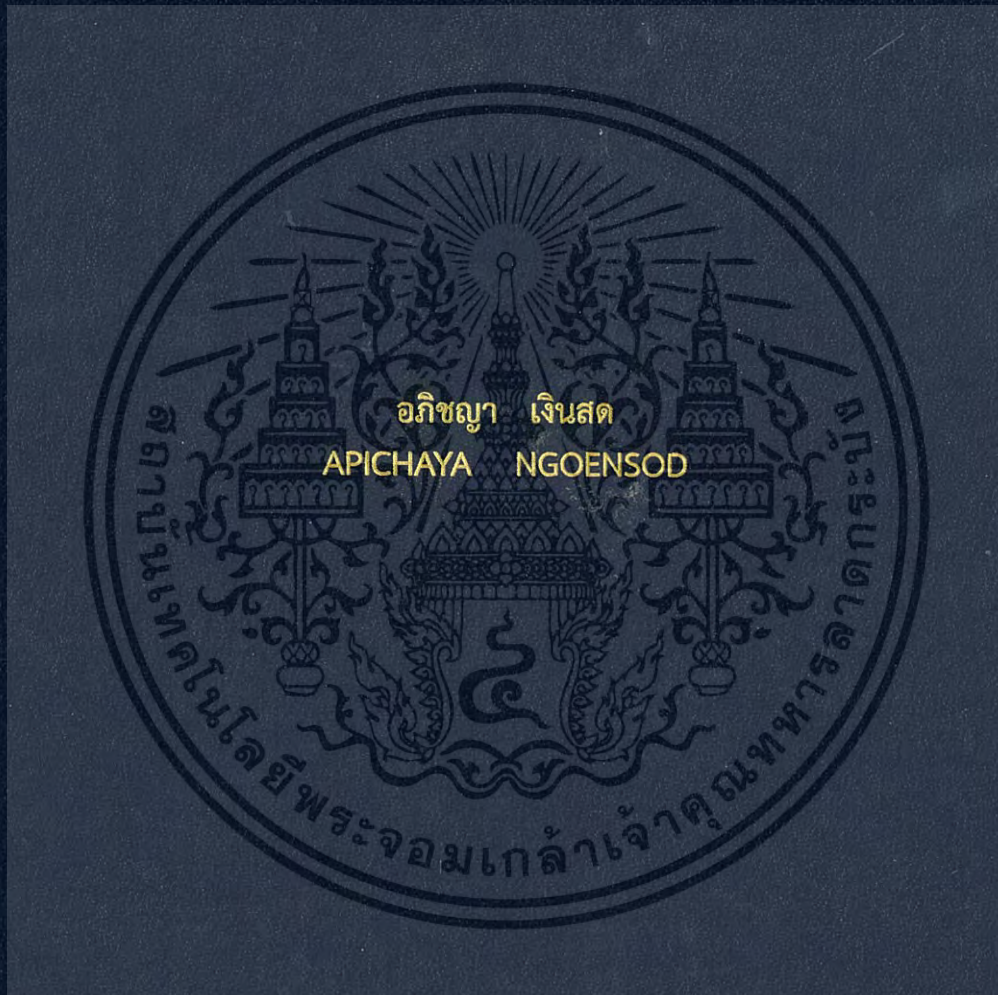


ระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในข้าวโดยใช้วิธีการ
แอคทีฟเทอร์โมกราฟี
DETECTION OF FOREIGN BODIES IN RICE USING
ACTIVE THERMOGRAPHY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในข้าวโดยใช้วิธีการ
แอกทีฟเทอร์โมกราฟี

DETECTION OF FOREIGN BODIES IN RICE USING
ACTIVE THERMOGRAPHY



T143945



อภิชาต เงินสด
APICHAYA NGOENSOD

ส.พ.

๒๒๔๙ ๖

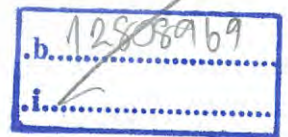
๒๐๐๘

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 143945

วันเดือนปี ๐๔ ต.ค. ๒๕๕๙

๖๐๐ ๒ ๖๖๘๐๐



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๘

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในข้าวโดยใช้วิธีการ
แอกทีฟเทอร์โมกราฟี
DETECTION OF FOREIGN BODIES IN RICE USING
ACTIVE THERMOGRAPHY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETECTION OF FOREIGN BODIES IN RICE USING
ACTIVE THERMOGRAPHY



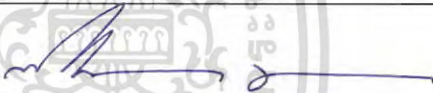
A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในข้าวโดยใช้วิธีการแอกทีฟเทอร์โมกราฟี
DETECTION OF FOREIGN BODIES IN RICE USING
ACTIVE THERMOGRAPHY

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวอภิษฎา เงินสด รหัสนักศึกษา 55011406
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ชื้อสตัย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในข้าวโดยใช้วิธีการแอกทีฟเทอร์โมกราฟี
DETECTION OF FOREIGN BODIES IN RICE USING
ACTIVE THERMOGRAPHY

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวอภิษฐา เงินสด รหัสนักศึกษา 55011406
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในถ่ายภาพความร้อนของชั้นทดสอบที่เคลื่อนที่บนสายพานลำเลียง ซึ่งเป็นการตรวจจับแบบเรียลไทม์โดยใช้การประมวลผลภาพ เทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟีนี้อาศัยหลักการของการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีการถ่ายเทความร้อนต่างกัน เนื่องจากข้าวและสิ่งแปลกปลอมมีค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) ที่แตกต่างกัน โดยทำการทดสอบแบบออฟไลน์ และนำการทดสอบแบบออฟไลน์มาประยุกต์ใช้สำหรับการทดสอบแบบออนไลน์ โดยในระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟีสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	DETECTION OF FOREIGN BODIES IN RICE USING ACTIVE THERMOGRAPHY	
Author	Apichaya Ngoensod	55011406
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Taweepol	Suesut
Year	2015	

ABSTRACT

This project presents the detection of foreign body in rice using active thermography. The infrared thermography camera is used to capture the thermal image of samples moving on the conveyor in order to detect the foreign body in real-time by image processing. The classification technique can be achieved by thermal radiation theory such as emissivity, heat capacity and abnormal shape. The experiment in off-line mode can be used to improve the image processing algorithm for on-line mode. The prototype system can be develop to apply in agroindustry in the future as well.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ ที่ได้ให้คำแนะนำคำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหาหรือข้อสงสัยต่างๆ แก่ข้าพเจ้าเสมอมา รวมถึงให้ความดูแลเอาใจใส่ในการทำงาน สอบถามความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำงานอย่างเป็นระบบและใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัย จนข้าพเจ้าสามารถทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสิ้น

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่คณะผู้จัดทำเสมอมา

อภิขญา เงินสด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตปริญญาานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอม.....	3
2.1.1 Color sorter.....	3
2.1.2 Active Thermography.....	4
2.1.2.1 Pulsed Thermography.....	4
2.1.2.2 Cavity Absorption Thermography.....	5
2.1.2.3 Lock-in Thermography.....	6
2.1.2.4 Thermo-inductive Thermography.....	7
2.2 รังสีอินฟราเรด.....	8
2.2.1 ประเภทของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	9
2.3 กล้องถ่ายภาพความร้อน.....	10
2.4 สมบัติเชิงความร้อน.....	12
2.4.1 การแผ่รังสีความร้อน.....	12
2.4.2 สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน.....	14
2.4.3 ความจุความร้อนจำเพาะ.....	15
2.5 การประมวลผลภาพ.....	16
2.5.1 เทคโนโลยีประมวลผลภาพ.....	16
2.5.2 ประเภทของภาพ.....	17
2.5.2.1 ภาพขาวดำ.....	17
2.5.2.2 ภาพระดับสีเทา.....	18
2.5.2.3 ภาพสี.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2.4 ภาพแบบดัชนี.....	19
2.5.3 แบบจำลองสี.....	19
2.5.3.1 แบบจำลองสี RGB.....	20
2.5.3.2 แบบจำลองสี YCbBr.....	21
2.5.3.3 แบบจำลองสี HIS.....	22
2.5.3.4 แบบจำลองสี HSV.....	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ.....	25
3.1 ชุดอุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.1.1 ชุดอุปกรณ์.....	25
3.1.1.1 ชุดดำเนินการความร้อนพร้อมระบบควบคุม.....	26
3.1.1.2 ชุดการวิเคราะห์ภาพ.....	29
3.1.2 ตัวอย่างและสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.2 การหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม.....	31
3.3 การทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี.....	32
3.3.1 ระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว.....	32
3.3.2 โปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	36
4.1 เวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม.....	36
4.2 ผลการทดลองการทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี.....	40
4.2.1 ระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว.....	40
4.2.2 โปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	47
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	47
5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง.....	47
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	48
บรรณานุกรม.....	49
ภาคผนวก.....	51

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของข้าวและสิ่งแปลกปลอม.....	15
2.2 ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของข้าวและสิ่งแปลกปลอม.....	15
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของชั้นทดสอบกับเวลาคายความร้อน.....	36
4.2 แสดงผลการทดลอง ข้าว-เศษไม้.....	45
4.3 แสดงผลการทดลอง ข้าว-ก้อนหิน.....	45
4.4 แสดงผลการทดลอง ข้าว-เศษกระดาษ.....	46
4.5 แสดงผลการทดลอง ข้าว-พลาสติก.....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา [VI](#) ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างเครื่อง Color sorter.....	3
2.2 การทำงานของเครื่อง Color sorter.....	4
2.3 การตรวจสอบรอยตะเข็บจากการเชื่อม.....	5
2.4 Cavity effect.....	5
2.5 Lock-In Thermography.....	6
2.6 หลักการของ Thermo-inductive.....	7
2.7 การให้ความร้อน Thermo-inductive.....	7
2.8 ภาพถ่ายความร้อน Thermo-inductive.....	8
2.9 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ.....	8
2.10 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ.....	10
2.11 การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร.....	12
2.12 สเปกตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆ.....	13
2.13 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง.....	13
2.14 รังสีความร้อนทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุใดๆ.....	14
2.15 การประมวลผลภาพ.....	16
2.16 ตัวอย่างการประยุกต์งานด้านต่างๆ ที่ใช้ศาสตร์ทางด้านการประมวลผลภาพ.....	17
2.17 ภาพขาวดำ.....	17
2.18 ภาพระดับสีเทา.....	18
2.19 ภาพสี.....	18
2.20 ภาพแบบดัชนี.....	19
2.21 แบบจำลองสี.....	19
2.22 แบบจำลองสี RGB.....	20
2.23 ตัวอย่างผลการแยกแผ่น RGB.....	20
2.24 แบบจำลองสี YCbCr.....	21
2.25 ตัวอย่างผลการแยกแผ่น YCbCr.....	21
2.26 แบบจำลองสี HIS.....	22
2.27 แบบจำลองสี HSV.....	22
2.28 แสดงภาพถ่ายทางความร้อนของหิน-ถั่วดำ, หิน-ถั่วแดง, หิน-ถั่วลิสง.....	23
2.29 แสดงขั้นตอนกระบวนการงานตรวจสอบสำหรับแผ่นบิสกิตที่มีเศษแก้วปนเปื้อน.....	23
3.1 ระบบการทดลองการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในข้าว.....	25
3.2 สายพานลำเลียง.....	26
3.3 มอเตอร์ รุ่น GLM-18.....	27
3.4 พีแอลซี (PLC) Omron รุ่น C200HX.....	27
3.5 เซนเซอร์แสง รุ่น E3X-DA11.....	27
3.6 หลอดไฟ halogen 50-60 Hz.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 อินเวอร์เตอร์ รุ่น 3G3IV-A2004-V2.....	28
3.8 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Camera) Flir รุ่น A315.....	29
3.9 คอมพิวเตอร์ประมวลผล (Computer System) ด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW 2014.....	29
3.10 ขี้วากล้อง.....	30
3.11 เศษไม้, ก้อนหิน.....	30
3.12 เศษกระดาษ, พลาสติก.....	30
3.13 การเรียงขี้วและสิ่งแปลกปลอมในถาดทดลอง.....	31
3.14 ถาดทดลองขนาด 10 x 10 เซนติเมตร.....	32
3.15 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในขี้วด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟฟี.....	33
3.16 ภาพถ่ายความร้อน, ภาพ gray scale, Detect Object.....	34
3.17 อัลกอริทึมซอฟต์แวร์การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในขี้วด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟฟี.....	35
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของขี้วและสิ่งแปลกปลอมกับเวลาคายความร้อน.....	37
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของขี้วกับเศษไม้.....	38
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของขี้วกับก้อนหิน.....	38
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของขี้วกับเศษกระดาษ.....	39
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของขี้วกับพลาสติก.....	39
4.6 ภาพถ่ายความร้อนของขี้ว-เศษไม้.....	41
4.7 ภาพถ่ายความร้อนของขี้ว- ก้อนหิน.....	42
4.8 ภาพถ่ายความร้อนของขี้ว- เศษกระดาษ.....	43
4.9 ภาพถ่ายความร้อนของขี้ว- พลาสติก.....	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ประชากรไทยกว่าร้อยละ 60 เป็นเกษตรกร ส่วนใหญ่ปลูกข้าวเป็นพืชหลัก ประเทศไทยส่งออกข้าวมากที่สุดในโลก กว่า 7 ล้านตันต่อปี ข้าวไทยสร้างชื่อเสียงโด่งดังไปทั่วโลก ทำรายได้ให้แก่ประเทศเป็นจำนวนมากทุกปี ข้าวจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ช่วยกอบกู้และพยุงเศรษฐกิจของประเทศในช่วงวิกฤต (มูลนิธิข้าวไทย ในพระราชูปถัมภ์, 2544) ข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อประชากรโลก รวมทั้งประเทศไทยเราก็มีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก และที่สำคัญข้าวเป็นแหล่งของอาหารที่ให้พลังงานแก่ชีวิตในแต่ละวันของคนไทย ข้าวที่นำมารับประทานจะต้องผ่านกรรมวิธีสีเปลือกข้าวออก ในเมล็ดข้าวจะมีวิตามิน แร่ธาตุ และสารอาหาร ที่สำคัญต่อร่างกายรวมมากกว่า 20 ชนิด (Easternrice, 2552) ในอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวข้องกับข้าว ในกระบวนการผลิตผู้ผลิตย่อมต้องการให้ข้าวมีความสะอาดและไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปน โดยสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ในข้าวเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น การเก็บเกี่ยว การขนส่ง การรักษา เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้ทำให้มีสิ่งแปลกปลอมปะปนเข้ามา ทำให้มีผลในด้านคุณภาพของข้าวลดลง วิธีดั้งเดิมในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากข้าวคือ การใช้คน หรืออุปกรณ์ช่วยในการคัดแยก แต่อาจจะทำให้ได้ประสิทธิภาพไม่ดีตามที่ควร เนื่องจากปัจจัยในด้านความสะอาดและความเสียหายต่อวัตถุดิบ

ในปัจจุบันวิธีการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในวัตถุดิบได้แก่ การใช้เครื่อง Color-Sorter ซึ่งเป็นวิธีที่ในอุตสาหกรรมข้าวใช้ในการคัดแยกสิ่งเจือปนและเมล็ดข้าวอื่นๆ ที่มีสีแตกต่างจากเมล็ดข้าว เช่นข้าวเหนียว ข้าวเมล็ดเหลือง ข้าวเมล็ดดำ และอื่นๆ ที่ทำให้ข้าวดีกับข้าวเสียแยกออกจากกันอย่างสิ้นเชิงจากเครื่องได้อย่างรวดเร็วและความเร็วสูง (จักรสีเลิศ, 2552) แต่ไม่สามารถแยกสิ่งแปลกปลอมที่มีสีผิววัตถุเช่นเดียวกับข้าวออกได้ จึงทำให้หลงเหลือสิ่งแปลกปลอมอยู่ และการถ่ายภาพความร้อนช่วยในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอม เช่น งานวิจัยของนายวรวิช พรพระ การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี โดยสามารถแยกวัสดุที่มีสีเหมือนกันแต่คุณสมบัติทางความร้อนต่างกัน ซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และอีกวิธีหนึ่งที่ไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อวัตถุดิบทั้งด้านคุณภาพและกายภาพ

โครงการนี้จึงเป็นการประยุกต์การใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อการวัดและการทดสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี โดยเลือกใช้วิธี Active Thermography โดยทั่วไปจะต้องมีแหล่งกระตุ้นความร้อนจากภายนอกมาเป็นแหล่งให้ความร้อนกับข้าวที่จะทำการตรวจสอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญยานิพนธ์

เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพ สำหรับระบบตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี โดยใช้โปรแกรม LabVIEW 2014

1.3 ขอบเขตปฏิญยานิพนธ์

พัฒนาและออกแบบโปรแกรม ด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW 2014 สำหรับระบบตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี โดยอาศัยความคุณสมบัติที่แตกต่างทางความร้อนในการตรวจสอบ สำหรับสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาวิธีการคัดแยกสิ่งแปลกปลอม
2. ศึกษาการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน
3. ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางความร้อน
4. ศึกษาการทำงานของโปรแกรม LabVIEW 2014
5. ศึกษาการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและการให้ความร้อน
6. ทำการเขียนโปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม
7. ทำการทดลองการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม
8. ทำการสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้โปรแกรม LabVIEW 2014 สำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี
2. สามารถนำโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าวไปใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมข้าว

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอม

สำหรับขั้นตอนการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับผลิตภัณฑ์เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญต่อการแบ่งเกรดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแบ่งเกรดผลผลิตเพื่อการส่งออก ซึ่งวิธีในการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากข้าวมีหลายวิธี

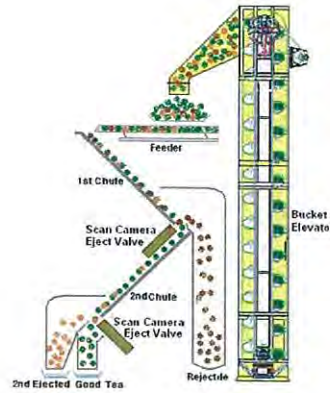
2.1.1 Color sorter

Color sorter หรือเครื่องคัดแยก (Sorter) ด้วยสีที่ผิวของวัตถุ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อคัดแยกวัสดุที่มีสีแตกต่างกันออกจากกัน โดยใช้การถ่ายภาพและวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image processing) เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเครื่อง Color sorter

เช่นดังรูปที่ 2.1 อาหารที่ลำเลียงบนสายพานลำเลียง (Belt conveyor) จะถูกถ่ายภาพ แล้วนำภาพที่ได้ไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์ ถ้าสีของอาหารไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ก็จะถูกคัดแยกออก โดยแรงกล เช่น ใช้อากาศแรงดันสูง (Compressed air) ผลักแยกออกไป (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2556)



รูปที่ 2.2 การทำงานของเครื่อง Color sorter

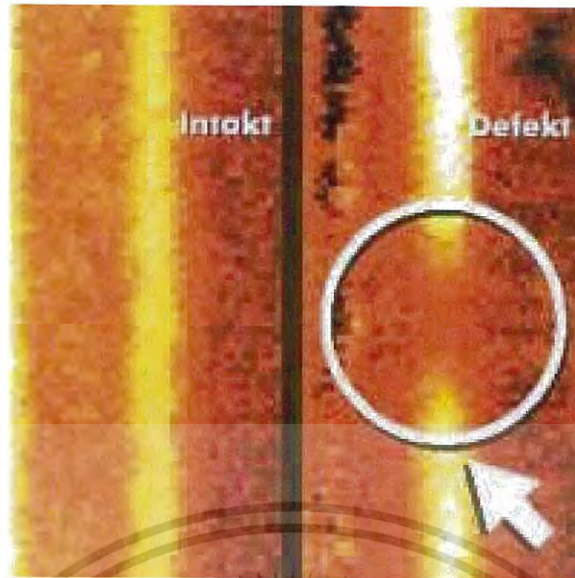
ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้เพื่อคัดแยกวัตถุดิบ เช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดธัญพืช ถั่วเมล็ดแห้ง โกโก้ ชา กาแฟ ในโรงคัดบรรจุ (Packing house) หรือการคัดสีของวัตถุดิบที่นำมาใช้เพื่อการแปรรูปอาหาร ที่สีเป็นปัจจัยสำคัญและมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้แยกความแก่อ่อนของผักผลไม้ เช่น มะเขือเทศ พริก พริกที่ใช้แปรรูปทำซอสพริก น้ำจิ้มไก่ หรือพริกป่น จะใช้เฉพาะพริกที่มีสีแดงจัด (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2556)

2.1.2 Active Thermography

เป็นวิธีการประยุกต์ใช้งานตรวจสอบที่จำเป็นต้องมีแหล่งกระตุ้นความร้อนให้กับวัตถุที่ทำการวัดและทดสอบ แหล่งกระตุ้นความร้อนในที่นี้ได้แก่ แสงเลเซอร์ กระแสหมุนวน หรืออัลตราโซนิก เป็นต้น โดยนิยมใช้มากในการวัดทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-destructive testing) โดยปกติใช้กับการทดสอบวัตถุที่ช่วงอุณหภูมิต่ำประมาณ 20-50 °C ซึ่งใช้แหล่งกระตุ้นความร้อนที่อุณหภูมิเพียงเล็กน้อย การทดสอบแบบนี้มีอยู่ด้วยกันหลายวิธีคือ Pulsed Thermography, Lock-In Thermography และ Thermo-inductive

2.1.2.1 Pulsed Thermography

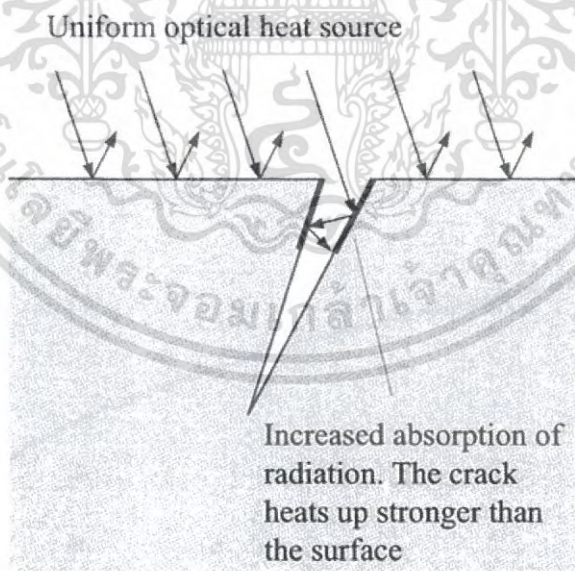
วิธีนี้ใช้การกระตุ้นด้วยความร้อนเป็นเวลาสั้นๆซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัสดุ เช่น พวกเหล็กมีค่าการนำความร้อนสูงใช้เวลาเพียงไม่กี่มิลลิวินาที ส่วนวัสดุประเภทพลาสติกหรือโลหะใช้เวลาเป็นวินาที ตัวอย่างการใช้งานในการทดสอบตะเข็บรอยเชื่อม (Weld Seam Testing) ซึ่งสามารถออกแบบระบบตรวจสอบให้เป็น In-line quality control ได้ในแบบอัตโนมัติเพื่อใช้ในการหารอยเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ จากตัวอย่างในรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่ารอยเชื่อมที่ดีต้องมีการประติดประต่อกันตลอดแนวซึ่งในการทดสอบนี้ภาพถ่ายความร้อนที่ได้ถูกนำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้การประมวลผลภาพ (Image processing) เข้าร่วมด้วย



รูปที่ 2.3 การตรวจสอบรอยตะเข็บจากการเชื่อม

2.1.2.2 Cavity Absorption Thermography

วิธีนี้ใช้ได้กับรอยแตกร้าวของโลหะที่เป็นช่องเปิด เนื่องจากค่า Emissivity และค่า Absorption ของ ช่องว่างที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าพื้นผิวปกติ ดังนั้นจึงทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่ามีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นโดยในบริเวณดังกล่าวมีลักษณะที่คล้ายกับว่ามีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นๆ วิธีนี้สามารถใช้ได้ทั้งแบบ Passive Thermography และ Active Thermography

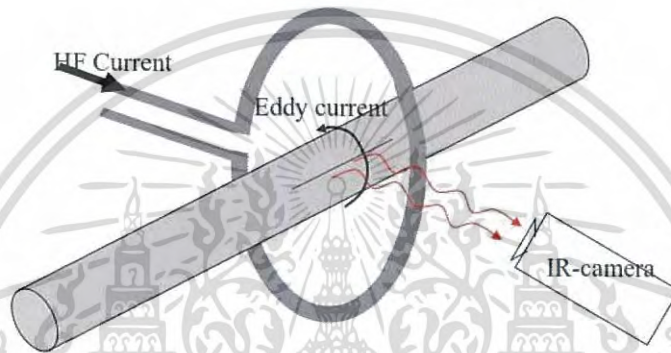


รูปที่ 2.4 Cavity effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.4 Thermo-inductive Testing

วิธีนี้อาศัยการกระตุ้นความร้อนเพียงเล็กน้อยกับเหล็กโดยใช้กระแสหมุนวนหรือ Eddy Current โดยปกติแล้วการทดสอบผิวของโลหะใช้หลักการของ Eddy Current ในการตรวจสอบรอยแตก ร้าวบนเนื้อโลหะ อย่างไรก็ตามไม่สามารถทราบรูปร่างและขนาดของรอยร้าวที่เกิดขึ้นได้ การใช้วิธี Thermo-inductive คือหลักการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำและใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจหาลักษณะรอยร้าวบนพื้นผิวโลหะบริเวณที่มีรอยร้าวมีกระแสไหลมากกว่าปกติ จึงทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นดังเห็นได้จากรูปที่ 2.6 การประยุกต์ใช้เทคนิคในการประมวลผลภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อนทำให้สามารถนำมาพัฒนาออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพแบบอัตโนมัติได้

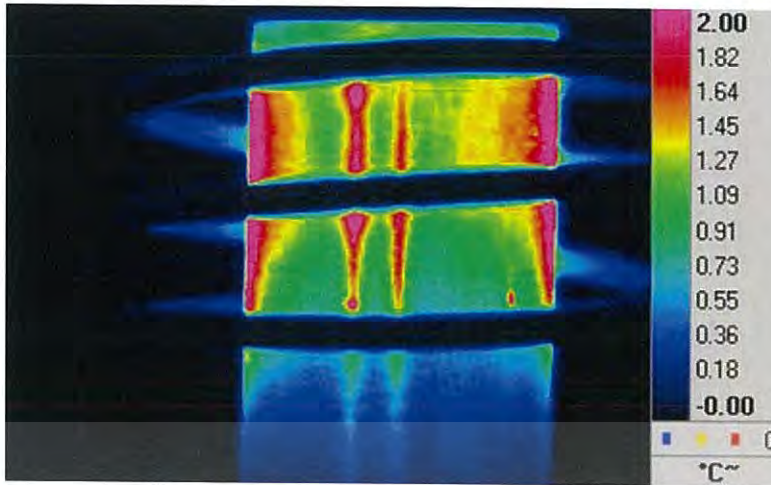


รูปที่ 2.6 หลักการของ Thermo-inductive



รูปที่ 2.7 การให้ความร้อน Thermo-inductive

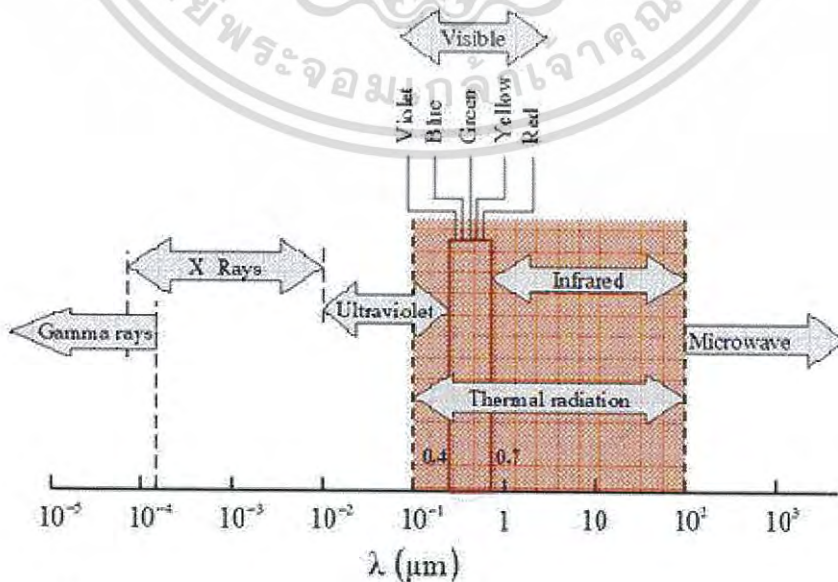
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ภาพถ่ายความร้อน Thermo-inductive

2.2 รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared, IR) หรือรังสีความร้อน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและแสงมีความถี่ในช่วง 10¹¹ – 10¹⁴ เฮิรตซ์ มีความถี่ในช่วงเดียวกับไมโครเวฟ มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างแสงสีแดงกับคลื่นวิทยุ สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -200 องศาเซลเซียสถึง 4,000 องศาเซลเซียส จะปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา คุณสมบัติเฉพาะตัวของรังสีอินฟราเรด เช่น ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่แตกต่างกันก็คือ คุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับความถี่คือยิ่งความถี่สูงมากขึ้นพลังงานก็สูงขึ้นด้วย ดังนั้น ปัจจุบันมีการนำคลื่นรังสีอินฟราเรดมาใช้ประโยชน์ในการสร้างกล้องอินฟราเรดที่สามารถมองเห็นวัตถุในความมืดได้ เช่น อเมริกาสามารถใช้กล้องอินฟราเรดมองเห็นเวียตกงได้ตั้งแต่สมัยสงครามเวียตนาม และสัตว์หลายชนิดมีนัยน์ตารับรู้รังสีชนิดนี้ได้ ทำให้มองเห็นหรือล่าเหยื่อได้ในเวลากลางคืน โดยหน่วยของความยาวคลื่นโดยปกติจะมีหน่วยเป็นไมโครเมตร



รูปที่ 2.9 แสดงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ประเภทของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

แสงที่ตามองเห็น (Visible light) เป็นเพียงส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงซึ่งประสาทตาของมนุษย์สามารถสัมผัสได้ ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 – 700 นาโนเมตร (1 เมตร = 1,000,000,000 นาโนเมตร) หากนำแท่งแก้วปริซึม (Prism) มาหักเหแสงอาทิตย์ เราจะเห็นว่าแสงสีขาวถูกหักเหออกเป็นสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง คล้ายกับสีของรุ้งกินน้ำ เรียกว่า “สเปกตรัม” (Spectrum) แสงแต่ละสีมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน สีม่วงมีความยาวคลื่นน้อยที่สุด สีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุด

นอกจากแสงที่ตามองเห็นแล้วยังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ได้แก่ รังสีที่มีความยาวคลื่นถัดจากสีแดงออกไป เรียกว่า เราเรียกว่า “รังสีอินฟราเรด” หรือ “รังสีความร้อน” เรามองไม่เห็นรังสีอินฟราเรด แต่เราก็รู้สึกถึงความร้อนได้ สัตว์บางชนิด เช่น งู มีประสาทสัมผัสรังสีอินฟราเรด โดยสามารถทราบตำแหน่งของเหยื่อได้ ซึ่งการสัมผัสรังสีอินฟราเรดซึ่งแผ่ออกมาจากร่างกายของเหยื่อ รังสีที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสงสีม่วงเรียกว่า “รังสีอัลตราไวโอเล็ต” แม้ว่าเราจะมองไม่เห็น แต่เมื่อเรตาดกแดดนานๆ ผิวหนังจะไหม้ด้วยรังสีชนิดนี้ นอกจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีอินฟราเรดแล้ว ยังมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทอื่นๆ ซึ่งเรียงลำดับตามความยาวคลื่นได้ดังนี้

รังสีแกมมา (Gamma ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.01 นาโนเมตร โฟตอนของรังสีแกมมามีพลังงานสูงมาก กำเนิดจากแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ เช่น ดาวระเบิด หรือ ระเบิดปรมาณู เป็นอันตรายมากต่อสิ่งมีชีวิต

รังสีเอ็กซ์ (X-ray) มีความยาวคลื่น 0.01 – 1 นาโนเมตร มีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติมาจากดวงอาทิตย์ เราใช้รังสีเอ็กซ์ในทางการแพทย์ เพื่อส่องผ่านเซลล์เนื้อเยื่อ แต่ถ้าได้ร่างกายได้รับรังสีนี้มากๆ ก็จะเป็นอันตราย

รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) มีความยาวคลื่น 1 - 400 นาโนเมตร รังสีอัลตราไวโอเล็ตมีอยู่ในแสงอาทิตย์ เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แต่หากได้รับมากเกินไปก็จะทำให้ผิวไหม้และอาจทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง

แสงที่ตามองเห็น (Visible light) มีความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร พลังงานที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์ ส่วนมากเป็นรังสีในช่วงนี้ แสงแดดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลก และยังช่วยในการสังเคราะห์แสงของพืช

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) มีความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร – 1 มิลลิเมตร โลกและสิ่งมีชีวิตแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา ก๊าซเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำในบรรยากาศดูดซับรังสีนี้ไว้ ทำให้โลกมีความอบอุ่น เหมาะกับการดำรงชีวิต

คลื่นไมโครเวฟ (Microwave) มีความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร – 10 เซนติเมตร ใช้ประโยชน์ในด้านโทรคมนาคมระยะไกล นอกจากนั้นยังนำมาประยุกต์สร้างพลังงานในเตาอบอาหาร

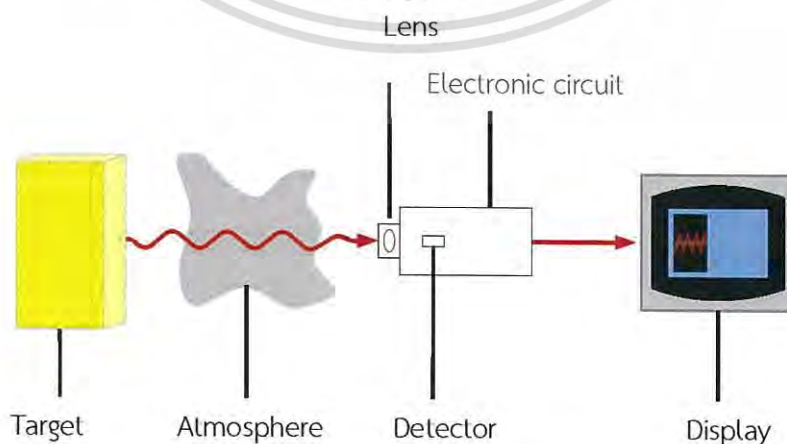
คลื่นวิทยุ (Radio wave) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นมากที่สุด คลื่นวิทยุสามารถเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศได้ จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการสื่อสาร โทรคมนาคม

2.3 กล้องถ่ายภาพความร้อน

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

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

กล้องถ่ายภาพความร้อนประกอบด้วยเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดหลายตัว แต่ละตัวแสดงผลออกมาในรูปแบบของสีที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิของจุดนั้น ๆ โดยทั่วไป สีแดงแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงและสีน้ำเงินแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือโทนสีสว่างแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และโทนสีมืดแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ผลของแต่ละจุดที่ได้จากเซนเซอร์แต่ละตัว เมื่อนำมารวมกันจะประกอบขึ้นเป็นภาพ เรียกว่า "ภาพถ่ายความร้อน (thermal image)" ซึ่งการแปลงรังสีอินฟราเรดที่เซนเซอร์ตรวจจับได้ให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิตามกฎของ Planck (Planck's law) และ กฎของ Stefan-Boltzmann (Stefan-Boltzmann's law) (นวภัทรา และ ทวีพล , 2555)



รูปที่ 2.10 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การควบคุมของศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศและการสื่อสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับความถูกต้อง (accuracy) ของอุณหภูมิที่วัดได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะพื้นผิวของวัตถุเป้าหมายหรือวัตถุที่ต้องการวัดอุณหภูมิ, ระยะห่างระหว่างของเครื่องมือวัด และวัตถุเป้าหมาย โดยค่าความผิดพลาด (error) อาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของรังสีผ่านตัวกลาง เช่น อากาศที่มี ไอ ควัน ก๊าซหรือฝุ่นละอองกระจายอยู่ สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ดูดซับพลังงานบางส่วนจากรังสีก่อนถึงตัวเครื่องมือวัด ทำให้พลังงานที่เซนเซอร์ (sensor) ตรวจจับได้มีค่าลดลง ค่าที่วัดได้จึงคลาดเคลื่อน และพื้นที่การวัด หรือ ค่าขอบเขตการมองเห็นวัตถุ (field of view, FOV) ของกล้องถ่ายภาพความร้อน

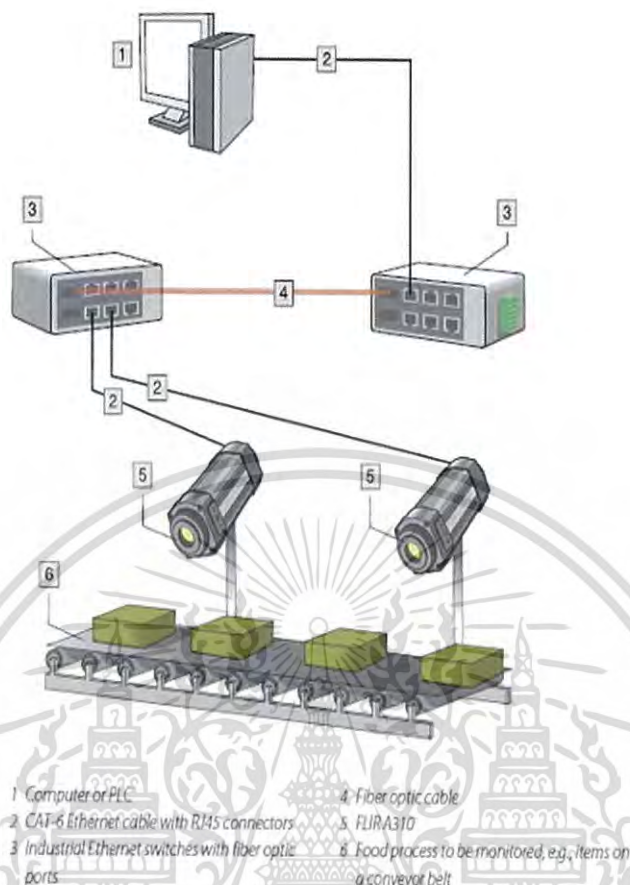
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่

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

2. การตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ที่อยู่ในกระบวนการผลิตด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน เป็นการตรวจสอบแบบพื้นที่ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นอาจแสดงในรูปของเฉดสีแดงปรากฏในภาพถ่ายความร้อน อย่างไรก็ตาม การแปลผลที่ได้จากเครื่องมือวัดเพื่อประเมินความผิดปกติดังกล่าว ควรอาศัยข้อมูลอื่นเพิ่มเติมเพื่อประกอบการตัดสินใจ

3. การวัดอุณหภูมิของผู้ปฏิบัติงานในสายการผลิตอาหารด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัส ซึ่งในอุตสาหกรรมอาหารหากผู้ปฏิบัติงานมีอาการเจ็บป่วยโดยไม่แสดงอาการให้สังเกตเห็น สามารถใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิช่วยตรวจสอบได้ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรคจากคนไปสู่อาหาร โดยนิยมใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิดใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน หรือเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด (infrared thermometer) เนื่องจากสามารถวัดได้อย่างรวดเร็ว โดยที่ผู้ตรวจไม่ต้องสัมผัสกับผู้ป่วย

4. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการแปรรูปโดยติดตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อนที่บริเวณปลายสายพานลำเลียง (conveyor) เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของชิ้นอาหาร หากพบว่ามีอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ผู้ปฏิบัติงานสามารถนำชิ้นอาหารที่มีปัญหาออกได้ทันที หรือหากพบว่าความผิดปกติอยู่ที่เครื่องจักรที่ใช้แปรรูป ผู้ปฏิบัติงานสามารถหยุดการปฏิบัติงานได้ทันทีเช่นกัน โดยไม่ต้องสูญเสียเวลาและสิ้นเปลืองวัตถุดิบ



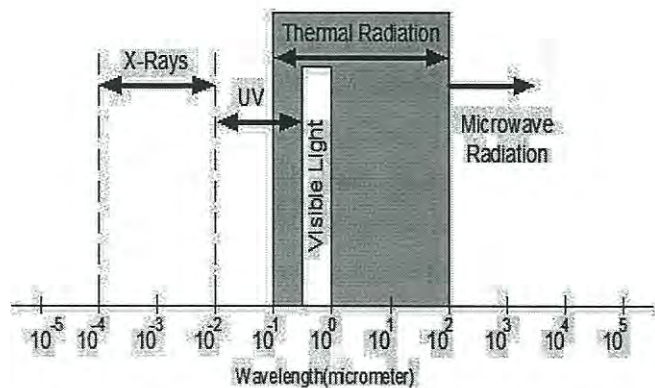
รูปที่ 2.11 การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรมอาหาร

2.4 สมบัติเชิงความร้อน

2.4.1 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนแบบไม่อาศัยตัวกลาง โดยเกิดขึ้นเมื่อวัตถุมีอุณหภูมิที่ผิวมากกว่า 0 องศาสัมบูรณ์ (0 K) โดยอิเล็กตรอนของวัตถุซึ่งประกอบกันเป็นสสารเกิดการสั่นและเคลื่อนที่ส่งผลให้วัตถุมีพลังงานภายในสูงขึ้นและปลดปล่อยพลังงานหรือแผ่รังสีความร้อนออกมาในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านคลื่นรังสีความร้อน (Thermal Radiation) ดังรูปที่ 2.10 โดยมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 10^{-1} - $10^2 \mu\text{m}$ ประกอบด้วยย่านรังสีอินฟราเรด (IR) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.75 - $100 \mu\text{m}$, ย่านแสง (Visible light) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.3 - $0.75 \mu\text{m}$ และย่านรังสีอุลตราไวโอเล็ต (UV) บางส่วนมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.1 - $0.3 \mu\text{m}$ (นวกัทราน และทวีพล, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 สเปกตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆ

โดยความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนออกจากวัตถุใดๆ มีค่าสูงสุดที่มุมเท่ากับ 0 องศา กับแนวตั้งดังรูปที่ 2.11 (มนตรี, 2548; นวกัฑรา และทวิพล, 2555)

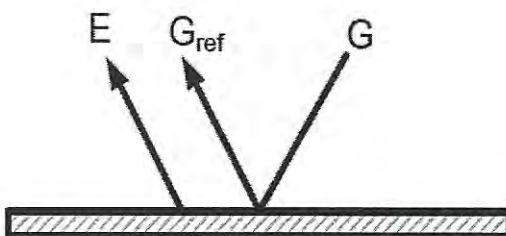


รูปที่ 2.13 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง

รังสีความร้อนทั้งหมดที่แผ่ออกมาจากพื้นผิววัตถุใดๆ (Radiosity, J หน่วยเป็น W/m^2) ประกอบด้วยรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากวัตถุเอง (Emission, E หน่วยเป็น W/m^2) และรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบ หรือจากวัตถุอื่นมากระทบแล้วสะท้อนออกจากวัตถุ (Irradiation G_{ref} หน่วยเป็น W/m^2) แสดงในรูปที่ 2.3 ดังนั้นรังสีความร้อนทั้งหมดที่แผ่ออกมาจากพื้นผิววัตถุใดๆ คำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$J = E + G_{ref} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 รังสีความร้อนทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุใดๆ

โดยภาพถ่ายความร้อนเป็นภาพที่ได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 1-100 μm ซึ่งสามารถแบ่งย่านรังสีอินฟราเรดได้ 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) การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน รังสีอินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นถึงช่วงคลื่นยาวนิยมใช้วัดอุณหภูมิหรือตรวจสอบการแผ่รังสีของวัตถุ (นวกัทรและทวีพล, 2555)

2.4.2 สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity, ϵ)

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ (Emissivity, ϵ) คือค่าที่แสดงถึงความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุโดยมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของอัตราการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุจริงใดๆ กับอัตราการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุดำ (Black body) ณ อุณหภูมิและความยาวคลื่นเดียวกันซึ่งสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุจริงใดๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แต่วัตถุดำมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนเท่ากับ 1 เนื่องจากมีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนได้สูงที่สุดและมีความสามารถในการดูดซับรังสีที่มากกระทบทั้งหมดในทุกความยาวคลื่นทุกทิศทางและเป็นวัตถุทางอุณหพลศาสตร์ที่ใช้สำหรับศึกษาการแผ่รังสีความร้อน สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ ลักษณะพื้นผิวของวัตถุ (ความเรียบ, ความขรุขระ) รูปร่างเชิงเรขาคณิตของวัตถุช่วงความยาวคลื่นที่พิจารณาและอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ (นวกัทรและทวีพล, 2555) การหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุจริงใดๆ จำเป็นต้องทราบสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุเพื่อป้อนให้กับกล้องถ่ายภาพความร้อนหากป้อนสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนได้ถูกต้องจะส่งผลให้อุณหภูมิที่วัดได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนถูกต้องด้วยตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมดังตารางที่ 2.1 โดยสามารถคำนวณอัตราการแผ่รังสีอินฟราเรดได้จากสมการที่ 2.2

$$E(T) = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.2)$$

โดย $E(T)$ คือ อัตราการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุจริงใดๆ มีหน่วยเป็น W/m^2

ϵ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ (Emissivity)

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟานโบลท์สมานน์มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$

T คือ อุณหภูมิที่ผิววัตถุ มีหน่วยเป็น เคลวิน(K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของข้าวและสิ่งแปลกปลอม

ชนิด	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน	ที่มา
ข้าว	0.98	Satish, 2013
ถาดทดลอง	0.28	Amidon, 1999
เศษไม้	0.82-0.92	Touloukian and Ho,1972
หิน	0.88-0.95	Mallory,1969
ฟิวเจอร์บอร์ด	0.84-0.86	Boudenneet al.,2005

2.4.3 ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat, c_p)

ความจุความร้อนจำเพาะคือค่าที่แสดงถึงสมบัติในการรับความร้อนของวัตถุโดยทั่วไป ความจุความร้อนจำเพาะคือปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุมวล 1 หน่วยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม 1 หน่วยของค่ามีหน่วยเป็นปริมาณความร้อนต่อหน่วยมวลต่อหน่วยอุณหภูมิมีหน่วยเป็น จูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวินสำหรับสมการหาปริมาณความร้อนของวัตถุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแสดงดังสมการที่ 2.3 และตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมแสดงดังตารางที่ 2.2

$$Q = mc_p\Delta T \quad (2.3)$$

โดย Q คือ ปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็น จูล(J)
 m คือ มวลของวัตถุมีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)
 c_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ มีหน่วยเป็น kJ/kg.K
 ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น °C หรือ K

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของข้าวและสิ่งแปลกปลอม

ชนิด	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg*K)	ที่มา
ข้าว	1.270-4.830	Satish, 2013
ถาดทดลอง	0.388	Amidon, 1999
เศษไม้	1.260-2.900	Tan,2010
หิน	0.460-0.900	Lalitet al.,2010
ฟิวเจอร์บอร์ด	0.881-2.548	Boudenneet al.,2005

2.5 การประมวลผลภาพ

2.5.1 เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image processing)

การประมวลผลภาพ (Image Processing) หมายถึง การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เรากำลังต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ (จรัส, 2552)



รูปที่ 2.15 การประมวลผลภาพ

โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางของการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ เช่น ระบบรู้จำลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบว่าภาพลายนิ้วมือที่มีอยู่นั้นเป็นของผู้ใด ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบคัดแยกเกรดหรือคุณภาพของพืชผลทางการเกษตร ระบบอ่านรหัสไปรษณีย์อัตโนมัติเพื่อคัดแยกปลายทางของจดหมายที่มีจำนวนมากในแต่ละวันโดยใช้ภาพถ่ายของรหัสไปรษณีย์ที่อยู่บนซอง ระบบเก็บข้อมูลรถที่เข้าและออกอาคารโดยใช้ภาพถ่ายของป้ายทะเบียนรถเพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัย ระบบดูแลและตรวจสอบสภาพการจราจรบนท้องถนนโดยการนับจำนวนรถบนท้องถนนในภาพถ่ายด้วยกล้องวงจรปิดในแต่ละช่วงเวลา ระบบรู้จำใบหน้าเพื่อเฝ้าระวังผู้ก่อการร้ายในอาคารสถานที่สำคัญ ๆ หรือในเขตคนเข้าเมือง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพจำนวนมาก และเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานในลักษณะเหล่านี้ หากให้มนุษย์วิเคราะห์เอง มักต้องใช้เวลามากและใช้แรงงานสูง อีกทั้งหากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นจำนวนมาก ผู้วิเคราะห์ภาพเองอาจเกิดอาการล้า ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เหล่านี้แทนมนุษย์ อีกทั้งเป็นที่ทราบโดยทั่วกันว่า คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคำนวณและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้ในเวลาอันสั้น จึงมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพในระบบต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น (จรัส, 2552)



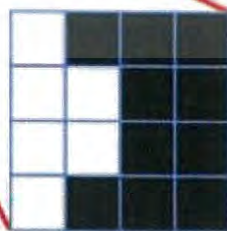
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการประยุกต์งานด้านต่างๆ ที่ใช้ศาสตร์ทางด้านการประมวลผลภาพ

2.5.2 ประเภทของภาพ (Image Types)

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งประเภทของภาพบิตแมปตามคุณสมบัติของสีออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้ ภาพขาวดำ (Binary Image), ภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image), ภาพสี (Color Image), ภาพแบบดัชนี (Index Image) (โสภณ, 2557)

2.5.2.1 ภาพขาวดำ (Binary Image)

ลักษณะของภาพขาวดำคือในแต่ละพิกเซลจะแสดงด้วยค่าแบบไบนารี (Binary) คือ มี 1 บิต ซึ่งประกอบด้วยค่า 1 และ 0 โดยที่ 1 หมายถึงจุดภาพสีขาว และ 0 หมายถึงจุดภาพสีดำ ภาพประเภทนี้ เหมาะสมกับภาพที่เกี่ยวข้องกับตัวอักษร (Text) ภาพลายนิ้วมือ เป็นต้น (โสภณ, 2557)



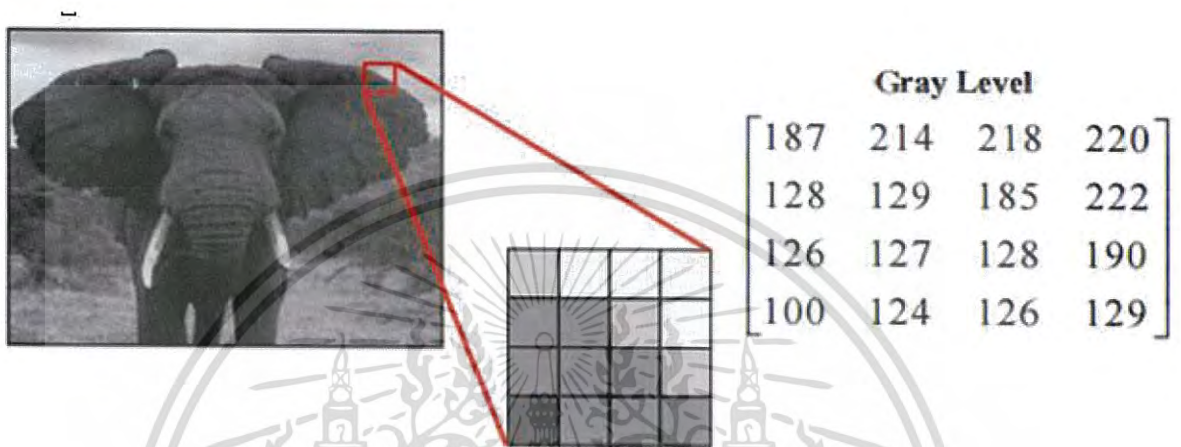
Binary Data

1	0	0	0
1	1	0	0
1	1	0	0
1	0	0	0

รูปที่ 2.17 ภาพขาวดำ

2.5.2.2 ภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image)

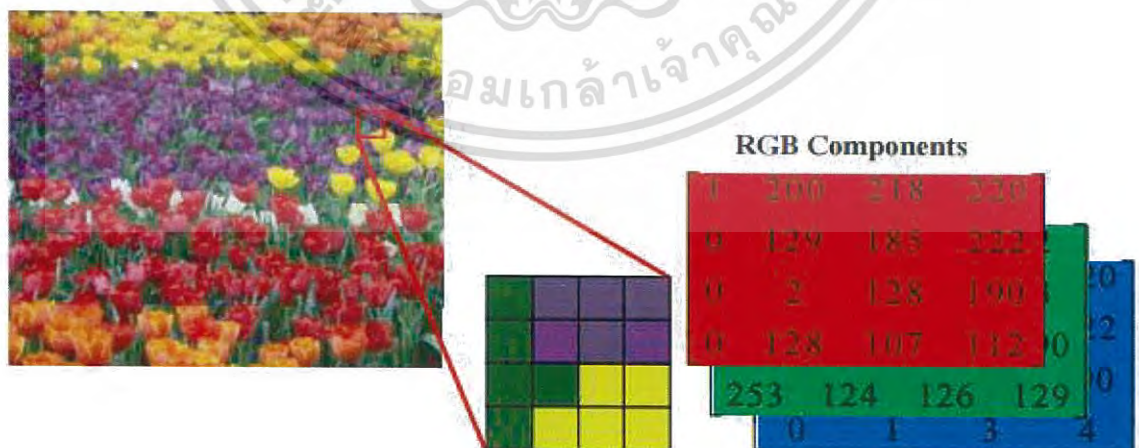
ลักษณะของภาพชนิดนี้ ในแต่ละพิกเซล จะมีค่าความเข้มของแสงในแต่ละระดับที่แตกต่างกันไป ตั้งแต่สีขาวไปยังสีดำ เราสามารถกำหนดระดับความเข้มของแสงนั้นได้ โดยใช้ค่าระดับเทา โดยปกติแล้วภาพแบบระดับสีเทาทะจะมีค่าความละเอียด (Resolution) เท่ากับ 8 บิต ซึ่งภาพจะมีค่าระดับความเข้มแสงของสีดำเท่ากับ 0 ส่วนค่าระดับความเข้มของสีขาวจะมีค่าเท่ากับ 255 (โสภณ, 2557)



รูปที่ 2.18 ภาพระดับสีเทา

2.5.2.3 ภาพสี (Color Image)

ในแต่ละพิกเซลของภาพสีจะเก็บค่าระดับความเข้มแสงแต่ละแถบแสงของแม่สีหลัก 3 สีที่ซ้อนกันคือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งในแต่ละพิกเซลนั้นก็แสดงผลของค่าสีแต่ละพิกเซลตามระดับความเข้มในแต่ละแถบแสงนั้น (โสภณ, 2557)

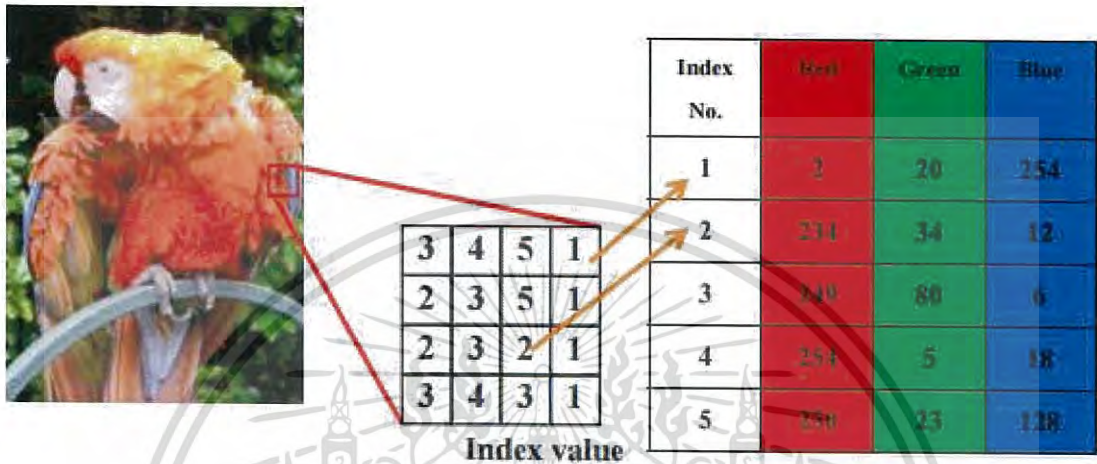


รูปที่ 2.19 ภาพสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.4 ภาพแบบดัชนี (Index Image)

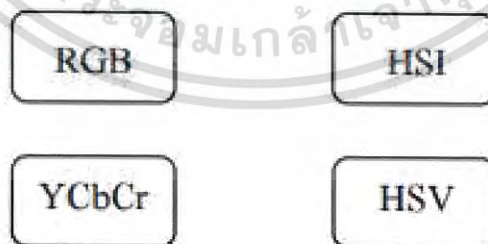
ภาพประเภทนี้ในแต่ละพิกเซลของภาพจะเก็บค่าดัชนี (Index Number) ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม ซึ่งจะถูกนำค่าดัชนีดังกล่าวไปเทียบกับ ตารางสี (Color Table) ซึ่งเป็นตารางแสดงค่าแสงสี แดง เขียว และน้ำเงิน ซึ่งค่าดัชนีนี้จะเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าภาพในตำแหน่งพิกเซลนั้นมีค่าอัตราส่วนของแม่สีแสง 3 สี ในอัตราส่วนละเท่าไร (โสภณ, 2557)



รูปที่ 2.20 ภาพแบบดัชนี

2.5.3 แบบจำลองสี (Color Model)

แบบจำลองสี เป็นวิธีที่กำหนดสีต่างๆ ให้เป็นแบบมาตรฐาน ซึ่งแบบจำลองสีในแต่ละแบบก็จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป จึงเหมาะสมสำหรับหารใช้งานที่แตกต่างกันในแบบจำลองของสีนั้น จะใช้สีหลักๆ ที่เรียกว่าแม่สีมาผสมผสานกลมกลืนกันเพื่อใช้ในการแสดงค่าสีอื่นๆ โดยแม่สีหลักนั้นจะแตกต่างกันไปตามแบบจำลองแต่ละชนิด (โสภณ, 2557)

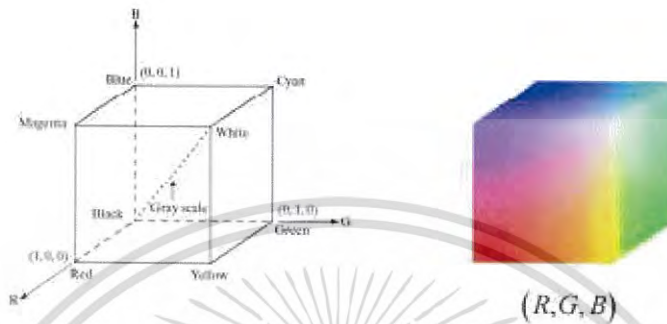


รูปที่ 2.21 แบบจำลองสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

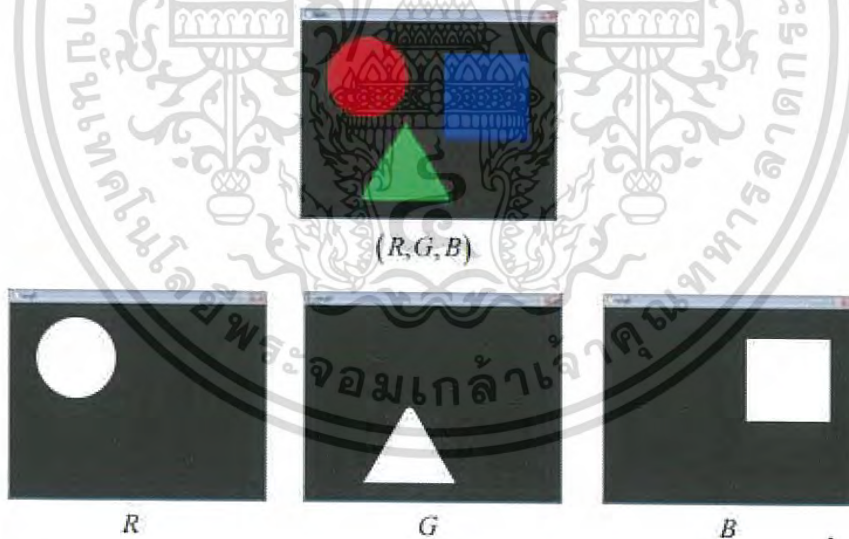
2.5.3.1 แบบจำลองสี RGB

แบบจำลองสีนี้เป็นแบบจำลองของแม่สีหลัก 3 สี (Primary Color) ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดจากการรวมกันของแสง (Additive Color) ประกอบด้วยสีที่สำคัญ 3 สีด้วยกัน ได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ถูกนำมาใช้งานในด้านการแสดงผลข้อมูลบนจอภาพ รวมไปถึงการเก็บข้อมูลภาพในระบบคอมพิวเตอร์ (โสภณ, 2557)



รูปที่ 2.22 แบบจำลองสี RGB

ตัวอย่างผลการแยกแผ่น RGB

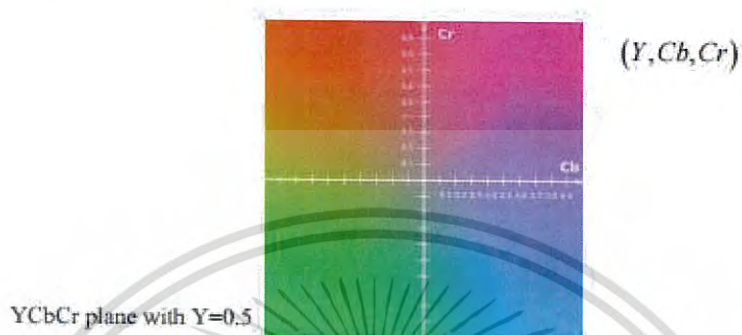


รูปที่ 2.23 ตัวอย่างผลการแยกแผ่น RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

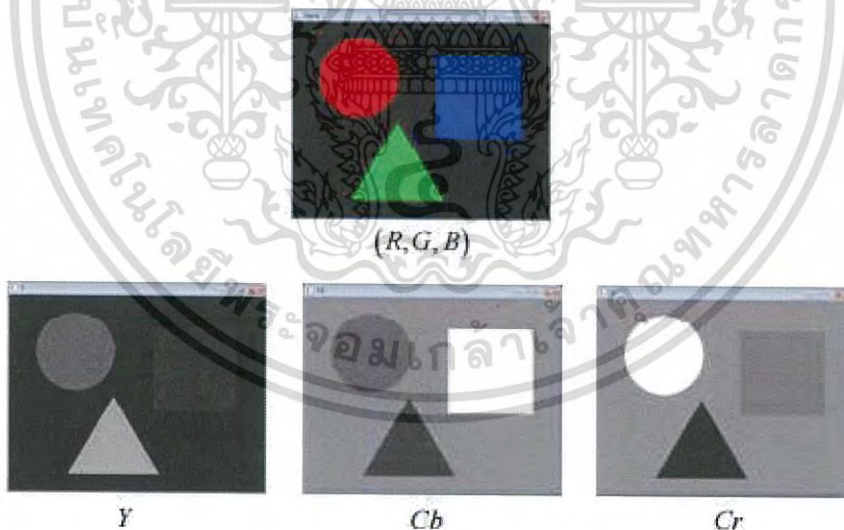
2.5.3.2 แบบจำลองสี YCbCr

แบบจำลองสี YCbCr ถูกใช้อย่างกว้างขวางในสัญญาณวิดีโอดิจิทัล มีการประยุกต์ใช้งานในด้านการลดขนาดของข้อมูลของภาพชนิด JPEG และขนาดข้อมูลวิดีโอ MPEG ในแบบจำลองนี้ Y จะเก็บข้อมูลของความเข้มแสง (Luminance) ส่วน Cb และ Cr จะเก็บข้อมูลของแสงสี (โสภณ, 2557)



รูปที่ 2.24 แบบจำลองสี YCbCr

ตัวอย่างผลการแยกแผ่น YCbCr

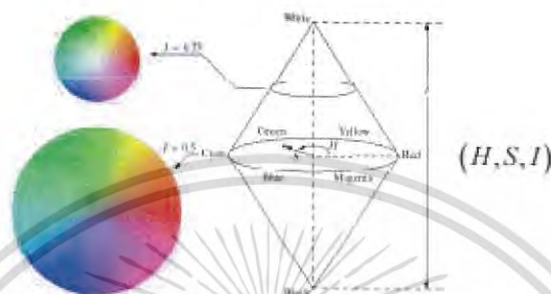


รูปที่ 2.25 ตัวอย่างผลการแยกแผ่น YCbCr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.3 แบบจำลองสี HIS

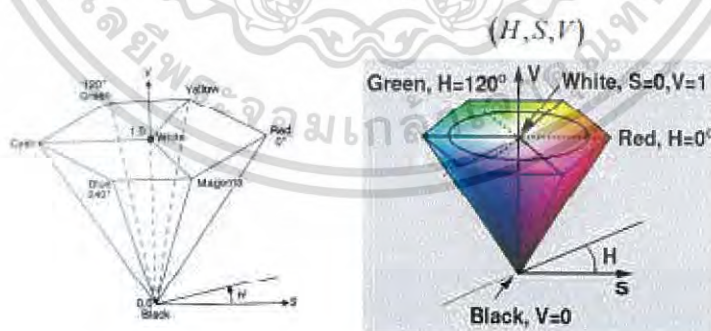
แบบจำลองสี HIS มีความใกล้เคียงกับแบบจำลอง RGB ในด้านการรับรู้สี (Color Sensation) คุณสมบัติเกี่ยวกับการรับรู้สีแบ่งค่าความสว่าง (Brightness), ค่าโทน (Hue) และค่าสีทึบเรชัน (Saturation) โดยที่ค่าความสว่างเป็นการรับรู้ความส่องสว่าง (Luminance) ค่าโทนสีของสีหมายถึงความแดง (เช่นแดงอ่อน แดงแก่ แดงเลือดหมู เป็นต้น) ความเขียว (เช่นเขียวแก่ เขียวขี้ม้า เป็นต้น) ส่วนค่าสีทึบเรชันเกี่ยวข้องกับความแรงของแสงสีขาว (โสภณ, 2557)



รูปที่ 2.26 แบบจำลองสี HIS

2.5.3.4 แบบจำลองสี HSV

แบบจำลองนี้ ถูกสร้างขึ้นโดยการมองจากลูกบาศก์สี RGB ตามแนวแกนเทา (Gray Axis) ซึ่งก็คือแกนที่เชื่อมระหว่างจุดมุมสีขาวและดำ ทำให้ลักษณะแสดงดังรูป องค์ประกอบโทรัส H คือมุมในรูปหกเหลี่ยมโดยถือว่าแกนสีแดงมีมุมเป็นศูนย์ องค์ประกอบ V ถูกวัดตามแนวแกนตั้ง ค่าสีทึบเรชันวัดจากระยะทางจากแกน V โดยลักษณะนี้เราถือว่าระบบ HSV คือระบบในพิกัดทรงกระบอก (โสภณ, 2557)

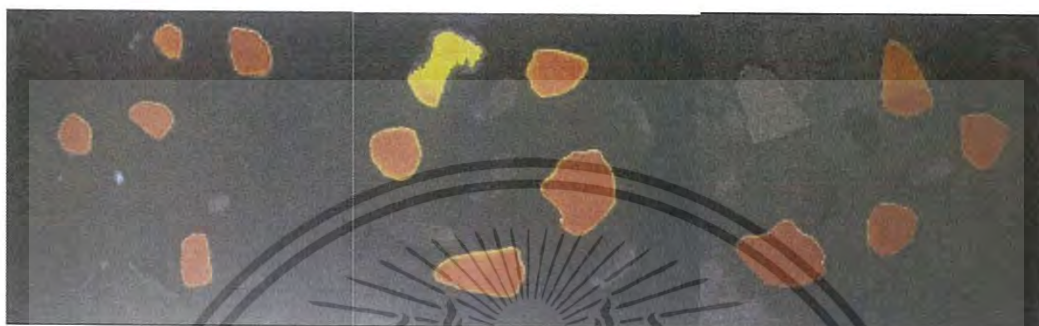


รูปที่ 2.27 แบบจำลองสี HSV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

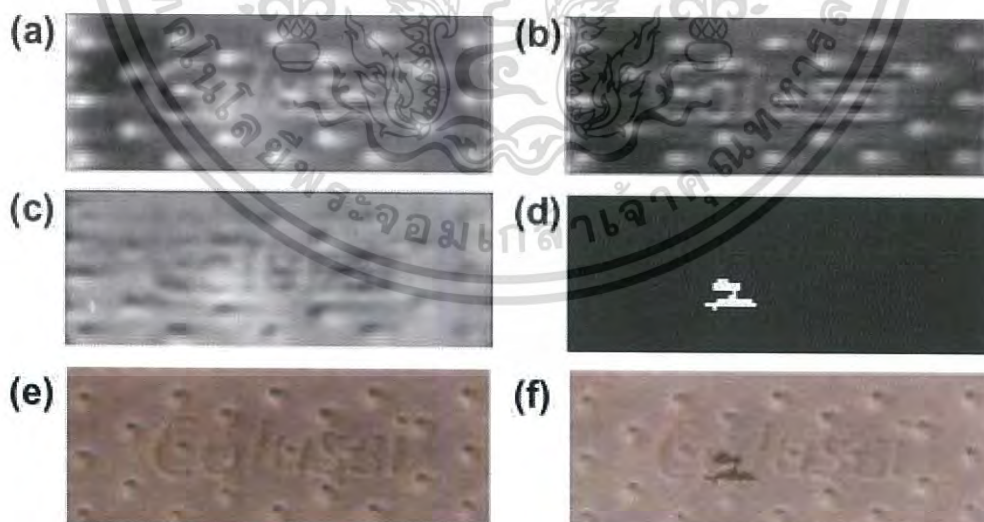
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dittakorn et al. (2014) งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดธัญพืชต่างๆ ด้วยวิธีการเอกซิมโทกราฟี โดยให้ความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนและใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนจับภาพทางความร้อน เนื่องจากเมล็ดธัญพืชและสิ่งแปลกปลอมมีค่าความจุความร้อนจำเพาะที่แตกต่างกัน ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ ลูกเดือย ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วลิสง และถั่วเหลือง สิ่งแปลกปลอมคือ เศษไม้ เศษหิน และพลาสติก



รูปที่ 2.28 แสดงภาพถ่ายทางความร้อนของหิน-ถั่วดำ, หิน-ถั่วแดง, หิน-ถั่วลิสง

Senni et al. (2013) งานวิจัยนี้เป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสำหรับการตรวจสอบสารปนเปื้อนและสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ภายในแผ่นบิสกิต โดยการใช้กล้องอินฟราเรดในการถ่ายภาพถ่ายทางความร้อนและอัลกอริธึมการประมวลผลภาพในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมแบบอัตโนมัติที่เคลื่อนที่บนสายพานลำเลียง การวิเคราะห์เปรียบเทียบการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและแผ่นบิสกิตในกระบวนการคายความร้อน



รูปที่ 2.29 แสดงขั้นตอนกระบวนการตรวจสอบสำหรับแผ่นบิสกิตที่มีเศษแก้วปนเปื้อน
(a) ภาพหลังจากกระบวนการก่อนการประมวลผล (b) ภาพแม่แบบ (c) ภาพที่มีการปรับปรุง
(d) ภาพไบนารีหลังจากการประยุกต์เทรชโฮล (e) ภาพถ่ายของบิสกิต
(f) ภาพซ้อนทับของภาพถ่ายและภาพความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chanda et al. (2010) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบแมลงที่ทำให้เมล็ดข้าวสาลีเกิดความเสียหายโดยอาศัยคลื่นสั้น เปรียบเทียบความแตกต่างของช่วงความยาวคลื่นและคุณสมบัติความแตกต่างของสี สามารถใช้ตรวจสอบแมลงได้แก่ ตัวงวงช้าง มอดข้าวเปลือก ตัวงท้องแบน และมอดแป้ง

Chelladurai et al. (2010) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบเชื้อราหลังการเก็บเกี่ยวโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างข้าวสาลีที่มีคุณภาพดีกับข้าวสาลีที่เกิดการติดเชื้อ ภาพถ่ายทางความร้อนสามารถใช้ในการตรวจสอบเชื้อราได้หลายชนิดและระบุเชื้อราได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น *Aspergillus* และ *Penicillium spp.*

Ginesu et al. (2004) งานวิจัยนี้ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจสอบจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับ เมล็ดอัลมอลด์ ลูกเกต และถั่วลิสง โดยอาศัยหลักการความแตกต่างของพลังงานที่กล้องได้รับระหว่างเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอม เนื่องจากสมบัติทางความร้อนของวัสดุมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งสิ่งแปลกปลอมที่ใช้คือ กระดาษแข็ง หิน เปลือกไม้ และโลหะเล็กๆ

Emekei et al. (2002) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบแมลงในระยะการฟักตัว โดยอาศัยความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดพืชที่มีแมลงอยู่กับ อัตราการหายใจของแมลงในแต่ละช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

ใบบทนี้กล่าวถึงการออกแบบชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุม และชุดการวิเคราะห์ภาพ โดยเนื้อหาประกอบด้วย ชุดอุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง นำมาทดลองของระบบการตรวจสอบจับสิ่งแปลกปลอมในข้าว

3.1 ชุดอุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ชุดอุปกรณ์

ชุดการทดลองของระบบการตรวจสอบจับสิ่งแปลกปลอมในข้าวประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุม และชุดการวิเคราะห์ภาพ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ระบบการทดลองการตรวจสอบจับสิ่งแปลกปลอมในข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.1 ชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุม

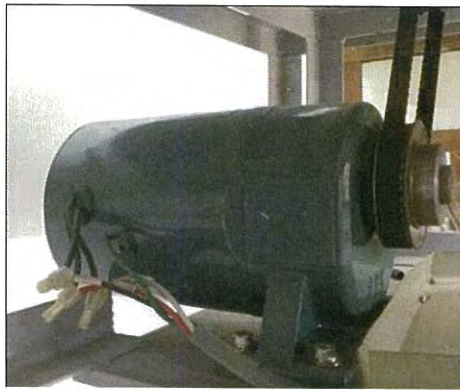
ชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุมประกอบด้วยสายพานลำเลียง (รูปที่ 3.2) กลุ่มตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เคลื่อนที่โดยมอเตอร์ยี่ห้อ nissei รุ่น GLM-18 (รูปที่ 3.3) ที่ควบคุมการทำงานด้วยเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ (Programable logic Controller; PLC) ยี่ห้อ Omron รุ่น C200HX (รูปที่ 3.4) ซึ่งมีสัญญาณขาเข้า (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) และอินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับ (รูปที่ 3.7)



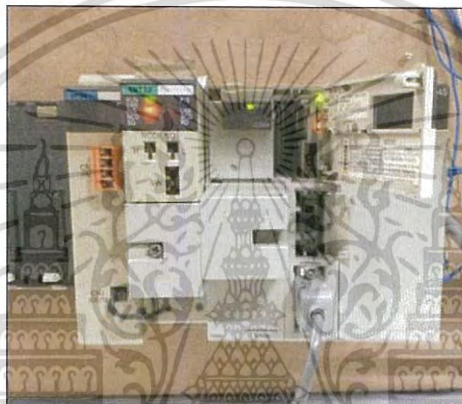
รูปที่ 3.2 สายพานลำเลียง

ข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ รุ่น GLM-18

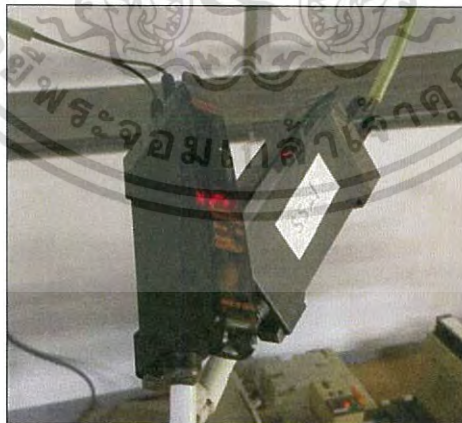
1. ขนาดแรงดันไฟฟ้า 380 V
2. กระแส 0.58 A
3. ความถี่ 60 Hz
4. จำนวนขั้วมอเตอร์ 4 ขั้ว



รูปที่ 3.3 มอเตอร์ รุ่น GLM-18



รูปที่ 3.4 พีแอลซี (PLC) Omron รุ่น C200HX



รูปที่ 3.5 เซนเซอร์แสง รุ่น E3X-DA11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 หลอดไฟ halogen 50-60 Hz

ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์ รุ่น 3G3IV-A2004-V2

1. Rate unit power (400 VAC Supply) 1.4 kVA
2. Max rate motor (400 VAC Supply) 0.4 kW
3. Rate unit current 1.9 A
4. Max unit current 3.2 A
5. INPUT : AC 3PH 200 to 220V / 50 Hz
6. OUTPUT : AC 3PH 0 to 230V 1.4 kVA 3.6A



รูปที่ 3.7 อินเวอร์เตอร์ รุ่น 3G3IV-A2004-V2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 ชุดการวิเคราะห์ภาพ

ในการทดลองและวิเคราะห์ภาพโดยใช้ระบบภาพแบบ gray scale เมื่อตัวอย่างได้รับความร้อนจากระบบให้ความร้อน จากนั้นใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR รุ่น A315 (รูปที่ 3.8) ซึ่งมีความละเอียด 320 x 240 พิกเซล รับรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 7.5-14 μm ช่วงการวัดอุณหภูมิ -20°C ถึง 350°C ความไวต่ออุณหภูมิ (Thermal sensitivity) เท่ากับ $<0.05^{\circ}\text{C}$ @ $+30^{\circ}\text{C}/50$ mK ค่า FOV เท่ากับ $25^{\circ}\text{H} \times 18.8^{\circ}\text{H}$ ค่า IFOV เท่ากับ 3.16 mRad และความถูกต้องของการวัดเท่ากับ $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ทำการถ่ายภาพวัตถุตัวอย่าง ซึ่งภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนจะมีลักษณะภาพที่เป็นเฉดสีต่างๆ จากนั้นนำภาพมาเข้าคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 3.9) เพื่อปรับภาพให้เป็น gray scale ผ่านซอฟต์แวร์ ThermaCAM และนำมาประมวลผลภาพผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW 2014



รูปที่ 3.8 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Camera) FLIR รุ่น A315



รูปที่ 3.9 คอมพิวเตอร์ประมวลผล (Computer System) ด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ตัวอย่างและสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ในการทดลอง (Sample and Foreign Bodies)

ในการทำ การทดลองได้ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดข้าว คือ ข้าวกล้อง โดยกำหนดสิ่งแปลกปลอมขึ้นมาได้แก่ เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก (รูปที่ 3.10-3.12)



รูปที่ 3.10 ข้าวกล้อง



รูปที่ 3.11 เศษไม้, ก้อนหิน



รูปที่ 3.12 เศษกระดาษ, พลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม

การหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม เป็นขั้นตอนการถ่ายภาพหลังจากที่ข้าวได้รับความร้อน เพื่อให้ได้ภาพถ่ายความร้อนที่สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้ ทำได้โดยการเตรียมข้าวและสิ่งแปลกปลอม ข้าวกล้อง เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก เรียงลงในถาดทดลอง ดังรูปที่ 3.13 และให้ความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นทิ้งตัวอย่างคายความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที พร้อมทั้งใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนบันทึกภาพในรูปแบบของไฟล์วิดีโอ ตลอดระยะเวลาการคายความร้อนตั้งแต่วินาทีที่ 0 จนถึงวินาทีที่ 10 ซึ่งทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ จากนั้นนำไฟล์วิดีโอที่ได้มาตัดภาพตั้งแต่เวลาเวลาวินาที 4 เป็นต้นไปในช่วงการคายความร้อน ตัดภาพทุกๆวินาที และนำภาพที่ได้มาค่าอุณหภูมิ เพื่อหาเวลาในการคายความร้อนที่สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมกับข้าวได้



รูปที่ 3.13 การเรียงข้าวและสิ่งแปลกปลอมในถาดทดลอง

3.3 การทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี

3.3.1 ระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว

ในการทดลองได้นำตัวอย่างของเมล็ดข้าว คือ ข้าวกล้อง และกำหนดสิ่งแปลกปลอมขึ้นมา ได้แก่ เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก โดยในการทดลองกำหนดให้ชั้นทดสอบของข้าว และสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนกันวางอยู่ในภาดทดลองขนาด 10×10 เซนติเมตร (รูปที่ 3.14) จำนวน 30 ชั้นทดสอบ วางภาดทดลองบนสายพานซึ่งเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ที่ถูกควบคุมจาก PLC ภาดทดลองเคลื่อนบนสายพานจนกระทั่งเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง ความร้อน (halogen lamp) ตรวจจับได้ จากนั้นสายพานหยุดเพื่อให้ความร้อน 10 วินาที ภาดกลุ่มตัวอย่างเคลื่อนที่จากตำแหน่งเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ไปยังเซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ซึ่งเป็นตำแหน่งตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยใช้เวลา 4 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเย็นตัว (cooling) ของกลุ่มตัวอย่าง เมื่อเซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตรวจจับภาดได้สายพานจะหยุด 7 วินาที เพื่อให้กล้องถ่ายภาพความร้อนทำการจับภาพกลุ่มตัวอย่าง



รูปที่ 3.14 ภาดทดลองขนาด 10×10 เซนติเมตร

จากนั้นภาพกลุ่มตัวอย่างที่ตรวจจับได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR รุ่น A315/A615 จะมีสีที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติการแผ่รังสีที่แตกต่างกันของวัตถุ บันทึกภาพด้วยโปรแกรม LabVIEW 2014 และจากนั้นปรับภาพให้เป็น gray scale ผ่านซอฟต์แวร์ ThermoCAM โดยปรับ level และ span ให้ภาพมีความชัดมากที่สุด และจึงนำภาพมาวิเคราะห์หาจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว ซึ่งอัลกอริทึมจะมีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี แสดงดังรูปที่ 3.15

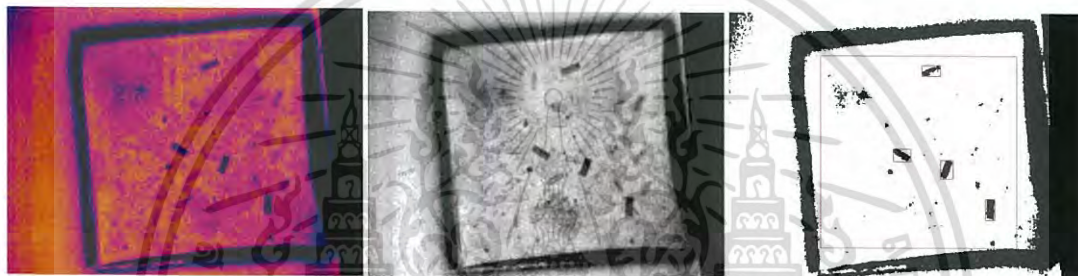


รูปที่ 3.15 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าว ด้วยเทคนิคแอดทีฟเทอร์โมกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

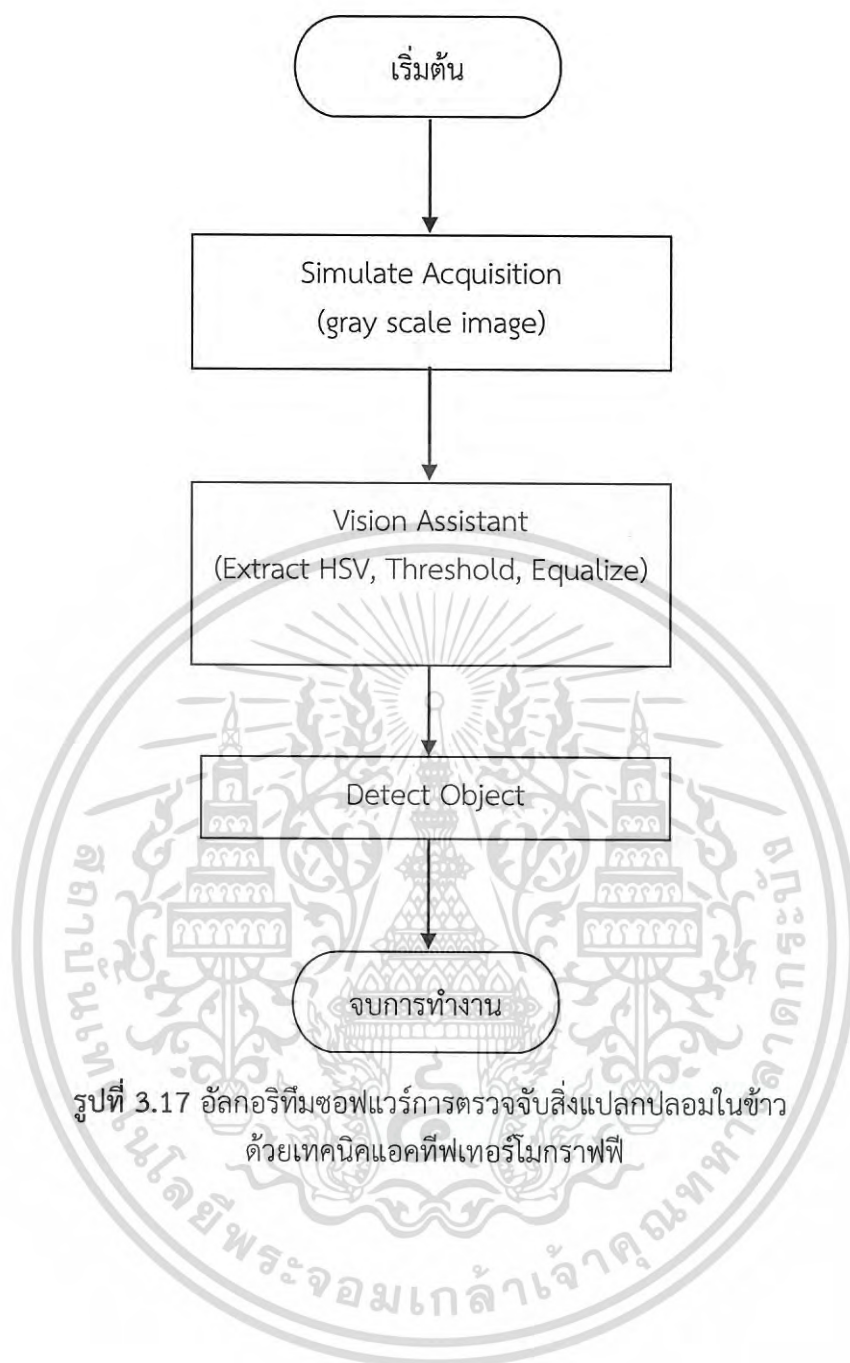
3.3.2 โปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว

การทดลองโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยซอฟต์แวร์ Vision Builder AI 2013 SP1 ของ LabView 2014 โดยนำภาพถ่ายทางความร้อนที่ได้มาทำให้เป็น gray scale ด้วยโปรแกรม ThernaCAM ซึ่งข้าว คือ ข้าวกล้อง และสิ่งแปลกปลอมที่กำหนดเศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก โดยจะใส่ข้าวลงไป 29 เม็ด จากนั้นใส่สิ่งแปลกปลอมลงไป 1 ชิ้น วางกระจายกัน จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกัน โดยเพิ่มสิ่งแปลกปลอมเป็น 2, 3, 4 และ 5 ชิ้น และลดข้าวเหลือ 28, 27, 26 และ 25 ชิ้นตามลำดับ และทำการวิเคราะห์ผ่านระบบตรวจจับสิ่งแปลกปลอม โดยภาพที่เป็นแบบ gray scale จะแบ่งออกเป็น 256 ระดับ (0-255) จากนั้นอัลกอริทึม Threshold โดยจะทำให้ภาพให้เหลือเพียงสองสี หลังจากนั้นอัลกอริทึม Equalize จะทำให้ภาพเป็นสีขาวดำ และสุดท้ายคือการ Detect Object โดยจะเป็นการนับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่พบ แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 ภาพถ่ายความร้อน, ภาพ gray scale, Detect Object

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 อัลกอริทึมซอฟต์แวร์การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในข้าว ด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทำการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม และทดลองการทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี

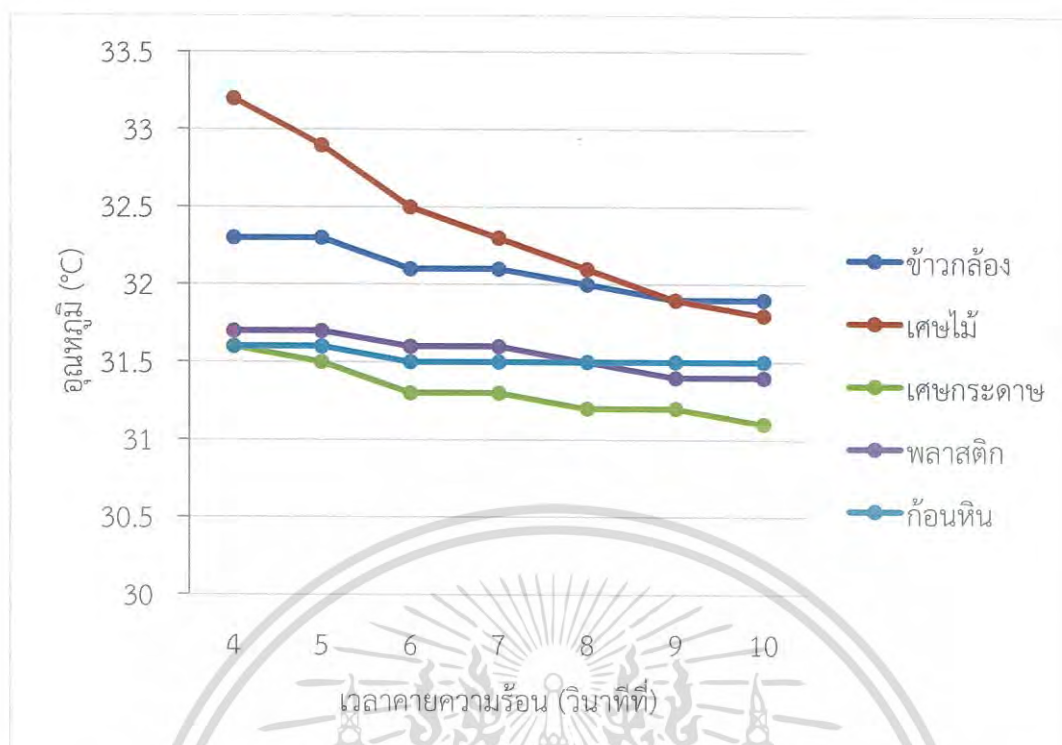
4.1 เวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม

ผลการตรวจสอบหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมจากภาพถ่ายความร้อนที่ถ่ายหลังจากที่ข้าวได้รับความร้อน โดยภาพถ่ายความร้อนดังกล่าวประกอบด้วยข้าวและสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ ข้าวกล้อง เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก ซึ่งได้มาจากการให้ความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที และจากนั้นหาค่าอุณหภูมิจากภาพถ่ายความร้อน โดยหาเวลาที่อุณหภูมิมีความแตกต่างระหว่างข้าวและสิ่งแปลกปลอมมากที่สุด ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของชั้นทดสอบและเวลาคายความร้อน

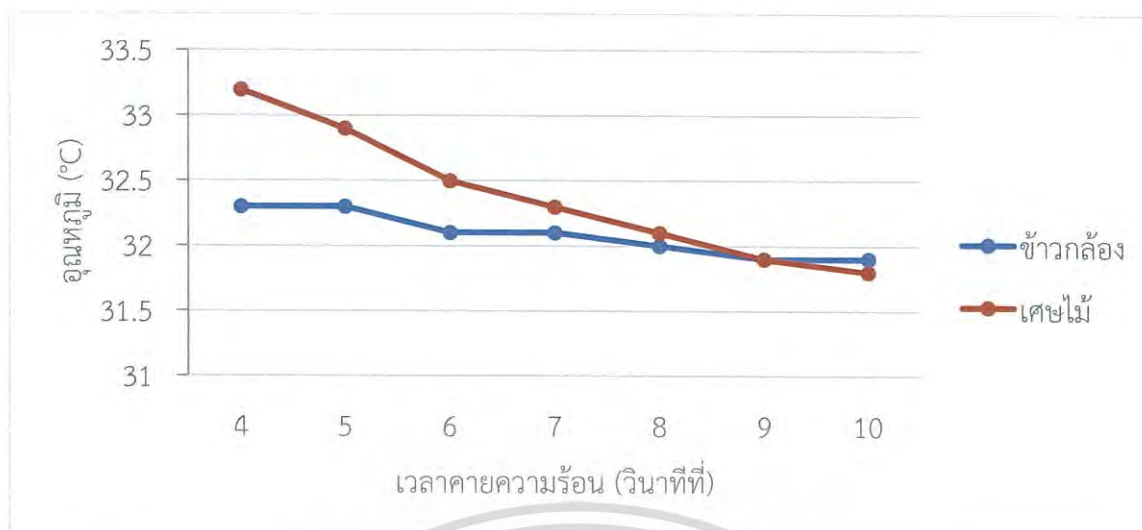
ชั้นทดสอบ	เวลาคายความร้อน (วินาที)						
	4	5	6	7	8	9	10
ข้าวกล้อง	32.3	32.3	32.1	32.1	32	31.9	31.9
เศษไม้	33.2	32.9	32.5	32.3	32.1	31.9	31.8
ก้อนหิน	31.6	31.6	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5
เศษกระดาษ	31.6	31.5	31.3	31.3	31.2	31.2	31.1
พลาสติก	31.7	31.7	31.6	31.6	31.5	31.4	31.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



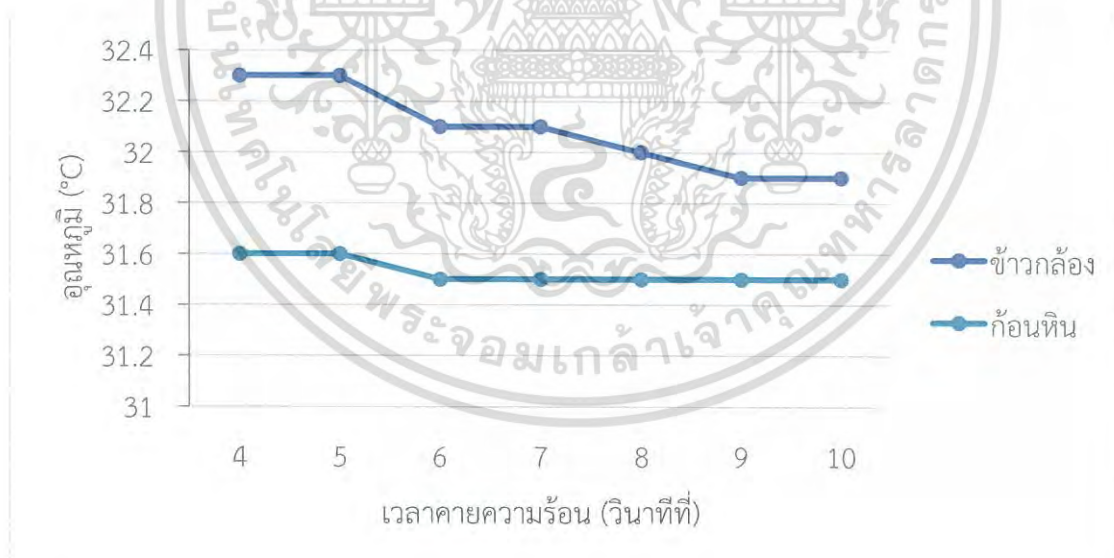
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของของข้าวและสิ่งแปลกปลอม กับเวลาคายความร้อน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาคายความร้อนของข้าวและสิ่งแปลกปลอม โดยให้ความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที พบว่าเมื่อเวลาในการเวลาคายความร้อนของข้าวและสิ่งแปลกปลอมเพิ่มขึ้น ค่าอุณหภูมิของของข้าวและสิ่งแปลกปลอมจะมีค่าที่ลดลง โดยแสดงว่าอุณหภูมิของข้าวและสิ่งแปลกปลอมแปรผกผันกับเวลาในการคายความร้อน อีกทั้งกราฟยังแสดงให้เห็นว่าสิ่งแปลกปลอมต่างชนิดกันจะมีความสามารถในการคายความร้อนแตกต่างกัน



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับเศษไม้

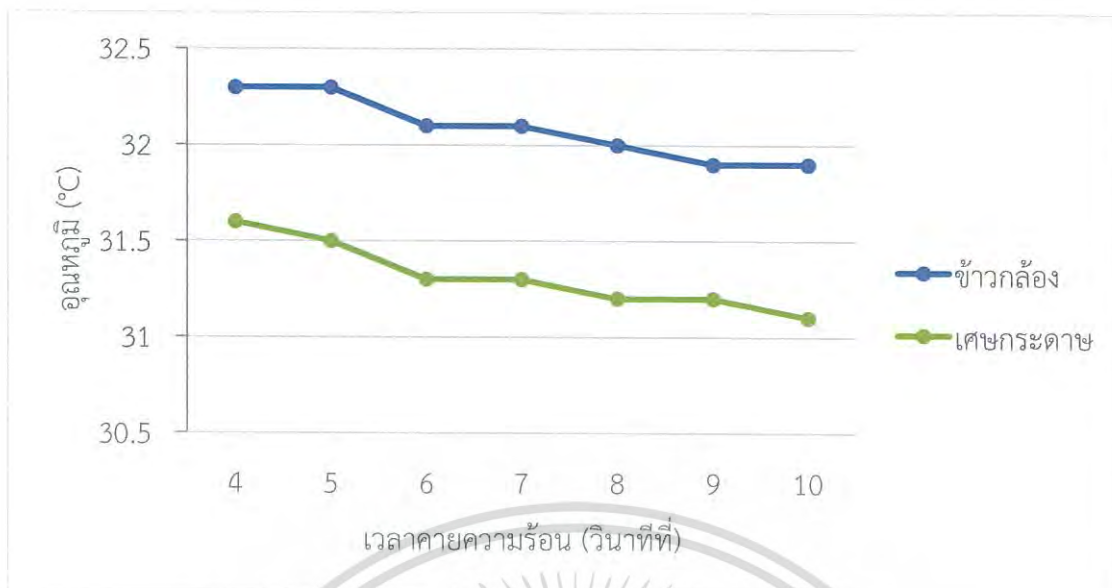
จากรูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับเศษไม้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาในการตรวจสอบเศษไม้ที่ปะปนมาในข้าวในกระบวนการคายความร้อนวินาทีที่ 4 มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาดังกล่าวอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับก้อนหิน

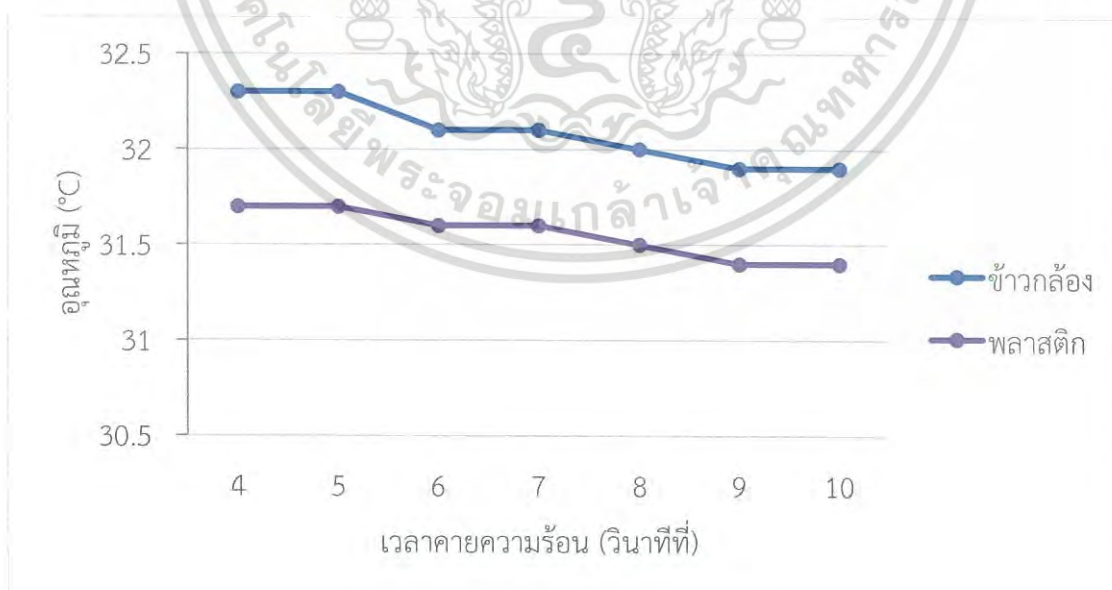
จากรูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับก้อนหิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาในการตรวจสอบก้อนหินที่ปะปนมาในข้าวในกระบวนการคายความร้อนวินาทีที่ 5 มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาดังกล่าวอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของขี้วกล้างกับเศษกระดาษ

จากรูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของขี้วกล้างกับเศษกระดาษ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาในการตรวจสอบเศษกระดาษที่ปะปนมาในข้าวในกระบวนการคายความร้อนช่วงเวลา 5-8 วินาที มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลาดังกล่าวอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของขี้วกล้างกับพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

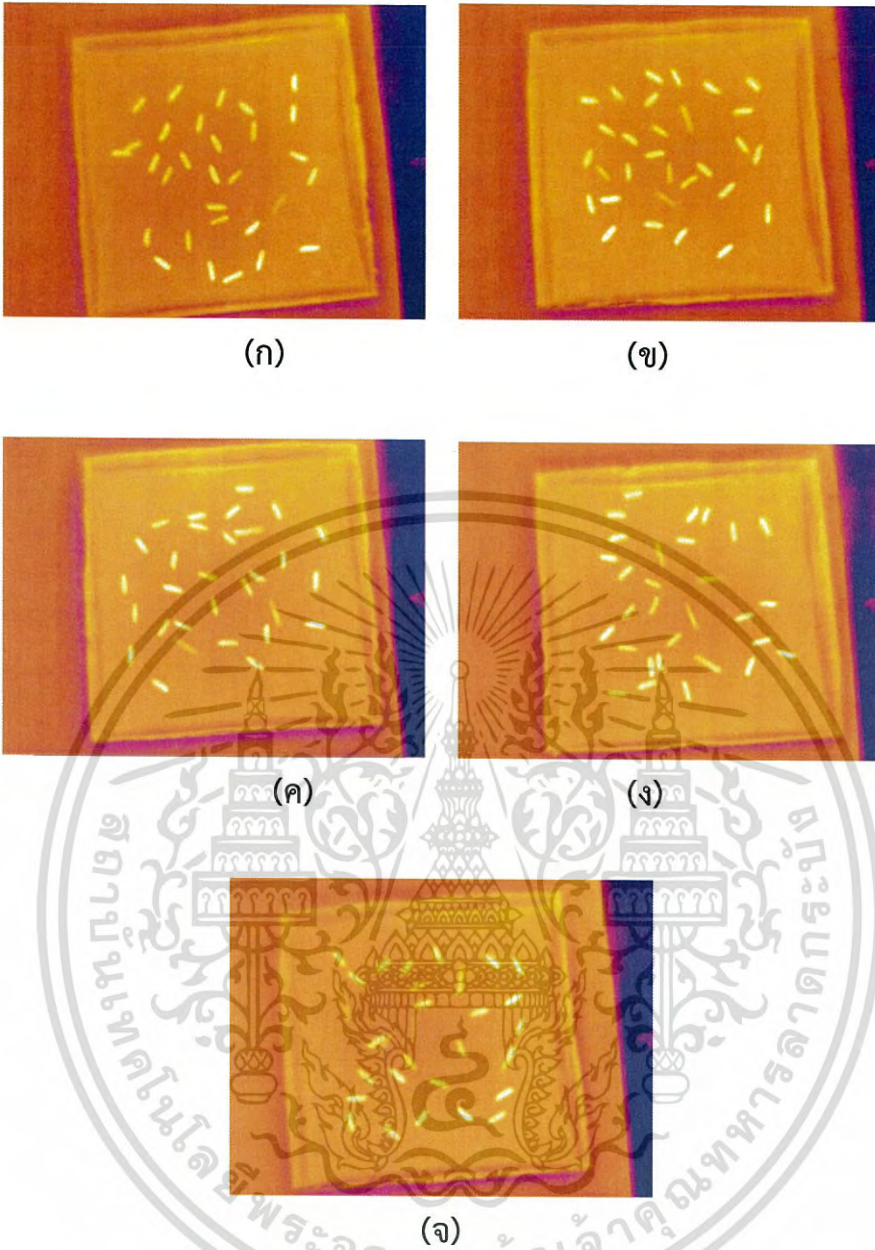
จากรูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับพลาสติก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาในการตรวจสอบพลาสติกที่ปะปนมาในข้าวในกระบวนการคายความร้อนช่วงเวลาที่ 4-5 วินาที มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลาดังกล่าวอย่างชัดเจน

4.2 ผลการทดลองการทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี

การทดลองการทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟีนั้น ในขั้นตอนแรกจะเป็นการทดลองระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าวโดยจะได้ผลออกมาในเชิงคุณภาพคือภาพถ่ายทางความร้อน และการทดลองในขั้นตอนที่ 2 คือการพัฒนาโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าวทำการทดสอบโดยใช้ภาพถ่ายทางความร้อนจากขั้นตอนแรกมาผ่านการประมวลผลภาพจากอัลกอริทึมที่ทำการพัฒนาขึ้น

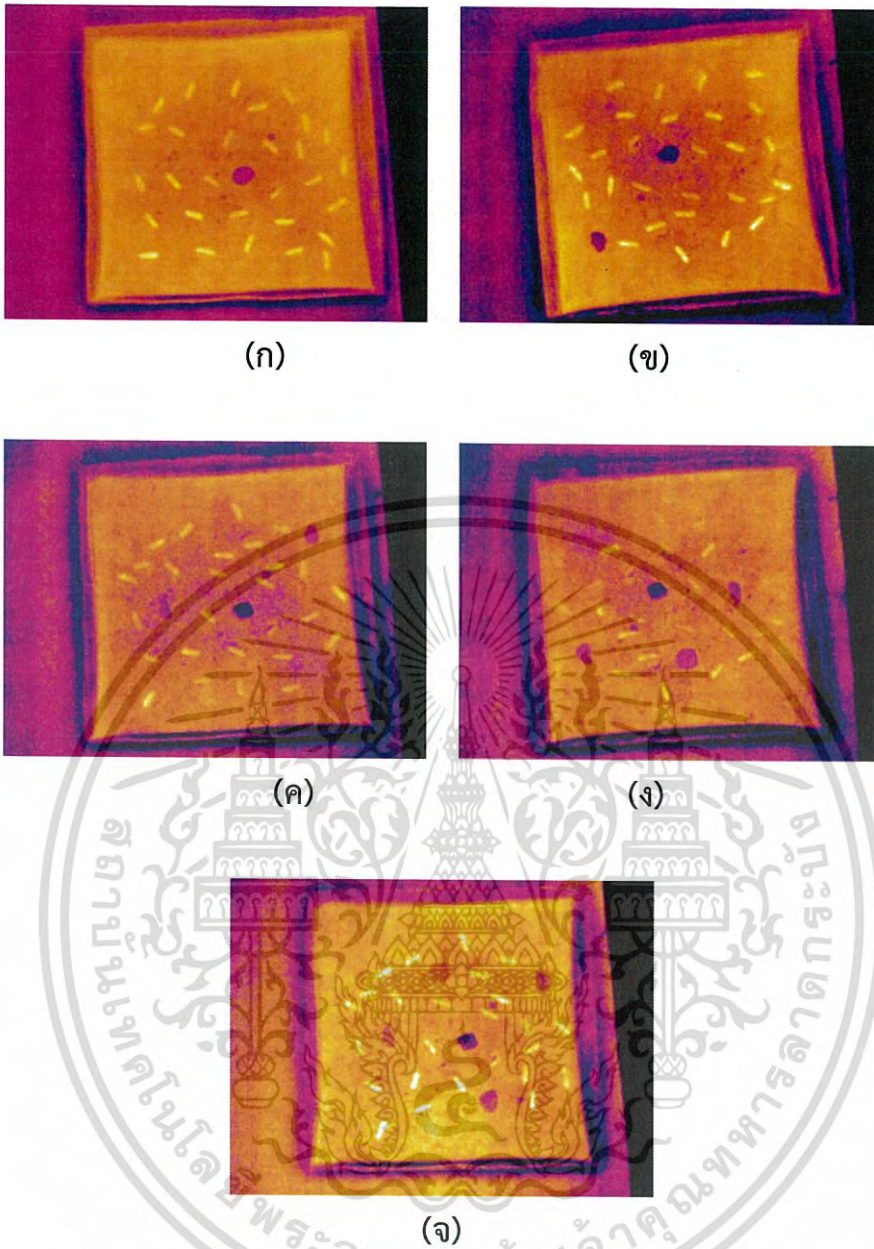
4.2.1 ระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว

จากการทดลองเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าวนั้น ได้ทำการทดลองกับข้าวกล้อง และสิ่งแปลกปลอม 4 ชนิด ได้แก่ เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก โดยทำการปรับอัตราส่วนระหว่างข้าวกับสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วน ดังนี้ 29:1, 28:2, 27:3, 26:4 และ 25:5 เมื่อระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอม จะได้ภาพถ่ายทางความร้อนของข้าวที่มีสิ่งแปลกปลอมปะปนอยู่ในภาคทดลอง ดังรูปที่ 4.6-4.9



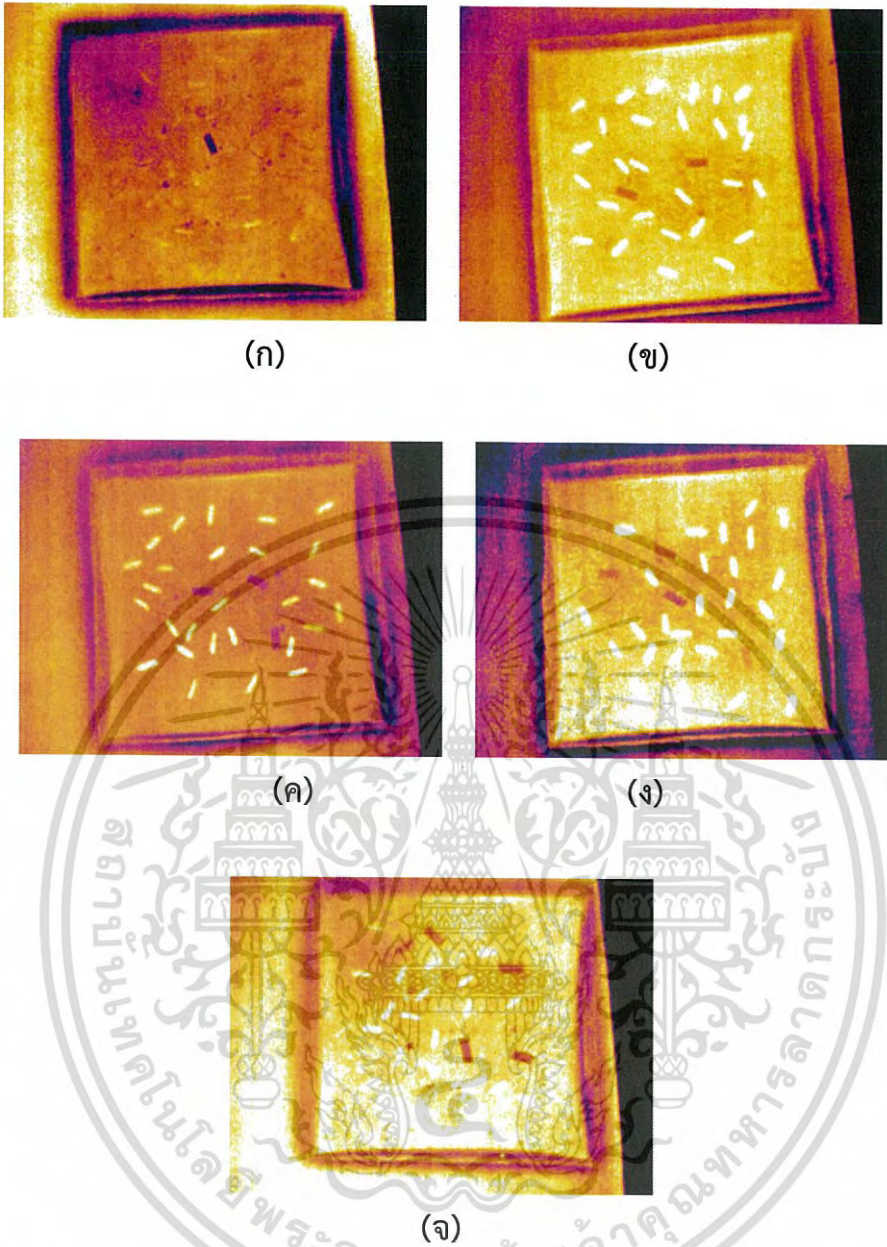
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายความร้อนของข้าว-เศษไม้ โดยมีอัตราส่วน ข้าว:เศษไม้
(ก) 29:1 (ข) 28:2 (ค) 27:3 (ง) 26:4 (จ) 25:5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



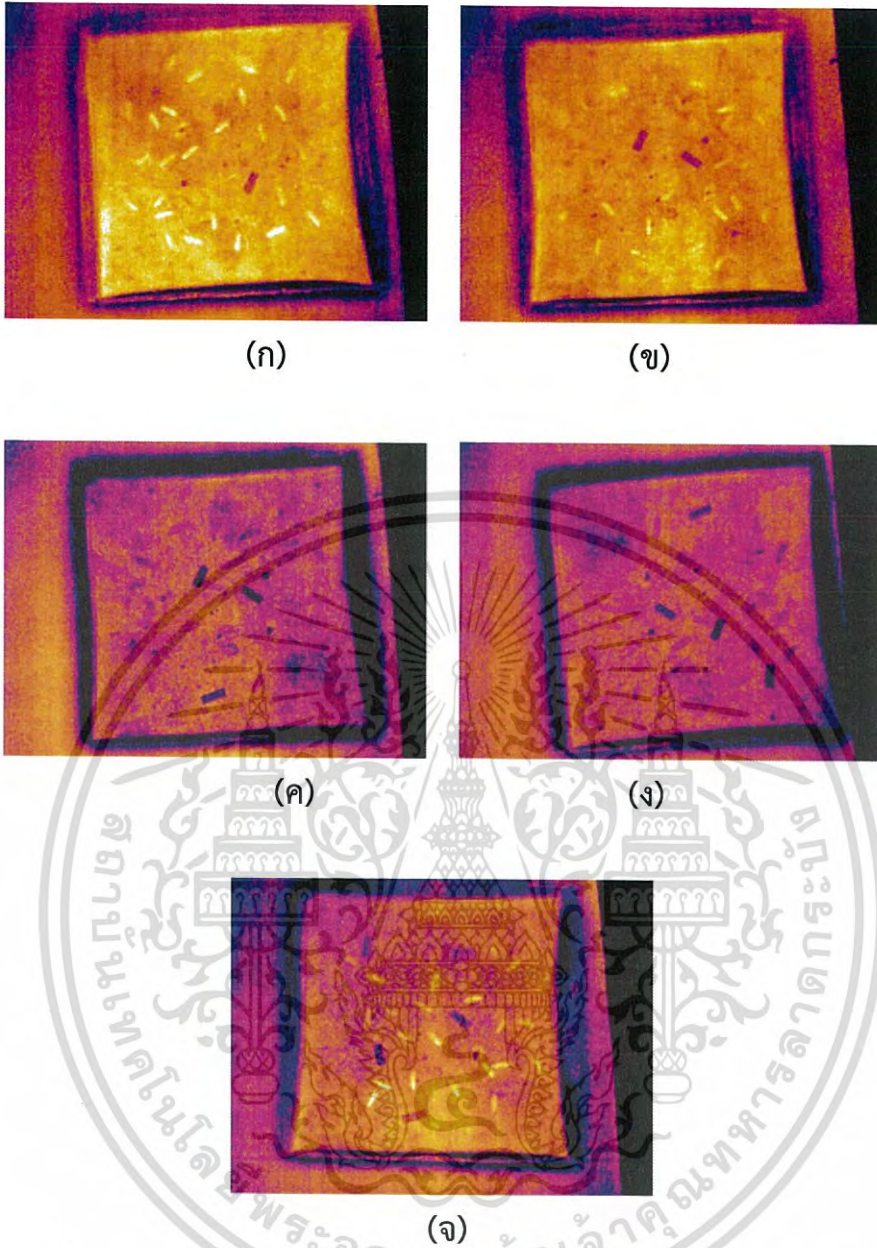
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายความร้อนของข้าว-ก้อนหิน โดยมีอัตราส่วน ข้าว:ก้อนหิน
 (ก) 29:1 (ข) 28:2 (ค) 27:3 (ง) 26:4 (จ) 25:5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายความร้อนของข้าว-เศษกระดาก โดยมีอัตราส่วน ข้าว:เศษกระดาก
 (ก) 29:1 (ข) 28:2 (ค) 27:3 (ง) 26:4 (จ) 25:5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายความร้อนของข้าว-พลาสติก โดยมีอัตราส่วน ข้าว:พลาสติก

(ก) 29:1 (ข) 28:2 (ค) 27:3 (ง) 26:4 (จ) 25:5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 โปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว

จากการทดลองโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว โดยการนำภาพถ่ายทางความร้อนที่ได้มาทำให้เป็น gray scale ด้วยโปรแกรม ThermaCAM และวิเคราะห์ผ่านระบบตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่พัฒนาขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ Vision Builder AI 2013 SP1 ของ LabView 2014 โดยแสดงผลความสามารถในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมของอัลกอริธึมที่ได้พัฒนาขึ้น ดังตารางที่ 4.2-4.5

ตารางแสดงค่าความผิดพลาดของการประมวลผล

ตารางที่4.2 แสดงผลการทดลอง ข้าว-เศษไม้

จำนวนเมล็ดข้าว	จำนวนสิ่งแปลกปลอม (เศษไม้)	จำนวนสิ่งแปลกปลอม ที่ตรวจจับได้ (เศษไม้)	ค่าความคลาดเคลื่อน ที่เกิดขึ้น
29	1	1	0
28	2	2	0
27	3	3	0
26	4	3	1
25	5	4	1

ตารางที่4.3 แสดงผลการทดลอง ข้าว-ก้อนหิน

จำนวนเมล็ดข้าว	จำนวนสิ่งแปลกปลอม (ก้อนหิน)	จำนวนสิ่งแปลกปลอม ที่ตรวจจับได้ (ก้อนหิน)	ค่าความคลาดเคลื่อน ที่เกิดขึ้น
29	1	1	0
28	2	2	0
27	3	3	0
26	4	4	0
25	5	5	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่4.4 แสดงผลการทดลอง ข้าว-เศษกระดาษ

จำนวนเมล็ดข้าว	จำนวนสิ่งแปลกปลอม (เศษกระดาษ)	จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ ตรวจจับได้ (เศษกระดาษ)	ค่าความคลาดเคลื่อน ที่เกิดขึ้น
29	1	1	0
28	2	2	0
27	3	3	0
26	4	3	1
25	5	5	0

ตารางที่4.5 แสดงผลการทดลอง ข้าว-พลาสติก

จำนวนเมล็ดข้าว	จำนวนสิ่งแปลกปลอม (พลาสติก)	จำนวนสิ่งแปลกปลอม ที่ตรวจจับได้ (พลาสติก)	ค่าความคลาดเคลื่อน ที่เกิดขึ้น
29	1	1	0
28	2	2	0
27	3	3	0
26	4	4	0
25	5	4	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการตรวจจับ สิ่งแปลกปลอมที่นำมาทดสอบ ได้แก่ เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก ซึ่งการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม นำค่าพารามิเตอร์ของเวลาที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว

ผลการทดลองการหาเวลาที่ดียิ่งที่สุดสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม พบว่าในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมแต่ละชนิดที่ปะปนในข้าวมีเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพแตกต่างกันดังนี้ เศษไม้ที่ปะปนมาในข้าวมีเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพคือ วินาทีที่ 4 ก้อนหินที่ปะปนมาในข้าวมีเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพคือ วินาทีที่ 5 เศษกระดาษที่ปะปนมาในข้าวมีเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพคือ ช่วงวินาทีที่ 5-8 และพลาสติกที่ปะปนมาในข้าวมีเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพคือ ช่วงวินาทีที่ 4-5 เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาดังกล่าวอย่างชัดเจน

ผลการทดลองการทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวโดยการนำภาพถ่ายทางความร้อนที่ได้มาทำให้เป็น gray scale ด้วยโปรแกรม ThermoCAM และวิเคราะห์ผ่านระบบตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่พัฒนาขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ Vision Builder AI 2013 SP1 ของ LabView 2014 จากการใส่ข้าวลงไป 29 เม็ด และสิ่งแปลกปลอมลงไป 1 ชิ้น วางกระจายกัน จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกัน โดยเพิ่มสิ่งแปลกปลอมเป็น 2, 3, 4 และ 5 ชิ้น และลดข้าวเหลือ 28, 27, 26 และ 25 ชิ้นตามลำดับ พบว่าการตรวจสอบยังมีความผิดพลาดเล็กน้อยเกิดขึ้นในการตรวจจับข้าวกับเศษไม้ (26:4, 25:5) ข้าวกับเศษกระดาษ (26:4) ข้าวกับพลาสติก (25:5) ซึ่งความคลาดเคลื่อนของการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้นเพียง 6.67% แสดงถึงระบบมีความมีความแม่นยำ สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมปะปนมาในข้าวได้

5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

ปัญหาที่พบในการทดลองนี้ พบว่าเกิดจากเรื่องของผลกระทบจากความร้อนของสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกล้องถ่ายภาพความร้อนมีการตอบสนองที่ความไวมาก ดังนั้นเมื่อมีการสะท้อนของแสงเพียงเล็กน้อยหรือมีความร้อนบริเวณรอบๆกล้อง จึงส่งผลให้ภาพถ่ายความร้อนที่ได้รับมีสีที่ผิดเพี้ยนไปจากสีที่ควรจะเป็น

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในแนวทางการพัฒนาระบบการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในอุตสาหกรรมนั้น จะต้องมีการเพิ่มกลไกของระบบหลังจากขั้นตอนการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้ คือขั้นตอนการคัดแยกสิ่งแปลกปลอม เช่น การใช้ลมเป่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Thomas Klinger. 2003. Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision. New Jersey: Professional Technical Reference
- [2] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานพนนท์. 2556. Thermal conductivity Food Network-Solution. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0564/thermal-conductivity>.
- [3] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานพนนท์. 2556. Color sorter. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2320/color-sorter-เครื่องคัดสี>
- [4] ทวีพล ชื้อสตัย และนวนัทธา หนูนาถ. 2555. กล้องถ่ายภาพความร้อน. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7311/thermal-imager-กล้องถ่ายภาพความร้อน>
- [5] ยุทธพงศ์ ทัพผดุง, ชีระวัฒน์ หนูนาถ, ทวีพล ชื้อสตัย และนวนัทธา หนูนาถ. 2555. การใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายความร้อนอินฟราเรดอย่างมืออาชีพ. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
- [6] วราวิช พรพระ. 2558. การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [7] ดิตถกร สุดโต, ณัฐภาส หล่อสุวรรณศิริ, สุพัฒตรา สาระกิจ. 2557. การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [8] 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.
- [9] Tan, P. V. 2010. Specific Heat Capacities. [Online]. Avaliaable. http://www.polytee.com.vn/wysiwyg/file_up/Specific%20Heat%20Capacities%20-%20Solids.PDF.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] FLIR A315 [Online]. Available. <http://www.flir.com/automation/display/?id=41330>
- [13] รังสีอินฟราเรด [Online]. Available. http://www.neutron.rmutphysics.com/science-news/index.php?option=com_content&task=view&id=1966&Itemid=0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] เศษฐพงศ์ มะลิสสุวรรณ 2552. เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ [Online]. Available : <http://jaratcyberu.blogspot.com/2009/10/image-processing.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การใช้งานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ

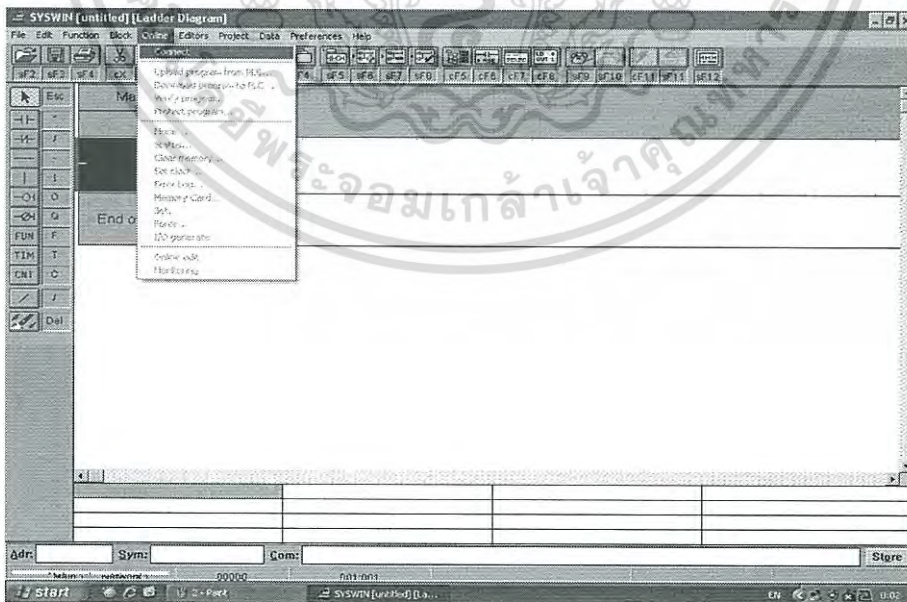
1.1. ขั้นตอนในการสั่งการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ

1. เข้าโปรแกรม SYSWIN 3.4 จากหน้า desktop เพื่อใช้ในการสั่งการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ



รูปที่1 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ (1)

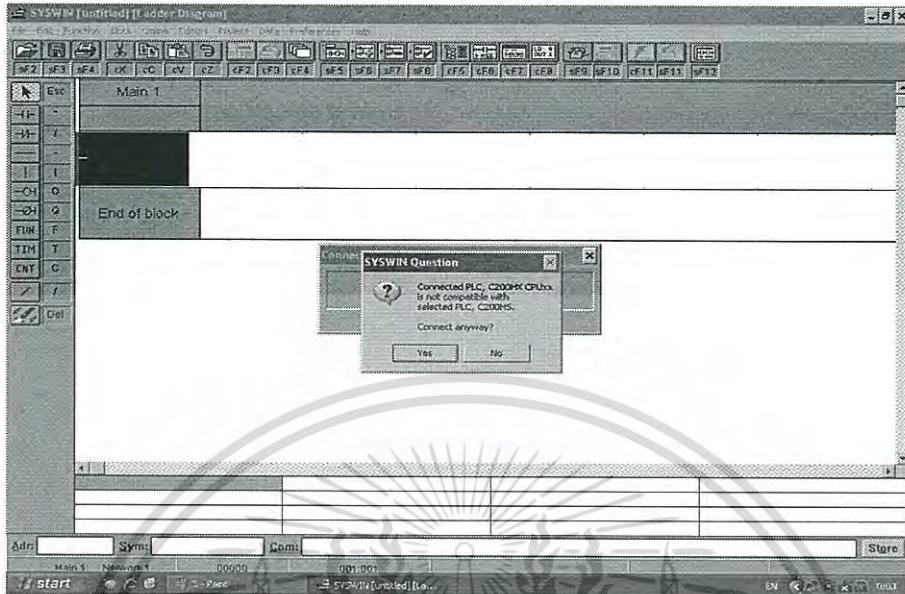
2. แสดงหน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม จากนั้นทำการเชื่อมต่อกับPLC โดยกด online ที่แสดงใน Toolbar แล้วเลือก connect



รูปที่2 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ (2)

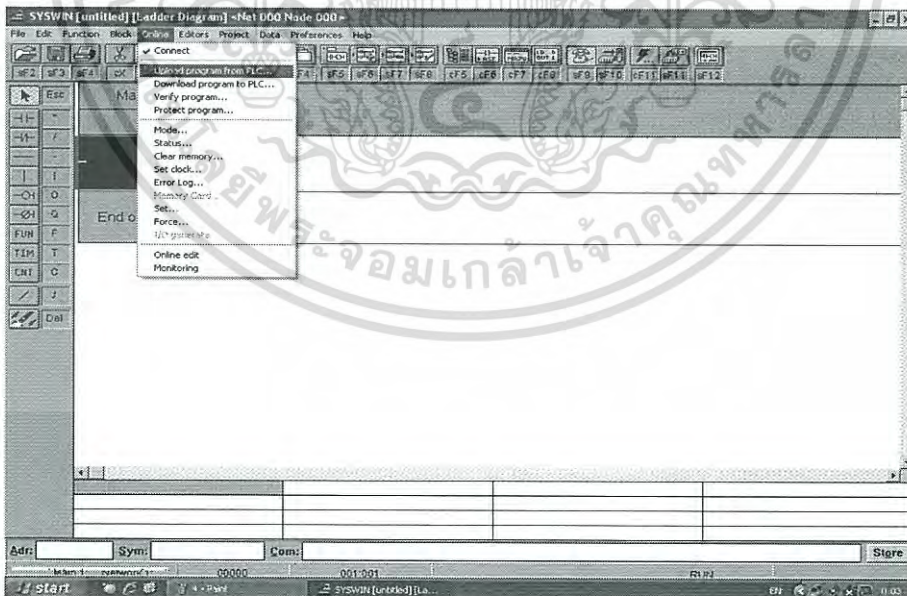
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โปรแกรมจะขึ้นให้ตรวจสอบว่าตรงกับ PLC ที่ต้องการเชื่อมต่อหรือไม่ จากนั้นกด Yes เพื่อตอบตกลง



รูปที่3 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ (3)

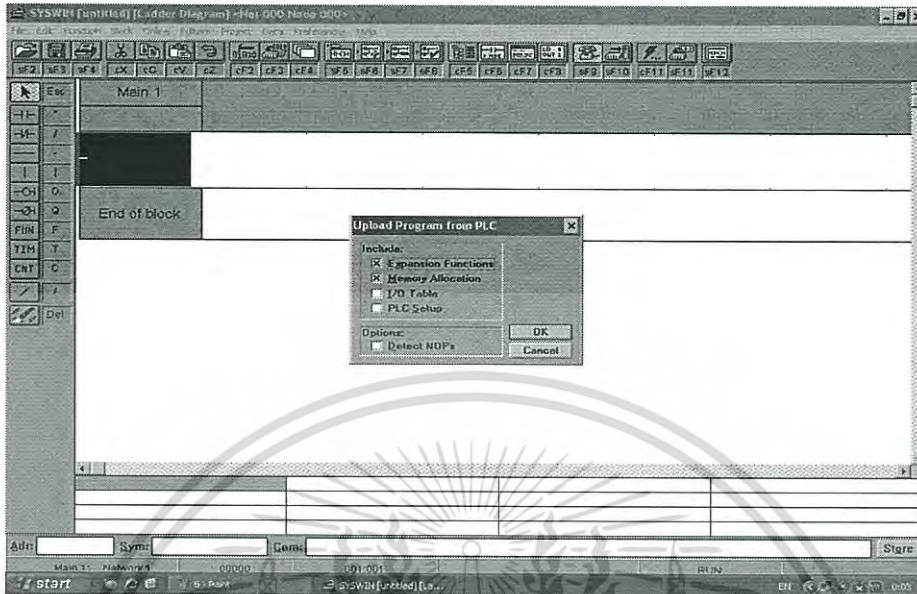
4. เมื่อคอมพิวเตอร์สามารถเชื่อมต่อกับ PLC ได้แล้ว จากนั้นทำการอัปโหลดโปรแกรมที่เขียนไว้จาก PLC ลงในโปรแกรม SYSWIN โดยกด connect ที่ Toolbar จากนั้นเลือก Upload program from PLC..



รูปที่4 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ (4)

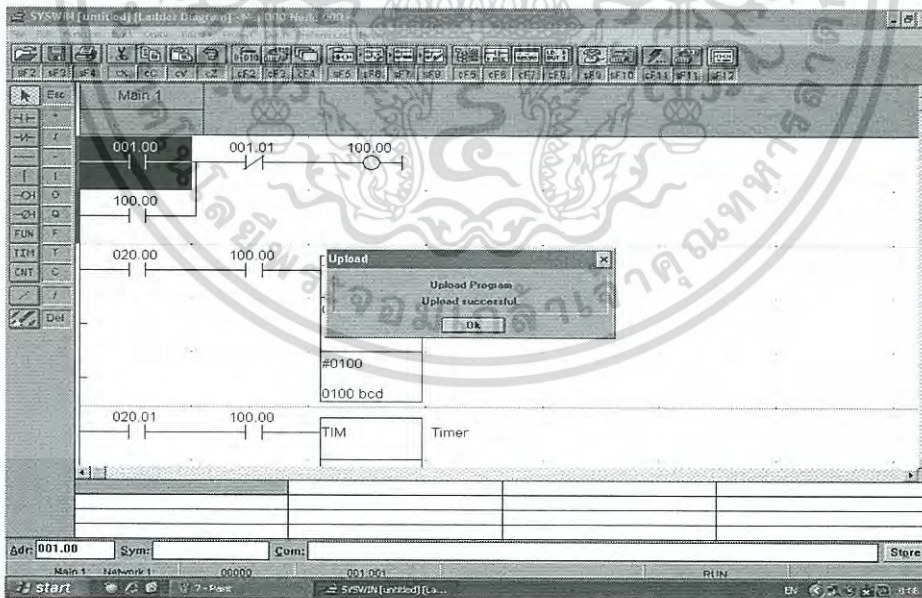
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จากหน้าต่างการ Upload Program from PLC ให้ include: Expansions Function, Memory Allocation แล้วกด OK



รูปที่5 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานจากระบบสายพานลำเลียงและไฟ (5)

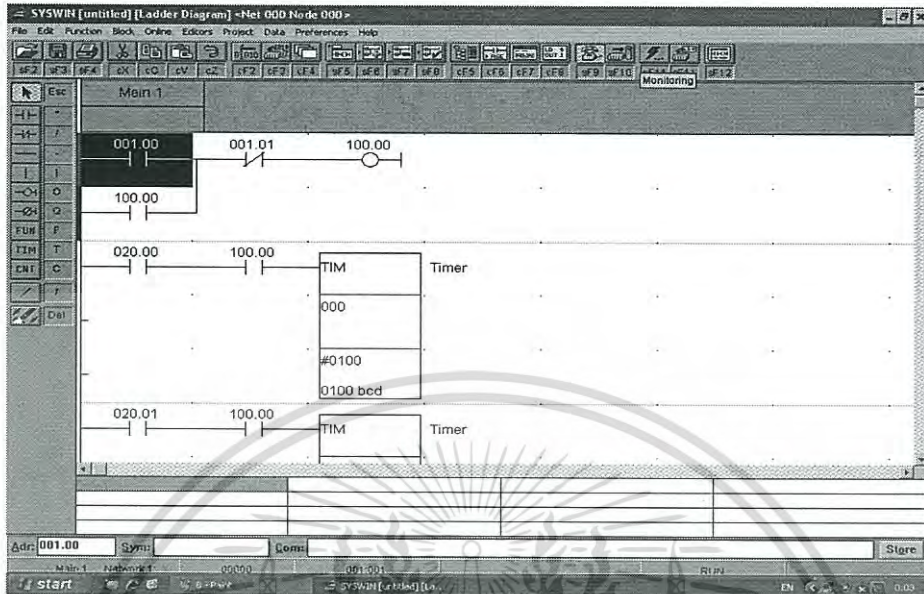
6. รอโปรแกรม Upload เมื่อเสร็จเรียบร้อยโปรแกรมจะแสดง Upload Program Upload successful. กด OK เพื่อเริ่มทำงาน



รูปที่6 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานจากระบบสายพานลำเลียงและไฟ (6)

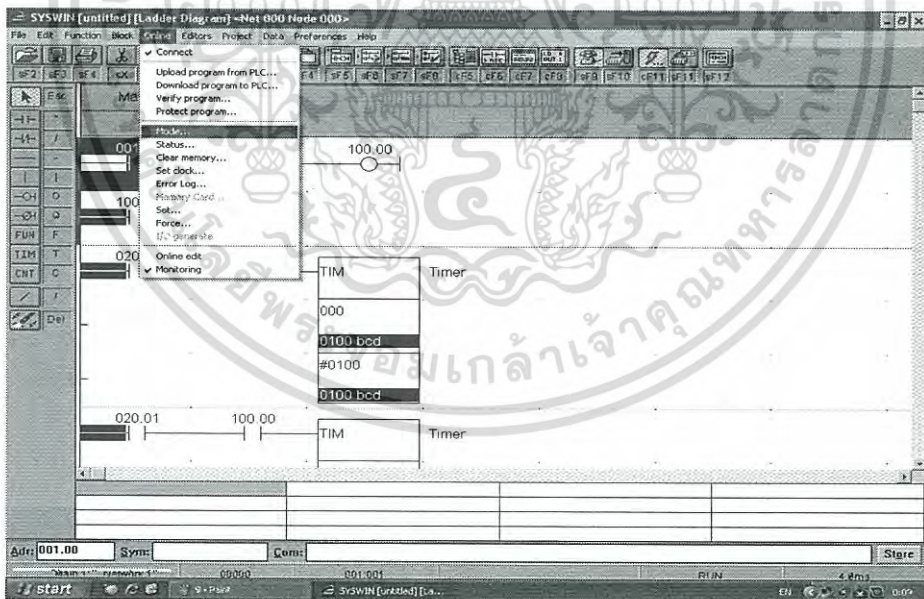
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ต่อไปคือการทำให้ Monitoring Program โดยจาก Toolbar จะเห็น cF11 ที่เป็นไฟฟ้าสีแดง กดให้เป็นสีเขียว เพื่อเปลี่ยนโหมดให้สามารถ Monitoring ได้



รูปที่ 7 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ (7)

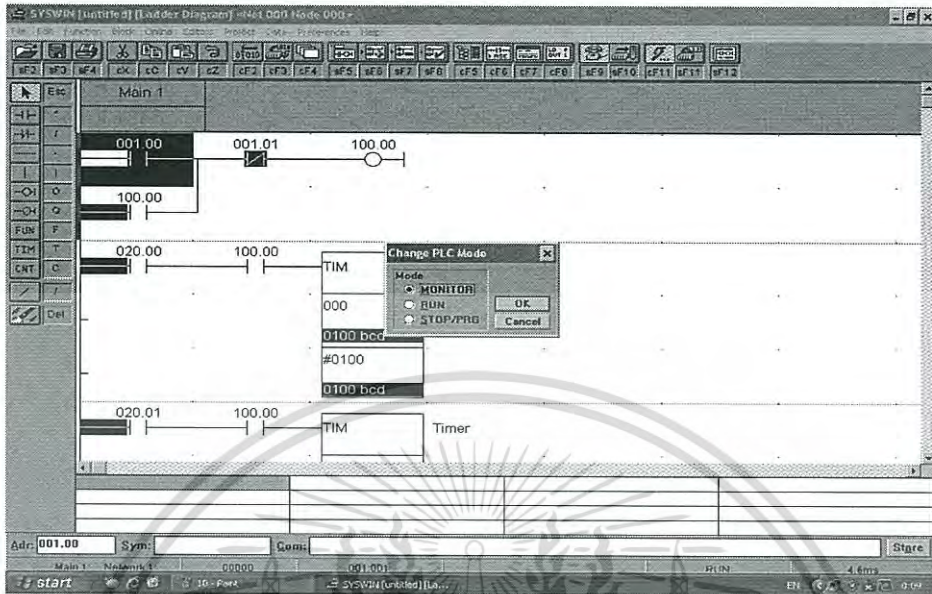
8. การเปลี่ยนโหมดการใช้งาน โดนการกด online ใน Toolbar จากนั้นเลือก Mode



รูปที่ 8 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ (8)

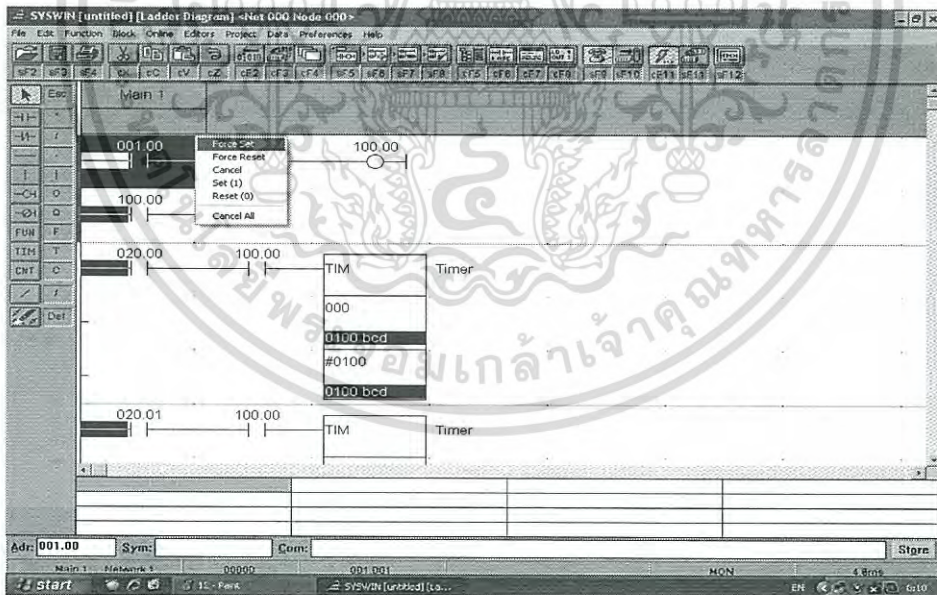
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เลือก Mode MONITOR ในการแสดงการทำงานของระบบ จากนั้นกด OK และจะมีหน้าต่างถามเพื่อยืนยันอีกครั้งให้กด Yes



รูปที่9 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ (9)

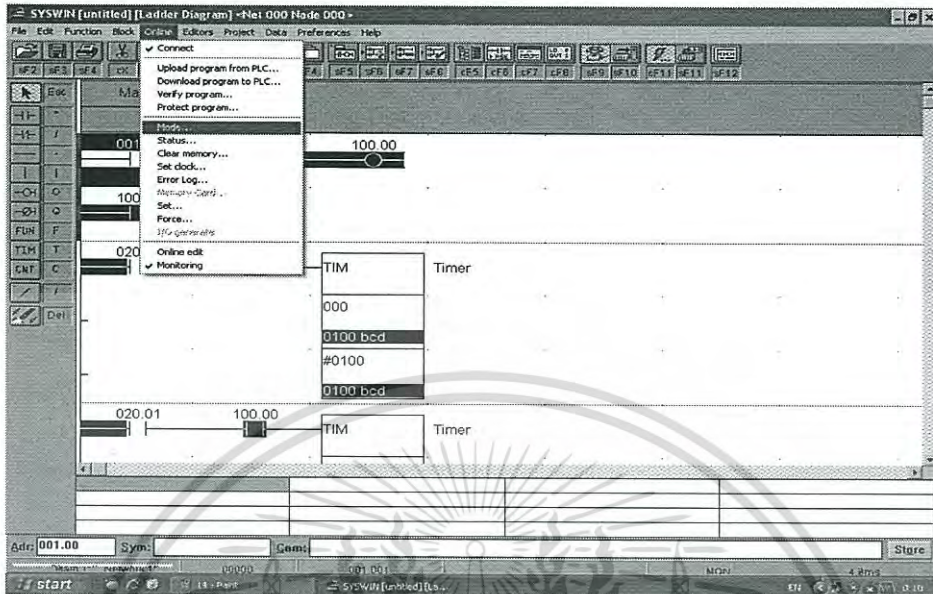
10. คลิกขวาที่ 001.00 และเลือก Force Set เพื่อเริ่มต้นการทำงานของสายพานลำเลียง



รูปที่10 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ (10)

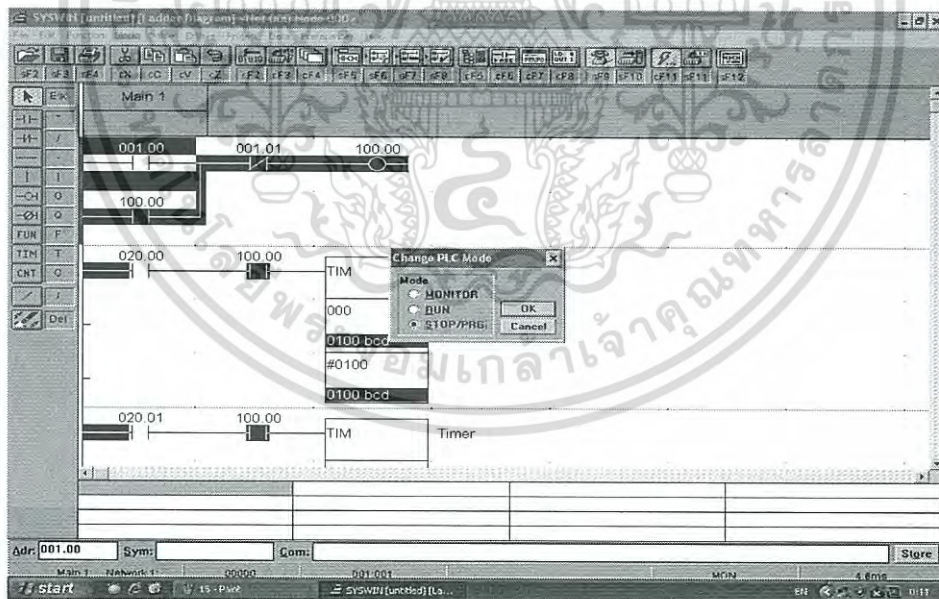
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เมื่อต้องการหยุดระบบ ให้เลือก online ใน Toolbar จากนั้นเลือก Mode เพื่อทำการเปลี่ยนโหมดการทำงานของระบบ



รูปที่11 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานในระบบสายพานลำเลียงและไฟ (11)

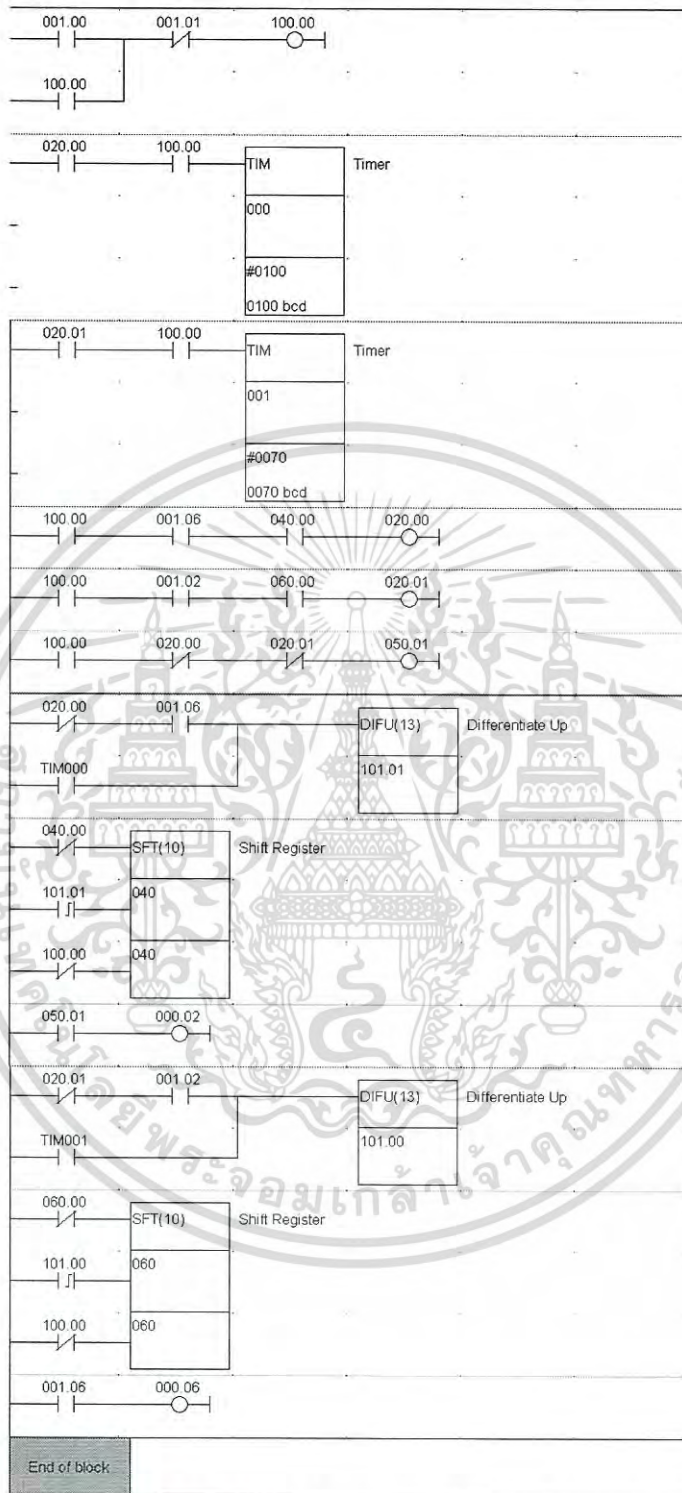
12. เลือก STOP/PRG และกด OK เพื่อหยุดการทำงานของระบบ



รูปที่12 ขั้นตอนในการสั่งการทำงานในระบบสายพานลำเลียงและไฟ (12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. โปรแกรมการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ

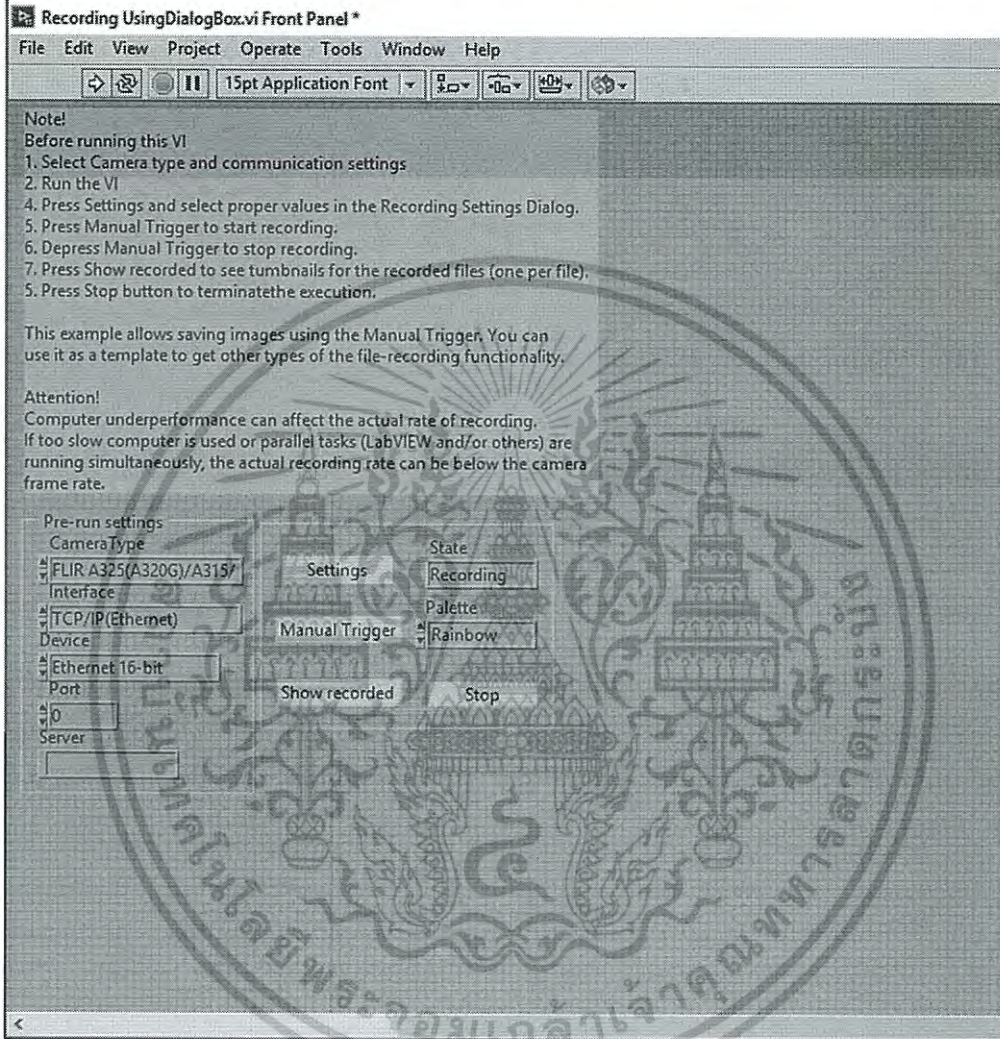


รูปที่ 13 โปรแกรมการทำงานของระบบสายพานลำเลียงและไฟ (13)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การบันทึกภาพด้วยโปรแกรม LabVIEW 2014

การบันทึกภาพทำได้โดยเลือก Camera Type โดยกล้องที่ใช้ทำได้โดยเลือก FLIR A316 จากนั้นเลือกการเชื่อมต่อที่ต้องการ และทำการ Setting เพื่อตั้งค่าภาพที่ต้องการ จากนั้นเมื่อต้องการจับภาพให้กด Manual Trigger และกดอีกครั้งเมื่อต้องการหยุดจับภาพ

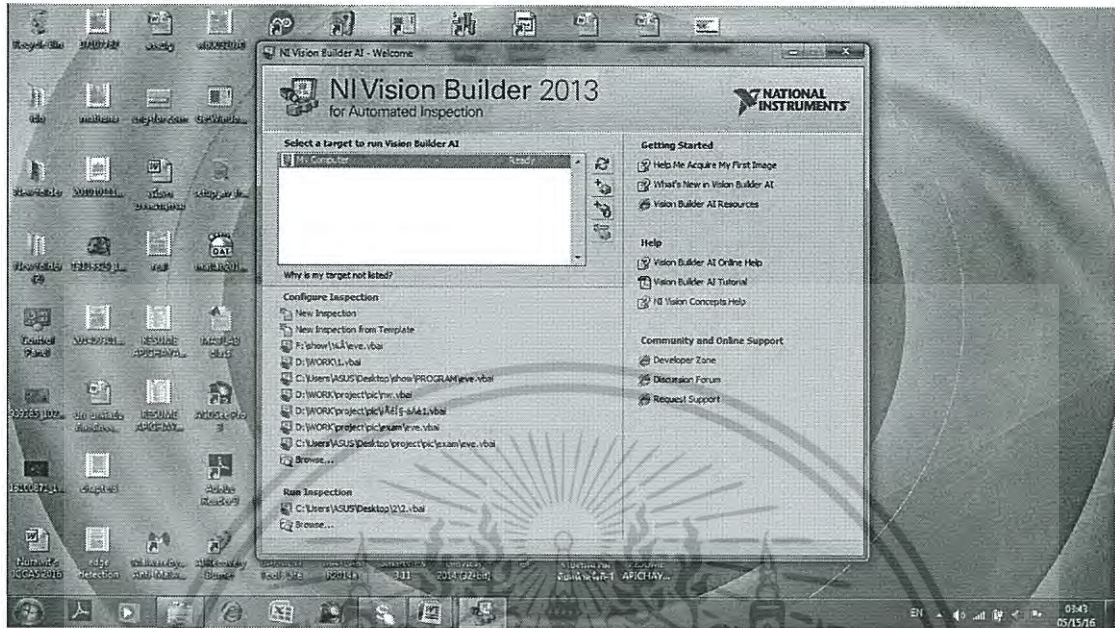


รูปที่14 การบันทึกภาพด้วยโปรแกรม LabVIEW 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

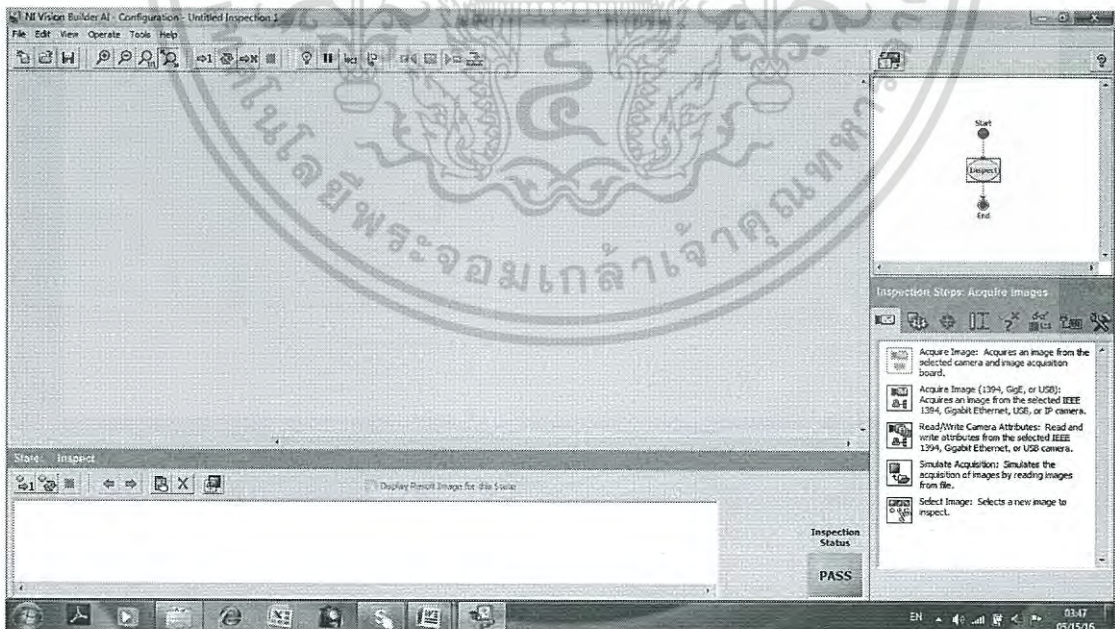
3. โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว

1. เมื่อเข้าโปรแกรม NI Vision Builder 2013 แล้วกด “New Inspection”



รูปที่16 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (1)

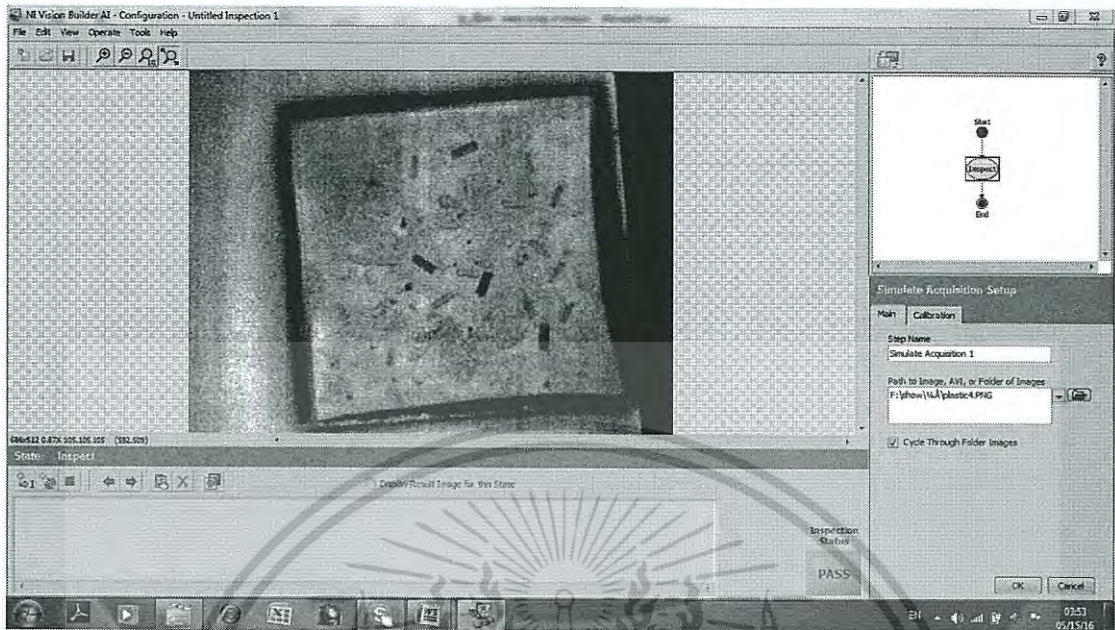
2. ขั้นตอนแรก Inspection Steps : Acquire Images และเลือก “Simulate Acquisition” เพื่อนำภาพถ่ายความร้อนเข้ามาในรูปแบบไฟล์เดอร์



รูปที่17 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (2)

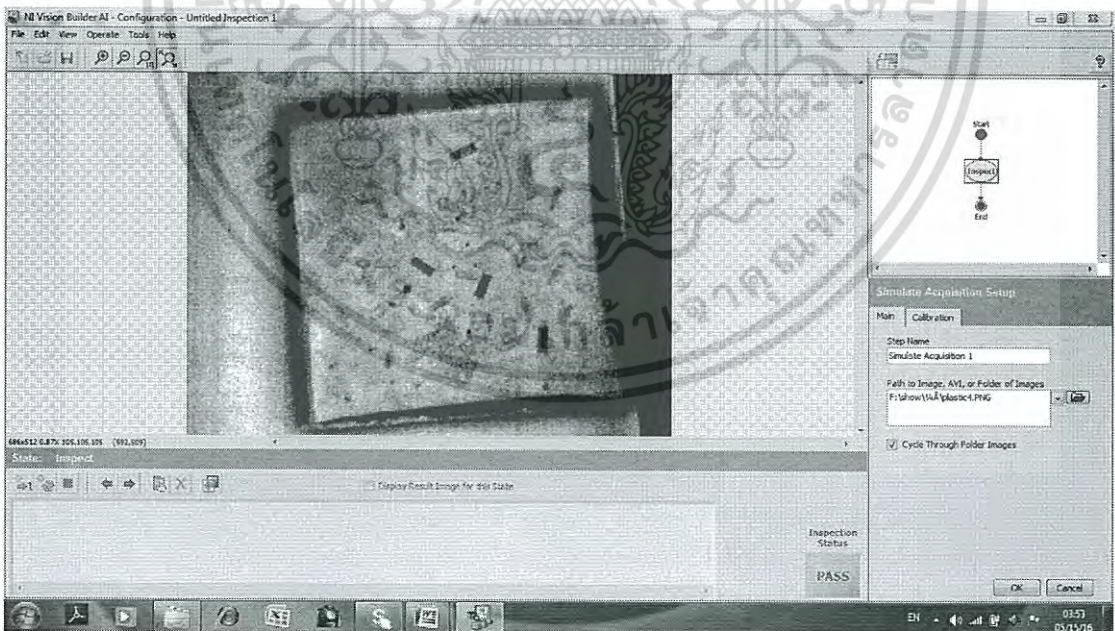
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกรูปภาพที่ต้องการตรวจสอบ แล้วกด OK



รูปที่18 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (3)

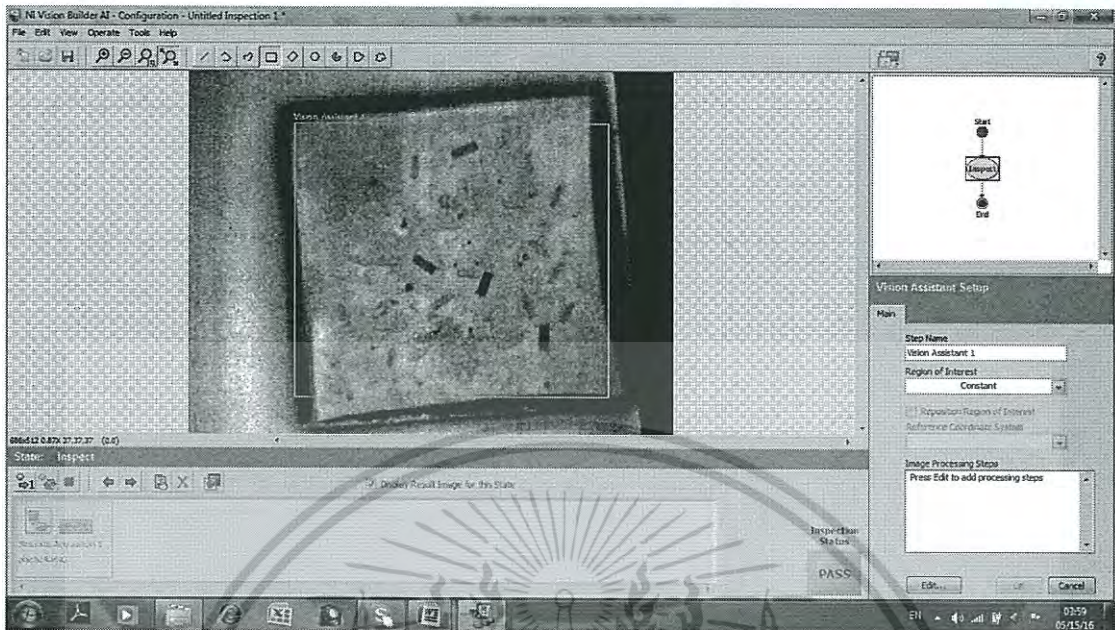
4. ในขั้นตอนการ Inspection เลือก “Vision Assistant” เพื่อทำการปรับภาพก่อนตรวจจับสิ่งแปลกปลอม ซึ่งจะเป็นการ Enhance Image



รูปที่19 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (4)

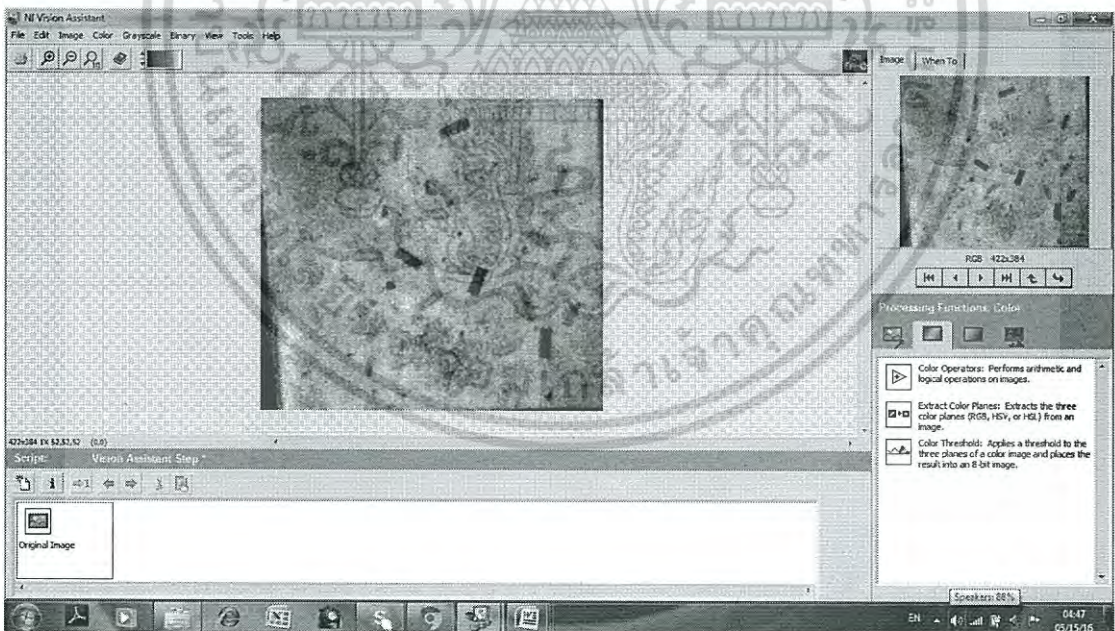
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เลือกพื้นที่ที่ต้องการปรับ แล้วกด “Edit”



รูปที่20 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (5)

6. จากนั้นเลือก “Extract Color Planes” เพื่อเปลี่ยนภาพเป็น 8 bit



รูปที่21 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (6)

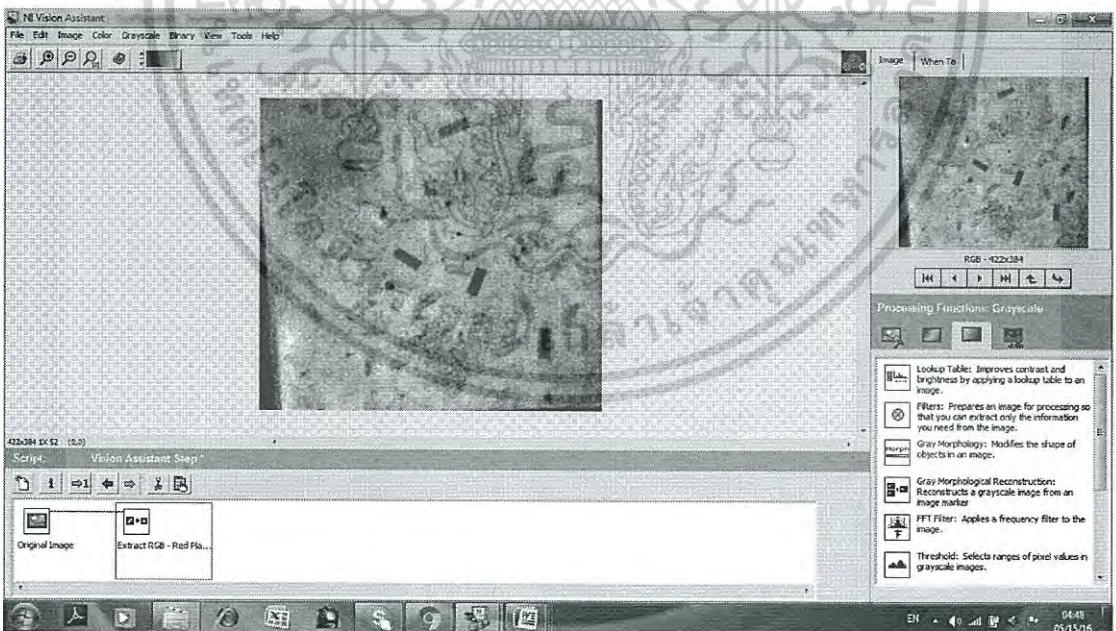
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เลือก Red Plane เพื่อเปลี่ยนภาพที่นำเข้ามาเป็น 8 bit จากนั้นกด “OK”



รูปที่22 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (7)

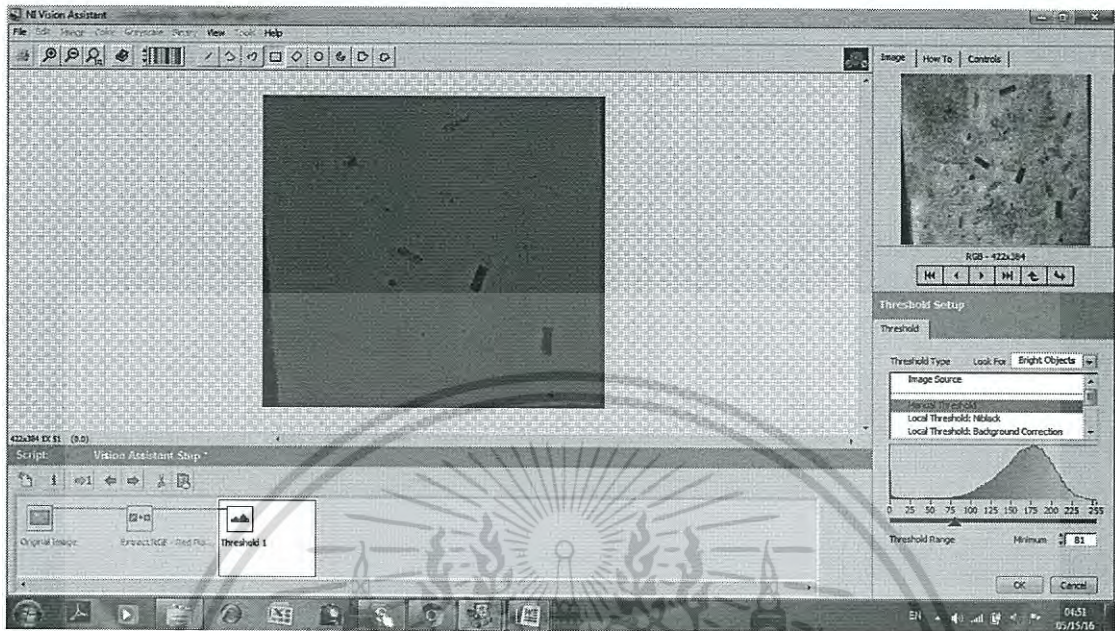
8. จากนั้นทำการ Threshold ภาพ เพื่อเปลี่ยนภาพให้เหลือเพียง 2 สี เพื่อง่ายต่อการประมวลผลภาพ โดยเลือกจาก Processing Functions: Gray Scale



รูปที่23 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (8)

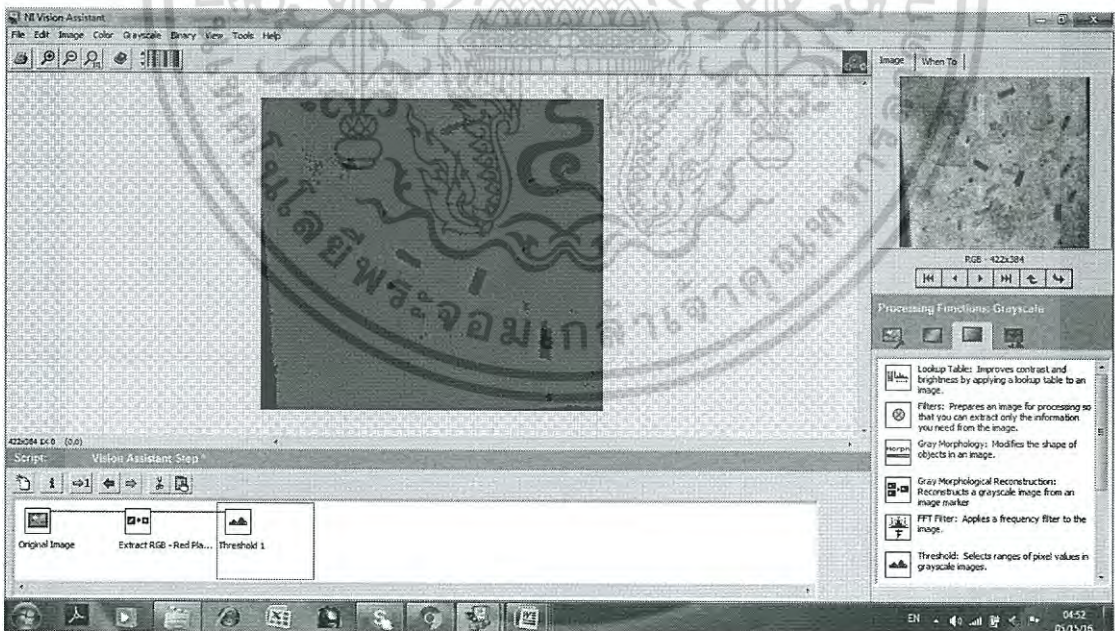
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เลือก Look for ว่าต้องการให้โปรแกรม Threshold แบบ Bright, Dark หรือ Gray จากนั้นปรับ Range ตามต้องการเมื่อสามารถแยกสิ่งแปลกปลอมออกได้แล้วกด “OK”



รูปที่24 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (9)

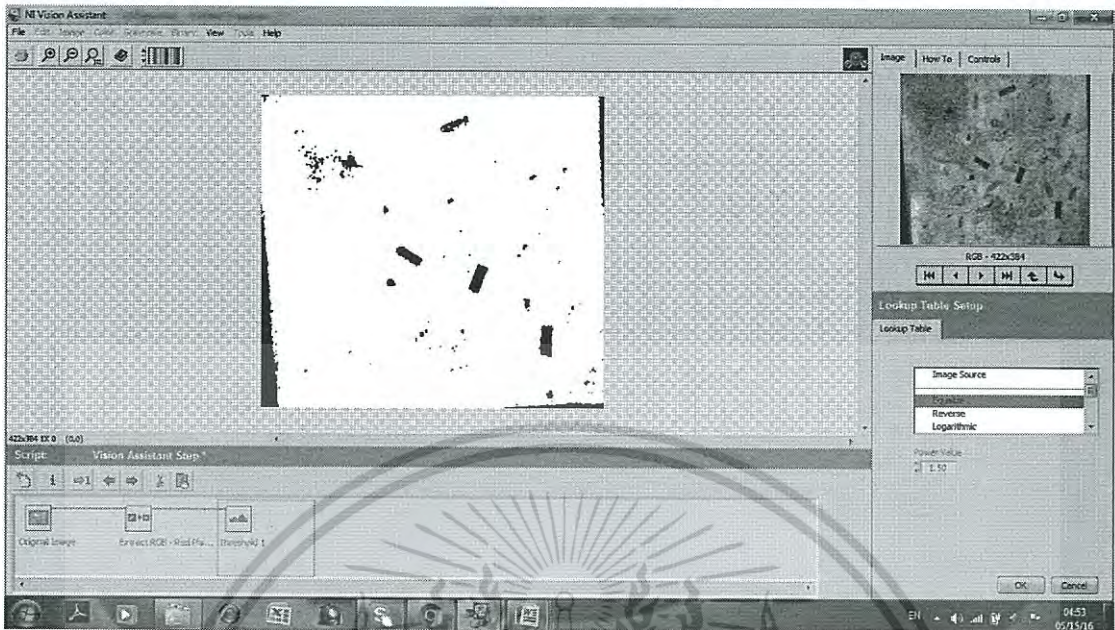
10. จากนั้นเลือก “Lookup Table” เพื่อแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำ



รูปที่25 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เลือก function “Equalize” ในการแปลงภาพแล้วกด “OK”



รูปที่26 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (11)

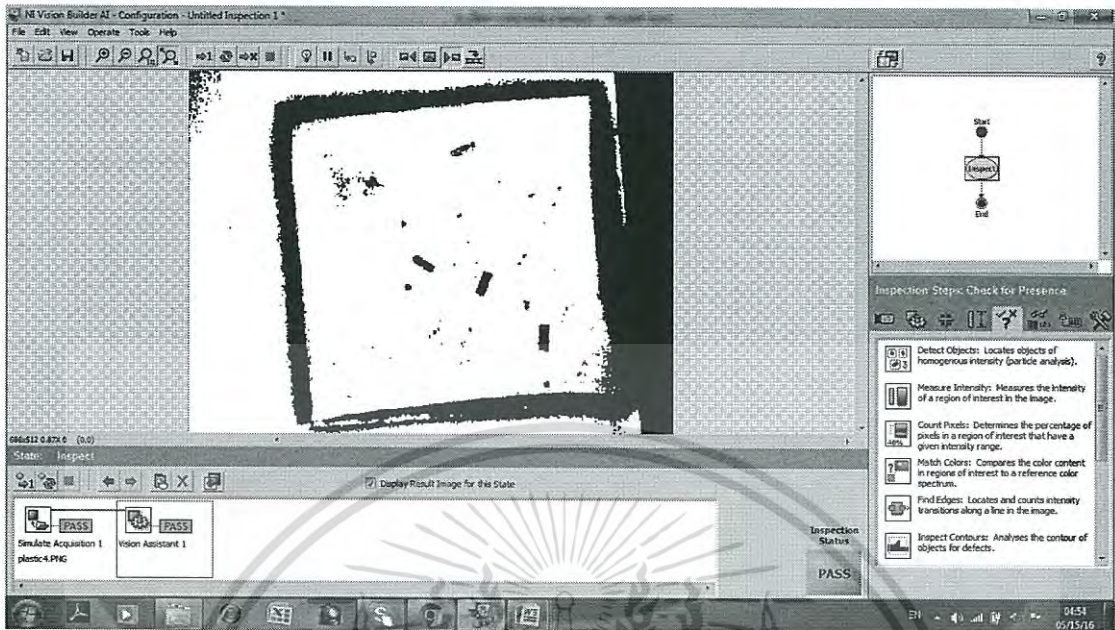
12. เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว กด Exit ออกโปรแกรมไปหน้าโปรแกรมหลัก จากนั้น “OK” เพื่อเป็นการยืนยันโปรแกรมที่เขียนไปในส่วน Vision Assistant



รูปที่27 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. จากนั้น เลือก “Detect Objects” เพื่อตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าว



รูปที่28 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (13)

14. ขั้นตอนคือการเลือกพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบ กำหนดขนาดที่ต้องการ แล้วกด “OK”



รูปที่29 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. โปรแกรมจะแสดงจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจจับได้



รูปที่30 โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว (15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้