การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี

DETECTION OF FOREIGN BODIES IN GRAINS USING ACTIVE THERMOGRAPHY

วราวิช พรพิระ

WARAWICH PORNPHRA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-060-169

การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี

DETECTION OF FOREIGN BODIES IN GRAINS USING ACTIVE THERMOGRAPHY

วราวิช พรพระ

WARAWICH PORNPHRA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-060-169

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETECTION OF FOREIGN BODIES IN GRAINS USING ACTIVE THERMOGRAPHY

WARAWICH PORNPHRA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEER
KING MONGKUT,S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

KMITL-2015-EN-M-060-169

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี
Thesis Title Detection of Foreign Bodies in Grains Using Active Thermography
นักศึกษา นายวราวิช พรพระ
รหัสประจำตัว 54611613
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-060-169

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
ดร.เกียรติศักดิ์	รุ่นพระแสง	
ดร.ยุทธพงศ์	ทัพผดุง	
รศ.ดร.นวภัทรา	หนูนาค	
รศ.ดร.ทวีพล	ซื่อสัตย์	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพุธที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 11.00-13.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-303

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี
นักศึกษา	นายวราวิช พรพระ
รหัสประจำตัว	54611613
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี วิธีนี้อาศัยหลักการของการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีการถ่ายเทความร้อนที่ต่างกัน โดยระบบนี้ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพความร้อน แหล่งกำเนิดความร้อน สายพานสำหรับลำเลียงถาดตัวอย่าง ซึ่งควบคุมด้วยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ และคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลภาพถ่ายความร้อนแบบเวลาจริง โดยใช้ซอฟต์แวร์ซึ่งพัฒนาบน Microsoft Visual Studio โดยใช้ C# (Emgu CV Library) ในการทดลองได้ทำการตรวจจับหาสิ่งแปลกปลอม เช่น หิน ไม้ และพลาสติก ที่ปะปนอยู่ในเมล็ดถั่วแดง และถั่วลิสงได้แม่นยำ ซึ่งอัตราความถูกต้องในการคัดแยกอยู่ที่ 98% ยิ่งไปกว่านั้น การประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อนแบบเวลาจริงสามารถตรวจจับได้อย่างอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Detection of Foreign Bodies in Grains Using Active Thermography
Student	Mr.Warawich Pornphra
Student ID.	54611613
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Taweepol Suesut

ABSTRACT

This thesis presents the detection of foreign bodies in grains using active thermography. This method relies on the principle of radiation from the object that has the different heat transfer. This system consists of thermal image camera, heat source, the computer for the real time thermal images processing including the conveyor system controlled by PLC. The developed software was applied based on Microsoft Visual Studio using C# (EmguCV Library). The Experimental result found that the system could detect the foreign bodies such as rubble, wood and plastic that mixed in the red beans and peanuts as well. The classification rate was 98% of accuracy. Moreover, the real-time thermal images processing for foreign bodies detection can be done automatically.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จไปได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ไขปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.นวภัทรา หนูนาค ที่ให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ ให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัย และเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ของภาควิชาวิศวกรรมอาหารในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.ภาณุพล โขลนกระโทก ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการออกแบบและทำการทดลอง ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา รวมทั้งกำลังใจ

ขอขอบคุณ นายศิวกร สุขประเสริฐชัย นางสาวพรพิรุณ มงคลแถลง นางสาวเมธินี สงไทย ที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกด้านของการดำเนินการวิจัย และให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการออกแบบและทำการทดลอง ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา รวมทั้งกำลังใจ

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้องนักศึกษาภายใต้การควบคุมของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ ทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ คำแนะนำที่ดี และให้การช่วยเหลือต่างๆ

และขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ที่คอยให้การสนับสนุนในการศึกษาในทุกๆด้าน ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ความรัก ความห่วงใยและกำลังใจที่ดีมากเสมอมา

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านไม่มากก็น้อย และขออภัยมา ณ ทีนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใด

วราวิช พรพระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 3
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์ 3

บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 หลักการ ActiveThermography 4
2.1.1 Pulsed Thermography 4
2.1.2 Cavity Absorption Thermography 5
2.1.3 Lock-in Thermography 6
2.1.4 Thermo-Inductive Testing 6
2.2 สมบัติเชิงความร้อน (Thermal Properties) 7
2.2.1 ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Cp) 7
2.2.2 สัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อน (Emissivity) 7
2.3 การประมวลผลภาพ 9
สี (colour) 9
ระบบสี RGB 9
ระบบสี HSV 10
การแปลงระบบสี RGB เป็น HSV 11
ภาพ gray scale 12
Threshold 12
2.4 การแผ่รังสีความร้อน 13
คลื่นรังสีอินฟราเรด (Infrared : IR) 13
2.5 กล้องถ่ายภาพความร้อน 15
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

บทที่ 3 การออกแบบและวิธีดำเนินการวิจัย..... 19
3.1 ชุดอุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง..... 19
3.1.1 ชุดอุปกรณ์ 19
3.1.1.1 ชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุม..... 20
สายพานลำเลียง (Conveyor)..... 20
มอเตอร์ (Motor) 20
พีแอลซี (PLC)..... 20
เซนเซอร์ (Sensor)..... 21
หลอดไฟ halogen..... 21
3.1.1.2 ชุดการวิเคราะห์ภาพ..... 21
กล้องถ่ายภาพความร้อน(Thermal Camera)..... 22
กล้องเว็บแคม(webcam camera)..... 22
คอมพิวเตอร์ประมวลผล(Computer System)..... 23
3.1.2 ตัวอย่างและสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ในการทดลอง..... 23
(Sample and Foreign Bodies)
ถั่วแดง (Red Bean)..... 23
ถั่วลิสง (Peanut)..... 23
พลาสติก (Plastic)..... 24
ไม้ (wood)..... 24
หิน (Rubble)..... 24
3.2 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วย..... 25
เทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี
3.3 โปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับเมล็ดพืชด้วยซอฟต์แวร์).... 28
3.3.1 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนแบบระบบสี..... 28
3.3.2 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนแบบ gray scale..... 29
3.3.3 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนแบบ gray scale..... 31
เพื่อหาประสิทธิภาพเครื่องมือวัด

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 32
4.1 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมโดยใช้ภาพสี..... 32
4.2 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมโดยใช้ภาพ gray scale..... 38
4.3 การทดลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือวัด..... 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างความจุความร้อนจาเพาะของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช..... 7

2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช 8

4.1 ผลการทดลองแสดงการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืช (ถั่วแดง) และจำนวนสิ่ง... 50
แปลกปลอมในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ตามลำดับ

4.2 ผลการทดลองแสดงการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืช (ถั่วลิสง) และจำนวนสิ่ง... 51
แปลกปลอมในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ตามลำดับ

4.3 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมตรวจจับได้(ถั่วแดง-ไม้)..... 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การตรวจสอบรอยตะเข็บจากการเชื่อม	5
2.2	Cavity Absorption Thermography	5
2.3	Lock-in Thermography	6
2.4	Thermo-inductive Testing	6
2.5	แถบสีสเปคตรัม (Spectrum)	9
2.6	ระบบสี RGB	10
2.7	ค่าสีในระบบ HSV	11
2.8	ภาพ gray scale	12
2.9	Threshold Image	12
2.10	Contour	13
2.11	สเปคตรัมการแผ่รังสี	14
2.12	การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง	14
2.13	รังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง	15
2.14	ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ	16
2.15	การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร	17
2.16	การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรม	17
2.17	ภาพถ่ายทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม (1) เมล็ดอัลมอลล์กับหิน (2) ลูกเกดกับไม้	18
3.1	ระบบการทดลองของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช	19
3.2	สายพานลำเลียง	20
3.3	มอเตอร์ รุ่น GLM-18	20
3.4	พีแอลซี (PLC) Omron รุ่น C200HX	20
3.5	เซนเซอร์แสง รุ่น E3X-DA11	21
3.6	หลอดไฟ halogen 50-60 Hz 100W	21
3.7	กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Camera) Fluke รุ่น TI 400	22
3.8	กล้องเว็บแคม (Webcam Camera)	22
3.9	กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Camera) FLIR รุ่น A315	22
3.10	คอมพิวเตอร์ประมวลผล (Computer System)	23
3.11	ถั่วแดง (Red Bean)	23
3.12	ถั่วลิสง (Nut)	23
3.13	พลาสติก (Plastic)	24
3.14	ไม้ (wood)	24
3.15	หิน (Rubble)	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 ถาดการทดลองขนาด 10x10 ซม.	25
3.17 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี (การทดลองแบบระบบสี)	26 29
3.18 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี (การทดลองแบบ gray scale)	27
3.19 ตัวอย่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมในถาดใส่ตัวอย่าง	28
3.20 หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง	28
3.21 ภาพถ่ายความร้อนแบบ gray scale, threshold image, contour image	29
3.22 อัลกอริทึมซอฟต์แวร์การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี	30
3.22 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองถั่วแดงกับไม้	31
4.1 ภาพถ่ายทางความร้อนของ (1) ถั่วแดง (2) ถั่วลิสง โดยที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปน	32
4.2 ภาพถ่ายทางความร้อนของสิ่งแปลกปลอมที่ไม่มีเมล็ดพืชปะปน (1) ไม้ (2) พลาสติก (3) หิน.	33
4.3 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือพลาสติกที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้	34
4.4 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือไม้ที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้	35
4.5 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือหินที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้	35
4.6 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือพลาสติกที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้	36
4.7 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือไม้ที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้	37
4.8 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือหินที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้	37
4.9 ภาพถ่ายทางความร้อนของ (1) ถั่วแดง (2) ถั่วลิสง โดยที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปน แบบgray scale	39
4.10 ภาพถ่ายทางความร้อนของสิ่งแปลกปลอมที่ไม่มีเมล็ดพืชปะปน (1) ไม้ (2) พลาสติก และ(3) หิน แบบ gray scale	40
4.11 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือพลาสติกที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้ แบบ gray scale	41
4.12 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือไม้ที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้ แบบ gray scale	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.13 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือหินที่อัตราส่วนต่างๆ..... 42
และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้ แบบ gray scale

4.14 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือพลาสติกที่อัตราส่วนต่างๆ..... 43
และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้ แบบ gray scale

4.15 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือไม้ที่อัตราส่วนต่างๆ..... 44
และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้ แบบ gray scale

4.16 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือหินที่อัตราส่วนต่างๆ..... 44
และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้ แบบ gray scale

4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity กับ เวลาคายความร้อน ที่เวลาให้..... 45
ความร้อน 10 วินาที

4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity กับ เวลาคายความร้อน ที่เวลาให้..... 45
ความร้อน 15 วินาที

4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity กับ เวลาคายความร้อน ที่เวลาให้..... 46
ความร้อน 20 วินาที

4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity กับ เวลาคายความร้อน ที่เวลาให้..... 46
ความร้อน 25 วินาที

4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity กับ เวลาคายความร้อน ที่เวลาให้..... 47
ความร้อน 30 วินาที

4.22 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับไม้ 1 ชิ้น..... 53

4.23 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับไม้ 2 ชิ้น..... 53

4.24 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับไม้ 3 ชิ้น..... 54

4.25 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับไม้ 4 ชิ้น..... 54

4.26 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับไม้ 5 ชิ้น..... 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวกับเกษตรนั้น ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบหรืออาหารสำเร็จรูป ในกระบวนการผลิตผู้ผลิตย่อมที่จะต้องการให้วัตถุดิบที่ได้เหล่านั้นมีความสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอมเพื่อให้ได้คุณภาพและเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบนั้นๆ ในปัจจุบันคนให้ความสำคัญในเรื่องของการดูแลสุขภาพมากขึ้น มีการเลือกสรรวัตถุดิบที่มีประโยชน์ต่อร่างกายนำมาปรุงอาหาร เช่น เมล็ดพืชชนิดต่างๆที่อุดมด้วยคุณค่าถูกนำเอามาดัดแปลงเป็นอาหาร และเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่างๆ มากมาย[1] โดยเฉพาะเมล็ดพืชเป็นวัตถุดิบที่สำคัญที่นำไปใช้เพื่อการแปรรูปอาหารเป็นแป้ง แล้วนำไปแปรรูปต่อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เพราะฉะนั้นในกระบวนการผลิตหรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเมล็ดพืชจึงจำเป็นอย่างมากที่จะต้องคำนึงถึงความสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอม ซึ่งสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ในวัตถุดิบเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น การเก็บเกี่ยว การขนส่ง การเก็บรักษา เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ทำให้มีสิ่งแปลกปลอมปะปนเข้ามาในเมล็ดพืชได้ทำให้มีผลในด้านคุณภาพของวัตถุดิบลดลง

วิธีการดั้งเดิมในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากวัตถุดิบคือการใช้กำลังคนในการคัดแยก แต่ปัจจัยทางด้านกายภาพของแต่ละบุคคลทำให้มีผลในการคัดแยกเช่น เพศ อายุ สภาพแวดล้อมในการทำงาน เป็นต้น[2] หรือวิธีการคัดแยกในทางเชิงกลบางวิธี เช่น การใช้ตะแกรงร่อน ไม่สามารถแยกวัตถุดิบที่มีลักษณะทางกายภาพดังเช่นขนาดที่ใกล้เคียงกันได้[3] และส่วนของวิธีการคัดแยกหรือการตรวจสอบแบบไม่สัมผัสกับวัตถุดิบมีหลากหลายวิธี เช่น วิธีการคัดแยกสี (color sorter) เป็นวิธีการคัดแยกด้วยสีที่ผิวของวัตถุ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อคัดแยกวัสดุที่มีสีแตกต่างกันออกจากกัน โดยใช้การถ่ายภาพและวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image processing) เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ แต่สำหรับวิธีนี้ยังคงมีข้อจำกัดคือไม่สามารถแยกวัตถุที่มีสีคล้ายคลึงกันได้อย่างชัดเจน ทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจสอบหรือคัดแยกลดลง ทั้งนี้เพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการวัตถุดิบที่มีความสะอาดและได้คุณภาพต่อผู้บริโภค ปัจจัยในด้านความสะอาดและคุณภาพในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับสินค้าเพื่อบริโภคย่อมเป็นปัจจัยสำคัญและมีความจำเป็นอย่างมาก

วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายเป็นวิธีหนึ่งที่ไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อวัตถุดิบทั้งทางด้านคุณภาพและกายภาพ โดยทั่วไปมีการนำเทคนิค Active thermography ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอาหารหรือด้านอื่นมากมาย เช่น การนำไปตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในอาหารโดยใช้หลักการถ่ายภาพความร้อน[4] นำหลักการ Active thermography ไปใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวและรอยต่อของอิฐ[5] และนำหลักการถ่ายภาพความร้อนไปตรวจจับรอยชำรุดในวัสดุที่เป็นไม้[6] เป็นต้น งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อการวัดและการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Passive Thermography และ Active Thermography ซึ่งวิธี Active Thermography เป็นวิธีที่ได้เลือกนำมาทดสอบ วิธีการประยุกต์ในการใช้ระบบนี้โดยทั่วไปแล้วจะต้องมีแหล่งกระตุ้นความร้อนจากภายนอก (Heat Source) มาเป็นแหล่งให้ความร้อนกับวัตถุที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำการตรวจสอบ ซึ่งตัวอย่างที่จะนิยมใช้เป็นแหล่งกระตุ้นความร้อนสำหรับงานตรวจสอบแบบไม่ทำลาย คือ แสงจากหลอดไฟฮาโลเจน หลอดไฟซีนอน แสงเลเซอร์ กระแสไฟฟ้าหมุนวน หรืออัลตราโซนิค เป็นต้น สำหรับวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธี Active thermography นี้จะมีด้วยกันอยู่หลายวิธี เช่น วิธี lock-in infrared thermography การทดสอบด้วยวิธีนี้มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีอื่นเนื่องจาก แหล่งให้ความร้อนจะต้องป้อนเป็นลักษณะคาบเวลา เช่น สัญญาณไซน์ ผ่านไปยังอุปกรณ์กระตุ้นความร้อน เช่น หลอดไฟที่ให้ความร้อน หรือ อัลตราโซนิค จากนั้นวัดผลตอบสนองในรูปแบบของเฟส (Phase) และ แมกนิจูด (Magnitude) จากภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน ในภาพของเฟสสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของเวลาในการแพร่ความร้อน และความผิดปกติบนพื้นผิวได้ วิธี Pulse thermography วิธีนี้เป็นวิธีการให้ความร้อนจากแหล่งกระตุ้นเพียงแค่ระยะเวลาสั้น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัสดุ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Cp) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) และสำหรับความร้อนที่ให้ไปถ้าเป็นโลหะจะมีค่าการนำความร้อนสูงซึ่งให้ความร้อนในช่วงมิลลิวินาที แต่ถ้าวัสดุเป็นพลาสติกหรืออโลหะจะให้ความร้อนในช่วงวินาที ซึ่งค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) หรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็นสมบัติเชิงความร้อน (thermal properties) ของวัสดุ ที่บ่งบอกถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อนโดยการนำความร้อน (conduction) ของวัสดุต่างๆ ซึ่งเป็นการส่งผ่านความร้อนภายในโมเลกุลของวัสดุ จากโมเลกุลที่ระดับพลังงานสูงกว่า ไปยังระดับที่ต่ำกว่า ของแต่ละวัสดุก็จะไม่เท่ากัน[7]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืช

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบและพัฒนาระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอม (พลาสติก, ไม้ และหิน) ที่ปะปนในเมล็ดถั่วแดงและถั่วลิสงด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี
2. ออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานตัวอย่าง (ถั่วแดง, ถั่วลิสง, พลาสติก, ไม้ และหิน) และออกแบบระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน
3. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดถั่วแดงและถั่วลิสงด้วย Microsoft Visual Studio (Visual C#) โดยใช้ Emgu CV Library

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาการทำงานของระบบโปรแกรมที่ควบคุมได้แบบตรรก
2. ศึกษาการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน
3. ศึกษาการประมวลผลภาพด้วยวิธีการใช้ภาพถ่ายทางความร้อน
4. ออกแบบและพัฒนาระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดถั่วแดงและถั่วลิสงด้วย Microsoft Visual Studio (Visual C#) โดยใช้ Emgu CV Library

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถออกแบบและพัฒนาระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟีได้

2. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชได้

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่สนใจเพื่อนำมาสู่งานวิจัยวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่มีความสำคัญต่องานวิจัยนี้ ทั้งทฤษฎีของหลักการแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี ค่าความจุความร้อน สัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อน การประมวลผลภาพ หลักการสี และทฤษฎีหลักการเครื่องมือวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อน

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและวิธีดำเนินการวิจัย อุปกรณ์ในการทำงานของระบบที่ออกแบบและการทำงานของระบบ การทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและวิจารณ์ ซึ่งแสดงผลการทดลองในการทดสอบการทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี รวมทั้งวิจารณ์ผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ เป็นการสรุปผลการทดลองทั้งหมดที่ได้จากงานวิจัย รวมทั้งข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่สามารถนำไปใช้ประกอบการพัฒนาในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

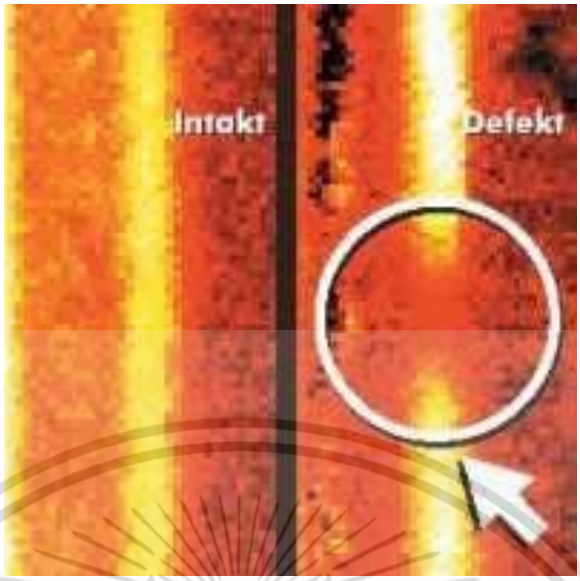
2.1 หลักการ Active Thermography

วิธีการประยุกต์ในการใช้ระบบนี้โดยทั่วไปแล้วจะต้องมีแหล่งกระตุ้นความร้อนจากภายนอก (Heat Source) มาเป็นแหล่งให้ความร้อนกับวัตถุที่จะทำการตรวจสอบ ซึ่งตัวอย่างที่จะนิยมใช้เป็นแหล่งกระตุ้นความร้อนสำหรับงานตรวจสอบแบบไม่ทำลาย คือ แสงจากหลอดไฟฮาโลเจน หลอดไฟซีนอน แสงเลเซอร์ กระแสไฟฟ้าหมุนวน หรือ อัลตราโซนิค เป็นต้น สำหรับวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธี Active thermography นี้จะมีด้วยกันอยู่หลายวิธี เช่น วิธี lock-in infrared thermography การทดสอบด้วยวิธีนี้มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีอื่นเนื่องจาก แหล่งให้ความร้อนจะต้องป้อนเป็นลักษณะคาบเวลา เช่น สัญญาณไซน์ ผ่านไปยังอุปกรณ์กระตุ้นความร้อน เช่น หลอดไฟที่ให้ความร้อน หรือ อัลตราโซนิค จากนั้นวัดผลตอบสนองในรูปแบบของเฟส (Phase) และแมกนิจูด (Magnitude) จากภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน ในภาพของเฟสสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของเวลาในการแพร่ความร้อนและความผิดปกติบนพื้นผิวได้ วิธี Pulse thermography วิธีนี้เป็นวิธีการให้ความร้อนจากแหล่งกระตุ้นเพียงแค่ระยะเวลาสั้น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัสดุ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Cp) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) และสำหรับความร้อนที่ให้ไปถ้าเป็นโลหะจะมีค่าการนำความร้อนสูงซึ่งให้ความร้อนในช่วงมิลลิวินาที แต่ถ้าวัสดุเป็นพลาสติกหรืออโลหะจะให้ความร้อนในช่วงวินาที ซึ่งค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) หรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นสมบัติเชิงความร้อน (thermal properties) ของวัสดุ ที่บ่งบอกถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อนโดยการนำความร้อน (conduction) ของวัสดุต่างๆ ซึ่งเป็นการส่งผ่านความร้อนภายในโมเลกุลของวัสดุ จากโมเลกุลที่ระดับพลังงานสูงกว่าไปยังระดับที่ต่ำกว่า ของแต่ละวัสดุก็จะไม่เท่ากัน

2.1.1 Pulsed Thermography

วิธีนี้ใช้การกระตุ้นด้วยความร้อนเป็นเวลาสั้นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัสดุ เช่น พวกเหล็กมีค่าการนำความร้อนสูงใช้เวลาเพียงไม่กี่มิลลิวินาที สวนวัสดุประเภทพลาสติกหรืออโลหะใช้เวลาเป็นวินาที ตัวอย่างการใช้งานในการทดสอบตะเข็บรอยเชื่อม (Weld Seam Testing) ซึ่งสามารถออกแบบระบบตรวจสอบให้เป็น in-line quality control ได้ในแบบอัตโนมัติเพื่อใช้ในการหารอยเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ รูปที่ 2.1 นั้นแสดงให้เห็นว่า รอยเชื่อมที่ดีต้องมีการประติดประต่อกันตลอดแนว ซึ่งในการทดสอบนี้ภาพถ่ายความร้อนที่ได้ถูกนำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้การประมวลผลภาพ (Image processing)

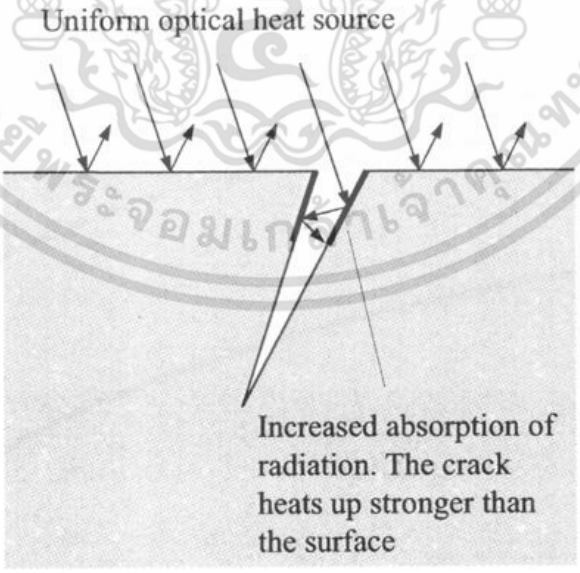
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การตรวจสอบรอยตะเข็บจากการเชื่อม

2.1.2 Cavity Absorption Thermography

วิธีนี้ใช้กับรอยแตกร้าวของโลหะที่เป็นช่องเปิดเนื่องจากค่า Emissivity และค่า Absorption ของช่องว่างที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าพื้นผิวปกติ ดังนั้นจึงทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่ามีรอยแตกร้าวเกิดขึ้น โดยบริเวณดังกล่าวจะมีลักษณะที่คล้ายกับว่ามีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นๆ วิธีนี้สามารถใช้ได้ทั้งแบบ Passive Thermography และ Active Thermography

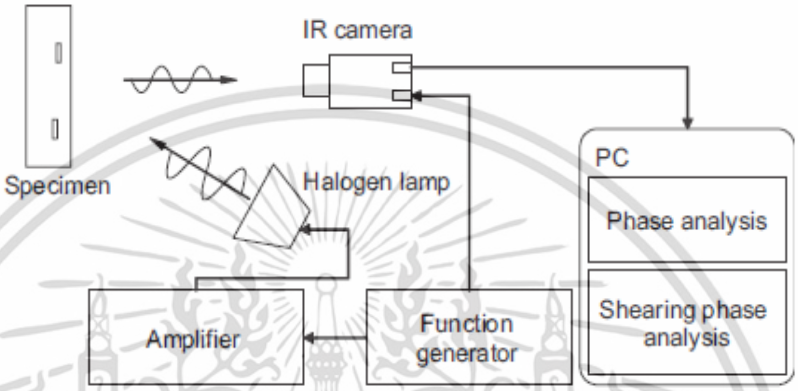


รูปที่ 2.2 Cavity Absorption Thermography

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 Lock-In Thermography

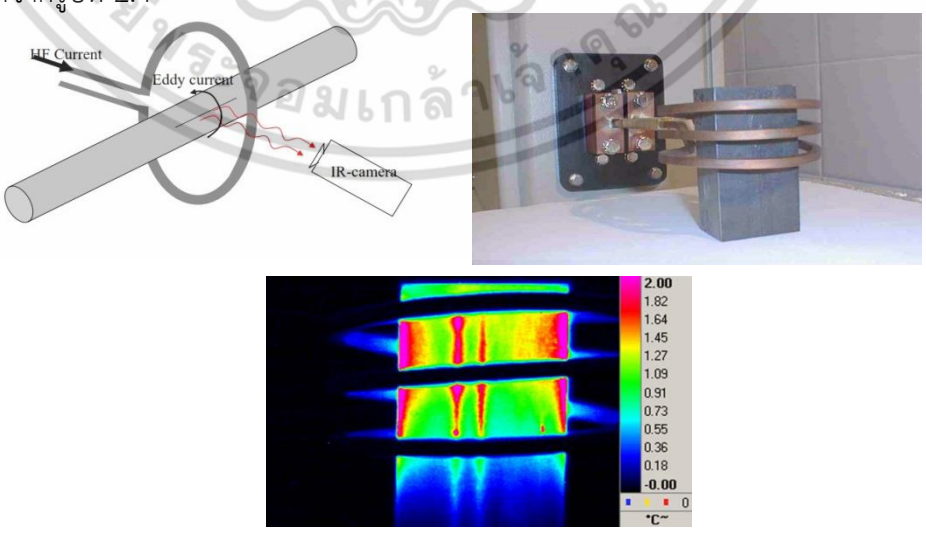
การทดสอบด้วยวิธีนี้มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีอื่น เนื่องจากแหล่งให้ความร้อนต้องป้อนเป็นลักษณะคาบเวลา เช่น สัญญาณไซน์ผ่านไปยังอุปกรณ์กระตุ้นความร้อน เช่น หลอดไฟฮีทเตอร์หรืออัลตร้าโซนิค จากนั้นวัดผลตอบสนองในรูปแบบของเฟส (Phase) และแมกนิจูด (Magnitude) จากภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนในภาพของเฟสสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของเวลาในการแผ่ความร้อนและความผิดปกติบนพื้นผิวได้ จากรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Lock-In Thermography

2.1.4 Thermo-inductive Testing

วิธีนี้อาศัยการกระตุ้นความร้อนเพียงเล็กน้อยกับเหล็กโดยใช้ กระแสหมุนวนหรือ Eddy Current โดยปกติแล้วการทดสอบผิวของโลหะใช้หลักการของ Eddy Current ในการตรวจสอบรอยแตกร้าวบนเนื้อโลหะ และใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจหาลักษณะรอยร้าวบนพื้นผิวโลหะ บริเวณที่มีรอยร้าวมีกระแสไหลมากกว่าปกติ จึงทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นดังเห็นได้จากรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Thermo-inductive Testing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมบัติเชิงความร้อน (Thermal Properties)

2.2.1 ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Cp)

ความจุความร้อนจาเพาะ (Specific Heat, Cp) คือ ค่าที่แสดงถึงคุณสมบัติในการรับความร้อนของวัตถุ โดยทั่วไปความจุความร้อนจำเพาะคือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุ มวล 1 หน่วย มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม 1 องศา มีหน่วยเป็น ปริมาณความ ร้อนต่อหน่วยมวลต่อหน่วยอุณหภูมิ เช่น แคลอรีต่อกรัมต่อองศาเซียลเซียส กิโลแคลอรี ต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส หรือจูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวิน สำหรับสมการของการหา พลังงานความร้อนที่วัตถุได้รับจะมีรูปทั่วไปแสดงดังสมการที่ 2.1 และตัวอย่างความจุ ความร้อนจำเพาะของวัสดุแสดงดังตารางที่ 2.1

$$q = m\int_{T_1}^{T_2} c_p dT \tag{2.1}$$

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างความจุความร้อนจาเพาะของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช

ชนิด	ค่าความจุความร้อน (kJ/kg K)	ที่มา
ไม้	1.26 – 2.9	[8]
หิน	0.46 – 0.9	[8]
ถั่วลิสง	1.926 – 2.912	[9]
ถั่วแดง	3.660 – 3.326	[10]
พลาสติก	1.731 ± 8.5	[11]

2.2.2 สัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อน (Emissivity)

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ (Emissivity, ε) คือ ค่าที่แสดงถึง ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ โดยมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของรังสีที่แผ่ ออกจากวัตถุกับรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุดำ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งสัมประสิทธ์การแผ่รังสี ความร้อนของวัตถุจริงใด ๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แต่วัตถุดำ (Black body) มี สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนเท่ากับ 1 เสมอ เนื่องจากวัตถุดำเป็นวัตถุทางอุดมคติ สำหรับการแผ่รังสีความร้อน มีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนได้สูงที่สุด และมีความสามารถในการดูดซึมรังสีที่มาตกกระทบทั้งหมดในทุกความยาวคลื่นและทุกทิศทาง ซึ่งสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ ลักษณะพื้นผิวของของวัตถุ และอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ [12] สำหรับการหาพลังงานการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุใด ๆ หรือวัตถุจริงจำเป็นต้องทราบสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุเพื่อป้อนให้กับกล้องถ่ายภาพความร้อน หากป้อนสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี ความร้อนได้ถูกต้องจะส่งผลให้อุณหภูมิที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนถูกต้องตามไปด้วย ซึ่งตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 โดยสามารถคำนวณพลังงานการแผ่รังสีอินฟราเรดได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E(T) = \varepsilon\sigma^{T_4} \quad (2.2)$$

โดยที่ σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟานโบลท์มานน์ มีค่าเท่ากับ 5.67×10^{-8} $W/m^2 \cdot K^4$

ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation) ของวัตถุที่อุณหภูมิใดๆ หรือค่าอัตราส่วนของพลังงานการแผ่รังสีความร้อน (emissive power) ของวัตถุใดๆ กับพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุดำ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ดังแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.3

$$\varepsilon(T) = \frac{E(T)}{E_b(T)} \quad (2.3)$$

โดยที่

E_b คือ ค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุดำ

E คือ ค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุใดๆ

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช

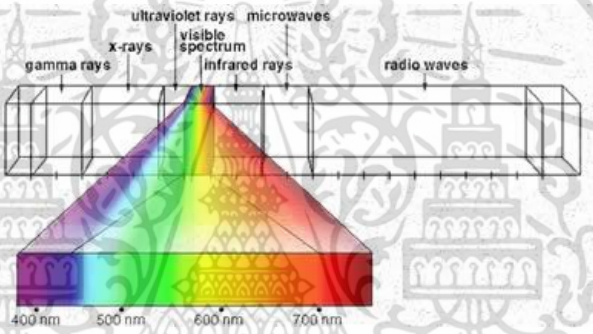
ชนิด	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน	ที่มา
เศษไม้	0.82-0.92	[13]
หิน	0.88-0.95	[14] [15] [16]
พลาสติก	0.84-0.86	[11]
ถั่วลิสง	0.92-0.96	[17]
ถั่วแดง	0.93-0.96	[18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การประมวลผลภาพ

สี (colour)

สีคือส่วนหนึ่งในธรรมชาติของแสงอาทิตย์ โดยให้ลำแสงส่องผ่านแท่งแก้วปริซึม แสงจะหักเห เพราะแท่งแก้วปริซึมความหนาแน่นมากกว่าอากาศเมื่อลำแสงหักเหผ่านปริซึมจะปรากฏแถบสีสเปคตรัม (Spectrum) หรือที่เรียกว่า สีรุ้ง (Rainbow) คือ สีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง แสดงดังรูปที่ 2.5 และเมื่อแสงตกกระทบโมเลกุลของสสาร พลังงานบางส่วนจะดูดกลืนสีจาก แสงบางส่วน และสะท้อนสีบางสีให้ปรากฏเห็นได้ พื้นผิววัตถุที่เราเห็นเป็นสีแดง เพราะ วัตถุดูดกลืนแสงสี อื่นไว้ สะท้อนเฉพาะแสงสีแดงออกมา วัตถุสีขาวจะสะท้อนแสงสีทุกสี และวัตถุสีดำ จะดูดกลืนทุกสี

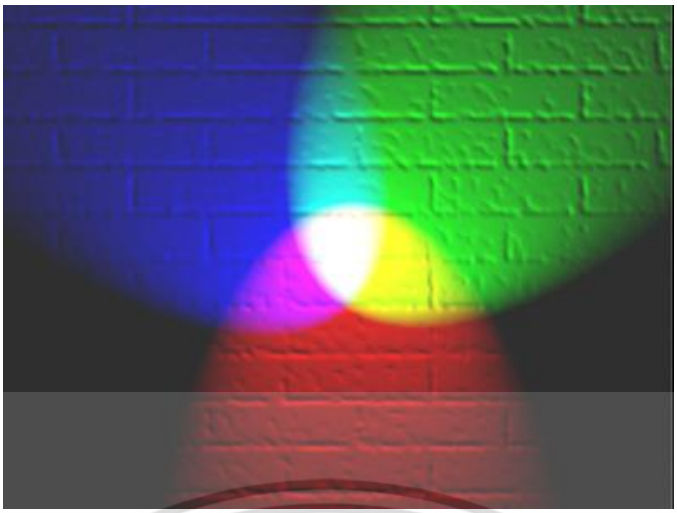


รูปที่ 2.5 แถบสีสเปคตรัม (Spectrum)

จากทฤษฎีการการหักเหของแสงของ ของนิวตัน และจากสามเหลี่ยมสี CIE พบว่า แสงสีเป็นพลังงานเพียง ชนิดเดียวที่ปรากฏสี จากด้านทั้ง 3 ด้านของรูปสามเหลี่ยมสี CIE นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดแม่สีของแสงไว้ 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) [19]

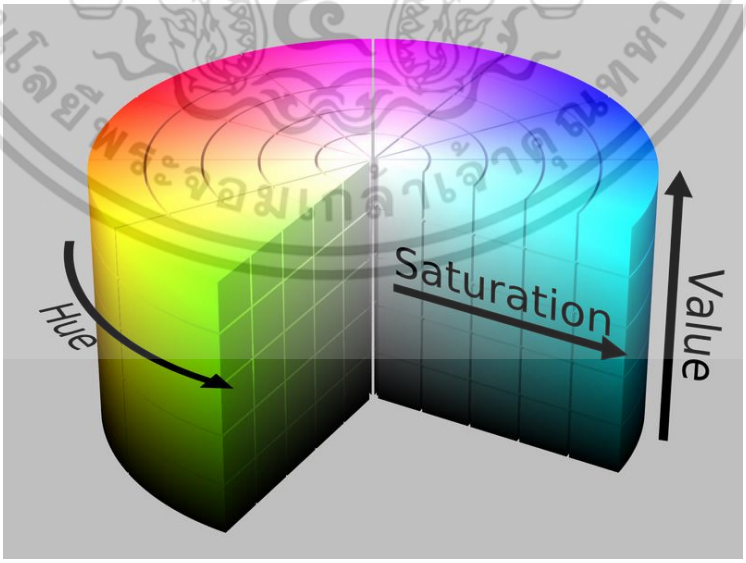
ระบบสี RGB คือ ระบบแสงสีมีพื้นฐานจากหลักการของการมองเห็นแสงสีและการผสมของ แสงสีในอัตราส่วนต่างๆ เป็นระบบสีที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยอาศัยหลักการการรวมแม่สีของแสงเข้า ด้วยกัน ได้แก่แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีเหลือง มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 225 เมื่อนำมาฉายรวมกัน จะทำให้เกิดสีใหม่อีก 3 สีคือ สีมาเจนต้า (Magenta) สีฟ้าไซแอน (Cyan) และสีเหลือง เมื่อฉาย แสงสีทั้งหมดรวมกันจะได้แสงสีขาว ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

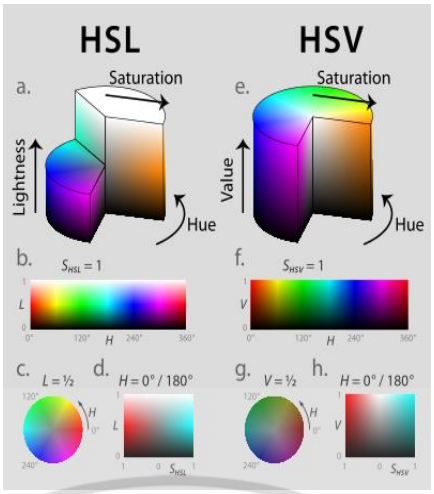


รูปที่ 2.6 ระบบสี RGB

ระบบสี HSV เป็นระบบสีที่อาศัยหลักการใช้ค่าของสี (Hue, H) ค่าความเข้มของเนื้อสีหรือค่าความบริสุทธิ์ของสี (Saturation, S) และ ค่าความสว่างของสี (Value, V) โดย Hue คือค่าสีหลัก เช่น สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 ถ้าเกิด ค่าของสีมีค่าเท่ากับ 0 จะแทนให้เป็นสีแดง และเมื่อค่าของสีมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนไป ตามความถี่สเปกตรัมของสีจนถึง 256 แล้วจะกลับมาเป็นสีแดงเช่นเดิมอีกครั้ง และสามารถแทน ให้อยู่ในรูปองศาได้คือ สีแดง มีค่าเท่ากับ 0 องศา สีเขียว มีค่าเท่ากับ 120 องศา และสีน้ำเงิน มีค่าเท่ากับ 240 องศา สำหรับค่าความเข้มของเนื้อสีหรือค่าความเข้มของเนื้อสีเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้น สีจะมีความเข้มมากขึ้นเรื่อยๆ และสุดท้ายค่าความสว่างของสีเมื่อมีค่าเพิ่มมากขึ้นภาพจะมีความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าสีในระบบ HSV สามารถแสดงได้ดังรูป ที่ 2.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ค่าสีในระบบ HSV

การแปลงระบบสี RGB เป็น HSV

เนื่องจากภาพที่นำมาใช้ในการประมวลผลนั้นเก็บค่าสีในระบบ RGB ซึ่งค่าสีที่อยู่ในระบบ RGB นั้นจะประกอบไปด้วยค่าสีค่าแสง และค่าความสว่างซึ่งจะมีความซับซ้อนใน การแยกแยะสีเนื่องจากมีค่าแสงและค่าความสว่างผสมอยู่ด้วยการแปลงระบบสีแบบ RGB ให้เป็นแบบ HSV เพื่อให้สามารถทำการแยกสีในกระบวนการทำเทรสโฮลด์ได้ดีกว่า โดยระบบสีแบบ RGB และ HSV สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ 2.3, 2.4 และ 2.5

R G B แทนค่าของสีในระบบ RGB มีค่าระหว่าง 0.0 – 1.0
H S V แทนค่าของสีในระบบ HSV
max = ค่าสูงสุดใน (R, G, B)
min = ค่าต่ำสุดใน (R, G, B)

$$v \leftarrow \{\max(R,G,B) \tag{2.3}$$

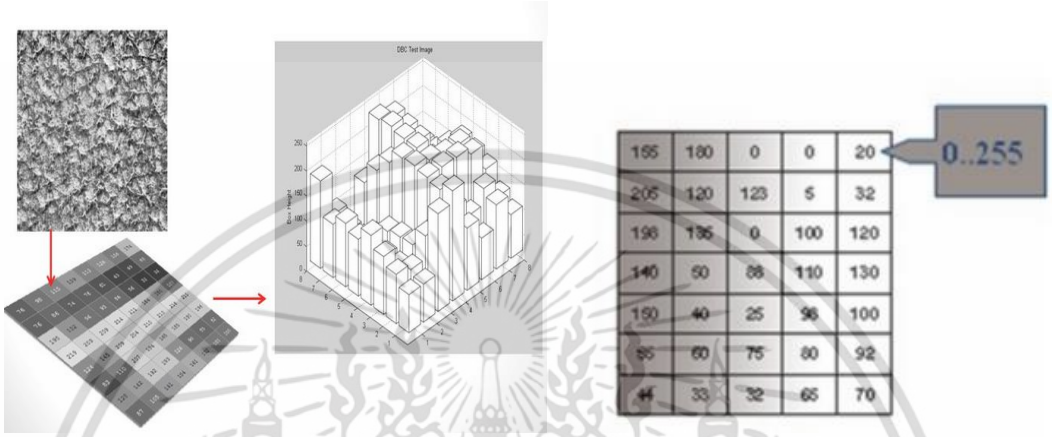
$$s \leftarrow \begin{cases} \dfrac{v-\min(R,G,B)}{v} & if \quad v \neq 0 \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{2.4}$$

$$H \leftarrow \begin{cases} 60(G-B)/(v-\min(R,G,B)) & if \quad v=R \\ 120+60(B-R)/(v-\min(R,G,B)) & if \quad v=G \\ 240+60(R-G)/(v-\min(R,G,B)) & if \quad v=B \end{cases} \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพ gray scale

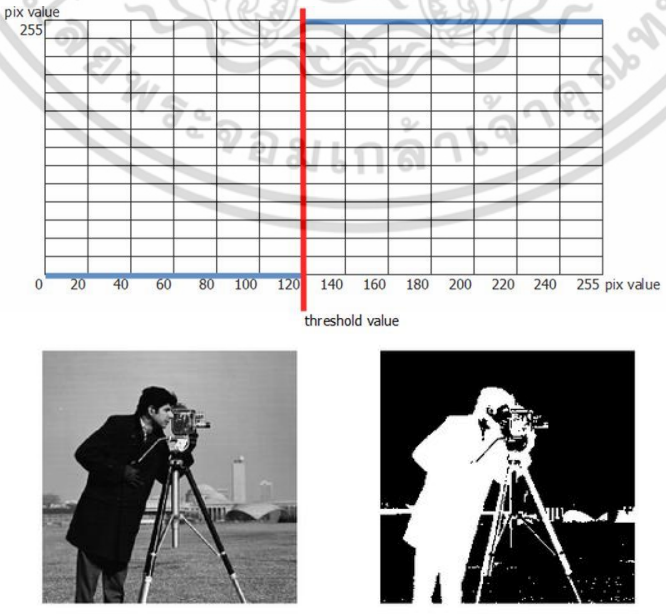
ภาพ gray scale หรือภาพระดับเฉดสีเทา คือความแตกต่างของระดับความเข้มแสง ในภาพนั้นๆ ซึ่งภาพ gray scale แบ่งระดับได้ทั้งหมด 256 ระดับ (0-255) ความเข้มหรือเป็นภาพ 8 บิทนั่นเอง โดยระดับสีสว่างหรือสีขาวแทนด้วยเลข 255 และระดับสีมืดหรือสีดำแทนด้วยเลข 0 ส่วนค่าระหว่าง 0-255 ก็คือระดับเฉดของสีเทาดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ภาพ gray scale

Threshold (เทรสโฮล)

การเทรสโฮลเป็นกระบวนการแปลงภาพสีให้มีการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับคือ ขาวและดำ โดยจะแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพไบนารี (Binary image) มีกระบวนการแปลงภาพที่มีความเข้มหลายระดับเป็นภาพที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับหรือ 1 บิท คือ 0 และ 1 ดังรูปที่ 2.9

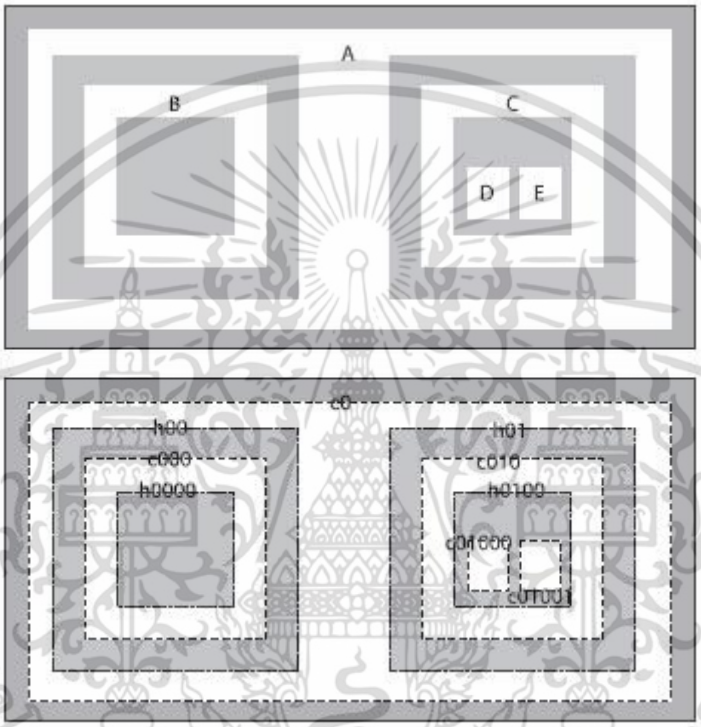


รูปที่ 2.9 Threshold image

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contour

contour คือ list ของจุดที่แทน curve ในรูปภาพ ในกรณีของ Contour ใน OpenCV จะเก็บไว้ใน sequence ในภาพที่ 2.10 เป็นภาพที่เราต้องการหา contour ซึ่งประกอบด้วยส่วน A-E ส่วนด้านล่างคือ contour ที่ OpenCV หามาได้ (โดยฟังก์ชัน FindContours) ซึ่งกำกับไว้ด้วยคำว่า cX หรือ hX โดย c หมายถึง contour, h หมายถึง hole ตัวที่เป็นเส้นประ เป็น exterior boundaries ของพื้นที่สีขาว (ที่ไม่ใช่ 0 ก็คือกรอบของพื้นที่ขาว) ตัวเส้นจุดนั้นเป็น interior boundaries ของพื้นที่สีขาว หรือ exterior boundary ของพื้นที่ดำ



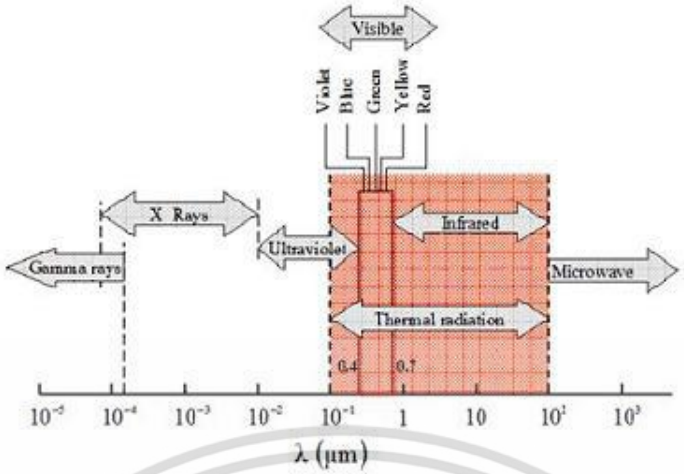
รูปที่ 2.10 Contour

2.4 การแผ่รังสีความร้อน

คลื่นรังสีอินฟราเรด (Infrared : IR) หรือคลื่นรังสีความร้อนนั้นเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์ โดยการทดลองวัดอุณหภูมิของแถบสีรุ้งจากปริซึมโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เลื่อนจากแถบสีม่วงไปยังสีแดง อุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมีค่าสูงสุดที่แถบสีแดง ซึ่งขอบเขตดังกล่าวเรียกว่า “อินฟราเรด” ซึ่งผู้ค้นพบหลักการนี้คือนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ Sir. William Herschel

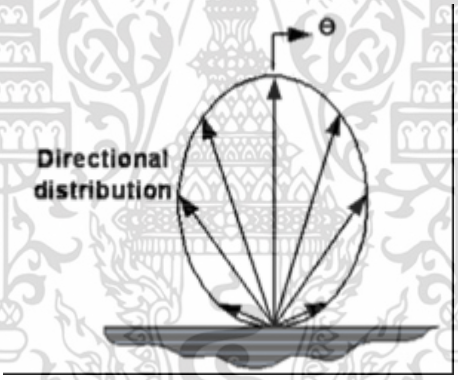
วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (Absolute Zero หรือ - 273.15°C หรือ 0 K) จะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมา สำหรับกลไกของการแผ่รังสีความร้อนเกิดจากการสั่น (Oscillations) และการเคลื่อนที่ (Transition) ของอิเล็กตรอนซึ่งประกอบกันเป็นสสาร วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนจะสั่นหรือเคลื่อนที่มาก ส่งผลให้พลังงานภายในวัตถุมีค่าสูง กล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับอุณหภูมิ และรังสีความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 0.1 ไมโครเมตร ถึง 100 ไมโครเมตร [20] แสดงดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 สเปคตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆ[21]

โดยความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนออกจากวัตถุใด ๆ มีค่าสูงสุดที่มุม θ เท่ากับ 0 องศา แสดงดังรูปที่ 2.12 [12][22]

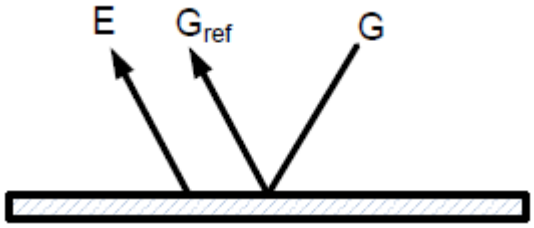


รูปที่ 2.12 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง [12]

รังสีความร้อนทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง (Radiosity, J) ประกอบด้วยรังสีที่เกิดจากวัตถุเอง (Emission, E) และรังสีจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือจากวัตถุอื่นมากระทบและสะท้อนออกจากวัตถุ ($G_{\lambda,ref}$) แสดงในรูปที่ 2.13 ดังนั้น Radiosity ที่ออกมาจากวัตถุดังสมการที่ 2.6

$$J = E + G_{\lambda,ref} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 รังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง[12]

โดยภาพถ่ายความร้อนเป็นภาพที่ได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด (Infrared region) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 1-100 ไมโครเมตร โดยแบ่งย่านรังสีอินฟราเรดออกเป็น 5 ช่วงตามช่วงของความยาวคลื่นดังนี้ ช่วง NIR (Near-IR: 0.75-2.5 μm) ช่วงคลื่นสั้น (1.4-3 μm) ช่วงกลาง (3-8 μm) ช่วงคลื่นยาว (8-15 μm) และช่วงไกล (Extreme: 15-100 μm) โดยรังสีอินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นถึง ช่วงคลื่นยาว นิยมใช้วัดอุณหภูมิ หรือตรวจสอบการแผ่รังสีของวัตถุ[12]

2.5 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Camera)

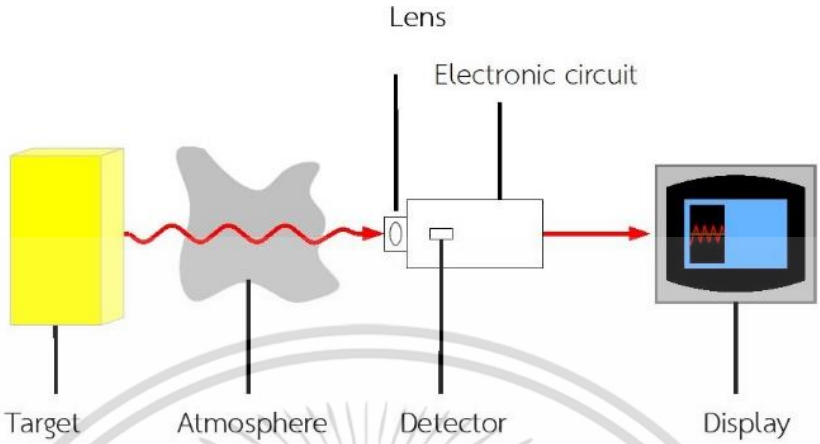
กล้องถ่ายภาพความร้อน (thermal image camera หรือ thermal imager หรือ TI - camera) หรือกล้องถ่ายภาพอินฟราเรด หรือ กล้องอินฟราเรด (infrared thermography) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ ทำงานโดยอาศัยหลักการแผ่รังสีอินฟราเรด (infrared radiation) ออกจากวัตถุซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัสไม่ทำลายวัตถุและเป็นการวัดอุณหภูมิแบบพื้นที่ ส่วนประกอบที่สำคัญของกล้องถ่ายภาพความร้อน ประกอบด้วย เลนส์ (lens), ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรด (infrared detector) หรือเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรด (Infrared sensor), วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic circuit) และส่วนแสดงผล (display)

หลักการทำงานมีดังนี้ ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรด ทำหน้าที่รับรังสีอินฟราเรด (infrared) ที่แผ่ออกจากวัตถุเป้าหมาย (target) ผ่านเลนส์ของเครื่องมือวัด (instrument) แล้วแปลงรังสีอินฟราเรดเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า โดยที่รังสีอินฟราเรดที่ตัวตรวจจับรับไปนั้นประกอบด้วย รังสีที่วัตถุเป้าหมายแผ่ออกมารวมกับรังสีที่แผ่จากวัตถุอื่นหรือจากสิ่งแวดล้อมสะท้อนออกจากผิวของวัตถุเป้าหมาย (ตามทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน: Theory of thermal radiation) จากนั้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่รับมาจากตัวตรวจจับ และนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล ซึ่งอาจแสดงผลออกมาในรูปแบบของตัวเลข สี หรือกราฟ หรือทั้ง 3 รูปแบบ

กล้องถ่ายภาพความร้อนประกอบด้วยเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดหลายตัว แต่ละตัวแสดงผลออกมาในรูปแบบของสีที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิของจุดนั้นๆ โดยทั่วไป สีแดงแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงและสีน้ำเงินแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือโทนสีสว่างแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และโทนสีมืดแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ผลของแต่ละจุดที่ได้จากเซนเซอร์แต่ละตัว เมื่อนำมารวมกันประกอบขึ้นเป็นภาพ เรียกว่า “ภาพถ่ายความร้อน” (thermal image)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการแปลงรังสีอินฟราเรดที่เซนเซอร์ตรวจจับได้ให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิ อาศัยกฎของ Planck (Planck's law) และกฎของ Stefan-Boltzmann (Stefan-Boltzmann's law)



รูปที่ 2.14 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ[12]

ความถูกต้อง (accuracy) ของอุณหภูมิที่วัดได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนขึ้นอยู่กับ

1) ชนิดและลักษณะพื้นผิวของวัตถุเป้าหมายหรือวัตถุที่ต้องการวัดอุณหภูมิ
2) ระยะห่างระหว่างเครื่องมือวัดและวัตถุเป้าหมาย โดยค่าความคลาดเคลื่อน (error) อาจ เกิดจากการเคลื่อนที่ของรังสีผ่านตัวกลาง เช่น อากาศที่มี ไอ ควัน ก๊าซหรือฝุ่นละอองกระจายอยู่ สิ่งต่างๆ เหล่านี้ดูดซึมพลังงานบางส่วนจากรังสีก่อนถึงตัวเครื่องมือวัด ทำให้พลังงานที่เซนเซอร์ (sensor) ตรวจจับได้มีค่าลดลง ค่าที่วัดได้จึงคลาดเคลื่อน
3) พื้นที่การวัด หรือ ค่าขอบเขตการมองเห็นวัตถุ (field of view, FOV) ของกล้องถ่ายภาพ ความร้อน

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่

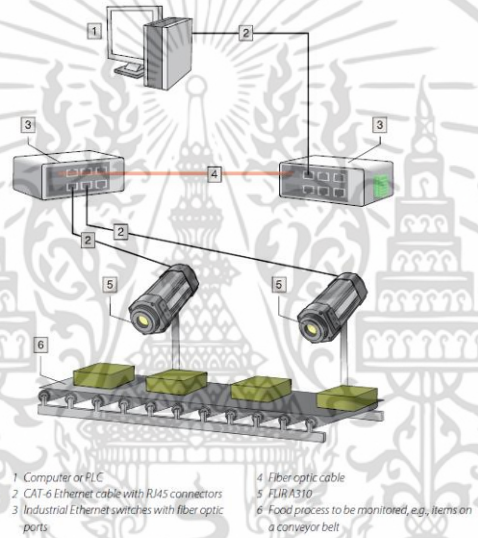
1. การตรวจสอบสภาพของฉนวนความร้อน เช่น ฉนวนห้องเย็น (cold storage) หรือห้องแช่แข็ง (freezer) ฉนวนหุ้มหม้อฆ่าเชื้อ (retort) และฉนวนหุ้มท่อไอน้ำด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งสามารถใช้ตรวจหาความผิดปกติได้อย่างรวดเร็ว โดยแสดงผลเป็นภาพถ่ายความร้อน ตัวอย่างการแปลผลการตรวจสอบสภาพฉนวนห้องเย็นด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ได้แก่ การถ่ายภาพความร้อนจากภายนอกห้องเย็นแล้วปรากฏพื้นที่บางบริเวณของผนังมีอุณหภูมิต่ำกว่าผนังส่วนอื่น หรือการถ่ายภาพความร้อนภายในห้องเย็นแล้วปรากฏพื้นที่บางบริเวณมีอุณหภูมิสูง สามารถแปลผลได้ว่าอาจเกิดการเสื่อมสภาพของฉนวนที่บริเวณนั้น

2. การตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ ที่อยู่ในกระบวนการผลิตด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนเป็นการตรวจสอบแบบพื้นที่ โดยความผิดปกติที่เกิดขึ้นอาจแสดงในรูปของเฉดสีแดงปรากฏในภาพถ่ายความร้อน อย่างไรก็ตามการแปลผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเพื่อประเมินความผิดปกติดังกล่าวควรอาศัยข้อมูลอื่นเพิ่มเติมเพื่อประกอบการตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวัดอุณหภูมิของผู้ปฏิบัติงานในสายการผลิตอาหารด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัส ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารหากผู้ปฏิบัติงานมีการเจ็บป่วยโดยไม่แสดงอาการให้สังเกตเห็น สามารถใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิช่วยตรวจสอบได้ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรคจากคนไปสู่อาหาร โดยนิยมใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน หรือเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด (infrared thermometer) เนื่องจากสามารถวัดได้อย่างรวดเร็วโดยที่ผู้ตรวจไม่ต้องสัมผัสกับผู้ป่วย

4. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการแปรรูปโดยติดตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อนที่บริเวณปลายสายพานลำเลียง (conveyor) เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของชิ้นอาหารหากพบว่ามีอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำชิ้นอาหารที่มีปัญหาออกได้ทันที หรือหากพบว่าความผิดปกติอยู่ที่เครื่องจักรที่ใช้แปรรูป ผู้ปฏิบัติงานสามารถหยุดการปฏิบัติงานได้ทันทีเช่นกัน โดยไม่ต้องสูญเสียเวลาและสิ้นเปลืองวัตถุดิบ



รูปที่ 2.15 การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร[26]

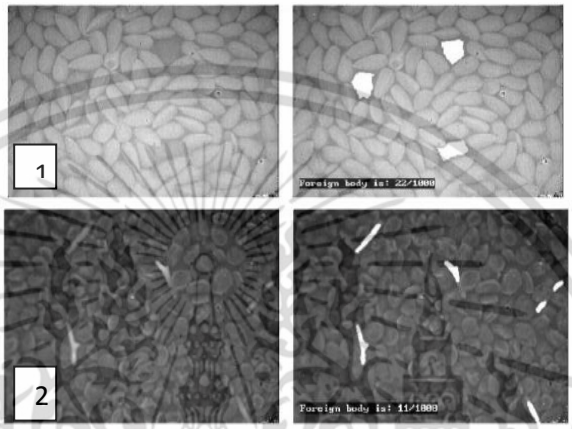
รูปที่ 2.16 การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรม[27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อน

Ginesu et al. [4] งานวิจัยนี้ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับเมล็ดอัลมอลล์ ลูกเกด และถั่วลิสง โดยอาศัยหลักการความแตกต่างของพลังงานที่กล้องได้รับระหว่างเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอม เนื่องจากสมบัติทางความร้อนของวัสดุมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งสิ่งแปลกปลอมที่ใช้คือ กระดาษแข็ง หิน เปลือกไม้ และโลหะเล็กๆ



รูปที่ 2.17 ภาพถ่ายทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม (1) เมล็ดอัลมอลล์กับหิน (2) ลูกเกดกับไม้

Emekei et al. [23] ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบแมลงในระยะการฟักตัว โดยอาศัยความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดพืชที่มีแมลงอยู่กับอัตราการหายใจของแมลงในแต่ละช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต

Chandra et al. [24] ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบแมลงที่ทำให้เมล็ดข้าวสาลีเกิดความเสียหายโดยอาศัยคลื่นสั้น เปรียบเทียบความแตกต่างของช่วงความยาวคลื่นและคุณสมบัติความแตกต่างของสี สามารถใช้ตรวจสอบแมลงได้แก่ ด้วงงวงข้าว มอดข้าวเปลือก ด้วงท้องแบน มอดแป้ง

Chelladurai et al. [25] ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบเชื้อราหลังการเก็บเกี่ยวโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างข้าวสาลีที่มีคุณภาพดีกับข้าวสาสีที่เกิดการติดเชื้อภาพถ่ายทางความร้อนสามารถใช้ในการตรวจสอบเชื้อราได้หลายชนิดและระบุเชื้อได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น Aspergillus glaucus และ Penicillium spp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

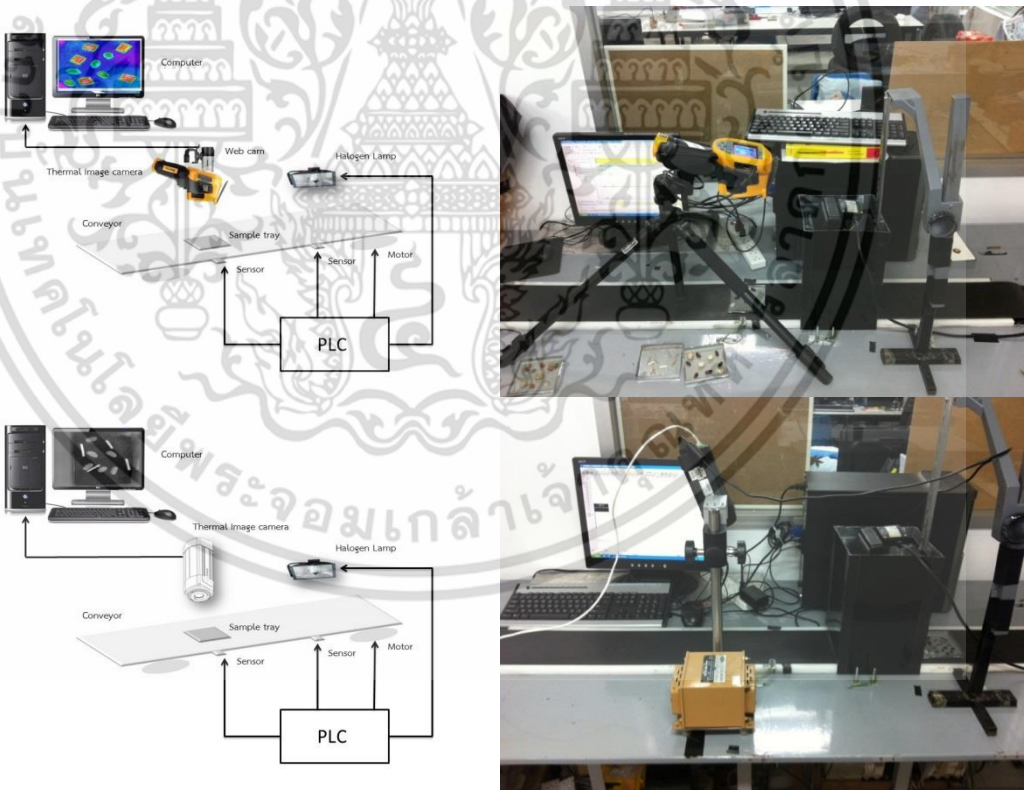
บทที่ 3
การออกแบบและวิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาวิจัยและการออกแบบชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุม และชุดการวิเคราะห์ภาพ เนื้อหาประกอบด้วย ชุดอุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ทดลองของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช

3.1 ชุดอุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ชุดอุปกรณ์

ชุดการทดลองของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุม และชุดการวิเคราะห์ภาพ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบการทดลองของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.1 ชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุม

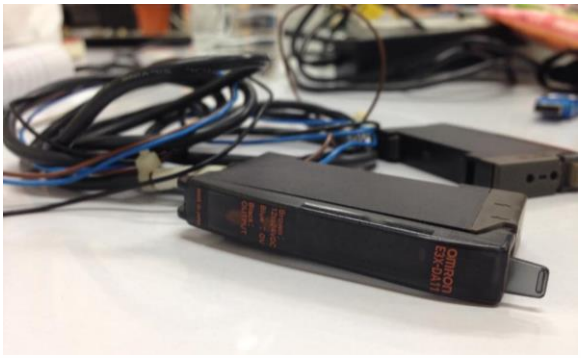
ชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุมประกอบไปด้วยสายพานลำเลียง (รูปที่ 3.2) กลุ่มตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เคลื่อนที่โดยมอเตอร์ยี่ห้อ nissei รุ่น GLM-18 220V 60Hz (รูปที่ 3.3) ที่ควบคุมการทำงานด้วยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ (Programable logic Controller; PLC) ยี่ห้อ Omron รุ่น C200HX (รูปที่ 3.4) ซึ่งมีสัญญาณขาเข้า (Input) คือ เซนเซอร์แสง ยี่ห้อ Omron รุ่น E3X-DA11 (รูปที่ 3.5) และสัญญาณขาออก คือ หลอดไฟ halogen 50-60 Hz 100W 200-240 VAC ที่ใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนกับตัวอย่าง (รูปที่ 3.6)

รูปที่ 3.2 สายพานลำเลียง

รูปที่ 3.3 มอเตอร์ รุ่น GLM-18

รูปที่ 3.4 พีแอลซี (PLC) Omron รุ่น C200HX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เซนเซอร์แสง รุ่น E3X-DA11

รูปที่ 3.6 หลอดไฟ halogen 50-60 Hz 100W

3.1.1.2 ชุดการวิเคราะห์ภาพ

ในการทดลองได้ทำการทดลองออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ การทดลองโดยระบบภาพสีและการทดลองโดยระบบภาพแบบ gray scale

การทดลองและวิเคราะห์ภาพโดยใช้ระบบภาพสีเมื่อตัวอย่างได้รับความร้อนจากระบบให้ความร้อนแล้ว จากนั้นใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke รุ่น TI 400 (รูปที่ 3.7) ซึ่งมีความละเอียด 320 x 240 พิกเซล รับรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 7.5-14 µm ช่วงการวัดอุณหภูมิ -20°C ถึง1,200°C ความไวต่ออุณหภูมิ (Thermal sensitivity) เท่ากับ 0.05 K ค่า FOV เท่ากับ 24 °H x 17°V ค่า IFOV เท่ากับ 1.31 mRad และความถูกต้องของการวัดเท่ากับ ±2°C ทำการถ่ายภาพวัตถุตัวอย่าง ซึ่งภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนจะมีลักษณะภาพที่เป็นเฉดสีต่างๆ จากนั้นนำกล้องเว็บแคม (รูปที่ 3.8) รับภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อนำภาพที่ได้ไปประมวลผลโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Camera) Fluke รุ่น TI 400

รูปที่ 3.8 กล้องเว็บแคม (Webcam Camera)

การทดลองและวิเคราะห์ภาพโดยใช้ระบบภาพแบบ gray scale เมื่อตัวอย่างได้รับความร้อนจากระบบให้ความร้อนแล้ว จากนั้นทำการรับภาพตัวอย่างที่ได้โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR รุ่น A315 (รูปที่ 3.9) ซึ่งมีความละเอียด 16-bit 320 x 240 พิกเซล 60 Hz รับรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 7.5-13 µm ช่วงการวัดอุณหภูมิ -20˚C ถึง 120˚C ความไวต่ออุณหภูมิ (Thermal sensitivity) น้อยกว่า 0.05 ˚C ค่า FOV เท่ากับ 25 °H x 18.8 °V ค่า IFOV เท่ากับ 1.36 mRad และความถูกต้องของการวัดเท่ากับ ±2°C เชื่อมต่อผ่านพอร์ต RJ-45 (IEEE 802.3) Gigabit Ethernet ไปยังคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 3.10) เพื่อประมวลผลภาพที่ได้ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยซอฟแวร์ Microsoft Visual Studio C#

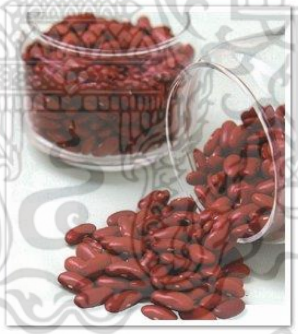
รูปที่ 3.9 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Camera) FLIR รุ่น A315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 คอมพิวเตอร์ประมวลผล (Computer System) ด้วยซอฟแวร์ Microsoft Visual Studio C#

3.1.2 ตัวอย่างและสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ในการทดลอง (Sample and Foreign Bodies)

ในการทดลองได้ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดพืช 2 ชนิด คือ ถั่วแดง และถั่วลิสง ยี่ห้อ tops และกำหนดสิ่งแปลกขึ้นมา 3 ชนิด ได้แก่ พลาสติก ไม้ และหิน (รูปที่ 3.11-3.15)



รูปที่ 3.11 ถั่วแดง

รูปที่ 3.12 ถั่วลิสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 พลาสติก

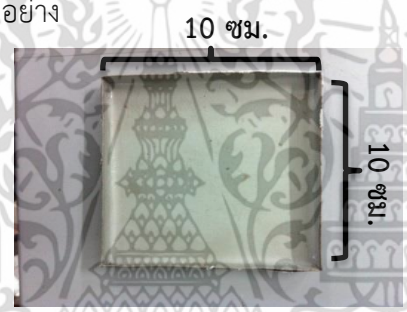
รูปที่ 3.14 ไม้

รูปที่ 3.15 หิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี

ในการทดลองได้นำตัวอย่างเมล็ดพืชมาทั้งหมด 2 ชนิด คือ ถั่วแดงและถั่วลิสง และสิ่งแปลกปลอมกำหนดขึ้นมา 3 ชนิด คือ ไม้ หิน และพลาสติก โดยในการทดลองกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนกันวางอยู่ในถาดทดลองขนาด 10x10 ซม. (รูปที่ 3.16) วางบนสายพานซึ่งเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ที่ถูกควบคุมจาก PLC ถาดทดลองเคลื่อนบนสายพานจนกระทั่งเซนเซอร์ตัวที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงความร้อน (halogen lamp) ตรวจจับได้ จากนั้นสายพานหยุดเพื่อให้ความร้อน 5 วินาที (การทดลองแบบระบบสี) และ 10 วินาที (การทดลองแบบ gray scale) ถาดกลุ่มตัวอย่างเคลื่อนที่จากตำแหน่งเซนเซอร์ตัวที่ 1 ไปยังเซนเซอร์ตัวที่ 2 ซึ่งเป็นตำแหน่งติดตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยใช้เวลา 3 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเย็นตัวลง (cooling) ของกลุ่มตัวอย่าง เมื่อเซนเซอร์ตัวที่ 2 ตรวจจับถาดได้ สายพานจะหยุด 1 วินาที เพื่อให้กล้องถ่ายภาพความร้อนทำการจับภาพกลุ่มตัวอย่าง



รูปที่ 3.16 ถาดทดลองขนาด 10x10 ซม.

การทดลองแบบระบบสี กลุ่มตัวอย่างที่ตรวจจับได้จะมีสีที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนที่แตกต่างกันของวัตถุ และใช้กล้อง webcam จับภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น Fluke Ti400 เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาจำนวนของสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในเมล็ดพืชด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Studio โดยใช้ภาษา C# (Emgu CV Library) ซึ่งอัลกอริทึมจะมีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี แสดงดังรูปที่ 3.17

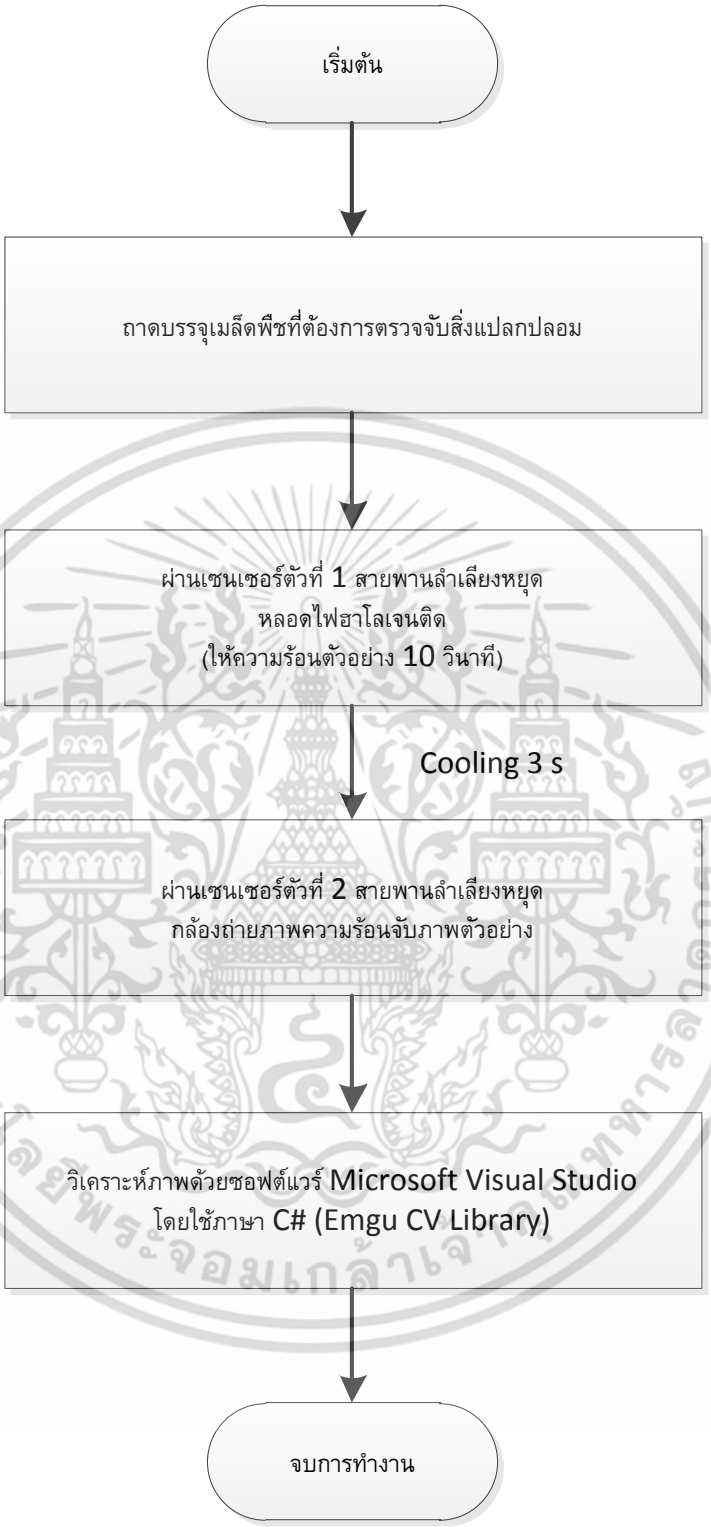
การทดลองแบบ gray scale กลุ่มตัวอย่างที่ตรวจจับได้จะมีระดับความเข้มของสีเทาแตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนที่แตกต่างกันของวัตถุ และใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น FLIR A315 จับภาพที่ได้เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาจำนวนของสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในเมล็ดพืชด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Studio โดยใช้ภาษา C# (Emgu CV Library) ซึ่งอัลกอริทึมจะมีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี แสดงดังรูปที่ 3.18

การทดลองหาประสิทธิภาพเครื่องมือวัด นำแนวทางการทดลองแบบ gray scale มาทำการทดลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบการทดลองและอัลกอริทึมของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี (การทดลองแบบระบบสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี (การทดลองแบบ gray scale)

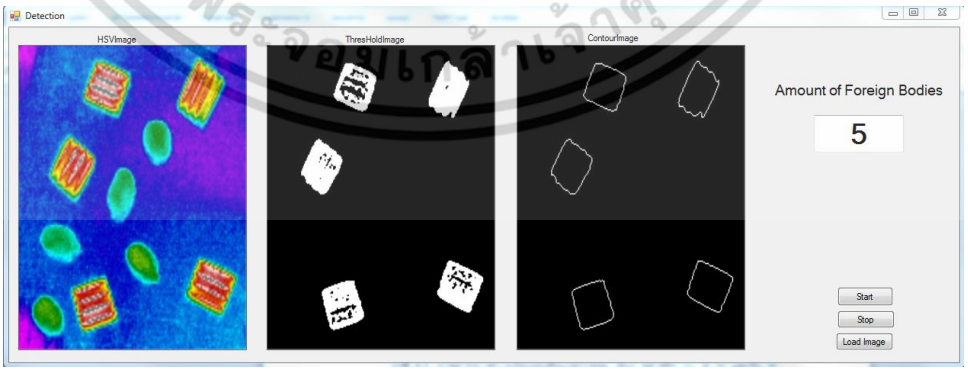
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับเมล็ดพืชด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Studio โดยใช้ภาษา C# (Emgu CV Library)

3.3.1 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนแบบระบบสี

การทดลองโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับเมล็ดพืชด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Studio โดยใช้ภาษา C# (Emgu CV Library) ด้วยภาพถ่ายทางความร้อน โดยการนำเมล็ดพืชมา 2 ชนิด คือ ถั่วแดงและถั่วลิสง และสิ่งแปลกปลอมกำหนดมา 3 ชนิด คือ ไม้ หิน และพลาสติก ใส่ในถาดทดลอง 10 เมล็ด เทียบเป็น 100 % โดยที่จะปรับอัตราส่วนการทดลองของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมดังนี้ 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 0:10 แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.19 และทำการวิเคราะห์ผ่านระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอม โดยที่ซอฟแวร์จะรับภาพจากกล้องเว็บแคมที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน ทำการเปลี่ยนระบบสีจาก RGB เป็น HSV ซึ่งภาพที่ได้จะมีโทนสีทั้งหมด 2 เฉดสี คือโทนสีเย็นคือสีฟ้า และโทนสีร้อนคือสีแดง จากนั้นจะทำการเทรสโฮล (Threshold) เฉพาะสีแดงซึ่งเป็นสีของสิ่งแปลกปลอมเมื่อได้รับความร้อนและผ่านการเย็นตัวลง จากนั้นซอฟแวร์จะทำการวาดเส้นขอบ (Contour) ให้กับวัตถุที่เทรสโฮลออกมาได้ เพื่อให้ซอฟแวร์ทำการวิเคราะห์นับจำนวนของสิ่งแปลกปลอม แสดงดังรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.19 ตัวอย่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมในถาดใส่ตัวอย่าง



รูปที่ 3.20 หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

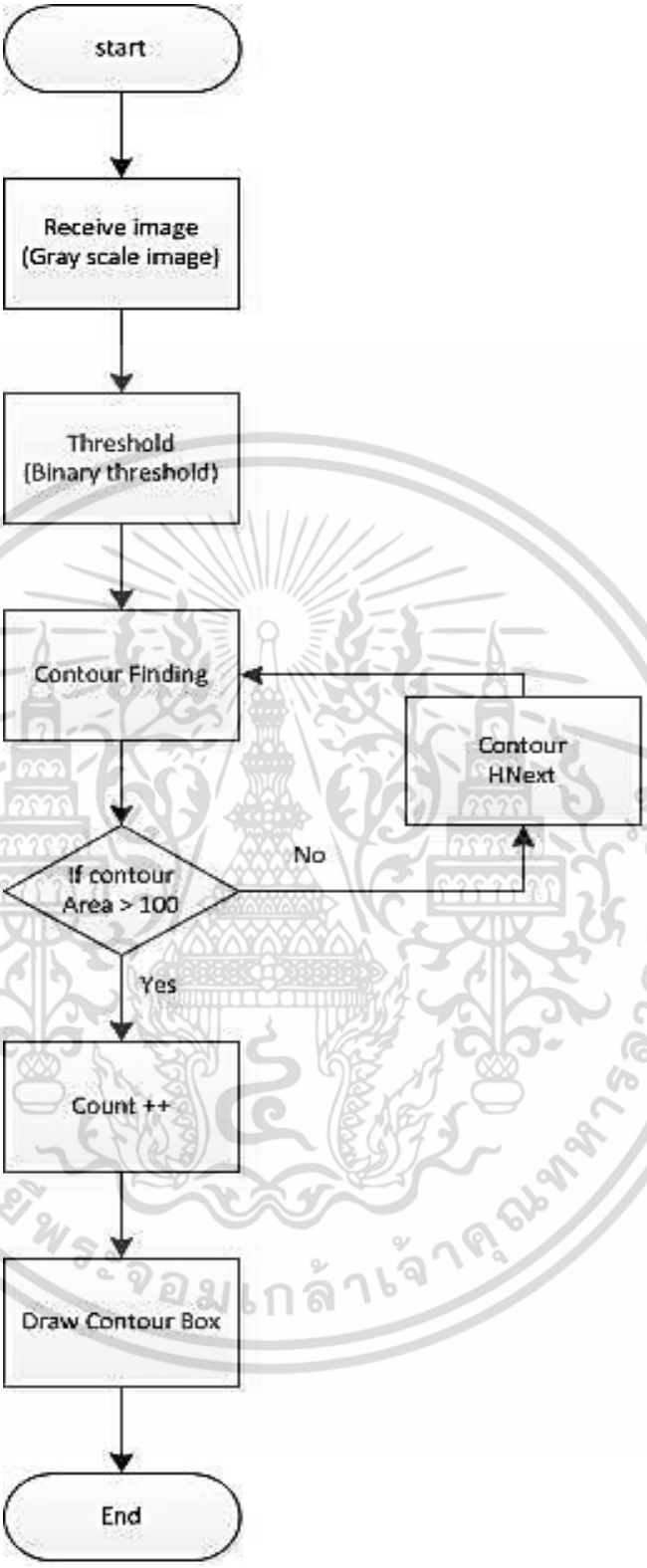
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนแบบ Gray scale

การทดลองโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับเมล็ดพืชด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Studio โดยใช้ภาษา C# (Emgu CV Library) ด้วยภาพถ่ายทางความร้อน โดยการนำเมล็ดพืชมา 2 ชนิด คือ ถั่วแดงและถั่วลิสง และสิ่งแปลกปลอมกำหนดมา 3 ชนิด คือ ไม้ หิน และพลาสติก ใส่ในถาดทดลอง 10 เมล็ด เทียบเป็น 100 % โดยที่จะปรับอัตราส่วนการทดลองของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมดังนี้ 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 0:10 และทำการวิเคราะห์ผ่านระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอม โดยที่ซอฟแวร์จะรับภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน ที่เป็นภาพแบบ gray scale โดยที่ภาพจะแบ่งออกเป็น 256 ระดับ (0-255) จากนั้นอัลกอริทึมซอฟแวร์จะทำการเทรสโฮล (Threshold) และเมื่อได้ภาพเทรสโฮลที่เป็นภาพแบบไบนารีแล้วอัลกอริทึมซอฟแวร์จะทำการวาดเส้นขอบ (Contour) ให้กับวัตถุที่เทรสโฮลออกมาได้ เพื่อให้ซอฟแวร์ทำการวิเคราะห์และนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอม แสดงดังรูปที่ 3.21

รูปที่ 3.21 ภาพถ่ายความร้อนแบบ gray scale, threshold image, contour image

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 อัลกอริทึมซอฟต์แวร์การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนแบบ Gray scale เพื่อหาประสิทธิภาพเครื่องมือวัด

นำการทดลองส่วนที่ 2 มาทำการทดลองเพื่อทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบการทดลองและอัลกอริทึมของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งได้ทำการเลือกถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือไม้มาทำการทดลอง ทำการทดลองโดยการใส่เมล็ดถั่วแดงกระจายทั่วทั้งถาดการทดลองเพื่อเทียบปริมาณเป็น 100% และทำการใส่สิ่งแปลกปลอมเข้าไป 1 ชิ้นเทียบเป็น 1% โดยได้ทำการทดลองซ้ำ 100 ครั้ง จากนั้นทำการเพิ่มสิ่งแปลกปลอมเป็น 2 ,3 ,4 และ 5 ตามลำดับ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.23

รูปที่ 3.23 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองถั่วแดงกับไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

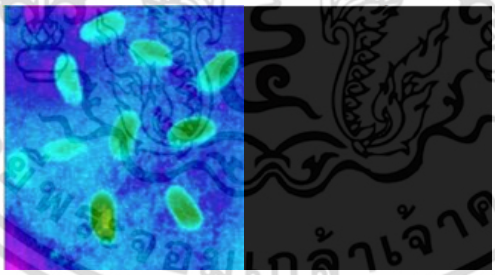
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมโดยใช้ภาพสี

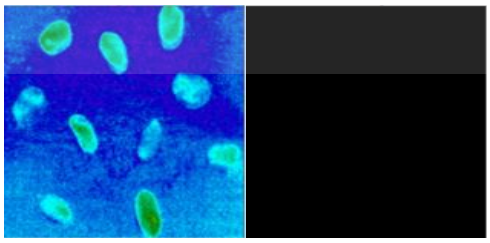
จากการทดลองการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับเมล็ดพืชโดยใช้ระบบภาพสี ได้ทำการรับภาพต้นฉบับเข้ามาเป็นภาพถ่ายความร้อนตามเฉดสีของระบบสี RGB เช่นภาพโทนสีร้อนจะให้ภาพเป็นเฉดสีแดงและภาพโทนสีเย็นจะให้ภาพเป็นสีน้ำเงิน จากการทดลองพบว่าภาพที่ได้เมล็ดพืชจะมีเฉดสีโทนเย็นและสิ่งแปลกปลอมมีเฉดสีโทนร้อนเนื่องจากค่าความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชมีค่ามากแต่เนื่องจากมีมวลมากกว่าสิ่งแปลกปลอมจึงทำให้ภาพความร้อนที่ได้มีเฉดสีโทนเย็นและเห็นสิ่งแปลกปลอมเป็นเฉดสีโทนร้อน จึงสามารถนำความแตกต่างของเฉดสีมาแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชได้ โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มเมล็ดพืช กลุ่มสิ่งแปลกปลอม และกลุ่มสิ่งแปลกปลอมปะปนกับเมล็ดพืช

4.1.1 กลุ่มเมล็ดพืช

จากการประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อนของเมล็ดพืช ได้แก่ ถั่วแดง และถั่วลิสง เมื่อไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปนมาแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยภาพทางด้านซ้ายคือภาพถ่ายทางความร้อนและด้านขวาคือภาพที่ได้จากการเทรสโฮล จากรูปแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมไม่สามารถนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอมได้ เนื่องจากภาพที่ได้ไม่มีเฉดสีแดงซึ่งเป็นสีของสิ่งแปลกปลอม โปรแกรมจึงไม่สามารถเทรสโฮลได้



(1)



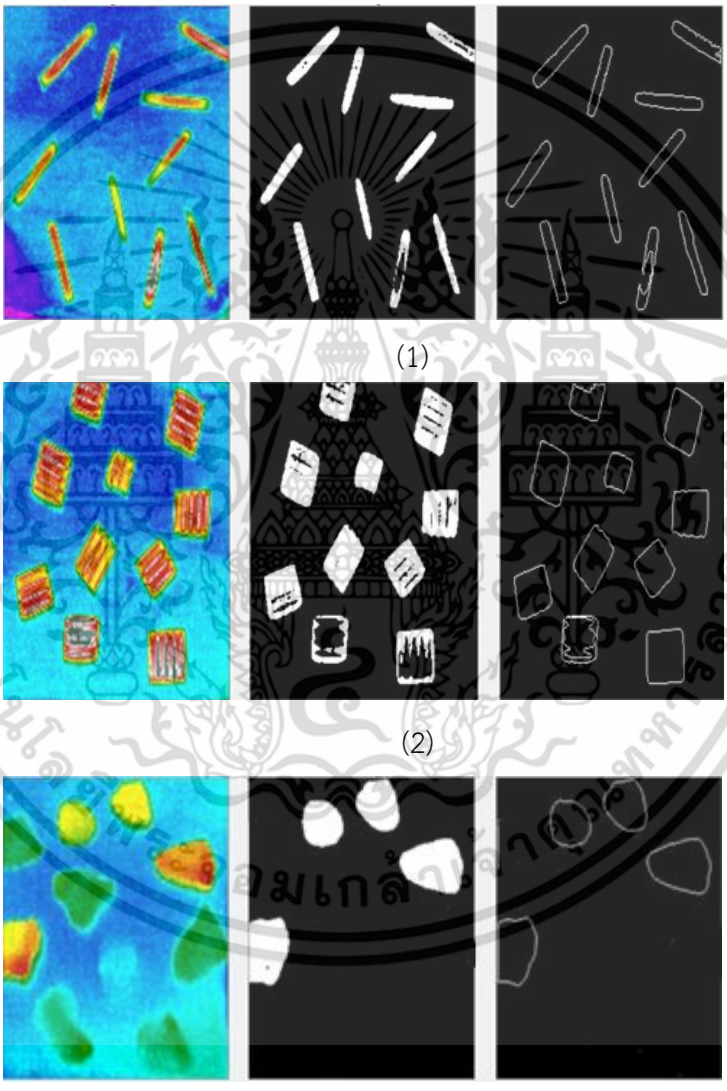
(2)

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายทางความร้อนของ (1) ถั่วแดง (2) ถั่วลิสง โดยที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 กลุ่มสิ่งแปลกปลอม

จากการประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อนของสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ ไม้ พลาสติก และหิน แสดงดังรูปที่ 4.2 โดยภาพเรียงจากด้านซ้ายไปขวา ได้แก่ ภาพถ่ายทางความร้อน ภาพที่ได้จากการเทรสโฮล และภาพที่ได้จากการ contour ตามลำดับ โดยโปรแกรมสามารถนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอมได้ เนื่องจากภาพที่ได้มีเฉดสีแดงซึ่งเป็นสีของสิ่งแปลกปลอมจึงสามารถเทรสโฮลได้ แต่ในตัวอย่างหิน ไม่สามารถตรวจจับได้หมดเนื่องจากภาพความร้อนของหินบางก้อนมีเฉดสีโทนเย็นซึ่งเป็นเฉดสีที่ได้ไม่ได้อยู่ในช่วงของการเทรสโฮล จึงไม่สามารถเทรสโฮลและวาดกรอบของวัตถุได้



(1)

(2)

(3)

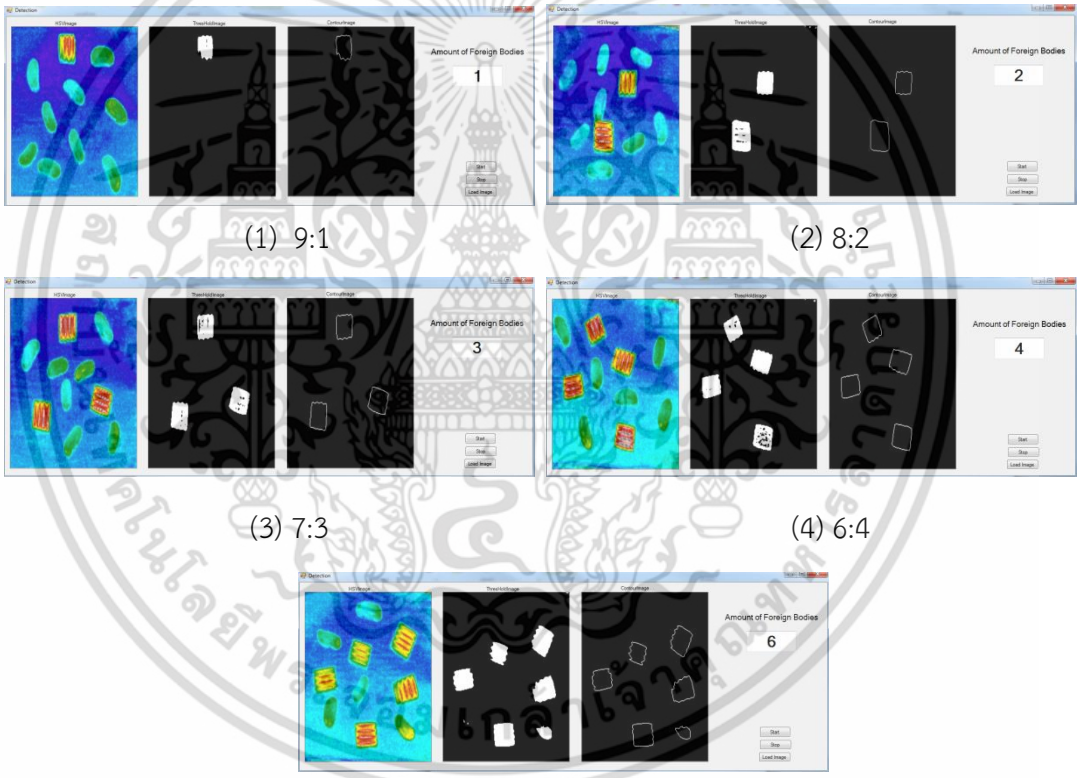
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายทางความร้อนของสิ่งแปลกปลอมที่ไม่มีเมล็ดพืชปะปน (1) ไม้ (2) พลาสติก (3) หิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 กลุ่มสิ่งแปลกปลอมปะปนกับเมล็ดพืช

4.1.3.1 ถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอม

จากการประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ พลาสติก ไม้ และหิน แสดงดังรูปที่ 4.3–4.5 ตามลำดับ โดยปรับอัตราส่วนระหว่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม คือ 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 จากรูปแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอมได้ตามจำนวนที่มีอยู่จริง แต่ในตัวอย่างของถั่วแดงกับพลาสติกโปรแกรมทำการนับจำนวนได้เกินมา 1 จำนวนที่อัตราส่วน 5:5 ตัวอย่างถั่วแดงกับไม้ในอัตราส่วนที่ 8:2, 6:4 และ 5:5 โปรแกรมทำการนับจำนวนได้เกินมาอย่างละ 1 จำนวน และตัวอย่างถั่วแดงกับหินในอัตราส่วนที่ 5:5 โปรแกรมทำการนับจำนวนได้น้อยกว่า 1 จำนวน เนื่องจากเมล็ดพืชมีเฉดสีที่ใกล้เคียงกันกับสิ่งแปลกปลอม ทำให้โปรแกรมทำการตรวจจับเมล็ดพืชนั้นด้วย



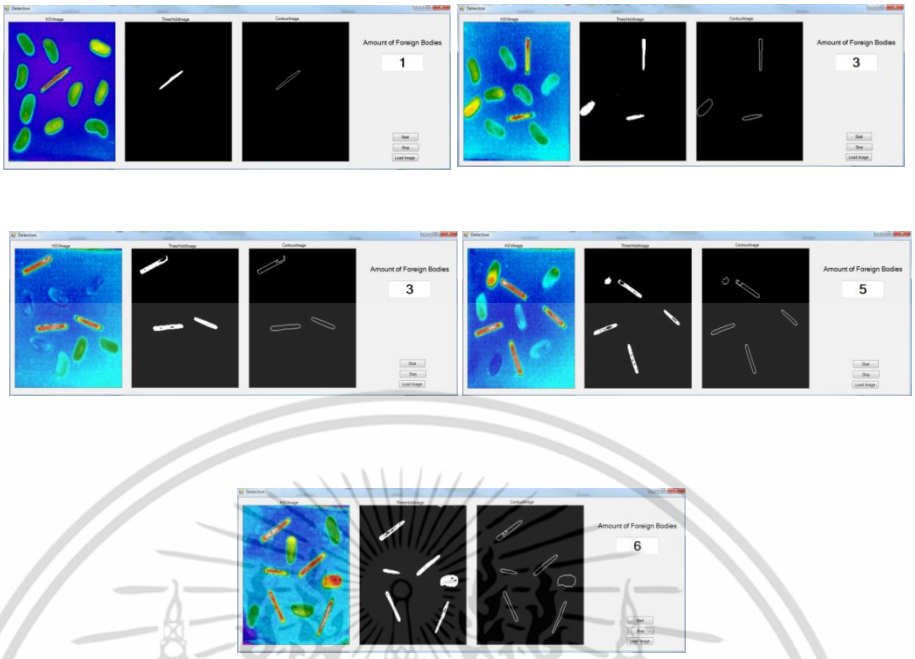
(1) 9:1 (2) 8:2

(3) 7:3 (4) 6:4

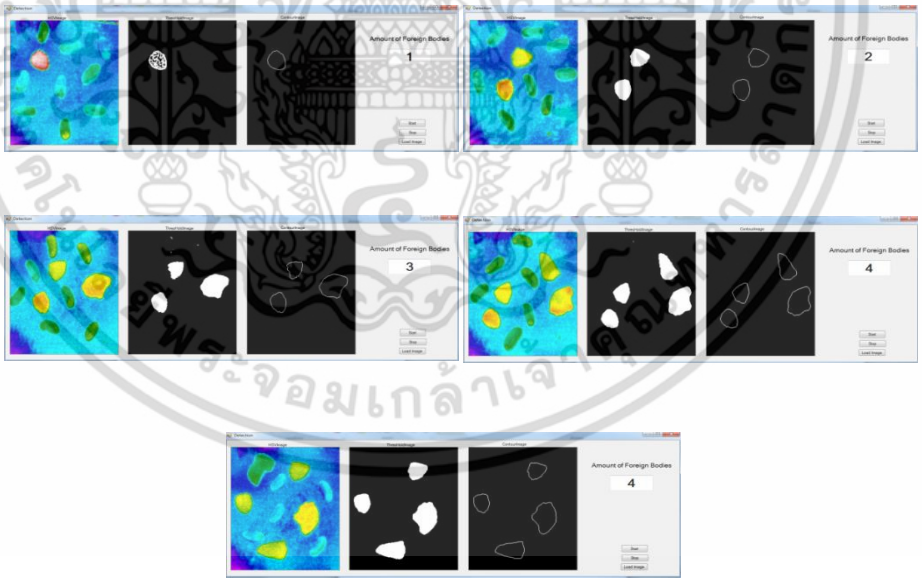
(5) 5:5

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือพลาสติกที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือไม้ที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้



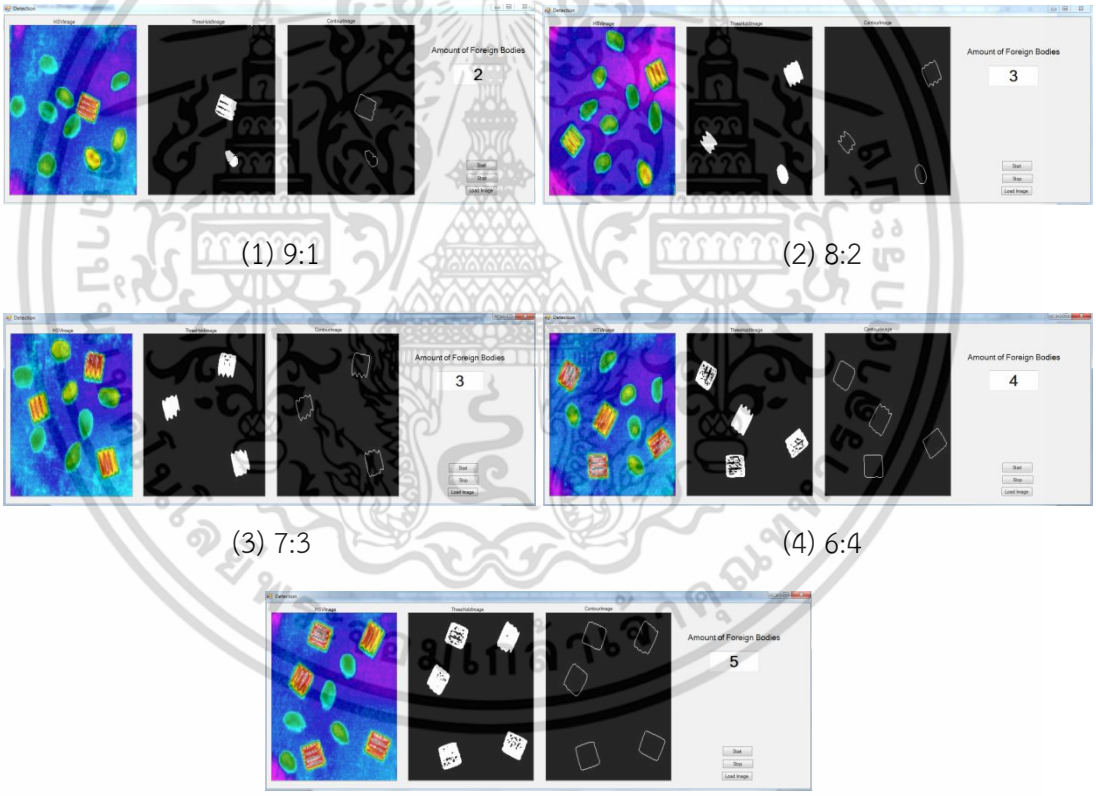
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือหินที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 ถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอม

จากการประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ พลาสติก ไม้ และหิน แสดงดังรูปที่ 4.6–4.8 ตามลำดับ โดยปรับอัตราส่วนระหว่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม คือ 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 จากรูปแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอมได้ตามจำนวนที่มีอยู่จริง แต่ในตัวอย่างของถั่วลิสงกับพลาสติกโปรแกรมทำการนับจำนวนได้เกินมา 1 จำนวนที่อัตราส่วน 9:1 และ 8:2 เนื่องจากเมล็ดพืชมีเฉดสีที่ใกล้เคียงกันกับสิ่งแปลกปลอม ทำให้โปรแกรมทำการตรวจจับเมล็ดพืชนั้นด้วย

จากการทดลองโดยใช้ภาพสีพบว่าเมื่อวิเคราะห์ด้วยระบบสีนั้นจำเป็นจะต้องมีการตั้งค่าระดับ (level) และความเข้ม (span) ของภาพถ่ายทางความร้อนทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งค่าที่ได้จะมีช่วงไม่แน่นอนจึงทำให้สีของตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ค่อนข้างยาก



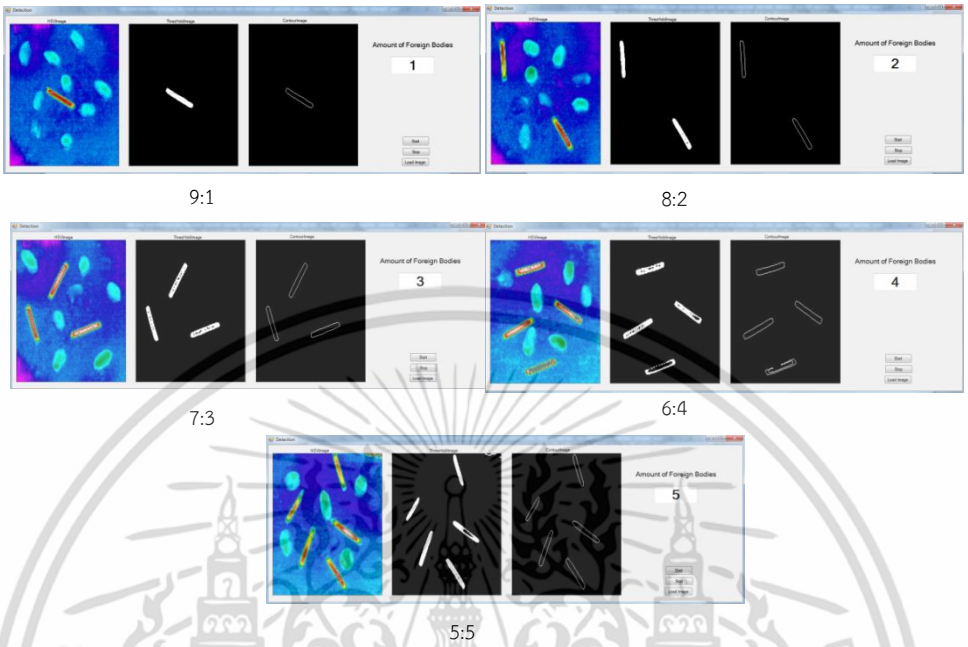
(1) 9:1 (2) 8:2

(3) 7:3 (4) 6:4

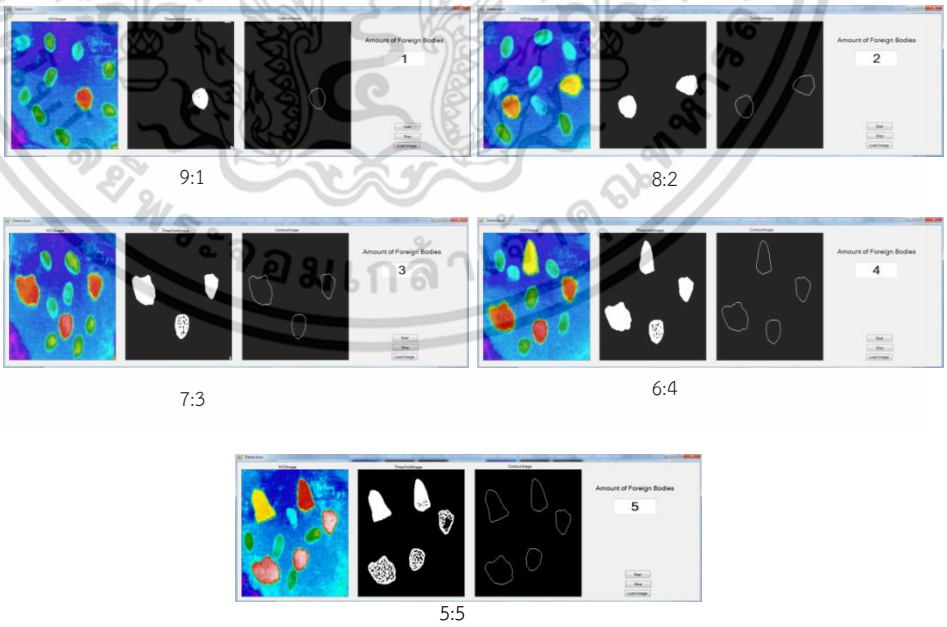
(5) 5:5

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือพลาสติกที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือไม้ที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือหินที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมโดยใช้ภาพ gray scale

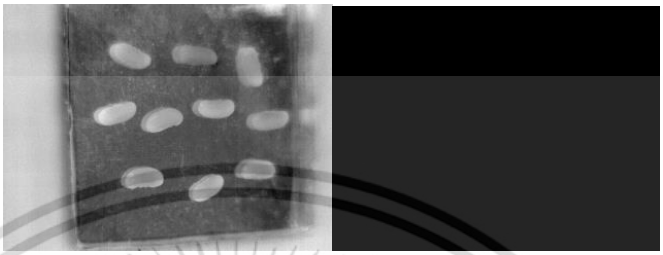
การทดลองนี้ได้ทำการทดสอบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอม ซึ่งภาพที่รับมานั้นเป็นภาพแบบ gray scale โดยใช้ซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้นในการวิเคราะห์ภาพและทำการตรวจจับหาสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับเมล็ดพืช เพื่อให้แน่ใจว่าซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้นนั้น สามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับเมล็ดพืชได้จริง และก่อนทำการทดลองหาจำนวนสิ่งแปลกปลอม ได้ทำการทดลองหาเวลาที่ดีที่สุดในการให้ความร้อนและช่วงคายความร้อนแก่ตัวอย่าง เพื่อหาค่าความเข้มหรือค่าระดับเฉดสีเทาของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมชนิดต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้กำหนดเป็นค่าเทรสโฮลสำหรับแยกเฉดสีที่เราไม่ต้องการออกไปในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และค่าการให้ความร้อนที่สามารถเห็นความแตกต่างของค่าความเข้มของสีเทาได้ชัดเจนคือ 10 ,15 ,20 ,25 และ 30 วินาที และช่วงคายความร้อนคือ 3 วินาที แต่งานวิจัยนี้ได้เลือกทำการทดลองที่ 10 วินาทีในการให้ความร้อนเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานของระบบ และค่าเทรสโฮลที่ได้จากการทดลองคือ 40 ตามรูปที่ 4.17

การทดลองนี้ได้ทำการปรับอัตราการส่วนการทดลองระหว่างเมล็ดพืชก็คือ ถั่วแดงและถั่วลิสง กับสิ่งแปลกปลอมก็คือ ไม้ หิน และพลาสติก ในถาดการทดลอง ดังนี้ 10:0 ,9:1 ,8:2 ,7:3 ,6:4 ,5:5 และ 0:10 ซึ่งเทียบอัตราส่วนเป็น 100% ซึ่งทำการทดลองอัตราส่วนละ 10 ครั้ง จากผลการทดลองพบว่า การใช้ซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้นตรวจจับสิ่งแปลกปลอมระหว่างเมล็ดพืชกับพลาสติกและไม้ จะดีกว่าเมล็ดพืชกับหิน แต่อย่างไรก็ตามซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับเมล็ดพืชได้จริงและค่อนข้างแม่นยำ

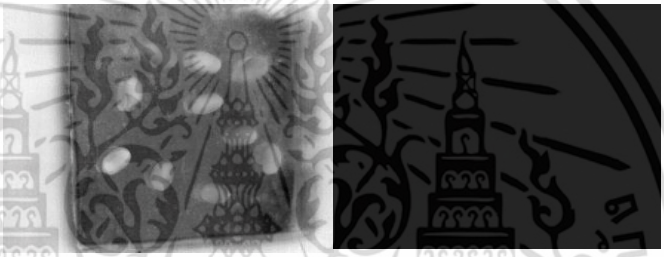
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 กลุ่มเมล็ดพืช

จากการประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อนของเมล็ดพืช ได้แก่ ถั่วแดง และถั่วลิสง เมื่อไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปนมา แสดงดังรูปที่ 4.9 จากรูปแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมไม่สามารถนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอมได้ เนื่องจากเมล็ดพืชนั้นมีค่าระดับเฉดสีเทาต่ำกว่าค่าการเทรสโฮลของสิ่งแปลกปลอม โปรแกรมจึงไม่สามารถตรวจจับได้



(1)



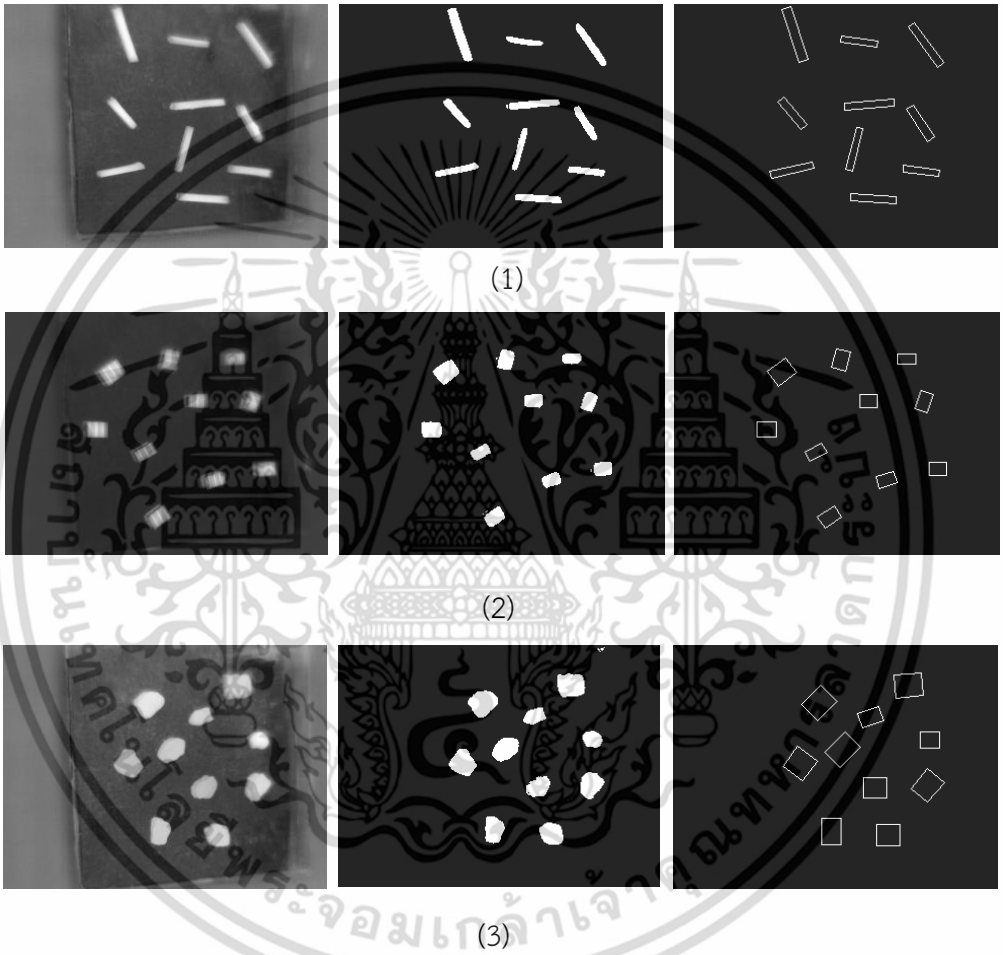
(2)

รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายทางความร้อนของ (1) ถั่วแดง (2) ถั่วลิสง โดยที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 กลุ่มสิ่งแปลกปลอม

จากการประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อนของสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ ไม้ พลาสติกและหิน เมื่อไม่มีเมล็ดพืชปะปนสิ่งแปลกปลอม แสดงดังรูปที่ 4.10 จากรูปแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถเทรสโฮลสิ่งแปลกปลอมได้ เนื่องจากภาพที่ได้มีระดับเฉดสีเทาของสิ่งแปลกปลอมแต่ละชนิด โปรแกรมจึงสามารถเทรสโฮลและวาดขอบหาตำแหน่งของสิ่งแปลกปลอมและนับจำนวนได้



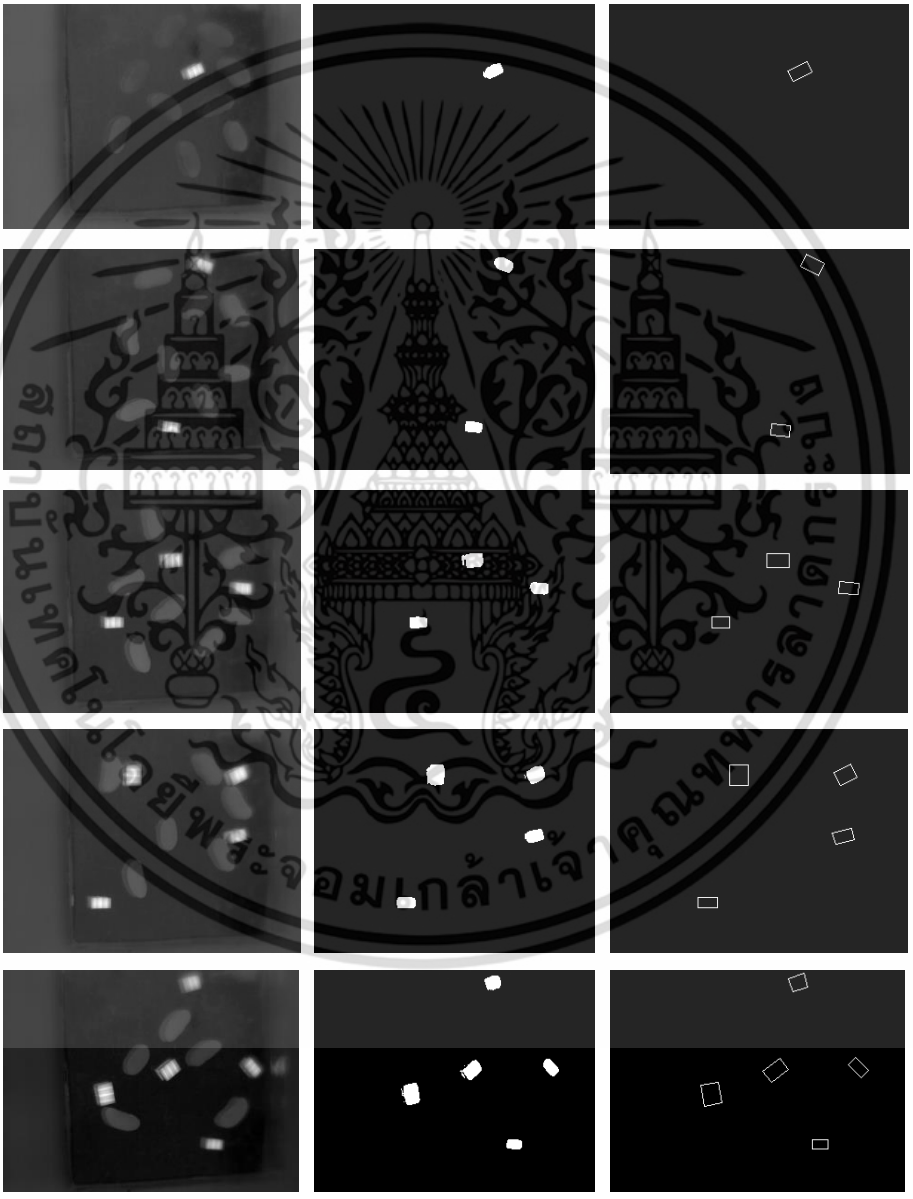
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายทางความร้อนของสิ่งแปลกปลอมที่ไม่มีเมล็ดพืชปะปน (1) ไม้ (2) พลาสติก และ (3) หิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 กลุ่มสิ่งแปลกปลอมปะปนกับเมล็ดพืช

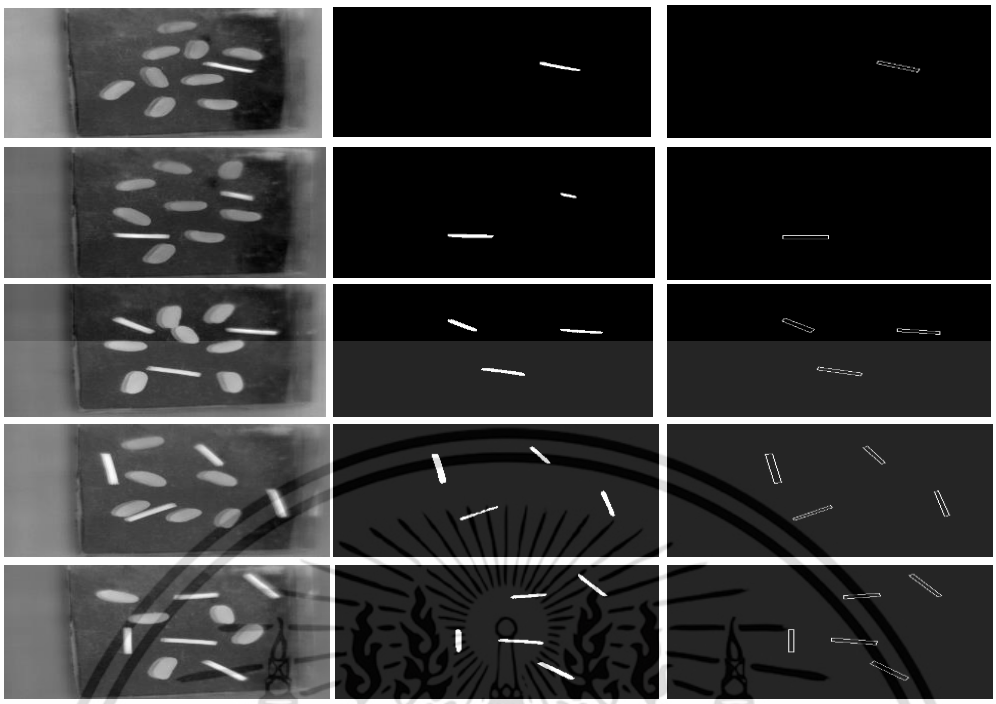
4.2.3.1 ถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอม

จากการประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ พลาสติก ไม้ และหิน แสดงดังรูปที่ 4.11–4.13 ตามลำดับ โดยปรับอัตราส่วนระหว่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมคือ 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 จากรูปแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอมได้ตามจำนวนที่มีอยู่จริง แต่ในตัวอย่างของถั่วแดงกับไม้และหินที่อัตราส่วน 8:2 โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้แค่ 1 เนื่องจากเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมมีระดับเฉดสีเทาที่ใกล้เคียงกัน

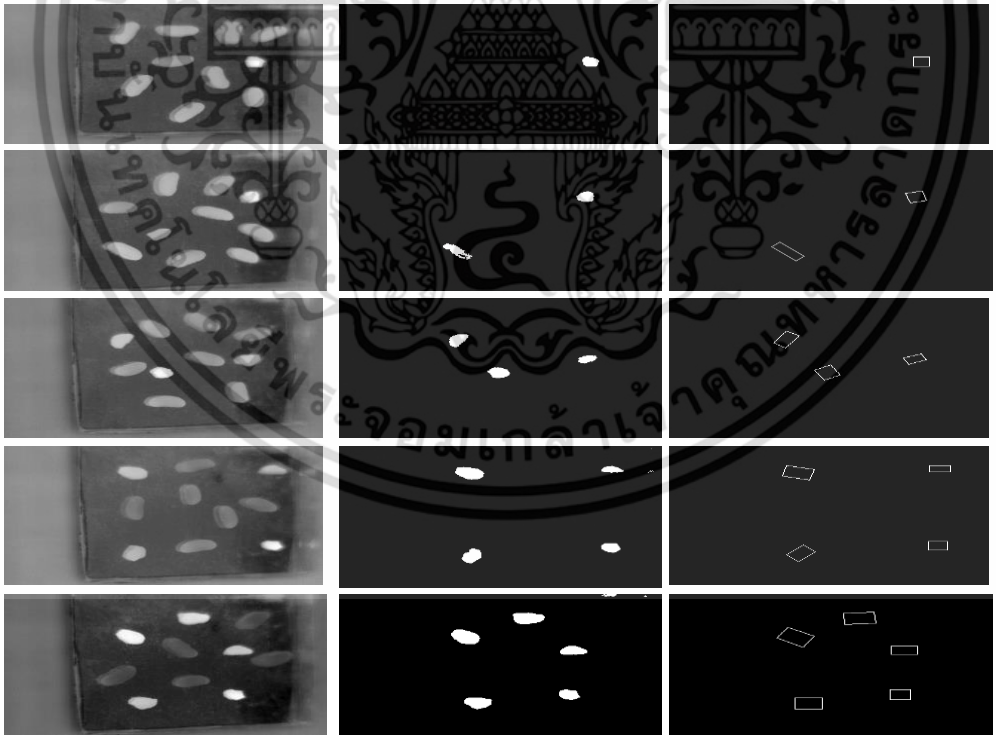


รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือพลาสติกที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือไม้ที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้

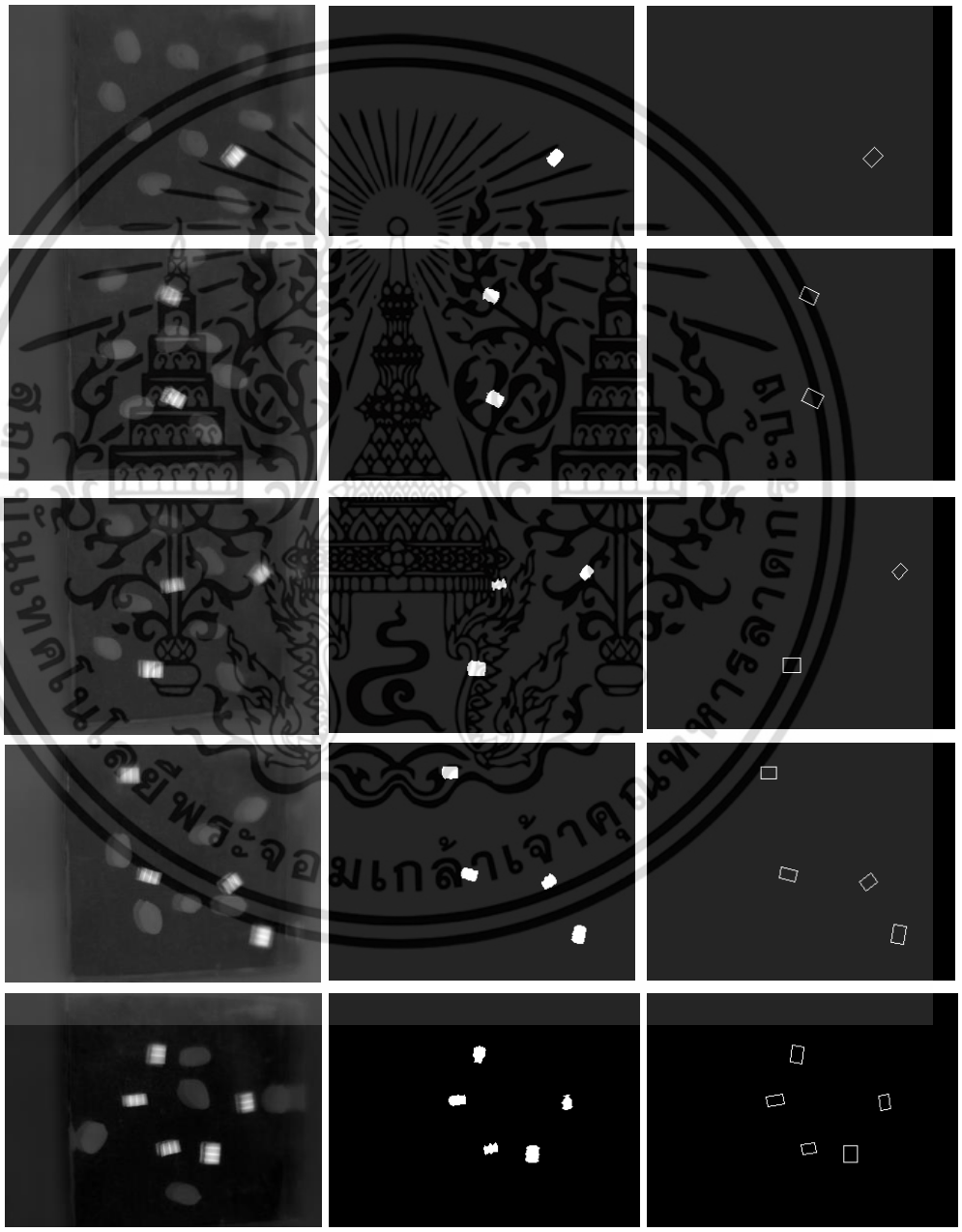


รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือหินที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

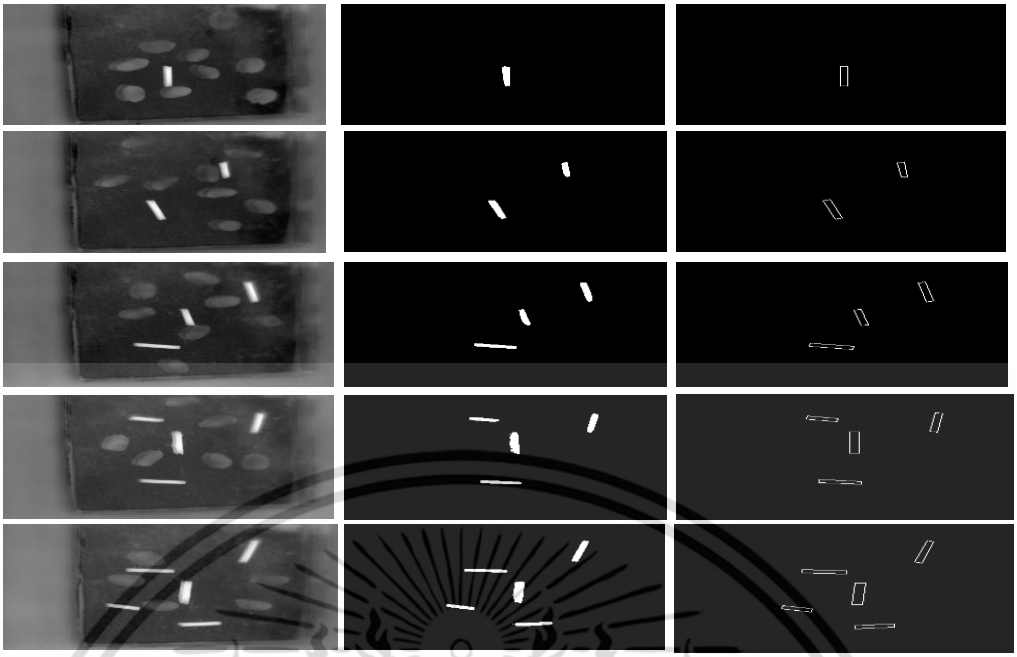
4.2.3.2 ถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอม

จากการประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ พลาสติก ไม้ และหิน แสดงดังรูปที่ 4.14–4.16 ตามลำดับ โดยปรับอัตราส่วนระหว่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมคือ 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 จากรูปแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมสามารถนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอมได้ตามจำนวนที่มีอยู่จริง แต่ในตัวอย่างของถั่วลิสงกับหินที่อัตราส่วน 7:3 และ 6:4 โปรแกรมไม่สามารถเทรสโฮลวัตถุที่เป็นสิ่งแปลกปลอมบางชิ้นได้ เนื่องจากค่าระดับเฉดสีเทามีค่าน้อยกว่าค่าเทรสโฮลที่ได้โปรแกรมไว้

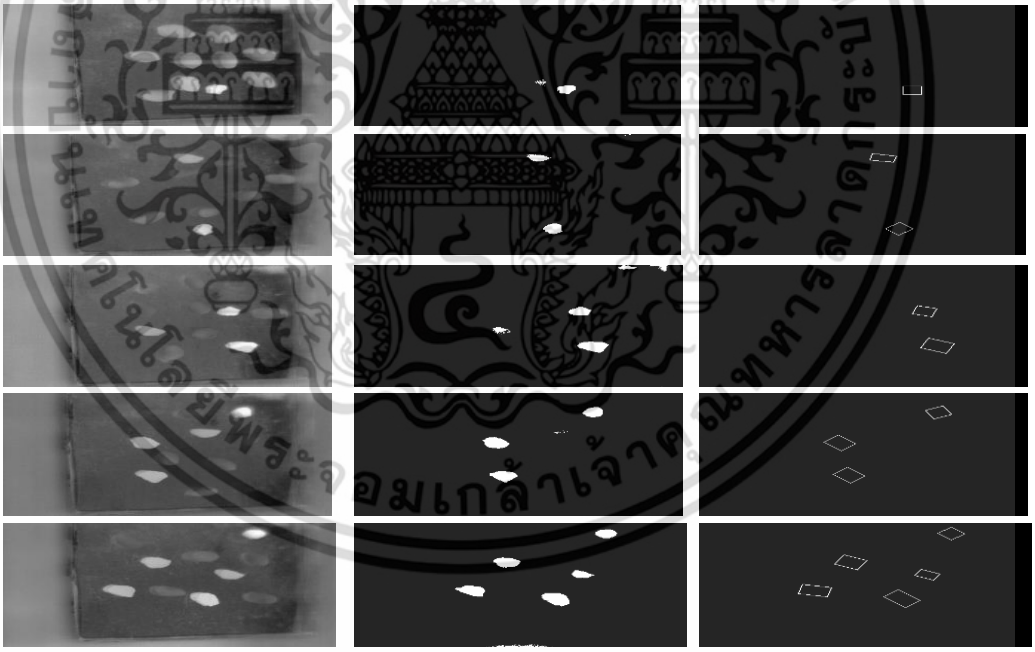


รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือพลาสติกที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

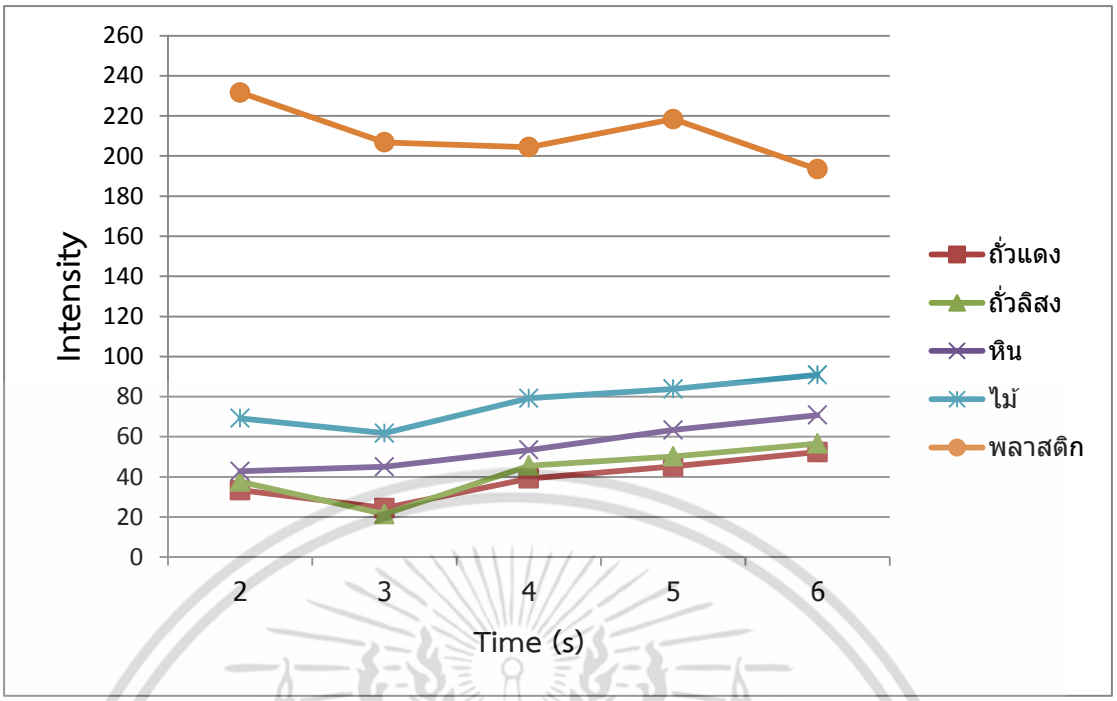


รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือไม้ที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้

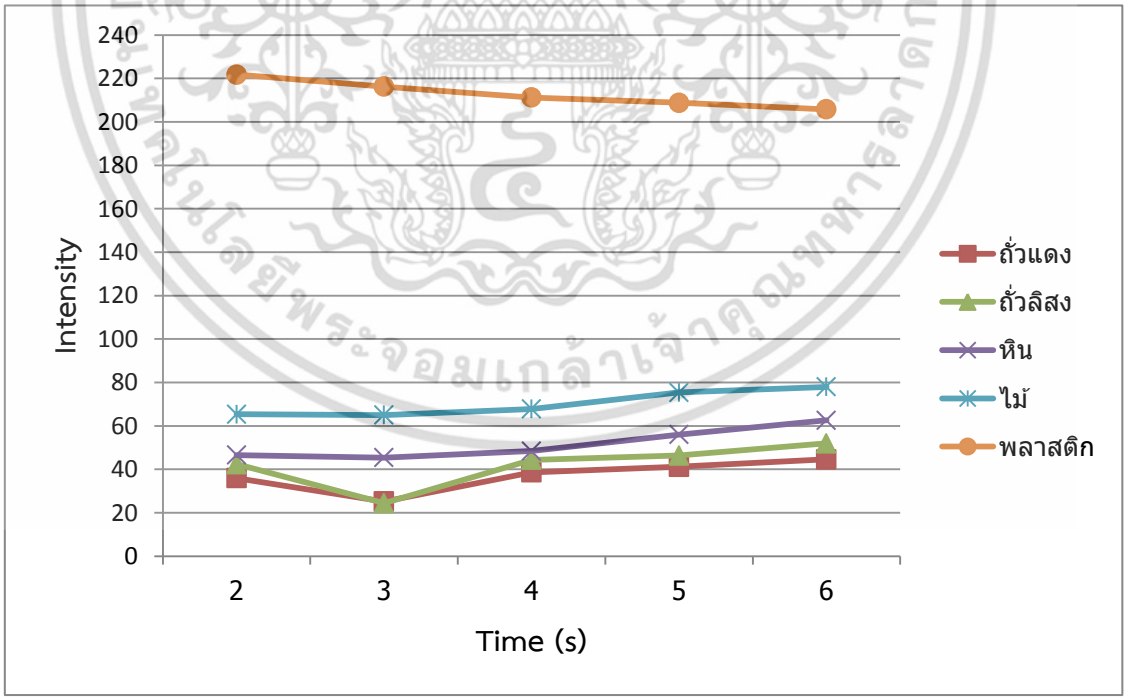


รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วลิสงกับสิ่งแปลกปลอมคือหินที่อัตราส่วนต่างๆ และจำนวนที่โปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

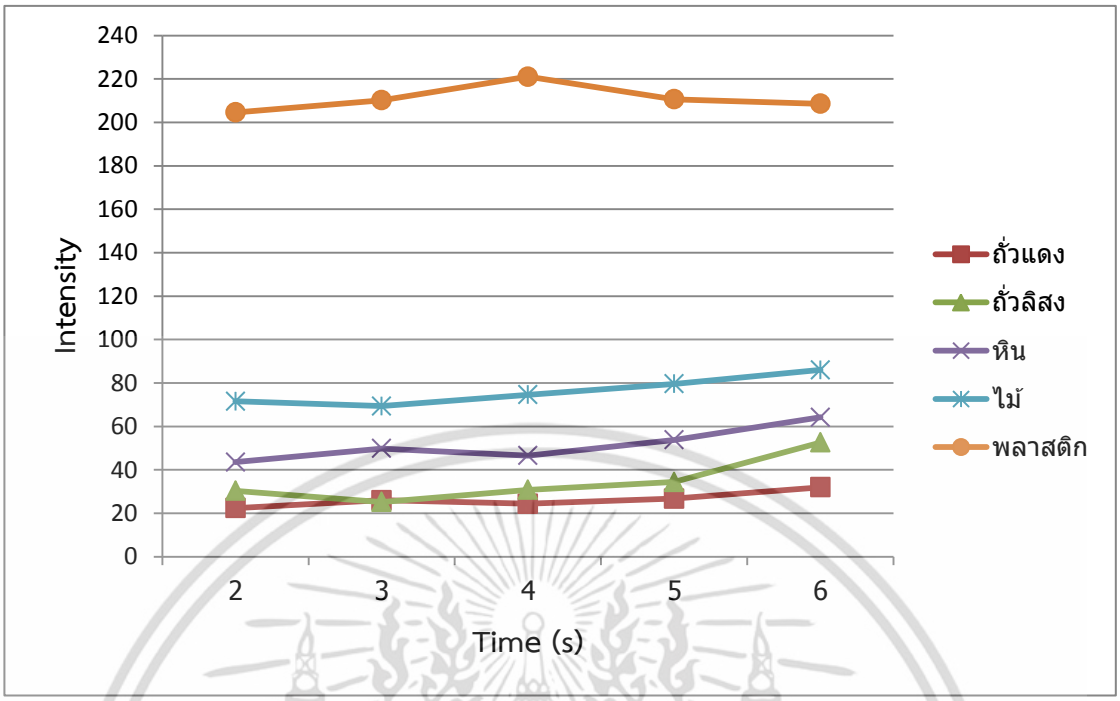


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity กับ เวลาคายความร้อน ที่เวลาให้ความร้อน 10 วินาที

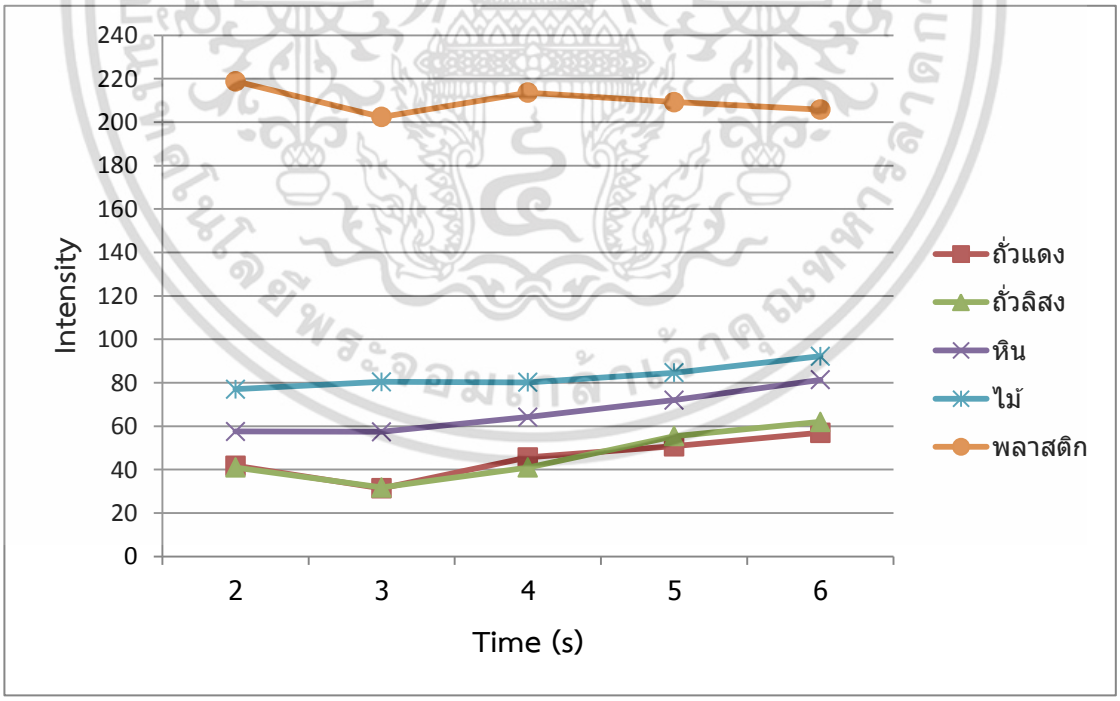


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity กับ เวลาคายความร้อน ที่เวลาให้ความร้อน 15 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

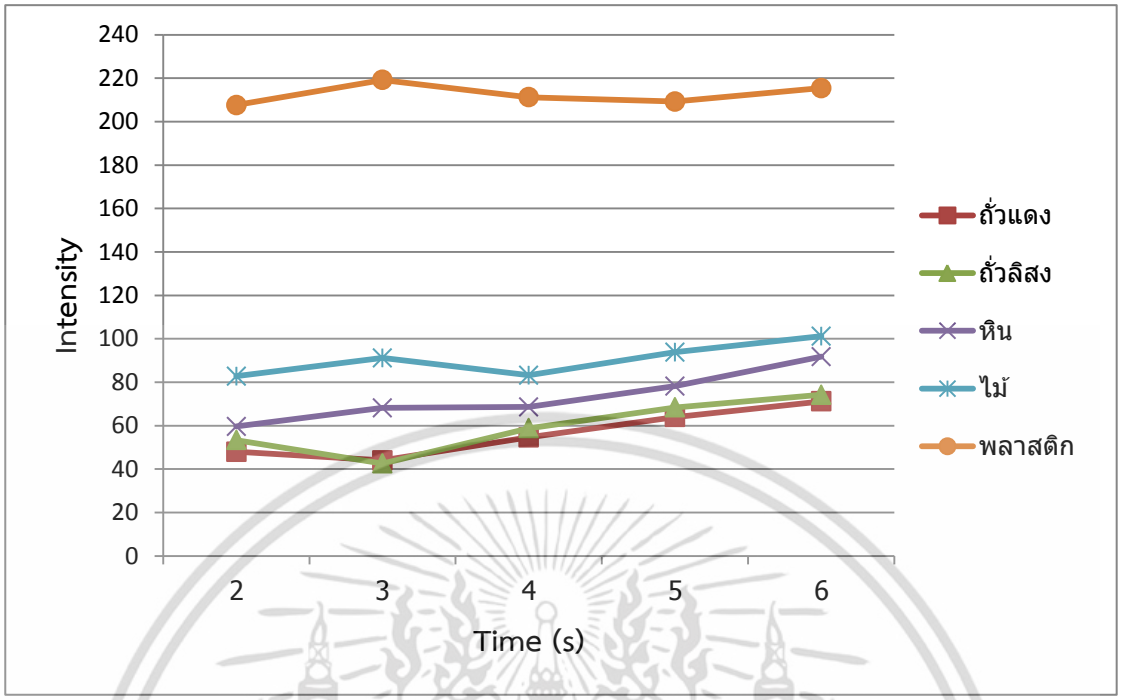


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity กับ เวลาคายความร้อน ที่เวลาให้ความร้อน 20 วินาที



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity กับ เวลาคายความร้อน ที่เวลาให้ความร้อน 25 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Intensity กับ เวลาคายความร้อน ที่เวลาให้ความร้อน 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแสดงการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืช (ถั่วแดง) และจำนวนสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ตามลำดับ

ชนิดของเมล็ดธัญพืช	สิ่งแปลกปลอม	จำนวนอัตราส่วนจริง (เมล็ด)		จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมตรวจจับได้									
		เมล็ดธัญพืช	สิ่งแปลกปลอม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
ถั่วแดง	พลาสติก	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ไม้			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	หิน			1	2	1	1	2	2	1	1	1	1
	พลาสติก	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	ไม้			1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	หิน			2	2	4	3	2	1	2	2	2	2
	พลาสติก	7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	ไม้			2	3	3	3	3	3	2	3	3	3
	หิน			3	3	2	2	3	3	2	3	3	3
	พลาสติก	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	ไม้			4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	หิน			4	4	4	3	4	4	3	4	4	4
	พลาสติก	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	ไม้			4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	หิน			5	5	5	5	5	4	4	5	5	5

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองแสดงการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืช (ถั่วลิสง) และจำนวนสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วน 9:1, 8:2, 7:3, 6:4 และ 5:5 ตามลำดับ

ชนิดของเมล็ดธัญพืช	สิ่งแปลกปลอม	จำนวนอัตราส่วนจริง (เมล็ด)		จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมตรวจจับได้									
		เมล็ดธัญพืช	สิ่งแปลกปลอม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10
ถั่วลิสง	พลาสติก	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ไม้			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	หิน			1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
	พลาสติก	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	ไม้			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	หิน			2	2	3	2	2	3	2	2	2	2
	พลาสติก	7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	ไม้			3	3	3	3	3	3	3	3	2	3
	หิน			2	3	3	3	2	3	3	3	3	3
	พลาสติก	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	ไม้			4	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	หิน			4	3	3	4	4	3	4	4	4	4
	พลาสติก	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	ไม้			5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	หิน			4	5	5	5	5	5	5	5	4	4

4.3 การทดลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องมือวัด

ในการทดลองนี้ได้นำการทดลองแบบ gray scale มาทำการทดลองเพื่อทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบการทดลองและอัลกอริทึมของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งได้ทำการเลือกถั่วแดงกับสิ่งแปลกปลอมคือไม้มาทำการทดลอง เนื่องจากความเป็นไปได้ของไม้ที่เป็นสิ่งแปลกปลอมที่จะเกิดขึ้นได้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตอีกทั้งสีและลักษณะทางกายภาพที่คล้ายกับถั่วแดง ในการทดลองนี้ทำการทดลองโดยการใส่เมล็ดถั่วแดงกระจายทั่วทั้งถาดการทดลองเพื่อเทียบปริมาณเป็น 100% และทำการใส่สิ่งแปลกปลอมเข้าไป 1 ชิ้นเทียบเป็น 1% โดยได้ทำการทดลองซ้ำ 100 ครั้ง จากนั้นทำการเพิ่มสิ่งแปลกปลอมเป็น 2 ,3 ,4 และ 5 ตามลำดับและทำการทดลองอย่างละ 100 ครั้งเช่นเดียวกัน จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.3 พบว่าโปรแกรมสามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มีปริมาณน้อยได้ดีกว่าสิ่งแปลกปลอมที่ปริมาณมาก เพราะตัวอย่างการทดลองที่มีจำนวนสิ่งแปลกปลอมมากนั้น โปรแกรมไม่สามารถตรวจจับได้บางชิ้นเนื่องจากเมล็ดถั่วแดงซ้อนทับสิ่งแปลกปลอมทำให้สิ่งแปลกปลอมชิ้นนั้นได้รับความร้อนไม่เต็มที่และกล้องถ่ายภาพความร้อนไม่สามารถจับภาพจับภาพสิ่งแปลกปลอมนั้นได้ จากผลการทดลองสามารถทราบได้ถึงเวลาในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในระบบในกรณีให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง 10 วินาที และช่วงเวลาในการคายความร้อน 3 วินาที ความเร็วของสายพาน 10 วินาทีต่อ 1 เมตร เมื่อทำการทดสอบกับตัวอย่างทั้งหมด 100 ครั้งโดยพื้นที่ในการทดสอบคือ 10x10 ซม.จะใช้เวลาทั้งหมด 20 นาที ตามสมการความสัมพันธ์

$$T_h + T_c = T_t \qquad (4.1)$$

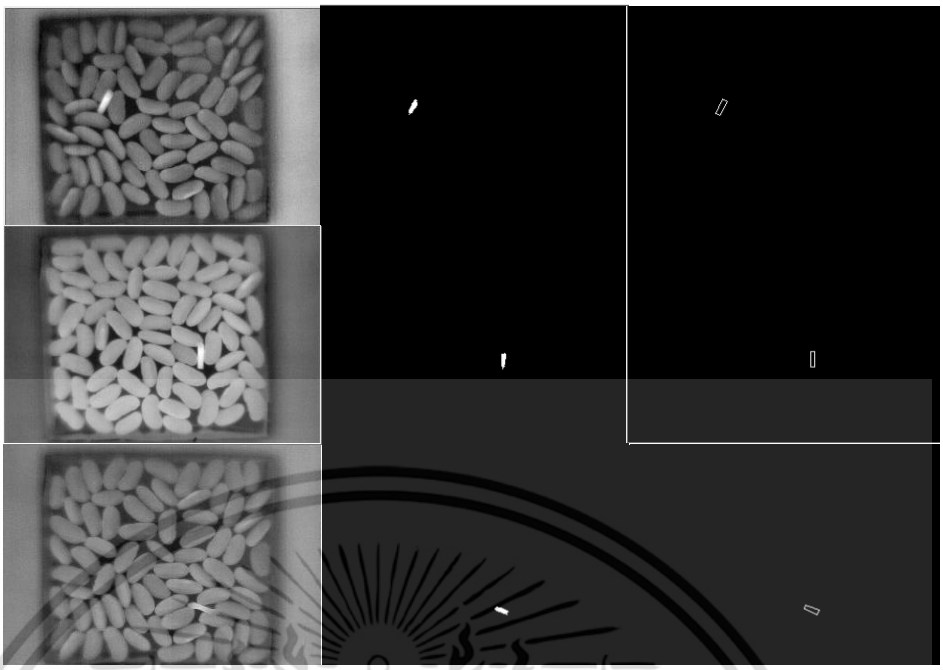
โดยที่ T_t คือ เวลารวมที่ใช้ในระบบ (วินาที)
T_h คือ เวลาให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง (วินาที)
T_c คือ ช่วงเวลาในการคายความร้อน (วินาที)

ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมถ้าต้องการให้เวลาในการตรวจสอบน้อยลงนั้น ต้องทำการเพิ่มจำนวนของแหล่งกำเนิดความร้อนเนื่องจากปริมาณความร้อนที่มากขึ้นทำให้เวลาในการให้ความร้อนให้กับตัวอย่างลดลงและเพิ่มอัตราการเคลื่อนที่ของสายพานที่จะทำการทดสอบ

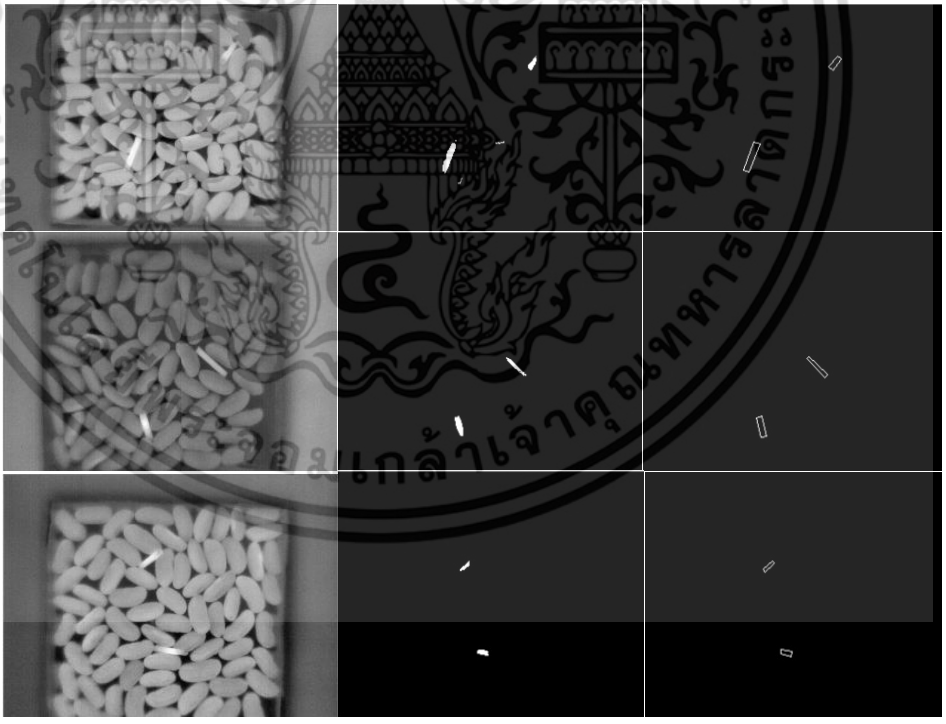
ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมตรวจจับได้ (ถั่วแดง-ไม้)

จำนวนสิ่งแปลกปลอม	% Accuracy
1	98
2	98
3	97
4	95
5	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

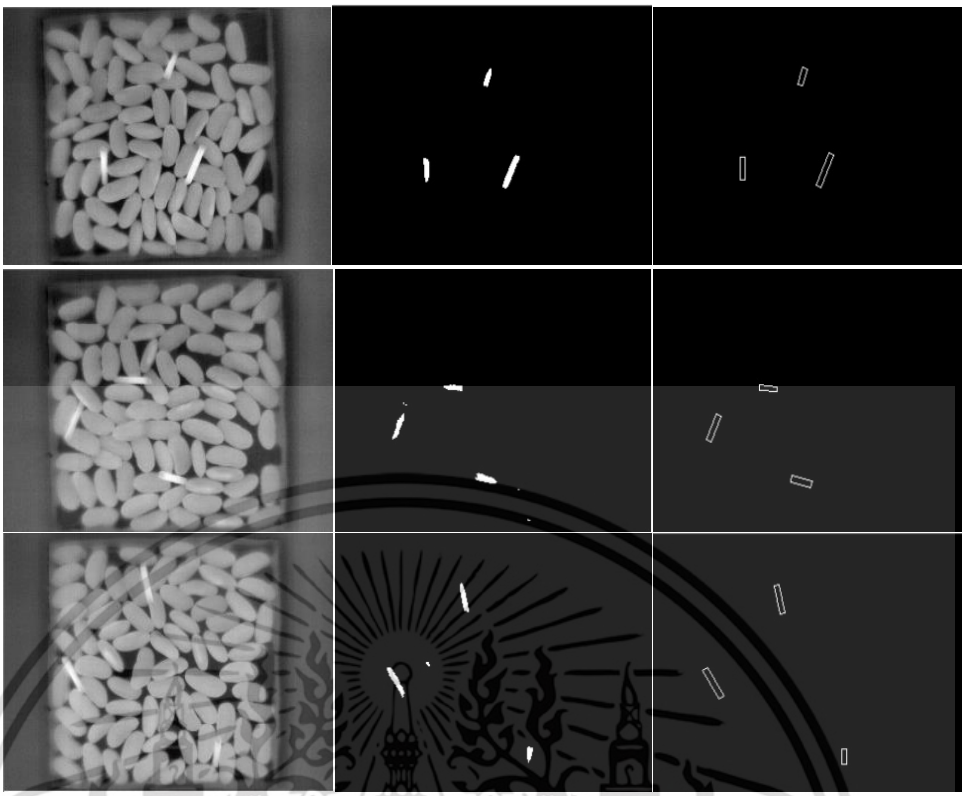


รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับไม้ 1 ชิ้น

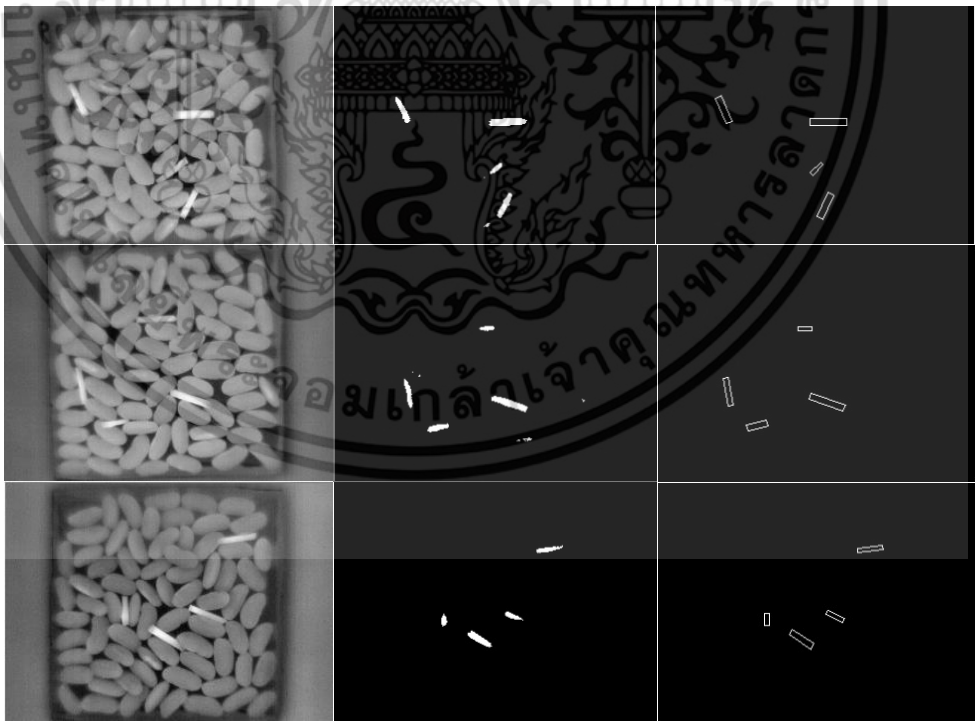


รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับไม้ 2 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

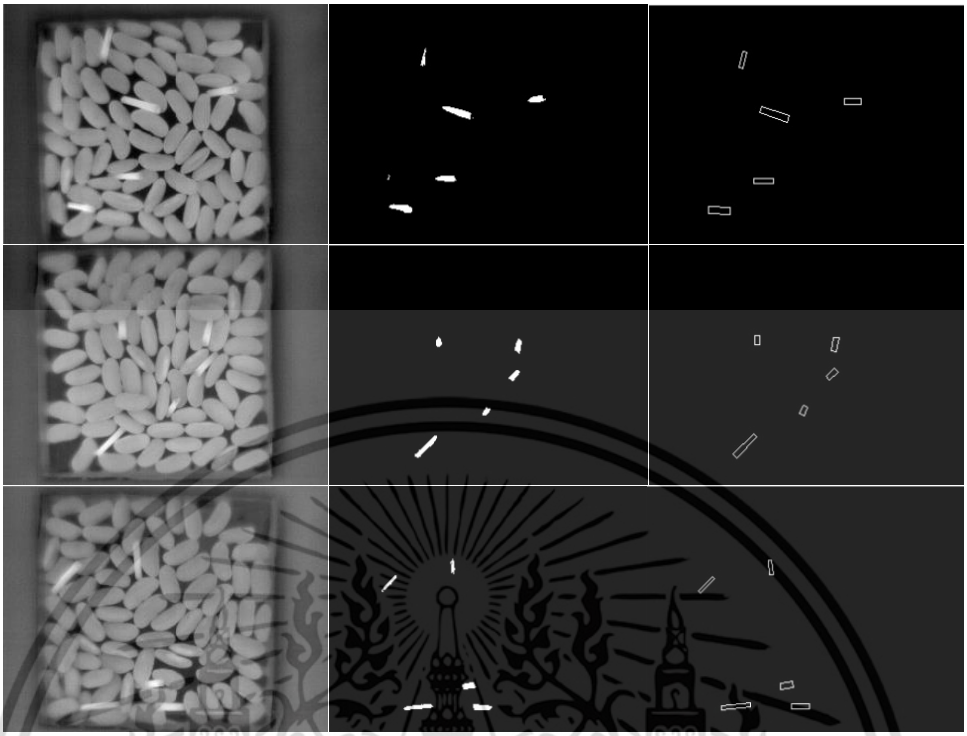


รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับไม้ 3 ชิ้น



รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับไม้ 4 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายทางความร้อนของถั่วแดงกับไม้ 5 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับและนับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี ในการทดลองได้ทำการทดลอง 3 ส่วนคือ การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนแบบสี และการวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนแบบ gray scale และการทดลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบและซอฟแวร์ที่พัฒนา และนำภาพที่ได้มาทำการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดถั่วแดงและถั่วลิสง โดยกำหนดสิ่งแปลกปลอม 3 ชนิด คือ หิน ไม้ และพลาสติก และทำการกำหนดให้เมล็ดพืชเทียบปริมาณเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 2 ตัวอย่างเมล็ดพืช โดยที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมมาปะปนอยู่ โดยกำหนดปริมาณจริงเท่ากับ 10 เมล็ด จากนั้นทำการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วนดังนี้ 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5 และ 0:10 ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม คือ 10 วินาที และช่วงเวลาคายความร้อน คือ 3 วินาที ซึ่งเวลาดังกล่าวทำให้ได้ภาพถ่ายความร้อนที่ชัดเจนเพื่อนำมาวิเคราะห์และหาจำนวนสิ่งแปลกปลอมด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Studio โดยใช้ภาษา C# (Emgu CV Library)

ผลการทดลองที่ได้พบว่าการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมด้วยระบบสีสามารถตรวจจับและนับจำนวนได้แม่นยำแต่ในบางอัตราส่วนเช่น ถั่วแดงกับพลาสติก (5:5) ถั่วแดงกับไม้ (8:2) และ (5:5) ถั่วแดงกับหิน (5:5) และถั่วลิสงกับพลาสติก (9:1) และ (8:2) มีค่าความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมในการตรวจจับและนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอม เนื่องจากเฉดสีของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีเฉดสีที่ใกล้เคียงกันซึ่งการวิเคราะห์ด้วยระบบสีนั้นจำเป็นจะต้องมีการตั้งค่า level : span ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนกลุ่มตัวอย่างทำให้การวิเคราะห์ค่อนข้างยากเนื่องจากค่าสีของตัวอย่างที่ได้มีช่วงไม่แน่นอน จากนั้นทำการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมด้วยระบบ gray scale เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว และทำการทดลอง gray scale เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเข้มของระดับสีเทา (intensity) ของกลุ่มตัวอย่างและทำการเทรสโฮลเพื่อแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดซึ่งผลการทดลองในการแยกสิ่งแปลกปลอมที่ได้ค่อนข้างแม่นยำมากเมื่อค่า intensity ต่างกันมาก เช่นถั่วกับพลาสติก จากนั้นทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด โดยใช้ตัวอย่างถั่วแดงกับไม้ในการทดลองเนื่องจากความเป็นไปได้ของไม้ที่เป็นสิ่งแปลกปลอมที่จะเกิดขึ้นได้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตอีกทั้งสีและลักษณะทางกายภาพที่คล้ายกับถั่วแดง จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมตรวจจับได้คือ 98% ซึ่งค่อนข้างแม่นยำมาก และค่าความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมของซอฟแวร์นั้นเกิดจากที่เมล็ดพืชซ้อนทับสิ่งแปลกปลอมทำให้กล้องถ่ายภาพความร้อนมองไม่เห็นเนื่องจากกล้องถ่ายภาพความร้อนเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิวจึงทำให้ไม่สามารถเห็นภาพสิ่งแปลกปลอมดังกล่าวได้ส่งผลให้ซอฟแวร์ไม่สามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้ และในกรณีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีค่าความจุความร้อนจำเพาะ และขนาดที่ใกล้เคียงกันนั้นก็เป็นอีกปัจจัยที่จะส่งผลให้กล้องถ่ายภาพความร้อนแยกความแตกต่างของวัตถุได้ยาก

ในการพัฒนาเพื่อใช้ในระบบอุตสาหกรรมจริงอาจจะต้องมีเครื่องมือในการเกลี่ยตัวอย่างเพื่อไม่ให้ตัวอย่างซ้อนทับกันเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ภาพนั้นแม่นยำยิ่งขึ้นและอาจจะมีการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมอัตโนมัติโดยวิธีการใช้ลมเป่าหรือเครื่องมือในการคัดออกจากระบบก่อนทำการบรรจุภัณฑ์ และระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำหลักการไปประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจหาสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไปในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ 2544. **การศึกษาทางมานุษยวิทยาโภชนาการ : กรณีถั่ว** สถาบันการแพทย์แผน ไทย กรมการแพทย์กรุงเทพฯ

[2] พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก และคณะ. 2545. **การศึกษาการใช้ แรงของสนามแม่เหล็กในการคัดแยกเมล็ดพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 6. (หน้า 330-334)

[3] สุพรรณ ยั่งยืน และเสรี วงส์พิเชษฐ์. 2550. *การศึกษาและ พัฒนาเครื่องแยกดินทรายออกจากอ้อยลำ* . Postharvest Newsletter. ปีที่ 6 ฉบับที่ 4

[4] G.Ginesu, D.D. Giusto, V.Margner V., 2004. Dection of Foreign Bodies in Food by Thermal Image Processing.IEEE Trasactions on Industrial Electronics.51, 480-490.

[5] Christiane MAIERHOFER, Mathias ROELLIG 2009 Active thermography for the characterization of surfaces andinterfaces of historic masonry structures, Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), Berlin, Germany

[6] P. Meinlschmidt 2005, Thermographic detection of defects in wood and wood-based materials, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Institute for wood research, Braunschweig Germany

[7] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556. Thermal conductivity Food Network–S**olu**tion.[online]. Avaliable : http://www.foodnetworksolution.com /wiki/word/0564/thermal-conductivity,

[8] Tan, P. V. 2010. **Specific Heat Capacities.** [online]. Avaliaable. http://www.polytee.com.vn/wysiwyg/file_up/Specific%20Heat%20Capacities%20-%20Solids.PDF.

[9] ASHRAE. 1989. **Thermal Properties of Foods.** In A: ASHRAE Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia: (N.P.)

[10] Ramstad, P. E. and Geddes, W. F. 1942. **The respiration and storage behavior of soybeans.** Univ. Minn. Tech. Bul. p. 156.

[11] Boudenne, A., Ibos, L., Fois, M., Majeste, J. and Gehin, C. E. 2005. **Electrical and thermal behavior of polypropylene filled with copper particles.** Composites: Part A, (36), p. 1545–1554

[12] นวภัทรา หนูนาค และทวีพล ซื่อสัตย์. 2555. **การวัดและเครื่องมือวัด MEASUREMENT & INSTRUMENTATION.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ มีน เซอร์วิส ซัพพลาย.

[13] Touloukian, Y. S. and Ho, C. Y. 1972. **Thermophysical Properties of Matter.** 8(1), **Thermal Radiative Properties of Nonmatallic Solids**. New York; Plenum Press

[14] Mallory, J. F. 1969. **Thermal Insulation**. New York: Van Nostrand Reinhold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] Gubareff, G. G., Janssen, J. E. and Torborg, R. H. 1960. **Thermal Radiation Properties Survey.** Minneapolis-Honeywell Regulation Company, Minneapolis, MN: (N.P.)

[16] Kreith, F. and Kreider, J. F. 1978. **Principle of solar Energy**. New York: Hemisphere Publishing

[17] Jeng, L. L., Chuen, S. L. and Chung, T. S. 1998. **Measurement and analysis of ignition behavior for peanut shell during combustion.** Agricultural Machinery Engineering, China: National Chung-Hsing University, 7(3), p. 63-73.

[18] Kazarian, E. A. and Hall, C. W. 1965. **Thermal properties of grains.** Transactions of the ASAE, 48(8), p. 33–37.

[19] แสงสี [online]. Avaliable. http://www.prc.ac.th/newart/webart/colour06.html

[20] ประวิทย์ วัฒนากร. 2553. **กล้องถ่ายภาพความร้อนบอกที่ซ่อนอุณหภูมิ**. [online]. Avaliable. http://www.vcharkarn.com/varticle/39579

[21] Gruner, K.D. 2553. **Principles of Non-Contact Temperature Measurement**. [online]. Avaliable. http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR_THEORY_55514_ENG_REVB_LR.PDF.

[22] มนตรี พิรุณเกษตร. 2548. **การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์

[23] Emekci, M., Navarro, S., Donahaye, E., Rindner, M. and Azrieli A. 2002. **Respiration of Rhyzopertha dominica (F.)at reduced oxygen concentrateions.** Journal of Stored Products, (40), p. 27-38.

[24] Chandra, B. S., Paliwal, J., Jayas, D. S. and White, N. D. G. 2010. **Identification of insect-damaged wheat kernels using short-wave near-infrared hyperspectral and digital colour imaging.** Computers and Electronics in Agriculture, (73), p. 118-125.

[25] Chelladurai, V., Jayas, D. S. and White, N. D. G. 2010. **Thermal imaging for detecting fungal infection in stored wheat**. Journal of Stored Products, (46), p. 174-179.

[26] FLIR [online]. Avaliable. http://www.flir.com/cs/emea/en/view/?id=41781

[27] Fluke [online]. Avaliable. http://www.fluke.com/fluke

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TSAE 2013

การประชุมวิชาการ สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6

The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference (TSAE 2013)

โรงแรมฟอร์จูนแกรนด์ แอนด์ สปาซ่า
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
1-4 เมษายน 2556

จัดโดย
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ร่วมกับ กรมส่งเสริมการเกษตร

เกษตรพัฒนา

TFE-31	ผลของอุณหภูมิและเวลาในการอบต่อคุณภาพข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ	565
TOT-02	การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยครีบวางขวาง	570
TOT-03	พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีบรูปตัว-W	577
TOT-04	อิทธิพลของมุมปะทะของครีบวางขวางต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลภายในเตาเผาฟลูอิไดซ์เบด	583
TOT-05	การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องแผ่นขนานโดยใช้ครีบหยัก	590
TPT-01	ปัจจัยที่มีผลต่อการแตกหักของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในขั้นตอนการขัดขาว	596
TPT-03	การทดสอบประสิทธิภาพหอบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงรมลำไยสดจำลองในเขตภาคเหนือตอนบน	599
TPT-04	เครื่องต้นแบบเพื่อตรวจวัดปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) โดยวิธีวัดค่าความหนืด	605
TPT-05	ผลของการจุ่มด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ต่อคุณภาพของลองกองพร้อมบริโภค	608
TPT-06	ผลของสารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่อโครงสร้างเซลล์เนื้อเยื่อลำไยแช่แข็ง	615
TPT-07	การปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของข้าวงอกด้วยวิธีการขัดขาว	621
TPT-08	การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการย้อมสีผ้าที่ใช้ฟางข้าวเป็นตัวดูดซับชีวภาพ และผลกระทบของการดูดซับต่อคุณภาพสีของผ้า	626
TPT-09	การปรับปรุงสมบัติทางกลของฟิล์มบริโภคได้จากไคโตซานโดยวิธีการทางกายภาพ	632
TPT-12	การวิเคราะห์การเกิดด้วงงวงข้าว (มอด) ในข้าวด้วย NIRS.	637
TPT-13	การใช้คลื่นแสงอินฟราเรดย่านใกล้แบบฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มและหัววัดไฟเบอร์ออพติกทำนายค่าความชื้นยาสมุนไพรชนิดผง (จันทน์ลีลา)	644
TPT-14	การจำแนกความสุก - แก่ของทุเรียนพันธุ์ “หมอนทอง”แบบไม่ทำลาย ด้วยสเปกโทรสโกปีช่วงแสงที่มองเห็นได้ที่เปลือก	650
TPT-17	การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี	655
TPT-18	การปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว	662
TPT-19	การจำแนกมังคุดที่เกิดอาการเนื้อแก้วโดยการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรพหุคูณ จากสมบัติเชิงกล และทางกายภาพ	668
TPT-21	การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพในการตรวจสอบ ความแตกต่างทางสรีรวิทยาของขิง	674
TPT-22	ผลของความชื้นต่อสมบัติทางกายภาพของเมล็ดถั่วลิสงพันธุ์ขอนแก่น 84-8	681
TSWE-01	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสภาพอากาศต่อปริมาณน้ำท่าผิวดิน (กรณีศึกษาลุ่มน้ำฝาง จังหวัดเชียงใหม่)	691
TSWE-02	การเพิ่มประสิทธิภาพของการปลูกไม้ผลบนที่ลาดชันโดยใช้ระบบการให้น้ำแบบหยด ร่วมกับสารดูดความชื้นโพลีเมอร์	695
TSWE-04	การเปรียบเทียบการออกแบบระบบชลประทานฉีดฝอยสำหรับภูมิทัศน์ด้วยโปรแกรม EAGLE POINT 2009, LAND F/X 2009 และ RAINCAD V.5	703
TSWE-05	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-RESSIM ช่วยในการบริหารงานอ่างเก็บน้ำ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำพระเพลิง	709
TSWE-08	การทดสอบและประเมินผลการให้น้ำหยดสำหรับไร่อ้อยนอกเขตชลประทานในภาคกลาง	715

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TPT-17

การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี

*วราวิช พรพระ[1] ทวีพล ซื่อสัตย์[1] และ นวภัทรา หนูนาค[2]
[1] *ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520*
[2] *ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520*

ผู้เขียนติดต่อ: วราวิช พรพระ E-mail: king_hakker@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟีวิธีนี้อาศัยหลักการของการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีการถ่ายเทความร้อนที่ต่างกัน โดยระบบนี้ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพความร้อน แหล่งกำเนิดความร้อน สายพานสำหรับลำเลียงถาดตัวอย่าง ซึ่งควบคุมด้วยเครื่องควบคุมแบบตรรก ที่โปรแกรมได้ และ คอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลภาพถ่ายความร้อนแบบเวลาจริงในการทดลองได้ทำการตรวจจับหาสิ่งแปลกปลอม เช่น หิน ไม้ และพลาสติก ที่ปะปนอยู่ในเมล็ดถั่วแดง และถั่วลิสง การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างและระยะเวลาในการตรวจจับด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน จากนั้นนำภาพถ่ายความร้อนมาวิเคราะห์ด้วยการประมวลผลภาพแบบเวลาจริงเพื่อแยกแยะและหาปริมาณสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืช โดยใช้ซอฟต์แวร์ซึ่งพัฒนาบนVision BuilderAI ของบริษัท National Instruments จากผลการทดลองได้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างธัญพืชกับสิ่งแปลกปลอมได้ และสามารถแยกแยะและหาปริมาณสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชได้อย่างอัตโนมัติ

คำสำคัญ: ภาพถ่ายทางความร้อน; ธัญพืช; สิ่งแปลกปลอม; การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวกับเกษตรนั้น ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบหรืออาหารสำเร็จรูป ในกระบวนการผลิตผู้ผลิตย่อมที่จะต้องการให้วัตถุดิบที่ได้เหล่านั้นมีความสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอมเพื่อให้ได้คุณภาพและเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบนั้นๆ ในปัจจุบันคนให้ความสำคัญในเรื่องของการดูแลสุขภาพมากขึ้น มีการเลือกสรรวัตถุดิบที่มีประโยชน์ต่อร่างกายนำมาปรุงอาหาร เช่น เมล็ดพืชชนิดต่างๆที่อุดมด้วยคุณค่าถูกนำเอามาดัดแปลงเป็นอาหาร และเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่างๆ มากมาย[1] โดยเฉพาะเมล็ดพืชเป็นวัตถุดิบที่สำคัญที่นำไปใช้เพื่อการแปรรูปอาหารเป็นแป้งแล้วนำไปแปรรูปต่อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เพราะฉะนั้นในกระบวนการผลิตหรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเมล็ดพืชจึงจำเป็นอย่างมากที่จะต้องคำนึงถึงความสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอม ซึ่งสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ในวัตถุดิบเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น การเก็บเกี่ยว การขนส่ง การเก็บรักษา เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ทำให้มีสิ่งแปลกปลอมปะปนเข้ามาในเมล็ดพืชได้ทำให้มีผลในด้านคุณภาพของวัตถุดิบลดลง วิธีการดั้งเดิมในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากวัตถุดิบคือการใช้กำลังคนในการคัดแยก แต่ปัจจัยทางด้านกายภาพของแต่ละบุคคลทำให้มีผลในการคัดแยกเช่น เพศ อายุ สภาพแวดล้อมในการทำงาน เป็นต้น[2] หรือวิธีการคัดแยกในทางเชิงกลบางวิธี เช่น การใช้ตะแกรงร่อน ไม่สามารถแยกวัตถุดิบที่มีลักษณะทางกายภาพดังเช่นขนาดที่ใกล้เคียงกันได้[3] และส่วนของวิธีการคัดแยกหรือการตรวจสอบแบบไม่สัมผัสกับวัตถุดิบมีหลากหลายวิธี เช่น วิธีการคัดแยกสี (color sorter) เป็นวิธีการคัดแยกด้วยสีที่ผิวของวัตถุ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อคัดแยกวัสดุที่มีสีแตกต่างกันออกจากกัน โดยใช้การถ่ายภาพและวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image processing) เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ แต่สำหรับวิธีนี้ยังคงมีข้อจำกัดคือไม่สามารถแยกวัตถุที่มีสีคล้ายคลึงกันได้อย่างชัดเจน ทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจสอบหรือคัดแยกลดลง ทั้งนี้เพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการวัตถุดิบที่มีความสะอาดและได้คุณภาพต่อลูกค้า ปัจจัยในด้านความสะอาดและคุณภาพในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับสินค้าเพื่อบริโภคย่อมเป็นปัจจัยสำคัญและมีความจำเป็นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายเป็นวิธีหนึ่งที่ไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อวัตถุดิบทั้งทางด้านคุณภาพและกายภาพ โดยทั่วไปมีการนำเทคนิค Active thermography ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอาหารหรือด้านอื่นมากมาย เช่น การนำไปตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในอาหารโดยใช้หลักการถ่ายภาพความร้อน[4] นำหลักการ Active thermography ไปใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวและรอยต่อของอิฐ[5] และนำหลักการถ่ายภาพความร้อนไปตรวจจับรอยชำรุดใน

วัสดุที่เป็นไม้[6] เป็นต้น งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อการวัดและการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Passive Thermography และ Active Thermography ซึ่งวิธี Active Thermography เป็นวิธีที่ได้เลือกนำมาทดสอบวิธีการประยุกต์ในการใช้ระบบนี้โดยทั่วไปแล้วจะต้องมีแหล่งกระตุ้นความร้อนจากภายนอก (Heat Source) มาเป็นแหล่งให้ความร้อนกับวัตถุที่จะทำการตรวจสอบ ซึ่งตัวอย่างที่จะนิยมใช้เป็นแหล่งกระตุ้นความร้อนสำหรับงานตรวจสอบแบบไม่ทำลาย คือ แสงจากหลอดไฟฮาโลเจน หลอดไฟซีนอน แสงเลเซอร์ กระแสไฟฟ้าหมุนวน หรือ อัลตราโซนิค เป็นต้น สำหรับวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธี Active thermography นี้จะมีด้วยกันอยู่หลายวิธี เช่น วิธี lock-in infrared thermography การทดสอบด้วยวิธีนี้มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีอื่นเนื่องจาก แหล่งให้ความร้อนจะต้องป้อนเป็นลักษณะคาบเวลา เช่น สัญญาณไซน์ ผ่านไปยังอุปกรณ์กระตุ้นความร้อน เช่น หลอดไฟที่ให้ความร้อน หรืออัลตราโซนิค จากนั้นวัดผลตอบสนองในรูปแบบของเฟส (Phase) และ แมกนิจูด (Magnitude) จากภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน ในภาพของเฟสสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของเวลาในการแพร่ความร้อน และความผิดปกติบนพื้นผิวได้ วิธีPulse thermography วิธีนี้เป็นวิธีการให้ความร้อนจากแหล่งกระตุ้นเพียงแค่ระยะเวลาสั้น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัสดุ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Cp) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) และสำหรับความร้อนที่ให้ไปถ้าเป็นโลหะจะมีค่าการนำความร้อนสูงซึ่งให้ความร้อนในช่วงมิลลิวินาที แต่ถ้าวัสดุเป็นพลาสติกหรืออโลหะจะให้ความร้อนในช่วงวินาที ซึ่งค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) หรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นสมบัติเชิงความร้อน (thermal properties) ของวัสดุ ที่บ่งบอกถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อนโดยการนำความร้อน (conduction) ของวัสดุต่างๆ ซึ่งเป็นการส่งผ่านความร้อนภายในโมเลกุลของวัสดุ จากโมเลกุลที่ระดับพลังงานสูงกว่าไปยังระดับที่ต่ำกว่า ของแต่ละวัสดุก็จะไม่เท่ากัน[7]

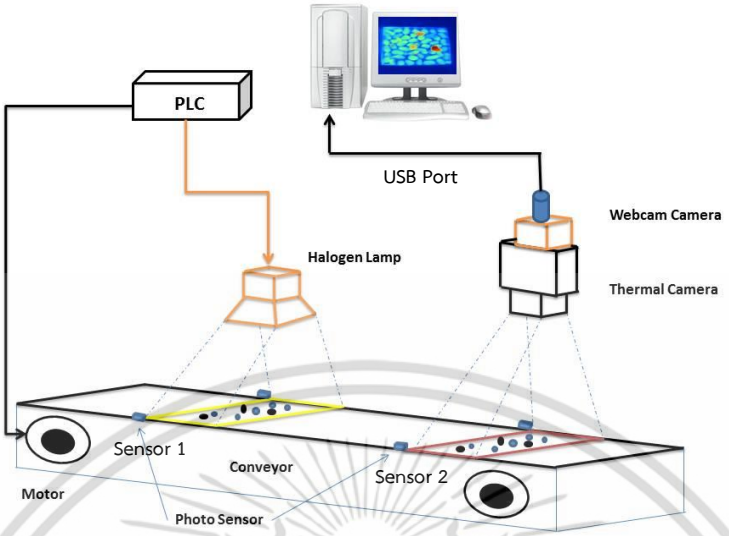
2. อุปกรณ์และวิธีการ

การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพความร้อนที่ใช้ในการทดลองคือ FLUKE Ti32 IR FUSION TECHNOLOGY (320x240 FPA) Infrared spectral band 7.5 um – 14 um, หลอดไฟ halogen 50-60 Hz 100W, สายพานลำเลียง เครื่องที่โปรแกรมได้ (PLC) model:SYSMAC C28H ที่ใช้ในการควบคุมสายพานและไฟแหล่งกำเนิดแสง โฟโตเซนเซอร์ กล้อง webcam ที่ใช้สำหรับจับภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน ซอฟต์แวร์ Vision Builder AI Version 2012 และcomputerที่ใช้ในการประมวลผล ระบบการทดลองแสดงดังรูปที่ 1

2.1 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช

ในการทดลองได้นำตัวอย่างเมล็ดพืชมาทั้งหมด 2 ชนิด คือ ถั่วแดงและถั่วลิสง และสิ่งแปลกปลอมกำหนดขึ้นมา 3 ชนิด คือ ไม้ หิน และพลาสติก โดยในการทดลองกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนกันวางอยู่ในถาดทดลองขนาด 10x10 ซม. วางบนสายพานซึ่งเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ที่ถูกควบคุมจาก PLC ถาดทดลองเคลื่อนบนสายพานจนกระทั่งเซนเซอร์ตัวที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงความร้อน (halogen lamp) ตรวจจับได้ จากนั้นสายพานหยุดเพื่อให้ความร้อน 5 วินาที ถาดกลุ่มตัวอย่างเคลื่อนที่จากตำแหน่งเซนเซอร์ตัวที่ 1 ไปยังเซนเซอร์ตัวที่ 2 ซึ่งเป็นตำแหน่งติดตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยใช้เวลา 3 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเย็นตัวลง (cooling) ของกลุ่มตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 ระบบการทดลอง

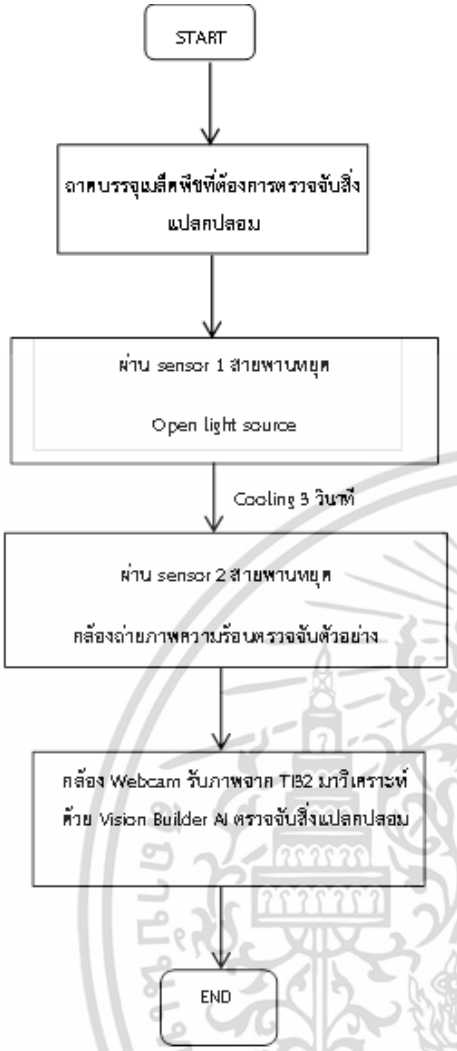
เมื่อเซนเซอร์ตัวที่ 2 ตรวจจับถาดได้ สายพานจะหยุด 1 วินาที เพื่อให้กล้องถ่ายภาพความร้อนทำการจับภาพกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ตรวจจับได้จะมีสีที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนที่แตกต่างกันของวัตถุ และใช้กล้อง webcam จับภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาจำนวนของสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในเมล็ดพืชด้วยซอฟต์แวร์ vision builder AI อัลกอริทึมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี แสดงดังรูปที่ 2

2.2 การคัดแยกจำนวนสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายทางความร้อนด้วยซอฟต์แวร์ Vision Builder AI

ในขั้นตอนการทดลองการคัดแยกนี้เริ่มต้นทำการกำหนดให้เมล็ดพืชเทียบปริมาณเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 2 ตัวอย่างเมล็ดพืช โดยที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมมาปะปนอยู่ โดยกำหนดปริมาณจริงเท่ากับ 10 เมล็ด จากนั้นทำการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืชและจำนวนสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วนดังนี้ 8:2, 6:4, 5:5 และ 0:10 ตามลำดับ

แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Vision Builder AI ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท National Instruments โดยที่โปรแกรมดึงภาพสีจากกล้อง webcam เชื่อมต่อผ่าน USB จากนั้นกำหนดค่า threshold ของค่าสี (Hue) ในซอฟแวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดช่วงของเฉดสีร้อนคือสีแดงอยู่ในช่วง 0-18 และเฉดสีเย็นคือสีฟ้าเพื่อตรวจจับสิ่งแปลกปลอม เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชมีค่าแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี

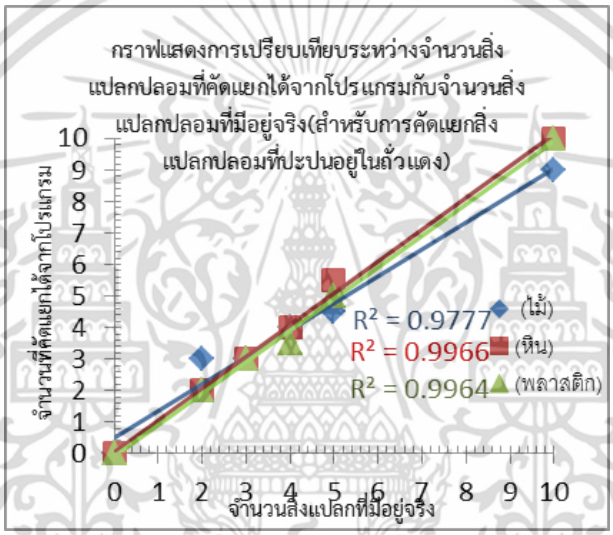
โดยที่เมล็ดพืชเมื่อผ่านการให้ความร้อนและ cooling แล้ว ภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนจะเป็นเฉดสีฟ้าและสิ่งแปลกปลอมจะเป็นเฉดสีแดง โปรแกรมจะทำการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมโดยใช้เครื่องมือคำสั่ง Detect Object ตรวจจับวัตถุที่เป็นสีแดงเพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมจริง หน้าต่างซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 3

3.ผลการทดลองและวิจารณ์

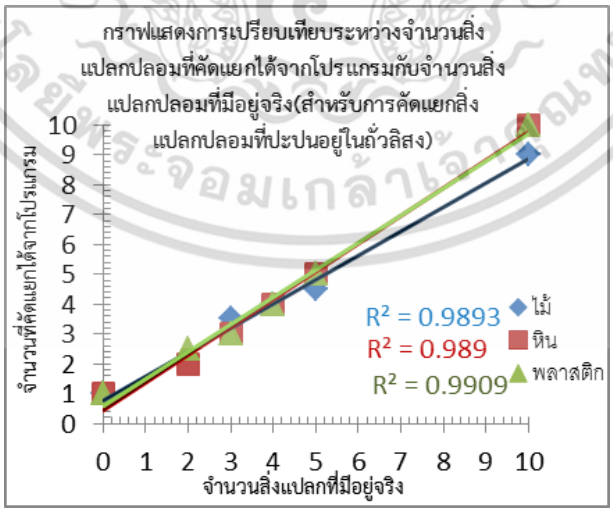
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองตรวจจับหาสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายทางความร้อน โดยผลการทดลองพบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเป็นระยะเวลา 5 วินาที คือ ระยะเวลาที่ดีที่สุด และระยะเวลาในการ cooling ที่ดีที่สุด คือ 3 วินาที ซึ่งช่วงระยะเวลาที่ได้นี้จะให้ภาพที่ชัดเจนที่สุดในการนำมาวิเคราะห์เพื่อทำการตรวจจับปริมาณจำนวนของสิ่งแปลกปลอมเปรียบเทียบกับจำนวนเมล็ดพืช ซึ่งผลที่ได้โดยการวิเคราะห์หาปริมาณสิ่งแปลกปลอมจากโปรแกรม Vision Builder AI ค่อนข้างแม่นยำ โดยผลที่ได้จากการทดลองแสดงดัง รูปที่ 4 โดยที่จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่คัดแยกได้จากโปรแกรมมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนสิ่งแปลกที่มีอยู่จริง (สำหรับการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ในถั่วแดง) และรูปที่ 5 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่คัดแยกได้จากโปรแกรมมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนสิ่งแปลกที่มีอยู่จริง (สำหรับการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ในถั่วลิสง) ผลการทดลองจากการนำภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืช ปริมาณ 100% โดยไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปนมาวิเคราะห์ด้วยซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น พบว่าโปรแกรมไม่สามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 0% ดังแสดงในตารางที่ 1 และจากผลการทดลองเมื่อทำการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืชและจำนวนสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วนดังนี้ 8:2, 6:4, 5:5 และ 0:10 ตามลำดับ เมื่อนำภาพถ่ายความร้อนมาวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจจับหาสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชเปรียบเทียบกับจำนวนจริงของสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่ พบว่าผลการทดลองที่ได้ในกรณีที่เปรียบเทียบให้มีสิ่งแปลกปลอมปะปนในเมล็ดถั่วแดง โปรแกรมสามารถตรวจจับปริมาณสิ่งแปลกปลอมได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0% แต่มีในกรณีที่มีการคัดแยกไม้ที่ปะปนมาในถั่วแดงที่อัตราส่วน 5:5 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 20% และที่อัตราส่วน 0:10 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 10% ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2 และในกรณีที่เปรียบเทียบให้มีสิ่งแปลกปลอมปะปนในเมล็ดถั่วลิสงสามารถตรวจจับปริมาณสิ่งแปลกปลอมได้ค่อนข้างแม่นยำเช่นกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 หน้าต่างซอฟต์แวร์ Vision Builder AI ที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น

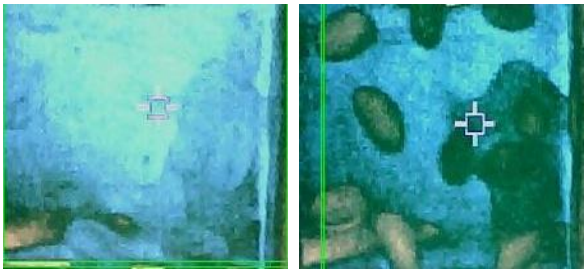


รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่คัดแยกได้จากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง (ในถั่วแดง)



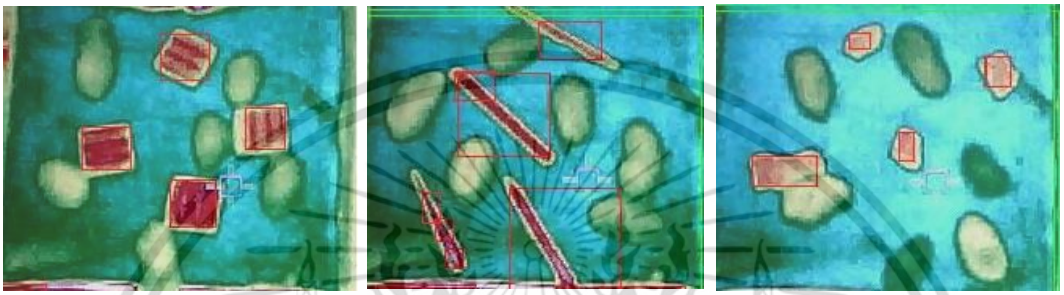
รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่คัดแยกได้จากโปรแกรมกับจำนวนสิ่ง แปลกปลอมที่มีอยู่จริง (ในถั่วลิสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



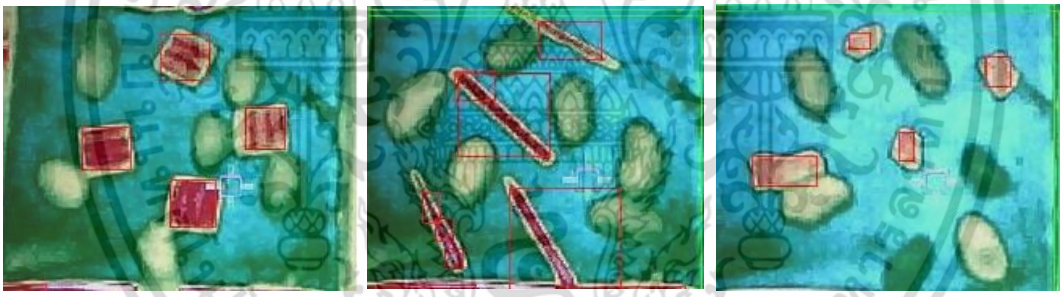
(ก) (ข)

รูปที่ 6 ภาพแสดงภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชที่มีปริมาณ 100% (ก) ถั่วแดง (ข) ถั่วลิสง



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 7 ภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืช (ถั่วแดง) ปะปนกับสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่อัตราส่วน 60:40
พลาสติก (ข) ไม้ และ (ค) หิน



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 8 ภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืช (ถั่วลิสง) ปะปนกับสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่อัตราส่วน 60:40
พลาสติก (ข) ไม้ และ (ค) หิน

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 9 ภาพถ่ายความร้อนของสิ่งแปลกปลอม 100% (ก) พลาสติก (ข) ไม้ และ (ค) หิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่มีในกรณีที่มีการคัดแยกไม้ที่ปะปนมาในถั่วลิสงที่มีอัตราส่วน 0:10 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 10% ดังแสดงในตารางที่ 3 ในการทดลองบางอัตราส่วนที่มีค่าความผิดพลาดในการตรวจจับ อาจเกิดจากสิ่งแวดล้อมภายนอกจากแสงหรืออุณหภูมิเข้ามารบกวน ทำให้ค่าการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุเปลี่ยนไปทำให้กล้องถ่ายภาพความร้อนไม่สามารถตรวจจับวัตถุนั้นได้ หรือในส่วนของเมล็ดพืชที่ยังมีความร้อนสะสมอยู่บางเมล็ดทำให้มีการแผ่รังสีในเฉดสีเดียวกันกับสิ่งแปลกปลอมจึงทำให้โปรแกรมตรวจจับเมล็ดพืชนั้นด้วย

ในรูปที่ 6-9 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายความร้อนในกรณีต่างๆ ที่ทำการทดลองวิเคราะห์หาจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในเมล็ดพืชโดยใช้ Vision Builder AI โดยในรูปที่ 5 แสดงแสดงภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชที่มีปริมาณ 100% (ก) ถั่วแดง (ข) ถั่วลิสง รูปที่ 6 แสดงภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืช (ถั่วแดง) ปะปนกับสิ่งแปลกปลอมต่างๆที่อัตราส่วน 60:40 (ก) พลาสติก (ข) ไม้ และ (ค) หิน รูปที่ 7 แสดงภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืช (ถั่วลิสง) ปะปนกับสิ่งแปลกปลอมต่างๆที่อัตราส่วน 60:40 (ก) พลาสติก (ข) ไม้ และ (ค) หิน และรูปที่ 8 แสดงภาพถ่ายความร้อนของสิ่งแปลกปลอม 100% (ก) พลาสติก (ข) ไม้ และ(ค)หิน

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณจำนวนเมล็ดพืชจริงกับสิ่งแปลกปลอมเทียบกับปริมาณจำนวนเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมตรวจจับได้

ชนิดของเมล็ดพืช	จำนวนจริง (เมล็ด)		จำนวนที่ตรวจจับได้จากโปรแกรม (เมล็ด)	
	เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม
ถั่วแดง	10	0	10	0
ถั่วลิสง	10	0	10	0

ตารางที่ 2 แสดงการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืช (ถั่วแดง) และจำนวนสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วน 8:2, 6:4, 5:5 และ 0:10 ตามลำดับ

ชนิดของเมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	จำนวนอัตราส่วนจริง (เมล็ด)		จำนวนอัตราส่วนการทดลอง (เมล็ด)	
		เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม
ถั่วแดง	พลาสติก	8	2	8	2
ถั่วแดง	ไม้			8	2
ถั่วแดง	หิน			8	2
ถั่วแดง	พลาสติก	6	4	6	4
ถั่วแดง	ไม้			6	4
ถั่วแดง	หิน			6	4
ถั่วแดง	พลาสติก	5	5	5	5
ถั่วแดง	ไม้			5	4
ถั่วแดง	หิน			5	5
ถั่วแดง	พลาสติก	0	10	0	10
ถั่วแดง	ไม้			0	9
ถั่วแดง	หิน			0	10

ตารางที่ 3 แสดงการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืช (ถั่วลิสง) และจำนวนสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วน 8:2, 6:4, 5:5 และ 0:10 ตามลำดับ

ชนิดของเมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	จำนวนอัตราส่วนจริง (เมล็ด)		จำนวนอัตราส่วนการทดลอง (เมล็ด)	
		เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม
ถั่วลิสง	พลาสติก	8	2	8	2
ถั่วลิสง	ไม้			8	2
ถั่วลิสง	หิน			8	2
ถั่วลิสง	พลาสติก	6	4	6	4
ถั่วลิสง	ไม้			6	4
ถั่วลิสง	หิน			6	4
ถั่วลิสง	พลาสติก	5	5	5	5
ถั่วลิสง	ไม้			5	5
ถั่วลิสง	หิน			5	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	จำนวนอัตราส่วนจริง (เมล็ด)		จำนวนอัตราส่วนการทดลอง (เมล็ด)	
		เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม
ถั่วลิสง	พลาสติก	0	10	0	10
ถั่วลิสง	ไม้			0	9
ถั่วลิสง	หิน			0	10

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี ในการทดลองได้ทำการตรวจจับหาสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดถั่วแดง และถั่วลิสง โดยกำหนดสิ่งแปลกปลอม 3 ชนิด คือ หิน ไม้ และพลาสติก ระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่ธัญพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาที่ได้จากผลการทดลองคือ 5 วินาที และช่วงเวลาเว้นระยะห่างหลังจากให้ความร้อนคือ 3 วินาที ซึ่งทำให้ได้ภาพถ่ายความร้อนที่ชัดเจนที่ใช้นำมาวิเคราะห์เพื่อแยกแยะและหาปริมาณสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืช โดยใช้ซอฟต์แวร์ Vision Builder AI ซึ่งซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างธัญพืชกับสิ่งแปลกปลอมได้ค่อนข้างชัดเจน โดยจากผลการทดลองปริมาณจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับปริมาณสิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมตรวจจับได้ด้วยค่า R^2>0.97 และสามารถแยกแยะและหาปริมาณสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งในทุกกรณีมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% และระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำหลักการไปประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจหาสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไปในอนาคตได้

5. อ้างอิง

[1] เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ (2544) การศึกษาทางมานุษยวิทยาโภชนาการ : กรณีถั่ว สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์กรุงเทพฯ

[2] พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก และคณะ. (2545). *การศึกษาการใช้ แรงของสนามแม่เหล็กในการคัดแยกเมล็ดพืช.* พิมพ์ ครั้งที่ 6. (หน้า 330-334)

[3] สุพรรณ ยั่งยืน และเสรี วงส์พิเชษฐ์. (2550). การศึกษาและ พัฒนาเครื่องแยกดินทรา ย ออกจา ก อ้อยลำ . Postharvest Newsletter. ปีที่ 6 ฉบับที่ 4

[4] G.Ginesu, D.D. Giusto, V.Margner V., (2004). Dection of Foreign Bodies in Food by Thermal Image Processing.IEEE Trasactions on Industrial Electronics.51, 480-490.

[5] Christiane MAIERHOFER, Mathias ROELLIG (2009) Active thermography for the characterization of surfaces andinterfaces of historic masonry structures, Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), Berlin, Germany

[6] P. Meinlschmidt (2005), Thermographic detection of defects in wood and wood-based materials, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Institute for wood research, Braunschweig Germany

[7] Thermal conductivity Food Network –Solution เรียบเรียงโดย ผศ. ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ศ.ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์ URL: http:// www. Foodnetworksolution- .com/wiki/word/0564/thermal-conductivity, เข้าดูเมื่อวันที่ 28/01/2556.

TPT-18

การปกป้องผลแอปเปิ้ลด้วยวัสดุกันกระแทกจากฟางข้าว

* ธนากร แนวกลาง[1] เทวรัตน์ ตรีอำนรรค[1] วีรชัย อาจหาญ[1] และ กระวี ตรีอำนรรค[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ม. 1 ถนนรังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวราวิช พรพระ
วัน เดือน ปีเกิด	25 เมษายน 2530 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด
ที่อยู่	55/133 หมู่ 12 หมู่บ้านพฤกษาดีไลท์ ตำบลศีรษะจรเข้น้อย อำเภอบางเสาธง สมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	2553 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2558 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เช่น High Performance Liquid Chromatography, Mass Spectroscopy เป็นต้น 2.) การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม เช่น Scanning electron microscope (SEM), Atomic force microscope (AFM), UV-VIS, Universal Testing Machine, FT-IR, Confocal เป็นต้น
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2553-ปัจจุบัน	ตำแหน่ง Analytical Service Engineer บริษัท พาราไซแอนติฟิค จำกัด - Exclusive Distributor ของเครื่องมือวิเคราะห์และ ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ผลิตภัณฑ์ของ SHIMADZU ประเทศญี่ปุ่น
พ.ศ.2554	งานวิจัยเรื่อง Characterization of PVA-Chitosan Nanofibers Prepared by Electrospinning ได้รับการตีพิมพ์แสดงบนwww.sciencedirect.com
พ.ศ.2556	งานวิจัยเรื่อง ระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี ได้รับการยอมรับเข้าร่วมนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 ที่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่พัฒนาด้วย Microsoft Visual Studio C# (EmguCV Library)

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.Threading;
using Emgu.CV;
using Emgu.CV.Structure;
using Emgu.Util;
//using Emgu.CV.GPU;
using Emgu.CV.UI;
using Emgu.CV.CvEnum;
namespace WindowsFormsApplication1
{
    public partial class Form1 : Form
    {

        const int EV_CONNECTED = 2;
        const int EV_DISCONNECTED = 3;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
const int EV_CONN_BROKEN = 4;

const int EV_RECONNECTED = 5;

const int EV_DISCONNECTING = 6;

const int EV_AUTOADJUST = 7;

const int EV_RECALIB_START = 8;

const int EV_RECALIB_STOP = 9;

const int EV_LUT_UPDATED = 10;

const int EV_REC_UPDATED = 11; // Recording settings are uppdated

const int EV_IMAGE_CAPTURED = 12;

const int EV_INIT_COMPLETED = 13;

const int EV_FRAME_RATE_TABLE_AVAILABLE = 14;

const int EV_FRAME_RATE_CHANGE_COMPLETED = 15;

const int EV_RANGE_TABLE_AVAILABLE = 16;

const int EV_RANGE_CHANGE_COMPLETED = 17;

const int EV_IMAGE_SIZE_CHANGED = 18;



public Thread GrabberThread;



Image<Bgr, Byte> ColormapImage;

Image<Gray, Byte> TempImage, ThresholdImage, TempImageNew;

Image<Gray, Byte> TempContourRectImage;



int[] intThresholdValue = new int[2] {255, 100};

int intSaveImageCount = 0;

//Byte[] intTemp = new Byte[1000];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//Byte[] intTemp2 = new Byte[1000];

//Point[] temp;


Contour<Point> contours;

MemStorage stor;
```

```
public void Grabber()

{

    object image;

    while (true)

    {

        // request image with IR signal values (array of UInt16)

        image = axLVCam1.GetImage(0);

        DrawPicture(image);


    }

}


public void DrawPicture(object image)

{

    if (image is Int16)

    {

        // If we get an error code - give up
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Thread.Sleep(1000);
    return;
}

// We have an image - cast it to proper type
System.UInt16[,] im = image as System.UInt16[,];

int lngWidthIrImage = im.GetLength(0);
int lngHeightIrImage = im.GetLength(1);

//System.Diagnostics.Debug.WriteLine("w=" + lngWidthIrImage);
//System.Diagnostics.Debug.WriteLine("h=" + lngHeightIrImage);

// Create a bitmap for our image
Bitmap bmp = new Bitmap(lngWidthIrImage, lngHeightIrImage);

// Find minimum and maximum pixels
int lngMinPixelValue = 65535;
int lngMaxPixelValue = 0;
for (int y = 0; y < lngHeightIrImage; y++)
{
    for (int x = 0; x < lngWidthIrImage; x++)
    {
        ushort pixel = im[x, y];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if (pixel < lngMinPixelValue)
            lngMinPixelValue = pixel;
        else if (pixel > lngMaxPixelValue)
            lngMaxPixelValue = pixel;
    }
}

int lngSpan = lngMaxPixelValue - lngMinPixelValue;

for (int x = 0; x < lngWidthIrImage; x++)
{
    for (int y = 0; y < lngHeightIrImage; y++)
    {
        ushort pixel = (ushort)im[x, y];
        byte pix = (byte)(((pixel - lngMinPixelValue) * 255) / lngSpan);
        //ushort pix = (ushort)im[x, y];
        //TempImage.Data[y, x, 0] = pix;
        bmp.SetPixel(x, y, Color.FromArgb(pix, pix, pix));
    }
}

// Bitmap is ready - update image control
//pic.Image = System.Drawing.Image.FromHbitmap(bmp.GetHbitmap());
imageBoxFLIR.BeginInvoke(new Action(() =>
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            //trackBarHue.Value = 0;

            //imageBox1.Image = new Image<Bgr, Byte>(bmp);

            TempImage = new Image<Gray, Byte>(bmp);

            //ThresholdImage = ThresholdImage.ThresholdBinary(new Gray(195), new Gray(255));

            imageBoxFLIR.Image = TempImage;

            //imageBoxThreshold.

            //trackBarHue.Value = 0;

            //ColormapImage = new Image<Bgr, Byte>(TempImage.Width, TempImage.Height);

            //CvInvoke.ApplyColorMap(TempImage.Ptr, ColormapImage.Ptr,
Emgu.CV.CvEnum.ColorMapType.Jet);

            //imageBoxThreshold.Image = ThresholdImage;

        }));


        imageBoxThreshold.BeginInvoke(new Action(() =>

        {

            //comboBox1.SelectedItem;

            ThresholdImage = TempImage.ThresholdBinary(new
Gray(intThresholdValue[(int)comboBox1.SelectedIndex]), new Gray(255));

            //trackBarThreshold.Value = ;


            ////////////////////////------Image Threshold by Trackbar-------//////////////////////////////////////


            //ThresholdImage = TempImage.ThresholdBinary(new Gray(trackBarThreshold.Value), new
Gray(255));

            imageBoxThreshold.Image = ThresholdImage;

        }));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            imageBoxContour.BeginInvoke(new Action(() =>
            {
                stor = new MemStorage();
                contours =
ThresholdImage.FindContours(Emgu.CV.CvEnum.CHAIN_APPROX_METHOD.CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE,
Emgu.CV.CvEnum.RETR_TYPE.CV_RETR_TREE, stor);
                TempImageNew = new Image<Gray, Byte>(ThresholdImage.Size);
                TempContourRectImage = new Image<Gray, Byte>(ThresholdImage.Size);
                TempImageNew = RemoveSmallObject(contours, int.Parse(txtSize.Text));
                //while (contours != null)
                //{
                //    TempImageNew.Draw(contours, new Gray(255), -1);

                //    contours = contours.HNext;
                //}
                imageBoxContour.Image = TempImageNew;
            }));
        }

        private Image<Gray, Byte> RemoveSmallObject(Contour<Point> tempContours, int intSize)
        {
            //Image<Gray, Byte> TempContourImage = new Image<Gray, byte>(InputImage.Size);

            //Image<Gray, Byte> TempImageNew = InputImage.Convert<Gray, byte>();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int i = 0;


for (; tempContours != null; tempContours = tempContours.HNext)
{
    if (tempContours.Area > intSize)
    {
        i++;
        textBox1.Text = i.ToString();
        //TempContourRectImage.Draw(tempContours, new Gray(255), 1);

        /* ////// ---------------------- /////////
        Point[] temp = tempContours.ToArray();

        int last = 0, current, MaxIndex;

        for (int k = 0; k < temp.Length; k++)
        {
            current = temp[k].X;
            if (current < last)
            {
                MaxIndex = k;
                break;
            }
            last = current;
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for (int k = 0; k < temp.Length; k++)
{
    for (int x = temp[k].X; x < temp[temp.Length/2].X; x++)
    {
        for (int y = temp[k].Y; y < temp[(temp.Length-1) - k].Y; y++)
        {
            //intTemp[k] = TempImage.Data[temp[k].X, temp[k].Y, 0];
            TempContourRectImage.Draw(new CircleF(new Point(x, y),0), new Gray(255), 1);
        }
    }
}
 */
MCvBox2D box = tempContours.GetMinAreaRect();
if (box.angle < -45.0)
{
    float tmp = box.size.Width;
    box.size.Width = box.size.Height;
    box.size.Height = tmp;
    box.angle += 90.0f;
}

else if (box.angle > 45.0)
{
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                float tmp = box.size.Width;
                box.size.Width = box.size.Height;
                box.size.Height = tmp;
                box.angle -= 90.0f;
            }
            TempContourRectImage.Draw(box, new Gray(255), 1);
            //TempImageNew.Draw(box, new Gray(255), 1);
            //imageBox1InputImage.Image = TempImageNew;
            //imageBox1ThresHold.Image = TempContourRectImage;
        }

        RemoveSmallObject(tempContours.VNext, int.Parse(txtSize.Text));
    }
    return TempContourRectImage;
}

public Form1()
{
    InitializeComponent();
    string kalle = axLVCam1.Version;

}

    private void axLVCam1_CameraEvent(object sender,
AxCAMCTRLLib._DLVCamEvents_CameraEventEvent e)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
    string sEvent = "";
    switch (e.id)
    {
        case EV_CONNECTED:
            sEvent = "Connected";
            GrabberThread = new Thread(new ThreadStart(Grabber));
            GrabberThread.Start();
            break;
        case EV_DISCONNECTED:
            sEvent = "Disconnected";
            GrabberThread.Abort();
            break;
        case EV_CONN_BROKEN:
            sEvent = "Connection broken"; break;
        case EV_RECONNECTED:
            sEvent = "Reconnected"; break;
        case EV_DISCONNECTING:
            sEvent = "Disconnecting..."; break;
        case EV_AUTOADJUST:
            sEvent = "Auto adjust"; break;
        case EV_RECALIB_START:
            sEvent = "Start of recalibration"; break;
        case EV_RECALIB_STOP:
            sEvent = "End of recalibration"; break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            case EV_LUT_UPDATED:
                sEvent = "Look-up table updated"; break;
            case EV_REC_UPDATED:
                sEvent = "Recording settings updated"; break;
            case EV_IMAGE_CAPTURED:
                sEvent = "Image captured"; break;
            case EV_INIT_COMPLETED:
                sEvent = "Init completed"; break;
            case EV_FRAME_RATE_TABLE_AVAILABLE:
                sEvent = "Frame rate table available"; break;
            case EV_FRAME_RATE_CHANGE_COMPLETED:
                sEvent = "Frame rate change completed"; break;
            case EV_RANGE_TABLE_AVAILABLE:
                sEvent = "Temperature range table available"; break;
            case EV_RANGE_CHANGE_COMPLETED:
                sEvent = "Temperature range change completed"; break;
            case EV_IMAGE_SIZE_CHANGED:
                sEvent = "Image size changed"; break;
        }

        listBox1.Items.Add(sEvent);
    }

    // private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
    // {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        // }


        // private void trackBarHue_Scroll(object sender, EventArgs e)
         //{
         //    lblHueVal.Text = trackBarThreshold.Value.ToString();
         //}


         private void trackBarThreshold_Scroll(object sender, EventArgs e)
         {
             lblThresVal.Text = trackBarThreshold.Value.ToString();
             ThresholdImage = TempImage.ThresholdBinary(new Gray(trackBarThreshold.Value), new
Gray(255));
             imageBoxThreshold.Image = ThresholdImage;
         }


         private void btCapture_Click(object sender, EventArgs e)
         {
             string strImageName = null;
             string strThresholdName = null;
             string strContourName = null;
             strImageName = "D:\\Project image\\Image Source\\Image_" + intSaveImageCount.ToString() +
".png";
             strThresholdName = "D:\\Project image\\Threshold Image\\Threshold_" +
intSaveImageCount.ToString() + ".png";
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            strContourName = "D:\\Project image\\Contour Image\\Contour_" + intSaveImageCount.ToString()
+ ".png";

            TempImage.Save(strImageName);

            ThresholdImage.Save(strThresholdName);

            TempImageNew.Save(strContourName);

            intSaveImageCount++;

        }


        private void btFeedImage_Click(object sender, EventArgs e)

        {

            //imageBoxThreshold.Image = TempImage;

            GrabberThread.Abort();

        }

        private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)

        {

            //stor = new MemStorage();

            //ThresholdImage = new Image<Gray, byte>("C:\\Untitled.jpg");

            //contours =
ThresholdImage.FindContours(Emgu.CV.CvEnum.CHAIN_APPROX_METHOD.CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE,
Emgu.CV.CvEnum.RETR_TYPE.CV_RETR_TREE, stor);

            //TempImageNew = new Image<Gray, Byte>(ThresholdImage.Size);

            //TempContourRectImage = new Image<Gray, Byte>(ThresholdImage.Size);

            //TempImageNew = RemoveSmallObject(contours, int.Parse(txtSize.Text));

        }

    }

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวราวิช พรพระ
วัน เดือน ปีเกิด	25 เมษายน 2530 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด
ที่อยู่	55/133 หมู่ 12 หมู่บ้านพฤกษาดีไลท์
	ตำบลศีรษะจรเข้น้อย อำเภอบางเสาธง สมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	2553 วิทยาศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
	2558 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เช่น High Performance Liquid Chromatography, Mass Spectroscopy เป็นต้น
	2.) การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม เช่น Scanning electron microscope (SEM), Atomic force microscope (AFM), UV-VIS, Universal Testing Machine, FT-IR, Confocal เป็นต้น
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2553-ปัจจุบัน	ตำแหน่ง Analytical Service Engineer
	บริษัท พาราไซแอนติฟิค จำกัด
	- Exclusive Distributor ของเครื่องมือวิเคราะห์และ ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ผลิตภัณฑ์ของ SHIMADZU ประเทศญี่ปุ่น
พ.ศ.2554	งานวิจัยเรื่อง Characterization of PVA-Chitosan Nanofibers Prepared by Electrospinning ได้รับการตีพิมพ์แสดงบนwww.sciencedirect.com
พ.ศ.2556	งานวิจัยเรื่อง ระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี ได้รับการยอมรับเข้าร่วมนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 ที่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้