ LED แบบวงกลมขนาดกำลังไฟ 18 วัตต์ และติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุแบบอินฟราเรดที่ผนังด้านข้างของกล่องถ่ายภาพ เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับวัตถุบั้นที่ป้อนเข้ามาเพื่อเริ่มกระบวนการถ่ายภาพและประมวลผล

### 5.2.3 ส่วนคัตขนาด

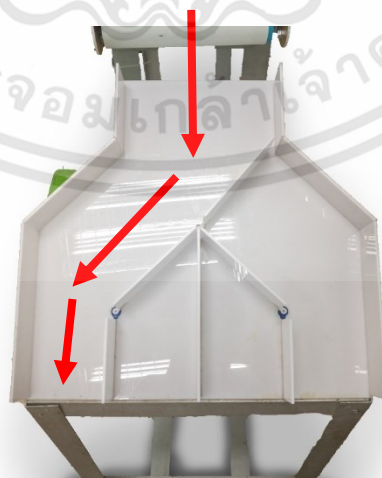


รูปที่ 5.6 ส่วนคัตขนาด

รูปที่ 5.6 แสดงส่วนการคัตขนาดมีลักษณะเป็นภาตบังคับทิศทางทางการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบ โดยติดตั้งทำมุม 40 องศากับแนวระดับ เพื่ออาศัยแรงโน้มถ่วงในการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบไปตามช่องทางต่าง ๆ ที่กำหนด โดยมีการเปิด-ปิดประตูหรือแผ่นกั้นตามรูปแบบต่าง ๆ ด้วยเซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งจะรับคำสั่งมาจากชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ภายหลังจากที่มีการประมวลผลภาพถ่ายเสร็จสิ้น โดยอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับคัตขนาดกึ่งขาวนี้มีการออกแบบให้สามารถคัตขนาดได้ครั้งละ 4 ขนาด โดยมีการควบคุมแผ่นกั้นตามผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายระบุว่าอยู่ในกลุ่ม A

หากผลการวิเคราะห์ระบุว่าวัตถุดิบนั้นอยู่ในกลุ่ม A ระบบควบคุมจะสั่งการให้แผ่นกั้นที่ 1 และแผ่นกั้นที่ 2 อยู่ในตำแหน่งที่ปิดไปทางด้านขวา ดังรูปที่ 5.7

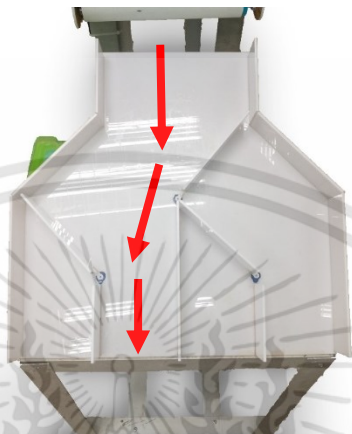


รูปที่ 5.7 การทำงานของแผ่นกั้นกรณีกลุ่ม A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายระบุว่าอยู่ในกลุ่ม B

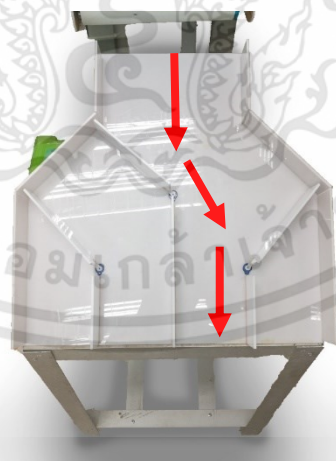
หากผลการวิเคราะห์ระบุว่าวัตถุชิ้นนั้นอยู่ในกลุ่ม B ระบบควบคุมจะสั่งการให้แผ่นกั้นที่ 1 อยู่ในตำแหน่งที่ปิดไปทางด้านขวา และสั่งการให้แผ่นกั้นที่ 2 อยู่ในตำแหน่งที่ปิดไปทางด้านซ้าย ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 การทำงานของแผ่นกั้นกรณีกลุ่ม B

## 3. ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายระบุว่าอยู่ในกลุ่ม C

หากผลการวิเคราะห์ระบุว่าวัตถุชิ้นนั้นอยู่ในกลุ่ม C ระบบควบคุมจะสั่งการให้แผ่นกั้นที่ 1 อยู่ในตำแหน่งที่ปิดไปทางด้านซ้าย และสั่งการให้แผ่นกั้นที่ 3 อยู่ในตำแหน่งที่ปิดไปทางด้านขวา ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 การทำงานของแผ่นกั้นกรณีกลุ่ม C

## 4. ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายระบุว่าอยู่ในกลุ่ม D

หากผลการวิเคราะห์ระบุว่าวัตถุชิ้นนั้นอยู่ในกลุ่ม D ระบบควบคุมจะสั่งการให้แผ่นกั้นที่ 1 และแผ่นกั้นที่ 3 อยู่ในตำแหน่งที่ปิดไปทางด้านซ้าย ดังรูปที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 การทำงานของแผ่นกั้นกรณีกลุ่ม D

#### 5.2.4 ส่วนการประมวลผล

ส่วนการประมวลผลภาพถ่าย ในส่วนนี้ใช้อุปกรณ์เครื่องคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลภาพถ่ายที่ได้รับจากการถ่ายภาพด้วยกล้อง Webcam แล้วนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่สามารถระบุขนาดของวัตถุได้ จากนั้นจึงส่งผลการวิเคราะห์ไปควบคุมสั่งการระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ต่อไป

ส่วนของการประมวลผลนี้เป็นส่วนสำคัญของอุปกรณ์ และเป็นส่วนที่จะกำหนดขีดความสามารถในการดำเนินงานของอุปกรณ์ว่าจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงกำลังการผลิตมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะแปรผันตามความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ หากอุปกรณ์ที่ใช้มีความสามารถในการประมวลผลสูงและรวดเร็ว การทำงานของอุปกรณ์คัดขนาดก็จะสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีกำลังการผลิตสูงเช่นกัน

#### 5.3 ต้นทุนสำหรับสร้างเครื่องคัดขนาดกุ้งขาวสดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย

รายการอุปกรณ์และราคาสำหรับสร้างเครื่องคัดขนาดกุ้งขาวแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ราคาชิ้นส่วนเครื่องจักร

Part	Part name	Count	Price/piece (THB)	Price (THB)
Feed conveyer	Belt	1	1,300	1,300
	Roller	2	1,400	2,800
	12V DC motor	1	250	250
	structure	1	127	1,029
	-Stainless 304 tube 50x25mm t 1.5mm L 8.1m			
Camera box	Web camera	1	3,990	3,990
	Opaque box	1	1,798	630
	-Stainless AISI 304 0.35 m <sup>2</sup> 3 mm			
	LED light 18W	1	265	265
	Sensor E3Z R61	1	340	340
Sorting part	Tray	1	1,798	450
	-Stainless AISI 304 0.25 m <sup>2</sup> 3 mm			
	Servo motor SG996R	3	200	600
Analysis and control system	Computer	1	19,990	19,990
	Arduino board (MEGA2560)	1	360	360
	Motor drive shield	1	100	100
	12V DC Power supply	1	250	250
	Structure	1	127	648
	--Stainless 304 tube 50x25mm t 1.5mm L 5.1m			
Summary		18		33,002

#### 5.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ทำการวิเคราะห์ต้นทุน-กำไรของอุตสาหกรรมกุ้งขาว เพื่อศึกษาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องคัดขนาดกุ้งขาวสด โดยกำหนดให้ศึกษาการคัดขนาดกุ้งขาวสด ขนาด 70 ตัวต่อกิโลกรัม มีราคารับซื้อหน้าฟาร์ม 150 บาทต่อกิโลกรัม และมีราคาขาย 170 บาทต่อกิโลกรัม (ข้อมูลราคาสัตว์น้ำ-ค้าปลีก ณ วันที่ 02 กรกฎาคม 2562 โดยกระทรวงพาณิชย์) [32] โดยเมื่อทำการคัดแล้วจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณกุ้งแบ่งเป็นขนาด 70 ตัวต่อกิโลกรัม 76% และขนาดอื่นๆอีก 24% โดยกุ้งขนาดอื่น ๆ มีราคาขาย 140 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 5.2 ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกุ้ง

Description	Amount	Note
Invesment cost	28,545	Baht
Fabrication cost	5	%
Lifetime	5	Year
Shrimp size	70	Shrimp/kg
Weight of shrimp	0.014	g/shrimp
Sales value		
Size 70 shrimp/kg	170	Baht/kg
Size below 70 shrimp/kg	140	Baht/kg
Running times	8	hr/Day
Working days	260	Days/Year
Capacity	1,200	Shrimp/hr
Scrap value	10	%
Energy consumption	0.96	kWh/Day
Operation cost		
Raw material	150	Baht/kg
Energy cost	4.4	Baht/kWh
Maintenance cost	5	%/Year

#### ต้นทุนคงที่

$$\text{ค่าลงทุน} = \frac{33,002 \text{ บาท}}{5 \text{ ปี} \times \frac{260 \text{ วัน}}{1 \text{ ปี}}} = 25.39 \text{ บาท/วัน}$$

$$\text{ค่าแรงสร้างเครื่องจักร} = \frac{5}{100} \times 33,002 \text{ บาท} = \frac{1,650.1 \frac{\text{บาท}}{\text{ปี}}}{5 \text{ ปี} \times \frac{260 \text{ วัน}}{1 \text{ ปี}}} = 1.27 \text{ บาท/วัน}$$

#### ต้นทุนแปรผัน

$$\text{ค่าวัตถุดิบ} = 1,200 \frac{\text{ตัว}}{\text{ชั่วโมง}} \times 8 \frac{\text{ชั่วโมง}}{\text{วัน}} \times 0.014 \frac{\text{kg}}{\text{ตัว}} \times 150 \frac{\text{บาท}}{\text{kg}} = 20,160 \text{ บาท/วัน}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 1.04 \frac{\text{kWh}}{\text{วัน}} \times 4.4 \frac{\text{บาท}}{\text{วัน}} = 4.55 \text{ บาท/วัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าบำรุงรักษา} = \frac{5}{100} \times 33,002 \text{ บาท} = \frac{1,650.1 \frac{\text{บาท}}{\text{ปี}}}{260 \frac{\text{วัน}}{\text{ปี}}} = 6.34 \text{ บาท/วัน}$$

### รายได้

$$\begin{aligned} \text{กึ่งขนาด 70 ตัวต่อกิโลกรัม} &= 1,200 \frac{\text{ตัว}}{\text{ชั่วโมง}} \times 8 \frac{\text{ชั่วโมง}}{\text{วัน}} \times 0.014 \frac{\text{kg}}{\text{ตัว}} \times 0.76 \times 170 \frac{\text{บาท}}{\text{kg}} \\ &= 17,364.48 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{กึ่งขนาดต่ำกว่า 70 ตัวต่อกิโลกรัม} &= 1,200 \frac{\text{ตัว}}{\text{ชั่วโมง}} \times 8 \frac{\text{ชั่วโมง}}{\text{วัน}} \times 0.014 \frac{\text{kg}}{\text{ตัว}} \times 0.24 \times 140 \frac{\text{บาท}}{\text{kg}} \\ &= 4,515.84 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

### กำไร

$$\begin{aligned} \text{กำไรสุทธิ} &= \text{รายได้} - \text{ต้นทุน} \\ &= (17,364.48 + 4,515.84) - (25.39 + 1.27 + 20,160 + 4.55 + 6.34) \\ &= 1,682.77 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

### ระยะเวลาคืนทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กำไรสุทธิ}} = \frac{33,002}{1,682.77} = 19.61 \text{ วัน}$$

ต่อมาได้ทำการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ว่าการลงทุนสร้างเครื่องสำหรับคัดขนาดกุ้งขาวนั้นควรลงทุนหรือไม่ เมื่อเปรียบเทียบกับการคัดกุ้งขาวแบบเดิม (ใช้แรงงานคน) จากข้อมูลที่ศึกษาพบว่า จะต้องลงทุนซื้อเครื่องจักรสำหรับคัดขนาดกุ้งขาวจำนวน 3 เครื่อง มีต้นทุนค่าเครื่องจักรเครื่องละ 33,002 บาท แต่ละเครื่องมีอายุการใช้งาน 5 ปี มีมูลค่าซาก 3,300 บาท และมีค่าใช้จ่ายประจำปี ประกอบด้วยค่าไฟฟ้า 1,183 บาท ค่าบำรุงรักษา 1,650 บาท กำหนดให้อัตราผลตอบแทนต่ำสุด 7% ต่อปี ในขณะที่การใช้แรงงานคนต้องเสียค่าใช้จ่ายต่อปีเป็นค่าแรงงาน 2 คน เท่ากับ 169,000 บาท

### แผนการซื้อเครื่องจักร

$$\begin{aligned} \text{ค่าเทียบเท่ารายปีของเครื่องจักร} &= 3 \times 33,002(A/P, 7\%, 5) \\ &= 3 \times 33,002(0.2439) \\ &= 24,147.56 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายรายปี} &= 3 \times (1,183 + 1,650) \\ &= 8,499 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รวมค่าใช้จ่ายรายปี} &= 24,147.56 + 8,499 \\ &= 32,646.56 \text{ บาท} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{มูลค่าซากรายปี} &= 3 \times 3,300(A/F, 7\%, 5) \\
 &= 3 \times 3,300(0.1739) \\
 &= 1,721.61 \text{ บาท} \\
 \text{รวมมูลค่าเทียบเท่ารายปี} &= \text{ค่าใช้จ่ายรายปี} - \text{มูลค่าซากรายปี} \\
 &= 32,646.56 - 1,721.61 \\
 &= 30,924.95 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

### แผนการใช้แรงงานคน

$$\text{ค่าแรงรายปี} = 169,000 \text{ บาท}$$

จากผลการคำนวณที่ได้พบว่าแผนการใช้เครื่องจักรสำหรับคัดขนาดกุ้งชาวนั้นมีค่าใช้จ่ายรายปีต่ำกว่าการใช้แรงงานคน จึงควรลงทุนในการซื้อเครื่องจักรสำหรับคัดขนาดกุ้งขาว และเมื่อวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องต้นแบบแล้วพบว่า เครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกุ้งขาวสดนั้นมีระยะเวลาคืนทุน 19.61 วัน โดยเครื่องต้นแบบนี้สามารถคัดขนาดกุ้งขาว 1 ตัว ภายในระยะเวลาโดยเฉลี่ย 3 วินาที หรือคิดเป็นกำลังการผลิต 1,200 ตัวต่อชั่วโมง ในขณะที่การใช้แรงงานคนสามารถคัดขนาดโดยใช้เวลาเฉลี่ย 2 วินาทีต่อตัว หรือเท่ากับ 1,800 ตัวต่อชั่วโมง ซึ่งหากเปรียบเทียบกับการคัดด้วยแรงงานคนแล้วจะต้องใช้เครื่องต้นแบบ 1.5 เครื่อง จึงจะสามารถมีกำลังการผลิตเทียบเท่ากัน แต่หากวิเคราะห์ที่ต้นทุนการผลิตแล้ว การใช้เครื่องต้นแบบทดแทนแรงงานคนนั้นมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าแรงงานคนค่อนข้างมาก โดยการใช้แรงงานคนเป็นเวลา 1 วัน (ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง) มีต้นทุนค่าแรงขั้นต่ำในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา 325 บาทต่อคน โดยหากใช้เครื่องจักรทดแทนแรงงานจะต้องใช้จำนวน 3 เครื่อง เพื่อทดแทนแรงงาน 2 คน จึงจะมีกำลังการผลิตที่เท่ากัน ในขณะที่เครื่องคัดขนาด 3 เครื่องมีต้นทุนเพียง 30,924.95 บาทต่อปี ซึ่งคิดเป็นต้นทุนเพียง 18.30 % ของต้นทุนจากแรงงานคน

### 5.5 ผลการทดสอบระบบคัดขนาดกุ้งขาวด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย

การทดสอบระบบการคัดขนาดกุ้งขาวสดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย ได้ทำการทดลองคัดเกรดกุ้งขาวสดจำนวน 395 ตัวอย่าง โดยมีการจำแนกกุ้งออกตามขนาดต่าง ๆ กัน 4 ขนาด ประกอบด้วยรหัสขนาด 15, 17, 19 และ 25 จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาความแม่นยำของการคัดด้วยสมการที่ 3.11 โดยใช้น้ำหนักจริงที่ได้จากการชั่งน้ำหนักกุ้งเป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบความแม่นยำของการคัด ซึ่งทำให้ได้ค่าความแม่นยำในการคัดตั้งข้อมูลในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ความแม่นยำของการตัดขนาดกุ้งขาว

	การตัดเกรดด้วยแรงงานคน				การตัดเกรดด้วยการวิเคราะห์ ภาพถ่ายโดยใช้ PA			
	รหัส	รหัส	รหัส	รหัส	รหัส	รหัส	รหัส	รหัส
	ขนาด	ขนาด	ขนาด	ขนาด	ขนาด	ขนาด	ขนาด	ขนาด
	15	17	19	25	15	17	19	25
<b>ความแม่นยำ</b>								
<b>ของการตัดเกรด</b>	69.00	67.00	76.00	43.00	69.00	82.00	77.00	73.68
<b>(%)</b>								

จากข้อมูลในตารางที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการทดลองตัดเกรดกุ้งขาวสดออกตามขนาดต่าง ๆ โดยสังเกตเพียงความแม่นยำที่สามารถตัดเกรดได้ถูกหรือผิด พบว่าการตัดด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายมีความแม่นยำมากกว่าการตัดเกรดด้วยแรงงานคนในทุกขนาดที่ทำการตัดเกรด โดยความแม่นยำในการตัดเกรดด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายสูงที่สุดที่ความแม่นยำ 82.00% สำหรับการตัดเกรดในรหัสขนาด 17 และ 77.00%, 73.68% และ 69.00% สำหรับการตัดเกรดในรหัสขนาด 19 25 และ 15 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังทำการทดสอบระบบคัดขนาดกุ้งขาวสดโดยทำการจับเวลา 1 นาที พบว่าสามารถทำการคัดขนาดกุ้งขาวได้มากที่สุดจำนวน 20 ตัว หมายความว่า การคัดขนาดกุ้งขาวนั้นใช้เวลาโดยเฉลี่ย 3 วินาทีต่อ 1 ตัว หรือคิดเป็นกำลังการผลิต 1,200 ตัวต่อชั่วโมง ในขณะที่การคัดด้วยแรงงานคนใช้เวลาโดยประมาณ 2 วินาทีต่อกุ้ง 1 ตัว หรือคิดเป็น 1,800 ตัวต่อชั่วโมง

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาวิจัยสามารถสรุปได้ว่า การคัดขนาดกุ้งขาวในปัจจุบันมีการอาศัยทั้งเครื่องจักรในการผลิตภาคอุตสาหกรรม และในขณะเดียวกันยังคงใช้แรงงานคนในการคัดขนาดกุ้งขาวสำหรับธุรกิจขนาดเล็ก ซึ่งพบปัญหาหลักในด้านการควบคุมคุณภาพที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด สืบเกิดได้จากผลการเก็บข้อมูลซึ่งพบการกระจายของข้อมูลน้ำหนักกุ้งสูงสุดเท่ากับ  $16.43 \pm 3.32$  กรัม ซึ่งมีค่าการกระจายตัวเกินกว่ามาตรฐานกำหนดที่ไม่เกิน 10%

เมื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของกุ้งขาวสดทั้ง 5 ตัวแปร ประกอบด้วยพื้นที่ภาพฉาย ค่าสี R G B และค่าความยาวรอบรูปกุ้ง เพื่อหาความสัมพันธ์กับขนาดของกุ้งขาวพบว่าค่าพื้นที่ภาพฉาย และค่าความยาวรอบรูปกุ้ง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีความสหสัมพันธ์ ( $r$ ) เฉลี่ย 0.932 สำหรับความสัมพันธ์กับพื้นที่ภาพฉาย และ 0.776 สำหรับค่าความยาวรอบรูปกุ้ง ในขณะที่ความสัมพันธ์กับค่าสี R G B ไม่พบความสัมพันธ์ทางสถิติกับน้ำหนักกุ้งขาว และเมื่อทำการทำนายความสัมพันธ์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) ระหว่างตัวแปรพื้นที่ภาพฉายและความยาวรอบรูปกุ้ง กับน้ำหนักจริงของกุ้ง พบความสัมพันธ์ที่มีค่า  $R^2$  สูงที่สุดเท่ากับ 0.864 สำหรับความสัมพันธ์จากตัวแปรพื้นที่ภาพฉาย โดยใช้สมการแบบยกกำลังในการอธิบายความสัมพันธ์ ซึ่งทำให้ได้สมการทำนายน้ำหนักกุ้งขาวดังสมการ  $y = 0.303x^{1.305}$  เมื่อ  $y$  คือน้ำหนักกุ้งขาวที่ทำนายได้ และ  $x$  คือพื้นที่ภาพฉายของกุ้ง และเมื่อทดลองหาความคลาดเคลื่อนจากการทำนายน้ำหนักกุ้งขาวด้วยสมการทำนายน้ำหนักกุ้งขาวพบที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6.74 % ซึ่งพบว่าการทำนายน้ำหนักกุ้งสำหรับรหัสขนาด 25 (100 – 104 ตัวต่อกิโลกรัม) มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากับ 6.11 % และมีค่าสูงที่สุดสำหรับรหัสขนาด 15 (50 – 54 ตัวต่อกิโลกรัม) ที่ความคลาดเคลื่อน 7.48 %

ในส่วนของการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการคัดขนาดกุ้งขาวสดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายนั้นพบว่าต้นทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบที่ราคา 33,002 บาท และเมื่อทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบพบว่าสามารถคัดขนาดกุ้งขาวได้โดยมีความแม่นยำเฉลี่ย 75.42 % ซึ่งมีความแม่นยำมากกว่าการคัดขนาดด้วยแรงงานคนที่มีความแม่นยำเพียง 63.75 % และการใช้เครื่องจักรคัดขนาดกุ้งขาวมีค่าใช้จ่ายเพียง 18.30 % ของค่าใช้จ่ายจากการใช้แรงงานคน

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

หากเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับผลงานวิจัยก่อนหน้าโดย Poonnoy และ Chum-in จะเห็นได้ว่ายังพบปัญหาที่เห็นได้ชัดในเรื่องระยะเวลาที่ใช้ ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้มีระยะเวลาโดยเฉลี่ยสำหรับตัดกิ่งแต่ละตัวมากกว่างานวิจัยก่อนหน้า ทั้งนี้เป็นผลมาจาก 3 ปัจจัยหลัก คือ 1) ลักษณะตัวอย่างที่ใช้มีความแตกต่างกัน โดยงานวิจัยก่อนหน้าทำการศึกษากิ่งขาที่ผ่านการแปรรูปให้อยู่ในลักษณะกิ่งซุชิหรือรูปแบบฝีเสื่อ 2) อุปกรณ์หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับประมวลผลมีส่วนประกอบและความสามารถที่ไม่เท่ากัน 3) ระยะเวลาที่ระบุในงานวิจัยก่อนหน้าเป็นเพียงระยะเวลาที่ใช้ประมวลผลภาพถ่ายเท่านั้น ในขณะที่งานวิจัยครั้งนี้มีการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกิ่ง ระยะเวลาที่ใช้โดยเฉลี่ยต่อกิ่ง 1 ตัว จึงเป็นระยะเวลาตั้งแต่เริ่มป้อนวัตถุดิบ ผ่านชุดลำเรียง ไปจนจบกระบวนการคัดแยก อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและใช้ระยษะเวลาน้อยลงได้โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มากขึ้นพร้อมกับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการหลายตัวแปร หรือ Multiple Regression จะสามารถนำไปสู่ผลการวิเคราะห์และการทำนายน้ำหนักกิ่งขาที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถทำการคัดขนาดกิ่งขาสดได้อย่างถูกต้องมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้คอมพิวเตอร์ในงานจำเป็นต้องมีสมรรถนะสูงขึ้นเพื่อลดปัญหาระยะเวลาของการประมวลผลให้เร็วขึ้นด้วย และในขณะเดียวกัน การปรับปรุงซอฟต์แวร์หรือชุดคำสั่งในการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพถ่ายให้มีความสามารถมากขึ้น สามารถลดตัวแปรรบกวนต่าง ๆ ได้ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในด้านความแม่นยำของการคัดขนาดมากขึ้นเช่นกัน รวมถึงการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ เช่น การติดตั้งมอเตอร์ที่บริเวณปลายทางด้านขวาของสายพานให้อยู่ในลักษณะการขับเคลื่อนด้วยการดึงสายพาน (เดิมขับเคลื่อนในลักษณะดันสายพาน) รวมไปถึงการพัฒนาเพิ่มอุปกรณ์ลำเรียงกิ่งก่อนเข้าสายพาน จะส่งผลโดยตรงถึงความสามารถในการคัดขนาดกิ่งขาได้อย่างรวดเร็วและเป็นระบบมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ฝ่ายบริการวิชาการอาหารสัตว์. "คู่มือการเลี้ยงกุ้งขาว." บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน). สมุทรปราการ. 2557.
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. "กุ้งทะเลเพาะเลี้ยง." กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. [Online]. Available: <http://www.oae.go.th/download/prcai/fishing/shrimp.pdf>. 2559.
- [3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. "สถิติการส่งออก (Export) กุ้งขาว." กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. [Online]. Available: [http://www.oae.go.th/oae\\_report/export\\_import/export\\_result.php](http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php). 2560.
- [4] Luzuriaga, D. A., Balaban, M. O. and Yeralan, S. "Analysis of Visual Quality Attributes of White Shrimp by Machine Vision." **JOURNAL OF FOOD SCIENCE**. 1997. pp. 113-130.
- [5] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. "มาตรฐานสินค้าเกษตร." กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กุ้งทะเล. 2557.
- [6] Beyerer, J., León, F. P. and Frese, C. **Machine Vision**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2016.
- [7] Arakeri, M. P. and Lakshmana. "Computer Vision Based Fruit Grading System for Quality Evaluation of Tomato in Agriculture industry." **Procedia Computer Science**. 2016. pp. 426-433.
- [8] Baigvand, M., Banakar, A., Minaei, S., Khodaei, J. and Khazaei, N. B. "Machine vision system for grading of dried figs." **Computers and Electronics in Agriculture**. 2015. pp. 158-165.
- [9] ElMasry, G. M. and Nakauchi, S. "Image analysis operations applied to hyperspectral images for non-invasive sensing of food quality – A comprehensive review." **Biosystems Engineering**. 2016. pp. 53-82.
- [10] Omid, M., Soltani, M., Dehrouyeh, M. H., Mohtasebi, S. S. and Ahmadi, H. "An expert egg grading system based on machine vision and artificial intelligence techniques." **Journal of Food Engineering**. 2013. pp. 70-77.
- [11] Vithu, P., Tech., M., Moses, J. A., Tech., M. and D., P. "Machine vision system for food grain quality evaluation: A review." **Trends in Food Science & Technology**. 2016. pp. 13-20.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Manickavasagan, A., Al-Mezeini, N. K. and Al-Shekaili, H. N. "RGB color imaging technique for grading of dates." **Scientia Horticulturae**. 2014. pp. 87–94.
- [13] Unay, D., Gosselin, B., Kleyne, O., Leemans, V., Destain, M. F. and Debeir, O. "Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision." **Computers and Electronics in Agriculture**. 2011. pp. 204–212.
- [14] Wu, D. and Sun, D. W. "Colour measurements by computer vision for food quality control e A review." **Trends in Food Science & Technology**. 2013. pp. 5-20.
- [15] Lee, D. J., Schoenberger, R., Archibald, J. and McCollum, S. "Development of a machine vision system for automatic date grading using digital reflective near-infrared imaging." **Journal of Food Engineering**. 2008. pp. 388–398.
- [16] กัลชญา เพชรล้ำ, "ข้อมูลการส่งออกกุ้งสด แช่เย็น แช่แข็ง และแปรรูป (ไม่รวมกุ้งกระป๋อง)." กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. สำนักงานส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม. 2562.
- [17] Kanduri, L. and Eckhardt, R. A. **Food Safety in Shrimp Processing**. Wiley-Blackwell. 2002.
- [18] Brennan, J. G. and Grandison, A. S. **Food Processing Handbook**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2012.
- [19] Hong, H., Yang, X., You, Z., and Cheng, F. "Visual quality detection of aquatic products using machine vision." **Aquacultural Engineering**. vol. 63. 2014. pp. 67-71.
- [20] Jaffery, Z. A. and Dubey, A. K. "Scope and Prospects of Non-Invasive Visual Inspection Systems for Industrial Applications." **Indian Journal of Science and Technology**. vol. 9. 2016.
- [21] **The Lighting Handbook**. 6th ed. Dornbirn: Zumtobel Lighting GmbH. 2018.
- [22] **ASTM International**. "Standard Guide for Selection of Geometric Conditions for Measurement of Reflection and Transmission Properties of Materials." ASTM E179-96. West Conshohocken. 2017.
- [23] อนุชา หิรัญวัฒน์, นฤพนธ์ พนากุลชัยวิทย์ และ สมชัย ตริรัตน์จารุ. **การควบคุมอัตโนมัติและการประยุกต์ใช้งานพีแอลซี (ขั้นกลาง)**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นครบุรี: ธนินซ์. 2551.
- [24] วโรตม ตูจันดา. **ระบบควบคุมฝังตัว Embedded Control Systems**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2559.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] Zhang, D., Lillywhite, K. D., Lee, D.-J. and Tippetts, B. J. "Automatic shrimp shape grading using evolution constructed features." **Computers and Electronics in Agriculture**. 2014. pp. 116-122.
- [26] Lee, D.-J., Xiong, G., Lane, R. M. and Zhang, D. "An Efficient Shape Analysis Method for Shrimp." in **Control Automation Robotics & Vision (ICARCV)**, Guangzhou. 2012. pp. 865-870.
- [27] Mizushima, A. and Lu, R. "An image segmentation method for apple sorting and grading using support vector machine and Otsu's method." **Computers and Electronics in Agriculture**. 2013. pp. 29-37.
- [28] Jarimopas, B. and Jaisin, N. "An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind." **Journal of Food Engineering**. vol. 89. 2008. pp. 291-297.
- [29] Hosseinpour, S., Rafiee, S., Mohtasebi, S. S. and Aghbashlo, M. "Application of computer vision technique for on-line monitoring of shrimp color changes during drying." **Journal of Food Engineering**. 2013. pp. 99-114.
- [30] Varnamkhasti, M. G., Goli, R., Forina, M., Mohtasebi, S. S., Shafiee, S. and Boldaji, M. N. "Application of Image Analysis Combined with Computational Expert Approaches for Shrimp Freshness Evaluation." **International Journal of Food Properties**. vol. 19. 2016. pp. 2202-2222.
- [31] Poonnoy, P. and Chum-in, T. "Estimation of Sushi Shrimp Weight Using Image Analysis Technique and Non-linear Regression Models." **International conference of agricultural engineering (CIGR-AgEng)**. 2012. pp. 48-53.
- [32] กรมการค้าภายใน. "รายงานราคาขายปลีก/ส่งสินค้าเกษตร ประจำวัน." กระทรวงพาณิชย์. [Online]. Available: <https://www.dit.go.th/Content.aspx?m=19&c=104>.



## ภาคผนวก ก

มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง กุ้งทะเล (มกษ. 7019 - 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## มาตรฐานสินค้าเกษตร

มกษ. 7019-2556

THAI AGRICULTURAL STANDARD

TAS 7019-2013

กุ้งทะเล

MARINE SHRIMP

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ  
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ICS 65.020.30

ISBN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## มาตรฐานสินค้าเกษตร

มกษ. 7019 - 2556

THAI AGRICULTURAL STANDARD

TAS 7019-2013

กุ้งทะเล

MARINE SHRIMP

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

50 ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0 2561 2277 โทรสาร 0 2561 3373

[www.acfs.go.th](http://www.acfs.go.th)

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 131 ตอนพิเศษ 32 ง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2557  
ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2)

**คณะกรรมการวิชาการพิจารณามาตรฐานสินค้าเกษตร  
เรื่อง กุ้งทะเลและผลิตภัณฑ์**

1. นายประดิษฐ์ ชนชื่นชอบ กรมประมง	ประธานกรรมการ
2. นางสาวราทิพย์ สมบุญญฤทธิ กองพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง	กรรมการ
3. นางอุษา บำรุงพีช สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ	กรรมการ
4. นางกฤษณา สุขุมพานิช กองตรวจสอบรับรองมาตรฐานคุณภาพสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ กรมประมง	กรรมการ
5. นางสาวจีรวรรณ มณีโรจน์ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
6. รองศาสตราจารย์วรมวิบูลย์ กาญจนกฤษ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	กรรมการ
7. นายธิตวิวัฒน์ ลีภัยสมบูรณ์ สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย	กรรมการ
8. นางจินดา จงกมานนท์ กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	กรรมการ
9. นายมติ นิตินพล สมาคมกุ้งไทย	กรรมการ
10. นายธรรศ ทังสมบัติ สมาคมผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูป	กรรมการ
11. นายรุ่งโรจน์ รุ่งโรจน์สาคร สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย	กรรมการ
12. รองศาสตราจารย์ประเสริฐ สายสิทธิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ	กรรมการ
13. รองศาสตราจารย์มยุรี จัยวัฒน์ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ	กรรมการ
14. นางสาวศนิดา คุณพานิช สำนักกำหนดมาตรฐาน สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ	กรรมการและเลขานุการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3)

กุ้งทะเลเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญและสามารถนํารายได้เข้าประเทศในระดับสูง อย่างไรก็ตาม มีประเทศ ที่เป็นคู่แข่งอยู่หลายประเทศ ซึ่งสามารถผลิตกุ้งได้ในปริมาณสูงและต้นทุนต่ำ ประเทศไทย จึงต้องมีการพัฒนาคุณภาพและความปลอดภัยของสินค้าให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและสามารถ แข่งขันได้ในการค้าระหว่างประเทศ คณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตร จึงเห็นสมควรจัดทำ มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง กุ้งทะเล

มาตรฐานสินค้าเกษตรนี้ กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

มกษ. 7019-2550. มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง กุ้งกุลาดำ. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร แห่งชาติ. 2550. 7 หน้า.

มกษ. 7020-2550. มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง กุ้งขาวแวนนาไม. สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและ อาหารแห่งชาติ. 2550. 7 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์  
เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : กุ้งทะเล  
ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. ๒๕๕๑

ด้วยคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตร ได้มีมติในการประชุมครั้งที่ ๔/๒๕๕๖ เมื่อวันที่ ๒๘ สิงหาคม ๒๕๕๖ เห็นสมควรกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง กุ้งทะเล เป็นมาตรฐานทั่วไป ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. ๒๕๕๑ เพื่อส่งเสริมสินค้าเกษตรให้ได้คุณภาพ มาตรฐาน และปลอดภัย

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕ มาตรา ๑๕ และมาตรา ๑๖ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. ๒๕๕๑ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์จึงออกประกาศ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : กุ้งทะเล ดังนี้

๑. ให้ยกเลิกประกาศคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : กุ้งกุลาดำ พ.ศ. ๒๕๕๐ ลงวันที่ ๒๐ กันยายน ๒๕๕๐
๒. ให้ยกเลิกประกาศคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : กุ้งขาวแวนนาไม พ.ศ. ๒๕๕๐ ลงวันที่ ๒๐ กันยายน ๒๕๕๐
๓. กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : กุ้งทะเล มาตรฐานเลขที่ มกษ. 7019-2556 ไว้เป็นมาตรฐานทั่วไป ดังมีรายละเอียดแนบท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ ๑๖ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๖



(นายยุคล ลิ้มแหลมทอง)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

# มาตรฐานสินค้าเกษตร

## กุ้งทะเล

### 1. ขอบข่าย

มาตรฐานสินค้าเกษตรนี้ ใช้กับกุ้งทะเล (marine shrimp) ในวงศ์ Penaeidae ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ได้จากการเพาะเลี้ยงหรือจับจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อนำมาจำหน่ายในลักษณะกุ้งทะเลมีชีวิตหรือกุ้งทะเลสดทั้งตัวในสภาพเย็น

### 2. นิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานสินค้าเกษตรนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 กุ้งทะเล (marine shrimp) หมายถึง กุ้งทะเลซึ่งเกิดและมีชีวิตตามธรรมชาติในน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลที่อยู่ในวงศ์ Penaeidae เช่น กุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) กุ้งแชบ๊วย (*Fenneropenaeus merguensis*) กุ้งขาวแวนนาไม (*Litopenaeus vannamei*) กุ้งตะกาด (*Metapenaeus affinis*)

2.2 กุ้งทะเลมีชีวิต (live shrimp) หมายถึง กุ้งทะเลที่จับและจำหน่ายในขณะที่มีชีวิต

2.3 กุ้งทะเลสด (fresh shrimp) หมายถึง กุ้งทะเลที่จับในขณะที่มีชีวิตและจำหน่ายในขณะที่ไม่มีชีวิต โดยเนื้อกุ้งทะเลยังคงคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างอย่างชัดเจนจากกุ้งทะเลมีชีวิต และมีวิธีการดูแลรักษาความสดให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด

2.4 รุ่น (lot) หมายถึง รุ่นสินค้าของกุ้งทะเลที่เป็นผลิตผลจากแหล่งเดียวกัน บ่อเลี้ยงเดียวกัน หรือจากฟาร์มเดียวกันที่มีการจัดการแบบเดียวกันทุกบ่อเลี้ยง ที่จับหรือส่งมอบในคราวเดียวกัน

2.5 สารปนเปื้อน (contaminant) หมายถึง สารที่ปนเปื้อนในกุ้งทะเลซึ่งเกิดจากแหล่งจับ ปัจจัยการผลิต กรรมวิธีการผลิต สถานที่ผลิต การขนส่งหรือการเก็บรักษา

2.6 สิ่งแปลกปลอม (foreign matter) หมายถึง วัตถุอื่น ๆ ซึ่งไม่ใช่ชิ้นส่วนของกุ้งทะเล เช่น เศษตะไคร่น้ำ ดิน ทราาย กรวด โคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. คุณภาพ

กู่ทะเลตามข้อ 2.2 หรือ 2.3 เป็นไปตามข้อกำหนดทางกายภาพและประสาทสัมผัส ดังต่อไปนี้

3.1 มีรูปร่างปกติและมีอวัยวะครบ (ยกเว้นหนวดกู่ทะเล) มีสีตามธรรมชาติของกู่ทะเลแต่ละชนิด ส่วนหัวติดแน่นกับส่วนลำตัว เปลือกแข็ง เป็นเงามันตามธรรมชาติ เนื้อติดแน่นกับเปลือก เนื้อแน่น ค่อนข้างใสและไม่ขุ่นขาว

3.2 สะอาด

3.3 ไม่มีตำหนิที่เห็นได้ชัดเจน เช่น แผลตามลำตัว ความพิการ

3.4 ปราศจากปรสิตหรือร่องรอยที่เกิดจากการติดเชื้อหรือเป็นโรคเมื่อตรวจสอบด้วยสายตา

3.5 ไม่มีสิ่งแปลกปลอม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อบกพร่องจากการปฏิบัติที่ไม่ถูกสุขลักษณะ

3.6 ปราศจากกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นโคลน กลิ่นน้ำมัน

3.7 ไม่เป็นกู่ทะเลที่เพิ่งผ่านการลอกคราบ เช่น กู่เปลือกนิ่ม

การประเมินคุณภาพต้องประเมินโดยบุคคลที่ผ่านการฝึกฝนมาโดยเฉพาะ โดยขั้นตอนการตรวจสอบทางประสาทสัมผัสเป็นไปตาม มกษ. 9026 มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง แนวทางการประเมินคุณภาพสัตว์น้ำด้วยประสาทสัมผัสในห้องปฏิบัติการ

### 4. ขนาด

การกำหนดขนาดให้เป็นไปตามการตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย โดยอาจกำหนดเป็นน้ำหนักต่อตัวหรือจำนวนตัวต่อน้ำหนัก

### 5. การบรรจุ

5.1 ภาชนะบรรจุ

5.1.1 ภาชนะบรรจุต้องทำจากวัสดุที่ไม่ดูดซับน้ำ ทนทานต่อการขนส่ง ปราศจากกลิ่นและสิ่งแปลกปลอม

5.1.2 ภาชนะบรรจุต้องสะอาด ถูกสุขลักษณะ สามารถป้องกันการปนเปื้อน และรักษาคุณภาพของกู่ทะเล

5.1.3 วัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ร่วมในการบรรจุกู่ทะเลต้องสะอาด และป้องกันความเสียหายที่จะมีผลต่อกู่ทะเล

5.1.4 ภาชนะบรรจุต้องเหมาะสมกับปริมาณการบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ลักษณะการบรรจุ

5.2.1 กรณีบรรจุกึ่งทะเลมีชีวิต หากใช้น้ำ ต้องใช้น้ำที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของกึ่งทะเล และมีอุปกรณ์ที่จำเป็น เช่น เครื่องให้อากาศ เครื่องกรองน้ำ

5.2.2 กรณีบรรจุกึ่งทะเลสด หากใช้น้ำแข็ง น้ำแข็งต้องผลิตจากน้ำที่ไม่เพิ่มการปนเปื้อนแก่กึ่งทะเล และปริมาณที่ใช้ต้องเพียงพอเพื่อรักษาอุณหภูมิกึ่งทะเลไม่ให้สูงกว่า 4 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )

## 5.3 ความสม่ำเสมอ

กึ่งทะเลที่บรรจุในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องมีความสม่ำเสมอทั้งในเรื่องคุณภาพตามข้อ 3 ขนาดตามข้อ 4 และยอมให้มีสัดส่วนของกึ่งทะเลที่อยู่ในช่วงขนาดต่ำถัดจากรหัสขนาดที่ระบุได้ไม่เกิน 10% โดยน้ำหนัก

## 6. ฉลากและเครื่องหมาย

### 6.1 ผลผลิตที่จำหน่ายโดยตรงต่อผู้บริโภค

ให้แสดงฉลากตามข้อกำหนดของกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยข้อความต้องชัดเจน และอ่านได้ง่าย ไม่เป็นเท็จ หรือหลอกลวง ฉลากไม่หลุดลอก และอย่างน้อยต้องมีข้อความ ดังต่อไปนี้

#### 6.1.1 ชื่อสินค้าให้มีข้อความว่า “กึ่ง” และตามด้วยชื่อสามัญ เช่น กึ่งกุลาดำ กึ่งชาวแวนนาไม กึ่งแซบวัย

กรณีเป็นกึ่งทะเลที่มาจากฟาร์มที่ได้รับการรับรองตาม มกษ. 7424 มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง การปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีสำหรับฟาร์มเลี้ยงกึ่งทะเลระบบชีวภาพ ให้ระบุคำว่า “ชีวภาพ” ต่อท้ายชื่อกึ่งทะเล เช่น กึ่งชาวแวนนาไมชีวภาพ

#### 6.1.2 รหัสขนาด ขนาดเป็นน้ำหนักต่อตัว หรือจำนวนตัวต่อน้ำหนัก

#### 6.1.3 น้ำหนักสุทธิเป็นหน่วยในระบบเมตริก

6.1.4 ถ้ามีการใช้วัตถุเจือปนอาหารหรือสารเติมแต่งเพื่อรักษาคุณภาพของกึ่งทะเล ให้ระบุ ชื่อ ประเภท พร้อมด้วยชื่อเฉพาะหรือหมายเลขของวัตถุเจือปนอาหารตามที่กำหนดใน CAC/GL 36-1989 Codex Class Names and the International Numbering System for Food Additives และเป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

#### 6.1.5 ข้อมูลผู้ผลิตและ/หรือผู้จำหน่าย

ให้ระบุชื่อและที่ตั้งของผู้ผลิต และระบุผู้นำเข้า ผู้ส่งออก ผู้แบ่งบรรจุ หรือผู้จัดจำหน่าย แล้วแต่กรณี

#### 6.1.6 ข้อมูลแหล่งผลิต

ให้ระบุประเทศผู้ผลิต ยกเว้นกรณีที่ผลิตเพื่อจำหน่ายในประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## มกษ. 7019-2556

4

### 6.1.7 รุ่นของสินค้า

ให้ระบุรุ่นของสินค้า เช่น รหัสรุ่นสินค้า หรือวันที่จับ หรือวันที่ผลิต หรือวันที่แบ่งบรรจุ

### 6.1.8 วัน เดือน ปี ที่ผลิต และ/หรือ ข้อความ “ควรบริโภคก่อน วัน เดือน ปี”

6.1.9 คำแนะนำในการบริโภคหรือการเก็บรักษา ให้ระบุสภาพการเก็บรักษา และ/หรืออุณหภูมิที่รักษาถุงทะเลให้ปลอดภัยต่อการบริโภค และยังคงลักษณะความสดระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา และการกระจายสินค้า

### 6.1.10 ภาษา

กรณีที่เกิดเพื่อจำหน่ายภายในประเทศต้องใช้ข้อความเป็นภาษาไทย กรณีที่มีภาษาอื่นร่วมด้วยจะต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น กรณีที่เกิดเพื่อการส่งออกให้เป็นไปตามข้อตกลงของประเทศคู่ค้า

## 6.2 ผลผลิตที่ไม่ได้จำหน่ายโดยตรงต่อผู้บริโภค

ให้แสดงฉลากตามข้อกำหนดของกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยข้อความต้องชัดเจน และอ่านได้ง่าย ไม่เป็นเท็จหรือหลอกลวง ฉลากไม่หลุดลอก และอย่างน้อยต้องมีข้อความ ดังต่อไปนี้

### 6.2.1 ชื่อสินค้าให้มีข้อความว่า “กุ้ง” และตามด้วยชื่อสามัญ เช่น กุ้งกุลาดำ กุ้งขาวแวนนาไม กุ้งแชบ๊วย

กรณีเป็นกุ้งทะเลที่มาจากฟาร์มที่ได้รับการรับรองตาม มกษ. 7424 มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง การปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่สำหรับฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเลระบบชีวภาพ ให้ระบุคำว่า “ชีวภาพ” ต่อท้ายชื่อกุ้งทะเล เช่น กุ้งขาวแวนนาไมชีวภาพ

### 6.2.2 รหัสขนาด ขนาดเป็นน้ำหนักต่อตัว หรือจำนวนตัวต่อน้ำหนัก

### 6.2.3 น้ำหนักสุทธิเป็นหน่วยในระบบเมตริก

6.2.4 ถ้ามีการใช้วัตถุเจือปนอาหารหรือสารเติมแต่งเพื่อรักษาคุณภาพของกุ้งทะเล ให้ระบุชื่อประเภทพร้อมด้วยชื่อเฉพาะหรือหมายเลขของวัตถุเจือปนอาหารตามที่กำหนดใน CAC/GL 36-1989 Codex Class Names and the International Numbering System for Food Additives และเป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

### 6.2.5 ชื่อและที่ตั้งของสถานที่ผลิต

ให้ระบุชื่อและที่ตั้งของสถานที่ผลิต ที่แบ่งบรรจุ หรือที่จัดจำหน่าย หมายเลขรหัสสินค้า (ถ้ามี) ทั้งนี้ อาจแสดงชื่อและที่ตั้งสำนักงานใหญ่ของผู้ผลิต หรือที่แบ่งบรรจุก็ได้ กรณีที่เป็นกุ้งทะเลนำเข้าให้ระบุชื่อ ที่ตั้งของผู้นำเข้า และประเทศผู้ผลิต

### 6.2.6 รุ่นของสินค้า

ให้ระบุรุ่นของสินค้า เช่น รหัสรุ่นสินค้า หรือวันที่จับ หรือวันที่ผลิต หรือวันที่แบ่งบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.2.7 ภาษา

กรณีที่เกิดเพื่อจำหน่ายภายในประเทศต้องใช้ข้อความเป็นภาษาไทย กรณีที่มีภาษาอื่นร่วมด้วย จะต้องมีข้อความตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น กรณีที่เกิดเพื่อการส่งออกให้เป็นไปตาม ข้อตกลงของประเทศคู่ค้า

### 6.3 เครื่องหมายรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตร

ให้เป็นไปตามกฎกระทรวง เรื่อง กำหนดลักษณะของเครื่องหมาย การใช้เครื่องหมาย และการแสดง เครื่องหมายรับรองมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2553 และประกาศสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตร และอาหารแห่งชาติที่เกี่ยวข้อง

## 7. แหล่งที่มา

### 7.1 กุ้งทะเลที่จับจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

กุ้งทะเลที่บรรจุในภาชนะบรรจุเดียวกัน ต้องเป็นผลิตผลที่มาจากกุ้งเดียวกัน ให้ระบุแหล่งจับ หรือแหล่งที่มา หรือทั้งสองอย่างโดยแสดงที่ฉลากหรือเอกสารกำกับสินค้า หรือมีใบรับรองการจับสัตว์น้ำ

### 7.2 กุ้งทะเลที่ได้จากการเพาะเลี้ยง

กุ้งทะเลที่บรรจุในภาชนะบรรจุเดียวกัน ต้องเป็นผลิตผลที่มาจากกุ้งเดียวกัน และต้องสามารถระบุ ชื่อฟาร์มและที่ตั้งฟาร์ม หรือบ่อเลี้ยง หรือทั้งสองอย่าง โดยแสดงที่ฉลากหรือเอกสารกำกับสินค้า หรือมีหนังสือเกี่ยวกับการจำหน่ายสัตว์น้ำ (Movement Document; MD)

## 8. วัตถุประสงค์ปนอาหาร

ถ้ามีการใช้วัตถุประสงค์ปนอาหาร (สารเติมแต่ง) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

## 9. สารปนเปื้อน

ชนิดและปริมาณสารปนเปื้อน ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

## 10. ยาสัตว์ตกค้าง

ชนิดและปริมาณยาสัตว์ตกค้าง ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง และมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง ยาสัตว์ตกค้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 11. สุขลักษณะ

11.1 กุ้งทะเลที่ได้จากการเพาะเลี้ยง ต้องมาจากฟาร์มที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน มกษ. 7401 มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง การปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีสำหรับฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเล หรือได้รับการรับรองตามมาตรฐานการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดี (Good Aquaculture Practices; GAP) หรือ ซีไอซี (Codes of Conduct; CoC) หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

กรณีที่ระบุว่าเป็นกุ้งทะเลชีวภาพ ต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐาน มกษ. 7424 มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง การปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีสำหรับฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเลระบบชีวภาพ

11.2 การปฏิบัติด้านสุขลักษณะให้เป็นไปตาม มกษ. 7410 มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง หลักปฏิบัติสำหรับสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ เล่ม 1: ข้อกำหนดทั่วไป และ มกษ. 7430 มาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง การปฏิบัติที่ดีในการดูแลรักษาหลังการจับสัตว์น้ำ เพื่อป้องกันการเสื่อมคุณภาพของกุ้งทะเล และป้องกันการปนเปื้อนที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

11.3 ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในกุ้งทะเลให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

## 12. วิธีวิเคราะห์และชักตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์ และชักตัวอย่างในกุ้งทะเลให้เป็นไปตามข้อกำหนดในกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

## ภาคผนวก ก

### ตัวอย่างการแบ่งขนาดของกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม

ชายปลีก		ชายส่ง	
รหัสขนาด	จำนวน(ตัว/กิโลกรัม)	รหัสขนาด	จำนวน(ตัว/กิโลกรัม)
0	<10	0	<10
1	10-11	1	10-19
2	12-13	2	20-29
3	14-15	3	30-39
4	16-17	4	40-49
5	18-19	5	50-59
6	20-21	6	60-69
7	22-24	7	70-79
8	25-27	8	80-89
9	28-30	9	90-99
10	31-33	10	> 100
11	34-36		
12	37-39		
13	40-44		
14	45-49		
15	50-54		
16	55-59		
17	60-64		
18	65-69		
19	70-74		
20	75-79		
21	80-84		
22	85-89		
23	90-94		
24	95-99		
25	>100		

หมายเหตุ ตัวอย่างการแบ่งขนาดของกุ้งกุลาดำและกุ้งขาวแวนนาไม ได้มาจากการคำนวณค่าเฉลี่ยขนาดที่มีการใช้ในการค้า ซึ่งคู่ค้าอาจมีการให้รหัสขนาดทางการค้าที่แตกต่างกัน ขึ้นกับความต้องการของคู่ค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### ภาพแสดงตัวอย่างกุ้งทะเล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1) Code วิเคราะห์ภาพถ่ายในขั้นตอนการเก็บข้อมูล

```

1 clc;
2 clear all;
3 close all;
4 array = 1;
5 for loop=1:100;
6 close all;
7 fprintf('Start Analysis Shrimp\n');
8 %Size 1 70pkg 1-100
9 %x1 = imread(['E:\EDUCATIONS\Master degree\Master Thesis\Image
analysis\Image\Matlab\Image Aquisition\Experiment\Size 1 - 70\Picture ' num2str(loop) '.jpg']);
10 %Size 2 62pkg 101-200
11 %x1 = imread(['E:\EDUCATIONS\Master degree\Master Thesis\Image
analysis\Image\Matlab\Image Aquisition\Experiment\Size 2 - 62\Picture ' num2str(loop) '.jpg']);
12 %Size 3 50pkg 201-300
13 %x1 = imread(['E:\EDUCATIONS\Master degree\Master Thesis\Image
analysis\Image\Matlab\Image Aquisition\Experiment\Size 3 - 50\Picture ' num2str(loop) '.jpg']);
14 %Size 4 100pkg 301-390
15 x1 = imread(['E:\EDUCATIONS\Master degree\Master Thesis\Image analysis\Image\Matlab\Image
Aquisition\Experiment\Size 4 - 100\Picture ' num2str(loop) '.jpg']);
16 %%%
17 % Improve %
18 [x2,c] = imgethresh(x1); %Threshold
19 % Noise Reduction
20 f = ones(10,10)/100; %Prepare Noise Reduction Filter
21 x3 = imfilter(x2,f);
22 x4 = imfill(x3,'holes'); %Fill Holes
23 [B,L] = bwboundaries(x4,8,'noholes'); %Edge Finder
24 %clear x2 x3 x4;
25 %% Choose Shrimp Edge Line
26 max_index=0;
27 max_size=0;
28 for i=1:numel(B)
29 if max_size<size(B{i},1)
30 max_size=size(B{i},1);
31 max_index=i;
32 end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

33 end
34 %% Plot Shrimp Edge Line
35 tic;
36 boundary = zeros(max_size,2);
37 for k = max_index
38 boundary = B{k};
39 end
40 maxy = max(boundary(:,1));
41 maxx = max(boundary(:,2));
42 miny = min(boundary(:,1));
43 minx = min(boundary(:,2));
44 width = maxx-minx;
45 high = maxy-miny;
46 I2 = imcrop(x1,[minx miny width high]);
47 TT = toc; %end record time
48 fprintf('time %.4f sec\n',TT);
49 fprintf('Crop img\n');
50 saf = figure;
51 imshow(I2);
52 hold on
53 %title('Crop Image');
54 %%
55 baseFileName = sprintf('%d.png', loop); % e.g. "1.png"
56 fullFileName = fullfile('E:\EDUCATIONS\Master degree\Master Thesis\Image
analysis\Image\Matlab\Image Aquisition\Experiment\Cut Background size 4-100', baseFileName);
57 imwrite(c, fullFileName);
58 %%
59 [x5,c] = imagethresh(I2); %Threshold
60 % Noise Reduction
61 f = ones(10,10)/100; %Prepare Noise Reduction Filter
62 x6 = imfilter(x5,f);
63 x7 = imfill(x6,'holes'); %Fill Holes
64 [B,L] = bwboundaries(x7,8,'noholes'); %Edge Finder
65 clear x5 x6 x7;
66 %% Choose Shrimp Edge Line
67 tic;
68 max_indexB=0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

69 max_indexC=0;
70 max_sizeB=0;
71 max_sizeC=0;
72 for i=1:numel(B)
73 if max_sizeB<size(B{i},1)
74 max_sizeB=size(B{i},1);
75 max_indexB=i;
76 end
77 end
78 Lenght = size(boundary,1)/(41.6*2);
79 TT = toc; %end record time
80 fprintf('time %.4f sec\n',TT);
81 %% Plot Shrimp Edge Line
82 tic;
83 fprintf('Plotting Edge\n');
84 k = max_indexB;
85 boundary = B{k};
86 title('Edge Detect');
87 plot(boundary(:,2),boundary(:,1), 'b', 'LineWidth', 2);
88 set(gca,'Ydir','reverse');
89 %scatter(cent(:,2),cent(:,1), 'r', 'LineWidth', 2);
90 TT = toc; %end record time
91 fprintf('time %.4f sec\n',TT);
92 %% find intersection
93 tic; %start record time
94 fprintf('Finding Intersect\n');
95 % Intersect the polyline with the rectangle
96 in = 1;
97 newbound = zeros(max_sizeB,2);
98 while in <= max_sizeB
99 r = 10;
100 theta = linspace(0,2*pi);
101 x = r*cos(theta) + boundary(in,2);
102 y = r*sin(theta) + boundary(in,1);
103 title('Intersection');
104 hold on
105 axis equal

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

106 [xi, yi] = polyxpoly(x,y,boundary(:,2),boundary(:,1));
107 [Sinter1,Sinter2] = size(xi);
108 dc = sqrt(((xi(1,1)-xi(2,1))^2)+((yi(1,1)-yi(2,1))^2));
109 if Sinter1<=2 && dc>8
110 newbound(in,2) = boundary(in,2);
111 newbound(in,1) = boundary(in,1);
112 end
113 in = in+10;
114 %clear theta x y;
115 end
116 TT = toc; %end record time
117 fprintf('time %.4f sec\n',TT);
118 tic;
119 bx = newbound(:,1);
120 by = newbound(:,2);
121 bbx = bx(bx~=0);
122 bby = by(bby~=0);
123 bb = [bbx,bby];
124 [bb1,bb2] = size(bb);
125 plot(bby,bbx, 'r', 'LineWidth', 3);
126 hold off
127 dt = 0;
128 for d1 = 1:bb1-1
129 de = sqrt(((bb(d1,1)-bb(d1+1,1))^2)+((bb(d1,2)-bb(d1+1,2))^2));
130 dt = dt+de;
131 end
132 Round = dt/(41.6*2); %cm
133 A = polyarea(bbx(:,1), bby(:,1));
134 area = A/1731.25;
135 TT = toc; %end record time
136 fprintf('time %.4f sec\n',TT);
137 baseFileName = sprintf('Figure %d.png', loop); % e.g. "1.png"
138 fullFileName = fullfile('E:\EDUCATIONS\Master degree\Master Thesis\Image
analysis\Image\Matlab\Image Aquisition\Experiment\Figure size 4-100', baseFileName);
139 saveas(saf, fullFileName);
140 %% Measure RGB Colour
141 tic;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

142 fprintf('Measure Colour\n');
143 % Separate to RGB channel
144 lr = c(:,:,1);
145 lg = c(:,:,2);
146 lb = c(:,:,3);
147 % Extract the background (black) region
148 lgray = rgb2gray(c);
149 idx = lgray==0;
150 % Calculate average RGB of the region
151 Rave = uint8(mean(lr(~idx)));
152 Gave = uint8(mean(lg(~idx)));
153 Bave = uint8(mean(lb(~idx)));
154 % Set the region to average RGB
155 lr(~idx) = Rave;
156 lg(~idx) = Gave;
157 lb(~idx) = Bave;
158 lout = cat(3,lr,lg,lb);
159 TT = toc; %end record time
160 fprintf('time %.4f sec\n',TT);
161 %% Display
162 fprintf('R : G : B = %.2f : %.2f : %.2f\n',Rave,Gave,Bave);
163 fprintf('Area = %.2f cm^2\n',area);
164 fprintf('Count = %.0f\n',loop);
165 Rounded(array,1) = Round;
166 red(array,1) = Rave;
167 green(array,1) = Gave;
168 blue(array,1) = Bave;
169 projectedarea(array,1) = area;
170 BL(array,1) = Lenght;
171 array = array+1;
172 w = 0.303*(area^1.305);
173 clear boundary newbound;
174 end

```

## 2) Code ควบคุมเครื่องต้นแบบ

```

1 function varargout = GUI(varargin)
2 % GUI MATLAB code for GUI.fig

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 % GUI, by itself, creates a new GUI or raises the existing  
 4 % singleton\*.  
 5 %  
 6 % H = GUI returns the handle to a new GUI or the handle to  
 7 % the existing singleton\*.  
 8 %  
 9 % GUI('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local  
 10 % function named CALLBACK in GUI.M with the given input arguments.  
 11 %  
 12 % GUI('Property','Value',...) creates a new GUI or raises the  
 13 % existing singleton\*. Starting from the left, property value pairs are  
 14 % applied to the GUI before GUI\_OpeningFcn gets called. An  
 15 % unrecognized property name or invalid value makes property application  
 16 % stop. All inputs are passed to GUI\_OpeningFcn via varargin.  
 17 %  
 18 % \*See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one  
 19 % instance to run (singleton)".  
 20 %  
 21 % See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES  
 22  
 23 % Edit the above text to modify the response to help GUI  
 24  
 25 % Last Modified by GUIDE v2.5 27-Nov-2018 02:38:57  
 26  
 27 % Begin initialization code - DO NOT EDIT  
 28 gui\_Singleton = 1;  
 29 gui\_State = struct('gui\_Name', mfilename, ...  
 30 'gui\_Singleton', gui\_Singleton, ...  
 31 'gui\_OpeningFcn', @GUI\_OpeningFcn, ...  
 32 'gui\_OutputFcn', @GUI\_OutputFcn, ...  
 33 'gui\_LayoutFcn', [] , ...  
 34 'gui\_Callback', []);  
 35 if nargin && ischar(varargin{1})  
 36 gui\_State.gui\_Callback = str2func(varargin{1});  
 37 end  
 38  
 39 if narginout

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

40 [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
41 else
42 gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
43 end
44 % End initialization code - DO NOT EDIT
45
46
47 % --- Executes just before GUI is made visible.
48 function GUI_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
49 % This function has no output args, see OutputFcn.
50 % hObject handle to figure
51 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
52 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
53 % varargin command line arguments to GUI (see VARARGIN)
54
55 % Choose default command line output for GUI
56 handles.output = hObject;
57
58 % Update handles structure
59 guidata(hObject, handles);
60
61 % UIWAIT makes GUI wait for user response (see UIRESUME)
62 % uiwait(handles.figure1);
63 delete(instrfind({'Port'},{'COM3'}));
64 global a vid s1 s2 s3;
65 a = arduino('COM3'); %connect arduino board
66 s1 = servo(a, 'D3'); %connect servo motor 1 at pin 2
67 s2 = servo(a, 'D2'); %connect servo motor 2 at pin 3
68 s3 = servo(a, 'D4'); %connect servo motor 3 at pin 4
69 configurePin(a,'D6','DigitalOutput');
70 configurePin(a,'D7','DigitalOutput');axes(handles.axes1);
71 vid = videoinput('winvideo', 2, 'MJPEG_800x600');
72 src = getselectedsource(vid);
73 vid.FramesPerTrigger = 1;
74 src.Exposure = -10;
75 src.Focus = 25;
76 src.FrameRate = '30.0000';

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

77 src.WhiteBalance = 6500;
78 hImage = image(zeros(656,1104,3),'Parent',handles.axes1);
79 preview(vid,hImage);
80
81
82 % --- Outputs from this function are returned to the command line.
83 function varargout = GUI_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
84 % varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
85 % hObject handle to figure
86 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
87 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
88
89 % Get default command line output from handles structure
90 varargout{1} = handles.output;
91
92
93 % --- Executes on button press in pushbutton1.
94 function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
95 % hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
96 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
97 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
98 global k a vid s1 s2 s3 weight2;
99 tt = 0;
100 for k=1:0.5:10000
101 tic;
102 writeDigitalPin(a,'D6',1);
103 writeDigitalPin(a,'D7',0);
104 detect = 1;
105 detect = readDigitalPin(a, 'D11');
106 if detect==0
107 pause(0.4);
108 array = 1;
109 writeDigitalPin(a,'D6',0);
110 writeDigitalPin(a,'D7',0);
111 image1 = getsnapshot(vid);
112 image(image1);
113 image1 = getsnapshot(vid);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

114 writeDigitalPin(a,'D6',1);
115 writeDigitalPin(a,'D7',0);
116 [PA RO] = Shrimp(image1);
117 weight = 0.303*(PA^1.305);
118 weight2 = num2str(weight);
119 set(handles.edit1,'string',weight2);
120 fprintf('%0.2f',weight);
121 if weight>=16.67 && weight<=22 %Size1
122 writePosition(s1,0.2);
123 writePosition(s3,0.22);
124 elseif weight>=13.04 && weight<16.67 %Size2
125 writePosition(s1,0.2);
126 writePosition(s3,0.75);
127 elseif weight>=12.16 && weight<13.04 %Size3
128 writePosition(s1,0.72);
129 writePosition(s2,0.22);
130 else %Size4
131 writePosition(s1,0.72);
132 writePosition(s2,0.72);
133 end
134 tt = 0;
135 else end
136 set(handles.edit1,'string',PA2);
137 set(handles.edit1,'string',PA2);
138 tt = tt+toc
139 if tt>=20
140 break
141 end
142 end
143 hImage = image(zeros(656,1104,3),'Parent',handles.axes1);
144 preview(vid,hImage);
145 writeDigitalPin(a,'D6',0);
146 writeDigitalPin(a,'D7',0);
147
148
149 % --- Executes on button press in pushbutton2.
150 function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

151 % hObject handle to pushbutton2 (see GCBO)
152 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
153 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
154 clear all;
155 close all;
156
157
158
159 function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
160 % hObject handle to edit1 (see GCBO)
161 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
162 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
163
164 % Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
165 % str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double
166 guidata(hObject,handles);
167
168 % --- Executes during object creation, after setting all properties.
169 function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
170 % hObject handle to edit1 (see GCBO)
171 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
172 % handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
173
174 % Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
175 % See ISPC and COMPUTER.
176 if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
177 set(hObject,'BackgroundColor','white');
178 end
179
180
181 % --- Executes during object creation, after setting all properties.
182 function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
183 % hObject handle to axes1 (see GCBO)
184 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
185 % handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
186
187 % Hint: place code in OpeningFcn to populate axes1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## การศึกษาลักษณะทางกายภาพของกุ้งขาวสดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย

### Use Of Image Analysis To Investigate The Physical Properties Of Fresh White Shrimp

ราชธานี ผดุงเจริญ<sup>1,\*</sup>, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงค์<sup>2</sup>

Rachatanee Phadungcharoen<sup>1,\*</sup>, Maradee Phongpipatpong<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10520

\*ติดต่อ E-mail: 60601152@kmitl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 08-9449-7906

#### บทคัดย่อ

กุ้งเป็นสัตว์น้ำที่ได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ การเลี้ยงกุ้งของประเทศไทยในปัจจุบันพบว่ามีการใช้แรงงานคนและต้นทุนในการผลิตเป็นจำนวนมาก ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะพันธุ์ไปจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิตและการคัดเกรดกุ้ง เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีเพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตกุ้งสูงขึ้น ยิ่งกว่านั้นในการคัดแยกขนาดกุ้งที่อาศัยแรงงานคนยังพบว่าคุณภาพกุ้งที่ได้มีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ การนำเทคโนโลยีใหม่มาประยุกต์ใช้ในการผลิตและการควบคุมนั้นช่วยส่งผลให้มีประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์ภาพถ่ายเป็นเทคนิคหนึ่งที่มีการนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพที่มองเห็นจากลักษณะปรากฏภายนอกของผลิตภัณฑ์ได้อย่างสะดวก ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายในการคัดเกรดคุณภาพกุ้ง โดยมุ่งเน้นขั้นตอนการคัดกุ้งออกเป็นขนาดต่างๆกัน โดยมีการวางแผนศึกษาลักษณะทางกายภาพของกุ้งขาวสดสายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* ประกอบด้วย จำนวนตัวต่อกิโลกรัม น้ำหนัก ความยาวรอบรูป พื้นที่ภาพถ่าย สีที่ปรากฏ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติและสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายกุ้งกับคุณภาพกุ้งเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับชุดควบคุมการคัดเกรดกุ้งอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกุ้งและลดปัญหาการใช้แรงงานให้ลดน้อยลง อีกทั้งยังช่วยให้คุณภาพของสินค้ามีความสม่ำเสมอเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: กุ้ง, วิเคราะห์ภาพถ่าย, คัดเกรด, ขนาด

## Abstract

Shrimp is popular seafood for both domestic and overseas consumptions. Nowadays, shrimp farming in Thailand is considered capital and labor intensive production, starting from breeding, harvesting, and grading due to a growing labor shortage. This causes an increase in shrimp production cost. Moreover, human errors from labor especially during grading shrimp, make inconsistent product quality issues. New technologies can be applied to help improve production and increase productivity. Image analysis is a convenient technique to inspect the outer appearance of product. Therefore, this research aimed to apply the image processing technique for shrimp grading by classifying shrimp weights into different product sizes. Whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) were used as the sample. Experiment were conducted and physical properties including number of shrimps per kilo-count, shrimp weight, perimeter, projected area and color were determined. The statistical data analysis and mathematical equations were also developed in order to explain the relation between experimental values and the parameters obtained from image analysis. This technique can further develop for automated shrimp grading machine which help increase production efficiency and decrease labor force in shrimp farming. It also provides more consistency of product quality.

**Keywords:** Shrimp, Image Analysis, Grading, Size

## บทนำ

กุ้งเป็นสัตว์น้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากได้รับความนิยมในการบริโภคทั้งในประเทศและส่งออกยังต่างประเทศ กุ้งที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือกุ้งขาว ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในบริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก [1] เกษตรกรในประเทศไทยนิยมเรียกว่ากุ้งขาว (พันธุ์แวนนาไม) เนื่องจากเป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตรวดเร็ว เมื่อกุ้งขาวโตเต็มวัยจะมีความยาวได้ถึง 230 มิลลิเมตร เนื่องจากสายพันธุ์ได้รับการพัฒนามาเป็นเวลานาน ที่ผ่านมามีประเทศไทยมีผลผลิตกุ้งขาวทั้งแบบพัฒนาและแบบกึ่งพัฒนารวม ประมาณ 300,000 ตัน [2] และมีปริมาณการส่งออกกุ้งขาวของประเทศไทย 63,645 ตัน [3] คิดเป็นมูลค่าการส่งออกประมาณ 19,092 ล้านบาท กระบวนการเลี้ยงกุ้งขาวของไทยโดยมากอาศัยแรงงานคนเป็นหลักตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์กุ้ง การเลี้ยงลูกกุ้งในบ่อเลี้ยง การควบคุมดูแลคุณภาพน้ำ ไปจนถึงการจับกุ้งที่มีการเจริญเติบโตจนสามารถจับขายได้ ซึ่งการใช้แรงงานคนนั้นส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กุ้งและต้นทุนในการผลิตเนื่องจากการจัดการบ่อเลี้ยงกุ้ง การควบคุมคุณภาพน้ำ รวมไปถึงการจับและคัดเกรดกุ้งก่อนนำไปจำหน่าย จำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีทักษะและความเชี่ยวชาญ นอกจากนี้หากขาดการจัดการที่ดีอาจก่อปัญหาในด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงและการจัดการกุ้ง ประกอบกับแนวโยบายการพัฒนาประเทศไทยเปลี่ยนระบบเศรษฐกิจแบบเดิมไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม THAILAND 4.0

ในกระบวนการแปรรูปกุ้งขาว ขั้นตอนการคัดเกรดกุ้งถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญและมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างยิ่ง การนำเอาเทคโนโลยีหรือเทคนิควิธีการใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้กับกระบวนการเป็นสิ่งที่สามารถแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดจากความผิดพลาดของมนุษย์ได้ ปัญหาความสม่ำเสมอในการคัดขนาดกุ้งที่ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง “กุ้งทะเล” ที่กำหนดมาตรฐานด้านขนาดรวมถึงการบรรจุกุ้ง โดยระบุว่า “กุ้งทะเลที่บรรจุในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องมีความสม่ำเสมอทั้งในเรื่องคุณภาพ และยอมให้มีสัดส่วนของกุ้งทะเลที่อยู่ในช่วงขนาดต่างจากรหัสขนาดที่ระบุได้ไม่เกิน 10 % โดยน้ำหนัก” [4] ซึ่งปัจจุบันพบว่า การคัดขนาดกุ้งขาวตามน้ำหนักนั้นส่วนใหญ่ยังไม่มีความสม่ำเสมอตามที่มาตรฐานกำหนด เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์อาหารจำเป็นต้องมีการคัดเลือกให้ถูกต้องเหมาะสม สามารถควบคุมและนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้ดี ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจนำเทคโนโลยีการวิเคราะห์ภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ในการคัดเกรดกุ้งขาว สำหรับเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายนั้นปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมประมง, อุตสาหกรรมเกษตร และอุตสาหกรรมอาหารเพิ่มมากขึ้น การตรวจสอบด้วยภาพสามารถใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและวิเคราะห์ความแปรปรวนของสินค้าหรือวัตถุดิบในระหว่างกระบวนการไปจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต การตรวจสอบด้วยภาพถ่ายมีขั้นตอนการทำงาน ประกอบด้วย 1) การได้มาซึ่งภาพถ่าย (Image acquisition) 2) การกำจัดสัญญาณรบกวน (Image de-noising) 3) การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image enhancement) 4) การแบ่งส่วนภาพ (Image segmentation) 5) การเลือกและแยกคุณลักษณะของภาพ (Image feature selection and extraction) 6) การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (Image classification) 7) การจับคู่คุณลักษณะภาพ (Feature matching) 8) การตัดสินใจภาพ (Decision making) 9) การแสดงผลและสร้างสัญญาณควบคุม (Display of results and Generation of controlling signals) [5] สำหรับอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมเกษตรได้มีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ตรวจสอบด้วยภาพมาใช้ในลักษณะการตรวจสอบความผิดปกติหรือความไม่สมบูรณ์ของสินค้า เช่น การตรวจสอบธัญพืช การตรวจสอบและคัดแยก

คุณภาพของผลไม้ การวัดขนาดผลไม้ รวมทั้งการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อคัดแยกหรือคัดเกรดผลิตภัณฑ์ [6-10] โดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์ในการคัดเกรด เช่น สีและลักษณะปรากฏ [7] [11-13] คุณสมบัติการสะท้อนแสง [14] ผลที่ได้จากการคัดเกรดด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายนั้นค่อนข้างมีความแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำที่ได้ขึ้นกับวิธีการวัดและโปรแกรมควบคุมที่ใช้เป็นสำคัญ งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายศึกษาวิธีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ในการคัดเกรดกุ้งขาวและหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์จากภาพถ่ายที่ได้กับคุณภาพกุ้งขาว เพื่อประโยชน์ต่อการจัดการกุ้งในอุตสาหกรรมต่อไป

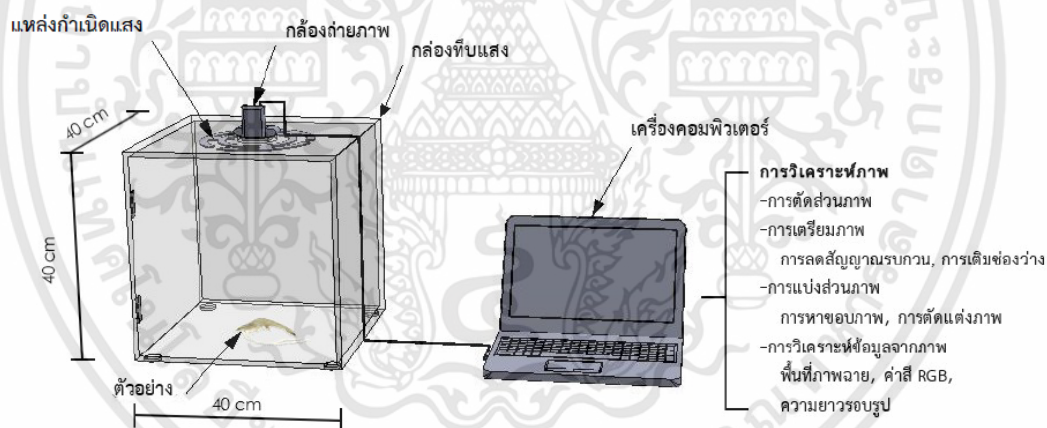
### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

#### การเตรียมตัวอย่างกุ้ง

กุ้งขาวที่ใช้ในการศึกษา คือ กุ้งขาวสด สายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* 4 ขนาด คือ รหัสขนาด 15, 17, 19 และ 25 (มาตรฐาน มกษ. 7019-2556) จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 390 ตัว

#### ระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์

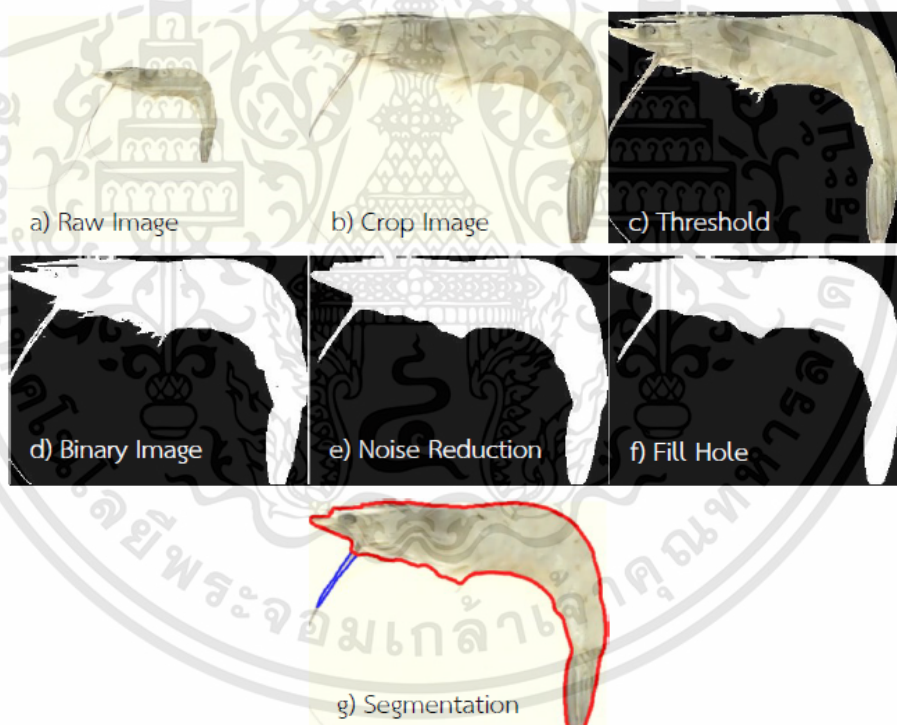
อุปกรณ์ในการถ่ายภาพตัวอย่างเพื่อนำภาพไปวิเคราะห์ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพที่บแสงพื้นผิวสีขาว ขนาด กว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ติดตั้งกล้องถ่ายภาพเว็บแคม (Logitech C922 Pro Stream Webcam) ภายในกล่องติดตั้งระบบส่องสว่างโดยใช้แผงไฟ LED ส่องสว่างแบบวงกลม กำลังไฟ 18 วัตต์ เชื่อมต่ออุปกรณ์ถ่ายภาพเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Intel Core i5 1.8 GHz, 4 GB of RAM) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์การมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์

## การวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่าย

กุ้งขาวสด สายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* จำนวนทั้งหมด 390 ตัว ถูกนำมาชั่งน้ำหนักและถ่ายภาพเพื่อนำภาพมาวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ โดยการวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายตัวอย่างกุ้งด้วยโปรแกรม Matlab 2017 เริ่มจากกระบวนการถ่ายภาพโดยใช้กล้องถ่ายภาพเว็บแคม (Webcam) (รูปที่ 2a) จากนั้นตัดภาพเพื่อให้ได้ภาพเฉพาะตัวกุ้ง (Crop Image) (รูปที่ 2b) จึงนำภาพที่ได้มาทำการแยกวัตถุที่ต้องการออกจากพื้นหลัง (Image Threshold) (รูปที่ 2c) โดยใช้ความแตกต่างของสีในระบบ RGB (RGB Color Threshold) ของแต่ละพิกเซลของภาพ โดยการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของค่าสีที่เหมาะสม ทำให้ได้ภาพกุ้งในลักษณะภาพขาว-ดำ (Binary) (รูปที่ 2d) เป็นขอบเขตพื้นที่ที่ทำการแยกพื้นหลังออกจากตัวกุ้ง ทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายด้วยการลดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) (รูปที่ 2e) และการเติมจุดว่างในภาพ (Fill Hole) (รูปที่ 2f) ต่อมาเป็นการเลือกพื้นที่ของภาพที่สนใจ (Segmentation) (รูปที่ 2g) โดยมีการหาขอบภาพเฉพาะตัวกุ้ง (Edge Finding) อาศัยการวิเคราะห์ภาพขาว-ดำ (Binary Image) แล้วทำการวิเคราะห์หาขอบภาพ จากนั้นทำเลือกเฉพาะบริเวณของส่วนหัว ตัว และหางกุ้ง (Trimming) เพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติ โดยเส้นสีแดงเป็นเส้นขอบรูปกุ้งที่ทำการตัดส่วนของหนวดกุ้ง ให้เหลือเฉพาะส่วนของหัว ลำตัว และหางของกุ้งเอาไว้เท่านั้น ส่วนเส้นสีน้ำเงินเป็นเส้นขอบรูปของกุ้งก่อนทำการตัดบริเวณของหนวดกุ้งออก สุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ข้อมูล (Feature Extraction) เพื่อให้ได้ค่าพื้นที่ภาพฉาย ค่าเฉลี่ยสี RGB และความยาวรอบรูปกุ้ง



รูปที่ 2 กระบวนการวิเคราะห์และประมวลผลภาพถ่ายกุ้ง a) Image acquisition b) Crop image c) Threshold d) Binary Image e) Noise Reduction f) Fill Hole g) Segmentation

### การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและการวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติอาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายที่รวบรวมนำมาคำนวณ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) ตามสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Coefficient Of Correlation) (สมการที่ 3)

$$\text{Mean} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N X}{N} \quad (1)$$

$$\text{Standard Deviation} \quad SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x-\bar{x})^2}{N}} \quad (2)$$

$$\text{Coefficient Of Correlation} \quad r = \frac{N(\sum_{i=1}^N xy) - (\sum_{i=1}^N x)(\sum_{i=1}^N y)}{\sqrt{[N\sum_{i=1}^N x^2 - (\sum_{i=1}^N x)^2][N\sum_{i=1}^N y^2 - (\sum_{i=1}^N y)^2]}} \quad (3)$$

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายกับคุณภาพของกุ้งขาว โดยกำหนดเกณฑ์คุณภาพกุ้ง คือ ค่าน้ำหนักของกุ้งขาว แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ตัวแปรคุณสมบัติกุ้งจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยของสีในระบบ RGB ค่าความยาวรอบตัวกุ้ง และพื้นที่ภาพฉาย อาศัยแบบจำลองความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของสมการเส้นตรง (Linear) สมการเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) และสมการยกกำลัง (Power) ระหว่างตัวแปรจากภาพถ่ายกับน้ำหนักของกุ้งขาว สมการที่ใช้อยู่แสดงได้ดังนี้

$$\text{Linear} \quad y = a + bx \quad (4)$$

$$\text{Exponential} \quad y = ae^{bx} \quad (5)$$

$$\text{Power} \quad y = ax^b \quad (6)$$

โดยที่ y หมายถึงน้ำหนักของกุ้งขาว และ x หมายถึงตัวแปรคุณสมบัติด้านค่าเฉลี่ยของสี ค่าความยาวรอบตัวกุ้ง และพื้นที่ภาพฉาย ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย พร้อมการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R<sup>2</sup>) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (Standard Error Of Estimate : SEE) จากสมการดังนี้

$$\text{Coefficient of Determination} \quad R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}-\bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y-\bar{y})^2} \quad (7)$$

$$\text{Standard Error Of Estimate} \quad SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y-y)^2}{N-2}} \quad (8)$$

เมื่อ x คือข้อมูลจากภาพถ่าย,  $\bar{x}$  คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล,  $\hat{y}$  คือค่าที่พยากรณ์ได้ และ y คือค่าจริงที่ได้จากการเก็บข้อมูล N คือจำนวนตัวอย่างที่วัด

## ผลการศึกษา

จากการเก็บข้อมูลจากการชั่งน้ำหนักตัวอย่างกุ้งขาวสดจำนวน 390 ตัว แบ่งเป็น 4 ขนาดประกอบด้วย รหัสขนาด 15 (50-54 ตัว/กก.), 18 (65-69 ตัว/กก.), 19 (70-74 ตัว/กก.), 25 (มากกว่า100 ตัว/กก) ตามมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ. 7019-2556) [4] และเมื่อนำมาวิเคราะห์หนักเป็นจำนวนกุ้งในแต่ละขนาด เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้หลักสถิติเชิงพรรณนา ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของกุ้งมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกุ้งที่ได้ระบุในชื้อขาย อีกทั้งยังมีความไม่สม่ำเสมอในกุ้งที่มีขนาดในกลุ่มเดียวกัน สังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล (SD) ที่มีค่าเกิน 10% ในขณะที่มาตรฐานสินค้าเกษตรยอมให้มีสัดส่วนของกุ้งทะเลที่อยู่ในช่วงขนาดต่างจากขนาดที่ระบุได้ไม่เกิน 10%

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาของน้ำหนักตัวอย่างกุ้งขาวสด หน่วย : กรัม

รหัสขนาด	ข้อมูลมาตรฐาน (มกษ.7019-2556)				ข้อมูลที่ได้จากแหล่งซื้อ				
	จำนวน (ตัว/กิโลกรัม)	Wt <sub>Max</sub>	Wt <sub>Min</sub>	Wt <sub>Mean</sub>	จำนวน (ตัว/กิโลกรัม)	Wt <sub>Max</sub>	Wt <sub>Min</sub>	Wt <sub>Mean</sub>	SD
15	50-54	22.00	16.67	19.23	52	24.60	9.10	16.43	3.32
18	65-69	16.92	13.04	14.92	66	21.07	8.03	13.33	2.77
19	70-74	15.71	12.16	13.89	72	17.53	8.73	12.59	2.13
25	100-104	11.00	8.65	9.80	102	13.27	4.50	9.10	1.69

ข้อมูลที่ได้จากการชั่งน้ำหนักกุ้งและการวิเคราะห์ภาพถ่าย นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นของตัวแปรด้วยวิธีทางสถิติ จากตารางที่ 2 พบว่าค่าสหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกุ้งกับค่าพื้นที่ภาพฉาย (PA) มีค่ามากที่สุด ( $r > 0.9$ ) ขณะที่ความยาวรอบรูปกุ้ง (RO) มีค่ารองลงมา ( $r > 0.7$ ) ส่วนค่าสี R, G, B ไม่แสดงความสัมพันธ์ต่อน้ำหนักกุ้งมากนัก ค่า  $r$  ที่ได้อยู่ในช่วง 0.15 - 0.6 ดังแสดงในตารางที่ 2 กล่าวคือข้อมูลที่ได้มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นในเชิงบวกเนื่องจากค่า  $r$  มีค่าเป็นบวก คือเมื่อน้ำหนักกุ้งที่ได้จากการชั่งมีค่าสูงขึ้นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 2 ค่า  $r$  และค่านัยสำคัญทางสถิติ (P-value) ของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกุ้ง กับค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย

ค่าวิเคราะห์ จากภาพถ่าย	ค่าสหสัมพันธ์ (r) ของขนาดกุ้งในสมการที่ 6			
	50 ตัว/กก	60 ตัว/กก	70 ตัว/กก	100 ตัว/กก
PA	0.917***	0.953**	0.932**	0.928**
R	-0.158	-0.146	-0.389**	-0.358**
G	-0.231*	-0.143	-0.463**	-0.501**
B	-0.228*	-0.269**	-0.0526**	-0.543**
RO	0.796**	0.786**	0.788**	0.737**

\*\*\* ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001, \*\* ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01, \* ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05

เมื่อได้ข้อมูลความสัมพันธ์จากค่า  $r$  ในตารางที่ 2 และเมื่อนำมาวิเคราะห์สามารถเลือกชุดข้อมูลที่ให้ความสัมพันธ์สูงสุด 2 ชุด คือ 1) ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกึ่งกับข้อมูลพื้นที่ภาพฉาย และ 2) ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกึ่งกับความยาวรอบรูปกึ่ง จึงนำข้อมูลที่ได้อมาวิเคราะห์เพื่อทำนายความสัมพันธ์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression) ใน 3 รูปแบบ คือ 1) สมการเส้นตรง (Linear) 2) สมการเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) และ 3) สมการยกกำลัง (Power) ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ค่าพารามิเตอร์ในสมการ, ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ), และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (SEE)

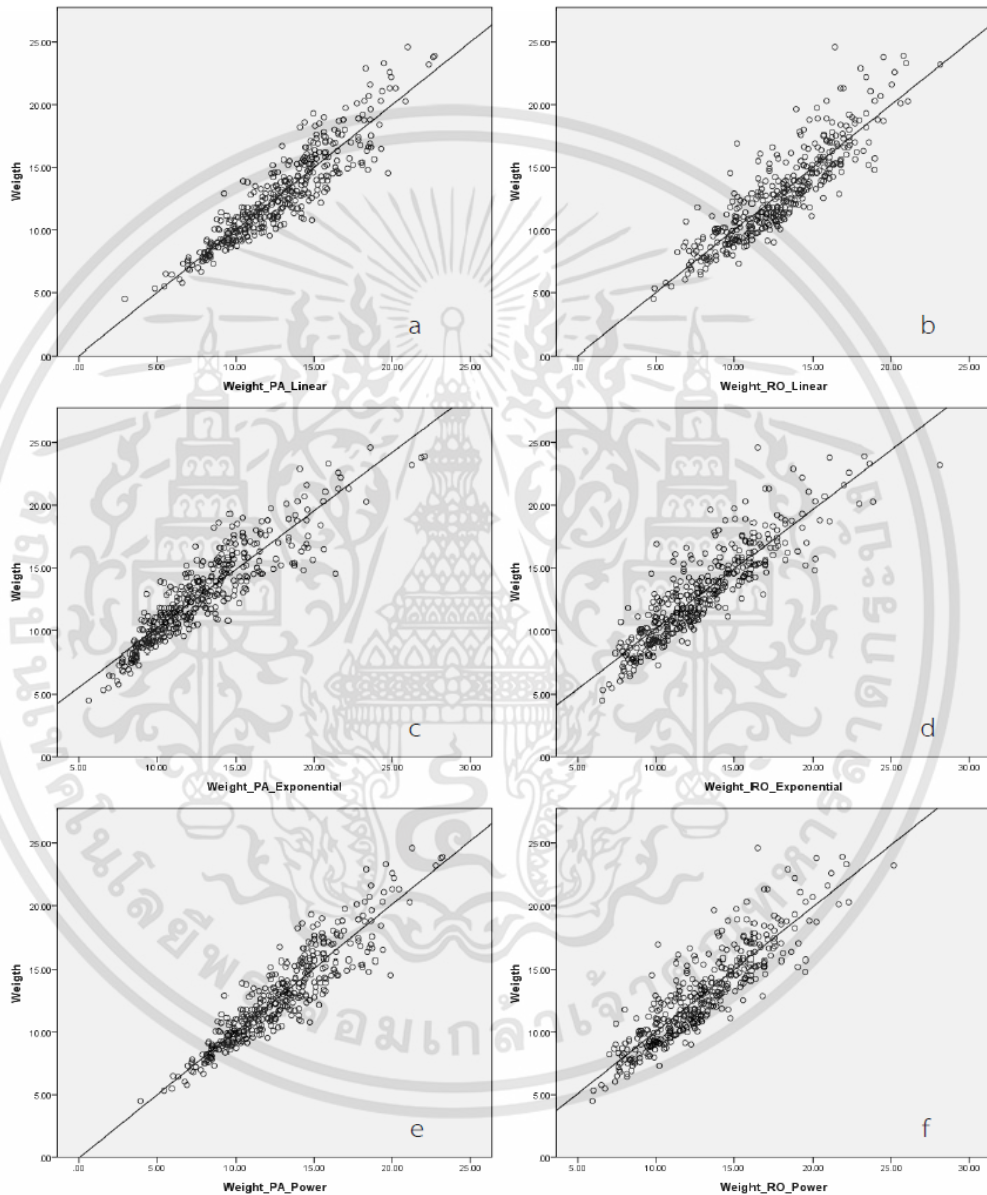
ขนาดกึ่ง/ ค่า วิเคราะห์ ภาพถ่าย	Linear (สมการที่ 4) $y = a+bx$				Exponential (สมการที่ 5) $y = ae^{bx}$				Power (สมการที่ 6) $y = ax^b$				
	a	b	$R^2$	SEE	a	b	$R^2$	SEE	A	b	$R^2$	SEE	
52	PA	-2.748	0.969	0.842	1.330	5.030	0.059	0.830	0.084	0.510	1.161	0.833	0.083
	RO	-11.598	1.733	0.634	2.020	2.885	0.106	0.639	0.123	0.140	1.707	0.636	0.123
66	PA	-3.618	0.969	0.909	0.841	3.717	0.072	0.896	0.067	0.348	1.272	0.906	0.064
	RO	-11.663	1.648	0.619	1.723	1.973	0.125	0.634	0.126	0.077	1.888	0.635	0.126
72	PA	-2.556	0.798	0.868	0.779	3.740	0.063	0.863	0.063	0.354	1.212	0.873	0.061
	RO	-7.744	1.365	0.622	1.319	2.462	0.109	0.624	0.104	0.163	1.606	0.620	0.105
102	PA	-2.504	0.845	0.861	0.631	2.283	0.099	0.877	0.069	0.324	1.271	0.878	0.069
	RO	-7.141	1.266	0.543	1.145	1.303	0.150	0.562	0.131	0.067	1.921	0.574	0.129
All	PA	-3.918	0.958	0.837	1.481	3.272	0.076	0.847	0.113	0.303	1.305	0.864	0.107
	RO	-14.048	1.823	0.777	1.735	1.460	0.145	0.790	0.132	0.041	2.129	0.796	0.130

จากข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนาย (SEE) เพื่อนำมาใช้เลือกสมการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายน้ำหนักของกึ่งขาวจากการวิเคราะห์พบว่าสมการที่ทำนายน้ำหนักกึ่งจากค่าพื้นที่ภาพฉาย (PA) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่สูงกว่าสมการทำนายจากค่าความยาวเส้นรอบรูป (RO) นอกจากนั้นค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายของสมการโดยอาศัยพื้นที่ภาพฉาย (PA) ยังพบว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการใช้ค่าความยาวเส้นรอบรูปในการทำนาย

ในส่วนของรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ที่ใช้ทำนายขนาดกึ่งขาวนั้น พบว่าสมการในรูปแบบยกกำลัง (Power) และรูปแบบเอกซ์โพเนนเชียลสามารถนำมาใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิเคราะห์จากภาพถ่ายได้ดีกว่าสมการเส้นตรง ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยพิจารณาจากค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกึ่งขาวกับพื้นที่ภาพฉายในสมการแบบยกกำลัง (Power) มีค่าเท่ากับ 0.864 และสำหรับสมการแบบเอกซ์โพเนนเชียลและสมการเส้นตรงมีค่าเท่ากับ 0.847 และ 0.837 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนาย (SEE) ในสมการแบบยกกำลังมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.107 และมีค่าเท่ากับ 0.113 และ 1.481 สำหรับสมการแบบเอกซ์โพเนนเชียลและสมการเส้นตรงตามลำดับ

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้ จึงเลือกสมการทำนายน้ำหนักของกึ่งขาวจากข้อมูลพื้นที่ภาพฉาย โดยใช้สมการแบบยกกำลัง (Power) และเมื่อนำข้อมูลมาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์โดยแบ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก

กับพื้นที่ภาพฉายและความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับความยาวรอบรูปของกึ่งทั้งหมดทั้งหมด 390 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 3 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำหนักกึ่งขาที่ได้จริงกับค่าที่จากการทำนายด้วยสมการในรูปแบบต่างๆกัน ประกอบด้วย การทำนายด้วยสมการเส้นตรง สมการสมการเอกซโพเนนเชียล และสมการยกกำลัง ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าการกระจายความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากค่าน้ำหนักที่ได้จริง กับค่าที่ได้จากสมการที่ใช้ค่าพื้นที่ภาพฉายน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากสมการเส้นรอบรูปเล็กน้อย



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของข้อมูลน้ำหนักกับพื้นที่ภาพฉายแบบ a) Linear c) Exponential e) Power และข้อมูลน้ำหนักกับความยาวรอบรูปแบบ b) Linear d) Exponential f) Power ของกึ่ง 390 ตัว

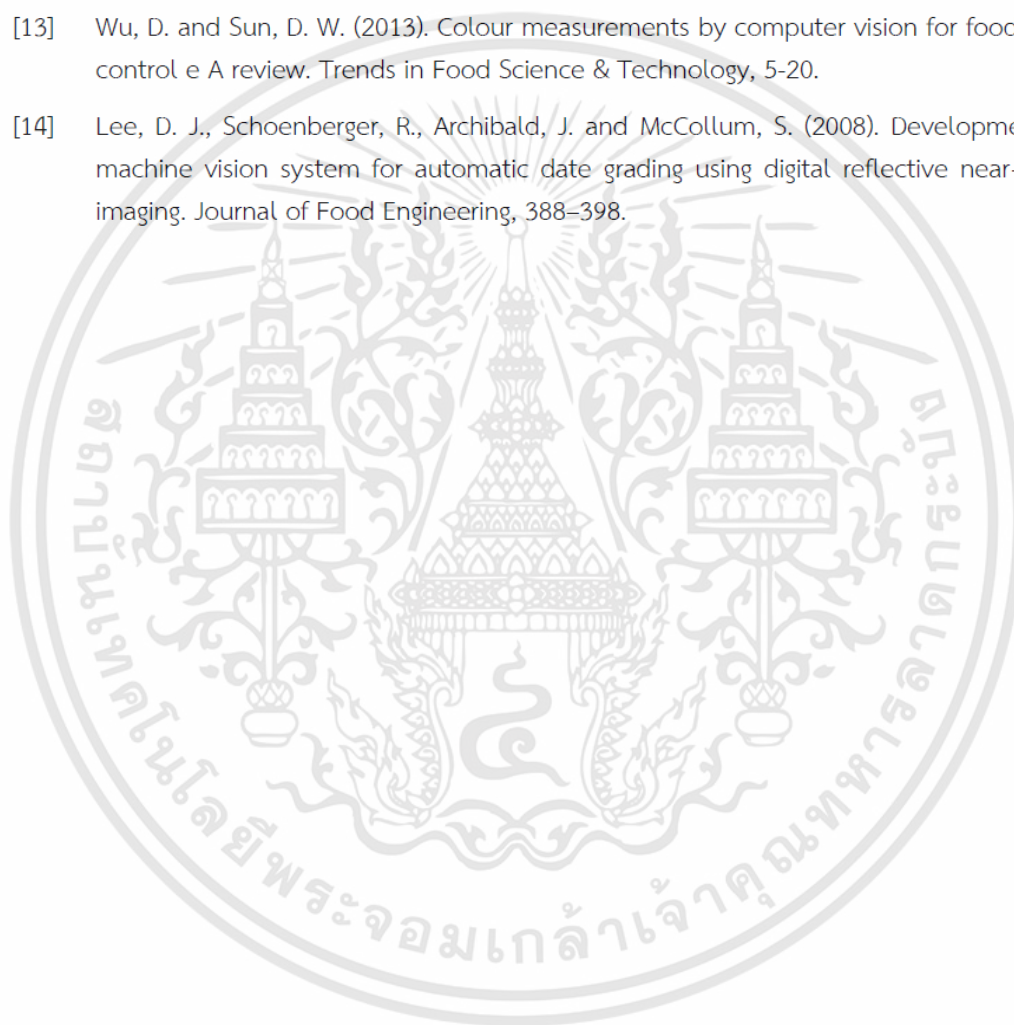
### สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์ภาพถ่ายของกุ้งขาวพบว่าค่าสหสัมพันธ์ของพื้นที่ภาพฉายและค่าความยาวรอบรูปของกุ้งขาวมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าค่าสี RGB จึงเลือกนำค่าพื้นที่ภาพฉายและค่าความยาวรอบรูปมาสร้างเป็นสมการเพื่อทำนายขนาดหรือน้ำหนักของกุ้งขาว และทำการวิเคราะห์แบบถดถอยซึ่งพบว่าสมการทำนายน้ำหนักกุ้งขาวจากค่าพื้นที่ภาพฉายในรูปแบบของสมการยกกำลัง (Power) นั้นให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) และความคลาดเคลื่อน (SEE) ดีที่สุด ขณะที่สมการแบบเอกซ์โพเนนเชียล และแบบเส้นตรง สามารถนำมาใช้ทำนายขนาดกุ้งรองลงมาตามลำดับ จากข้อมูลทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าสมการที่ใช้เพื่อทำนายน้ำหนักกุ้งขาวจากการวิเคราะห์คุณสมบัติกุ้งขาวจากภาพถ่ายนั้นคือสมการที่ใช้ข้อมูลพื้นที่ภาพฉายของกุ้งขาวที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพ โดยใช้ในรูปแบบของสมการแบบยกกำลัง (Power) ดังสมการ  $y = 0.303x^{1.305}$  เมื่อ  $y$  คือน้ำหนักกุ้งที่ทำนายได้ และ  $x$  คือพื้นที่ภาพฉายของกุ้ง

### เอกสารอ้างอิง

- [1] ฝ่ายบริการวิชาการอาหารสัตว์ บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน). (2557). คู่มือการเลี้ยงกุ้งขาว. Retrieved from สมุทรปราการ.
- [2] กุ้งทะเลเพาะเลี้ยง. (2559). สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. Retrieved from <http://www.oae.go.th/download/prcai/fishing/shrimp.pdf>
- [3] สถิติการส่งออก (Export) กุ้งขาว. (2560). สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. Retrieved from [http://www.oae.go.th/oea\\_report/export\\_import/export\\_result.php](http://www.oae.go.th/oea_report/export_import/export_result.php)
- [4] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2557). มาตรฐานสินค้าเกษตร กุ้งทะเล (มกษ. 7019-2556).
- [5] Beyerer, J., León, F. P. and Frese, C. (2016). Machine Vision: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [6] Arakeri, M. P. and Lakshmana. (2016). Computer Vision Based Fruit Grading System for Quality Evaluation of Tomato in Agriculture industry. Procedia Computer Science, 426-433.
- [7] Baigvand, M., Banakar, A., Minaei, S., Khodaei, J. and Khazaei, N. B. (2015). Machine vision system for grading of dried figs. Computers and Electronics in Agriculture, 158-165.
- [8] ElMasry, G. M. and Nakauchi, S. (2016). Image analysis operations applied to hyperspectral images for non-invasive sensing of food quality e A comprehensive review. Biosystems Engineering, 53-82.
- [9] Soltani, M., Soltani, M., Dehrouyeh, M. H., Mohtasebi, S. S. and Ahmadi, H. (2013). An expert egg grading system based on machine vision and artificial intelligence techniques. Journal of Food Engineering, 70-77.

- [10] Vithu, P., Tech., M., Moses, J. A., Tech., M. and D., P. (2016). Machine vision system for food grain quality evaluation: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 13-20.
- [11] Manickavasagan, A., Al-Mezeini, N. K. and Al-Shekaili, H. N. (2014). RGB color imaging technique for grading of dates. *Scientia Horticulturae*, 87-94.
- [12] Unay, D., Gosselin, B., Kleynen, O., Leemans, V., Destain, M. F. and Debeir, O. (2011). Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 204-212.
- [13] Wu, D. and Sun, D. W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control e A review. *Trends in Food Science & Technology*, 5-20.
- [14] Lee, D. J., Schoenberger, R., Archibald, J. and McCollum, S. (2008). Development of a machine vision system for automatic date grading using digital reflective near-infrared imaging. *Journal of Food Engineering*, 388-398.





## เครื่องต้นแบบสำหรับการคัดขนาดกุ้งขาวสดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย Prototype Fresh White Shrimp Sorting Machine by Using Image Analysis

ราชธานี ผดุงเจริญ<sup>1\*</sup>, มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์<sup>1</sup>

Rachatane Phadungcharoen<sup>1\*</sup>, Maradee Phongpipatpong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ 10520

<sup>1</sup>Department of Food Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

\*Corresponding author: E-mail: 60601152@kmitl.ac.th

### Abstract

The growth of seafood consumption especially for white shrimp has been a dramatic increase. Applying technology to the production process is of utmost interest to the industry e.g. shrimp farming industry. It can help not only improve productivity but also reduce labor shortage issue. Moreover, it can lessen the variation of shrimp size during grading. This research aims to apply image analysis techniques to inspect white shrimp (*Litopenaeus vannamei* sp.) and to fabricate the shrimp sorter prototype. White shrimp can be divided into 4 different groups based on sizes. The prototype consists of 4 parts: 1) feed conveyor, 2) image taken, 3) analysis and control, and 4) shrimp sorter. The experiment trials of the prototype showed that the accuracy and mean relative error were 93.26% and 6.74% respectively. Shrimp obtained from the sorter prototype has 11.67% higher quality consistency than manual grading shrimp.

**Keywords:** Shrimp, Image Analysis, Sorting, Prototype

### บทคัดย่อ

ความนิยมในการบริโภคสัตว์น้ำโดยเฉพาะกุ้งขาวทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศมีอัตราที่สูงเพิ่มขึ้นมาก การนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตในโรงงานแปรรูป จึงเป็นสิ่งที่ภาคอุตสาหกรรมให้ความสนใจ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมการแปรรูปกุ้ง เนื่องจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนอกจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการผลิต ยังสามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ยิ่งกว่านั้นยังช่วยแก้ปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีความไม่สม่ำเสมอของขนาดกุ้งได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์นำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายมาใช้ตรวจวัดลักษณะปรากฏของกุ้งขาว และสร้างเป็นเครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกุ้งขาวสดสายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* โดยแบ่งขนาดกุ้งขาวออกเป็น 4 กลุ่มที่มีขนาดต่างกัน เครื่องคัดขนาดกุ้งที่สร้าง ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ 1) ส่วนลำเลียง 2) ส่วนตรวจสอบขนาดด้วยภาพถ่าย 3) ส่วนประมวลผลและควบคุม และ 4) ส่วนคัดแยกกุ้ง จากการทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบพบว่าความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนของการคัดขนาดกุ้งโดยอาศัยการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากพื้นที่ภาพถ่าย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.26% และ 6.74% ตามลำดับ และขนาดกุ้งที่ผ่านการคัดแยกด้วยเครื่องต้นแบบมีคุณภาพได้มาตรฐานถูกต้องกว่าการคัดแยกด้วยคนถึง 11.67 %

**คำสำคัญ:** กุ้ง, วิเคราะห์ภาพถ่าย, คัดขนาด, เครื่องต้นแบบ



## บทนำ

กุ้งสายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* หรือที่รู้จักกันในชื่อกุ้งขาว เป็นกุ้งสายพันธุ์มีถิ่นกำเนิดบริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2557) กุ้งขาวเป็นกุ้งที่เลี้ยงง่าย เจริญเติบโตรวดเร็ว เนื่องจากได้รับการพัฒนาสายพันธุ์มาอย่างยาวนาน เมื่อกุ้งขาวโตเต็มวัยจะมีความยาวได้ถึง 230 มิลลิเมตร ที่ผ่านมามีประเทศไทยมีผลผลิตกุ้งขาวทั้งแบบพัฒนาและแบบกึ่งพัฒนารวม ประมาณ 300,000 ตัน/ปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) และมีปริมาณการส่งออกกุ้งขาวของประเทศไทย 63,645 ตัน/ปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560) คิดเป็นมูลค่าการส่งออกประมาณ 19,092 ล้านบาท กระบวนการเลี้ยงกุ้งขาวในประเทศไทยโดยมากอาศัยแรงงานคนเป็นหลักเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์แม่พันธุ์กุ้ง ไปจนถึงขั้นตอนของการจับกุ้งที่โตจนสามารถจับเพื่อจำหน่ายหรือนำไปแปรรูปต่อได้ การใช้แรงงานคนนั้นมักพบปัญหาในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์กุ้งและต้นทุนในการผลิต เนื่องจากแต่ละขั้นตอนรวมถึงการคัดเกรดกุ้งไปจำหน่ายจำเป็นต้องใช้แรงงานที่มีทักษะมีความเชี่ยวชาญ ในปัจจุบันได้มีความพยายามนำเทคโนโลยีใหม่มาช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าว และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะเลี้ยงและการจัดการกุ้ง ประกอบกับนโยบายการพัฒนาประเทศไทยในการปรับเปลี่ยนระบบเศรษฐกิจแบบเดิมไปสู่เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม THAILAND 4.0 จึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดในการหาทางเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปกุ้ง

ขั้นตอนการคัดเกรดกุ้งในกระบวนการแปรรูปกุ้งขาวถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นอย่างมาก ปัจจุบันพบว่าในอุตสาหกรรมประสบปัญหาความสม่ำเสมอของขนาดกุ้ง โดยมาตรฐานสินค้าเกษตรได้กำหนดให้การบรรจุกุ้งในภาชนะบรรจุ ต้องมีความสม่ำเสมอและยอมให้มีสัดส่วนของกุ้งอยู่ในช่วงตามรหัสขนาดที่ระบุได้ไม่เกิน 10% โดยน้ำหนัก” (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2557) แต่ทว่าการคัดขนาดกุ้งขาวเป็นขนาดต่างๆโดยใช้เกณฑ์น้ำหนักของกุ้งนั้นส่วนใหญ่ขาดความสม่ำเสมอ ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน การวิเคราะห์ภาพถ่ายเป็นการตรวจสอบวัตถุด้วยภาพ สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพและวิเคราะห์ความแปรปรวนของสินค้าหรือวัตถุดิบตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งถึงขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี การวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายมีขั้นตอนการทำงาน ประกอบด้วย 1) การได้มาซึ่งภาพถ่าย 2) การกำจัดสัญญาณรบกวน 3) การปรับปรุงคุณภาพของภาพ 4) การแบ่งส่วนภาพ 5) การเลือกและแยกคุณลักษณะของภาพ 6) การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ 7) การจับคู่คุณลักษณะภาพ 8) การตัดสินใจภาพ 9) การแสดงผลและสร้างสัญญาณควบคุม (Beyerer *et al.*, 2016) ในปัจจุบันนั้นได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมประมง อุตสาหกรรมเกษตร อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

มีรายงานวิจัยที่ได้นำเทคนิคการวิเคราะห์ตรวจสอบด้วยภาพมาใช้เพื่อตรวจสอบความผิดปกติหรือความไม่สมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ เช่น การตรวจสอบคุณภาพธัญพืช การตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพของผลไม้ การวัดขนาดผลไม้ รวมทั้งการนำมาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อคัดแยกหรือคัดเกรดผลิตภัณฑ์ (ElMasry and Nakauchi, 2016; Vithu *et al.*, 2016; Wu and Sun, 2013) จากการศึกษาของ Arakeri และ Lakshmana (2016) ได้ทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อคัดแยกมะเขือเทศออกเป็นประเภทต่างๆตามลักษณะการสุกของมะเขือเทศ ซึ่งพบว่าสามารถคัดมะเขือเทศตัวอย่าง 340 ลูกได้โดยมีความแม่นยำ 96.47% รวมถึงงานของ Omid และคณะ (2013) ที่ทำการศึกษาคัดแยกไข่ไก่ออกตามคุณภาพเป็นเกรดต่างๆ กัน โดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้ค่าความสดและความอิมตัวของสีผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถทำการคัดแยกไข่ได้โดยมีความแม่นยำ 95% งานวิจัยส่วนใหญ่ที่มีการศึกษาในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายมักทำการศึกษาโดยอาศัยคุณสมบัติด้านสีที่ปรากฏของผลิตภัณฑ์เป็นเกณฑ์ เช่น การคัดเกรดผลมะเดื่อด้วยระบบสายพานลำเลียงผ่านชุดถ่ายภาพด้วยกล้อง CCD ซึ่งสามารถคัดเกรดผลมะเดื่อได้อย่างแม่นยำที่ 95.2% สามารถคัดเกรดได้ที่อัตราการคัด 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (Baigvand *et al.*, 2015) นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้กับการคัดเกรดผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นๆ เช่น การคัดสายพันธุ์ผลอินทผลัมด้วยเทคนิควิเคราะห์สีในระบบ RGB (Manickavasagan *et al.*, 2014) การคัดเกรดผลแอปเปิ้ลด้วยระบบสองสี (Bi-Color) (Unay *et al.*, 2011) และการคัดเกรดผลอินทผลัมด้วยคุณสมบัติการสะท้อนแสง (Lee *et al.*, 2008) ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายนั้นค่อนข้างมีความแม่นยำ แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าการกำหนดวิธีการวัดและโปรแกรมควบคุมที่ใช้เป็นสิ่งสำคัญซึ่งส่งผลกระทบต่อความถูกต้องแม่นยำที่ได้ งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาวิธีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายมาประยุกต์ใช้ในการคัดเกรดกุ้งขาวและทำการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการคัดขนาดกุ้งขาว เพื่อประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการแปรรูปกุ้งขาวต่อไป



### อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

#### วัตถุดิบที่ใช้ทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างกุ้งขาวสด สายพันธุ์ *Litopenaeus vannamei* 4 ขนาด คือ รหัสขนาด 15, 17, 19 และ 25 (มาตรฐาน มกษ. 7019-2556) จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งแบบพัฒนาในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 395 ตัว นำมาเป็นตัวอย่างทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

#### วิธีการวิจัย

การดำเนินงานสร้างเครื่องต้นแบบคัดขนาดกุ้ง แบ่งเป็น 2 ส่วนสำคัญคือ

1.) ส่วนของชุดวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image Analysis Section) ประกอบด้วย ส่วนป้อนวัตถุดิบ เป็นสายพานลำเลียงกว้าง x ยาว เท่ากับ 20 x 60 เซนติเมตร กล้องถ่ายภาพที่บแสงพื้นผิวสีขาว ขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 23 x 30 x 20 เซนติเมตร ติดตั้งกล้องถ่ายภาพเว็บแคม (Logitech C922 Pro Stream Webcam) ไว้ภายในกล้องถ่ายภาพ ติดตั้งระบบส่องสว่างโดยใช้แผงไฟ LED ส่องสว่างแบบวงกลม กำลังไฟ 18 วัตต์ เชื่อมต่ออุปกรณ์ถ่ายภาพเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (Intel Core i5 1.8 GHz, 4 GB of RAM)

2.) ส่วนของชุดระบบคัดขนาดกุ้ง (Sorter Section) วางเอียงทำมุม 30 องศา กับแนวระดับ ประกอบด้วยช่องสำหรับคัดแยกกุ้ง 4 ขนาด ติดตั้งกับแผ่นกันที่ควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1

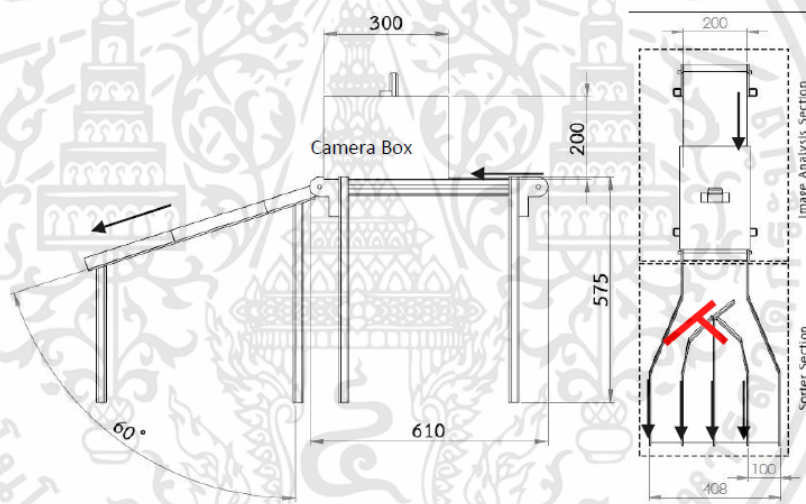


Figure 1 Prototype White Shrimp Sorting Machine

ระบบควบคุมการทำงาน ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino MEGA 2560) โดยออกแบบให้ควบคุมการทำงานของสายพานป้อนวัตถุดิบและการคัดแยกขนาด การทำงานเริ่มต้นโดยการป้อนตัวอย่างกุ้งครั้งละ 1 ตัวสู่สายพานลำเลียงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลต์ หมุนด้วยความเร็วรอบ 20 รอบต่อนาที จากนั้นลำเลียงด้วยสายพานเข้าสู่กล้องถ่ายภาพทำการถ่ายภาพและวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB 2017 แล้วจึงส่งสัญญาณเพื่อควบคุมแผ่นกันที่ต่อกับเซอร์โวมอเตอร์เพื่อบังคับทิศทางกุ้งให้เคลื่อนไปตามทิศทางที่กำหนด การทำงานของระบบควบคุมดังแสดงในรูปที่ 2

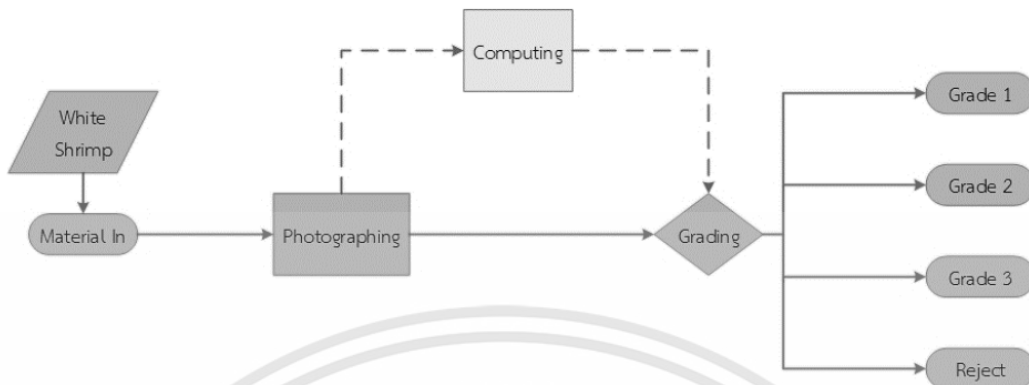


Figure 2 Process Control Diagram

การวิเคราะห์ภาพถ่ายของกุ้งขาวนั้นอาศัยข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมา (ราชธานี และ มาฤดี, 2018) ซึ่งได้สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกุ้งกับตัวแปรจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายไว้และพบว่าพื้นที่ภาพถ่ายของกุ้ง และความยาวรอบรูปของกุ้งสามารถนำมาใช้ทำนายน้ำหนักกุ้งได้เป็นอย่างดีและมีค่าความคลาดเคลื่อนการทำนายอยู่ในเกณฑ์ต่ำ สมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์คือ  $y = 0.303x^{1.305}$  เมื่อ  $y$  คือน้ำหนักกุ้งที่ทำนายได้ และ  $x$  คือพื้นที่ภาพถ่ายของกุ้ง

การทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบคัดขนาดกุ้ง ทำการทดลองคัดขนาดกุ้งขาว และคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Mean Relative Error, สมการที่ 1) และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง (Accuracy, สมการที่ 2) โดยทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายกับค่าที่ได้จากการชั่งน้ำหนักจริงของกุ้งขาวจากเครื่องคัดแยกกุ้ง

$$\text{Mean Relative Error (\%)} \quad \text{MRE} = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{x_{\text{mea}} - x_t}{x_t} \right|}{N} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Accuracy (\%)} \quad \text{Accuracy} = 100 - \left( \left| \frac{x_{\text{mea}} - x_t}{x_t} \right| \times 100 \right) \quad (2)$$

เมื่อ  $x_{\text{mea}}$  คือค่าที่ได้จากการทำนายจากการวิเคราะห์ภาพถ่าย ( $y = 0.303x^{1.305}$ ) และ  $x_t$  คือค่าจริงที่ได้จากการชั่งน้ำหนักกุ้งขาว

**ผลและวิจารณ์**

จากการออกแบบและสร้างเครื่องทำให้ได้เครื่องต้นแบบสำหรับคัดขนาดกุ้งขาวด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย ซึ่งสามารถแบ่งเป็นส่วนประกอบหลักต่างๆและแสดงรายการต้นทุนในการสร้างเครื่องต้นแบบดังตารางที่ 1

Table 1 Prototype White Shrimp Sorting Machine Parts and Cost

Part no.	Part	Function	Cost
1	Feed conveyer	Conveying shrimp through the camera box	2,000
2	Camera box	Image analysis of shrimp and send data to computer analysis system	5,000
3	Analysis and control system	Analysis data and sent the signal to control sorting part	20,000
4	Sorting part	Dividing shrimp into 4 different parts based on the signal from controller	1,000
Total Cost			28,000



จากสมการทำนายน้ำหนักกุ้งขาวสดที่ได้จึงนำไปสู่การทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำในการทำนายน้ำหนักของกุ้ง โดยทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายกุ้งขาวสด (พันธุ์แวนนาไม) จำนวน 395 ตัว โดยแบ่งเป็น 4 ขนาด คือ รหัสขนาด 15 (50-54 ตัว/กก.), 17 (60-64 ตัว/กก.), 19 (70-74 ตัว/กก.), 25 (100-104 ตัว/กก) โดยทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายเพื่อทำนายน้ำหนักจากสมการ  $y = 0.303x^{1.305}$  เมื่อ  $y$  คือน้ำหนักกุ้งที่ทำนายได้ และ  $x$  คือพื้นที่ภาพถ่ายของกุ้งขาวที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพถ่าย (ราชธานี และ มาฤดี, 2018) โดยนำค่าน้ำหนักที่ทำนายได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกรังน้ำหนักจริงของกุ้งขาวโดยใช้สมการที่ 2 ซึ่งผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2

Table 2 Percentage of Accuracy of shrimp sorting (Yes/No criteria)

	Labor sorting				Image analysis by PA parameter			
	Code	Code	Code	Code	Code	Code	Code	Code
	15	17	19	25	15	17	19	25
Accuracy (%)	69	67	76	43	69	82	77	73.68

จากข้อมูลในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการทดลองคัดขนาดกุ้งขาวสดออกตามขนาดต่างๆกัน 4 ขนาด โดยสังเกตความถูกต้องตามเกณฑ์ที่กำหนดเพียงใด พบว่าการคัดด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายมีความถูกต้องมากกว่าการคัดเกรดด้วยแรงงานคนในทุกขนาดที่ทำการคัดเกรด โดยความถูกต้องในการคัดเกรดด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายสูงที่สุดที่ความถูกต้อง 82% สำหรับการคัดเกรดในรหัสขนาด 17 และ 77%, 73.68% และ 69% สำหรับการคัดเกรดในรหัสขนาด 19 25 และ 15 ตามลำดับ

และเมื่อทำการทดลองคัดขนาดกุ้งขาวสดจำนวน 395 ตัวอย่าง โดยพิจารณาขนาดกุ้งจากน้ำหนัก ทำให้ได้ค่าความถูกต้องในการทำนายน้ำหนักในแต่ละเกรดของกุ้ง ดังข้อมูลในตารางที่ 3

Table 3 Percentage of Accuracy and Mean Relative Error

Predicted Equations	Accuracy (%)				Mean Relative Error (%)			
	Code	Code	Code	Code	Code	Code	Code	Code
	15	17	19	25	15	17	19	25
PA ( $y = 0.303x^{1.305}$ )	92.52	92.95	93.68	93.89	7.48	7.05	6.32	6.11

ผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการทำนายน้ำหนักจากข้อมูลพื้นที่ภาพถ่ายของกุ้งนั้นมีความแม่นยำเฉลี่ย 93.26% ตารางที่ 4 แสดงค่าเปรียบเทียบของการคัดขนาดกุ้งและการคัดด้วยแรงงานคนเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน จะพบว่าเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายนั้นสามารถคัดกุ้งโดยมีการกระจายของน้ำหนักน้อยกว่าการคัดด้วยแรงงานคน จึงหมายถึงประสิทธิภาพในการคัดของเครื่องจักรที่ดีกว่าความสามารถของมนุษย์ และหากเปรียบเทียบข้อมูลช่วงน้ำหนักสูงสุด-ต่ำสุดของกุ้งที่คัดได้ กับค่ามาตรฐานสินค้าเกษตรพบว่าการคัดด้วยเครื่องคัดขนาดมีช่วงของข้อมูลที่ใกล้เคียงกับที่มาตรฐานสินค้าเกษตรกำหนดไว้มากกว่า

Table 4 Descriptive analysis compare between Labor and Sorter

Code	Count/ kilograms	Standard		Labor sorting				Sorting machine			
		Wt <sub>Max</sub>	Wt <sub>Min</sub>	Wt <sub>Max</sub>	Wt <sub>Min</sub>	WtMean	SD	Wt <sub>Max</sub>	Wt <sub>Min</sub>	Wt <sub>Mean</sub>	SD
15	50 - 54	22.00	16.67	24.70	13.83	18.31	2.38	24.33	16.17	19.48	1.88
18	65 - 69	16.92	13.04	18.90	11.73	14.76	1.38	17.96	14.07	15.92	1.07
19	70 - 74	15.71	12.16	16.80	10.50	13.62	1.37	16.03	11.50	13.49	1.04
25	100 - 104	11.00	8.65	16.70	7.50	10.94	1.67	13.80	8.30	10.12	1.06



## สรุป

การวิเคราะห์คุณภาพกุ้งขาวจากภาพถ่ายด้วยพื้นที่ภาพฉายสามารถทำนายน้ำหนักกุ้งขาวโดยมีความถูกต้องโดยเฉลี่ยประมาณ 93.26% มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 6.74% และเมื่อทำการทดลองคัดขนาดกุ้งขาวพบว่าสามารถคัดขนาดกุ้งโดยมีความถูกต้องสูงที่สุดในการคัดเกรดที่ 82% สำหรับการคัดรหัสขนาด 17 (60-64 ตัว/กก.) เครื่องต้นแบบในการคัดกุ้งที่สร้างสามารถคัดแยกกุ้งขาวให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานได้อย่างถูกต้องและสม่ำเสมอมากกว่าการคัดแยกโดยแรงงานคน

## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2557. กุ้งทะเล. มาตรฐานสินค้าเกษตร, สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. "กุ้งทะเลเพาะเลี้ยง". 2559. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- ฝ่ายบริการวิชาการอาหารสัตว์. 2557. "คู่มือการเลี้ยงกุ้งขาว". บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน), สมุทรปราการ.
- ราชธานี ผดุงเจริญ, มาถิตี ผ่องพิพัฒน์พงศ์. 2018. "การศึกษาลักษณะทางกายภาพของกุ้งขาวสดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย". การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28, พัทยา, ประเทศไทย: สมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย. 9-19.
- "สถิติการส่งออก (Export) กุ้งขาว". 2560. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- Arakeri, Megha P., and Lakshmana. 2016. 'Computer Vision Based Fruit Grading System for Quality Evaluation of Tomato in Agriculture industry', *Procedia Computer Science*: 426-33.
- Baigvand, Mehrdad , Ahmad Banakar, Saeed Minaei, Jalal Khodaei, and Nasser Behrooz Khazaei. 2015. 'Machine vision system for grading of dried figs', *Computers and Electronics in Agriculture*: 158-65.
- Beyerer, Jürgen, Fernando Puente León, and Christian Frese. 2016. *Machine Vision* (Springer-Verlag Berlin Heidelberg).
- ElMasry, Gamal M., and Shigeki Nakauchi. 2016. 'Image analysis operations applied to hyperspectral images for non-invasive sensing of food quality e A comprehensive review', *Biosystems Engineering*: 53-82.
- Lee, Dah Jye, Robert Schoenberger, James Archibald, and Steve McCollum. 2008. 'Development of a machine vision system for automatic date grading using digital reflective near-infrared imaging', *Journal of Food Engineering*: 388-98.
- Manickavasagan, A., N. K. Al-Mezeini, and H. N. Al-Shekaili. 2014. 'RGB color imaging technique for grading of dates', *Scientia Horticulturae*: 87-94.
- Poonnoy, Poonpat, and Thinnaphop Chum-in. 2012. "Estimation of Sushi Shrimp Weight Using Image Analysis Technique and Non-linear Regression Models." In *International conference of agricultural engineering (CIGR-AgEng)*, 48-53. Valencia.
- Omid, Mahmoud, Mahmoud Soltani, Mohammad Hadi Dehrouyeh, Seyed Saeid Mohtasebi, and Hojat Ahmadi. 2013. 'An expert egg grading system based on machine vision and artificial intelligence techniques', *Journal of Food Engineering*: 70-77.
- Unay, Devrim, Bernard Gosselin, Olivier Kleyen, Vincent Leemans, Marie France Destain, and Olivier Debeir. 2011. 'Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision', *Computers and Electronics in Agriculture*: 204-12.
- Vithu, P., M. Tech., J. A. Moses, M. Tech., and Ph. D. 2016. 'Machine vision system for food grain quality evaluation: A review', *Trends in Food Science & Technology*: 13-20.
- Wu, Di, and Da Wen Sun. 2013. 'Colour measurements by computer vision for food quality control e A review', *Trends in Food Science & Technology*: 5-20.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายราชธานี ผดุงเจริญ
วัน เดือน ปีเกิด	28 มกราคม 2538 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ
ที่อยู่	228/87 หมู่บ้านรุ่งนภา2 ถนนรามคำแหง ซอยรามคำแหง194 แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี จังหวัดกรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	2559 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2560	- การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 3 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ในระหว่างวันที่ 3 - 5 มีนาคม 2560 ในหัวข้อเรื่อง “การ ออกแบบแผงอาหารทอดอย่างถูกสุขลักษณะ”
พ.ศ.2561	- การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28 (The 28th National Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference, TICHe 2018) ณ โรงแรมเอวัน เดอะ รอยัล ครุส พัทยา จังหวัดชลบุรี ในระหว่างวันที่ 8 - 9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ใน หัวข้อเรื่อง “การศึกษาลักษณะทางกายภาพของกึ่งขาวสดโดยใช้เทคนิคการ วิเคราะห์ภาพถ่าย”
พ.ศ.2562	- การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติครั้งที่ 5 ณ สุรสัมมนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในระหว่างวันที่ 28 - 29 มีนาคม 2562 ในหัวข้อเรื่อง “เครื่องต้นแบบสำหรับการคัดขนาดกึ่งขาวสดโดย ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่าย”
รางวัลที่ได้รับ	- รางวัลการนำเสนอภาคการประกวดโครงงานวิศวกรรมอาหาร ดีเด่น ในงาน ประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 3 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัด เชียงใหม่ ในระหว่างวันที่ 3 - 5 มีนาคม 2560 - รางวัลบทความวิจัยดีเด่น ในการนำเสนอบทความวิชาการระดับชาติ จาก การประชุมวิชาการวิศวกรรมอาหารแห่งชาติ ครั้งที่ 5 ณ สุรสัมมนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในระหว่างวันที่ 28 - 29 มีนาคม 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้