

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งปลอมปนที่เป็นยากับเมล็ด
พืชโดยใช้ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน

Program Development for Detection of Foreign Bodies in
Grains using Color Image and Thermal Image



ศวินธ์ ขันนารักษ์
วรรณทิพย์ นัครวิริยะนันท
ชัยบุญดี ภูทอง

ปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ด
พืชโดยใช้ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน
Program Development for Detection of Foreign Bodies in
Grains using Color Image and Thermal Image



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program Development for Detection of Foreign Bodies in
Grains using Color Image and Thermal Image



Mr. Kanin Chanlee
Mr. Worranun Chartwiryalert
Miss Aunchalee Poothong

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **ACADEMIC YEAR 2012** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายและ
ภาพถ่ายความร้อน

Program Development for Detection of Foreign Bodies in Grains using Color
Image and Thermal Image

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|-----------------|----------------|--------------|----------|
| 1. นายคณิน | จันทร์หลี | รหัสประจำตัว | 52010111 |
| 2. นายวรนนท์ | ฉัตรวิริยะเลิศ | รหัสประจำตัว | 52011034 |
| 3. นางสาวอัญชลี | ภูทอง | รหัสประจำตัว | 52011442 |


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร. นวภัทรา หนูนา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	การพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับ เมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน	
นักศึกษา	นายคณิน	จันทร์หลี
	นายวรนนท์	ฉัตรวิริยะเลิศ
	นางสาวอัญชลี	ภูทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นวกัทธา หนูนา	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2555	

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชโดยใช้ภาพสีและภาพถ่ายความร้อน และเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบจากภาพทั้งสองชนิดนี้ โดยเลือกเมล็ดพืช 3 ชนิด ได้แก่ ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ถั่วแดง และสิ่งแปลกปลอม 4 ชนิด ได้แก่ เศษหิน เศษไม้ ลูกเหล็ก เศษพลาสติก มาใช้เป็นตัวอย่างในการทดลอง โดยโปรแกรม MATLAB ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้ ผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ ดังนี้ สิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืชที่มีสีแตกต่างกัน หรือมีสีเหมือนกันแต่รูปร่างต่างกัน หรือสิ่งแปลกปลอมที่มีลักษณะมันวาวควรตรวจสอบด้วยภาพสี และสิ่งแปลกปลอมที่มีความจุกความร้อนจำเพาะแตกต่างกับเมล็ดพืชควรตรวจสอบด้วยภาพถ่ายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Program Development for Detection of Foreign Bodies in Grains using Color Image and Thermal Image
Students	Mr. Kanin Chanlee Mr. Worranun Chartwiriyaalert Miss Aunchalee Poothong
Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Navaphattra Nunak
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic Year	2012

ABSTRACT

The objectives of this project are to develop the program for detecting the foreign bodies in grains using Color Image (CI) and Thermal Image (TI), and to compare results obtained from two types of images. Three types of grains (peanuts, soybeans and kidney beans) and four types of foreign bodies (stones, wood scraps, iron balls, and plastic scraps) were chosen to test in the experiment. The foreign bodies in grains could be detected by the developed program from MATLAB software. From all experiments, it can be concluded that the image processing technique with CI is suitable for foreign bodies that have a sufficient color contrast with grains, or foreign bodies that have a similar color with grains but difference of shape, or a glossy foreign bodies. In case of grains and foreign bodies that have a difference of heat specific values should be used TI for foreign detection.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้และความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.นวกัทรာ หนูนา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และช่วยแก้ปัญหา รวมถึงอุปสรรคต่าง ๆ ในระหว่างการทำโครงการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภายในสาขาวิชาวิศวกรรมอาหารทุกคน ที่ได้ให้ความสะดวกในการยื่นอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาในการจัดทำชุดอุปกรณ์ทดลอง และการใช้งานโปรแกรม MATLAB ในโครงการนี้

ขอขอบคุณ คุณธีระวัฒน์ หนูนา (บริษัท เมเซอร์โทรนิคส์ จำกัด) ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ต่างๆ ในการทดลอง ตลอดจนความรู้เกี่ยวกับบรังสีอินฟราเรด และให้คำแนะนำทางวิชาการต่าง ๆ สำหรับโครงการวิจัยและช่วยติดตามผลงานจนกระทั่งสำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ให้การสนับสนุน ตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือจนโครงการวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จ

คณะผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 เมล็ดพืช	3
2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอม	4
2.2.1 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน	4
2.2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการใช้วิธีทางกล	4
2.2.3 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพ	6
2.3 ภาพถ่ายความร้อน	11
2.3.1 การแผ่รังสีความร้อน	11
2.3.2 กล้องถ่ายภาพความร้อน	12
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
2.4.1 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย	13
2.4.2 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อน	14
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	17
3.1 การเตรียมวัสดุ	17
3.1.1 วัสดุทดลอง	17
3.1.2 การหาความจุความร้อนจำเพาะ	20
3.1.3 การหาความชื้น	20
3.2 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย	21
3.2.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพความร้อน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ซ้ำ	21
3.2.2 การถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมซ้ำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน	22
3.3.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพความร้อน	22
3.3.2 การหาเวลาสำหรับการให้ความร้อนเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	23
3.3.3 การถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม	24
3.3.4 การคำนวณพลังงานของรังสีอินฟราเรดที่กล้องถ่ายภาพร้อน	24
3.4 การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย และภาพถ่ายความร้อน	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	28
4.1 ความชื้นและความจุความร้อนจำเพาะ	28
4.2 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน	28
4.3 เวลาให้ความร้อนสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน	29
4.4 พลังงานที่กล้องถ่ายภาพร้อนได้รับจากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	31
4.5 ผลการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยโปรแกรม	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการวิจัย	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	63
ภาคผนวก ข ชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพ	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการประมวลผลภาพ	7
2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช	10
2.3 ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช	10
3.1 ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง	19
3.2 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ	21
3.3 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพความร้อน	23
4.1 ความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	28
4.2 สรุปลักษณะสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ความจุความร้อนจำเพาะ มวลวัตถุ พื้นที่ และพลังงานที่แผ่ออกเมื่อได้รับความร้อน 6 วินาที	32
4.3 ผลการเปรียบเทียบพื้นที่เฉลี่ย 3 ครั้ง ที่ได้จากการวัดและพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย	35
4.4 ผลการเปรียบเทียบพื้นที่เฉลี่ย 3 ครั้ง ที่ได้จากการวัดและพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน	36
4.5 การเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 เมล็ดธัญชาติ	3
2.2 การคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน	4
2.3 (ก) เครื่องคัดแยกถั่วเหลือง (ข) ถั่วเหลืองและสิ่งแปลกปลอมในถังเก็บเมล็ด	5
2.4 อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในขั้นตอนการประมวลผลภาพ	6
2.5 เครื่องคัดแยกสี (Color sorter)	8
2.6 (ก) หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสี (ข) เมล็ดพืชที่ยังไม่ถูกแยกและเมล็ดพืชถูกแยกแล้ว	9
2.7 สเปคตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆ	11
2.8 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง	11
2.9 รังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง	12
2.10 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ	12
2.11 (ก) การถ่ายภาพเมล็ดพืชด้วยกลุ่มควบคุมแสง (ข) การประมวลผลภาพจากโปรแกรม	13
2.12 (ก) ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้ถ่ายภาพ (ข) ลูกเกตที่ใช้ในการตรวจสอบ	14
2.13 ภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม (ก) เศษไม้กับลูกเกต (ข) เศษกระดาษและ (ค) เศษหินกับเมล็ดอัลมอลล์	15
2.14 การกระจายความร้อนของการบรรจุแบบสุญญากาศ	16
3.1 เมล็ดเมล็ดพืชตัวอย่าง (ก) ถั่วลิสง (ข) ถั่วแดง และ (ค) ถั่วเหลือง	17
3.2 สิ่งแปลกปลอมตัวอย่าง (ก) เศษหิน (แกรนิต) (ข) เศษไม้ (ค) ลูกเหล็ก และ (ง) เศษพลาสติก (พีวีเจอร์บอर्ड)	17
3.3 ตัวอย่างการวัดขนาดเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	18
3.4 ขั้นตอนการหาความจุความร้อนจำเพาะ	20
3.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ	21
3.6 การจัดเรียงถั่วลิสงจำนวน 20 เมล็ดและ เศษหิน (แกรนิต) จำนวน 20 ชิ้นลงในภาชนะ	22
3.7 ชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพความร้อน	23
3.8 การเรียงเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมในภาชนะ	24
3.9 ขั้นตอนการประมวลผลภาพสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย และภาพถ่ายความร้อน	26
3.10 การปรับภาพเป็นสีเทาด้วยการแยกโทนสี	27
4.1 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วย (ก) ภาพถ่าย และ (ข) ภาพถ่ายความร้อน	38
4.2 การประมวลผลภาพสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย	39
4.3 การประมวลผลภาพสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน	40

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ค่า Absolute difference of average gray level กับ เวลาให้ความร้อน	41
4.5 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษหินจำนวน 20 ชิ้น	46
4.6 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น	46
4.7 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด (ช) 80 เมล็ด โดยมีเศษหินจำนวน 20 ชิ้น	47
4.8 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด (ช) 80 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น	47
4.9 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น	48
4.10 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น	48
4.11 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีลูกเหล็ก 20 ชิ้น	48
4.12 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด และ (ช) 80 เมล็ด โดยมีลูกเหล็ก 20 ชิ้น	49
4.13 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น	50
4.14 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษหิน 20 ชิ้น	50
4.15 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษหิน 20 ชิ้น	50
4.16 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด และ (ช) 80 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น	50
4.17 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษหินจำนวน 20 ชิ้น	51
4.18 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น	51

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด (ช) 80 เมล็ด โดยมีเศษหินจำนวน 20 ชิ้น	52
4.20 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด (ช) 80 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น	52
4.21 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น	53
4.22 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น	53
4.23 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีลูกเหล็ก 20 ชิ้น	53
4.24 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด และ (ช) 80 เมล็ด โดยมีลูกเหล็ก 20 ชิ้น	54
4.25 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น	54
4.26 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษหิน 20 ชิ้น	55
4.27 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษหิน 20 ชิ้น	55
4.28 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด และ (ช) 80 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น	55
4.29 ภาพความร้อนการกระจายตัวของตัวอย่าง (ก) ปริมาณเมล็ดพืช 20 เมล็ด และ (ข) ปริมาณเมล็ดพืช 80 เมล็ด	56
4.30 ภาพความร้อนของลูกเหล็กและถั่วแดง	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เมล็ดพืชเป็นสินค้าเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2555 มีมูลค่าการส่งออกกว่า 100 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 20 ของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรทั้งหมด (กรมศุลกากร, 2555) สำหรับขั้นตอนการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืช อาจมีสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษหิน เศษไม้ ปนมากับเมล็ดพืชในระหว่างกระบวนการตากเพื่อลดความชื้นและกระบวนการนวด (กรมส่งเสริมการเกษตร, มปป.) ซึ่งถ้าสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้มีขนาดใกล้เคียงกับเมล็ดพืชจะไม่สามารถคัดแยกโดยใช้ตะแกรงร่อนตามปกติได้ เช่น การคัดแยกหินกับถั่วเหลืองเพื่อส่งขายในกระบวนการผลิตน้ำมัน หากถั่วเหลืองมีสิ่งแปลกปลอมเกินกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถนำไปขายได้ ทำให้ต้องขายเป็นถั่วเหลืองเกรดต่ำราคาถูก (กรมการค้าภายใน, 2546) สำหรับเมล็ดพืชที่ส่งขายในรูปแบบการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ เมล็ดพืชอาจต้องผ่านขั้นตอนการคัดแยกขนาดและคุณภาพ รวมถึงขั้นตอนการอบเพื่อลดความชื้น ซึ่งในระหว่างกระบวนการดังกล่าวอาจมีสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษโลหะจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ และเศษพลาสติกที่มากับถุงบรรจุภัณฑ์ ปนมากับเมล็ดพืช ทำให้เมล็ดพืชที่ส่งออกสูญเสียคุณภาพที่ควรเป็น และปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น ประกอบกับผู้ประกอบการต้องการเพิ่มคุณภาพและศักยภาพการส่งออก ทำให้ผู้ประกอบการหันมาใส่ใจกับขั้นตอนการตรวจสอบและการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้เมล็ดพืชที่มีคุณภาพดีปราศจากสิ่งแปลกปลอม

วิธีการตรวจสอบและคัดแยกเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้แรงงานคน การใช้วิธีทางกล การใช้วิธีเชิงแสง เป็นต้น โดยการใช้แรงงานคนเป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมในขั้นตอนเดียวกัน เหมาะสำหรับเมล็ดพืชที่มีขนาดใหญ่ เช่น การแยกเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และเมล็ดอัลมอลด์ (ธริชตรี และ เรืองชัย, 2531; Ledbetter, 2007) แต่วิธีนี้ต้องคำนึงถึงอายุของคนคัดแยก สภาพแวดล้อมในพื้นที่ปฏิบัติงาน และระยะเวลาในการทำงานอย่างต่อเนื่อง (วินิต และคณะ, 2545) สำหรับการใช้วิธีทางกลโดยส่วนใหญ่อาศัยแรงงานคนสำหรับการคัดเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยก เช่น ชนิดของตะแกรงร่อน ขนาดของตะแกรงร่อน เป็นต้น การคัดแยกด้วยวิธีทางกลเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับเมล็ดพืชที่มีคุณสมบัติทางกายภาพต่างกัน (ธวัชชัย และชัยยันต์, 2549; ชัยยันต์, 2555) สำหรับวิธีทางกลมีหลายวิธี เช่น การใช้ลมเป่าสิ่งแปลกปลอมที่มีน้ำหนักเบาออก การใช้ตะแกรงร่อน และการใช้สมบัติความถ่วงจำเพาะ ซึ่งวิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดคือ หากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกันจะทำให้ไม่สามารถแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชได้ เช่น การแยกดินและหินที่มีขนาดใกล้เคียงกับถั่วเหลือง (ณัฐวุฒิ และทวีชัย, 2551; ถนอมขวัญ และคณะ, 2546)

สำหรับการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยวิธีการประมวลผลภาพ (Image processing) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ (Mollazade et al., 2012) ปัจจุบันนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องคัดแยกสี (Color sorter) โดยเครื่องคัดแยกประเภทนี้ทำงานโดยใช้หลักการประมวลผลภาพสี (Color image) ซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านที่ตามนุษย์มองเห็น (Visible region) แล้วส่งผลที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ให้อิงลมใส่สิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมประมวลผลได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดในการตรวจสอบ คือ หากเมล็ดพืชและสิ่ง

แปลงปลอมมีสีที่ใกล้เคียงกันจะทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกลดลง (Bayram and Oner, 2006) เช่น การคัดแยกข้าวเจ้ากับข้าวเหนียว จึงได้มีนักวิจัยบางกลุ่มเสนอการนำภาพถ่ายทางความร้อน (Thermal Image) ซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด (Infrared region) มาใช้สำหรับการตรวจสอบสิ่งแปลงปลอม เพื่อลดข้อจำกัดการทำงานของเครื่องคัดแยกสีดังกล่าว ซึ่งภาพถ่ายทางความร้อนตรวจสอบโดยอาศัยความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลงปลอม เช่น หิน กระจาดแข็ง เศษโลหะ และเศษไม้ กับเมล็ดพืช เช่น เมล็ดอัลมอลต์ ลูกเกด และถั่ว (Ginesu et al., 2004) แต่ประสิทธิภาพการคัดแยกด้วยวิธีนี้จะลดลงหากเมล็ดพืชและสิ่งแปลงปลอมมีสมบัติทางความร้อนที่ใกล้เคียงกัน สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการนี้ยังดำเนินการในระดับงานวิจัยและยังไม่มีการพัฒนาโปรแกรมเฉพาะสำหรับงานดังกล่าว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพจากภาพสีซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านที่ตามนุษย์มองเห็น และภาพถ่ายทางความร้อนซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด สำหรับการตรวจสอบสิ่งแปลงปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืช และเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบระหว่างภาพที่ได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งสองย่านนี้

1.2 วัตถุประสงค์

พัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพจากภาพสีและภาพถ่ายความร้อน สำหรับตรวจสอบสิ่งแปลงปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชและเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

พัฒนาและออกแบบโปรแกรม MATLAB สำหรับตรวจสอบสิ่งแปลงปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน โดยที่ภาพถ่ายอาศัยความแตกต่างของสี และภาพถ่ายความร้อนอาศัยความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนในการตรวจสอบ สำหรับเมล็ดพืชและสิ่งแปลงปลอมที่ใช้ได้แก่ ถั่วลิสง ถั่วแดง ถั่วเหลือง เศษหิน เศษไม้ ลูกเหล็ก และเศษพลาสติก ตามลำดับ และเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบสิ่งแปลงปลอมด้วยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างพื้นที่จริงเทียบกับพื้นที่ที่ประมวลผลด้วยโปรแกรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลงปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน
2. ได้วิธีที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบสิ่งแปลงปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชโดยเปรียบเทียบระหว่างการประมวลผลจากภาพสีและภาพถ่ายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

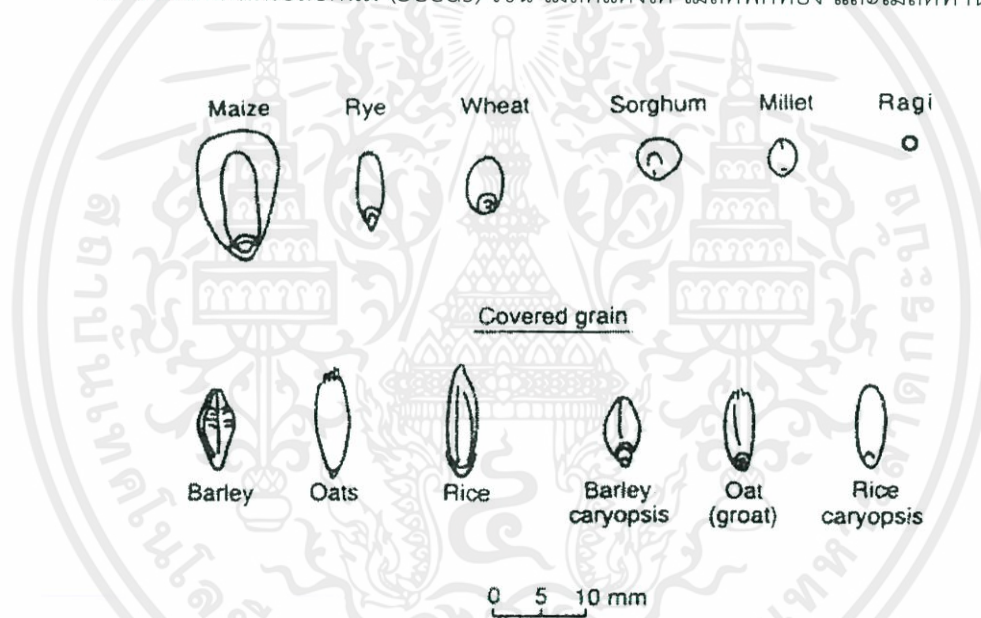
ตรวจเอกสาร

2.1 เมล็ดพืช

เมล็ดพืช (Grain) โดยทั่วไป หมายถึง เมล็ดพืชที่ใช้ประโยชน์ในการบริโภค หรือเป็นวัตถุดิบในการอุตสาหกรรมไม่ได้ใช้ทำพันธุ์ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มได้แก่

1. จำพวกธัญชาติ หมายถึงเมล็ดของธัญพืช (Cereal) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ชนิดที่ไม่มีเปลือกแข็งหุ้มเมล็ด (Naked caryopsis) เช่น ข้าวสาลี (Wheat) ข้าวโพด (Maize) ข้าวไรย์ (Rye) และชนิดที่มีเปลือกแข็งหุ้มเมล็ด (Covered caryopsis) เช่นข้าวเจ้า (Rice) ข้าวบาร์เลย์ (Barley) และข้าวโอต (Oat) แสดงดังรูปที่ 2.1

2. จำพวกเมล็ดถั่ว (Legumes หรือ Beans) เช่น ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ถั่วแดง และถั่วเขียว
3. จำพวกเมล็ดเปลือกแข็ง (Nuts) เช่น เม็ดมะม่วงหิมพานต์ เกาลัด และอัลมอนต์
4. จำพวกเมล็ดเปลือกนิ่ม (Seeds) เช่น เมล็ดแตงโต เมล็ดฟักทอง และเมล็ดทานตะวัน



รูปที่ 2.1 เมล็ดธัญชาติ

ที่มา: Kent and Evers, 1994

สำหรับเมล็ดพืชที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วลิสง โดยในปี พ.ศ. 2550 มีปริมาณการส่งออกประมาณ 44.92 ล้านตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 250,000 – 300,000 ล้านบาท เมล็ดพืชที่มีความสำคัญรองลงมาได้แก่ ข้าวโพด มีมูลค่าส่งออก ประมาณ 180,000 – 200,000 ล้านบาทต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืช หลังจากการลดความชื้นและนวดแล้ว จำเป็นต้องมีตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่มักปนมาในขั้นตอนดังกล่าว เช่น เศษฟาง เศษดิน หิน กรวด หวาย เป็นต้น เพื่อให้ได้เมล็ดพืชที่มีความสะอาด ดังนั้นการตรวจสอบและคัดแยกจึงเป็นสิ่งจำเป็น และมีความสำคัญเป็นอันดับแรก ๆ เนื่องจากในระบบการซื้อขายพิจารณาราคาของเมล็ดพืช จากปัจจัยสองประการคือ ความชื้น และปริมาณสิ่งแปลกปลอม ถ้าเมล็ดพืชมีปริมาณสิ่งแปลกปลอมและความชื้นสูงเกินกว่าที่กำหนด ส่งผลให้ระยะเวลา

ในการเก็บรักษาและราคาของเมล็ดพืชต่ำลง โดยความชื้นปลอดภัยในการเก็บรักษาเมล็ดพืช คือ 15% (สุณีย์, 2555) นอกจากนี้เมล็ดพืชที่ส่งขายในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ ต้องผ่านขั้นตอนการคัดแยกขนาดและคุณภาพ ซึ่งในระหว่างกระบวนการดังกล่าวอาจมีสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษโลหะจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ และเศษพลาสติกที่มากับถุงบรรจุภัณฑ์ ปนมากับเมล็ดพืชทำให้เมล็ดพืชที่ส่งออกสูญเสียคุณภาพที่ควรเป็น

2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอม

ขั้นตอนการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญต่อการแบ่งเกรดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแบ่งเกรดผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อการส่งออก วิธีการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้แรงงานคน การใช้วิธีทางกล การใช้วิธีการประมวลผลภาพ เป็นต้น

2.2.1 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน

การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการใช้แรงงานคนแสดงดังรูปที่ 2.2 เป็นวิธีการตรวจสอบแบบดั้งเดิมและเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการคัดแยก โดยส่วนใหญ่เป็นการตรวจสอบและคัดแยกในขั้นตอนเดียว เหมาะสำหรับเมล็ดพืชที่มีขนาดใหญ่ เช่น การแยกเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ และเมล็ดอัลมอลด์ (ธริชตรี และเรื่องชัย, 2531; Ledbetter, 2007) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมลดลง ได้แก่ เพศ อายุ ระยะเวลาในการทำงาน สภาพแวดล้อมในการทำงาน และความเหนื่อยล้าของคนที่คัดแยกจากการทำงาน (Ginesu et al., 2003)



รูปที่ 2.2 การคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน

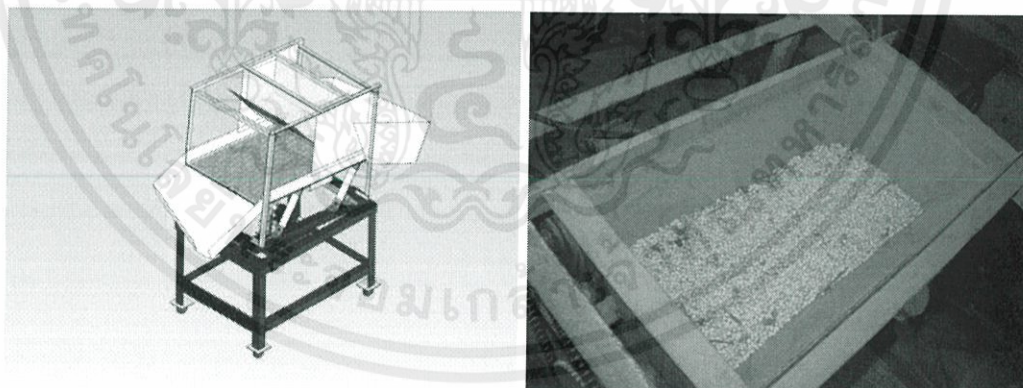
ที่มา: ธริชตรี และเรื่องชัย, 2531

2.2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการใช้วิธีทางกล

การตรวจสอบและคัดแยกด้วยวิธีทางกลมีหลายวิธี ได้แก่

- การคัดแยกโดยใช้ลมเป่าสิ่งแปลกปลอมที่มีน้ำหนักเบาออกจากเมล็ดพืช เช่น เศษซากพืช เศษไม้ เมล็ดลีบหรือเมล็ดแตก ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอม มีต้นทุนต่ำ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เหมาะกับการคัดแยกเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่มีน้ำหนักเท่ากัน

- การคัดแยกโดยใช้ตะแกรงร่อน โดยต้องเลือกขนาดของตะแกรงร่อนให้มีขนาดใกล้เคียงกับเมล็ดพืชที่ต้องการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก จากนั้นเขย่าตะแกรงโดยที่เมล็ดพืชจะค้างอยู่บนตะแกรงและสิ่งแปลกปลอมจะรูดผ่านรูตะแกรงออกไป (บัณฑิต, 2549) สำหรับการคัดแยกด้วยวิธีนี้ได้มีการออกแบบเครื่องให้เหมาะสมกับชนิดของเมล็ด เช่น เครื่องคัดแยกถั่วลิสงเมล็ดโตแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน ประกอบด้วย ถังบรรจุเมล็ดถั่วลิสงซึ่งสามารถปรับช่องป้อนเมล็ดถั่วลิสงออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ เพื่อคัดแยกถั่วลิสงกับเศษหินและดิน ความแม่นยำในการคัดแยกเศษหิน 80.20% และไม่มีถั่วลิสงติดตะแกรง (ธวัชชัย และชัยยันต์, 2549; ชัยยันต์, 2555) เครื่องคัดแยกเมล็ดถั่วเหลืองโดยอาศัยความถ่วงจำเพาะ มีส่วนประกอบหลักได้แก่ ถังเก็บและชุดจ่ายเมล็ด ตะแกรงเขย่ามอเตอร์เขย่า และพัดลมเหวี่ยงหินศูนย์ถ่วงถั่วเหลือง รูปที่ 2.3 (ก) ซึ่งสิ่งแปลกปลอมได้แก่ กรวด หิน ดิน ทราย เปลือก กิ่ง ก้าน และเมล็ดพืชอื่น ๆ รูปที่ 2.3 (ข) จะถูกแยกออกจากกันเนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะต่างกัน ถั่วเหลืองซึ่งมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าจะไม่เคลื่อนที่ไปตามแรงกระทำของชุดเขย่า ส่วนสิ่งแปลกปลอมที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าจะเคลื่อนที่ออกไปเครื่อง หลังจากการทดสอบเครื่องพบว่า ประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมเท่ากับ 98.5% (ณัฐวุฒิ และทวีชัย, 2551) และการพัฒนาเครื่องคัดแยกแบบเขย่าที่อาศัยหลักการสันสะเทือน ซึ่งสามารถปรับมุมเอียงและความถี่ในการเขย่าได้ โดยบริเวณด้านบนของโครงรองรับจะเป็นแท่นแยกเมล็ด ซึ่งแท่นแยกเมล็ดจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยด้านที่อยู่สูงจะเป็นส่วนแท่นแยกวัตถุที่มีน้ำหนักเบา ส่วนด้านที่อยู่ต่ำกว่าจะเป็นส่วนแท่นแยกวัตถุที่มีน้ำหนักกว่า เหมาะกับการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืช เช่น การคัดแยกเศษหินออกจากถั่วเหลือง (ถนอมขวัญ และคณะ, 2546) และการคัดแยกเปลือกข้าวออกจากเมล็ดข้าวกล้อง (สมชัย, 2548)



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.3 (ก) เครื่องคัดแยกถั่วเหลือง (ข) ถั่วเหลืองและสิ่งแปลกปลอมในถังเก็บเมล็ด
ที่มา: ถนอมขวัญ และคณะ, 2546

- การคัดแยกเศษโลหะออกจากเมล็ดพืชที่อยู่บนสายพานลำเลียง โดยใช้เครื่องคัดแยกโลหะ (Overband Magnetic Separator) หลักการทำงานของเครื่องคือ เมื่อมีเมล็ดพืชผ่านเข้าเครื่องคัดแยกโลหะ ระบบจะทำการตรวจสอบและประมวลผล เมื่อตรวจพบเศษโลหะที่ผ่านเข้าเครื่อง จะถูกดูดขึ้นและนำไปทิ้งยังที่รองรับตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ สำหรับเครื่องตรวจโลหะ

เป็นการตรวจสอบโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางไฟฟ้าของวัตถุ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมสำหรับคัดแยกเศษโลหะที่อาจปนมากับอาหาร แต่ถ้าวัดคุณสมบัติทางด้านแม่เหล็ก และสมบัติทางด้านตัวนำสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการตรวจสอบลดลง เช่น กลุ่มเมล็ดพืช (Dry Product) เป็นกลุ่มที่มีสมบัติทางด้านแม่เหล็กสูง จะเกิดการรบกวนการตรวจสอบของสัญญาณแม่เหล็กของเครื่องคัดแยกโลหะ ซึ่งข้อจำกัดของเครื่องตรวจจับโลหะคือ ถ้าวัดวัตถุที่ใช้ตรวจจับมีสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแม่เหล็กคล้ายคลึงกัน จะทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกเศษโลหะลดลง ส่วนใหญ่จะใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการสุดท้ายก่อนออกสู่ตลาด (พงษ์เทพ และคณะ, 2545)

สำหรับกระบวนการคัดแยกด้วยวิธีเชิงกลนั้นส่วนใหญ่แล้ว อาจไม่สามารถแยกเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันได้ เช่น มีขนาดเท่ากัน มีน้ำหนักเท่ากัน หรือมีปริมาตรเท่ากันได้ ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะมีการลงทุนต่ำ และประหยัดพลังงานมาก แต่ยังไม่สามารถคัดแยกสิ่งแปลกปลอมได้ทั้งหมด

2.2.3 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพ

2.2.3.1 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพเป็นการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ได้ภาพตามที่ต้องการ เช่น การปรับแสงในภาพ การปรับภาพเป็นภาพขาว-ดำ การแยกแยะส่วนต่าง ๆ ในภาพ ขั้นตอนการประมวลผลภาพประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การนำภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อการประมวลผลภาพ และการแสดงผลภาพ

อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในการประมวลผลภาพแสดงดังรูปที่ 2.4 ประกอบด้วย อุปกรณ์บันทึกภาพใช้สำหรับบันทึกภาพและนำภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์ โปรแกรมสำหรับประมวลผลภาพ และอุปกรณ์แสดงผลภาพ ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำการประมวลผลภาพไปใช้ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม เช่น การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเครื่องคัดแยกด้วยสี (Color Sorter)



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในขั้นตอนการประมวลผลภาพ

ที่มา: ปฐมาภรณ์ และคณะ, 2551; วราศิริ และคณะ, 2551

การประมวลผลภาพมีคำศัพท์เฉพาะมากมายเช่น การประมวลผลภาพ การแปลงภาพสีให้เป็นขาวดำ รูปภาพขาวดำ รูปภาพสี รูปภาพระดับสีเทา พิกเซล ตามลำดับ ซึ่งคำศัพท์เฉพาะเหล่านี้อธิบายไว้ในตารางที่ 2.1 (ปฐมาภรณ์ และคณะ, 2551; วราศิริ และคณะ, 2551)

ตารางที่ 2.1 คำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

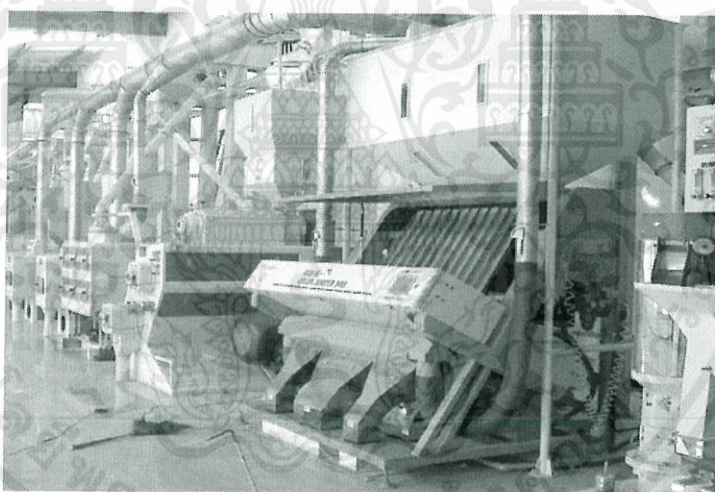
คำศัพท์	คำอธิบาย
การประมวลผลภาพ (Image processing)	คือการนำรูปภาพเข้าจากนั้นทำการส่งรูปภาพออก เป็นการเรียกใช้ขั้นตอนหรือกรรมวิธีใดๆ มากกระทำกับภาพ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ได้ภาพใหม่ที่มีคุณสมบัติตามต้องการเช่น ความคมชัด การประหยัดพื้นที่ในการเก็บข้อมูล หรือใช้สำหรับการประมวลผลในระดับสูงเช่น การจดจำรูปร่างลักษณะได้อย่างแม่นยำ
การแปลงภาพสีให้เป็นภาพขาวดำ (Thresholding)	เป็นกระบวนการแปลงภาพสีให้มีการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับคือ ขาวและดำ โดยจะแปลงข้อมูลภาพให้ภาพเป็นไบนารี (Binary Image) มีกระบวนการแปลงภาพที่มีความเข้มหลายระดับ เป็นภาพที่มีความเข้มเพียง 2 ระดับหรือ 1 บิตคือ 0 และ 1 โดย 0 แทนจุดภาพที่มีสีขาว และ 1 แทนจุดภาพที่มีสีดำ เทคนิคเทรชโฮลด์คือการเปรียบเทียบค่าพิกเซลกับค่าคงที่ที่เรียกว่าค่าเทรชโฮลด์ (Threshold Value) โดยค่าพิกเซลในภาพที่มีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์จะถูกกำหนดเป็น 1 (จุดดำ) แต่ถ้าค่าของพิกเซลใด ๆ ในภาพมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเทรชโฮลด์จะถูกกำหนดให้เป็น 0 (จุดขาว)
รูปภาพขาวดำ (Black-white image)	รูปภาพที่ประกอบไปด้วยสีขาวและสีดำเท่านั้น คอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์รูปภาพชนิดนี้ได้ง่ายกว่ารูปภาพชนิดอื่นๆ เนื่องจากรูปภาพขาวดำมีค่าข้อมูลเพียง 2 ค่าเท่านั้น โดยจะแทนสีดำด้วยค่า 0 และสีขาวด้วยค่า 1 หรือแทนสีดำด้วยค่า 0 และสีขาวด้วยค่า 255
รูปภาพสี (Color image)	รูปภาพสีจะมีอยู่หลายรูปแบบเช่น รูปแบบ RGB ซึ่งเหมาะสำหรับแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ รูปแบบ CMY เหมาะจะใช้งานที่เกี่ยวกับเครื่องพิมพ์เป็นต้น
รูปภาพระดับสีเทา (Gray-scale image)	รูปที่แต่ละพิกเซลจะเก็บข้อมูลของความเข้มแสงเป็นข้อมูล 8 บิต ทำให้แต่ละพิกเซลสามารถมีความเข้มแสงได้ถึง 256 ระดับ โดยจะแทนสีดำด้วยเลข 0 และแทนสีขาวด้วยเลข 255 ซึ่งค่าระหว่าง 0-255 จะเป็นความเข้มแสงในโทนสีเทา
พิกเซล (Pixel)	เป็นส่วนประกอบภาพหรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าจุดภาพ จำนวนของพิกเซลยิ่งมากยิ่งจะทำให้ภาพมีความละเอียดคมชัดมากยิ่งขึ้น ซึ่งแต่ละพิกเซลสามารถแทนด้วยสถานะลอจิก 0 และ 1 ค่าที่กำกับแต่ละพิกเซลจะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงในภาพที่พิกเซลนั้นแทนอยู่ โดยค่าของพิกเซลนี้มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

ที่มา: ปฐมกรรณ์ และคณะ, 2551; วราศิริ และคณะ, 2551

2.2.3.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพสี

การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพสี (Color Image) อาศัยคุณสมบัติของสีแต่ละสีที่แตกต่างกันของแต่ละวัตถุ โดยสีที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านที่ตามนุษย์มองเห็น ประกอบไปด้วยสีจำนวน 7 สี ได้แก่ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง

สีแสด สีแดง ซึ่งสีต่าง ๆ เหล่านี้จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 380-760 นาโนเมตร การตรวจสอบด้วยวิธีนี้นำมาใช้ทดแทนการคัดแยกด้วยสายตาของคนที่มีข้อจำกัดในการแบ่งแยกสีที่มีความหลากหลาย (จันทร์เพ็ญ, 2551) ซึ่งเป็นวิธีที่นำไปใช้ในเครื่องคัดแยกสี (Color Sorter) แสดงดังรูปที่ 2.5 เครื่องนี้ใช้สำหรับตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมเช่น กรวด หิน ดิน ทราย เปลือก กิ่ง ก้าน และเมล็ดพืชอื่นๆ โดยอาศัยการแตกต่างของสีที่ต่างกัน หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสี คือ เมื่อผลิตผลผ่านไปเข้าไปในพื้นที่ตรวจสอบแสง (Photo detector) และทำการตรวจสอบด้วยระบบกล้อง CCD (Charge Coupled Device) ทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์ที่ทำงานโดยการตรวจสอบแต่ละพิกเซล และทำหน้าที่รับแสงและเปลี่ยนค่าแสงเป็นสัญญาณอนาล็อกส่งเข้าสู่วงจรเปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลอีกที จากนั้นโปรแกรมจะตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพเพื่อตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสีของวัสดุที่ตรวจสอบ ถ้าโปรแกรมตรวจพบสีที่ปฏิเสธจะส่งสัญญาณไปที่ตัวควบคุมเครื่องอัดอากาศ และยิงวัสดุออกแสดงดังรูปที่ 2.6 (ก) และ 2.6 (ข) ซึ่งวิธีนี้จะช่วยเพิ่มคุณภาพก่อนจัดเก็บเมล็ดพืช แต่มีการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และมีความร้อนสะสมของเมล็ดพืชระหว่างกระบวนการ (Bayram and Oner, 2006) นอกจากนี้เครื่องคัดแยกสียังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ เช่น พริก กระเทียม เมล็ดกาแฟ เป็นต้น อย่างไรก็ตามกระบวนการตรวจสอบและคัดแยกด้วยความแตกต่างของสีนี้สามารถคัดแยกสิ่งแปลกปลอมได้รวดเร็ว แต่อาจไม่สามารถแยกสิ่งแปลกปลอมที่มีสีใกล้เคียงกันได้

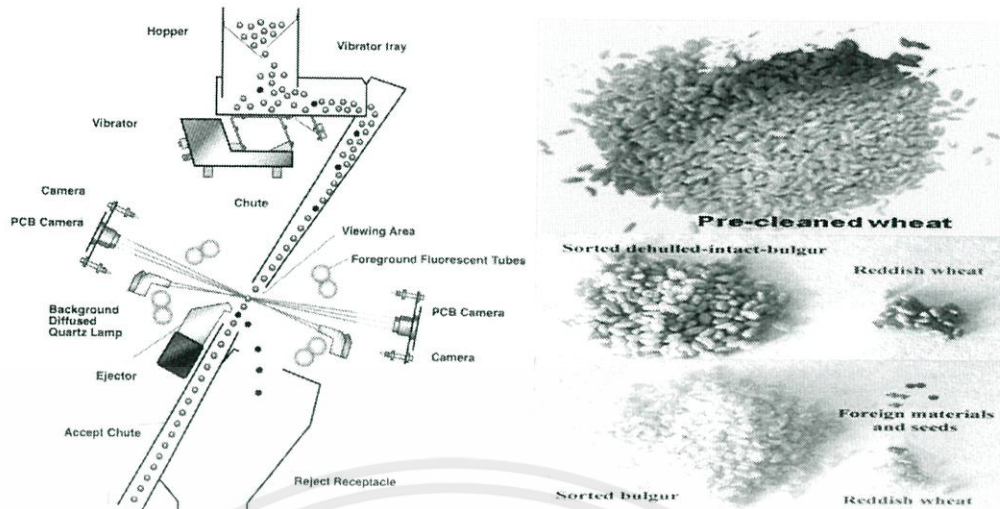


รูปที่ 2.5 เครื่องคัดแยกสี (Color sorter)

ที่มา: http://www.beltandbearings.com/product.detail_546344_th_2411767

วันที่สืบค้น 2/10/2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 (ก) หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสี (ข) เมล็ดพืชที่ยังไม่ถูกแยกและเมล็ดพืชถูกแยกแล้ว
ที่มา: Bayram and Oner, 2006

2.2.3.3 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด (Infrared region) เป็นการวัดเชิงคุณภาพที่พิจารณาความแตกต่างของภาพซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการตรวจสอบ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ (Emissivity, ϵ) และความจุความร้อนจำเพาะ รายละเอียดมีดังนี้

- 1) สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ (Emissivity, ϵ) คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ โดยมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุกับรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุดำ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุจริงใด ๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แต่วัตถุดำ (Black body) มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนเท่ากับ 1 เสมอ เนื่องจากวัตถุดำเป็นวัตถุทางอุดมคติสำหรับการแผ่รังสีความร้อน มีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนได้สูงที่สุด และมีความสามารถในการดูดซึมรังสีที่มาจากกระทบทั้งหมดในทุกความยาวคลื่นและทุกทิศทาง ซึ่งสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ ลักษณะพื้นผิวของของวัตถุ และอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ (นวกัทราน และทวีพล, 2555) สำหรับการหาพลังงานการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุใด ๆ หรือวัตถุจริงจำเป็นต้องทราบสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุเพื่อป้อนให้กับกล้องถ่ายภาพความร้อน หากป้อนสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนได้ถูกต้องจะส่งผลให้อุณหภูมิที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนถูกต้องตามไปด้วย ซึ่งตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 โดยสามารถคำนวณพลังงานการแผ่รังสีอินฟราเรดได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E(T) = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.1)$$

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช

ชนิด	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน	ที่มา
เศษไม้อัด	0.82-0.92	Touloukian and Ho, 1972
หิน	0.88-0.95	Mallory, 1969 Gubareff et al., 1960 Kreith and Kreider, 1978
ลูกเหล็ก	0.21-0.28	Amidon, 1999
ฟิวเจอร์บอร์ด	0.84-0.86	Boudenne et al., 2005
ถั่วลิสง	0.92-0.96	Jeng Liang Lin et al., 1998
ถั่วเหลือง	0.93-0.95	Ramstad and Geddes, 1942
ถั่วแดง	0.93-0.96	Kazarian and Hall, 1965

- 2) ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat, Cp) คือ ค่าที่แสดงถึงคุณสมบัติในการรับความร้อนของวัตถุ โดยทั่วไปความจุความร้อนจำเพาะคือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุมวล 1 หน่วย มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม 1 องศา มีหน่วยเป็น ปริมาณความร้อนต่อหน่วยมวลต่อหน่วยอุณหภูมิ เช่น แคลอรีต่อกรัมต่อองศาเซลเซียส กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส หรือจูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวิน สำหรับสมการของการหาพลังงานความร้อนที่วัตถุได้รับจะมีรูปทั่วไปแสดงดังสมการที่ 2.2 และตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุแสดงดังตารางที่ 2.3

$$q = m \int_{T_1}^{T_2} c_p dT \quad (2.2)$$

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช

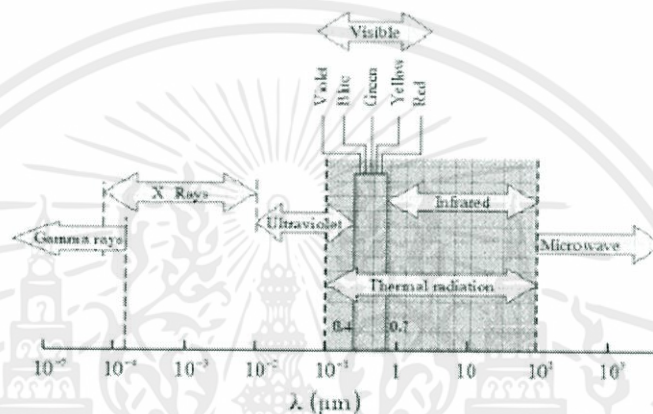
ชนิด	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·K)	ที่มา
ไม้	1.260-2.900	Tan, 2010
หิน	0.460-0.900	Lalit et al., 2010
ลูกเหล็ก	0.477-1.449	ASM International, 2002
ฟิวเจอร์บอร์ด	0.881-2.584	Boudenne et al., 2005
ถั่วลิสง	1.926-2.912	ASHRAE, 1989 Alam and Shove, 1973
ถั่วเหลือง	1.583-2.353	Ramstad and Geddes, 1942 Kazarian and Hall, 1965
ถั่วแดง	3.660-3.326	Legrand et al., 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ปัจจุบันการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนยังเป็นวิธีที่ดำเนินการอยู่ ในระดับงานวิจัยยังไม่ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

2.3 ภาพถ่ายความร้อน

2.3.1 การแผ่รังสีความร้อน

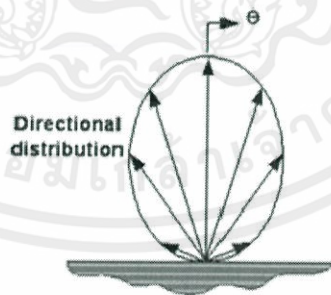
วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (Absolute Zero หรือ -273.15°C หรือ 0 K) จะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมา สำหรับกลไกของการแผ่รังสีความร้อนเกิดจากการสั่น (Oscillations) และการเคลื่อนที่ (Transition) ของอิเล็กตรอนซึ่งประกอบกันเป็นสสาร วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนจะสั่นหรือเคลื่อนที่มาก ส่งผลให้พลังงานภายในวัตถุนั้นสูง กล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุนั้นมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับอุณหภูมิ และรังสีความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 0.1 ไมโครเมตร ถึง 100 ไมโครเมตร (ประวิทย์, 2553) แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สเปกตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆ

ที่มา: Gruner, 2003

โดยความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนออกจากวัตถุใด ๆ มีค่าสูงสุดที่มุม เท่ากับ 0 องศา แสดงดังรูปที่ 2.8 (มนตรี, 2548; นวกัทรธา และทวีพล, 2555)

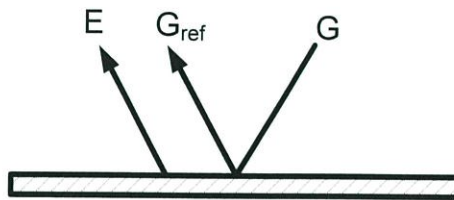


รูปที่ 2.8 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง

ที่มา: นวกัทรธา และทวีพล, 2555

รังสีความร้อนทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง (Radiosity, J) ประกอบด้วยรังสีที่เกิดจากวัตถุเอง (Emission, E) และรังสีจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือจากวัตถุอื่นมากระทบและสะท้อนออกจากวัตถุ ($G_{\lambda,ref}$) แสดงในรูปที่ 2.9 ดังนั้น Radiosity ที่ออกมาจากวัตถุดังสมการที่ 2.3

$$J = E + G\lambda_{ref} \quad (2.3)$$

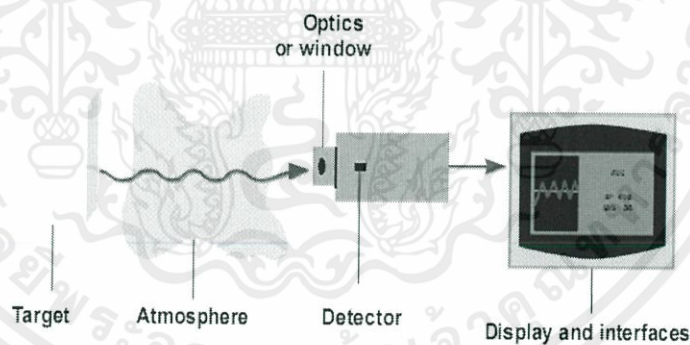


รูปที่ 2.9 รังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง
ที่มา: นวกัทร และทวิพล, 2555

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) โดยรังสีอินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นถึงช่วงคลื่นยาว นิยมใช้วัดอุณหภูมิ หรือตรวจสอบการแผ่รังสีของวัตถุ (นวกัทร และ ทวิพล, 2555)

2.3.2 กล้องถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อนหรือ Thermal image camera (TI - camera) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุโดยไม่มีการสัมผัสและทำลายวัตถุ อาศัยการวัดรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุ และปรับค่ารังสีอินฟราเรดที่วัดได้เป็นอุณหภูมิอาศัยกฎของ Planck และกฎของ Stefan-Boltzmann (นวกัทร และ ทวิพล, 2555) ลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ
ที่มา: Gruner, 2003

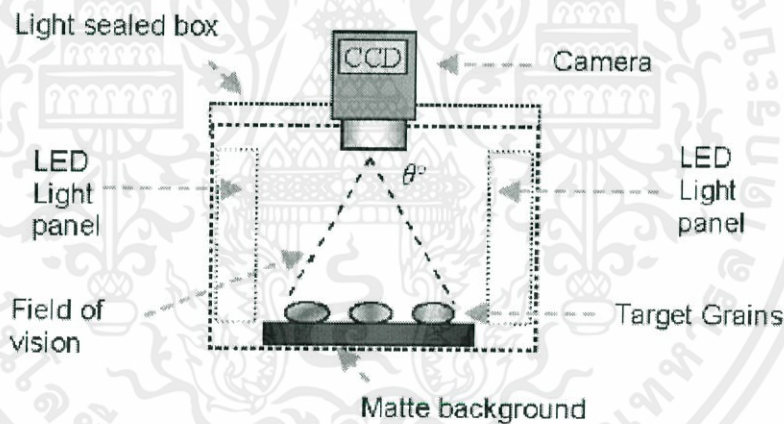
ส่วนประกอบหลักของกล้อง TI ได้แก่ เลนส์ (Lenses) ตัวตรวจจับ (Detector) และส่วนแสดงผล (Display) โดยมีหลักการทำงานดังนี้ จะแสดงผลออกมาให้รูปแบบของเฉดสีและตัวเลข และประกอบด้วยเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดหลายตัว แต่ละตัวแสดงผลออกมาในรูปแบบของสีแตกต่างกันตามอุณหภูมิของจุดนั้น ๆ โดยทั่วไปสีแดงจะแสดงผลที่มีอุณหภูมิสูงและสีน้ำเงินแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือโทนสีขาวแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และโทนสีมืดแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ผลของแต่ละจุดที่ได้จากเซนเซอร์แต่ละตัว เมื่อนำมารวมกันจะประกอบขึ้นเป็นภาพเรียกว่า ภาพถ่ายทางความร้อน (Thermal Image) (นวกัทร และ ทวิพล, 2555)

รูปแบบการวัดอุณหภูมิด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ การวัดเชิงปริมาณ (Quantitative) ซึ่งหมายถึงการวัดอุณหภูมิของจุดที่สนใจ และการวัดเชิงคุณภาพ (Qualitative) ซึ่งหมายถึงการพิจารณาความแตกต่างของภาพ ซึ่งการวัดเชิงคุณภาพสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ (ยุทธพงศ์ และคณะ, 2556)

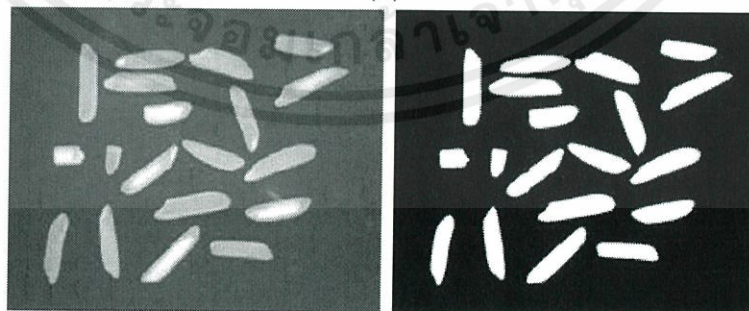
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่าย

Hobson et al. (2007) เสนอวิธีการถ่ายภาพที่ใช้กล่องควบคุมแสงสำหรับการถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบสายพันธุ์ของเมล็ดพืช ก่อนนำไปประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม ซึ่งการใช้กล่องควบคุมแสงช่วยลดแสงรบกวนจากธรรมชาติ จึงจะทำให้ได้ภาพที่ชัดเจน ง่ายต่อการนำไปประมวลผลภาพ มีหลักการดำเนินการดังรูปที่ 2.11 (ก) โดยมีหลอด LED 2 หลอดในการให้ความสว่างในกล่องควบคุมแสง เมล็ดพืชจะถูกวางบนภาชนะที่มีสีของพื้นผิวแตกต่างกับเมล็ดพืช และวางอยู่ใต้ตำแหน่งโพกัสของกล้อง บันทึกภาพ จากนั้นนำไปผ่านขั้นตอนในการปรับภาพ จะได้ภาพที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนดังรูปที่ 2.11 (ข) แสดงภาพที่ได้ระหว่างเมล็ดพืชตัวอย่างและพื้นหลังมีความแตกต่างอย่างชัดเจน โดยอาศัยสมบัติทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ค่าเฉลี่ยของความยาว และค่า Grey Level จาก การประมวลผลภาพ พบว่าสามารถตรวจสอบและคัดแยกสายพันธุ์ของเมล็ดพืชได้



(ก)

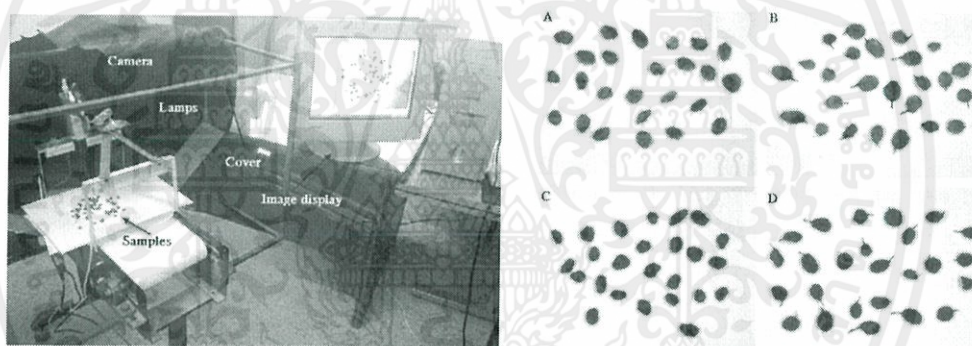


(ข)

เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.11 (ก) การถ่ายภาพเมล็ดพืชด้วยกลุ่มควบคุมแสง (ข) การประมวลผลภาพจากโปรแกรม
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม: Hobson et al. (2007) ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Choudhary et al. (2007) วิเคราะห์และประมวลผลภาพโดยใช้ภาพถ่ายเมล็ดพืช ได้แก่ ข้าวฟ่าง ข้าวบาเลย์ ข้าวโอ๊ต และข้าวไรย์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการคัดแยกด้วยการประมวลผลภาพ พบว่าปัจจัยที่มีผลได้แก่ ความยาวคลื่นสั้น รูปร่าง สี และผิวสัมผัส อย่างไรก็ตามพบว่าไม่สามารถนำปัจจัยเพียงอย่างเดียวมาวิเคราะห์สำหรับตรวจสอบชนิดของเมล็ดพืชได้ ควรพิจารณารูปร่างและผิวสัมผัสของเมล็ดพืชมาใช้ในการตรวจสอบด้วย เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงวิธีการตรวจสอบให้มีคุณภาพดีและเหมาะสม สำหรับใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าว ระบุชนิดของสายพันธุ์ข้าว และตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืช (Majumdar and Jayas, 2000; Paliwal et al., 2003; Choudhary et al., 2008) นอกจากนี้ยังมีการใช้ลักษณะของพื้นผิวภายนอกของเมล็ดพืชในการคัดแยกสายพันธุ์ที่ต่างชนิดกัน (Zayas and Flinn, 1998)

Mollazade et al. (2012) ประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพในการตรวจสอบลูกเกดกับสิ่งแปลกปลอม (ก้าน) โดยใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพรูปที่ 2.12 (ก) เพื่อเก็บข้อมูลภาพ จากนั้นตรวจสอบกับลูกเกดที่มีสีเขียว ลูกเกดสีเขียวที่มีก้าน ลูกเกดสีดำ และลูกเกดสีดำที่มีก้าน รูปที่ 2.12 (ข) โดยอาศัยความแตกต่างของสี ขนาด และรูปร่างของลูกเกด ซึ่งการตรวจสอบพบว่าวิธี ANNs SVMs DTs และ BNs มีความถูกต้องในการตรวจสอบสูงสุด 96.33 95.67 94.67 และ 94.33 %



(ก)

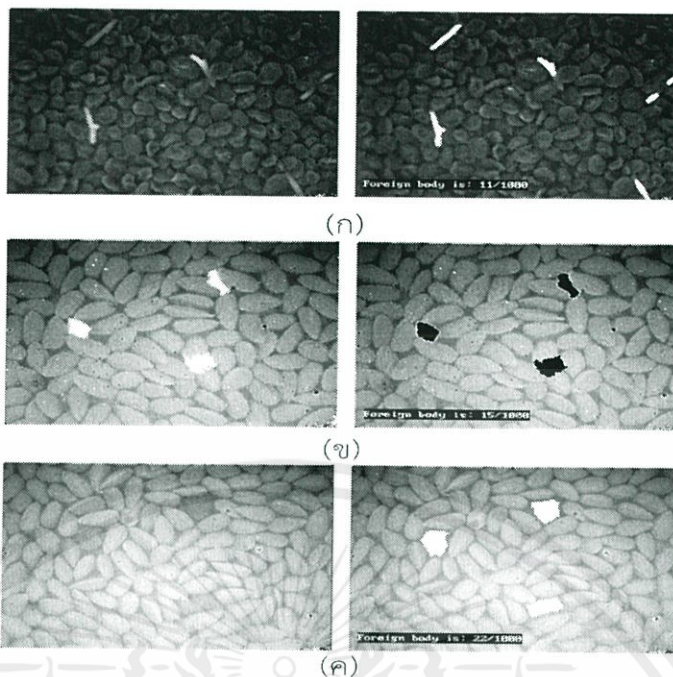
(ข)

รูปที่ 2.12 (ก) ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้ถ่ายภาพ (ข) ลูกเกดที่ใช้ในการตรวจสอบ
ที่มา: Mollazade et al. 2012

2.4.2 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อน

Ginesu et al. (2003) ใช้ภาพถ่ายความร้อนตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมเช่น หิน กระจาดแข็ง โลหะ ชิ้นเล็ก ๆ และเปลือกไม้ ที่ปะปนมากับเมล็ดอัลมอนด์ ลูกเกด และถั่วลิสง โดยอาศัยความแตกต่างของพลังงานที่ก้องได้รับระหว่างสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืช เนื่องจากสมบัติทางความร้อนของวัสดุมีค่าแตกต่างกัน สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชได้ เช่น เศษไม้กับลูกเกด รูปที่ 2.13 (ก) เศษกระจาดแข็งกับเมล็ดอัลมอนด์ รูปที่ 2.13 (ข) และเศษหินกับเมล็ดอัลมอนด์ รูปที่ 2.13 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม (ก) เศษไม้กับลูกเกต (ข) เศษกระดาษ และ (ค) เศษหินกับเมล็ดอัลมอลล์
ที่มา: Meinschmidt et al. 2003

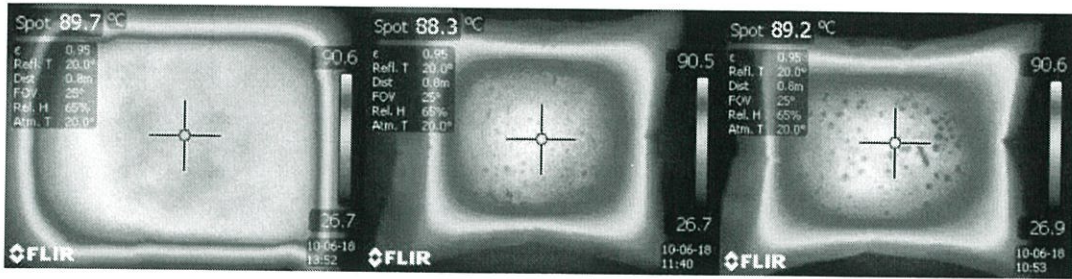
Chelladurai et al. (2010) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบเชื้อราหลังการเก็บเกี่ยวโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างข้าวสาลีที่มีคุณภาพดีกับข้าวสาลีที่เกิดการติดเชื้อภาพถ่ายทางความร้อนสามารถใช้ในการตรวจสอบเชื้อราได้หลายชนิดและระบุเชื้อได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น *Aspergillus glaucus* และ *Penicillium* spp.

Chandra et al. (2010) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบแมลงที่ทำให้เมล็ดข้าวสาลีเกิดความเสียหายโดยอาศัยคลื่นสั้น เปรียบเทียบความแตกต่างของช่วงความยาวคลื่นและคุณสมบัติความแตกต่างของสี สามารถใช้ตรวจสอบแมลงได้แก่ ตัวงวงข้าว มอดข้าวเปลือก ตัวงท้องแบน มอดแป้ง นอกจากแมลงศัตรูข้าวที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังพบแมลงอื่นๆ อีกหลายชนิด

Emekei et al. (2004) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบแมลงในระยะการฟักตัว โดยอาศัยความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดพืชที่มีแมลงอยู่กับอัตราการหายใจของแมลงในแต่ละช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต

ใจทิพย์ และคณะ (2545) ประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุร่วมกับการใช้ภาพถ่ายความร้อนในการจัดการข้าวให้ปราศจากสารพิษ Aflatoxin โดยพบว่าปริมาณการติดเชื้อ *A. flavus* ลดลง เมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการให้คลื่นความถี่วิทยุเพิ่มขึ้น ภาพความร้อนที่ได้จากกล้องอินฟราเรดแสดงการกระจายความร้อนของการบรรจุเมล็ดข้าวแบบสุญญากาศ เปรียบเทียบระหว่างการบรรจุแบบไม่มีพื้นที่ว่างเต็มถุง 100% และการบรรจุแบบมีพื้นที่ว่างโดยมีลักษณะการบรรจุหลวมโดยมีพื้นที่บรรจุประมาณ 85% แสดงดังรูปที่ 2.14 จากการที่เมล็ดข้าวได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอส่งผลให้เชื้อราที่ติดมาตายในที่สุด

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมการข้าว การนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ค้นแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2.14 การกระจายความร้อนของการบรรจุแบบสุญญากาศ (ก) บรรจุแบบไม่มีพื้นที่ว่างเต็มถึง 100% (ข) บรรจุแบบมีพื้นที่ว่างโดยมีลักษณะการบรรจุหลวมโดยมีพื้นที่บรรจุประมาณ 85% (ค) หลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุ

ที่มา: ใจทิพย์ วานิชขังและคณะ, 2545



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

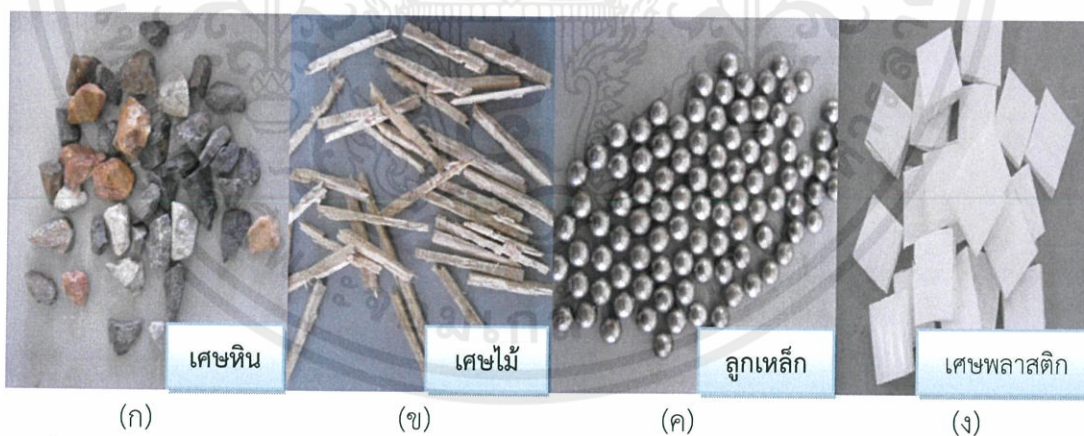
3.1 การเตรียมวัสดุ

3.1.1 วัสดุทดลอง

ตัวอย่างเมล็ดพืชที่ใช้สำหรับทดลองได้แก่ ถั่วลิสง ถั่วแดง และถั่วเหลือง ดังรูป 3.1 และวัสดุที่ใช้เป็นตัวอย่างในการตรวจสอบ ได้แก่ เศษหิน (แกรนิต) เศษไม้ ลูกเหล็ก และเศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด) ดังรูป 3.2 โดยจะชั่งน้ำหนัก วัดขนาด และหาพื้นที่หน้าตัดของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมจำนวนชนิดละ 20 ชิ้น ซึ่งรูปประกอบการวัดขนาดแสดง ดังรูปที่ 3.3 และแสดงผลการวัดที่ได้โดยเฉลี่ยในตารางที่ 3.1

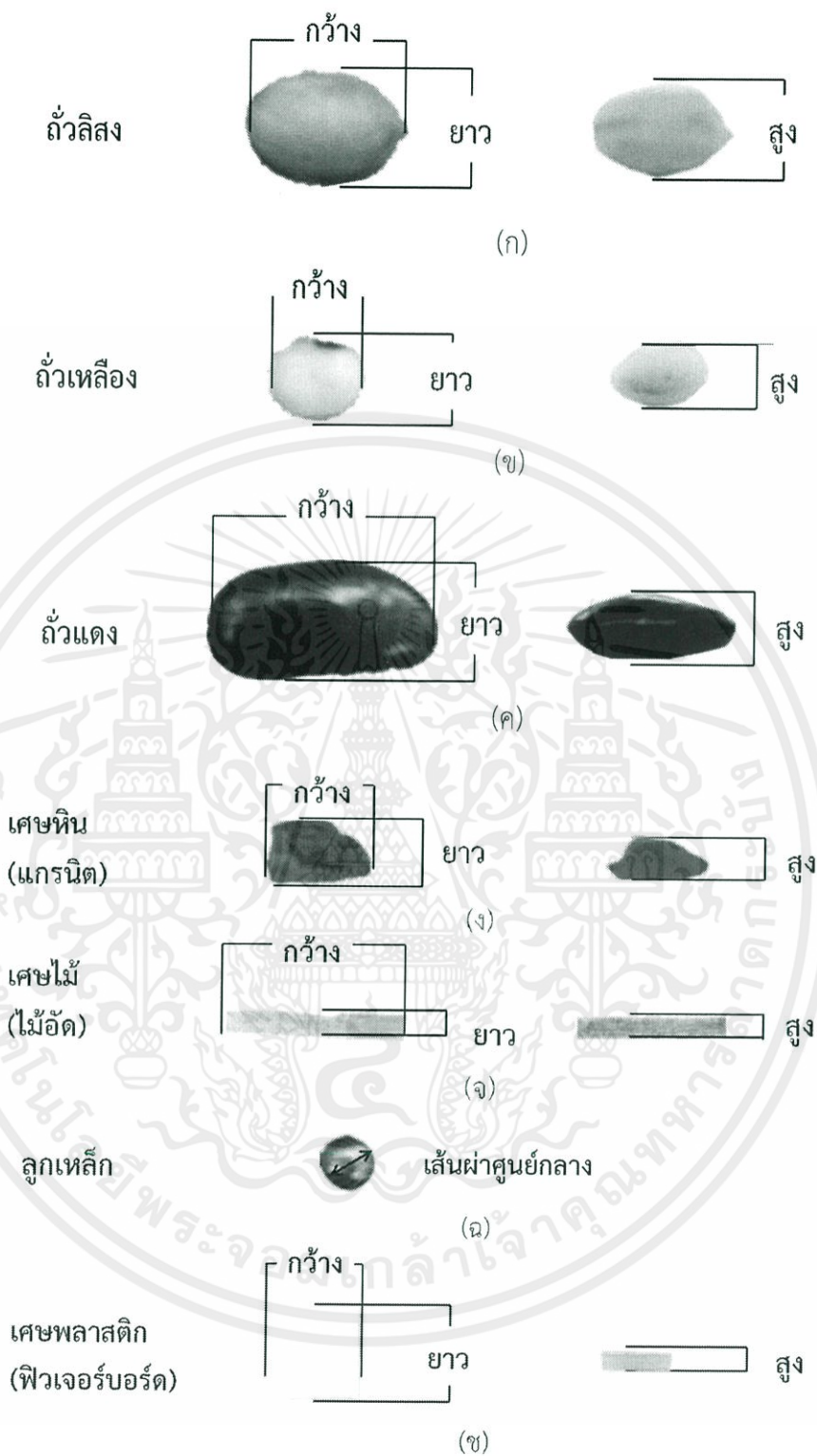


รูปที่ 3.1 เมล็ดเมล็ดพืชตัวอย่าง (ก) ถั่วลิสง (ข) ถั่วแดง และ (ค) ถั่วเหลือง



รูปที่ 3.2 สิ่งแปลกปลอมตัวอย่าง (ก) เศษหิน (แกรนิต) (ข) เศษไม้ (ค) ลูกเหล็ก และ (ง) เศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการวัดขนาดเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม (ก) ถั่วลิสง (ข) ถั่วเหลือง (ค) ถั่วแดง (ง) เศษหิน (แกรนิต) (จ) เศษไม้ (ไม้อัด) (ฉ) ลูกเหล็ก และ (ช)0029 เศษพลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง

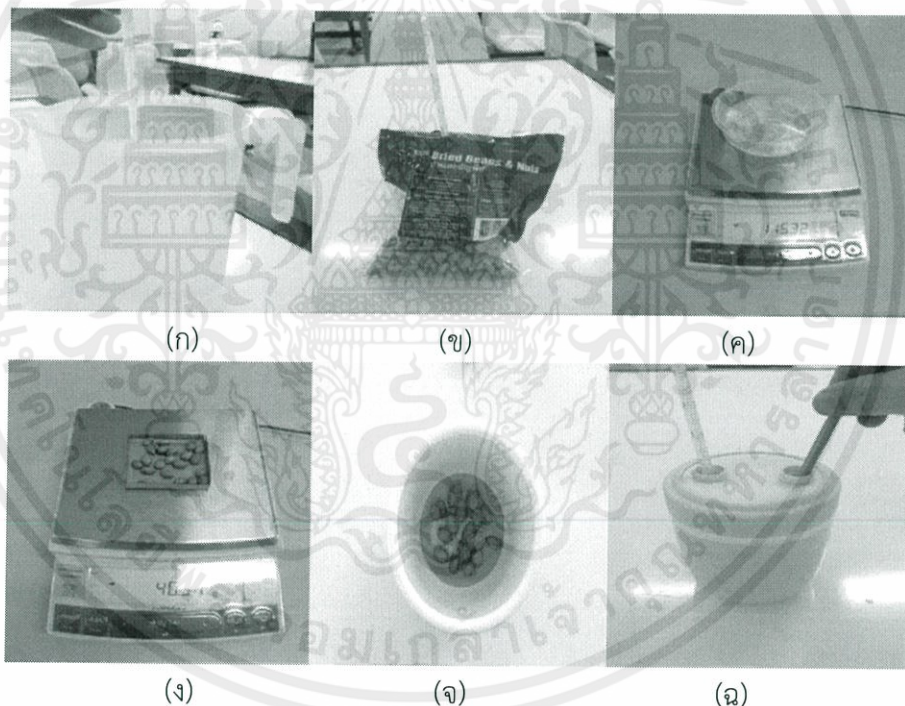
วัสดุตัวอย่าง	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/เมล็ด)	ขนาด (กว้างxยาวxสูง (เซนติเมตร))	พื้นที่เฉลี่ย (ตารางเซนติเมตร)	แหล่งที่มา
ถั่วลิสง	0.76 ± 0.02	0.95 × 1.43 × 0.78	1.06 ± 0.34	ถั่วลิสงตราที่อปส์ ซูเปอร์มาร์เก็ต
ถั่วแดง	0.60 ± 0.02	0.84 × 1.73 × 0.68	1.14 ± 0.56	ถั่วแดงตราที่อปส์ ซูเปอร์มาร์เก็ต
ถั่วเหลือง	0.18 ± 0.02	0.60 × 0.74 × 0.63	0.34 ± 0.07	ถั่วเหลืองตราที่อปส์ ซูเปอร์มาร์เก็ต
เศษหิน (แกรนิต)	0.36 ± 0.02	0.80 × 1.03 × 0.46	0.82 ± 0.31	หินแกรนิตตามท้องถนน หน้าวิศวกรรมโยธา
เศษไม้ (อัด)	0.12 ± 0.03	0.22 × 2.38 × 0.20	0.52 ± 0.09	ห้องปฏิบัติการภาควิศวกรรมอาหาร
ลูกเหล็ก	0.44 ± 0.01	0.50 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง)	0.20	ลูกกลมเหล็กมาตรฐานของศึกษาภัณฑ์
เศษพลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด)	0.05 ± 0.02	1.04 × 1.04 × 0.30	1.08 ± 0.00	เศษพลาสติกจากซูเปอร์มาร์เก็ต

หมายเหตุ ข้อมูลน้ำหนักและพื้นที่เฉลี่ยของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมจำนวนชนิดละ 20 ชิ้น

3.1.2 การหาความจุความร้อนจำเพาะ

หาความจุความร้อนจำเพาะโดย ผสมน้ำกับน้ำแข็งในภาชนะ ที่ใส่ไว้จนอุณหภูมิคงที่ ประมาณ 2 นาที แล้ววัดอุณหภูมิ (T_{water}) รูปที่ 3.14 (ก) จากนั้นวัดอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดพีช (T_{sample}) และชั่งน้ำหนัก ($\text{mass}_{\text{sample}}$) รูปที่ 3.14 (ข) และ รูปที่ 3.14 (ค) ต่อมานำเมล็ดพีชใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์ และนำน้ำที่ผสมกับน้ำแข็งไว้แล้วมาชั่งน้ำหนัก ($\text{mass}_{\text{water}}$) จากนั้นใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์ รูปที่ 3.14 (ง) และ รูปที่ 3.14 (จ) นำเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ และใช้ไม้กวนน้ำจนอุณหภูมิคงที่ (T_{mixture}) ประมาณ 2 นาที พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิ รูปที่ 3.14 (ฉ) และคำนวณความจุความร้อนจำเพาะ (Aviara and Haque, 2000; Ezekie, 1986, 1987) จากสมการที่ 3.1 โดยความจุความร้อนของน้ำ ($C_{p_{\text{water}}}$) มีค่าเท่ากับ $4.18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ซึ่งขั้นตอนการหาความจุความร้อนจำเพาะของสิ่งแปลกปลอมจะมีขั้นตอนการหาแบบเดียวกัน ดังแสดงไว้ข้างต้น

$$C_{p_{\text{sample}}} = \frac{(\text{mass}_{\text{water}})(C_{p_{\text{water}}})(T_{\text{mixture}} - T_{\text{water}})}{(\text{mass}_{\text{sample}})(T_{\text{sample}} - T_{\text{mixture}})} \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการหาความจุความร้อนจำเพาะ (ก) วัดอุณหภูมิน้ำที่ผสมกับน้ำแข็ง (ข) วัดอุณหภูมิของเมล็ดพีช (ค) ชั่งน้ำหนักน้ำที่ผสมกับน้ำแข็ง (ง) ชั่งน้ำหนักเมล็ดพีช (จ) นำเมล็ดพีชและน้ำที่ผสมกับน้ำแข็งไว้ ใส่ในแคลอรีมิเตอร์ (ฉ) กวนให้อุณหภูมิและเมล็ดพีชคงที่พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิ

3.1.3 การหาความชื้น

เอกสารนี้เป็น นำถั่วลิสง บดใส่ภาชนะ จำนวน 5 กรัม ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น ($\text{mass}_{\text{start}}$) ก่อนอบโดยชั่งจากเครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ที่มีความละเอียดอยู่ที่ 0.0001 กรัม (ยี่ห้อ Yamato รุ่น HB-120 ประเทศญี่ปุ่น) และนำเข้าตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Memmert รุ่น UFB 400 ประเทศเยอรมัน) อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

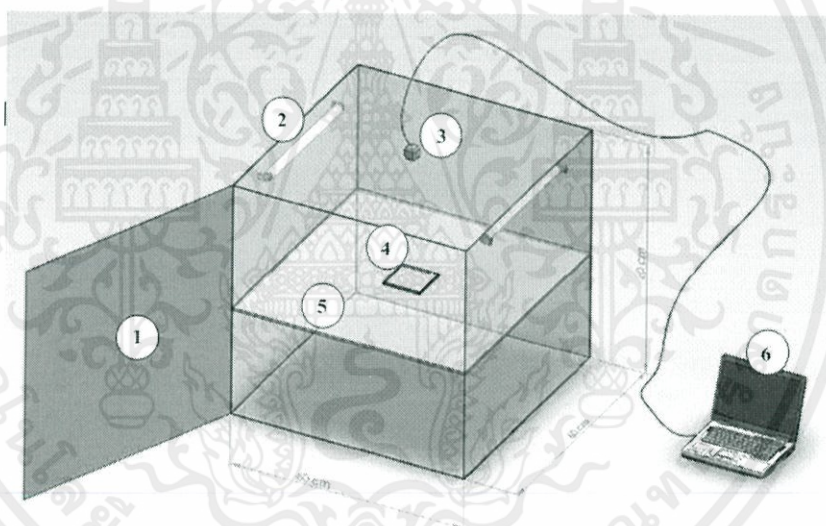
เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นใส่ตู้ดูดความชื้น (Dessicator) (ยี่ห้อ Notthman รุ่น 50) และนำมาชั่งน้ำหนักสุดท้าย ($mass_{final}$) เพื่อคำนวณหาความชื้นฐานเปียก ($\%moisture_{wb}$) จากสมการที่ 3.2 ซึ่งทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยการหาความชื้นของถั่วเหลืองและถั่วแดงจะมีขั้นตอนการหาเช่นเดียวกับถั่วลิสง

$$\%moisture_{wb} = \frac{mass_{start} - mass_{final}}{mass_{start}} \times 100\% \quad (3.2)$$

3.2 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย

3.2.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพ

ชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพ แสดงในรูปที่ 3.5 ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ กล่องควบคุมแสง กล้องดิจิทัล (ยี่ห้อ Canon รุ่น IXUS 950 IS) และ คอมพิวเตอร์ (ยี่ห้อ DELL รุ่น Inspiron) โดยกล่องควบคุมแสงมีขนาด 60x60 เซนติเมตร ซึ่งภายใน ติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ 10 วัตต์ ขนาด 30 เซนติเมตรจำนวน 2 หลอด ไว้ด้านข้างกล่องควบคุมแสง และติดตั้งกระจกสำหรับวางภาชนะบริเวณกลางกล่องควบคุมแสง ซึ่งด้านบนกล่องควบคุมแสงติดตั้งกล้องดิจิทัลสำหรับบันทึกภาพสำหรับรายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ

หมายเลข	ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ
1	กล่องควบคุมแสง
2	หลอดฟลูออเรสเซนต์ 10 วัตต์ ขนาด 30 เซนติเมตร 2 หลอด ชนิด Daylight
3	กล้องดิจิทัล Canon Power Shot SD850 IS (IXUS 950 IS) ความละเอียด 8 ล้านพิกเซล ขนาดรูรับแสง F2.8-F5 ความเร็วชัตเตอร์ 15 วินาที-1/1600 วินาที
4	ถาดอลูมิเนียมขนาด 10 x 10 เซนติเมตร
5	กระจกสำหรับวางภาชนะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
6	คอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลภาพ (โปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม)

3.2.2 การถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม

เตรียมถั่วลิสง 20 เมล็ด และหิน 20 ชิ้นใส่ภาชนะโดยให้กระจายอยู่ในระนาบเดียวกันดังรูปที่ 3.6 จากนั้นนำเข้ากล้องควบคุมแสง และถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลจากด้านบน ทำการถ่ายภาพทั้งหมด 3 ซ้ำภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และนำภาพที่ได้ไปประมวลผลภาพด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และทำซ้ำโดยเพิ่มจำนวนถั่วลิสงขึ้นอีก 10 เมล็ด ซึ่งเพิ่มถึง 60 เมล็ด สำหรับถั่วแดงและถั่วเหลืองจะมีขั้นตอนการตรวจสอบหินเช่นเดียวกับ ถั่วลิสง แต่จำนวนเมล็ดพืชที่เพิ่มจะเพิ่มถึง 50 เมล็ด และ 80 เมล็ด ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเมล็ดพืชที่เพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับขนาดของเมล็ดพืช และสำหรับการตรวจสอบเศษไม้ ลูกเหล็ก และเศษพลาสติก จะมีขั้นตอนการตรวจสอบเช่นเดียวกับ เศษหิน ดังที่แสดงไว้ข้างต้น



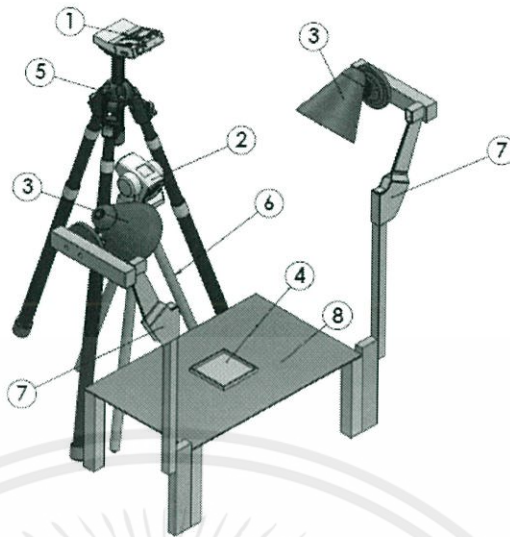
รูปที่ 3.6 การจัดเรียงถั่วลิสงจำนวน 20 เมล็ดและ เศษหิน (แกรนิต) จำนวน 20 ชิ้นลงในภาชนะ

3.3 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน

3.3.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพความร้อน

ชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพความร้อนแสดงในรูปที่ 3.7 ประกอบด้วย หลอดไฟฮาโลเจน-ทั้งสแตนด์ 100 วัตต์ จำนวน 2 หลอดซึ่งติดตั้งอยู่ด้านข้างและสูงจากพื้น 78.5 เซนติเมตร ติดตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อนยี่ห้อ Fluke รุ่น Ti32 ติดตั้งอยู่เหนือภาชนะที่ใส่ตัวอย่าง 30 เซนติเมตร เพื่อให้กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับความเข้มของการแผ่รังสีมากที่สุด และติดตั้งกล้องดิจิทัลยี่ห้อ Canon รุ่น IXUS 950 IS อยู่เหนือกล้องถ่ายภาพความร้อน เพื่อทำการบันทึกวิดีโอผ่านกล้องถ่ายภาพความร้อนโดยจะติดตั้งสูงจากกล้องถ่ายภาพความร้อน 31 เซนติเมตร สำหรับรายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 3.3 โดยที่ชุดอุปกรณ์นี้ ใช้ถ่ายภาพความร้อนเพื่อหาเวลาสำหรับการให้ความร้อนเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ใช้ถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม และใช้ถ่ายภาพเพื่อคำนวณหาพลังงานความร้อนที่กล้องถ่ายภาพได้รับจากการแผ่รังสีความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพความร้อน

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพความร้อน

หมายเลข	ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพความร้อน
1	กล้องดิจิทัล Canon Power Shot SD850 IS (IXUS 950 IS) ความละเอียด 8 ล้านพิกเซล ขนาดรูรับแสง F2.8-F5 ความเร็วชัตเตอร์ 15 วินาที-1/1600 วินาที
2	กล้องถ่ายภาพความร้อน Fluke Ti32 ความละเอียด 76,800 พิกเซล ช่วงอุณหภูมิที่วัดได้ -20 องศาเซลเซียส ถึง 600 องศาเซลเซียส ความยาวคลื่นที่วัดได้ 7.5 ไมโครเมตร ถึง 14 ไมโครเมตร ระยะโฟกัสต่ำสุด 7.5 เซนติเมตร
3	หลอดฮาโลเจน-ทังสแตน 100 วัตต์ 2 หลอด
4	ถาดอลูมิเนียมขนาด 10 x 10 เซนติเมตร
5	ขาตั้งกล้องดิจิทัล
6	ขาตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อน
7	ขาตั้งหลอดไฟปรับ สามารถปรับระดับความสูงได้
8	ฐานแบบจำลองการถ่ายภาพความร้อน

3.3.2 การหาเวลาสำหรับการให้ความร้อนเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

การหาเวลาสำหรับการให้ความร้อนเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเป็นขั้นตอนแรกก่อนการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม เพื่อให้ได้ภาพถ่ายความร้อนที่ได้สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้รวมทั้งใช้พลังงานและเวลาในการตรวจสอบน้อยที่สุด ทำได้โดยเตรียมเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ถั่วแดง เศษหิน (แกรนิต) เศษไม้ (ไม้อัด) ลูกเหล็ก และเศษพลาสติก(ฟิวเจอร์บอร์ด) ตัวอย่างละ 5 ชิ้น เรียงลงในถาดอลูมิเนียมโดยไม่ให้มีตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่งติดกัน ดังรูปที่ 3.8 และให้ความร้อนเป็นเวลา 1 วินาที จากนั้นปล่อยให้คายความร้อน 10 วินาที พร้อมทั้งบันทึกภาพในรูปแบบของไฟล์วิดีโอตลอดระยะเวลาคายความร้อน โดยเริ่มตั้งแต่ วินาทีที่ 0 จนถึงวินาทีที่ 10 ซึ่งทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมง นำไฟล์วิดีโอ ที่ได้มาตัดภาพที่เวลา 1 วินาทีจนถึง

10 วินาทีในช่วงการคายความร้อน แล้วนำภาพที่ได้หาค่า Absolute difference of average gray level เพื่อหาเวลาในการให้ความร้อน และคายความร้อนที่น้อยที่สุดที่สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืช ทำซ้ำตามวิธีที่กล่าวไว้ข้างต้นโดยเพิ่มเวลาการให้ความร้อนเป็น 2 วินาที ซึ่งเพิ่มจนถึง 10 วินาที



รูปที่ 3.8 การเรียงเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมในภาชนะ

3.3.3 การถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม

เตรียมเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมใส่ภาชนะโดยใช้ชนิดและการจัดเรียงเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเช่นเดียวกับภาพถ่าย และทำการทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมงใต้อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส จากนั้นนำภาชนะวางบนฐานวางภาชนะ พร้อมทั้งให้ความร้อนเป็นระยะเวลาตามที่วิเคราะห์ได้จากหัวข้อ 3.2.3 จากนั้นทิ้งให้ตัวอย่างคายความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที พร้อมทั้งใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนแสดงภาพ และใช้กล้องดิจิตอลบันทึกภาพในรูปแบบของไฟล์วิดีโอบริเวณหน้าจอของกล้องถ่ายภาพความร้อน ตลอดระยะเวลาการคายความร้อนตั้งแต่ วินาทีที่ 0 จนถึงวินาทีที่ 10 จากนั้นนำไฟล์วิดีโอที่ได้มาตัดภาพที่เวลาการคายความร้อนตามที่วิเคราะห์ได้ในหัวข้อ 3.2.3 และนำภาพที่ได้ไปประมวลผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

3.3.4 การคำนวณพลังงานของรังสีอินฟราเรดที่กล้องถ่ายภาพร้อนได้รับ

การคำนวณหาพลังงานที่ถั่วลิสงได้รับจากแหล่งความร้อนและพลังงานของรังสีอินฟราเรดที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับ ซึ่งใช้ชุดอุปกรณ์เช่นเดียวกับการถ่ายภาพความร้อน โดยนำถั่วลิสง 1 เมล็ดใส่ลงในภาชนะอลูมิเนียมขนาด 10 ตารางเซนติเมตร จากนั้นให้ความร้อนเป็นระยะเวลาตามที่วิเคราะห์ ได้จากหัวข้อ 3.2.3 และปล่อยให้คายความร้อนเป็นเวลา 10 วินาทีพร้อมใช้กล้องดิจิตอลบันทึกภาพในรูปแบบของไฟล์วิดีโอบริเวณหน้าจอของกล้องถ่ายภาพความร้อน ตลอดระยะเวลาการให้ความร้อนและคายความร้อน จากนั้นนำไฟล์วิดีโอที่ได้มาตัดภาพที่ระยะเวลาการคายความร้อนที่ 0 วินาทีและระยะเวลาการคายความร้อนตามที่วิเคราะห์ได้จาก จากหัวข้อ 3.2.3 จากนั้นนำอุณหภูมิที่ได้จากการคายความร้อนที่ 0 วินาทีมาคำนวณหาพลังงานที่ถั่วลิสงได้รับ จากสมการที่ 3.3 และนำค่าอุณหภูมิที่ได้จากช่วงการคายความร้อนที่เวลาจากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 3.2.3 มาคำนวณหาพลังงานรังสีอินฟราเรดของถั่วลิสงที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับ จากสมการที่ 3.4 โดยทำการทดลอง

ทั้งหมด 3 ซ้ำ สำหรับถั่วแดง ถั่วเหลือง เศษหิน (แกรนิต) เศษไม้ (ไม้อัด) ลูกเหล็ก และเศษพลาสติก (พีวีเจอร်บอร์ด) มีวิธีการคำนวณหาพลังงานที่ได้รับจากแหล่งความร้อนและพลังงานของรังสีอินฟราเรดที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับ เช่นเดียวกับถั่วลิสง

$$q = mc_p \Delta T \quad (3.3)$$

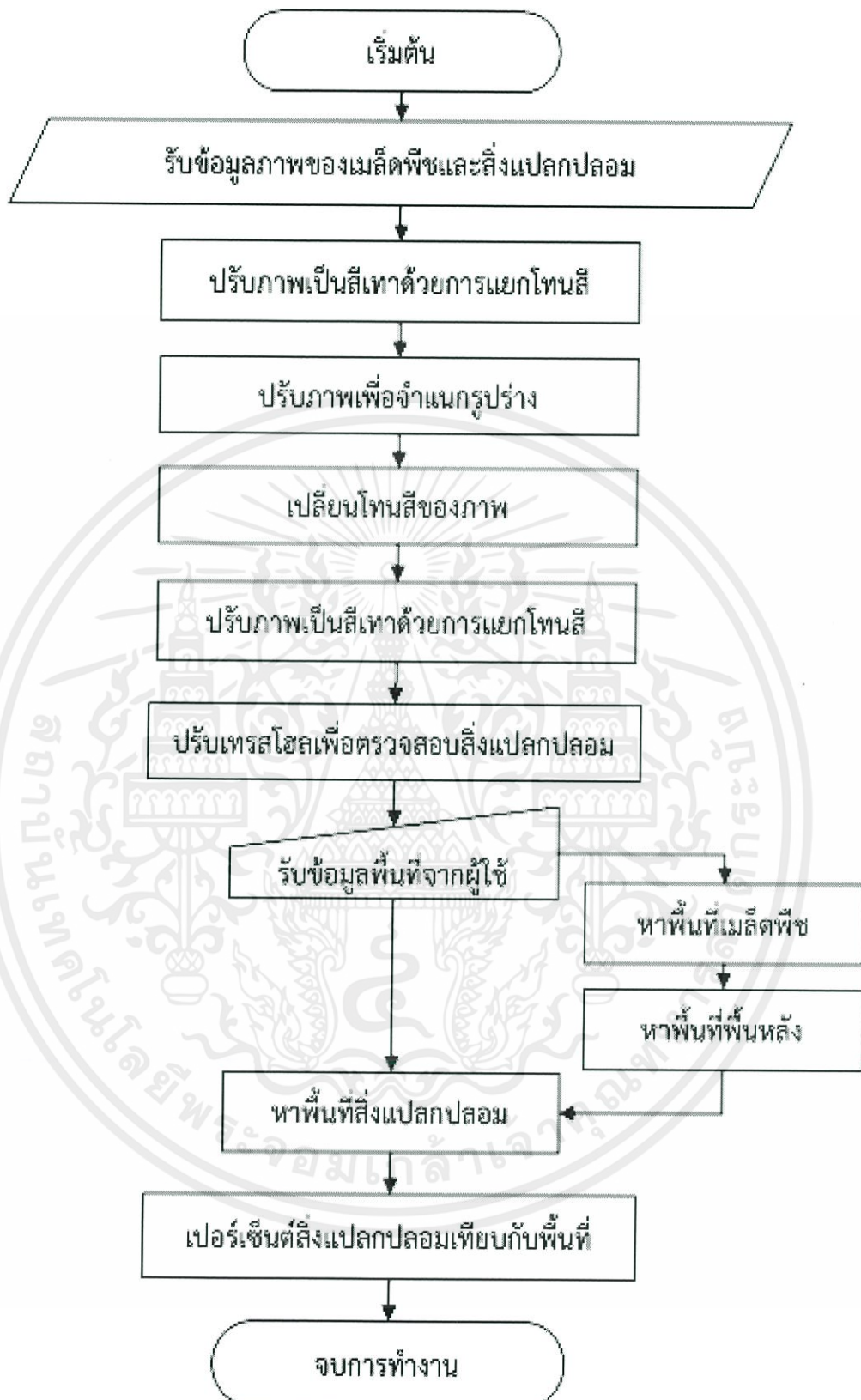
$$E(T) = \varepsilon \sigma AT^4 \quad (3.4)$$

3.4 การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน

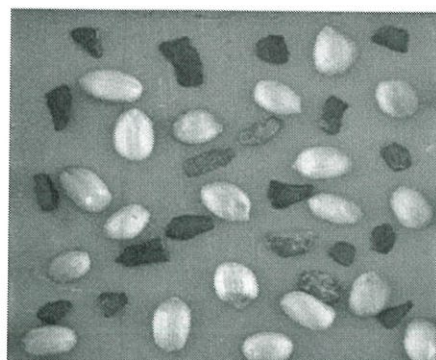
การพัฒนาและทดสอบโปรแกรม MATLAB (Version 7.10.0.499, The MathWorks, Inc., US) สำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน ซึ่งการทดสอบโปรแกรมทำได้โดยนำค่าพื้นที่เฉลี่ยของสิ่งแปลกปลอมที่ได้จากการวัดเทียบกับพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรม โดยการทดสอบโปรแกรมกับภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนของถั่วลิสงจำนวน 20 เมล็ดและเศษหินจำนวน 20 ชิ้น โดยทดสอบกับภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนที่จำนวนถั่วลิสงเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 เมล็ด จนถึงภาพที่ถั่วลิสงมีจำนวน 60 เมล็ด สำหรับการทดสอบภาพถั่วแดงกับหินและภาพถั่วเหลืองกับหินจะมีขั้นตอนการทดสอบเช่นเดียวกับ ถั่วลิสง แต่จำนวนเมล็ดที่เพิ่ม เพิ่มถึง 50 เมล็ด และ 80 เมล็ด ตามลำดับ โดยที่เศษไม้ ลูกเหล็ก และเศษพลาสติก มีขั้นตอนการทดสอบภาพเช่นเดียวกับ เศษหิน สำหรับขั้นตอนการประมวลผลภาพเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน แสดงในรูปที่ 3.9

ขั้นตอนการประมวลผลภาพสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน รับข้อมูลภาพของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม จากนั้นปรับภาพเป็นสีเทาด้วยการแยกโทนสีโดยใช้เทคนิคการแยกโทนสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งการปรับภาพเป็นขาวดำด้วยการแยกโทนสีนั้นจะทำให้ได้ภาพขาวดำที่มีสีแตกต่างกันคนละโทนสี ดังรูปที่ 3.10 โดยที่เทคนิคนี้ทำให้สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้รวดเร็ว จากนั้นปรับภาพโดยอาศัยการจำแนกรูปร่าง ต่อมาเปลี่ยนโทนสีของภาพเพื่อให้ได้โทนสีของสิ่งแปลกปลอมชัดเจนขึ้น และปรับภาพเป็นสีเทาด้วยการแยกโทนสีอีกครั้ง จากนั้นปรับเทรสโฮลเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม หลังจากขั้นตอนนี้โปรแกรมจำเป็นต้องป้อนขนาดของพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบ เพื่อใช้คำนวณหาพื้นที่ของสิ่งแปลกปลอม และร้อยละของสิ่งแปลกปลอม สำหรับการประมวลผลภาพถ่าย สิ่งแปลกปลอมบางชนิดไม่สามารถตรวจสอบพื้นที่สิ่งแปลกปลอมได้โดยตรง จึงต้องมีการประมวลผลภาพเพื่อหาพื้นที่เมล็ดพืช และพื้นที่ภาชนะ โดยจะนำพื้นที่เมล็ดพืชและพื้นที่ภาชนะหาลบกันเพื่อหาพื้นที่ของสิ่งแปลกปลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



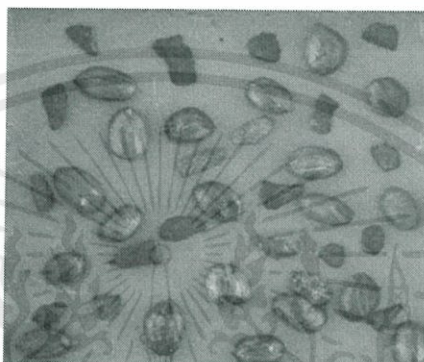
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการประมวลผลภาพสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความร้อน ไม่ว่าจะมิได้ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.10 การปรับภาพเป็นสีเทาด้วยการแยกโทนสี (ก) แยกโทนสีแดง (ข) แยกโทนสีเขียว (ค) แยก
โทนสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชด้วยวิธีประมวลผลภาพขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความชื้นของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม และชนิดของภาพที่นำมาประมวลผล โดยหากภาพที่นำมาประมวลผลเป็นภาพสีต้องคำนึงถึงการควบคุมแสงในช่วงเวลาของการบันทึกภาพ และหากเป็นภาพทางความร้อนต้องคำนึงถึงความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ เวลาในการให้ความร้อน และพลังงานที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับ โดยในการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของโปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่พัฒนาขึ้นนี้ ตรวจสอบโดยการหาค่าพื้นที่ของสิ่งแปลกปลอมแล้วนำมาเปรียบเทียบกับพื้นที่เฉลี่ยที่ได้จากการวัด รายละเอียดผลการทดลองทั้งหมดแสดงดังต่อไปนี้

4.1 ความชื้นและความจุความร้อนจำเพาะ

ความชื้นของเมล็ดพืช ได้แก่ ถั่วลิสง ถั่วแดง ถั่วเหลือง มีค่าเท่ากับ 6.50 ± 1.96 12.27 ± 2.13 และ 12.13 ± 1.59 (%wb) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นของเมล็ดพืชในช่วงความชื้นปลอดภัยของมาตรฐานการจัดเก็บเมล็ดพืช (สุนีย์, 2555) และจากการทดลองหาความจุความร้อนจำเพาะของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช พบว่ามีค่าสอดคล้องกับงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

ชนิดเมล็ดพืช	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·K)	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·K) อ้างอิง	ที่มา
ถั่วลิสง	2.52 ± 0.40	1.93-2.91	ASHRAE, 1989
ถั่วแดง	2.62 ± 0.41	1.58-2.35	Alam and Shove, 1973 Ramstad and Geddes, 1942 Kazarian and Hall, 1965
ถั่วเหลือง	2.58 ± 0.13	3.66-3.33	Fillaudeau et al., 2006
ลูกเหล็ก	0.83 ± 0.11	1.26-2.90	Tan, 2010
เศษไม้ (ไม้อัด)	2.53 ± 0.16	0.46-0.90	Lalit et al., 2010
เศษหิน (แกรนิต)	1.40 ± 0.29	0.48-1.45	ASM International, 2002
พลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด)	1.91 ± 0.40	0.88-2.58	Boudenne et al., 2005

หมายเหตุ ความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ยจากเมล็ดพืช และสิ่งแปลกปลอม 20 ชิ้น

4.2 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน

หน้าตาโปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน ประกอบด้วย 5 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 การเลือกรูปภาพ ส่วนที่ 2 การแสดงผลภาพ ส่วนที่ 3 การ

กำหนดพื้นที่ ส่วนที่ 4 การเลือกชนิดเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการตรวจสอบ และส่วนที่ 5 การแสดงค่าพื้นที่และเปอร์เซ็นต์สิ่งแปลกปลอม แสดงดังรูปที่ 4.1

สำหรับขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้ การเก็บข้อมูลภาพวัสดุทดลอง การปรับภาพเป็นสีเทาด้วยการแยกโทนสี จากนั้นปรับภาพโดยอาศัยการตรวจสอบรูปร่างแต่ในขั้นตอนนี้อยู่ในส่วนการประมวลผลภาพถ่ายเท่านั้น การเปลี่ยนโทนสีภาพให้ชัดเจนขึ้นแล้วปรับภาพเป็นสีเทาด้วยการแยกโทนสีอีกครั้ง รวมทั้งปรับเทรซโฮลเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม และการประมวลผลภาพพร้อมทั้งแสดงค่าพื้นที่สิ่งแปลกปลอม สุดท้ายนำค่าจากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับพื้นที่จริงจากการวัดขนาด

4.3 เวลาให้ความร้อนสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อนเป็นการวัดเชิงคุณภาพ โดยพิจารณาความแตกต่างระหว่างภาพความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมภายใต้เงื่อนไขการกำหนดระยะเวลา ให้ความร้อนและระยะเวลาในการคายความร้อนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Absolute difference of average gray level กับเวลา แสดงดังรูปที่ 4.4 และเลือกระยะเวลาการให้ความร้อนที่น้อยที่สุดที่โปรแกรมสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้

จากการทดลอง พบว่า สามารถจัดกลุ่มการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่า Absolute difference of average gray level ได้ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มเมล็ดพืชกับเศษไม้ กลุ่มเมล็ดพืชกับเศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด) กลุ่มเมล็ดพืชกับเศษหิน (แกรนิต) และกลุ่มเมล็ดพืชกับลูกเหล็ก รายละเอียดมีดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มเมล็ดพืชทุกชนิดกับเศษไม้ มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ

- ให้ความร้อนเป็นเวลา 2 วินาที ค่า average gray level มีความแตกต่างกันชัดเจนที่สุดในช่วงเวลาคายความร้อนวินาทีที่ 1
- ให้ความร้อนเป็นเวลา 4 วินาที ในช่วงแรกของการคายความร้อน ค่า average gray level มีความแตกต่างลดลงจนถึงวินาทีที่ 1 และเพิ่มขึ้นจนถึงวินาทีที่ 6 ซึ่งมีแตกต่างชัดเจนที่สุด
- ให้ความร้อนเป็นเวลา 6 วินาที ค่า average gray level มีความแตกต่างชัดเจนที่สุดวินาทีที่ 10 ซึ่งมีลักษณะแนวโน้มกราฟใกล้เคียงกับการให้ความร้อน 4 วินาที
- ให้ความร้อนเป็นเวลา 8 วินาที ในช่วงแรกของการคายความร้อน ค่า average gray level มีความแตกต่างลดลงจนถึงวินาทีที่ 1 และเพิ่มขึ้นจนถึงวินาทีที่ 3 ซึ่งมีแตกต่างชัดเจนที่สุด จากนั้นค่อย ๆ ลดลง
- ให้ความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที ในช่วงแรกของการคายความร้อน ค่า average gray level ค่อย ๆ ลดลงจนถึงวินาทีที่ 7 และเพิ่มขึ้นจนถึงวินาทีที่ 10 ซึ่งมีความแตกต่างชัดเจนที่สุด จากนั้นความแตกต่างจะค่อย ๆ ลดลง

โดยความแตกต่างของเมล็ดพืชและเศษไม้ที่เกิดขึ้นเกิดจากความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพ และสมบัติความร้อนของวัสดุ ซึ่งเศษไม้มีมวลและความจุความร้อนจำเพาะน้อยกว่าเมล็ดพืช ทำให้เศษไม้เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้เร็วกว่าเมล็ดพืช

กลุ่มที่ 2 กลุ่มเมล็ดพืชทุกชนิดกับเศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด) มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ

- ให้ความร้อนเป็นเวลา 2 วินาที ค่า average gray level ความแตกต่างกันชัดเจนที่สุดในช่วงเวลาคายความร้อนวินาทีที่ 0

- ให้ความร้อนเป็นเวลา 4 วินาที ค่า average gray level มีแนวโน้มของค่า average gray level คล้ายกับการให้ความร้อนเมล็ดพืชกับเศษไม้ในช่วงการคายความร้อนที่วินาทีที่ 4
- ให้ความร้อน 6 วินาที ช่วงแรกความแตกต่างของค่า average gray level ค่อย ๆ ลดลง จนถึงช่วงการคายความร้อนที่วินาทีที่ 2 และเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงการคายความร้อนที่วินาทีที่ 10 ซึ่งมีความแตกต่างชัดเจนที่สุด
- ให้ความร้อน 8 วินาที ช่วงแรกมีความแตกต่างของค่า average gray level มากและเพิ่มขึ้น จนถึงช่วงการคายความร้อนที่วินาทีที่ 1 จากนั้นค่อย ๆ ลดลงจน ค่า average gray level ไม่มีความแตกต่างกัน
- ให้ความร้อน 10 วินาที มีแนวโน้ม ค่า average gray level ใกล้เคียงกับช่วงการให้ความร้อน 6 วินาที

โดยค่าความแตกต่างของเมล็ดพืชและเศษพลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด) ที่เกิดขึ้นเกิดจากความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพและสมบัติความร้อน ซึ่งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิคล้ายกับเศษไม้

กลุ่มที่ 3 กลุ่มเมล็ดพืชทุกชนิดกับเศษหิน มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ

- ให้ความร้อนเป็นเวลา 2 วินาที ค่า average gray level ความแตกต่างกันชัดเจนที่สุดในช่วงเวลาคายความร้อนวินาทีที่ 0
- ให้ความร้อนเป็นเวลา 4 วินาที ช่วงแรกของการคายความร้อนมีความแตกต่างของ ค่า average gray level น้อย และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงวินาทีที่ 5 ซึ่งเป็นความแตกต่างชัดเจนที่สุด
- ให้ความร้อนเป็นเวลา 6 วินาที ช่วงแรกของการคายความร้อนมีความแตกต่างของค่า average gray level มาก และค่อย ๆ ลดลงจนถึงช่วงคายความร้อนที่วินาทีที่ 3 จากนั้น ความแตกต่าง ของค่า average gray level ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงคายความร้อนที่วินาทีที่ 10
- ให้ความร้อนเป็นเวลา 8 วินาที ช่วงแรกของการคายความร้อนจะมีความแตกต่างของค่า average gray level มาก และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงคายความร้อนที่วินาทีที่ 1 ซึ่งเป็นความแตกต่างกันชัดเจนที่สุด และจะค่อย ๆ ลดลงจนไม่มีความแตกต่างกัน
- ให้ความร้อน 10 วินาที มีแนวโน้ม ค่า average gray level ใกล้เคียงกับการให้ความร้อน 6 วินาที

โดยค่าความแตกต่างของเมล็ดพืชและเศษหินที่เกิดขึ้นเกิดจากความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพและสมบัติความร้อน ซึ่งเศษหินมีมวลและความจุความร้อนจำเพาะน้อยกว่าเมล็ดพืช ทำให้เศษหินเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้เร็วกว่าเมล็ดพืช

กลุ่มที่ 4 กลุ่มเมล็ดพืชทุกชนิดกับลูกเหล็ก มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ

- ให้ความร้อน 2 วินาที มีความแตกต่างของ ค่า average gray level ชัดเจนที่สุดในช่วงการคายความร้อนที่วินาทีที่ 2
- ให้ความร้อน 4 วินาที ช่วงแรกของการคายความร้อนจะมีความแตกต่างของ ค่า average gray level น้อย และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงคายความร้อนที่วินาทีที่ 5 จากนั้นความแตกต่างจะค่อย ๆ ลดลงจนไม่มีความแตกต่างกัน

- ให้ความร้อน 6 วินาที ช่วงแรกของการคายความร้อนมีความแตกต่างของ ค่า average gray level มาก และค่อย ๆ ลดลง จนถึงช่วงคายความร้อนที่วินาทีที่ 3 จากนั้นความแตกต่างค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงคายความร้อนที่วินาทีที่ 6
- ให้ความร้อน 8 วินาที ช่วงแรกของการคายความร้อนมีความแตกต่างของ ค่า average gray level มาก และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงช่วงคายความร้อนที่วินาทีที่ 2 จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง จนไม่มีความแตกต่างกัน
- ให้ความร้อน 10 วินาที ช่วงแรกของการคายความร้อนมีความแตกต่างของค่า average gray level มาก และลดลงจนถึงช่วงคายความร้อนที่วินาทีที่ 3 จากนั้นความแตกต่างเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงคายความร้อนที่วินาทีที่ 9 และค่อย ๆ ลดลงจนไม่มีความแตกต่างกัน

โดยค่าความแตกต่างของเมล็ดพืชและลูกเหล็กเกิดจากสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนของลูกเหล็กและเมล็ดพืชที่ต่างกัน ลูกเหล็กเป็นวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนต่ำ และมีขนาดเล็ก ทำให้ลูกเหล็กสะท้อนอุณหภูมิของเมล็ดพืช และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ส่งผลทำให้ลูกเหล็กกับเมล็ดพืชมีความแตกต่างน้อยกว่าสิ่งแปลกปลอมชนิดอื่น

เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมเบื้องต้น พบว่าสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้เมื่อค่า Absolute difference of average gray level ระหว่างสิ่งแปลกปลอม พื้นหลังและเมล็ดพืช มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 20 จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการให้ความร้อนที่เวลา 6 วินาที เป็นต้นไป ที่สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมทั้งหมดได้ แต่เลือกเวลาในการให้ความร้อนที่ 6 วินาที เพราะประหยัดเวลาในการทำงาน และประหยัดพลังงานที่ใช้ให้ความร้อน

4.4 พลังงานที่กล้องถ่ายภาพร้อนได้รับจากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

จากการให้ความร้อนเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเป็นเวลา 6 วินาที ซึ่งเป็นเวลาในการให้ความร้อนที่น้อยที่สุดที่สามารถนำไปตรวจสอบด้วยโปรแกรมได้ พบว่า ความร้อนที่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมรับไว้มีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีความจุความร้อนจำเพาะและมวลที่แตกต่างกัน เป็นผลให้เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่เท่ากัน และยังส่งผลมาถึงพลังงานที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับ โดยวัสดุที่เก็บความร้อนไว้ได้มากจะแผ่รังสีความร้อนออกมาจากกล้องถ่ายภาพความร้อนจึงมองเห็นวัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องกับพลังงานที่วัตถุแผ่ออกมา นั่นคือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน และพื้นที่ของวัตถุ วัตถุที่มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูง ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนสูง และมีพื้นที่ขนาดใหญ่จะได้ค่าพลังงานความร้อนแผ่ออกมาที่กล้องถ่ายภาพความร้อนมากที่สุด ค่าพลังงานที่แผ่ออกมาจากวัสดุแต่ละชนิด แสดงสรุปในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สรุปสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ความจุความร้อนจำเพาะ มวลวัตถุ พื้นที่ และพลังงานที่แผ่ออกเมื่อได้รับความร้อน 6 วินาที

ชนิดวัสดุ	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·K)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/เมล็ด)	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน	พื้นที่ (cm ²)	พลังงานความร้อนที่วัตถุได้รับ (Watts)	พลังงานที่ก่อกวนที่ได้รับ (Watts)
ถั่วลิสง	2.52 ± 0.40	0.76 ± 0.02	0.92-0.96	1.07 ± 0.34	0.30 ± 0.05	0.05 ± 0.00
ถั่วแดง	2.62 ± 0.41	0.60 ± 0.02	0.93-0.96	1.14 ± 0.56	0.22 ± 0.02	0.06 ± 0.00
ถั่วเหลือง	2.58 ± 0.13	0.18 ± 0.02	0.93-0.95	0.35 ± 0.07	0.07 ± 0.01	0.02 ± 0.00
เศษหิน (แกรนิต)	1.40 ± 0.29	0.36 ± 0.02	0.88-0.95	0.82 ± 0.32	0.12 ± 0.02	0.04 ± 0.00
เศษไม้ (อัด)	2.53 ± 0.16	0.12 ± 0.03	0.82-0.92	0.51 ± 0.09	0.09 ± 0.00	0.02 ± 0.00
ลูกเหล็ก	0.83 ± 0.11	0.44 ± 0.01	0.21-0.28	0.20 ± 0.00	0.08 ± 0.03	0.01 ± 0.00
พลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด)	1.91 ± 0.40	0.05 ± 0.02	0.84-0.86	1.08 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.00

หมายเหตุ ค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ย 3 ครั้ง

4.5 ผลการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยโปรแกรม

รูปที่ 4.5-4.12 แสดงภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนของถั่วลิสงกับเศษหิน ถั่วลิสงกับเศษพลาสติก (พีวีเจอร်บอร์ด) ถั่วเหลืองกับเศษหิน ถั่วเหลืองกับเศษพลาสติก (พีวีเจอร်บอร์ด) ถั่วแดงกับเศษพลาสติก (พีวีเจอร်บอร์ด) ถั่วแดงกับเศษไม้ ถั่วลิสงกับลูกเหล็ก และถั่วเหลืองกับลูกเหล็ก ตามลำดับ ที่จำนวนวัตต์ต่าง ๆ และรูปที่ 4.17-4.24 แสดงภาพที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น จะเห็นได้ว่าจำนวนเมล็ดพืชที่มากขึ้นมีผลทำให้ความผิดพลาดในการตรวจสอบพื้นที่มีมากขึ้นตาม แต่ยังสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชได้ แต่มีความแม่นยำน้อยลง

รูปที่ 4.13-4.16 (ภาพลำดับเลขคี่) แสดงภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนของถั่วลิสงกับเศษไม้ ถั่วแดงกับลูกเหล็ก ถั่วแดงกับเศษหิน และถั่วเหลืองกับเศษไม้ ตามลำดับ ที่จำนวนวัตต์ต่าง ๆ และรูปที่ 4.25-4.28 (ภาพลำดับเลขคู่) แสดงภาพที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งการตรวจสอบภาพถ่ายด้วยโปรแกรมจะไม่สามารถตรวจสอบ เศษไม้ เศษหิน และลูกเหล็ก ได้โดยตรง จำเป็นต้องตรวจสอบเมล็ดพืช และพื้นหลังก่อน จากนั้นจึงนำพื้นที่ของเมล็ดพืชและพื้นที่ของพื้นหลังมาลบกับพื้นที่ของภาชนะ สำหรับภาพถ่ายความร้อนสามารถตรวจสอบได้ตามปกติ

ผลการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของพื้นที่ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนของเมล็ดพืช ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของพื้นที่ ของภาพถ่ายเกิดจากเงาจากการให้แสงไฟส่งผลให้โทนสีของภาพต่างไปจากความจริง การเบียดกันของสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชเมื่อจำนวนเมล็ดพืชเพิ่มขึ้นทำให้สิ่งแปลกปลอมบางชิ้นถูกบดบัง และข้อจำกัดของโปรแกรมเมื่อเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ตรวจสอบมีโทนสีที่ใกล้เคียงกันจะทำให้มีความผิดพลาดมากขึ้น และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกรณีของภาพถ่ายความร้อนเกิดจากแผ่รังสีความร้อนไปมาระหว่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่อยู่ใกล้กัน ส่งผลทำให้สีที่เกิดขึ้นจากการคายความร้อนมีโทนสีที่ใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 4.29

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมโดยใช้ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนที่จำนวนเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเดียวกัน พบว่าสามารถจัดกลุ่มตัวอย่างได้ 4 กลุ่มดังนี้

- กลุ่มที่มีสีแตกต่างกัน เหมาะกับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย เช่น ถั่วลิสงกับพลาสติก ถั่วแดงกับพลาสติก ถั่วเหลืองกับพลาสติก ถั่วเหลืองกับหิน ถั่วแดงกับไม้
- กลุ่มที่มีสีเหมือนกันแต่รูปร่างต่างกัน เหมาะกับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย เช่น ถั่วลิสงกับไม้ และถั่วเหลืองกับไม้
- กลุ่มที่มีความจุกความร้อนแตกต่างกัน เหมาะกับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน เช่น ถั่วลิสงกับเศษหิน และถั่วแดงกับเศษหิน ซึ่งความแตกต่างที่เกิดในภาพถ่ายความร้อนเป็นผลมาจากการรับพลังงานของถั่วแดง ถั่วลิสง กับเศษหิน และพลังงานรังสีอินฟราเรดที่กล้องได้รับแสดงดังตารางที่ 4.2 อย่างไรก็ดีตามความสามารถในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายจะลดลงเมื่อเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีระยะห่างน้อยแสดงดังรูปที่ 4.29 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่ได้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

- กลุ่มที่พื้นผิวของสิ่งแปลกปลอมมีความมันวาว และมีประสิทธิภาพแผ่รังสีความร้อนที่ต่ำ ในกลุ่มนี้จะไม่เหมาะกับการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายความร้อนเพราะกล้องถ่ายภาพความร้อน

รับรังสีความร้อนที่เกิดจากการสะท้อนแทน จากเมล็ดพืช จึงทำให้ไม่เกิดความแตกต่างระหว่างสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืชแสดงดังรูปที่ 4.30 จึงต้องตรวจสอบด้วยภาพถ่าย เช่น เมล็ดพืชกับลูกเหล็ก อย่างไรก็ตามหากสีของสิ่งแปลกปลอมที่มีพื้นผิวมันวาวใกล้เคียงกับ เมล็ดพืชจะไม่สามารถตรวจสอบได้เช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบพื้นที่เฉลี่ย 3 ครั้ง ที่ได้จากการวัดและพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย

ชนิด	จำนวน (เมตร)	เศษหิน 20 ชั้น		เศษพลาสติก 20 ชั้น		เศษไม้ 20 ชั้น		ลูกเหล็ก 20 ชั้น	
		Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.
ถั่วลิสง	20	11.19 ± 0.02	15.02 ± 0.07	19.41 ± 0.07	2.104 ± 0.01	11.31 ± 0.00	5.63 ± 0.18	3.37 ± 0.06	14.12 ± 0.12
	30	13.83 ± 0.08	15.25 ± 0.11	18.74 ± 0.12	13.35 ± 0.02	8.81 ± 0.04	14.64 ± 0.14	4.99 ± 0.24	27.02 ± 0.00
	40	16.84 ± 0.04	40.35 ± 0.06	17.75 ± 0.05	17.95 ± 0.06	8.01 ± 0.02	22.38 ± 0.07	6.21 ± 0.18	58.29 ± 0.11
	50	17.37 ± 0.12	44.73 ± 0.18	16.60 ± 0.04	23.28 ± 0.01	16.18 ± 0.33	56.75 ± 0.49	8.63 ± 0.12	119.88 ± 0.04
	60	30.53 ± 0.13	154.38 ± 0.49	14.33 ± 0.06	33.74 ± 0.04	16.53 ± 0.15	60.40 ± 0.68	12.25 ± 0.07	211.96 ± 0.33
	70	11.67 ± 0.04	2.74 ± 0.06	20.76 ± 0.07	4.01 ± 0.14	10.72 ± 0.18	3.92 ± 0.04	4.14 ± 0.06	5.41 ± 0.02
ถั่วแดง	20	12.40 ± 0.02	3.35 ± 0.07	20.61 ± 0.00	4.73 ± 0.07	10.74 ± 0.06	4.04 ± 0.11	4.78 ± 0.14	21.64 ± 0.13
	30	17.41 ± 0.01	45.11 ± 0.04	20.57 ± 0.04	4.92 ± 0.02	11.30 ± 0.13	9.50 ± 0.08	6.78 ± 0.02	72.62 ± 0.06
	40	20.21 ± 0.14	68.41 ± 0.13	19.87 ± 0.12	8.11 ± 0.15	13.16 ± 0.18	27.56 ± 0.33	7.22 ± 0.07	83.89 ± 0.12
	50	10.77 ± 0.12	10.22 ± 0.49	20.42 ± 0.07	0.63 ± 0.13	10.84 ± 0.12	5.01 ± 0.13	3.13 ± 0.00	20.29 ± 0.33
	60	10.60 ± 0.08	11.66 ± 0.33	20.02 ± 0.13	7.44 ± 0.14	10.97 ± 0.15	6.26 ± 0.07	3.10 ± 0.02	21.11 ± 0.12
	70	10.60 ± 0.14	11.70 ± 0.28	19.72 ± 0.33	8.86 ± 0.18	9.65 ± 0.04	6.48 ± 0.12	4.81 ± 0.07	22.56 ± 0.18
ถั่วเหลือง	20	10.01 ± 0.18	16.62 ± 0.42	19.67 ± 0.18	9.07 ± 0.33	11.06 ± 0.02	7.12 ± 0.01	5.07 ± 0.04	29.15 ± 0.13
	30	10.00 ± 0.49	16.71 ± 0.21	19.37 ± 0.02	10.47 ± 0.26	11.06 ± 0.15	7.20 ± 0.07	5.36 ± 0.15	36.55 ± 0.33
	40	9.650 ± 0.15	19.59 ± 0.24	18.25 ± 0.06	15.65 ± 0.22	11.54 ± 0.18	11.85 ± 0.33	5.63 ± 0.11	43.30 ± 0.49
	50	14.62 ± 0.33	21.85 ± 0.28	17.79 ± 0.14	17.78 ± 0.49	11.56 ± 0.11	12.05 ± 0.22	7.66 ± 0.33	95.00 ± 0.24
	60								
	70								

หมายเหตุ พื้นที่จริงของสิ่งแปลกปลอมได้แก่ เศษหิน เศษพลาสติก เศษไม้ และลูกเหล็ก มีค่า 12.00 10.32 3.93 และ 21.63 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบพื้นที่เฉลี่ย 3 ครั้ง ที่ได้จากการวัดและพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรมตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน

ชนิด	จำนวน (เม็ล็ด)	เศษหิน 20 ชิ้น		เศษพลาสติก 20 ชิ้น		เศษไม้ 20 ชิ้น	
		Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.
ถั่วลิสง	20	11.76 ± 0.07	1.99 ± 0.02	21.18 ± 0.02	2.10 ± 0.00	10.58 ± 0.02	11.90 ± 0.04
	30	9.80 ± 0.03	18.34 ± 0.08	18.31 ± 0.07	15.35 ± 0.11	9.04 ± 0.08	12.44 ± 0.13
	40	9.72 ± 0.10	19.03 ± 0.03	17.39 ± 0.15	19.62 ± 0.04	13.07 ± 0.04	26.60 ± 0.07
	50	16.03 ± 0.12	33.62 ± 0.07	26.03 ± 0.07	20.35 ± 0.06	13.90 ± 0.02	34.65 ± 0.18
	60	16.27 ± 0.08	57.64 ± 0.15	34.20 ± 0.09	58.12 ± 0.08	14.19 ± 0.14	37.51 ± 0.04
ถั่วแดง	20	11.51 ± 0.08	1.48 ± 0.03	21.61 ± 0.04	4.03 ± 0.00	11.47 ± 0.07	11.13 ± 0.00
	30	14.07 ± 0.12	17.31 ± 0.05	23.39 ± 0.02	8.10 ± 0.02	12.65 ± 0.12	22.56 ± 0.02
	40	14.94 ± 0.11	24.49 ± 0.07	17.07 ± 0.13	21.11 ± 0.04	12.78 ± 0.11	23.85 ± 0.04
	50	8.99 ± 0.09	25.10 ± 0.11	39.67 ± 0.12	83.52 ± 0.18	13.08 ± 0.04	26.73 ± 0.07
ถั่วเหลือง	20	12.57 ± 0.07	11.04 ± 0.15	21.50 ± 0.08	0.62 ± 0.00	11.27 ± 0.07	9.23 ± 0.11
	30	13.10 ± 0.12	9.15 ± 0.11	20.57 ± 0.04	4.91 ± 0.02	12.08 ± 0.04	17.09 ± 0.06
	40	10.53 ± 0.11	12.26 ± 0.08	23.41 ± 0.05	8.24 ± 0.07	13.50 ± 0.02	30.84 ± 0.12
	50	9.91 ± 0.18	17.40 ± 0.22	24.61 ± 0.07	13.75 ± 0.05	6.76 ± 0.11	34.54 ± 0.13
	60	9.83 ± 0.14	18.08 ± 0.33	25.00 ± 0.12	15.55 ± 0.02	14.01 ± 0.15	35.72 ± 0.07
	70	15.21 ± 0.11	26.74 ± 0.18	28.72 ± 0.11	32.78 ± 0.08	14.39 ± 0.04	39.43 ± 0.04
	80	17.25 ± 0.25	43.72 ± 0.12	33.39 ± 0.18	54.34 ± 0.33	4.78 ± 0.49	53.65 ± 0.15

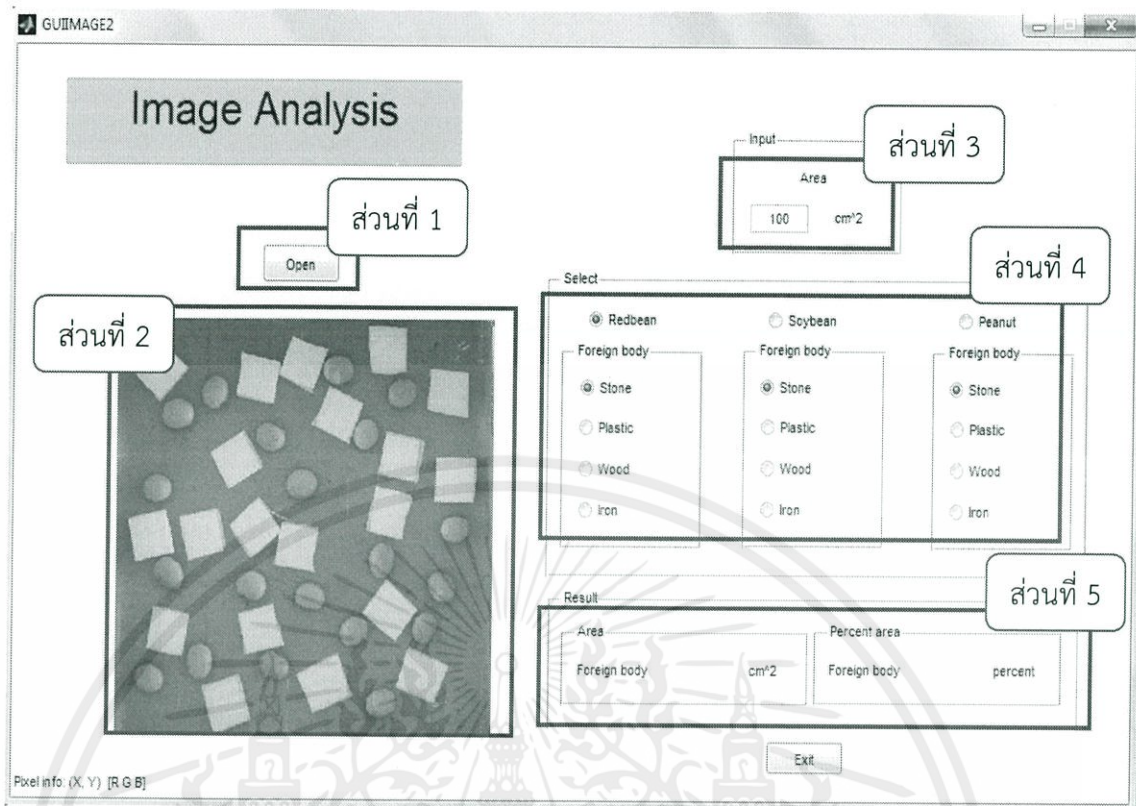
หมายเหตุ พื้นที่จริงของสิ่งแปลกปลอมได้แก่ เศษหิน เศษพลาสติก เศษไม้ และลูกเหล็ก มีค่า 12.00 10.32 3.93 และ 21.63 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความสามารถในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน

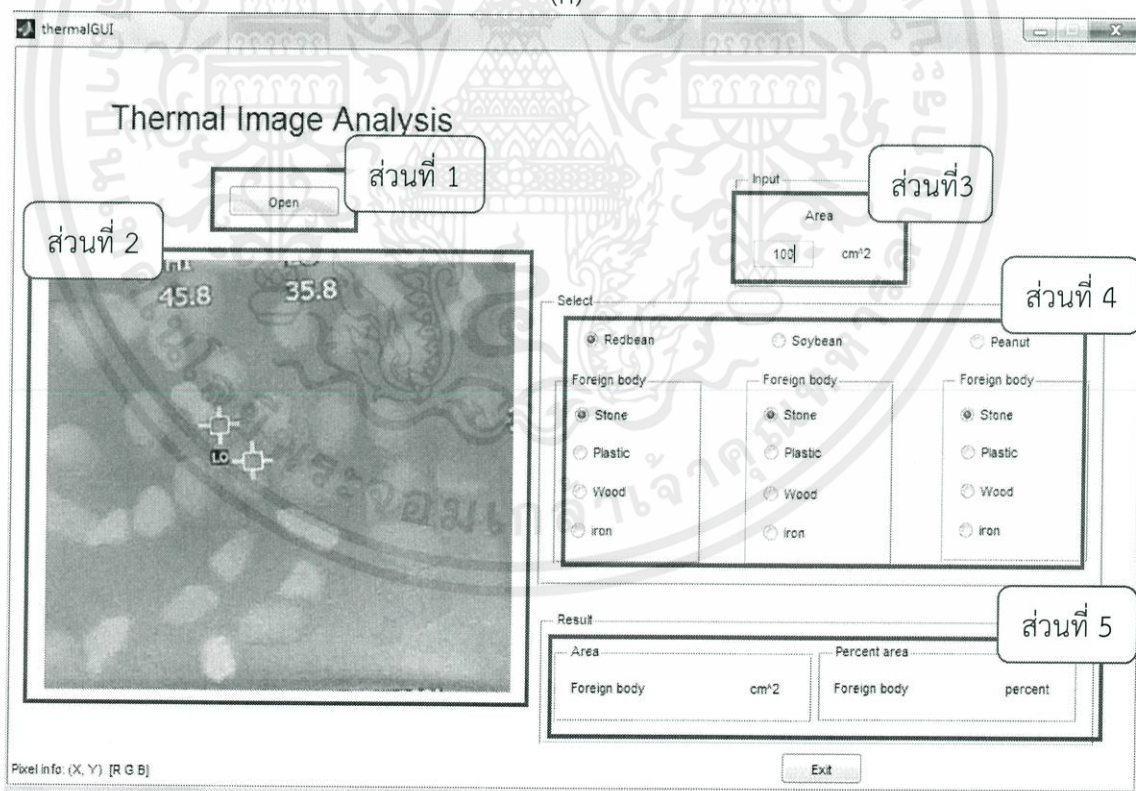
เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (% Error)	
		ภาพถ่าย	ภาพถ่ายความร้อน
ถั่วลิสง	เศษพลาสติก	2.10 ± 0.01 a	1.95 ± 0.00 a
	เศษหิน	15.02 ± 0.07 b	1.99 ± 0.02 a
	เศษไม้	5.63 ± 0.18 a	11.90 ± 0.04 b
	ลูกเหล็ก	14.12 ± 0.12	
ถั่วแดง	เศษพลาสติก	4.01 ± 0.14 a	4.03 ± 0.00 a
	เศษหิน	2.74 ± 0.06 b	1.48 ± 0.02 a
	เศษไม้	3.92 ± 0.04 a	11.13 ± 0.00 b
	ลูกเหล็ก	5.41 ± 0.02	
ถั่วเหลือง	เศษพลาสติก	0.63 ± 0.13 a	0.62 ± 0.00 a
	เศษหิน	10.22 ± 0.49 a	11.04 ± 0.15 a
	เศษไม้	5.01 ± 0.13 a	9.23 ± 0.11 b
	ลูกเหล็ก	20.29 ± 0.33	

หมายเหตุ เมล็ดพืช 20 เมล็ดกับสิ่งแปลกปลอม 20 ชิ้น และตัวอักษรภาษาอังกฤษตามหลังต่างกันในแนวนอน (a และ b) แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) จากการทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

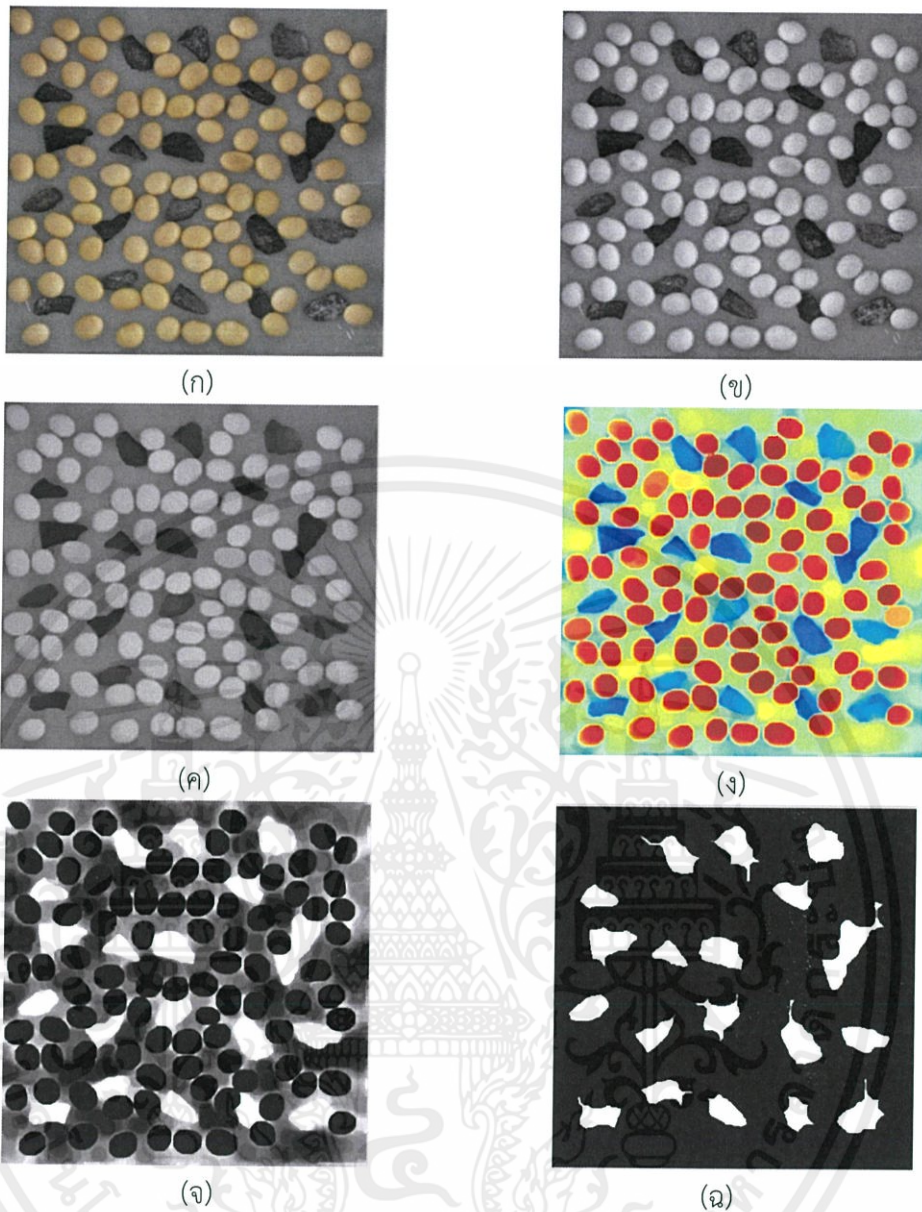


(ก)



(ข)

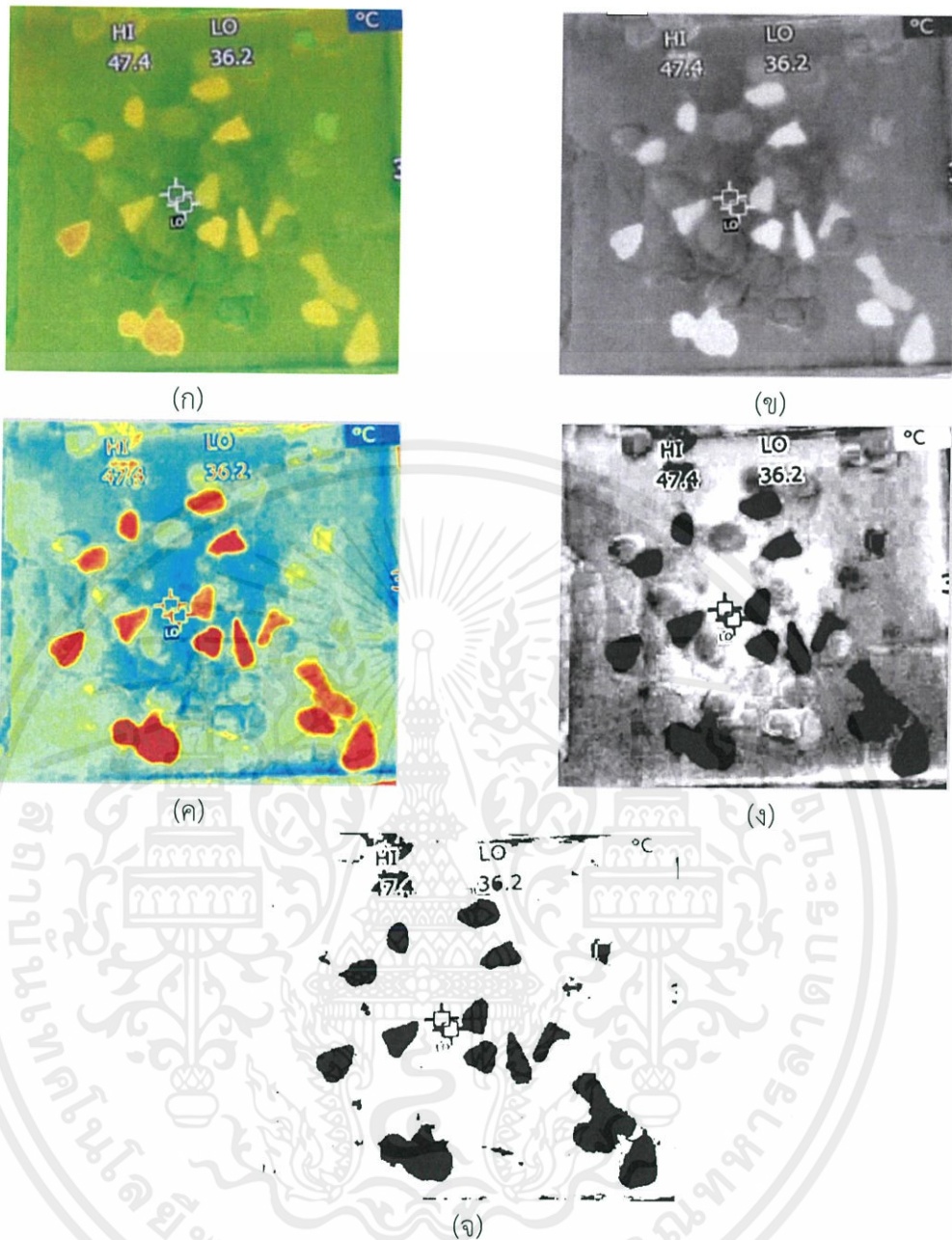
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานับ ไม่นับค่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.1 โปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วย (ก) ภาพถ่าย และ (ข) ภาพถ่ายความร้อน
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การประมวลผลภาพสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย

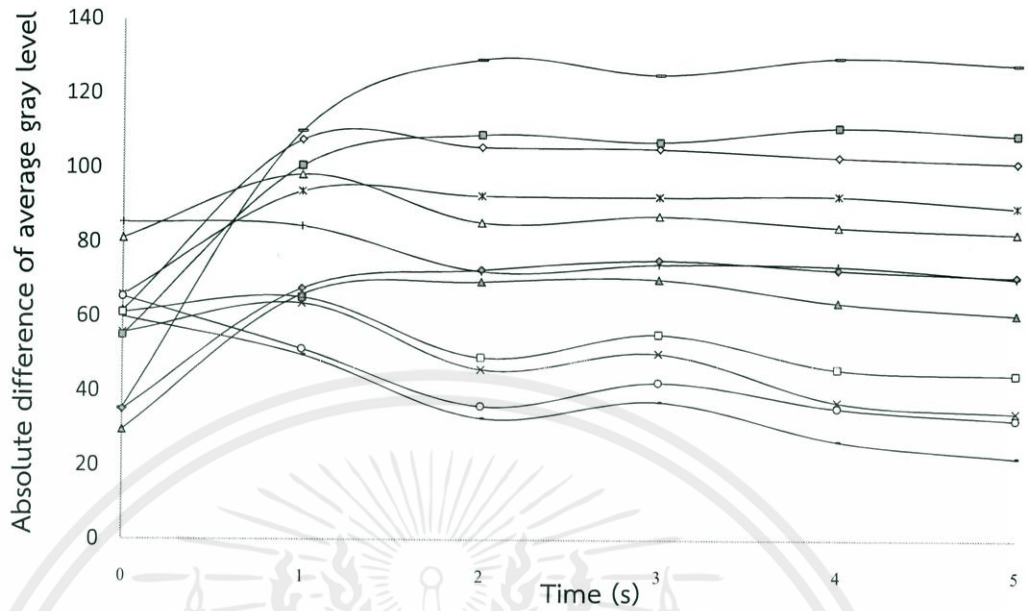
(ก) เก็บข้อมูลของภาพวัสดุทดลอง (ข) ปรับภาพเป็นสีเทาด้วยการแยกโทนสี (ค) ปรับภาพโดยอาศัยการตรวจสอบรูปร่าง (ง) เปลี่ยนโทนสีภาพให้ชัดเจนขึ้น (จ) ปรับภาพเป็นสีเทาด้วยการแยกโทนสี และ (ฉ) ปรับเทรชโฮลเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม หาพื้นที่สิ่งแปลกปลอม และหาเปอร์เซ็นต์สิ่งแปลกปลอมเพื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เฉลี่ยจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

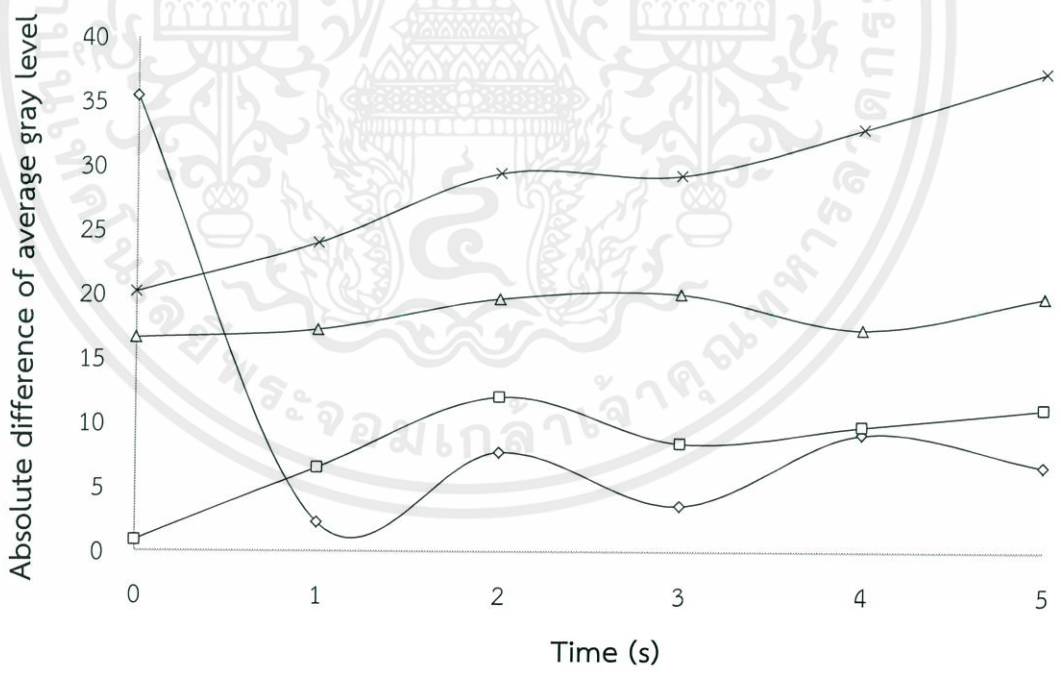


รูปที่ 4.3 การประมวลผลภาพสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน
 (ก) เก็บข้อมูลภาพความร้อนวัสดุทดลอง (ข) ปรับภาพสีเทาด้วยการแยกโทนสี (ค) เปลี่ยนโทนสีภาพให้ชัดเจนขึ้น (ง) ปรับภาพเป็นสีเทาด้วยการแยกโทนสี และ (จ) ปรับเทรชโฮลเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม หาพื้นที่สิ่งแปลกปลอม และหาเปอร์เซ็นต์สิ่งแปลกปลอมเพื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เฉลี่ยจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



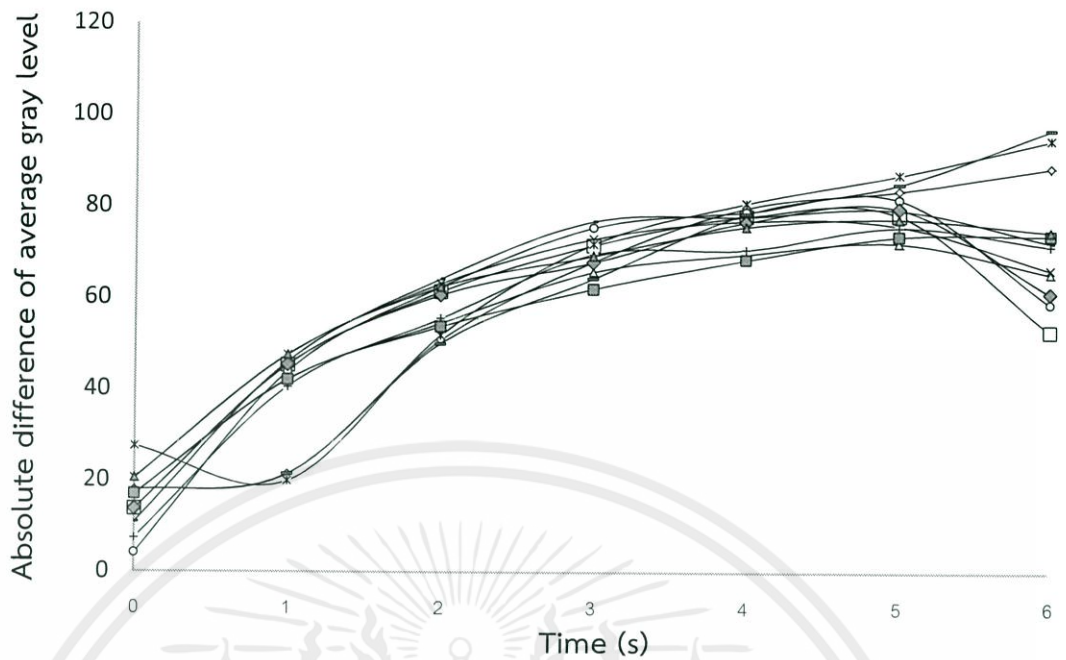
- ถั่วลิสง-เศษไม้
- ถั่วลิสง-หิน
- △ ถั่วลิสง-ลูกเหล็ก
- × ถั่วลิสง-ฟิวเจอร์บอร์ด
- × ถั่วเหลือง-เศษไม้
- ถั่วเหลือง-หิน
- + ถั่วเหลือง+ลูกเหล็ก
- ถั่วเหลือง-ฟิวเจอร์บอร์ด
- ถั่วแดง-เศษไม้
- ◇ ถั่วแดง-หิน
- ถั่วแดง-ลูกเหล็ก
- △ ถั่วแดง-ฟิวเจอร์บอร์ด



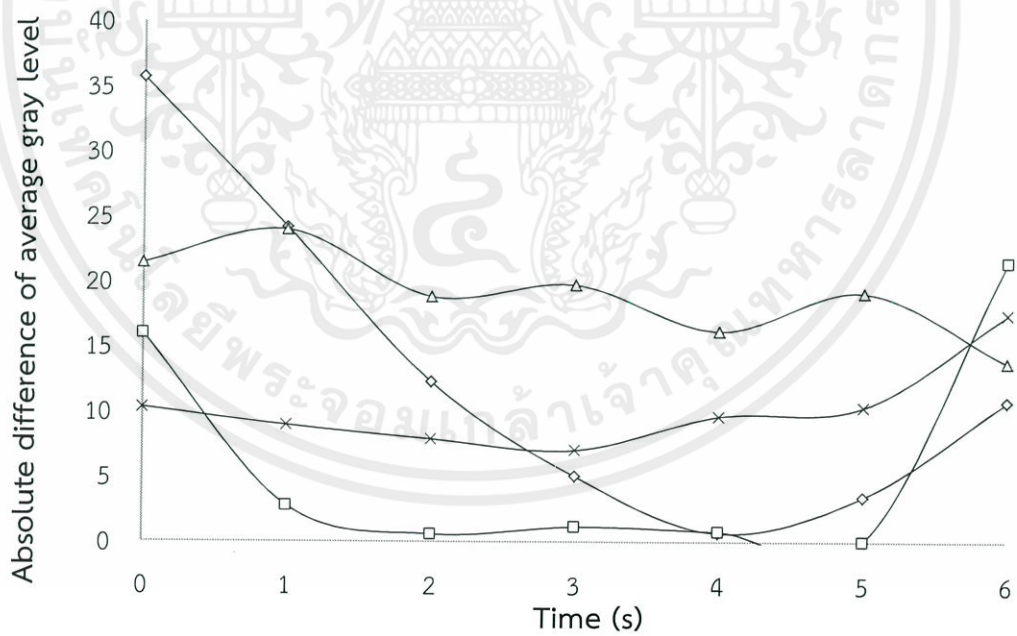
- ◇ พื้นหลัง-เศษไม้
- พื้นหลัง-หิน
- △ พื้นหลัง-ลูกเหล็ก
- × พื้นหลัง-ฟิวเจอร์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.4 ค1 Absolute difference of average gray level กับ เวลาให้ความร้อน (ก) 2 วินาที

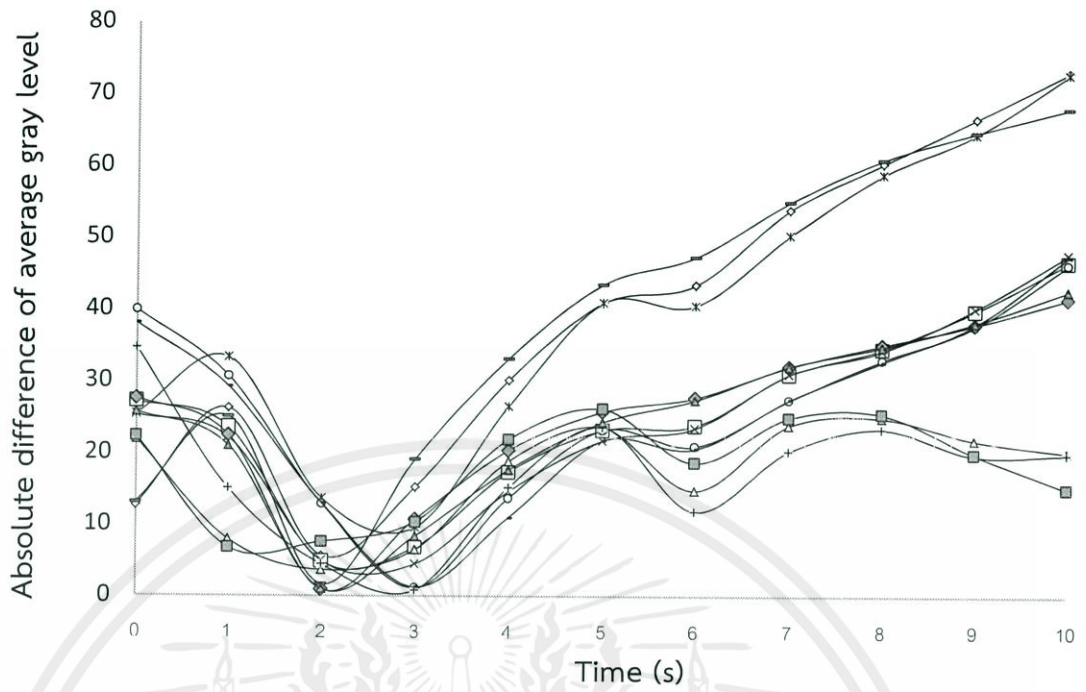


- ถั่วลิสง-เศษไม้
- ถั่วลิสง-หิน
- △ ถั่วลิสง-ลูกเหล็ก
- × ถั่วเหลือง-เศษไม้
- ถั่วเหลือง-หิน
- + ถั่วเหลือง+ลูกเหล็ก
- ถั่วเหลือง-พีวเจอร์บอร์ด
- ถั่วแดง-เศษไม้
- ◆ ถั่วแดง-หิน
- ถั่วแดง-ลูกเหล็ก
- ▲ ถั่วแดง-พีวเจอร์บอร์ด

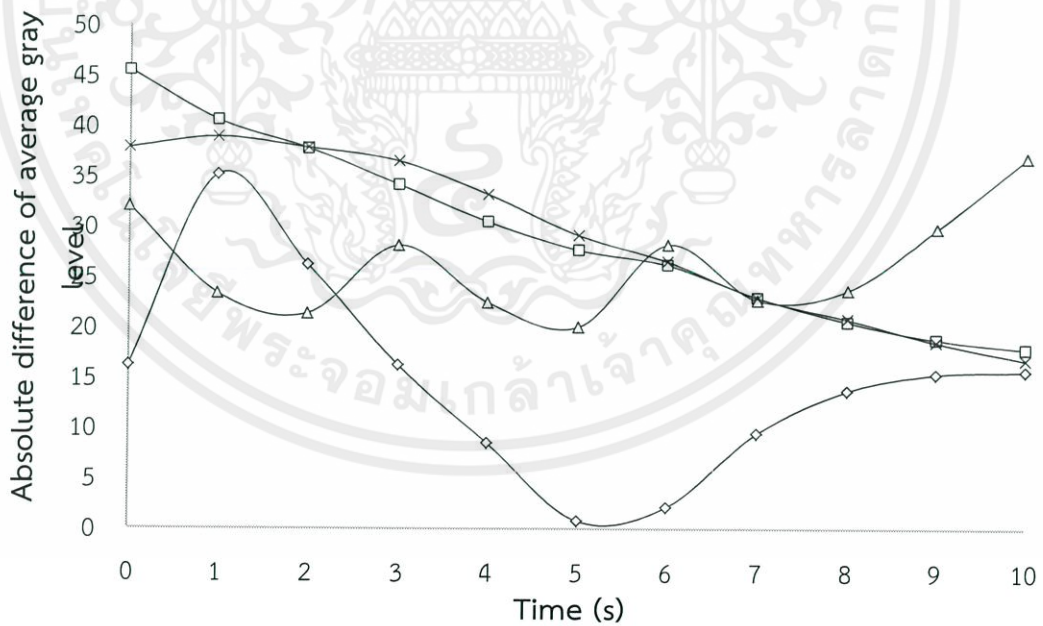


- ◇ พื้นหลัง-เศษไม้
- พื้นหลัง-หิน
- △ พื้นหลัง-ลูกเหล็ก
- × พื้นหลัง-พีวเจอร์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษ(ข)เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด **รูปที่ 4.4** ค่า Absolute difference of average gray level กับ เวลาให้ความร้อน (ข) 4 วินาที (ต่อ)



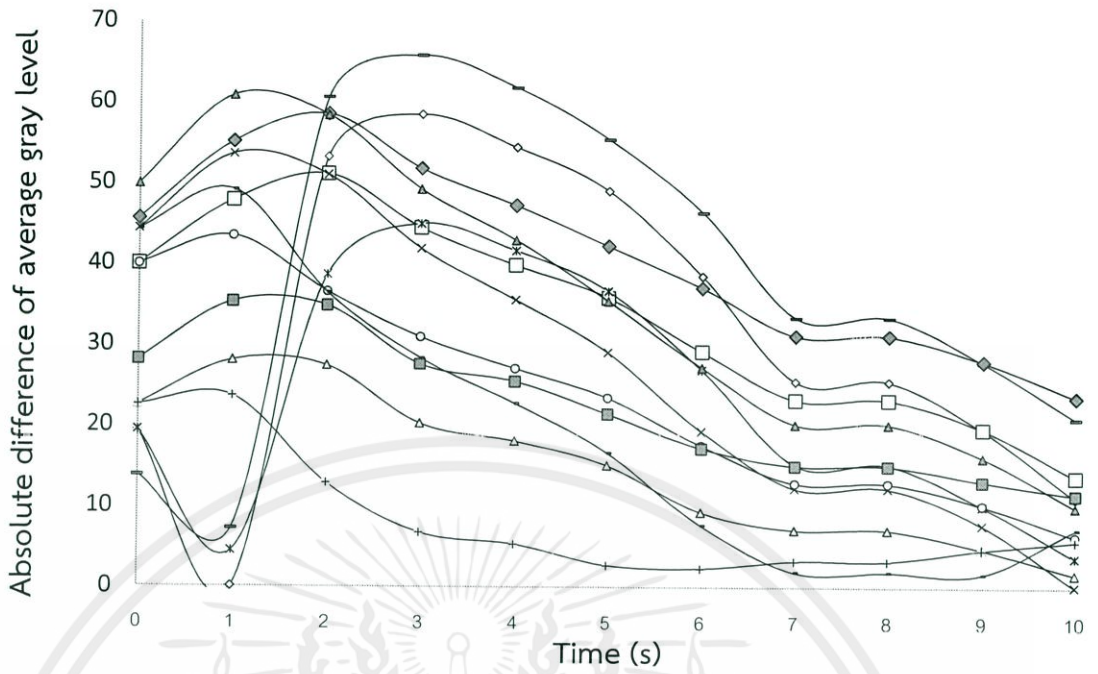
- ถั่วลิสง-เศษไม้
- ถั่วลิสง-หิน
- △ ถั่วลิสง-ลูกเหล็ก
- × ถั่วลิสง-ฟิวเจอร์บอร์ด
- ถั่วเหลือง-เศษไม้
- ถั่วเหลือง-หิน
- + ถั่วเหลือง+ลูกเหล็ก
- ถั่วเหลือง-ฟิวเจอร์บอร์ด
- ถั่วแดง-เศษไม้
- ◆ ถั่วแดง-หิน
- ถั่วแดง-ลูกเหล็ก
- △ ถั่วแดง-ฟิวเจอร์บอร์ด



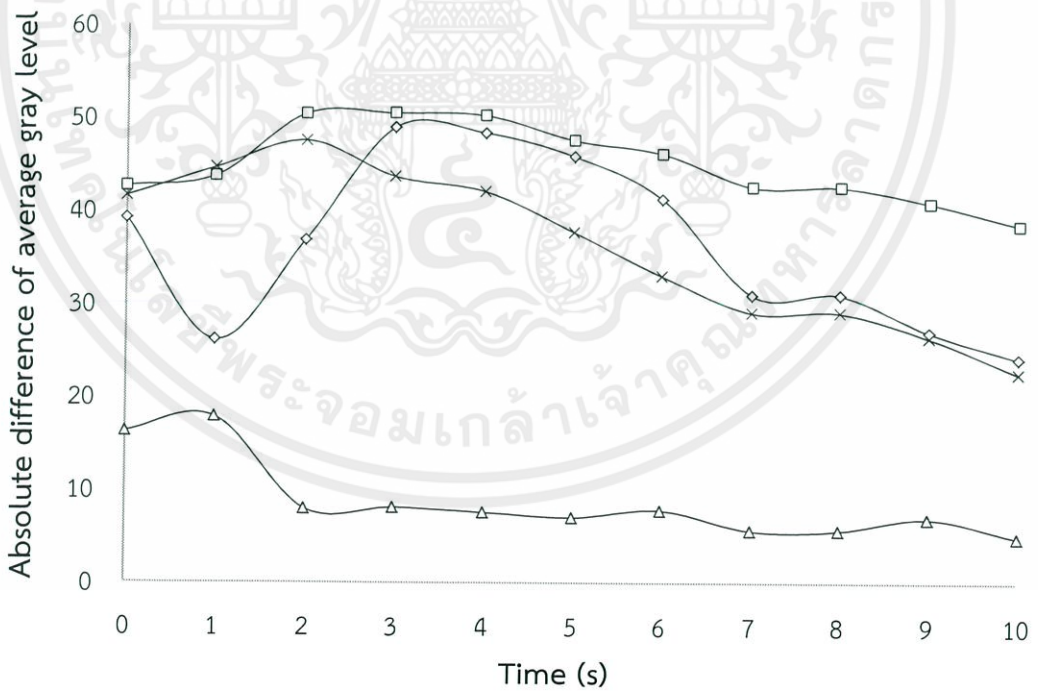
- ◇ พื้นหลัง-เศษไม้
- พื้นหลัง-หิน
- △ พื้นหลัง-ลูกเหล็ก
- × พื้นหลัง-ฟิวเจอร์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ค)

รูปที่ 4.4 ค่า Absolute difference of average gray level กับ เวลาให้ความร้อน (ค) 6 วินาที
(ต่อ)



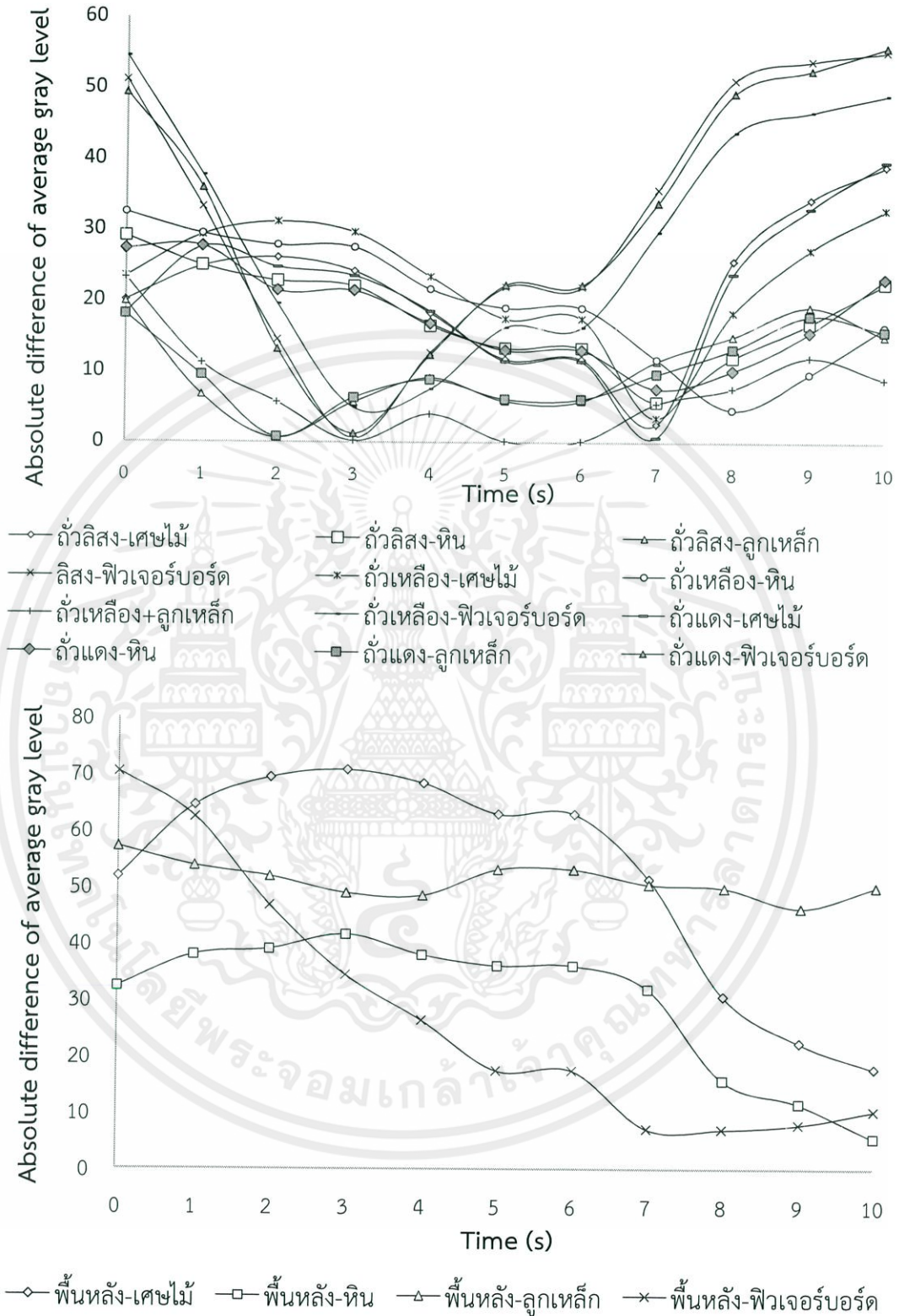
- ◇ ถั่วลิสง-เศษไม้
- ถั่วลิสง-หิน
- △ ถั่วลิสง-ลูกเหล็ก
- × ลิสง-ฟิวเจอร์บอร์ด
- * ถั่วเหลือง-เศษไม้
- ถั่วเหลือง-หิน
- + ถั่วเหลือง+ลูกเหล็ก
- ถั่วเหลือง-ฟิวเจอร์บอร์ด
- ถั่วแดง-เศษไม้
- ถั่วแดง-ลูกเหล็ก
- ▲ ถั่วแดง-ฟิวเจอร์บอร์ด



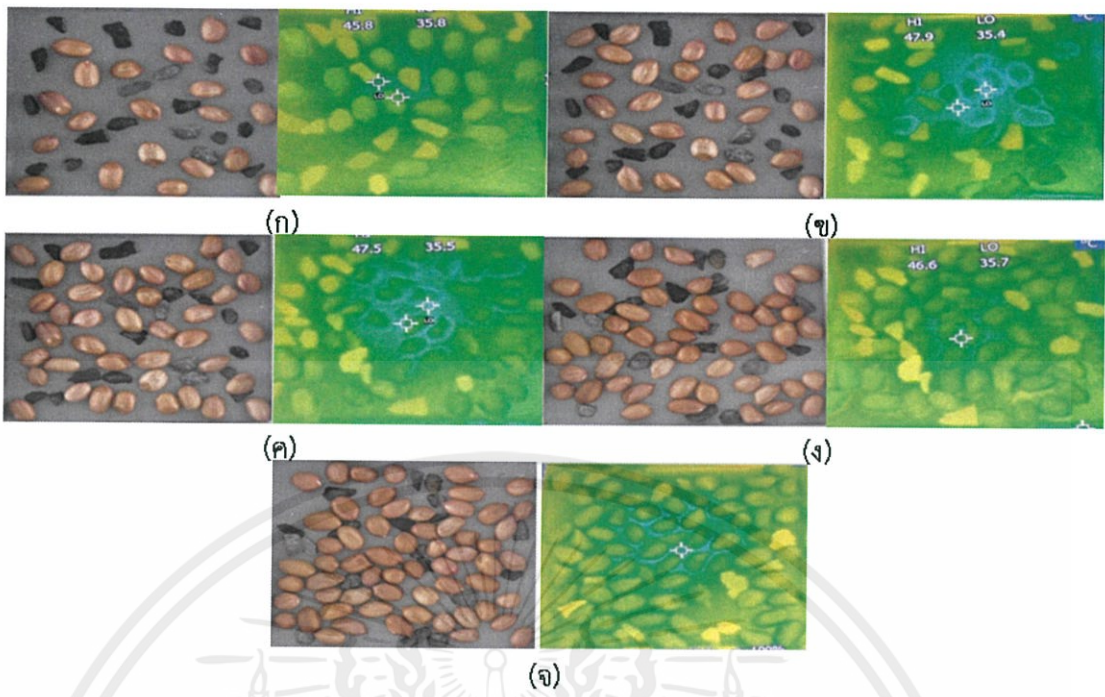
- ◇ พื้นหลัง-เศษไม้
- พื้นหลัง-หิน
- △ พื้นหลัง-ลูกเหล็ก
- × พื้นหลัง-ฟิวเจอร์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเชิงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต่อ(ง)้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

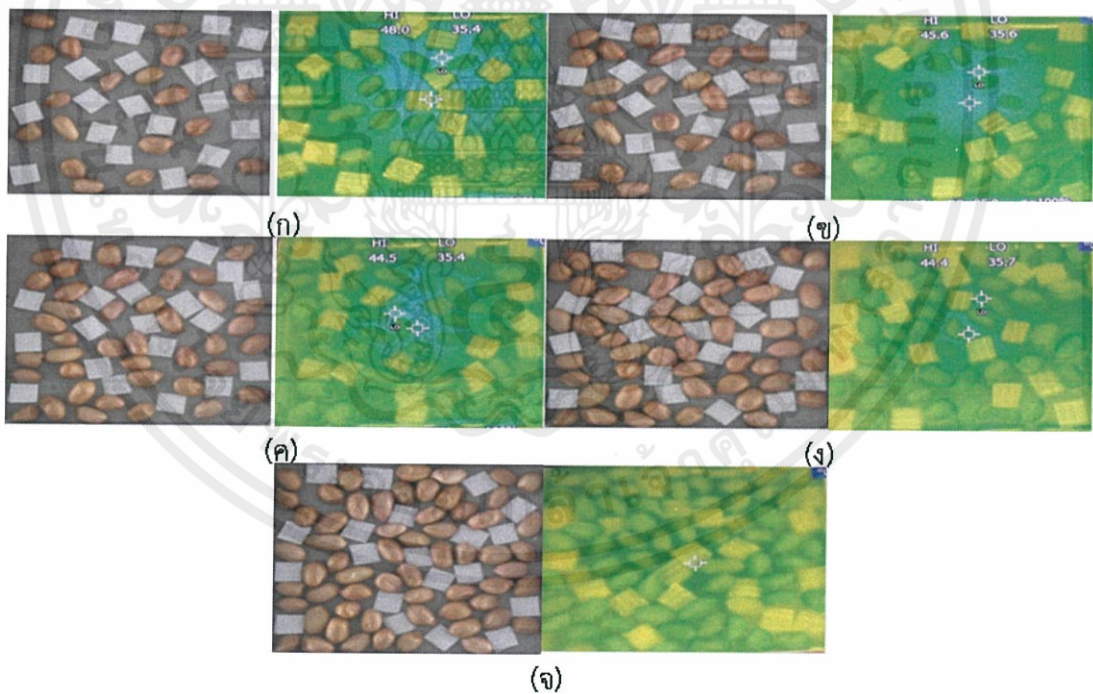
รูปที่ 4.4 ค่า Absolute difference of average gray level กับ เวลาให้ความร้อน (ง) 8 วินาที (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.4 ค่า Absolute difference of average gray level กับ เวลาให้ความร้อน (จ) 10 วินาที
 (ต่อ)

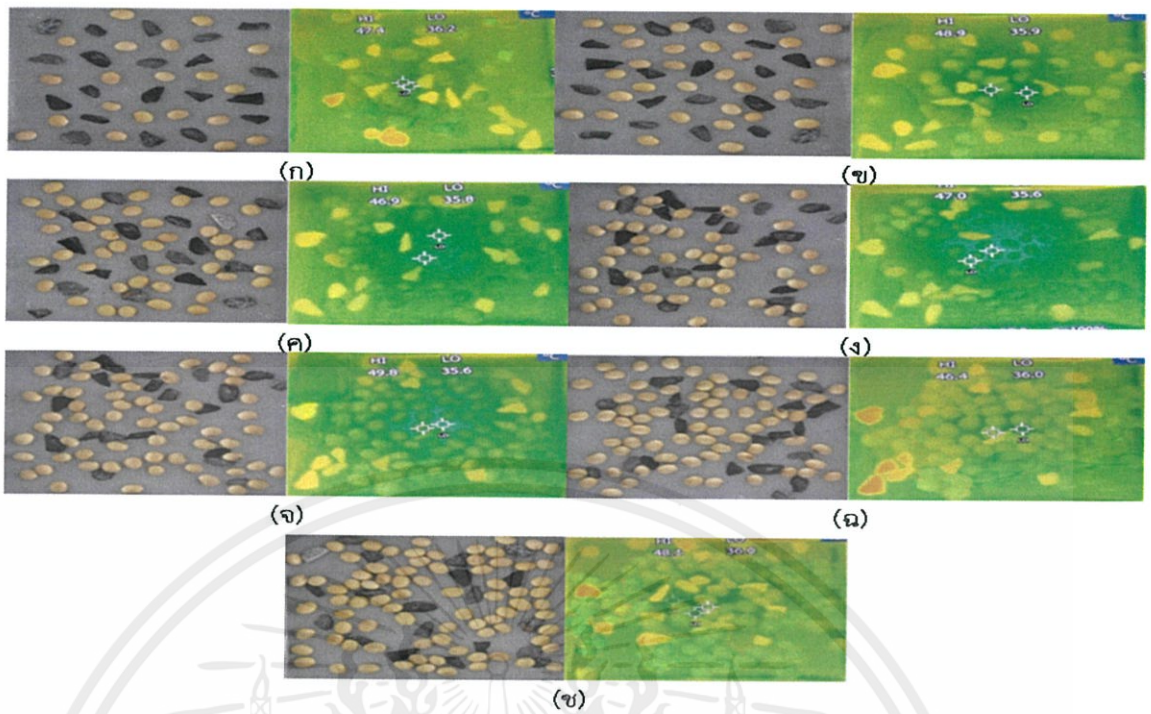


รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษหินจำนวน 20 ชิ้น

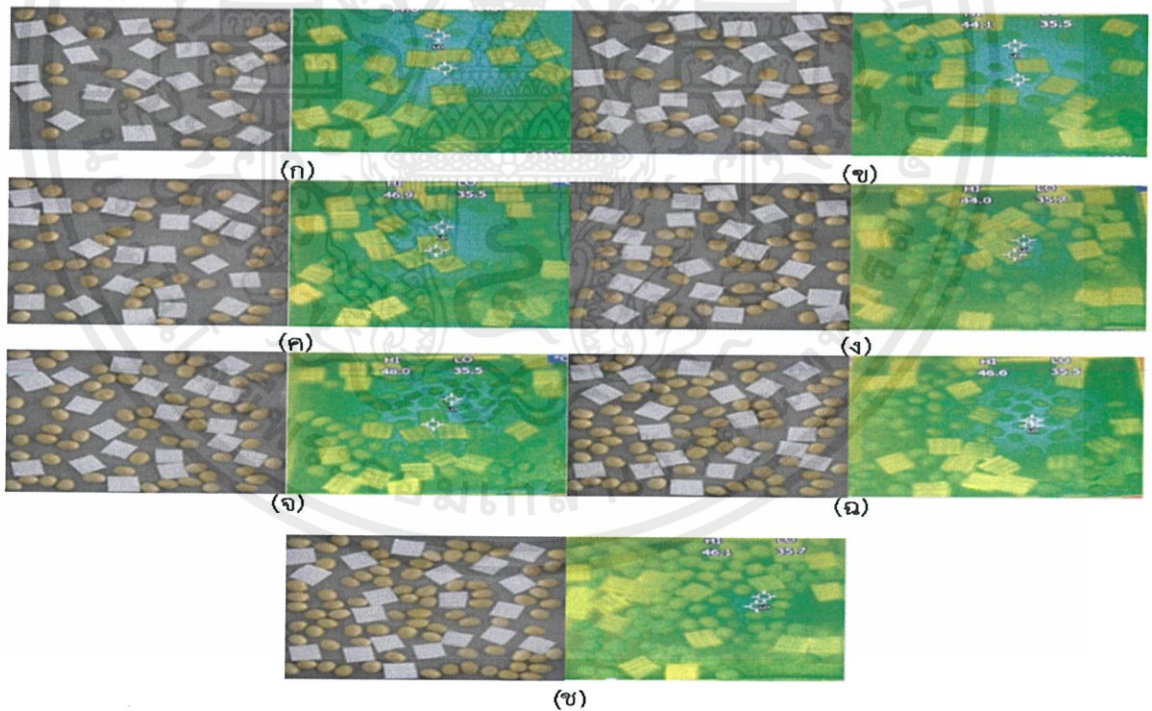


รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

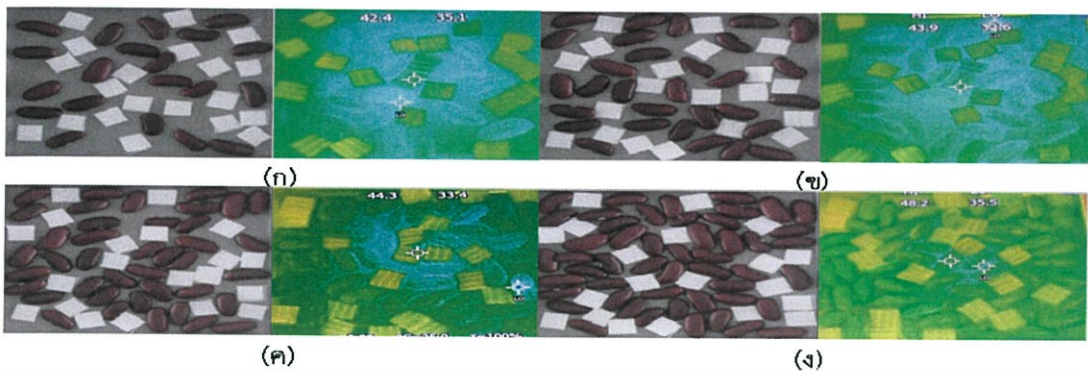


รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด (ช) 80 เมล็ด โดยมีเศษหินจำนวน 20 ชิ้น

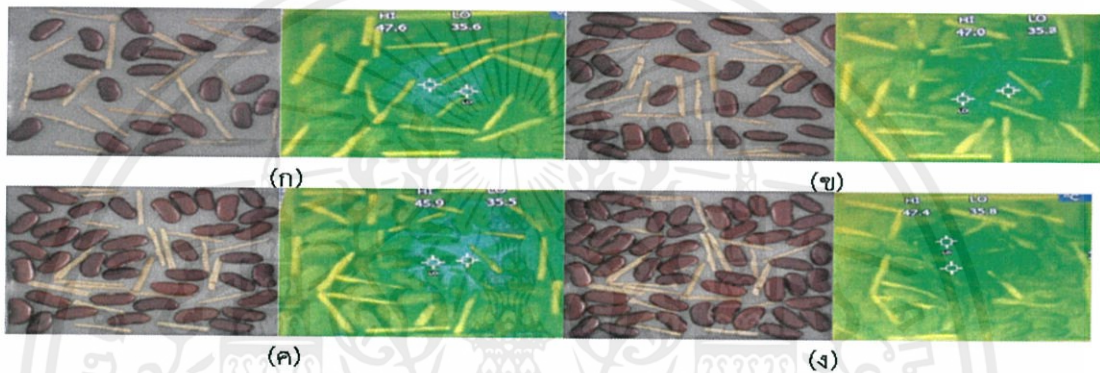


รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด (ช) 80 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น

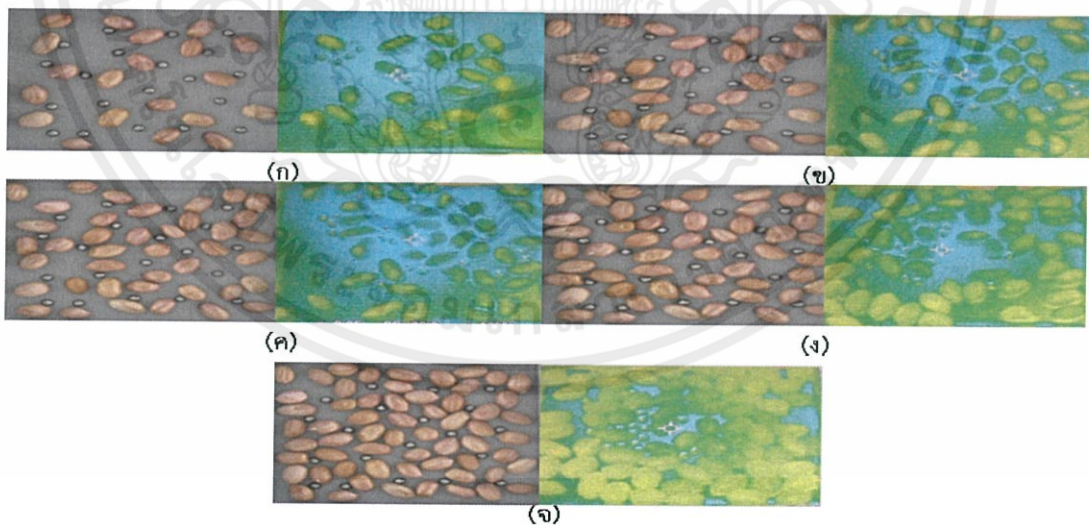
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น

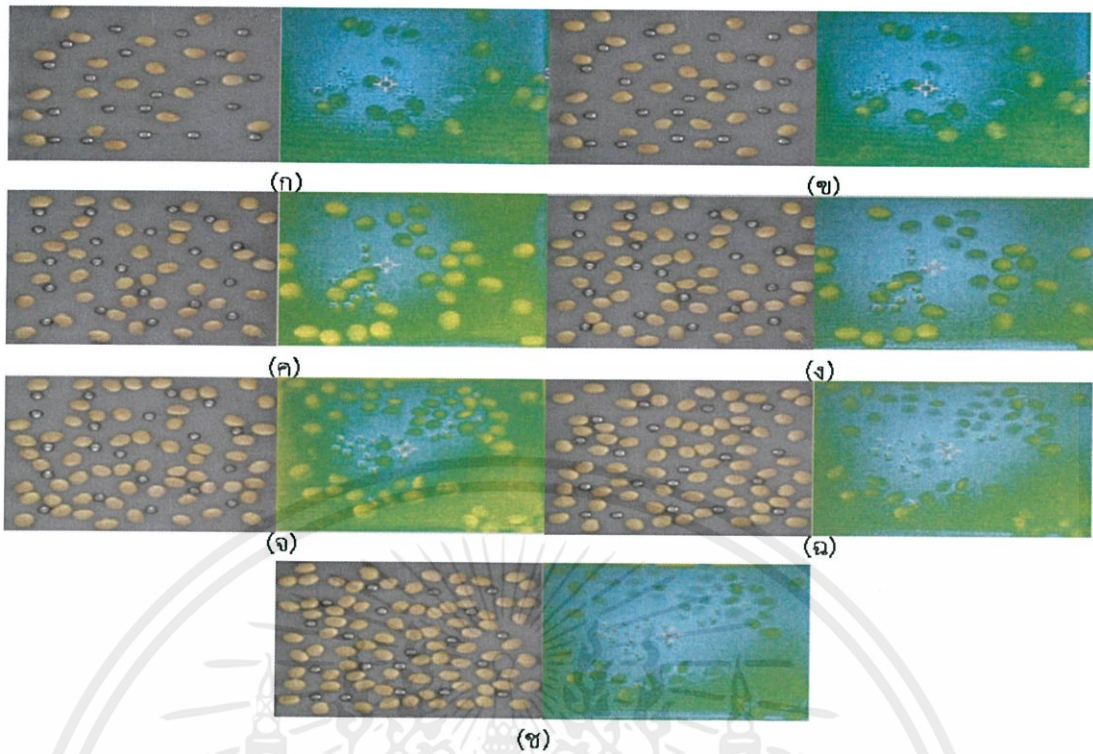


รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น

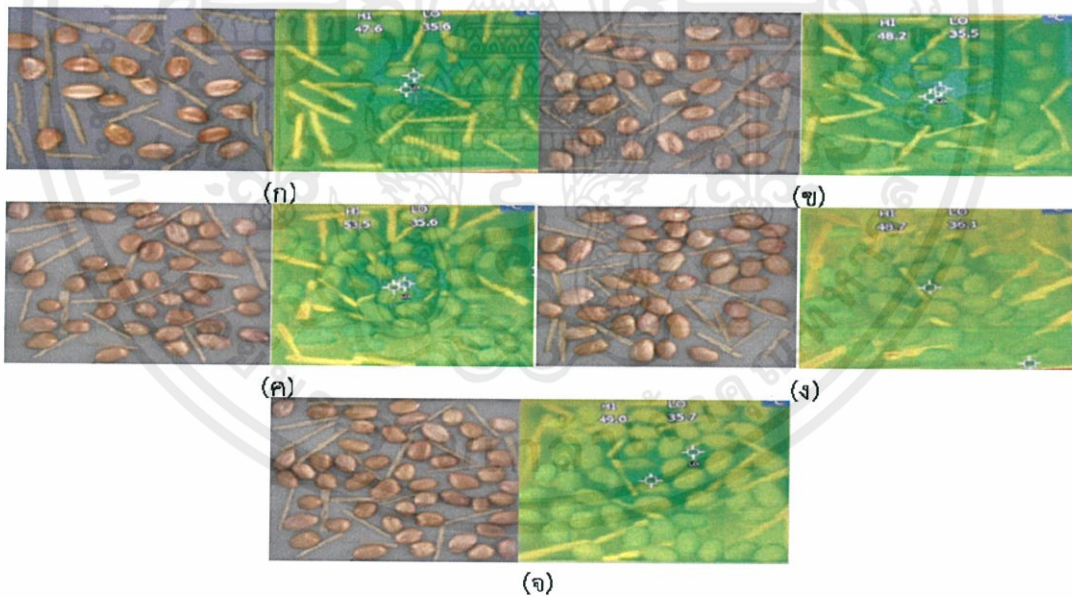


รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีลูกเหล็ก 20 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

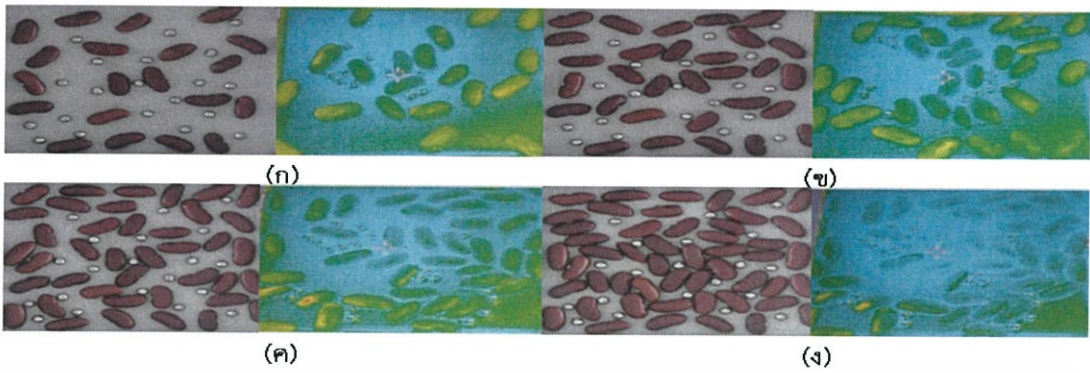


รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด และ(ฉ) 80 เมล็ด โดยมีลูกเหล็ก 20 ชิ้น

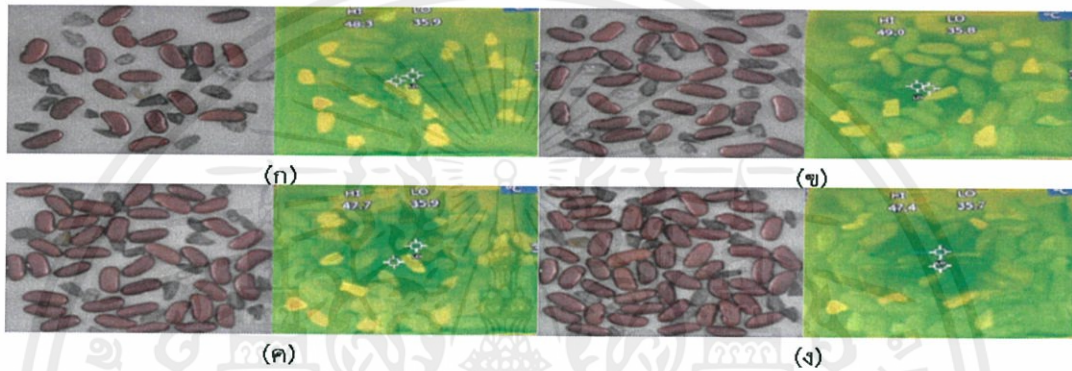


รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น

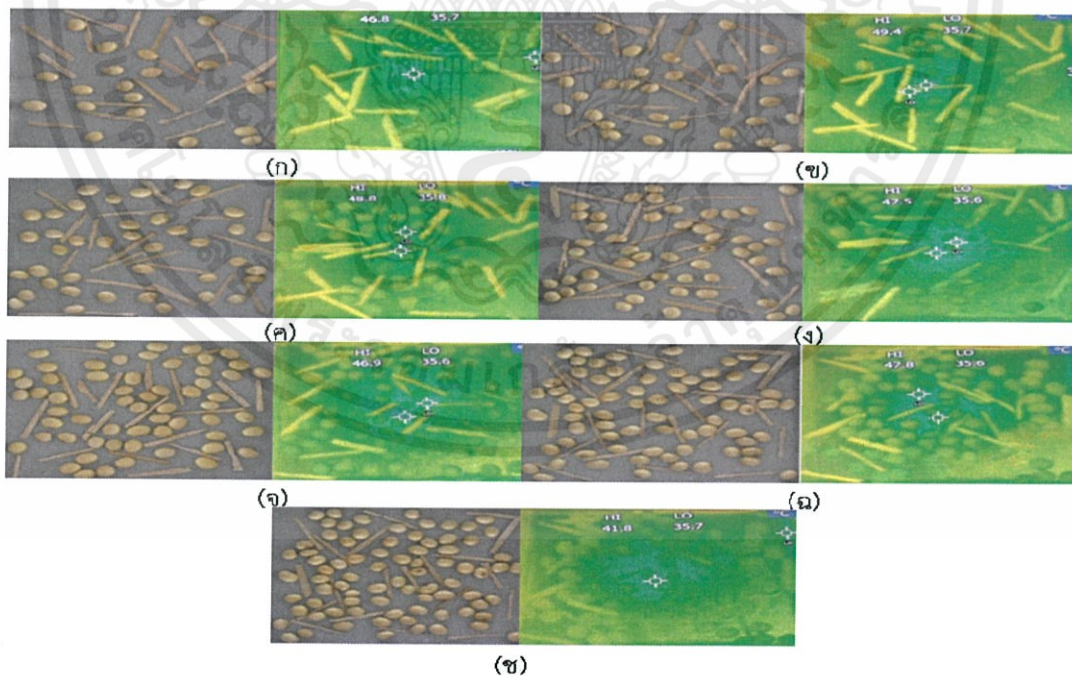
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



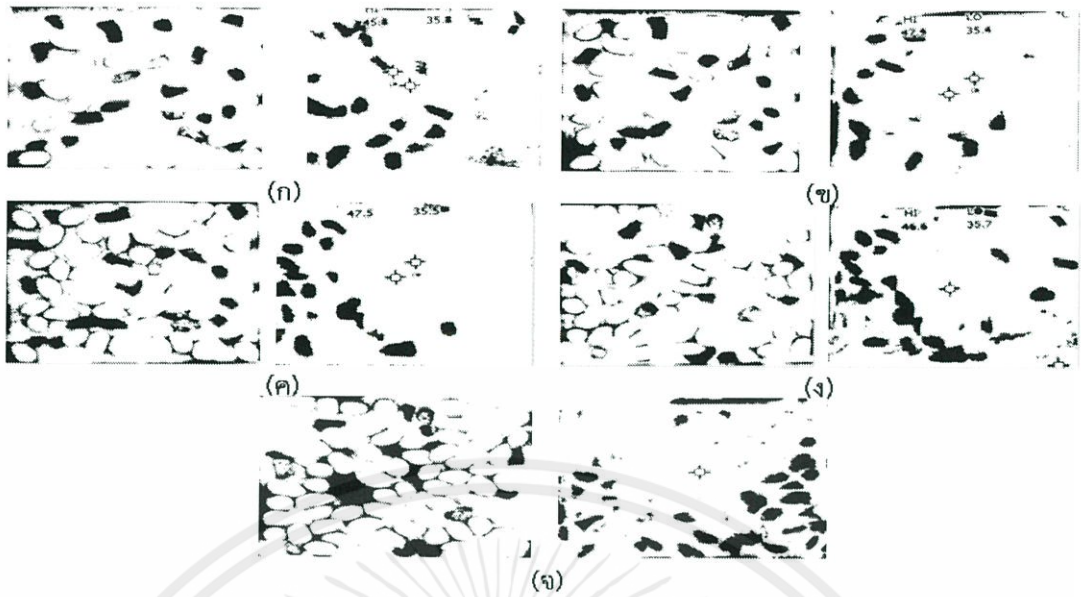
รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษหิน 20 ชิ้น



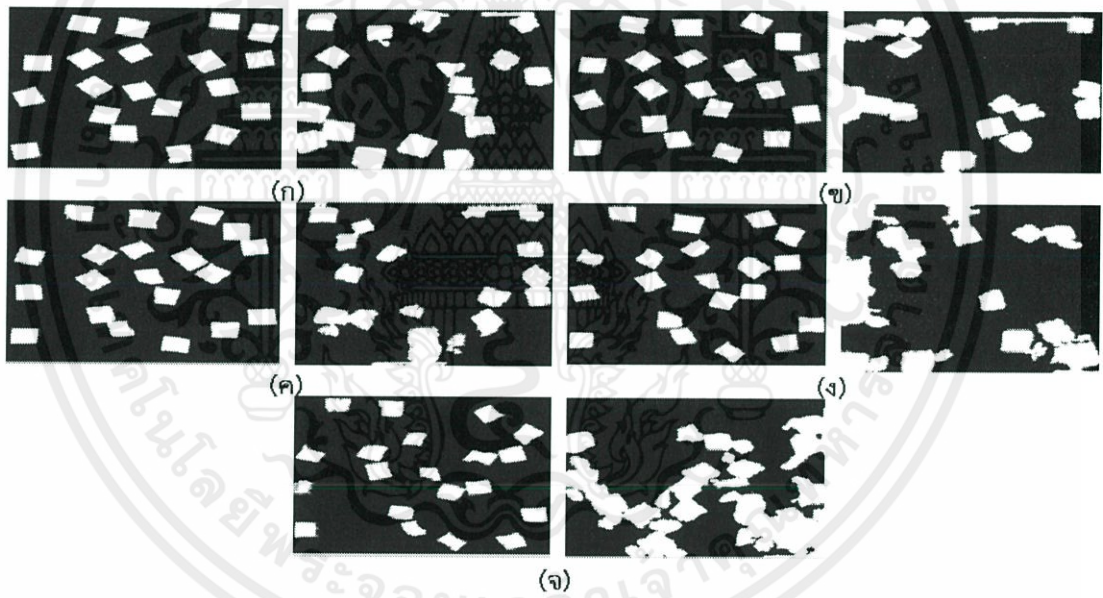
รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษหิน 20 ชิ้น



รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด และ (ฉ) 80 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น

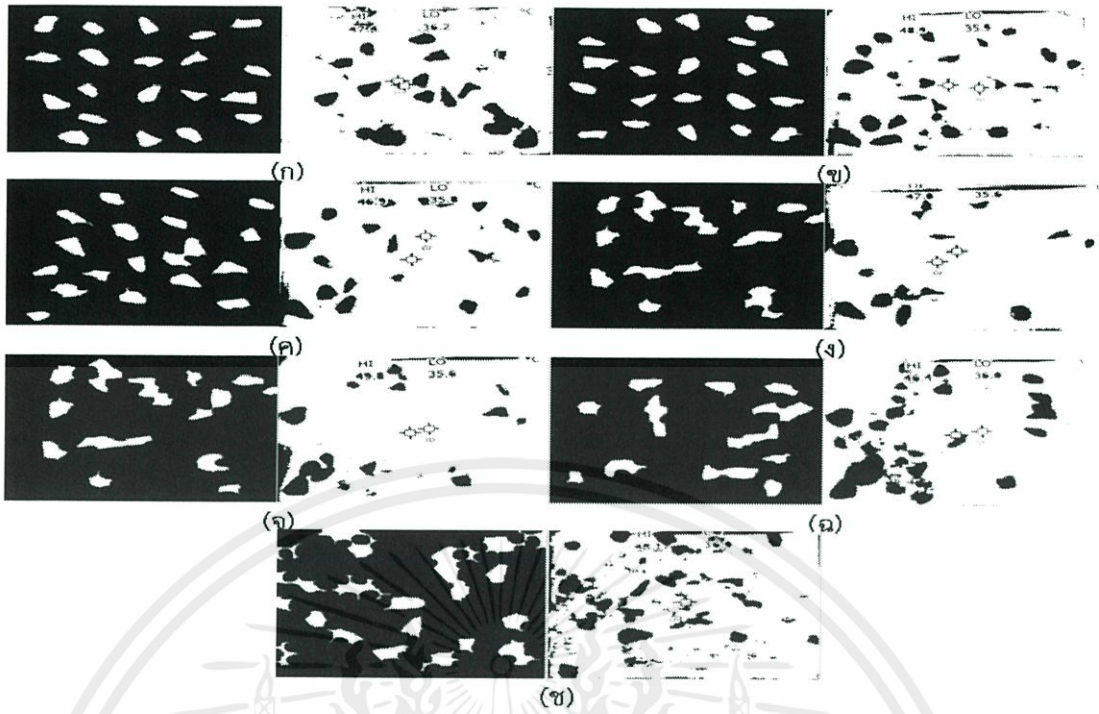


รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษหินจำนวน 20 ชิ้น

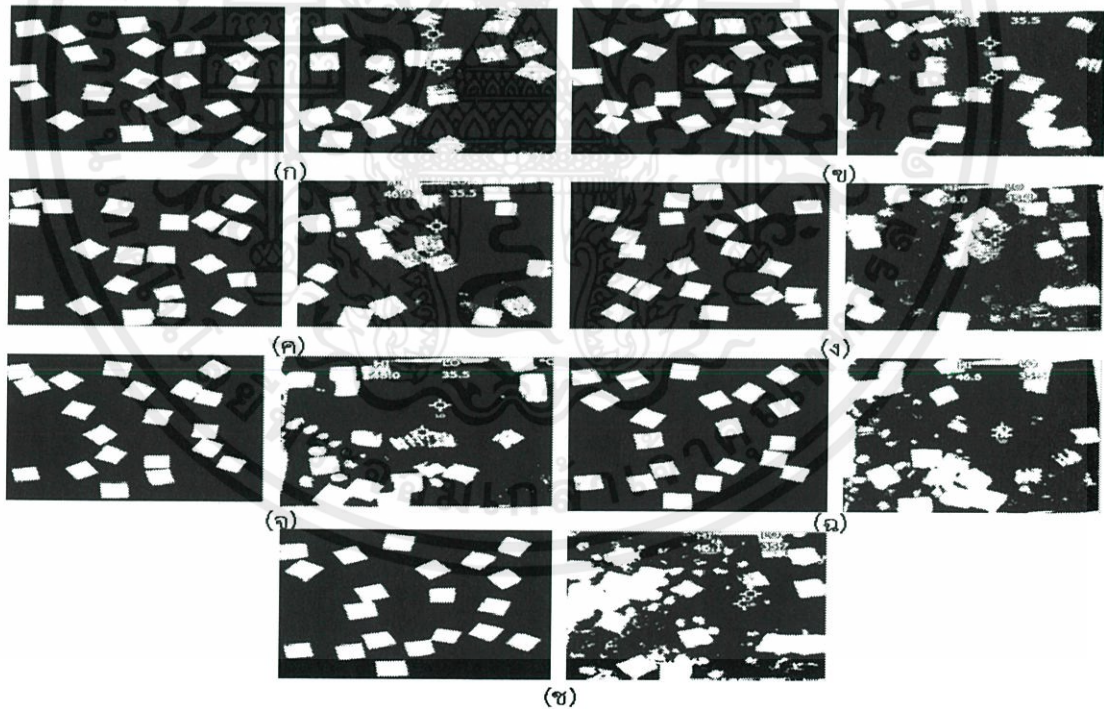


รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

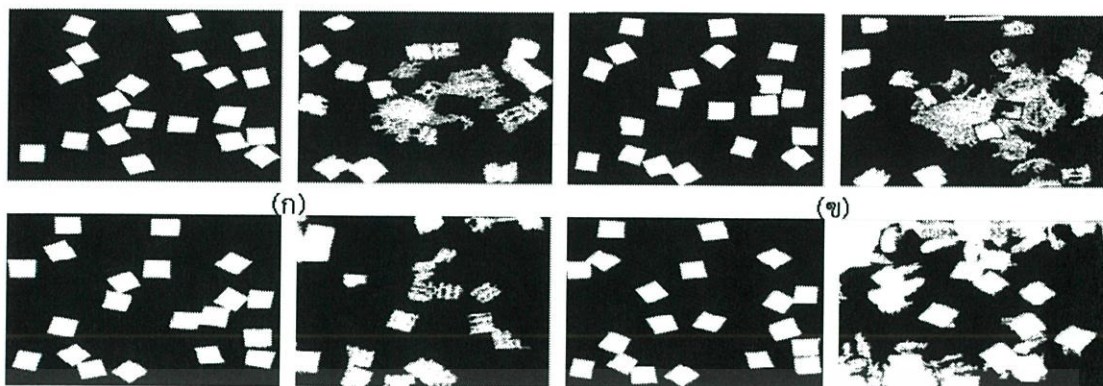


รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด (ช) 80 เมล็ด โดยมีเศษหิน จำนวน 20 ชิ้น



รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด (ช) 80 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น

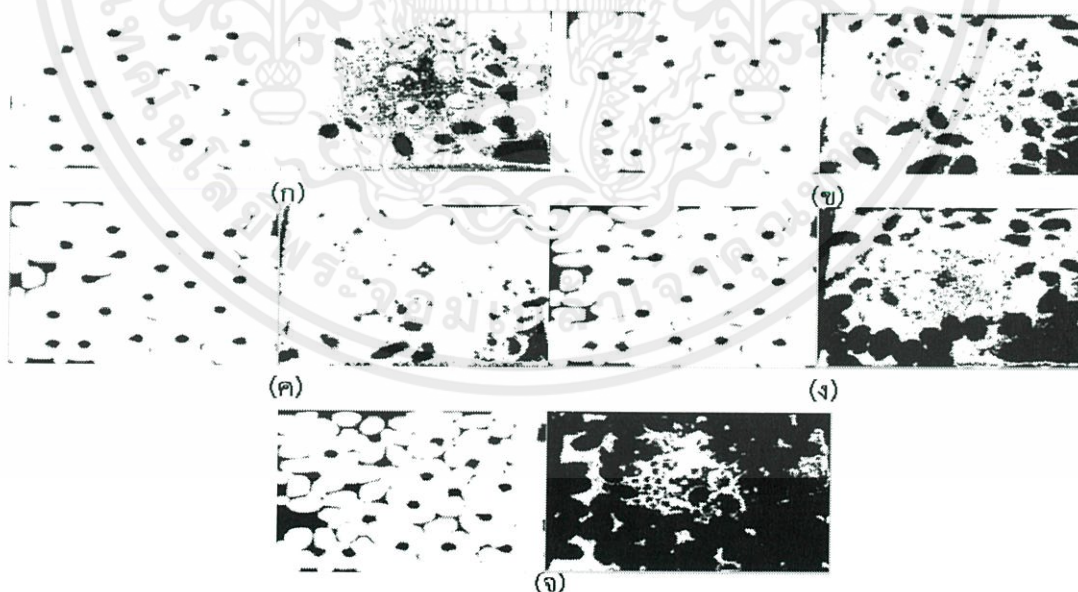
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



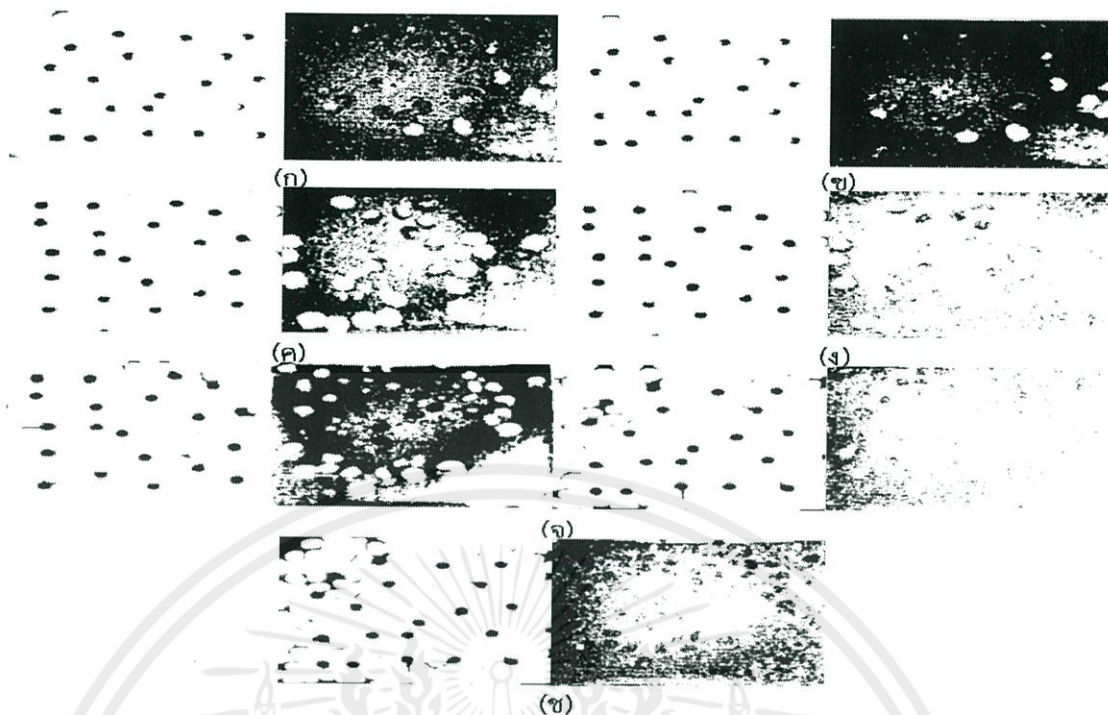
รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษพลาสติกจำนวน 20 ชิ้น



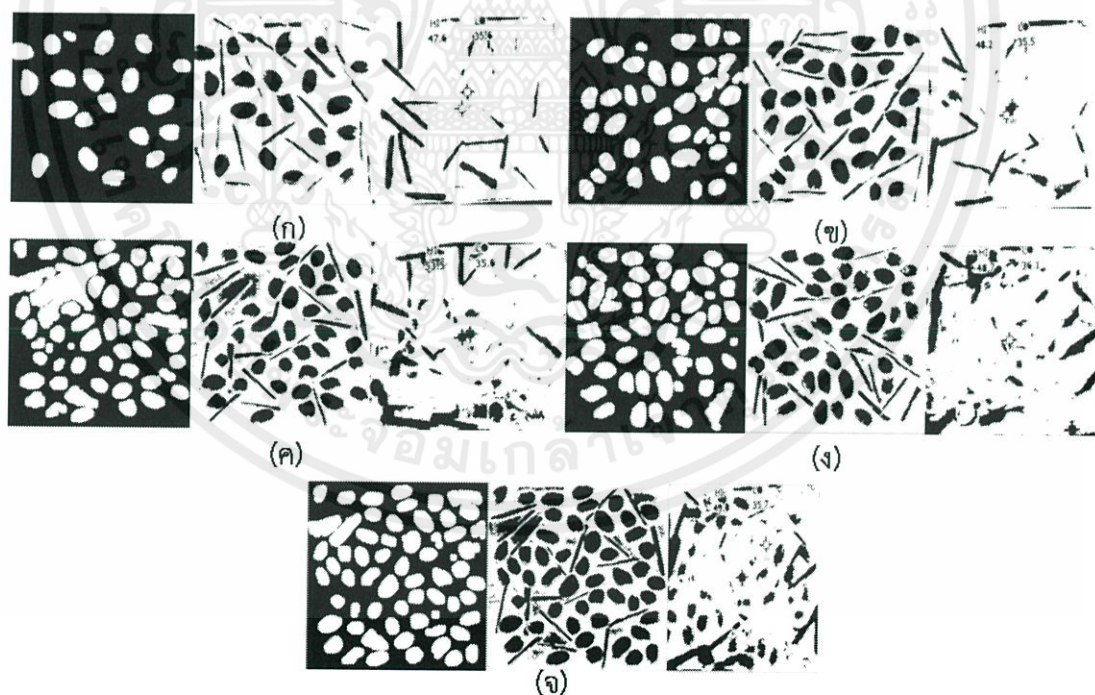
รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น



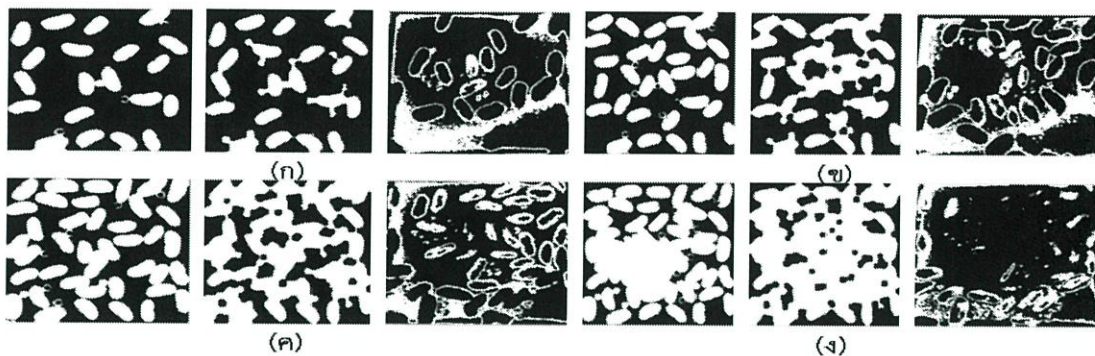
รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีลูกเหล็ก 20 ชิ้น



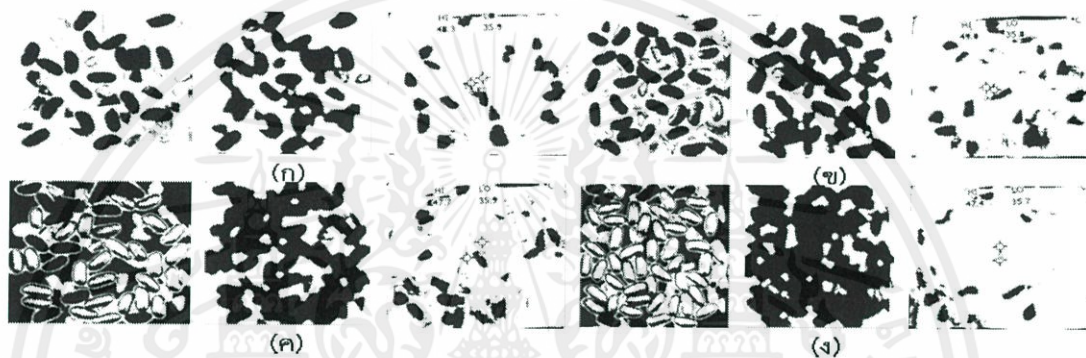
รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด และ(ฉ) 80 เมล็ด โดยมีลูกเหล็ก 20 ชิ้น



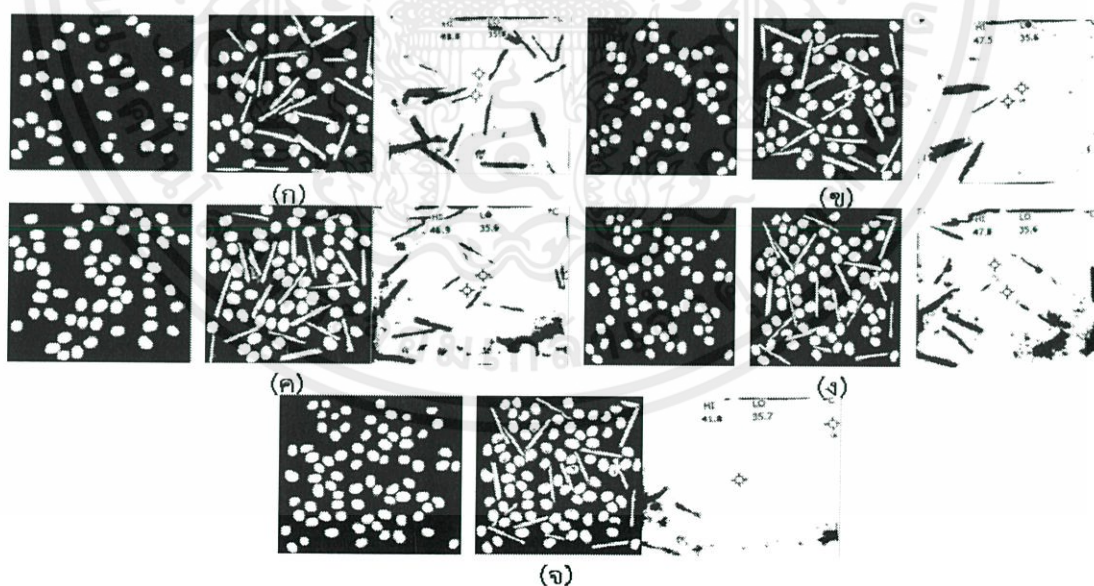
รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วลิสงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด และ (จ) 60 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษหิน 20 ชิ้น

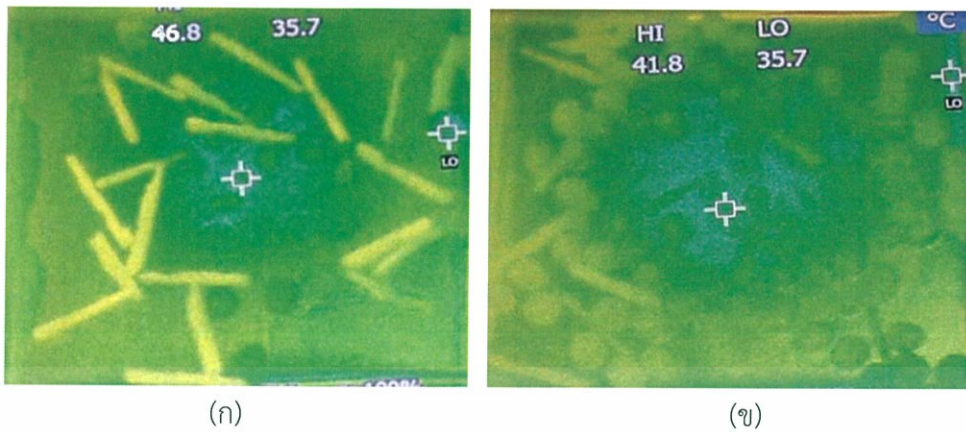


รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วแดงที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด และ (ง) 50 เมล็ด โดยมีเศษหิน 20 ชิ้น

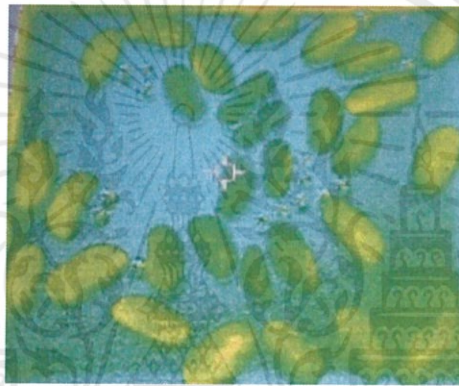


รูปที่ 4.28 ภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อนถั่วเหลืองที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำนวน (ก) 20 เมล็ด เอกสารนี้เป็น (ข) 30 เมล็ด (ค) 40 เมล็ด (ง) 50 เมล็ด (จ) 60 เมล็ด (ฉ) 70 เมล็ด และ (ฉ) 80 เมล็ด โดยมีเศษไม้ 20 ชิ้น

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ภาพความร้อนการกระจายตัวของตัวอย่าง (ก) ปริมาณเมล็ดพืช 20 เมล็ด และ (ข) ปริมาณเมล็ดพืช 80 เมล็ด



รูปที่ 4.30 ภาพความร้อนของลูกเหล็กและถั่วแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยใช้ภาพสีซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านที่ตามนุษย์มองเห็น และภาพถ่ายทางความร้อนซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด โดยทั้ง 2 วิธีสามารถจัดกลุ่มการตรวจสอบได้ 4 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่มีสีแตกต่างกันเหมาะกับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย กลุ่มที่มีสีต่างกันแต่รูปร่างใกล้เคียงกัน เหมาะกับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่าย กลุ่มที่มีความจุกความร้อนแตกต่างกัน เหมาะกับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน ซึ่งความแตกต่างของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืชในภาพถ่ายความร้อนเกิดจากการรับพลังงานความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนไม่เท่ากัน และกลุ่มที่พื้นผิวของสิ่งแปลกปลอมมีความมันวาว ไม่เหมาะกับการตรวจสอบด้วยภาพถ่ายความร้อน เนื่องจากวัสดุที่มีพื้นผิวมันวาวมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนต่ำ ดังนั้นรังสีความร้อนของวัสดุดังกล่าวที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับเป็นรังสีความร้อนที่สะท้อนมาจากเมล็ดพืช ทำให้โทนสีที่ได้มีโทนสีใกล้เคียงกันจึงต้องตรวจสอบด้วยภาพถ่าย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การถ่ายภาพควรติดตั้งหลอดไฟ 4 ด้าน เพื่อให้สีของตัวอย่างสม่ำเสมอไม่มีเงามืดบางจุด ซึ่งเงามืดเหล่านั้นเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดค่าความผิดพลาด และสำหรับการถ่ายภาพความร้อนควรติดตั้งไฟทั้ง 4 ด้าน เช่นกัน เพื่อให้ความร้อนกระจายสู่ตัวอย่าง อย่างสม่ำเสมอ
2. กล้องถ่ายภาพความร้อนที่ใช้ควรเป็นกล้องถ่ายภาพความร้อนที่สามารถถ่ายวิดีโอได้และความละเอียดสูงเพื่อให้ได้ภาพถ่ายความร้อนที่คมชัดก่อนนำไปประมวลผลภาพ ซึ่งความคมชัดของภาพจะช่วยลดค่าความผิดพลาดที่ตรวจสอบได้
3. ควรถ่ายภาพความร้อนในสภาวะปิดเพื่อลดผลกระทบจากสภาพแวดล้อมภายนอก
4. หากต้องการพัฒนาระบบการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายทางความร้อนควรออกแบบให้วัสดุไหลเข้าระบบตรวจสอบในแนวตั้งไหลลงมาเป็นสาย เพียง 1 ชั้นเท่านั้น เพื่อความถูกต้องแม่นยำ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีงานวิจัยที่พัฒนาระบบตรวจสอบแบบอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ประมวลผลภาพ เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมจัดวางแบบกระจายตัวบนสายพานลำเลียงและเคลื่อนตัวเข้ามาบริเวณตรวจสอบในแนวระนาบ ซึ่งสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้เช่นกัน (ธกรนก และคณะ, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- จันทร์เพ็ญ โทมัส. (2551). การประมวลผลภาพแบบดิจิทัล (Digital Image Processing).
วิธีการทดลองทางฟิสิกส์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ใจทิพย์ วานิชชัง, พัทนี บุญธกานนท์, กรรณิกา กระแสโทและประทุมพร เสาวพันธ์. (2545). ศึกษา
กรรมวิธีในการเพิ่มคุณภาพข่าว. รายงานการวิจัยสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล สถาบันเทคโนโลยี
ราชมงคล. ชลบุรี. น. 153-156.
- ชัยยันต์ จันทร์ศิริ. เครื่องคัดขนาดถั่วลิสงเมล็ดโตแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน. ศูนย์นวัตกรรม
เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ณัฐวุฒิ เนียมสอนและทวีชัย นิมาแสง. (2551). เครื่องทำความสะอาดเมล็ดถั่วเหลืองโดยใช้ความ
ถ่วงจำเพาะ. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ถนอมขวัญ ชัยงาม สุรศักดิ์ เนียมแก้วและณัฐวุฒิ เนียมสอน. (2546). การศึกษาผลของมุม และ
ความถี่ที่มีผลต่อเครื่องคัดแยกถั่วเหลืองแบบเขย่า. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์และชัยยันต์ จันทร์ศิริ. (2549). เครื่องคัดขนาดถั่วลิสงเมล็ดโตแบบตะแกรง
ทรงกระบอกหมุน. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ธริษตรี จุลกัทพิพะและเรืองชัย พันธุ์บุตร. (2531). เครื่องคัดขนาดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ประเภทใช้
แรงคน. รายงานของนักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (ม.ป.ท.).
- นวกัทธา หนูนา และทวีพล ชื้อสัตย์. (2555). การวัดและเครื่องมือวัด (Measurement and
Instrumentation). กรุงเทพฯ : มิน เซอร์วิส ซัพพลาย
- บัณฑิต จริโมภาส. (2549). เครื่องจักรกลคัดแยกหลังการเก็บเกี่ยว บรรจุภัณฑ์ และเรือนบรรจุ
ผลไม้. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
- ประวิทย์ วัฒนาร. 2553. กล้องถ่ายภาพความร้อนบอกที่ซ่อนอุณหภูมิตั้งแต่วันที่ 28 กุมภาพันธ์
2556. จาก <http://www.vcharkarn.com/varticle/39579>
- ปฐมภรณ์ หิรัญลาภ, ปริญญา เมฆโมกและพงศ์พันธ์ สมบัติพานิช. (2551). “การควบคุมการทำงาน
ของโปรแกรม MS Microsoft PowerPoint ด้วยการใช้สัญญาณมือ.” วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก, พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ, จักรพงษ์ กลิ่นสะอาดและศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล. (2545).
การศึกษาการใช้แรงของสนามแม่เหล็กในการคัดแยกเมล็ดพืช. พิมพ์ครั้งที่ 6. น. 330-334.
- มนตรี พิรุณเกษตร. (2548). การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์. พิมพ์
ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: วิทย์พัฒนา
- ยุทธพงศ์ ทัพตุง, ธีระวัฒน์ หนูนา, ทวีพล ชื้อสัตย์และนวกัทธา หนูนา. (2555). การใช้
เทคโนโลยีภาพถ่ายความร้อนอินฟราเรดอย่างมืออาชีพ. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยใน
พระบรมราชูปถัมภ์. น. 30.

- วราศิริ พวงมาลัย, วริษฐ์ วรเวทย์สกุลและวัชรพงษ์ คุปตวุดินันท์. (2551). “การรู้จำภาพใบหน้า.”
 ปริญญาบัณฑิตวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ กรุงเทพฯ: สถาบัน
 เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- วินิต ชินสุวรรณ, นิพนธ์ บ้องจันทร์, สมชาย ชวนอุดมและวราจิต พยอม. (2545). การประเมินความ
 สูญเสียจากการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืช. พิมพ์ครั้งที่ 6. น. 242-247.
- สุนีย์ โฆษิตประเสริฐ. (2550). หลักการพื้นฐานในการจัดเก็บ. ค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2555. จาก
[http://kpp-rsc.ricethailand.go.th/image/rice/Manage_storage/1storage-1.pdf\(07/04/2007\)](http://kpp-rsc.ricethailand.go.th/image/rice/Manage_storage/1storage-1.pdf(07/04/2007)).
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2555). ข้อมูลด้านการผลิตและ
 การตลาดสินค้าเกษตรที่สำคัญ. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สมชัย เทพศิลป์วิสุทธิ์. (2552). เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวกล้องออกจากข้าวเปลือก. นิตยสาร
 เทคโนโลยีเครื่องกล. น. 77-80.
- Alam, A. and Shove, C. G. (1973). **Hygroscopicity and thermal properties of soybean.** Transactions of the ASAE, (4), p. 707–709.
- Amidon, G. L., Lee, P.I. and Topp, E.M. (2000). **Transport Processes in Pharmaceutical Systems.** New York: Marcel Dekker, p. 671.
- 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.)
- Bayram, M. and Oner, M. D. (2006). **Determination of applicability and effects of colour sorting system in bulgur production line.** Journal of Food Engineering, (74), p. 232-239.
- 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.
- Chakraverty, A. and Singh, R. P. (2001). **Postharvest Technology.** USA: Science Publishers
- 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.
- 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.
- Emekci, M., Navarro, S., Donahaye, E., Rindner, M. and Azrieli A. (2002). **Respiration of *Rhizopertha dominica* (F.) at reduced oxygen concentrations.** Journal of Stored Products, (40), p. 27-38.

- Ginesu, G., Giusto, D. D., and Märgner, V. (2004). **Detection of Foreign Bodies in Food by Thermal Image Processing**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, (51), p. 480-490.
- Gubareff, G. G., Janssen, J. E. and Torborg, R. H. (1960). **Thermal Radiation Properties Survey**. Minneapolis-Honeywell Regulation Company, Minneapolis, MN: (N.P.)
- Gruner, K.D. (2553). **Principles of Non-Contact Temperature Measurement**. Retrieved December 28, 2012, from: http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR_THEORY_55514_ENG_REVB_LR.PDF.
- Hobson, D. M., Carter R. M. and Yan, Y. (2007). **Characterisation and Identification of Rice Grains through Digital Image Analysis**. Instrumentation and Measurement, Technology Conference - IMTC 2007: Warsaw, Poland. p. 1-5
- 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.
- Kazarian, E. A. and Hall, C. W. (1965). **Thermal properties of grains**. Transactions of the ASAE, 48(8), p. 33-37.
- Kreith, F. and Kreider, J. F. (1978). **Principle of solar Energy**. New York: Hemisphere Publishing
- Ledbetter C. A. (2007). **Shell cracking strength in almond (*Prunus dulcis* [Mill.] D.A. Webb.) and its implication in uses as a value-added product**. Bioresource Technology, (99), p. 5567-5573.
- Legrand, A. (2007). **Physical, mechanical, thermal and electrical properties of cooked red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) for continuous ohmic heating process**. Journal of Food Engineering, (81), p. 447-458.
- Mallory, J. F. (1969). **Thermal Insulation**. New York: Van Nostrand Reinhold
- Manickavasagan, A., Jayas, D. S. and White, N. D. G. (2007). **Wheat class identification using monochrome images**. Journal of Cereal Science, (47), p. 518-527.
- Mollazade, K., Omid, M., and Arefi, A., (2012). **Comparing data mining classifiers for grading raisins based on visual features**. Computers and Electronics in Agriculture, (84), p. 124-131.
- Paliwal, J., Mebatsion, H.K. and Jayas, D.S. (2012). **Cereal Grain and Dockage Identification using Machine Vision**. Computers and Electronics in Agriculture, (90), p. 99-105.
- Ramstad, P. E. and Geddes, W. F. (1942). **The respiration and storage behavior of soybeans**. Univ. Minn. Tech. Bul. p. 156.

- Tan, P. V. (2010). **Specific Heat Capacities**. Retrieved September 30, 2012, from http://www.polytee.com.vn/wysiwyg/file_up/Specific%20Heat%20Capacities%20-%20Solids.PDF.
- Touloukian, Y. S. and Ho, C. Y. (1972). **Thermophysical Properties of Matter**. 8(1), **Thermal Radiative Properties of Nonmetallic Solids**. New York; Plenum Press



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักและพื้นที่ของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

คืนที่	น้ำหนักวัสดุทดลอง (กรัม)							พื้นที่วัสดุทดลอง (ตารางเซนติเมตร)						
	ถั่วแดง	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	หิน	ไม้	พลาสติก	ลูกเหล็ก	ถั่วแดง	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	หิน	ไม้	พลาสติก	ลูกเหล็ก
1	0.60	0.16	0.74	0.34	0.11	0.03	0.43	1.60	0.28	0.68	0.65	0.57	1.09	0.20
2	0.59	0.16	0.74	0.34	0.10	0.04	0.43	0.51	0.35	0.70	0.65	0.55	1.10	0.20
3	0.64	0.18	0.76	0.38	0.09	0.07	0.44	0.52	0.35	1.22	0.57	0.53	1.07	0.20
4	0.58	0.20	0.75	0.36	0.09	0.03	0.45	1.57	0.35	1.40	0.56	0.42	1.08	0.20
5	0.58	0.17	0.75	0.38	0.15	0.07	0.45	1.56	0.34	0.69	0.72	0.43	1.08	0.20
6	0.61	0.16	0.76	0.38	0.10	0.06	0.43	0.51	0.40	1.32	1.44	0.68	1.09	0.20
7	0.61	0.16	0.76	0.37	0.15	0.06	0.45	1.52	0.35	1.41	0.66	0.58	1.09	0.20
8	0.63	0.17	0.78	0.35	0.14	0.04	0.43	1.56	0.36	0.68	0.65	0.52	1.08	0.20
9	0.58	0.18	0.76	0.35	0.15	0.05	0.43	0.49	0.36	1.38	0.66	0.56	1.08	0.20
10	0.61	0.19	0.75	0.34	0.14	0.07	0.45	0.50	0.35	0.76	1.14	0.40	1.09	0.20
11	0.61	0.17	0.78	0.38	0.13	0.03	0.45	1.65	0.37	0.69	0.85	0.50	1.08	0.20
12	0.62	0.20	0.78	0.37	0.14	0.03	0.45	1.50	0.29	0.76	1.31	0.52	1.09	0.20
13	0.58	0.18	0.77	0.37	0.13	0.04	0.43	0.50	0.34	0.66	0.71	0.44	1.09	0.20
14	0.58	0.17	0.74	0.35	0.09	0.06	0.43	1.51	0.34	0.65	0.68	0.63	1.09	0.20
15	0.58	0.20	0.72	0.36	0.09	0.07	0.43	0.51	0.36	1.40	1.44	0.63	1.08	0.20
16	0.61	0.20	0.77	0.34	0.14	0.07	0.45	0.51	0.35	1.35	0.66	0.61	1.09	0.20
17	0.60	0.17	0.75	0.38	0.09	0.03	0.43	1.68	0.37	1.35	0.69	0.55	1.08	0.20
18	0.60	0.19	0.76	0.35	0.09	0.04	0.45	1.65	0.30	1.40	0.68	0.41	1.08	0.20
19	0.59	0.18	0.74	0.34	0.10	0.07	0.44	0.48	0.32	1.41	1.41	0.40	1.08	0.20
20	0.62	0.16	0.78	0.34	0.15	0.07	0.43	1.68	0.29	1.32	0.68	0.42	1.08	0.20

ตารางที่ ก.2 ความชื้นเมล็ดพืช และความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

ครั้งที่	ความชื้น (%wb)			ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg-K)							
	ถั่วลิสง	ถั่วเหลือง	ถั่วแดง	ถั่วลิสง	ถั่วเหลือง	ถั่วแดง	เศษไม้	เศษหิน	พลาสติก	ลูกเหล็ก	
1	6.50	10.54	12.27	2.52	2.62	2.58	2.53	1.40	1.91	0.83	
2	8.46	12.13	14.40	2.92	3.03	2.71	2.70	1.69	1.51	0.94	
3	4.54	13.72	10.14	2.12	2.21	2.45	2.37	1.11	2.31	0.72	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ค่าความแตกต่างสมบูรณ์ของ average gray level กับ เวลาคายความร้อนในวินาทีต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อน 2 และ 4 วินาที

เมื่อให้ความร้อน 2 วินาที									เมื่อให้ความร้อน 4 วินาที								
Absolute difference of average gray level									Absolute difference of average gray level								
เวลา	ถั่วลิสง	ถั่วเหลือง	ถั่วแดง	เศษไม้	เศษหิน	ลูกเหล็ก	พลาสติก	พื้นหลัง	เวลา	ถั่วลิสง	ถั่วเหลือง	ถั่วแดง	เศษไม้	เศษหิน	ลูกเหล็ก	พลาสติก	พื้นหลัง
0.00	95.26	91.01	121.41	156.71	156.35	176.33	150.90	192.07	0.00	148.45	158.06	148.43	130.64	162.10	165.33	168.87	166.29
	95.13	91.15	121.30	156.84	156.20	176.22	150.11	192.10		148.35	158.13	148.47	130.60	162.23	165.38	168.91	166.21
	95.40	90.87	121.52	156.58	156.50	176.44	150.70	192.04		148.55	158.00	148.39	130.68	162.97	165.28	168.83	166.37
1.00	78.95	92.83	76.57	186.53	144.15	177.19	142.55	188.79	1.00	127.03	128.51	126.96	148.33	172.22	168.96	174.40	172.48
	78.91	92.86	76.52	186.63	144.08	177.10	142.33	188.63		127.00	128.41	127.00	148.22	172.00	168.00	174.46	172.22
	79.00	92.80	76.62	186.43	144.22	177.28	142.77	188.89		127.05	128.61	126.93	148.44	172.44	168.92	173.94	172.72
2.00	87.46	100.56	63.88	193.08	136.53	172.81	133.32	185.38	2.00	112.69	111.65	113.42	163.34	173.93	167.03	175.71	175.62
	87.22	100.54	63.78	193.12	136.50	172.60	133.28	185.32		112.60	111.52	113.48	163.30	173.91	167.08	175.70	175.44
	87.70	100.58	64.00	193.04	136.56	173.00	133.36	185.44		112.78	111.78	112.36	163.38	173.95	166.98	175.72	175.80
3.00	86.40	99.37	66.44	191.67	141.75	173.58	136.61	188.10	3.00	102.71	98.87	106.42	170.57	174.16	168.32	175.56	175.61
	86.30	99.50	66.31	191.60	141.61	173.57	136.51	188.05		102.75	98.82	106.40	170.55	174.13	168.30	175.44	175.58
	86.50	99.24	66.57	191.74	141.90	173.59	136.71	188.15		102.67	98.92	106.44	170.60	174.20	168.34	175.68	175.64
4.00	89.86	100.31	63.11	192.91	135.89	174.14	127.06	183.78	4.00	96.62	95.63	97.88	176.35	174.49	166.22	173.48	177.03
	89.80	100.16	63.05	192.90	135.81	174.20	127.10	183.80		96.60	95.56	97.76	176.22	174.44	166.11	173.44	177.13
	89.92	100.46	63.17	192.92	135.97	174.08	127.02	183.76		96.64	95.70	98.00	176.68	174.54	166.33	173.52	176.93
5.00	90.22	102.26	63.78	191.83	134.79	172.81	124.58	185.19	5.00	96.06	92.58	94.59	179.57	174.18	168.13	171.92	176.13
	90.27	102.25	63.65	191.71	134.70	172.88	124.51	185.24		96.10	92.59	94.50	179.40	174.16	168.15	171.90	176.10
	90.17	102.24	63.91	191.95	134.88	172.74	124.65	185.14		96.02	92.57	94.68	179.73	174.20	168.11	171.94	176.16
									6.00	98.69	92.65	90.36	187.26	151.43	164.12	164.95	176.51
										98.58	92.68	90.31	187.20	151.39	164.07	165.00	176.55
										98.70	92.62	90.41	187.32	151.47	164.17	164.91	176.47

ตารางที่ ก.4 ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ของ average gray level กับ เวลาคายความร้อนในวินาทีต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อน 6 วินาที

เวลา	Absolute difference of average gray level								เวลา	Absolute difference of average gray level							
	แก้วสี	แก้วเหลือง	แก้วแดง	เศษไม้	เศษหิน	ลูกเหล็ก	พลาสติก	พื้นหลัง		แก้วสี	แก้วเหลือง	แก้วแดง	เศษไม้	เศษหิน	ลูกเหล็ก	พลาสติก	พื้นหลัง
0.00	154.95	167.69	155.39	142.35	173.00	133.12	129.72	158.56	6.00	126.17	129.07	122.27	169.60	149.96	140.90	149.61	167.46
	154.80	167.55	155.31	142.45	173.02	133.12	129.77	158.52		126.20	129.06	122.30	169.69	149.94	140.91	149.60	167.42
	155.10	167.83	155.47	142.25	173.00	133.13	129.67	158.60		126.14	129.08	122.24	169.51	149.98	140.88	149.62	167.50
1.00	152.15	159.24	151.01	125.99	168.37	144.25	130.08	163.12	7.00	122.20	125.78	121.10	176.13	153.16	146.01	153.20	166.67
	152.12	159.20	151.02	125.91	168.34	144.23	130.00	163.10		122.22	125.71	121.11	176.01	153.10	146.02	153.23	166.70
	152.18	159.28	151.00	126.07	168.41	144.27	130.16	163.14		122.18	125.85	121.09	176.25	153.22	145.98	152.17	166.64
2.00	141.62	149.63	137.67	136.02	172.65	145.22	136.71	162.21	8.00	120.80	122.35	120.25	181.19	155.34	145.69	155.08	167.49
	141.60	149.67	137.66	136.02	172.66	145.19	136.70	162.21		120.88	122.42	120.25	181.30	155.32	145.65	155.00	167.41
	141.64	149.60	137.75	136.04	172.64	145.25	136.68	162.20		120.72	122.28	120.27	181.08	155.36	145.73	155.16	167.57
3.00	135.21	140.85	131.31	150.37	172.16	141.63	139.64	166.60	9.00	118.21	120.39	120.16	184.88	158.09	140.02	158.36	169.52
	135.11	140.80	131.28	150.33	172.11	141.66	139.66	166.65		118.30	120.30	120.20	184.77	158.10	140.00	158.33	169.55
	135.31	140.90	131.34	150.43	172.21	141.60	139.62	166.55		118.12	120.47	120.12	185.00	158.09	140.04	158.40	169.50
4.00	128.61	132.26	125.58	158.73	171.40	147.41	143.18	167.23	10.00	113.98	114.28	119.07	187.17	160.63	134.10	161.73	171.52
	128.58	132.21	125.55	158.77	171.50	147.40	143.10	167.20		113.92	114.23	119.10	187.07	160.60	134.10	161.72	171.51
	128.64	132.31	125.61	158.69	171.30	147.43	143.26	167.26		114.04	114.33	119.04	187.07	160.57	134.11	161.74	171.53
5.00	125.77	125.76	123.20	166.68	169.69	149.32	147.45	167.45									
	125.74	125.75	123.10	166.62	169.80	149.36	147.50	167.44									
	125.80	125.74	123.30	166.81	169.58	149.28	147.40	167.46									

ตารางที่ ก.5 ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ของ average gray level กับ เวลาคายความร้อนในวินาทีต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อน 8 วินาที

เวลา	Absolute difference of average gray level								เวลา	Absolute difference of average gray level							
	ถั่วลิสง	ถั่วเหลือง	ถั่วแดง	เศษไม้	เศษหิน	ลูกเหล็ก	พลาสติก	พื้นหลัง		ถั่วลิสง	ถั่วเหลือง	ถั่วแดง	เศษไม้	เศษหิน	ลูกเหล็ก	พลาสติก	พื้นหลัง
0.00	133.03	133.07	127.47	113.69	173.00	155.60	177.31	152.87	6.00	138.64	150.25	130.75	177.14	167.82	147.94	157.95	135.86
	133.01	133.00	127.42	113.66	173.02	155.65	177.30	152.88		138.66	150.20	130.74	177.10	167.80	147.90	157.80	135.88
	133.05	133.14	127.52	113.72	173.00	155.55	177.32	152.86		138.62	150.30	130.76	177.18	167.84	147.98	158.10	135.84
1.00	120.53	124.94	113.29	120.51	168.37	148.57	174.06	146.61	7.00	141.70	152.04	133.79	167.20	164.93	148.81	153.96	136.24
	120.50	124.93	113.31	120.50	168.34	148.58	174.07	146.62		141.81	152.05	133.80	167.11	164.91	148.80	154.00	136.22
	120.56	124.95	113.27	120.52	168.41	148.56	174.05	146.60		141.60	152.06	133.78	167.30	164.95	148.82	153.92	136.26
2.00	121.55	136.11	114.15	174.73	172.65	148.95	172.52	137.89	8.00	141.70	152.04	133.79	167.20	164.93	148.81	153.96	136.24
	121.57	136.15	114.10	174.70	172.66	148.93	172.55	138.00		141.78	152.05	133.80	167.16	164.91	148.80	154.00	136.14
	121.53	136.07	114.20	174.76	172.64	148.97	172.49	137.79		141.62	152.06	133.78	167.24	164.95	148.82	153.92	136.34
3.00	127.70	141.23	120.38	186.17	172.16	147.95	169.57	137.21	9.00	143.31	152.75	134.94	162.84	162.96	148.08	151.06	135.87
	127.60	141.20	120.40	186.11	172.11	148.00	169.55	137.22		143.20	152.77	134.98	162.80	162.97	148.08	151.03	135.67
	127.80	141.36	120.42	186.23	172.21	147.90	169.59	137.20		143.42	152.73	134.90	162.88	162.95	148.09	151.09	136.07
4.00	131.55	144.34	124.17	185.98	171.40	149.63	167.09	137.59	10.00	146.72	154.09	136.88	157.80	160.45	148.36	146.85	133.66
	131.50	144.33	124.10	186.00	171.50	149.60	167.11	137.62		146.75	154.00	136.77	157.83	160.40	148.33	146.88	133.63
	131.60	144.35	124.24	185.96	171.30	149.66	167.07	137.56		146.70	154.18	137.00	157.77	160.50	148.40	146.82	133.70
5.00	133.84	146.25	127.47	182.88	169.69	148.91	162.88	137.02									
	133.82	146.13	127.27	182.77	169.80	148.94	162.77	137.03									
	133.86	146.37	127.67	183.00	169.58	148.88	163.00	137.01									

ตารางที่ ก.6 ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ของ average gray level กับ เวลาคายความร้อนในวินาทีต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อน 10 วินาที

เวลา	Absolute difference of average gray level								เวลา	Absolute difference of average gray level							
	แก้วสี	แก้วเหลือง	แก้วแดง	เศษไม้	เศษหิน	ลูกเหล็ก	พลาสติก	พื้นหลัง		แก้วสี	แก้วเหลือง	แก้วแดง	เศษไม้	เศษหิน	ลูกเหล็ก	พลาสติก	พื้นหลัง
0.00	134.33	137.67	132.53	114.29	105.25	114.48	83.22	166.03	6.00	111.58	117.26	111.29	99.87	98.32	117.38	133.49	162.68
	134.32	137.66	132.50	114.30	105.20	114.48	83.20	166.02		111.55	117.26	111.30	99.80	98.30	117.34	133.50	162.69
	134.34	137.68	132.56	114.29	105.30	114.49	83.24	166.04		111.61	117.27	111.28	99.94	98.34	117.42	133.48	162.67
1.00	124.44	128.92	127.17	99.64	99.51	117.72	91.26	164.03	7.00	108.11	114.11	109.96	110.67	102.41	119.57	143.76	161.95
	124.40	128.95	127.20	99.60	99.55	117.72	91.22	164.03		108.00	114.12	109.97	110.66	103.45	119.60	143.77	162.00
	124.48	128.89	127.14	99.68	99.47	117.73	91.30	164.02		108.22	114.10	109.95	110.69	102.37	119.54	143.76	161.90
2.00	118.71	123.75	117.35	92.65	95.94	118.10	104.24	161.95	8.00	103.80	111.14	105.62	129.41	115.74	118.74	154.90	159.93
	118.75	123.70	117.35	92.66	95.98	118.12	104.26	161.99		103.70	111.12	105.60	129.45	115.77	118.70	154.88	159.95
	118.67	123.80	117.36	92.67	95.90	118.08	104.22	161.91		103.90	111.16	105.64	129.37	115.71	118.78	154.92	159.93
3.00	116.03	121.51	115.39	91.91	94.02	121.70	116.61	162.54	9.00	103.98	111.13	105.24	138.30	120.77	123.12	157.79	160.62
	116.02	121.50	115.39	91.90	94.03	121.80	116.61	162.54		104.01	111.12	105.22	138.32	120.76	123.00	157.80	160.52
	116.04	121.52	115.40	91.92	94.02	121.60	116.62	162.56		103.95	111.14	105.26	138.28	120.78	123.24	157.79	160.72
4.00	112.68	117.82	112.97	94.47	96.22	121.78	125.31	162.73	10.00	103.93	110.05	103.27	142.91	126.39	118.96	159.08	160.66
	112.63	117.80	113.00	94.47	96.20	121.80	125.33	162.70		103.93	110.10	103.22	142.92	126.42	118.92	159.06	160.67
	112.73	117.84	112.94	94.45	96.24	121.76	125.29	162.76		103.94	110.00	103.32	142.90	126.36	119.00	150.10	160.66
5.00	111.58	117.26	111.29	99.87	98.32	117.38	133.49	162.70									
	111.55	117.26	111.30	99.80	98.30	117.34	133.50	162.83									
	111.61	117.27	111.28	99.94	98.34	117.42	133.48	162.57									

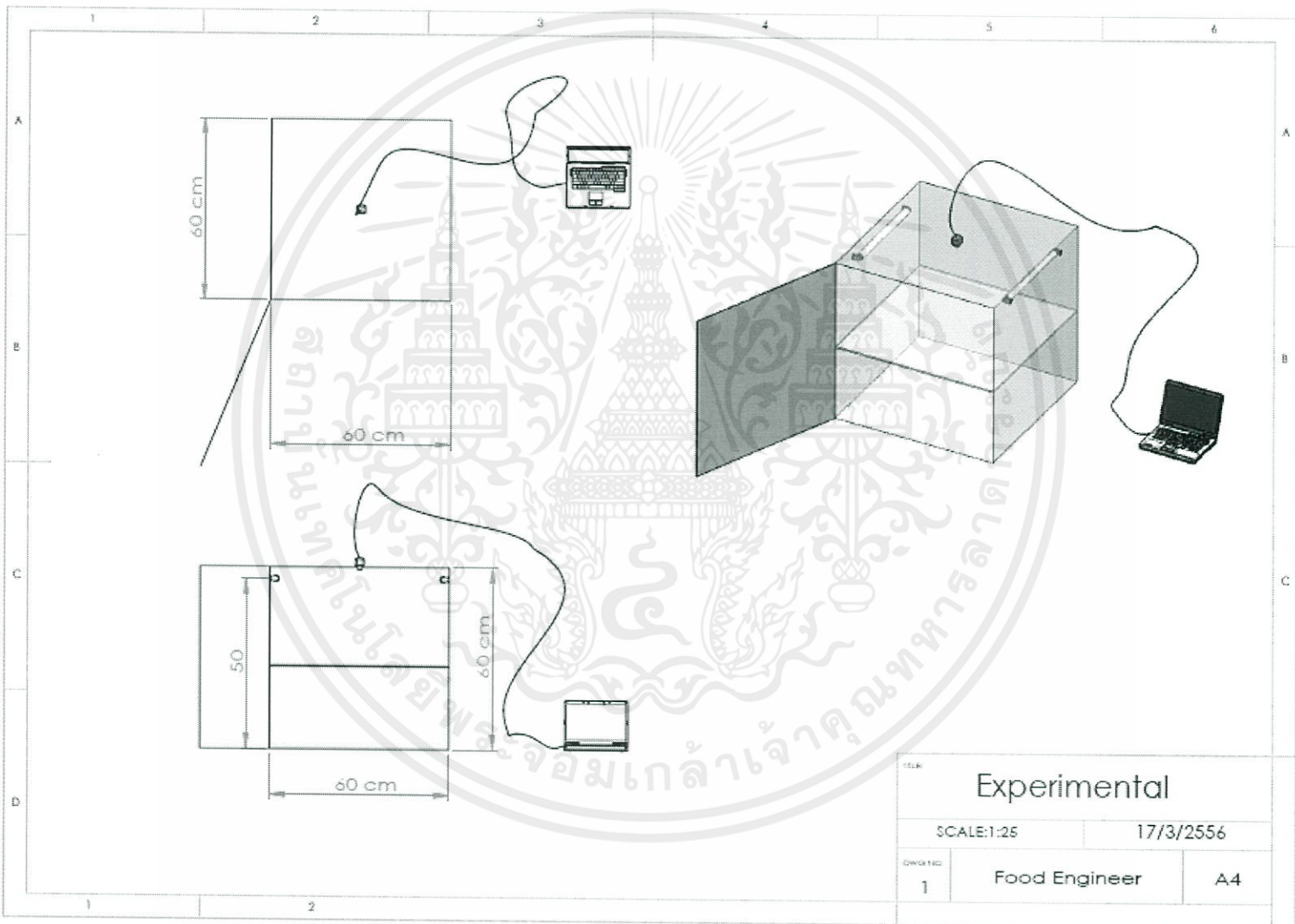
ตารางที่ ก.7 ผลค่าความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบพื้นที่จริงและพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายทางความร้อน

ชนิด	จำนวน (เมล็ด)	ภาพถ่าย								ภาพถ่ายทางความร้อน						
		เศษหิน 20 ชั้น		เศษไม้ 20ชั้น		เศษพลาสติก 20 ชั้น		ลูกเหล็ก 20 ชั้น		เศษหิน 20 ชั้น		เศษไม้ 20 ชั้น		เศษพลาสติก 20 ชั้น		
		Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	
ตัวลิ่ง	20	11.19	15.00	11.31	5.44	19.41	2.02	3.37	14.01	11.76	1.97	10.58	11.87	21.16	2.11	
		11.17	15.14	11.30	5.72	19.48	2.12	3.43	14.25	11.83	2.00	10.60	11.88	21.18	2.10	
		11.22	15.08	11.31	5.76	19.34	2.18	3.31	14.10	11.70	2.01	10.56	11.95	21.20	2.11	
	30	13.83	15.25	8.81	14.64	18.74	13.35	4.99	27.02	9.83	18.34	9.04	12.44	18.31	15.35	
		13.91	15.36	8.85	14.78	18.86	13.37	5.23	27.02	9.77	18.26	9.12	12.57	18.38	15.24	
		13.74	15.14	8.77	14.50	18.62	13.33	4.75	27.03	9.80	18.42	8.96	12.31	18.24	15.46	
	40	16.84	40.35	8.01	22.38	17.70	18.01	6.21	58.29	9.72	19.03	13.07	26.00	17.39	19.62	
		16.80	40.41	8.03	22.45	17.75	17.95	6.39	58.40	9.62	19.06	13.03	26.67	17.24	19.66	
		16.88	40.29	7.99	22.31	17.80	17.89	6.03	58.18	9.82	19.00	13.11	26.53	17.54	19.58	
	50	17.37	44.73	16.18	57.24	16.60	23.28	8.63	119.98	16.03	33.62	13.90	34.65	26.03	20.35	
		17.39	44.91	16.52	56.75	16.64	23.28	8.75	119.88	16.15	33.69	13.88	34.83	26.10	20.41	
		17.25	44.55	15.85	56.51	16.56	23.29	8.51	119.84	15.91	33.55	13.92	34.47	25.96	20.30	
	60	30.53	154.38	16.53	60.40	14.33	33.74	12.25	211.96	16.27	57.64	14.19	37.51	34.20	58.12	
		30.66	154.87	16.68	61.08	14.49	33.78	12.32	212.30	16.35	57.79	14.33	37.55	34.29	58.20	
		30.40	154.00	16.38	59.72	14.27	33.70	12.28	211.63	16.20	57.50	14.05	37.47	34.11	58.04	
	ตัวแดง	20	11.67	2.68	10.72	3.88	20.76	3.85	4.14	5.39	11.51	1.49	11.47	11.13	21.61	4.03
			11.71	2.74	10.90	3.91	20.83	4.08	4.20	5.41	11.60	1.46	11.54	11.12	21.65	4.02
			11.63	2.81	10.56	3.96	20.69	4.10	4.08	5.42	11.43	1.47	11.40	11.13	21.57	4.03
30		12.42	3.35	10.74	4.04	20.61	4.73	4.78	21.64	14.07	17.31	12.65	22.56	23.39	22.56	
		12.38	3.42	10.80	4.15	20.61	4.80	4.92	21.77	14.20	17.36	12.77	22.58	23.37	22.58	
		12.40	3.28	10.68	3.93	20.62	4.66	4.64	21.51	13.95	17.26	12.53	22.54	23.42	22.54	
40		17.40	45.11	11.30	9.50	20.57	4.92	6.78	72.62	14.94	24.49	12.78	23.85	23.39	21.11	
		17.41	45.15	11.43	9.58	20.61	4.94	6.80	72.68	15.05	24.56	12.89	23.89	23.37	21.15	
		17.42	45.07	11.17	9.42	20.53	4.90	6.76	72.54	14.83	24.42	12.67	23.81	23.41	21.07	
50		20.21	68.41	13.16	27.56	19.87	8.11	7.22	83.89	8.99	25.10	13.08	26.73	39.67	83.52	
		20.35	68.54	13.34	27.89	20.00	8.26	7.29	83.77	9.08	25.21	13.12	26.66	39.79	83.70	
		20.07	68.28	12.98	27.23	19.75	7.96	7.15	84.00	8.91	25.00	13.04	26.80	39.55	83.34	

ตารางที่ ก.7 (ต่อ) ผลค่าความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบพื้นที่จริงและพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายและภาพถ่ายทางความร้อน

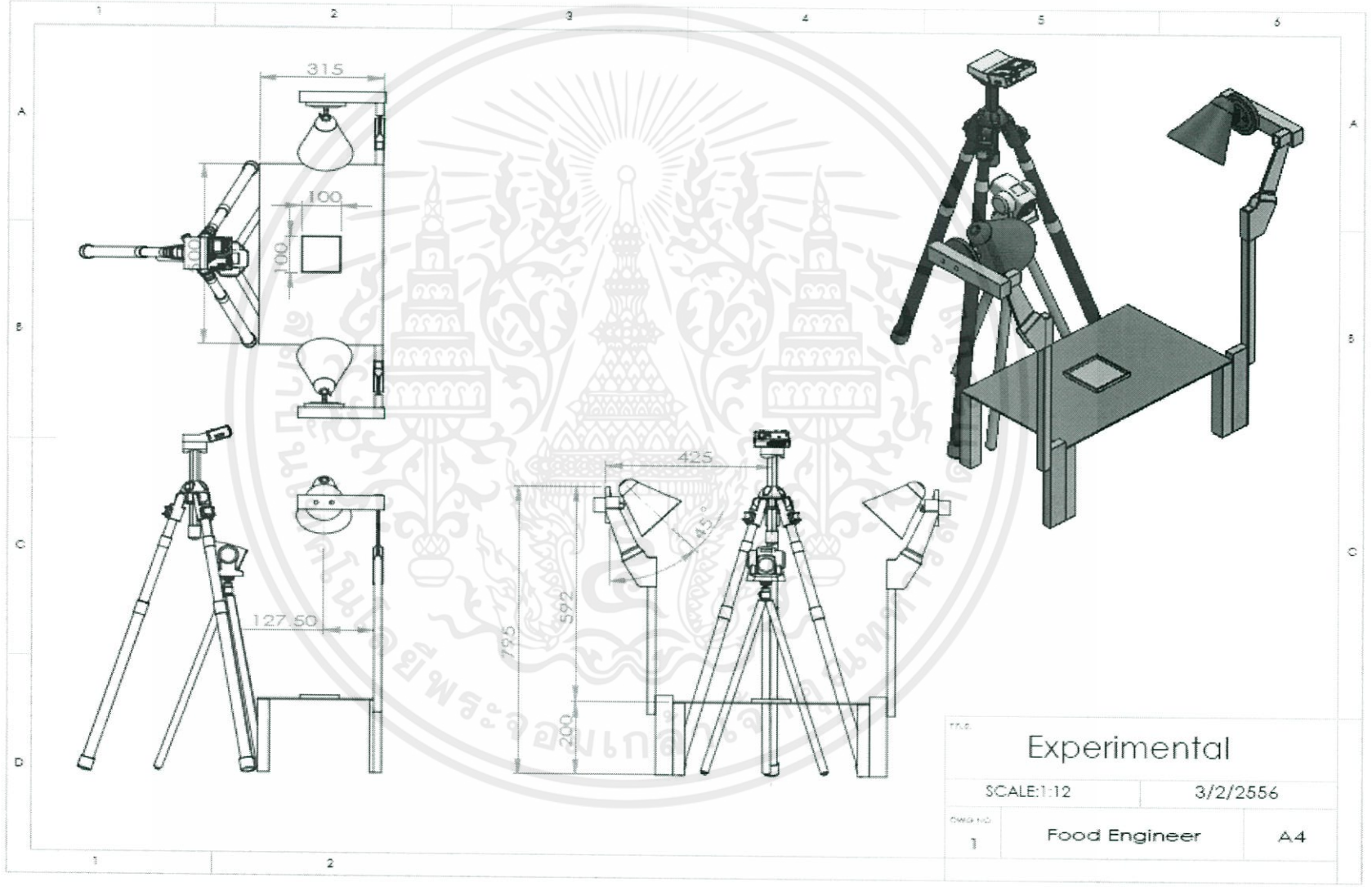
ชนิด	จำนวน (เมล็ด)	ภาพถ่าย								ภาพถ่ายทางความร้อน					
		เศษหิน 20 ชั้น		เศษไม้ 20ชั้น		เศษพลาสติก 20 ชั้น		ลูกเหล็ก 20 ชั้น		เศษหิน 20 ชั้น		เศษไม้ 20 ชั้น		เศษพลาสติก 20 ชั้น	
		Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.	Prog.	% Err.
ถั่ว	20	10.77	9.81	10.84	4.88	20.42	0.61	3.13	19.95	12.57	10.93	11.27	9.12	21.50	0.61
		10.65	10.08	10.96	5.03	20.49	0.63	3.13	20.32	12.64	11.13	11.34	9.25	21.58	0.62
เหลือง	30	10.89	10.76	10.72	5.13	20.35	0.64	3.14	20.61	12.50	11.07	11.20	9.33	21.42	0.62
		10.60	11.66	10.97	6.26	20.02	7.44	3.10	21.11	13.10	9.15	12.08	17.09	21.50	4.91
	40	10.68	12.00	11.12	6.33	20.15	7.58	3.12	21.23	13.22	9.26	12.12	17.03	21.58	4.90
		10.52	11.33	10.82	6.19	19.89	7.30	3.08	21.00	13.00	9.04	12.04	17.15	21.42	4.93
	50	10.60	11.70	9.65	6.48	19.72	8.86	4.81	22.56	10.53	12.26	13.50	30.84	23.41	8.24
		10.74	11.98	9.70	6.60	19.40	9.04	4.88	22.48	10.64	12.34	13.52	30.96	23.46	8.31
	60	10.46	11.42	9.61	6.36	19.95	8.68	4.74	22.74	10.42	12.18	13.48	30.72	23.36	8.17
		10.01	16.62	11.06	7.12	19.67	9.07	5.07	29.15	9.91	17.40	6.76	34.54	24.61	13.75
	70	10.20	17.04	11.08	7.13	19.95	9.40	5.11	29.28	10.10	17.62	6.87	34.67	25.68	13.80
		10.90	16.20	11.04	7.11	19.50	8.74	5.03	29.02	9.73	17.18	6.66	34.41	24.54	13.70
	80	10.00	16.71	11.06	7.20	19.37	10.47	5.36	36.55	9.83	18.08	14.01	35.72	25.00	15.55
		10.49	16.92	11.21	7.13	19.40	10.73	5.51	36.22	9.97	18.41	14.16	35.79	25.12	15.53
		9.51	16.50	10.91	7.27	19.50	10.21	5.11	36.88	9.70	17.75	13.86	35.65	24.88	15.57
		9.65	19.59	11.54	11.85	18.25	15.65	5.63	43.30	15.21	26.74	14.39	39.43	28.72	32.78
		9.80	19.73	11.36	12.18	18.31	15.87	5.74	43.79	15.10	26.92	14.43	39.40	28.83	32.86
		9.50	19.35	11.72	11.52	18.20	15.43	5.52	42.81	15.32	26.56	14.35	39.47	28.61	32.70
		14.62	21.85	11.56	12.05	17.79	17.78	7.66	95.00	17.25	43.72	4.78	53.65	33.39	54.34
		14.95	21.57	11.67	12.27	17.93	18.27	8.00	95.24	17.00	43.84	5.27	53.80	33.57	54.31
		14.29	22.13	11.45	11.83	17.65	17.29	7.33	94.76	17.50	43.60	4.29	53.50	33.21	54.67

ชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพ



รูปที่ ข.1 แบบจำลองของชุดอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพ

รูปที่ ข.2 แบบจำลองของชุดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพทางความร้อน



Title		
Experimental		
SCALE:1:12	3/2/2556	
DWG NO:	Food Engineer	A4
1		