



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืชด้วยระบบ  
คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรด

Detection of Foreign Bodies having Similar Physical Properties to Grains  
using Computer-based Thermal Infrared Vision System

นางนงภัทรา หนูนา

นายทวีพล ชื้อสัตย์

นายเอกสิทธิ์ ศรีธรรม

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืชด้วยระบบ  
คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรด  
Detection of Foreign Bodies having Similar Physical Properties to Grains  
using Computer-based Thermal Infrared Vision System

นางนงภัทรา หนูนา  
นายทวีพล ชื้อสัตย์  
นายเอกสิทธิ์ ศรีธรรม

600270211  
RC00164

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืชด้วยระบบคอมพิวเตอร์  
ประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรด

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 970,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

รายนามคณะผู้วิจัย

- 1) รองศาสตราจารย์ ดร.นงภัทรา หนูนาค (หัวหน้าโครงการวิจัย)  
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2) รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์ (ผู้ร่วมงานวิจัย)  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3) ดร.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม (ผู้ร่วมงานวิจัย)  
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### บทคัดย่อ

รายงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรด ตัวอย่างเมล็ดพืชที่ใช้ ได้แก่ ลูกเดือย ซึ่งมีสีและขนาดใกล้เคียงกับสิ่งแปลกปลอมซึ่งสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ ได้แก่ เศษไม้ เศษเชือก เศษพลาสติก (พีวีเจอร်บอร์ด) และหิน ชุดอุปกรณ์ทดสอบ ประกอบด้วย แหล่งความร้อนและกล้องถ่ายภาพความร้อน ระยะเวลาของการให้ความร้อนแก่วัสดุทดลองเท่ากับ 20 วินาที ทำการบันทึกภาพการคายความร้อนของตัวอย่างในวินาทีที่ 1 จากนั้นทำการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพความร้อนด้วยโปรแกรม Smartview และโปรแกรม Image J ซึ่งมี 5 ขั้นตอน ได้แก่ การรับภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน การแปลงภาพระดับสีเทา การแยกส่วนของภาพโดยใช้เทรซโฮลด์ การปรับปรุงคุณภาพด้วยคำสั่งวอเทอร์เอด และการแสดงผลลัพธ์โดยใช้ค่าความกลมและพื้นที่เป็นตัวจำแนก ตามลำดับ ซึ่งจากการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน พบว่า สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับลูกเดือยโดยอาศัยความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของวัสดุได้

คำสำคัญ : ภาพถ่ายความร้อน การประมวลผลภาพ สมบัติทางความร้อน เมล็ดพืช สิ่งแปลกปลอม

**Research Title:** Detection of Foreign Bodies having Similar Physical Properties to Grains using Computer-based Thermal Infrared Vision System

**Researcher:** 1) Assoc. Prof. Dr.Navaphattra Nunak

Faculty of Engineering, Department of Food Engineering

2) Assoc. Prof. Dr.Taweepol Suesut

Faculty of Engineering, Department of Instrumentation and Control  
Engineering

3) Dr.Eakasit Sritham

Faculty of Engineering, Department of Food Engineering


## ABSTRACT

This research report proposes the detection algorithm to detect foreign bodies in grains using the processing of Thermal Image (TI) in the infrared region. Job's tears having the similar color to foreign bodies (wood, stone, rope and plastic) were selected to be experimental samples. The experimental set up consists of two main devices; the heat source and thermographic camera. TI was captured after samples heated for 20 seconds and cooled for one second. Smartview and Image J were used to processed and analyzed the TI with the five steps of image processing; thermal image acquisition, converting gray scale image, image segmentation using threshold, image enhancement using watershed tool and image classification using area and roundness. From the results, it can be concluded that this technique has a potential to detect foreign bodies in Job's tears using the difference of thermal properties of materials.

**Keywords:** Thermography, Image processing, Thermal properties, Grains, Foreign bodies

## กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยโครงการ “การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืชด้วยระบบคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรด (Detection of Foreign Bodies having Similar Physical Properties to Grains using Computer-based Thermal Infrared Vision System)” ภายใต้แผนงานวิจัย “การวิจัยและพัฒนาระบบตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืช (Research and Development of Detecting System for Foreign Bodies Having Similar Physical Properties to Grains)” ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอาหาร และภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สำหรับการอำนวยความสะดวกให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือวิจัย และสถานที่สำหรับการดำเนินงานวิจัย โดยการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558



นวภัทรา หนูนา  
ทวีพล ชื้อสตัย  
เอกสิทธิ์ ศรีธรรม

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม.....	5
2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอม.....	5
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และการทดลอง.....	21
3.1 การเตรียมวัสดุ.....	21
3.2 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับถ่ายภาพความร้อน.....	26
3.3 การทดลอง.....	30
3.4 การประมวลผลภาพถ่ายความร้อน.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	33
4.1 ความจุความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน.....	33
4.2 เวลาในการให้ความร้อนและคายความร้อน.....	33
4.3 การประมวลผลภาพถ่ายความร้อน.....	37

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	62
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	62
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....	63
6.1 บทความวิจัย Thermal Image Resolution on Angular Emissivity Measurements using Infrared Thermography.....	63
6.2 บทความวิจัย Detection of Foreign Bodies in Roasted Coffee by using Active Thermography.....	64
เอกสารอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก.....	69
ภาคผนวก ก การใช้โปรแกรมในการประมวลผลภาพ.....	70
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	74
ประวัตินักวิจัย.....	76

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช.....	13
2.2 ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช.....	13
3.1 ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	23
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	26
3.3 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการถ่ายภาพความร้อน.....	30
4.1 ความจุความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม.....	34
4.2 ความจุความร้อนจำเพาะ น้ำหนักเฉลี่ย ความจุความร้อน พลังงานความร้อนที่วัดได้ และพลังงานที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับ.....	34
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับลูกเต๋อด้วยวิธีการประมวลผลภาพความร้อน.....	50
4.4 ตำแหน่งของเชือกที่ปนมากับลูกเต๋อ.....	54
4.5 ตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเต๋อ.....	55
4.6 ตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเต๋อ.....	56
4.7 ตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเต๋อ.....	57
4.8 ตำแหน่งของเชือกที่ปนมากับลูกเต๋อ.....	58
4.9 ตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเต๋อ.....	59
4.10 ตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเต๋อ.....	60
4.11 ตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเต๋อ.....	61

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน.....	6
2.2 (ก) เครื่องคัดแยกถั่วเหลือง (ข) ถั่วเหลืองและสิ่งแปลกปลอมในถังเก็บเมล็ด.....	7
2.3 เครื่องคัดแยกสี (Color sorter).....	9
2.4 (ก) หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสี (ข) เมล็ดพืชที่ยังไม่แยกและเมล็ดพืชที่แยกแล้ว.....	9
2.5 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง.....	10
2.6 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ.....	10
2.7 (ก) การให้ความร้อนกับพื้นผิวไม้ (ข) บริเวณที่เป็นโพรงจะสะสมความร้อนได้นานกว่า.....	12
2.8 การถ่ายภาพเมล็ดพืช (ก) กล้องควบคุมแสง (ข) การประมวลผลภาพจากโปรแกรม.....	16
2.9 (ก) ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้ถ่ายภาพ (ข) ลูกเกตที่ใช้ในการตรวจสอบ.....	16
2.10 การกระจายความร้อนของการบรรจุแบบสุญญากาศ (ก) แบบไม่มีพื้นที่ว่าง บรรจุเต็มถุง 100% (ข) แบบมีพื้นที่ว่างโดยบรรจุ 85% (ค) หลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุ.....	17
2.11 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมโดยกล้องถ่ายภาพความร้อน.....	18
2.12 ภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม (ก) เศษไม้กับลูกเกต (ข) เศษกระดาษ และ (ค) เศษหินกับเมล็ดอัลมอนด์.....	18
2.13 ภาพข่าวสาลีที่ถูกตัวด้วงรบกวนและไม่ถูกรบกวน.....	19
2.14 ภาพความร้อนที่ใช้ในการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนในขนมปังกรอบ.....	20
3.1 เมล็ดพืชตัวอย่าง.....	21
3.2 สิ่งแปลกปลอมตัวอย่าง (ก) หิน (ข) พิวเจอร์บอร์ด (ค) เศษไม้ และ (ง) เศษเชือก.....	22
3.3 ตัวอย่างการวัดขนาดตัวอย่าง ได้แก่.....	22
3.4 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน.....	26
3.5 ลักษณะการติดตั้งแหล่งให้ความร้อน (ก) หลอดไฟกลมประเภทหลอดไส้ ขนาด 100 วัตต์ และ (ข) หลอดไฟประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ ขนาด 150 วัตต์.....	27
3.6 ถาดอะลูมิเนียมที่ผิวไม่มันวาว.....	28
3.7 ภาพเปรียบเทียบการแยกพื้นหลังของภาชนะที่ใส่ตัวอย่างทดลอง (ก) ถาดอะลูมิเนียมที่ผิวไม่มันวาว (ข) ถาดพลาสติก (พิวเจอร์บอร์ด) และ (ค) ถาดไม้.....	28
3.8 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการถ่ายภาพความร้อน.....	29

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.9 การเรียงลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมเพื่อหาเวลาการให้ความร้อนกับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม.....	30
3.10 การวางลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมในภาตอะลูมิเนียมสำหรับถ่ายภาพความร้อน.....	31
3.11 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ.....	32
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการใช้ ความร้อนที่เวลา 10 วินาที.....	36
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการใช้ ความร้อนที่เวลา 20 วินาที.....	36
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการใช้ ความร้อนที่เวลา 30 วินาที.....	37
4.4 ภาพจริงและภาพระดับสีเทาของลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมจากโปรแกรม Smart view (ก) เชือก (ข) หิน (ค) ฟิวเจอร์บอร์ด (ง) ไม้.....	38
4.5 การแปลงเป็นภาพระดับสีเทา (ก) โปรแกรม Smart view (ข) โปรแกรม Image J.....	39
4.6 ภาพระดับสีเทาของลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมจากโปรแกรม Image J (ก) เชือก (ข) หิน (ค) ฟิวเจอร์บอร์ด (ง) ไม้.....	40
4.7 แนวโน้มจากโกลบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับเชือก.....	41
4.8 แนวโน้มจากโกลบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับหิน.....	42
4.9 แนวโน้มจากโกลบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับฟิวเจอร์บอร์ด.....	42
4.10 แนวโน้มจากโกลบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับไม้.....	43
4.11 แนวโน้มจากโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับเชือก.....	43
4.12 แนวโน้มจากโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับหิน.....	44
4.13 แนวโน้มจากโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับฟิวเจอร์บอร์ด.....	44
4.14 แนวโน้มจากโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับไม้.....	45
4.15 การเลือกช่วงอุณหภูมิและช่วงเทรซโฮลด์ (ก) โกลบอลเทรซโฮลด์ในช่วง 175-255 ของลูกเต๋อยกับหิน (ข) โกลบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับเชือก (ค) โกลบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับฟิวเจอร์บอร์ดและ (ง) โกลบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกับไม้.....	46

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.16 ภาพการแยกส่วนภาพโดยใช้คำสั่งวอเทอร์เ็ด (ก) ลูกเต๋อยกกับหิน (ข) ลูกเต๋อยกกับเชือก (ค) ลูกเต๋อยกกับฟิวเจอร์บอร์ด และ (ง) ลูกเต๋อยกกับไม้	47
4.17 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของเชือกที่พันมากับลูกเต๋อย	48
4.18 ภาพแสดงแนวแกน	48
4.19 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของหินที่พันมากับลูกเต๋อย	49
4.20 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดที่พันมากับลูกเต๋อย	49
4.21 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของไม้ที่พันมากับลูกเต๋อย	50
4.22 ภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพ (ก) ภาพจริง (ข) ขั้นตอนที่ 1 (ค) ขั้นตอนที่ 2 (ง) ขั้นตอนที่ 3 และ (จ) ขั้นตอนที่ 4	51
4.23 ผลการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่พันมากับลูกเต๋อย (ก) เชือก (ข) หิน (ค) ฟิวเจอร์บอร์ด (ง) ไม้	52

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

เมล็ดพืชและผลิตภัณฑ์จากเมล็ดพืชเป็นสินค้าเกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ตัวอย่างเมล็ดพืชที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง และถั่วชนิดอื่น ๆ โดยในปี พ.ศ.2555 มีปริมาณการส่งออกประมาณ ล้านตัน มูลค่ากว่า 45250,000 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 20 ของรายได้จากผลิตผลทางการเกษตรที่ส่งออกทั้งหมด นอกจากนี้ผลิตผลปริมาณมหาศาลที่ผลิตได้ยังนำมาใช้ตามความต้องการภายในประเทศเพื่อการบริโภคทำเป็นเมล็ดพันธุ์ ผลิตอาหารสัตว์ และส่งเข้าสู่อุตสาหกรรมแปรรูป เช่น การสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลือง เป็นต้น )กรมศุลกากร, 2555; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร , ซึ่ง (2555ปัจจุบันรัฐบาลได้เล็งเห็นความสำคัญของสินค้าเกษตรและการสร้างความเข้มแข็งของภาคอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร จึงมีนโยบายให้การสนับสนุนการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจ เพื่อยกระดับเข้าสู่อุตสาหกรรมที่ใช้ปัญญา ใช้เทคโนโลยี และใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมเพื่อสร้างความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมและนำรายได้เข้าประเทศ ซึ่งการนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีมาใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีสารสนเทศ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและศักยภาพการผลิตเพิ่มมูลค่าผลิตผลทางการเกษตร และช่วยสร้างความมั่นคงในอาชีพและรายได้ให้แก่เกษตรกร สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศไทยตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ ) 11พ-2555 .ศ. ด้านความเข้มแข็งภาคเกษตร นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์ (2559การวิจัยของชาติ ฉบับที่ ) 8การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนา 2 ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ (2559-2555 .ศ. พัฒนาประสิทธิภาพการผลิตทางอุตสาหกรรมให้เอื้อต่อการดำเนินธุรกิจ 3 ทางเศรษฐกิจ กลยุทธ์การวิจัยที่ การวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะและพัฒนาศักยภาพด้านอุตสาหกรรม 3.4 อย่างยั่งยืน แผนการวิจัยที่ เกษตรของประเทศและสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติรายประเด็นด้านเทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรมของประเทศ

การพิจารณาคูณภาพของเมล็ดพืชโดยส่วนใหญ่พิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพเป็นหลัก เช่น สี ขนาด รูปร่าง เป็นต้น ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตาโดยคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพืชที่ดีต้องมีสี ขนาด และรูปร่างอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้คุณภาพของเมล็ดพืชยังพิจารณาถึงปริมาณสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่กับเมล็ดพืชด้วย โดยสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษหิน เศษไม้ เศษพลาสติก อาจปนมากับเมล็ดพืชในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวหรือในขั้นตอนการลดความชื้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดความชื้นด้วยวิธีสิ่งแดด หรือในขั้นตอนการเตรียมเพื่อการเก็บรักษา เป็นต้น ซึ่งถ้าสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้มีขนาดใกล้เคียงกับเมล็ดพืชจะไม่สามารถคัดแยกโดยใช้ตะแกรงร่อนตามปกติได้ เช่น การคัดแยกหินกับถั่วเหลืองเพื่อส่งขายในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมัน และหากถั่วเหลืองมีสิ่งแปลกปลอมเกินกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถนำไปขายได้ต้องขายเป็นถั่วเหลืองเกรดต่ำราคาถูก (กรมการค้าภายใน, 2546) สำหรับเมล็ดพืชที่ส่งขายใน

รูปแบบการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ เมล็ดพืชต้องผ่านขั้นตอนการคัดแยกขนาดและคุณภาพ และขั้นตอนการอบเพื่อลดความชื้น ซึ่งในระหว่างกระบวนการดังกล่าวอาจมีสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษโลหะจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการและเศษพลาสติกจากถุงบรรจุภัณฑ์ปนมากับเมล็ดพืชทำให้สูญเสียคุณภาพที่ควรเป็น และปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้นประกอบกับผู้ประกอบการต้องการเพิ่มคุณภาพและศักยภาพการผลิต ทำให้ผู้ประกอบการหันมาใส่ใจกับขั้นตอนการตรวจสอบและการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชมากยิ่งขึ้น

วิธีการตรวจสอบและคัดแยกเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้แรงงานคน การใช้วิธีทางกล การใช้วิธีเชิงแสง เป็นต้น โดยการใช้แรงงานคนเป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมได้ในขั้นตอนเดียวกัน เหมาะสำหรับเมล็ดพืชที่มีขนาดใหญ่ เช่น การแยกเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และเมล็ดอัลมอลล์ (ธริชตรี และเรื่องชัย, 2531; Ledbetter, 2007) แต่วิธีนี้ต้องคำนึงถึงอายุ (ของคนคัดแยก สภาพแวดล้อมในพื้นที่ปฏิบัติงาน และระยะเวลาในการทำงานอย่างต่อเนื่อง(วินิต และคณะ, 2545) สำหรับการใช้วิธีทางกลต้องเริ่มจากการคัดเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมเช่น ชนิด (และขนาดของตะแกรงร่อน เป็นต้น วิธีทางกลมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้ลมเป่าสิ่งแปลกปลอมที่มีน้ำหนักเบาออกการใช้ตะแกรงร่อน และการใช้สมบัติความถ่วงจำเพาะ ซึ่งวิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับสิ่งแปลกปลอมได้เช่น การแยกดินและหินที่มีขนาดใกล้เคียงกับถั่วเหลือง) (ณัฐภูมิและทวีชัย, 2551; ถานอมขวัญและคณะ, 2546) สำหรับการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยวิธีการประมวลผลภาพ (Image processing) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ (Mollazade et al., 2012) ปัจจุบันนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องคัดแยกสี (Color sorter) โดยเครื่องคัดแยกประเภทนี้ทำงานโดยใช้หลักการประมวลผลภาพสี (Color image processing) ซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านที่ตามนุษย์มองเห็น (Visible region) แล้วส่งผลที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ให้ยิงลมใส่สิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมประมวลผลได้

อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดในการตรวจสอบ คือ หากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีสีที่ใกล้เคียงกันจะทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกลดลง (Bayram and Oner, 2006) เช่น การคัดแยกข้าวเจ้ากับข้าวเหนียว จึงได้มีนักวิจัยบางกลุ่มเสนอการนำภาพถ่ายทางความร้อน (Thermal Image) ซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด (Infrared region) มาใช้สำหรับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม เพื่อลดข้อจำกัดการทำงานของเครื่องคัดแยกสีดังกล่าว ซึ่งภาพถ่ายทางความร้อนตรวจสอบโดยอาศัยความแตกต่างของสมบัติทางความร้อน โดย Ginesu et al. (2004) (ศึกษาความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช ได้แก่ เมล็ดอัลมอลล์ ลูกเกด ถั่ว หิน กระดาษแข็ง เศษโลหะ และเศษไม้ ด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อน ซึ่งพบว่า เฉดสีที่ปรากฏบนภาพถ่ายความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืชมีความแตกต่างกันซึ่งเป็นผลมาจากสมบัติทางความร้อนที่แตกต่างกัน และจากโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล ประจำปี 2556 นวภัทรา และ ทวีพล ได้ศึกษาแนวทางการตรวจจับวัตถุแปลกปลอมในอาหารด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า วิธีนี้สามารถแยกสิ่งแปลกปลอมที่มีลักษณะทางกายภาพที่

คล้ายกับเมล็ดพืชได้โดยประสิทธิภาพการคัดแยกด้วยวิธีนี้จะลดลงหากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีสมบัติทางความร้อนที่ใกล้เคียงกัน สำหรับการตรวจสอบด้วยเทคนิคภาพถ่ายความร้อนนี้ปัจจุบันยังคงดำเนินการในระดับงานวิจัย และยังไม่มีการพัฒนาโปรแกรมเฉพาะสำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่กับเมล็ดพืช

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืช โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรดและทดสอบความสามารถในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมด้วยชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น รวมถึงการพัฒนาวิธีการวัดค่าสมบัติทางความร้อนของวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และความจุความร้อน ที่ความชื้นต่าง ๆ ด้วยภาพถ่ายความร้อน เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการกำหนดเงื่อนไขสำหรับการจำแนกวิธีการตรวจสอบ โดยวิธีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่พัฒนาขึ้น โดยตัวอย่างเมล็ดพืชที่นำมาใช้ทดสอบ ได้แก่ ลูกเดือย ซึ่งมีสีและขนาดใกล้เคียงกับสิ่งแปลกปลอม ซึ่งสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ ได้แก่ เศษไม้ เศษเชือก เศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด) และหิน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาวิธีการวัดสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรด

1.2.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาวิธีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืช

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและพัฒนาวิธีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปนกับเมล็ดพืชด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายและภาพถ่ายความร้อน โดยเมล็ดพืชที่ใช้เป็นวัสดุทดสอบ คือ ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วเขียว และลูกเดือย และสิ่งแปลกปลอมที่ใช้เป็นวัสดุทดสอบ ได้แก่ เศษหิน เศษเชือก เศษพลาสติก และหิน

1.3.2 พัฒนาวิธีการวัดสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และความจุความร้อน โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรด

1.3.3 ทดสอบความสามารถในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาการวัดค่าสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อน ศึกษาแหล่งกำเนิดความร้อน และวิธีการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนเพื่อตรวจจับสิ่งแปลกปลอม

1.4.2 ออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อน

1.4.3 พัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์ค่าสมบัติทางความร้อน

1.4.4 ทดลองการวัดค่าสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.5 ออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์ตรวจจับสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายทางความร้อน

1.4.6 ปรับแต่งค่าในระบบควบคุมอุณหภูมิและการจับภาพให้เหมาะสมสำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช

1.4.7 พัฒนาโปรแกรมสำหรับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่กับเมล็ดพืช

1.4.8 ทดสอบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช ด้วยชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพความร้อนและโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

1.4.9 วิเคราะห์ผลการทดสอบและประเมินผลที่ได้

1.4.10 สรุปผลการทดสอบ เขียนบทความและเขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ชุดอุปกรณ์และโปรแกรมสำหรับวัดสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรด

1.5.2 วิธีการวัดสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรดแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลาย

1.5.3 วิธีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปนในเมล็ดพืชโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรด

1.5.4 ได้ค่าสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

เมล็ดพืชโดยทั่วไป หมายถึง เมล็ดพืชที่ใช้ประโยชน์ในการบริโภค หรือเป็นวัตถุดิบในการอุตสาหกรรมไม่ได้ใช้ทำพันธุ์แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มได้แก่ กลุ่มเมล็ดธัญพืชเช่นข้าวข้าวโพดกลุ่มเมล็ดถั่วเช่นถั่วลิสง ถั่วเหลือง ถั่วแดง ถั่วเขียว กลุ่มเมล็ดเปลือกแข็งเช่น เม็ดมะม่วงหิมพานต์ เกาลัด และอัลมอนด์ และกลุ่มเมล็ดเปลือกนิ่มเช่น เมล็ดแตงโต เมล็ดฟักทอง และเมล็ดทานตะวัน สำหรับเมล็ดพืชที่สำคัญในประเทศไทยได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วลิสง โดยทั่วไปการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชหลังจากการลดความชื้นและนวดแล้ว ต้องตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่มักปนมาในขั้นตอนดังกล่าวเช่น เศษฟางเศษดินหินกรวดทราย เป็นต้น เพื่อให้ได้เมล็ดพืชที่มีความสะอาดดั่งนั้น ขั้นตอนการตรวจสอบและคัดแยกจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ เนื่องจากในระบบการซื้อขายพิจารณาราคาของเมล็ดพืชจากปัจจัยสองประการคือความชื้นและปริมาณสิ่งแปลกปลอมถ้าเมล็ดพืชมีปริมาณสิ่งแปลกปลอมและความชื้นสูงเกินกว่าที่กำหนด จะส่งผลให้ระยะเวลาในการเก็บรักษาและราคาของเมล็ดพืชต่ำลง โดยความชื้นปลอดภัยในการเก็บรักษาเมล็ดพืชอยู่ในช่วง 12-15% (สุนีย์, 2555) นอกจากนี้เมล็ดพืชที่ส่งขายในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ ต้องผ่านขั้นตอนการคัดแยกขนาดและคุณภาพ ซึ่งในระหว่างกระบวนการดังกล่าวอาจมีสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษโลหะจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ และเศษพลาสติกที่มากับถุงบรรจุภัณฑ์ ปนมากับเมล็ดพืชทำให้เมล็ดพืชที่ส่งออกสูญเสียคุณภาพที่ควรเป็น

#### 2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอม

การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชเป็นขั้นตอนสำคัญต่อการแบ่งเกรดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแบ่งเกรดเพื่อการส่งออก วิธีการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้แรงงานคน การใช้วิธีทางกล การใช้วิธีการประมวลผลภาพ เป็นต้น

##### 2.2.1 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน

การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการใช้แรงงานคนแสดงดังภาพที่ 2.1 เป็นวิธีการตรวจสอบแบบดั้งเดิมและเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการคัดแยก โดยส่วนใหญ่เป็นการตรวจสอบและคัดแยกในขั้นตอนเดียว เหมาะสำหรับเมล็ดพืชที่มีขนาดใหญ่ เช่น การแยกเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์และเมล็ดอัลมอลด์ (ธีรชิตร์ และเรืองชัย, 2531; Ledbetter, 2007) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมลดลง ได้แก่ เพศ อายุ ระยะเวลาในการทำงาน สภาพแวดล้อมในการทำงาน และความเหนื่อยล้าของคนที่คัดแยกจากการทำงาน (Ginesu et al., 2003)



ภาพที่ 2.1 การคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน

ที่มา: ธีรชตรี และเรืองชัย, 2531

## 2.2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยวิธีทางกล

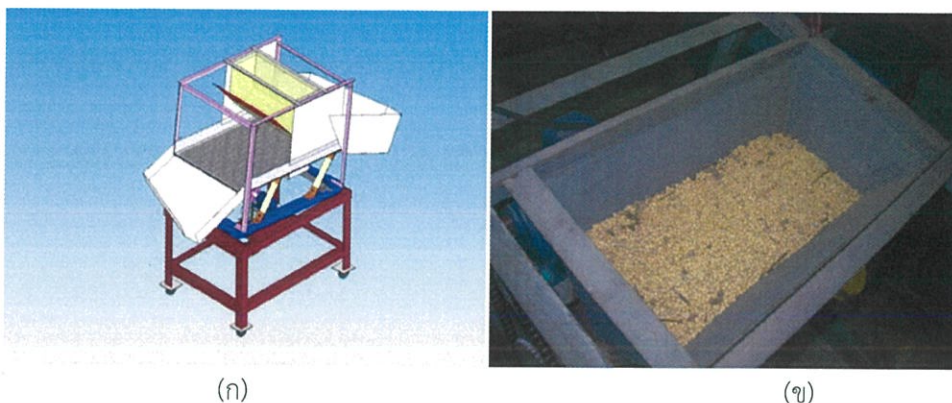
การตรวจสอบและคัดแยกด้วยวิธีทางกลมีหลายวิธี ได้แก่

2.2.2.1 การใช้ลมเป่าสิ่งแปลกปลอมที่มีน้ำหนักเบาออกจากเมล็ดพืช เช่น เศษซากพืช เศษไม้ เมล็ดลีบหรือเมล็ดแตก ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอม มีต้นทุนต่ำ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เหมาะกับการคัดแยกเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน

2.2.2.2 การใช้ตะแกรงร่อน โดยต้องเลือกขนาดของตะแกรงร่อนให้มีขนาดใกล้เคียงกับเมล็ดพืชที่ต้องการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก จากนั้นเขย่าตะแกรงโดยที่เมล็ดพืชจะค้างอยู่บนตะแกรง และสิ่งแปลกปลอมจะรูดผ่านรูตะแกรงออกไปเช่น การคัดแยกถั่วลิสงกับเศษหินและดิน (ธีรชชัยและชัยยันต์, 2549; ชัยยันต์, 2555) การคัดแยกสิ่งแปลกปลอมได้แก่ กรวดหินดินทรายเปลือกกิ่งก้านและเมล็ดพืชอื่น ๆ ออกจากเมล็ดถั่วเหลืองโดยอาศัยความถ่วงจำเพาะ (ภาพที่ 2.2) (ณัฐภูมิและทวีชัย, 2551) และการคัดแยกเศษหินออกจากถั่วเหลืองอาศัยหลักการสันสะเทือน (ถนอมขวัญและคณะ, 2546) และการคัดแยกเปลือกข้าวออกจากเมล็ดข้าวกล้อง (สมชัย, 2548) เป็นต้น

2.2.2.3 การใช้สมบัติทางด้านแม่เหล็ก เป็นการตรวจสอบโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางไฟฟ้าของวัตถุ นิยมใช้ตรวจสอบเศษโลหะที่อาจปนมากับอาหาร ซึ่งข้อจำกัดของเครื่องตรวจจับโลหะคือ ถ้าวัตถุที่ใช้ตรวจจับมีสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแม่เหล็กคล้ายคลึงกัน จะทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกเศษโลหะลดลงส่วนใหญ่จะใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการสุดท้ายก่อนออกสู่ตลาด (พงษ์เทพและคณะ, 2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 (ก) เครื่องตัดแยกถั่วเหลือง(ข) ถั่วเหลืองและสิ่งแปลกปลอมในถังเก็บเมล็ด  
ที่มา: ถนอมขวัญและคณะ, 2546

สำหรับกระบวนการคัดแยกด้วยวิธีทางกลนั้นใช้งบประมาณการลงทุนต่ำและประหยัดพลังงานมาก แต่ไม่สามารถแยกเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันได้ เช่น มีขนาดเท่ากัน มีน้ำหนักเท่ากัน หรือมีปริมาตรเท่ากันได้

2.2.2.4 การใช้สมบัติทางด้านแม่เหล็ก เป็นการตรวจสอบโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางไฟฟ้าของวัตถุ นิยมใช้ตรวจสอบเศษโลหะที่อาจปนมากับอาหาร ซึ่งข้อจำกัดของเครื่องตรวจจับโลหะคือ ถั่ววัตถุที่ใช้ตรวจจับมีสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแม่เหล็กคล้ายคลึงกัน จะทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกเศษโลหะลดลงส่วนใหญ่จะใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการสุดท้ายก่อนออกสู่ตลาด (พงษ์เทพและคณะ, 2545)

### 2.2.3 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพ

การแสดงภาพดิจิทัล (Digital Image) สามารถแสดงเป็นแอเรย์ (Array) หลายมิติหรือเป็น เมทริกซ์ (Matrix) ของตัวเลข กำหนดให้  $f(x, y)$  เป็นผลของการหาค่าของภาพดิจิทัลที่มี  $M$  แถวและ  $N$  คอลัมน์ จุดพิกัด  $(x, y)$  มีจุดกำเนิดคือ  $(x, y) = (0, 0)$  และจุดพิกัด ถัดไปในแถวแรกของภาพคือ  $(x, y) = (0, 1)$  ซึ่งจุดพิกัด  $(0, 1)$  นี้ใช้ระบุถึงจุดภาพที่ 2 ในแถวแรกมิได้หมายความว่าถึงจุดพิกัดที่ใช้กันทั่วไปภาพดิจิทัลสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ภาพระดับสีเทา (Gray Image) ภาพสี (Color Image) ภาพขาวดำ (Black and White Image) และภาพดัชนี (Indexed Image) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ภาพระดับสีเทา (Intensity Image หรือ Monochrome Image หรือ Gray Image) ค่าในแต่ละจุดภาพของภาพประเภทนี้ คือค่าความเข้มของแสง ณ ตำแหน่งของแต่ละจุดภาพซึ่งจะอยู่ในรูปของระดับสีเทา (Gray Scale) ค่าที่เป็นไปได้ของภาพระดับเทาจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้โดยแสดงภาพชนิดนี้ได้ด้วยแอเรย์หลายมิติ

ภาพสี (Color Image) หรือ ภาพอาร์จีบี (RGB Image) ค่าในแต่ละจุดภาพของภาพสีประกอบไปด้วยเวกเตอร์ ซึ่งภาพสีจะแทนภาพด้วยแอเรย์หลายมิติของเวกเตอร์ที่แสดงค่าของสีแดง สีเขียว

และสีน้ำเงิน อย่างละ 8 บิต ดังนั้น ภาพอาร์จีบี 1 จุดภาพจะประกอบไปด้วยจำนวนบิตทั้งหมด 24 บิต ทำให้ภาพ RGB มีจำนวนสีที่เป็นไปได้ทั้งหมด 9 ระบบ CIELAB, CIEXYZ, HSI, NRGB, RGB, SCT, YIQ, YUV และ YcbCr

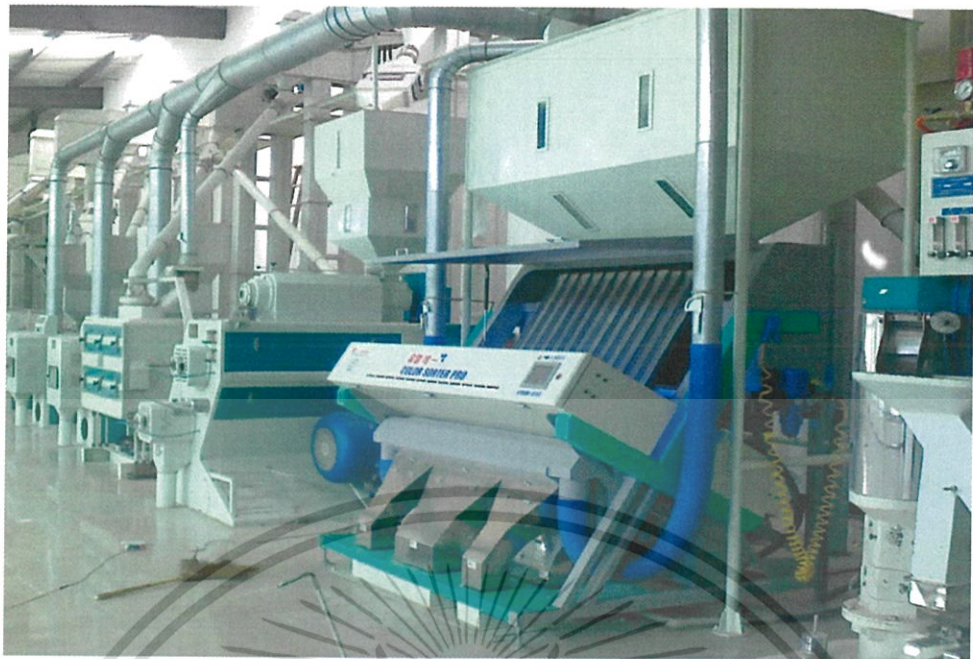
ภาพขาวดำ (Black and White Image) หรือ ภาพไบนารี (Binary Image) ค่าในแต่ละจุดภาพของภาพขาวดำจะใช้เพียง 1 บิต ซึ่งมีค่าที่เป็นไปได้ คือ 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว) เท่านั้น

ภาพดัชนี (Indexed Image) ค่าในแต่ละจุดภาพของภาพดัชนีประกอบด้วยค่าของหมายเลขดัชนี (Index Number) ซึ่งชี้ไปยังค่าของสีในตารางสี ดังนั้น ถ้าต้องการที่จะทราบค่าสีในแต่ละจุดภาพจะต้องไปดูค่าในตารางสีที่ดัชนีตรงกับค่าในจุดภาพ เช่น จุดภาพ ณ ตำแหน่ง (150, 125) ของภาพ มีค่าหมายเลขดัชนีเท่ากับ 5 ซึ่งชี้ไปยังค่าของสีลำดับที่ 5 ในตารางสี ซึ่งมีค่าสีแดง สีเขียว สีน้ำเงินเท่ากับ 0.2902, 0.0 และ 0.627 ตามลำดับ เป็นต้น

การประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นกระบวนการใด ๆ ที่กระทำต่อภาพทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเพื่อเป้าหมายอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น การปรับภาพให้คมชัดมากยิ่งขึ้น การแก้ไขภาพที่ไม่ชัด การรู้จำภาพ การแก้ไขภาพในเชิงเรขาคณิต และการแยกแยะบริเวณในภาพ เป็นต้น

#### 2.2.4 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพสี

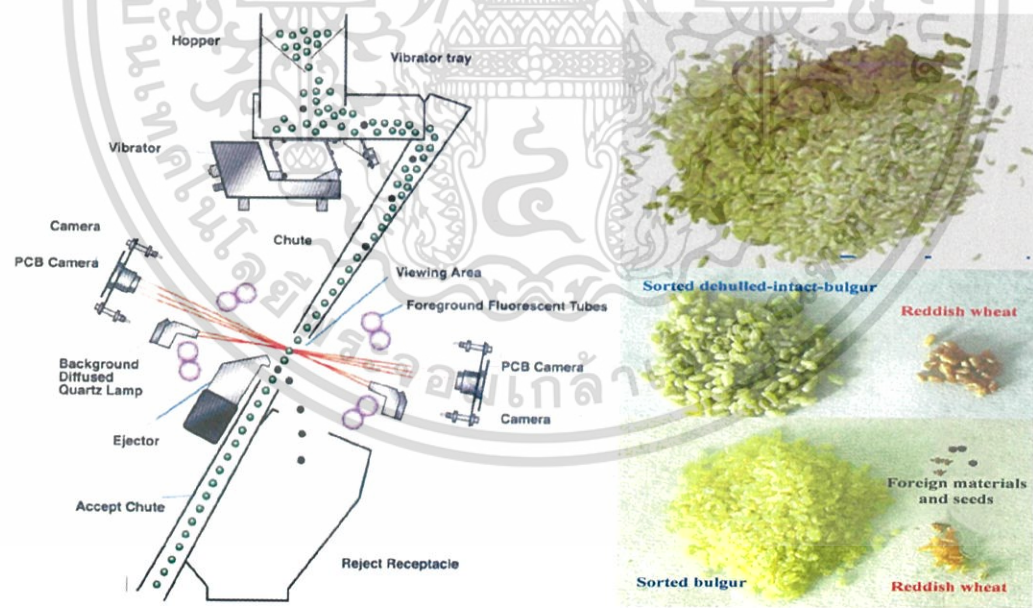
การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพสี อาศัยคุณสมบัติของสีแต่ละสีที่แตกต่างกันของแต่ละวัตถุโดยสีที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านที่ตามนุษย์มองเห็น ประกอบไปด้วยสีจำนวน 7 สี ได้แก่ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแดง ซึ่งสีต่างๆ เหล่านี้จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 380-760 นาโนเมตร การตรวจสอบด้วยวิธีนี้นำมาใช้ทดแทนการตรวจสอบด้วยสายตาของคนที่มีข้อจำกัดในการแบ่งแยกสีที่มีความหลากหลาย (จันทร์เพ็ญ, 2551) ซึ่งเป็นวิธีที่นำไปใช้ในเครื่องคัดแยกสี (Color Sorter) แสดงดังภาพที่ 2.3 เครื่องนี้ใช้สำหรับตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมเช่น กรวดหินดินทรายเปลือกกิ้งก่าและเมล็ดพืชอื่นๆ โดยอาศัยการแตกต่างของสีที่ต่างกัน หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสี คือ เมื่อผลิตผลผ่านเข้าไปในในที่ตรวจสอบแสง และทำการตรวจสอบด้วยระบบกล้อง CCD (Charge Coupled Device) ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยการตรวจสอบแต่ละพิกเซลและทำหน้าที่รับแสงและเปลี่ยนค่าแสงเป็นสัญญาณอนาล็อกส่งเข้าสู่วงจรเปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลอีกที จากนั้นโปรแกรมจะตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพเพื่อตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสีของวัสดุที่ตรวจสอบ ถ้าโปรแกรมตรวจพบสีที่ปฏิเสธจะส่งสัญญาณไปที่ตัวควบคุมเครื่องอัดอากาศ และยิงวัสดุออกแสดงดังภาพที่ 2.4 (ก) และ (ข) วิธีนี้จะช่วยเพิ่มคุณภาพเมล็ดพืชก่อนการจัดเก็บ นอกจากนี้เครื่องคัดแยกสียังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับผลิตผลทางการเกษตรอื่นๆ เช่น พริก กระเทียม เมล็ดกาแฟ เป็นต้น กระบวนการตรวจสอบและคัดแยกด้วยความแตกต่างของสีนี้สามารถคัดแยกสิ่งแปลกปลอมได้รวดเร็ว แต่อาจไม่สามารถแยกสิ่งแปลกปลอมที่มีสีใกล้เคียงกันได้



ภาพที่ 2.3 เครื่องคัดแยกสี (Color sorter)

ที่มา: [http://www.beltandbearings.com/product.detail\\_546344\\_th\\_2411767](http://www.beltandbearings.com/product.detail_546344_th_2411767)

วันที่สืบค้น 2/10/2555



ภาพที่ 2.4 (ก) หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสี (ข) เมล็ดพืชที่ยังไม่แยกและเมล็ดพืชที่แยกแล้ว

ที่มา: Bayram and Oner, 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.5 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน

### 2.2.5.1 การแผ่รังสีความร้อน

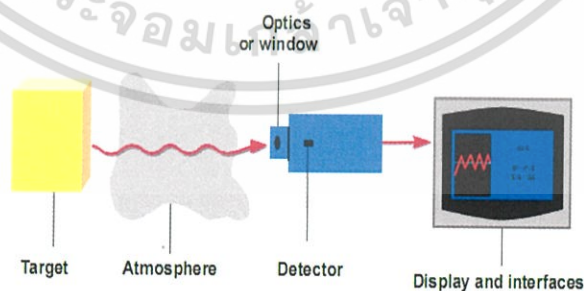
วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ หรือ  $-273.15^{\circ}\text{C}$  หรือ  $0\text{ K}$  จะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมา สำหรับกลไกของการแผ่รังสีความร้อนเกิดจากการสั่นและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งประกอบกันเป็นสสาร วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนจะสั่นหรือเคลื่อนที่มาก ส่งผลให้พลังงานภายในวัตถุมีค่าสูงกล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับอุณหภูมิ โดยรังสีความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 0.1 ไมโครเมตร ถึง 100 ไมโครเมตร ซึ่งความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนออกจากวัตถุใด ๆ มีค่าสูงสุดที่มุม  $\theta$  เท่ากับ 0 องศา แสดงดังภาพที่ 2.5 (นวกัฑราและทวีพล, 2555)



ภาพที่ 2.5 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง  
ที่มา: นวกัฑรา และทวีพล, 2555

### 2.2.5.2 กล้องถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อนหรือ Thermal image camera (TI - camera) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุโดยไม่มีการสัมผัสและทำลายวัตถุ อาศัยการวัดรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุและปรับค่ารังสีอินฟราเรดที่วัดได้เป็นอุณหภูมิอาศัยกฎของ Planck และกฎของ Stefan-Boltzmann (นวกัฑรา และ ทวีพล, 2555) ลักษณะการทำงานแสดงดังภาพที่ 2.6

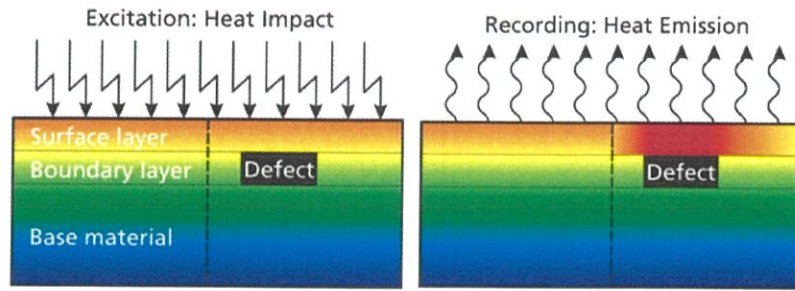


ภาพที่ 2.6 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ  
ที่มา: Gruner, 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบหลักของกล้อง TI ได้แก่ เลนส์ ตัวตรวจจับ และส่วนแสดงผล ซึ่งแสดงผลออกมาในรูปแบบของเฉดสีและตัวเลข กล้อง TI ประกอบด้วยเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดหลายตัว แต่ละตัวแสดงผลออกมาในรูปแบบของสีที่แตกต่างกันตามอุณหภูมิของจุดนั้น ๆ โดยทั่วไปสีแดงจะแสดงผลที่มีอุณหภูมิสูงและสีน้ำเงินแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือโทนสีสว่างแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และโทนสีมืดแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ผลของแต่ละจุดที่ได้จากเซนเซอร์แต่ละตัวเมื่อนำมารวมกันจะประกอบขึ้นเป็นภาพ เรียกว่า ภาพถ่ายทางความร้อน (Thermal Image) (นวกัทร และ ทวีพล, 2555) รูปแบบการวัดอุณหภูมิด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ การวัดเชิงปริมาณ หมายถึงการวัดอุณหภูมิของจุดที่สนใจ และการวัดเชิงคุณภาพ หมายถึงการพิจารณาความแตกต่างของภาพ (ยุทพงษ์ และคณะ, 2556)

การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อการวัดและการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 เทคนิค คือ Passive thermography และ Active thermography โดยเทคนิค Active thermography ต้องมีแหล่งกระตุ้นความร้อนจากภายนอก มาเป็นแหล่งให้ความร้อนกับวัตถุที่จะทำการตรวจสอบ ซึ่งตัวอย่างที่นิยมใช้เป็นแหล่งกระตุ้นความร้อนสำหรับงานตรวจสอบแบบไม่ทำลาย คือ แสงจากหลอดไฟฮาโลเจน หลอดไฟซีนอน แสงเลเซอร์ กระแสไฟฟ้าหมุนวน หรือ อัลตราโซนิก เป็นต้น ตัวอย่างการประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนด้วยเทคนิค Active thermography ได้แก่ การหาความผิดปกติบนแผ่นไม้อัด ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยให้ความร้อนลงบนพื้นผิวของตัวอย่างก่อน จากนั้นใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจสอบความผิดปกติ พบว่าบริเวณที่เป็นโพรงอากาศอยู่ภายใน ความร้อนจะผ่านออกไปได้น้อยจึงทำให้ความร้อนสะสมอยู่นานกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นจึงทำให้กล้องสามารถตรวจจับบริเวณที่ผิดปกติได้ วิธีการตรวจสอบแบบ Active thermography มีหลายวิธี เช่น วิธี lock-in infrared thermography และวิธี Pulse thermography การทดสอบด้วยวิธี lock-in infrared thermography มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีอื่นเนื่องจาก แหล่งให้ความร้อนจะต้องบ่อนเป็นลักษณะคาบเวลาแบบสัญญาณไซน์ ผ่านไปยังอุปกรณ์กระตุ้นความร้อน เช่น หลอดไฟ หรือ อัลตราโซนิก เพื่อให้ความร้อนจากนั้นวัดผลตอบสนองในรูปแบบของเฟสและแอมพลิจูด จากภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยภาพของเฟสสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของเวลาในการกระจายความร้อนและความผิดปกติบนพื้นผิวได้ วิธี Pulse thermography เป็นวิธีการให้ความร้อนจากแหล่งกระตุ้นเพียงแค่วิธีเวลาสั้น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัสดุ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน



ภาพที่ 2.7 (ก) การให้ความร้อนกับพื้นผิวไม้ (ข) บริเวณที่เป็นโพรงจะสะสมความร้อนได้นานกว่า  
ที่มา : Meinschmidt (2005)

ภาพถ่ายทางความร้อนเป็นภาพที่ได้จากการแผ่รังสีของวัตถุ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด (Infrared region) การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน ปัจจุบันเป็นวิธีที่ดำเนินงานอยู่ในระดับงานวิจัยโดยเป็นการวัดเชิงคุณภาพที่พิจารณาความแตกต่างของภาพซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการตรวจสอบ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ และความจุความร้อนจำเพาะ รายละเอียดมีดังนี้

1) สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ โดยมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุกับรังสีที่แผ่ออกจากวัตถุ Black body ณ อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุจริงใด ๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แต่วัตถุดำ มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนเท่ากับ 1 เสมอ เนื่องจากวัตถุดำเป็นวัตถุทางอุดมคติสำหรับการแผ่รังสีความร้อน มีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนได้สูงที่สุด และมีความสามารถในการดูดซึมรังสีที่มาจากกระทบทั้งหมดในทุกความยาวคลื่นและทุกทิศทาง ซึ่งสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุ ลักษณะพื้นผิวของของวัตถุ และอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ (ทรา และทวีพล, 2555 สำหรับการหาพลังงานการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุใด ๆ หรือ วัตถุจริงจำเป็นต้องทราบสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุเพื่อป้อนให้กับกล้องถ่ายภาพความร้อน หากป้อนสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนได้ถูกต้องจะส่งผลให้อุณหภูมิที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนถูกต้องด้วย ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัสดุชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 สามารถคำนวณพลังงานการแผ่รังสีอินฟราเรดได้จากสมการที่ 2.1

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 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 ค่าที่แสดงถึงคุณสมบัติในการรับคาย/ความร้อนของวัตถุโดยทั่วไปความจุความร้อนจำเพาะคือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุมวล 1 หน่วย มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม 1 องศา มีหน่วยเป็น ปริมาณความร้อนต่อหน่วยมวลต่อหน่วยอุณหภูมิ เช่น แคลอรีต่อกรัมต่อองศาเซลเซียส กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส หรือจูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวิน สำหรับสมการของการหาพลังงานความร้อนที่วัตถุได้รับมีรูปทั่วไปแสดงดังสมการที่ 2.2 และตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุแสดงดังตารางที่ 2.2

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

ตารางที่ 2.2 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.3.1 การวัดสมบัติทางความร้อนด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน

Gamaliel et al. (2013) ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนประมาณค่าความหนาแน่นของไม้ โดยวิเคราะห์จากหลักการ IRT และพฤติกรรมทางอุณหพลศาสตร์ของไม้เป็นฟังก์ชันกับความหนาแน่น ซึ่งผลการทดลองพิจารณาการเย็นตัวของไม้หลายๆ ตัวอย่างเพื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ และวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อประมาณค่าความหนาแน่นของไม้ ซึ่งพบว่าวิธีดังกล่าวสามารถหาความหนาแน่นของไม้ได้ และยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการประมาณค่าของสมบัติทางกายภาพของวัสดุต่างๆ

Chudzik (2012) ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนของฉนวน โดยประยุกต์ใช้วิธีการกระตุ้นความร้อนแบบเป็นช่วง และใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงบริเวณผิวของตัวอย่างที่ทดสอบ จากนั้นวิเคราะห์ด้วยวิธีแก้ปัญหามย้อนกลับ โดยใช้สมการการกระจายอุณหภูมิแบบ 3 มิติและหาวิธีที่เหมาะสมในการหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อน พบว่า วิธี Thermo-wave มีการรบกวนของอุณหภูมิมิบริเวณด้านข้างซึ่งควรคำนวณโดยการแก้ปัญหามย้อนกลับ และควรใช้วิธี Thermovision ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนของฉนวน

Christineand Stéphane (2012) ประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอย่างง่าย ของวัสดุ 3 ชนิดคือ Polypropylene Pmma และ Glass โดยใช้วิธี lock in thermography ซึ่งในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนใช้การประมาณค่าโดยตรงจากวัสดุแต่การวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต้องมีวัสดุอ้างอิงในการเปรียบเทียบเพื่อใช้ในการประมาณค่าโดยผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ได้จากการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริง

Torreset al. (2012) ประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนแบบ active ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนของตัวอย่างทรงกลม โดยใช้ทฤษฎีการนำความร้อนของวัสดุ 3 มิติ ในสมการการกระจายความร้อน ซึ่งในการทดลองใช้หลอดไฟฮาโลเจน ให้ความร้อนแก่วัสดุทรงกลม 3 ชนิดคือ Polyurethane foam, Fuji Apple และ Candle แล้วใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง จากนั้นนำค่าอุณหภูมิที่บันทึกได้มาสร้างแบบจำลอง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนสอดคล้องกับค่ามาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

Krauseet al. (2011) ประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่มีความละเอียดโดยในการทดลองใช้เลเซอร์ในการให้ความร้อนแก่วัสดุที่มีการบรรจุ 3 ลักษณะ คือ ฝุ่นที่บรรจุด้วยวิธี RBD ฝุ่นที่ผ่านการกรอง และใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการตรวจวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่วัดได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนขึ้นกับลักษณะการบรรจุของวัสดุในการทดลอง

Laskar et al. (2008) ประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนของของแข็ง โดยให้ความร้อนแก่วัสดุบริเวณด้านหน้า และใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการตรวจจับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงบริเวณที่ผิวของตัวอย่าง ซึ่งในการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนของวัสดุ 3 ชนิดคือ อลูมิเนียม ทองแดง และทองเหลือง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนที่ได้จากการทดลองมีค่าสอดคล้องกับค่าของงานวิจัยอื่นๆ

Bison et al. (2002) เปรียบเทียบการวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนของแผ่นสแตนเลส 304 จาก 3 วิธี คือ วิธีให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก วิธีให้ความร้อนโดยใช้แสงแฟลชร่วมกับวิธี Deconvolution โดยทั้งสองวิธีใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของตัวอย่าง และผลกระทบจากภาพถ่ายทางความร้อน พบว่าวิธีให้ความร้อนโดยใช้แสงแฟลชร่วมกับวิธี Deconvolution มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ มากที่สุด และเหมาะสำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนของวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนต่ำ

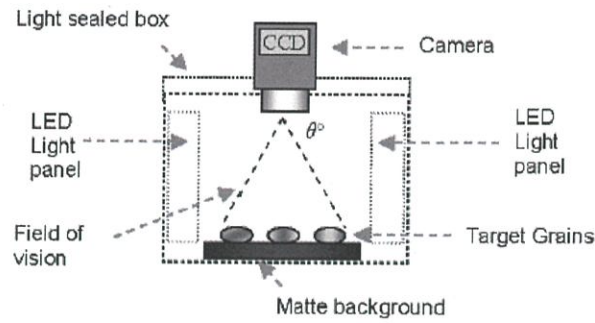
### 2.3.2 การตรวจสอบเมล็ดพืชด้วยวิธีการประมวลผลภาพถ่าย

Hobson et al. (2007) เสนอวิธีการถ่ายภาพที่ใช้กล้องควบคุมแสงสำหรับการถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบสายพันธุ์ของเมล็ดพืช ก่อนนำไปประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม ซึ่งการใช้กล้องควบคุมแสงช่วยลดแสงรบกวนจากธรรมชาติ จึงจะทำให้ได้ภาพที่ชัดเจน ง่ายต่อการนำไปประมวลผลภาพ มีหลักการดำเนินการดังภาพที่ 2.8 (ก) โดยมีหลอด LED2 หลอดในการให้ความสว่างในกล้องควบคุมแสง เมล็ดพืชจะถูกวางบนถาดที่มีสีของพื้นผิวแตกต่างกับเมล็ดพืช และวางอยู่ใต้ตำแหน่งโฟกัสของกล้อง บันทึกภาพจากนั้นนำไปผ่านขั้นตอนในการปรับภาพ จะได้ภาพที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนดังภาพที่ 2.8 (ข) แสดงภาพที่ได้ระหว่างเมล็ดพืชตัวอย่างและพื้นหลังมีความแตกต่างอย่างชัดเจน โดยอาศัยสมบัติทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ค่าเฉลี่ยของความยาว และค่า Grey Level จากการประมวลผลภาพ พบว่าสามารถตรวจสอบและคัดแยกสายพันธุ์ของเมล็ดพืชได้

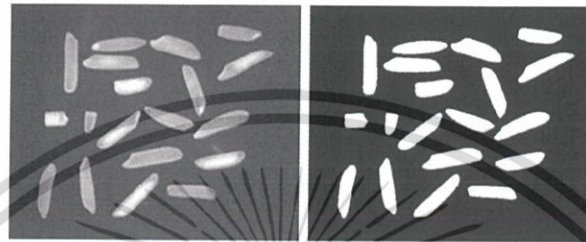
Choudhary et al. (2007) วิเคราะห์และประมวลผลภาพโดยใช้ภาพถ่ายเมล็ดพืช ได้แก่ ข้าวฟ่าง ข้าวบาเลย์ ข้าวโอ๊ต และข้าวไรย์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการคัดแยกด้วยการประมวลผลภาพ พบว่าปัจจัยที่มีผลได้แก่ ความยาวคลื่นสั้น รูปร่าง สี และผิวสัมผัส อย่างไรก็ตามพบว่าไม่สามารถนำปัจจัยเพียงอย่างเดียวมาใช้ในการวิเคราะห์สำหรับตรวจสอบชนิดของเมล็ดพืชได้ ควรพิจารณารูปร่างและผิวสัมผัสของเมล็ดพืชมาใช้ในการตรวจสอบด้วย เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงวิธีการตรวจสอบให้มีคุณภาพดีและเหมาะสม สำหรับใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าว ระบุชนิดของสายพันธุ์ข้าว และตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืช (Paliwal et al., 2003;

นอกจากนี้ยังมีการใช้ลักษณะของพื้นผิวภายนอกของเมล็ดพืชในการคัดแยก

สายพันธุ์ที่ต่างชนิดกัน



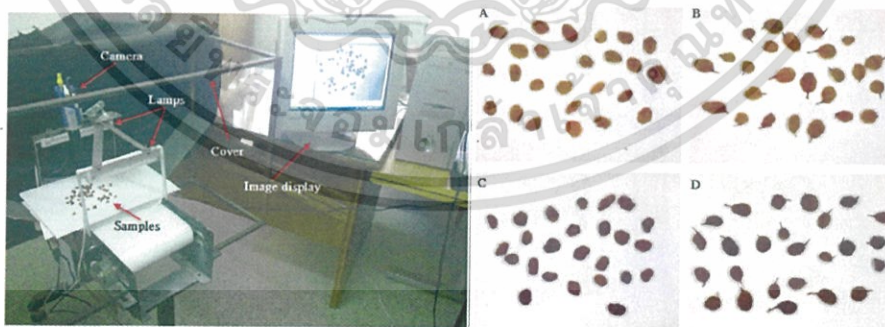
(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.8 การถ่ายภาพเมล็ดพืช (ก) กล้องควบคุมแสง (ข) การประมวลผลภาพจากโปรแกรม  
ที่มา: Hobson et al. (2007)

Mollazade et al. (2012) ประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพในการตรวจสอบลูกเกดกับ  
สิ่งแปลกปลอม (ก้าน) โดยใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพ ดังภาพที่ 2.9 (ก) เพื่อเก็บข้อมูลภาพ จากนั้นตรวจสอบกับ  
ลูกเกดที่มีสีเขียว ลูกเกดสีเขียวที่มีก้าน ลูกเกดสีดำ และลูกเกดสีดำที่มีก้านภาพที่ 2.9 (ข) โดยอาศัยความ  
แตกต่าง สี ขนาด และรูปร่างของลูกเกด ซึ่งการตรวจสอบพบว่าวิธีANNs SVMsDTs และ BNs มีความถูก  
ต้องในการตรวจสอบสูงสุด 96.33 95.67 94.67 และ 94.33 %



(ก)

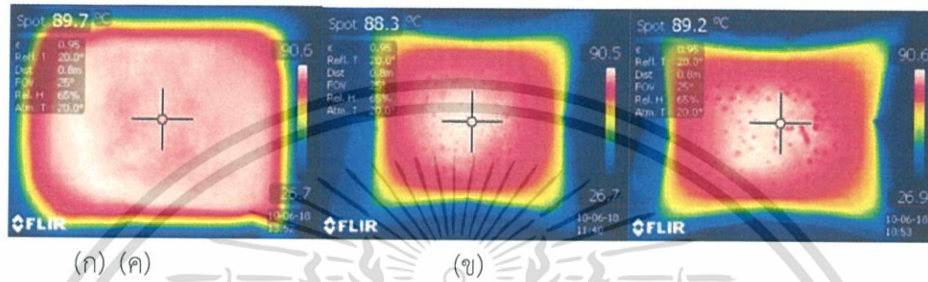
(ข)

ภาพที่ 2.9 (ก) ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้ถ่ายภาพ (ข) ลูกเกดที่ใช้ในการตรวจสอบ  
ที่มา: Mollazade et al. (2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 การตรวจสอบเมล็ดพืชด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อน

ใจทิพย์ และคณะ (2545) ประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุร่วมกับการใช้ภาพถ่ายความร้อนในการจัดการข้าวให้ปราศจากสารพิษ Aflatoxin โดยพบว่าปริมาณการติดเชื้อ *A. flavus* ลดลงเมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการให้คลื่นความถี่วิทยุเพิ่มขึ้นภาพความร้อนที่ได้จากกล้องอินฟราเรดแสดงการกระจายความร้อนของการบรรจุเมล็ดข้าวแบบสุญญากาศ เปรียบเทียบระหว่างการบรรจุแบบไม่มีพื้นที่ว่างเต็มถุง 100% และการบรรจุแบบมีพื้นที่ว่างโดยมีลักษณะการบรรจุหลวมโดยมีพื้นที่บรรจุประมาณ 85% แสดงดังภาพที่ 2.10 จากการศึกษาพบว่าเมล็ดข้าวได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอส่งผลให้เชื้อราที่ติดมาตายในที่สุด



ภาพที่ 2.10 การกระจายความร้อนของการบรรจุแบบสุญญากาศ (ก) แบบไม่มีพื้นที่ว่าง บรรจุเต็มถุง 100% (ข) แบบมีพื้นที่ว่างโดยบรรจุ 85% (ค) หลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุ ที่มา: ใจทิพย์ วานิชขงและคณะ, 2545

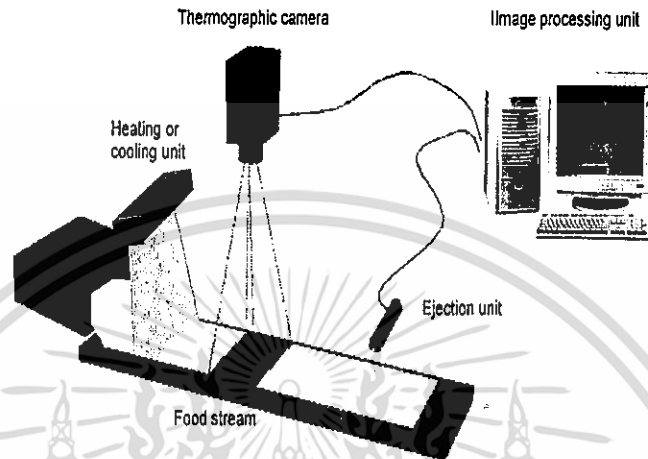
Chelladurai et al. (2010) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบเชื้อราหลังการเก็บเกี่ยวโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างข้าวสาเลที่มีคุณภาพดีกับข้าวสาเลที่เกิดการติดเชื้อภาพถ่ายทางความร้อนสามารถใช้ในการตรวจสอบเชื้อราได้หลายชนิดและระบุเชื้อได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เช่น *Aspergillus glaucus* และ *Penicillium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

Chandra et al. (2010) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบแมลงที่ทำให้เมล็ดข้าวสาเลเกิดความเสียหายโดยอาศัยคลื่นสั้น เปรียบเทียบความแตกต่างของช่วงความยาวคลื่นและคุณสมบัติความแตกต่างของสี สามารถใช้ตรวจสอบแมลงได้แก่ ตัวงวงข้าว มอดข้าวเปลือก ตัวงท้องแบน มอดแป้ง นอกจากนี้แมลงศัตรูข้าวที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังพบแมลงอื่นๆ อีกหลายชนิด

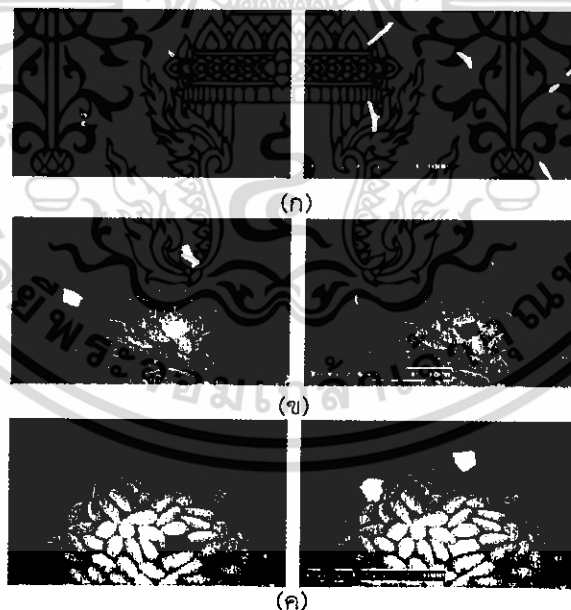
Emekei et al. (2004) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบแมลงในระยะการฟักตัว โดยอาศัยความแตกต่างของการกระจายอุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดพืชที่มีแมลงอยู่กับอัตราการหายใจของแมลงในแต่ละช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโต

Ginesu et al. (2004) ได้ศึกษาและทดลองนำภาพถ่ายความร้อน (Thermal image) มาใช้ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืช ซึ่งในการทดลองจะแบ่งกลุ่มของสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เมล็ดอัลมอนต์กับหิน เมล็ดอัลมอนต์กับเศษกระดาษ และลูกเกดกับเศษไม้

ซึ่งใช้ชุดอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 2.11 โดยให้ความร้อนกับสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช และทิ้งไว้จนได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมและใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนถ่ายจะได้ภาพที่เกิดจากกล้องถ่ายภาพความร้อนซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.12 จากนั้นนำภาพถ่ายทางความร้อนมาตรวจวิเคราะห์เพื่อตรวจหาสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชได้ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปซึ่งผลการทดลองจะได้ภาพที่แสดงถึงความแตกต่างระหว่างเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ 2.11 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมโดยกล้องถ่ายภาพความร้อน  
ที่มา: Ginesu et al. (2004)



ภาพที่ 2.12 ภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม (ก) เศษไม้กับลูกเกต (ข) เศษกระดาษ และ (ค) เศษหินกับเมล็ดอัลมอลด์  
ที่มา: Ginesu et al. (2004)

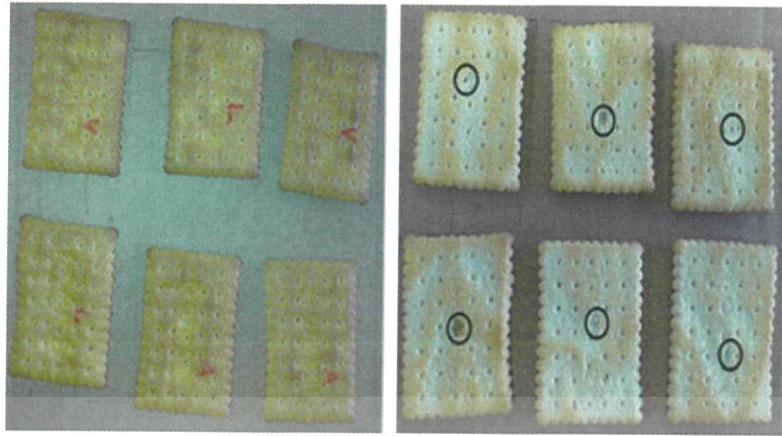
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้กล้องถ่ายภาพความร้อนยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการรบกวนของแมลงในข้าวสาลี โดย Manickavasagan *et al.* (2008) ได้ทดลองใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการตรวจจับการรบกวนของตัวด้วงในข้าวสาลี ซึ่งในการทดลองจะเริ่มจากนำข้าวสาลีที่ไม่ถูกรบกวนและข้าวสาลีที่ถูกรบกวนดังภาพที่ 2.13 มาบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและใส่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาทีจากนั้นนำมาทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 วินาทีและใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนถ่ายรูปเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความแตกต่างของข้าวสาลีที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวน จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของข้าวสาลีที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวน



ภาพที่ 2.13 ภาพข้าวสาลีที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวน  
ที่มา: <http://wheatgrassthai.blogspot.com/2007/03/1-7.html>

Senniet *et al.* (2014) ได้ทดลองนำกล้องอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ซ่อนอยู่ในขนมปังกรอบ ซึ่งในการทดลองเป็นการนำสิ่งแปลกปลอม อันได้แก่ หิน เศษแก้ว เศษพลาสติก เศษไม้ เศษกระดาษ และเศษผ้า เป็นต้น มาใช้ในการทดลองโดยนำสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้ไปใส่ไว้ในแป้งขนมปังหรือแป้งโดว์แล้วจึงนำไปอบเป็นเวลา 6 วินาที ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เมื่อทำการอบเสร็จแล้วจะทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเย็นตัวลงจากนั้นจึงใช้กล้องอินฟราเรดถ่ายภาพในทุก ๆ 10 วินาที เป็นเวลา 30 นาที เมื่อทำการอบเสร็จแล้วจะทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเย็นตัวลงจากนั้นจึงใช้กล้องอินฟราเรดถ่ายภาพเพื่อนำตรวจหาสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนอยู่ภายในขนมปังกรอบ ซึ่งภาพที่ได้จากการทดลองแสดงดังภาพที่ 2.14 สามารถนำมาตรวจวิเคราะห์เพื่อตรวจหาสิ่งแปลกปลอมได้ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปผลการทดลองจะเห็นความแตกต่างระหว่างสิ่งแปลกปลอมกับอาหารได้จากภาพถ่ายความร้อน และงานวิจัยนี้มีการพัฒนาไปสู่ระบบ on-line ในอุตสาหกรรมการผลิตขนมปังกรอบ



ภาพที่ 2.14 ภาพความร้อนที่ใช้ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนในขนมปังกรอบ  
ที่มา: Senni et al., 2014



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

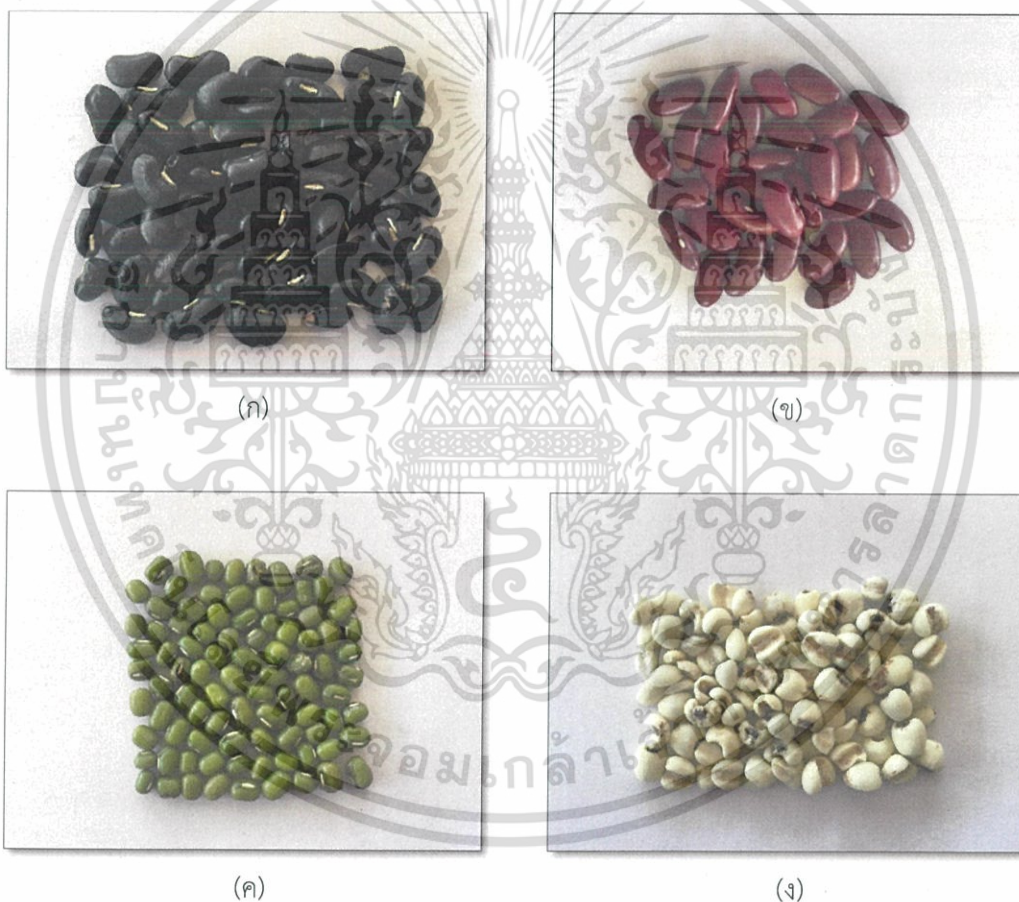
### บทที่ 3

## วัสดุ อุปกรณ์ และการทดลอง

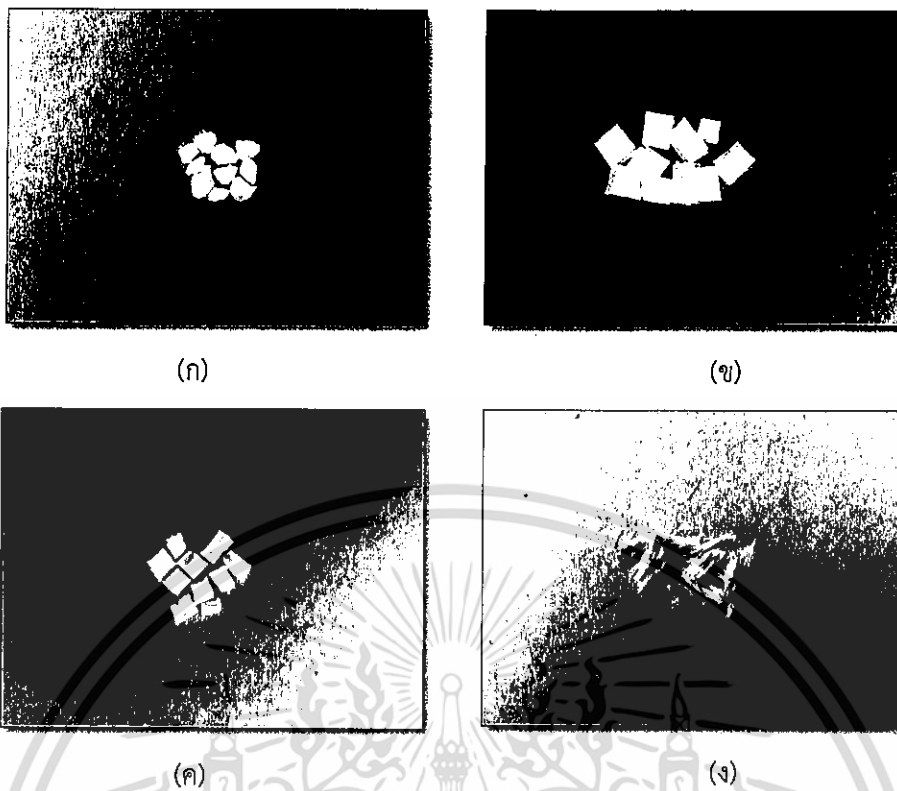
### 3.1 การเตรียมวัสดุ

#### 3.1.1 วัสดุทดลอง

ตัวอย่างเมล็ดพืชที่ใช้สำหรับทดลอง ได้แก่ ถั่วแดง ถั่วดำ ถั่วเขียว และลูกเดือย ดังภาพที่ 3.1 วัสดุที่ใช้เป็นตัวอย่างในการตรวจสอบ ได้แก่ หิน เศษไม้ เศษเชือก และเศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด) ดังภาพที่ 3.2 โดยทำการชั่งน้ำหนัก วัดขนาด และหาพื้นที่หน้าตัดของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม จำนวนชนิดละ 10 ชิ้น ซึ่งการวัดขนาดแสดงดังภาพที่ 3.3 และแสดงผลการวัดที่ได้โดยเฉลี่ยในตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 เมล็ดพืชตัวอย่าง (ก) ถั่วดำ (ข) ถั่วเขียว (ค) ลูกเดือย และ (ง) ถั่วแดง



ภาพที่ 3.2 สิ่งแปลกล้อมตัวอย่าง (ก) หิน (ข) ฟิวเจอร์บอร์ด (ค) เศษไม้ และ (ง) เศษเชือก

	ความกว้าง	ความยาว	ความหนา
ถั่วดำ			
ถั่วเขียว			
ถั่วแดง			

ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างการวัดขนาดตัวอย่าง ได้แก่ ถั่วดำ ถั่วเขียว ถั่วแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง

วัสดุตัวอย่าง	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/เมล็ด)	ขนาด (กว้างxยาวxสูง) (เซนติเมตร)	พื้นที่เฉลี่ย (เซนติเมตร)	แหล่งที่มา
ถั่วแดง	0.56±0.07	1.87x0.86x0.73	1.18351±0.22	ถั่วแดงตราไร้ทิพย์
ถั่วดำ	0.25±0.04	1.39x0.93x0.68	0.89378±0.29	ถั่วดำตราไร้ทิพย์
ถั่วเขียว	0.08±0.01	0.77x0.52x0.60	0.24439±0.08	ถั่วเขียวตราไร้ทิพย์
ลูกเดือย	0.11±0.02	0.82x0.86x0.61	0.44081±0.17	ลูกเดือยตราไร้ทิพย์
เศษไม้	0.01±0.01	0.56x0.49x0.24	0.06243±0.01	ไม้เอนิเม็กซ์ของศึกษารักษณต์
หิน	0.05±0.00	0.61x0.48x0.39	0.12350±0.06	หินจากร้านเครื่องเขียน
เชือก	0.01±0.00	1.18x0.30x0.12	0.04374±0.02	เชือกจากร้านเครื่องเขียน
ฟิวเจอร์บอร์ด	0.01±0.01	0.71x0.61x0.44	0.18410±0.08	ฟิวเจอร์บอร์ดจากร้านเครื่องเขียน

หมายเหตุ ข้อมูลน้ำหนักและพื้นที่เฉลี่ยของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมจำนวนชนิดละ 10 เมล็ด

จากข้อมูลสมบัติทางกายภาพข้างต้น พบว่า ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วดำ มีสีแตกต่างจากสิ่งแปลกปลอมทุกชนิดอย่างชัดเจนและมีสมบัติเชิงความร้อนแตกต่างจากสิ่งแปลกปลอมทุกชนิดด้วย จึงสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้หลายวิธี เช่น การประมวลผลของภาพสีและการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนก็ได้ แต่เมล็ดลูกเดือยที่มีขนาดที่ใกล้เคียงกับฟิวเจอร์บอร์ดและไม้ และยังมีสีที่ใกล้เคียงกับฟิวเจอร์บอร์ดและหินจึงไม่สามารถประมวลผลด้วยภาพสีได้ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการทำงานของเครื่องคัดแยกด้วยสี (Colour sorter) ที่มีข้อจำกัด คือ หากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีสีใกล้เคียงกันจะทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจสอบลดลง (Bayram & Oner, 2006) ดังนั้น จึงเลือกใช้ลูกเดือยในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชด้วยวิธีการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน

### 3.1.2 การหาความชื้น

นำเมล็ดพืชมาบดใส่ภาชนะปริมาณ 3 กรัม ทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นก่อนอบโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้า ที่มีความละเอียดอยู่ที่ 0.0001 กรัม (ยี่ห้อ Yamato รุ่น HB-120 ประเทศญี่ปุ่น) และนำเข้าไปอบในตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Memmert รุ่น UFB 400 ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปดูดความชื้นในตู้ดูดความชื้น (Dessicator) (ยี่ห้อ Notthman รุ่น 50) และนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาความชื้นฐานแห้ง จากสมการที่ 3.1 ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

$$\% \text{ความชื้นฐานแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักหลังอบ}} \times 100 \quad (3.1)$$

### 3.1.3 การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ

ใช้แคลอริมิเตอร์หาความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ซึ่งอาศัยหลักการสมดุลพลังงานความร้อนระหว่างตัวกลางกับวัตถุที่ต้องการหาความจุความร้อนจำเพาะ ซึ่งการทดลองนี้ใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลางโดยใช้น้ำธรรมดาตามสมน้ำแข็ง แคลอริมิเตอร์แต่ละตัวมีความจุความร้อนจำเพาะไม่เท่ากันจึงจำเป็นต้องมีการทดลองหาความจุความร้อนจำเพาะของแคลอริมิเตอร์แต่ละตัวก่อนแล้วจึงไปหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเป็นลำดับถัดไป

#### 3.1.3.1 การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของแคลอริมิเตอร์

การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของแคลอริมิเตอร์ ( $c_c$  มีหน่วย J/kg K) เริ่มจากชั่งน้ำหนักของแคลอริมิเตอร์พร้อมแท่งกวนแล้วบันทึกมวลที่ได้ ( $m_c$  มีหน่วย kg) แล้วเติมน้ำเย็นซึ่งตั้งไว้จนมีอุณหภูมิต่ำลงในแคลอริมิเตอร์ ซึ่งทราบมวล ( $m_{w1}$  มีหน่วย kg) และวัตถุอุณหภูมิ ( $T_1$  มีหน่วยเป็น °C หรือ K) และคำนวณหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของแคลอริมิเตอร์จากสมการที่ 3.2 โดยความจุความร้อนของน้ำ ( $c_w$ ) มีค่าเท่ากับ 4.18 kJ/kg K

$$C_c = \frac{c_w m_{w2}(T_2 - T) - c_w m_{w1}(T - T_1)}{m_c(T - T_1)} \quad (3.2)$$

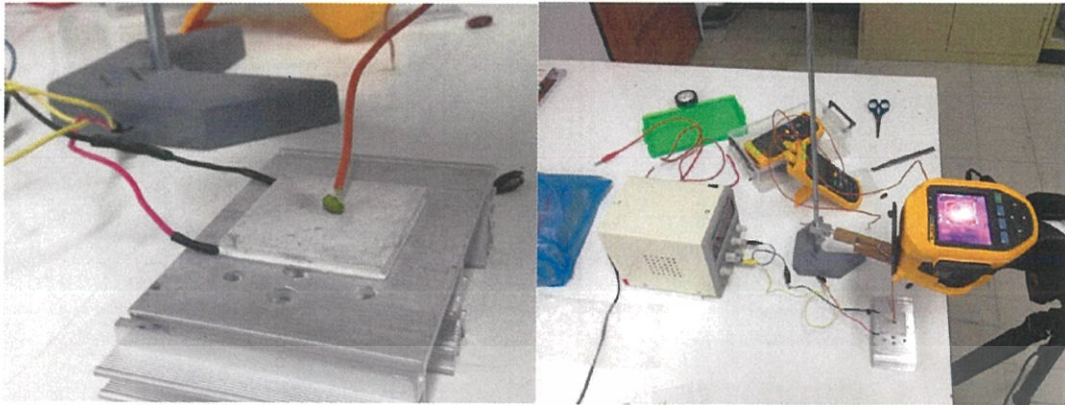
### 3.1.3.2 การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ( $C_{\text{sample}}$  มีหน่วย J/kg K) เริ่มจากชั่งน้ำหนักของแคลอรีมิเตอร์พร้อมแท่งกวนแล้วบันทึกมวลที่ได้ ( $m_c$  มีหน่วย kg) จากนั้นเติมน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิคงที่ลงในแคลอรีมิเตอร์แล้วชั่งน้ำหนักบันทึกมวล ได้ ( $m_{w1}$  มีหน่วย kg) รวมทั้งวัดอุณหภูมิของน้ำเย็น ( $T_1$  มีหน่วยเป็น °C หรือ K) จากนั้นวัดอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดพืชหรือสิ่งแปลกปลอม ( $T_{\text{sample}}$  มีหน่วยเป็น °C หรือ K) และชั่งน้ำหนัก ( $m_{\text{sample}}$  มีหน่วยเป็น kg) จากนั้นนำเมล็ดพืชหรือสิ่งแปลกปลอมใส่ในแคลอรีมิเตอร์ที่มีน้ำเย็นอยู่ และใช้แท่งกวนของแคลอรีมิเตอร์กวนประมาณ 5-10 นาที จนน้ำในแคลอรีมิเตอร์มีอุณหภูมิคงที่ บันทึกอุณหภูมิที่ได้เป็นอุณหภูมิผสม ( $T_{\text{mix}}$  มีหน่วยเป็น °C หรือ K) และคำนวณหาความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมจากสมการที่ 3.3 โดย  $C_c$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของแคลอรีมิเตอร์ที่หามาได้จากสมการที่ 3.2 มีหน่วยเป็น kJ/kg K

$$C_{\text{sample}} = \frac{c_w m_{w1}(T_{\text{mix}} - T_1) + m_c C_c (T_{\text{mix}} - T_1)}{m_{\text{sample}}(T_{\text{sample}} - T_{\text{mix}})} \quad (3.3)$$

### 3.1.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity, $\epsilon$ ) ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมสามารถหาด้วยวิธีการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน โดยให้ความร้อนแก่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เพื่อเพิ่มปริมาณการแผ่รังสีความร้อนของ (Emission) โดยแหล่งความร้อนที่เลือกใช้สำหรับให้ความร้อน คือ แผ่นเพลเทียร์ (Peltier) ต่อกับชุดแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้า การทดลองเริ่มจาก นำเมล็ดพืชหรือสิ่งแปลกปลอมที่มีเทอร์โมคัปเปิล Type K ติดไว้บริเวณพื้นผิว เพื่อวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส วางบนแผ่นเพลเทียร์ ดังภาพที่ 3.4 ซึ่งเมล็ดพืชหรือสิ่งแปลกปลอมจะได้รับความร้อนด้วยกลไกการนำความร้อน ให้ความร้อนจนเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีอุณหภูมิคงที่ และใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนวัดอุณหภูมิตัวอย่าง โดยปรับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนที่ปรากฏบนกล้องจนอุณหภูมิที่อ่านได้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนที่ปรากฏบนกล้องถ่ายภาพความร้อน ณ ขณะนั้น เป็นค่าที่แสดงถึงสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชหรือสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการหานั้นเอง



ภาพที่ 3.4 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน

### 3.2 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับถ่ายภาพความร้อน

ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับใช้ถ่ายภาพความร้อนของสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืช แสดงดังตารางที่ 3.2

#### ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รายการอุปกรณ์	รายละเอียด
กล้องถ่ายภาพความร้อน	ยี่ห้อ Fluke รุ่น TI400 ความละเอียด 76,000 พิกเซล ช่วงอุณหภูมิที่วัดได้ -20 ถึง 1,200 องศาเซลเซียส ความไวต่ออุณหภูมิ (Thermal sensitivity) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 องศาเซลเซียส
หลอดไฟ	ประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์ จำนวน 1 หลอด
เครื่องชั่งน้ำหนัก	ยี่ห้อ Yamato รุ่น HB-120 ประเทศญี่ปุ่น
ตู้อบลมร้อน	ยี่ห้อ Memmert รุ่น UFB 400 ประเทศเยอรมัน
ตู้ดูดความชื้น	ยี่ห้อ Notthman รุ่น 50
ชุดแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้า	ยี่ห้อ BAKU รุ่น BK-1502DD
เทอร์โมคัปเปิล	ประเภท Type K
ภาชนะใส่ตัวอย่างทดลอง	ถาดอะลูมิเนียมที่ผิวไม่มันวาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการออกแบบชุดอุปกรณ์จำเป็นต้องพิจารณาการเลือกใช้ชนิดของหลอดไฟสำหรับเป็นแหล่งให้ความร้อน ตำแหน่งการติดตั้งหลอดไฟ ตำแหน่งการติดตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อน การหาระยะโฟกัสของกล้องถ่ายภาพความร้อน ชนิดของภาชนะตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง และการหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการให้ความร้อนหรือคายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 3.2.1 การเลือกชนิดหลอดไฟสำหรับเป็นแหล่งให้ความร้อน

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่กับเมล็ดพืชด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่วัสดุ เพื่อให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอ้างอิง (อุณหภูมิห้อง) โดยต้องคำนึงถึงปริมาณความร้อนที่ไม่ทำให้เมล็ดพืชสูญเสียคุณภาพ จึงเลือกใช้แหล่งความร้อนจากหลอดไฟประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์ ในการให้ความร้อนพิจารณาจากผลการทดลอง คือ นำภาชนะหรือภาชนะที่นิยมมาให้ความร้อน เพื่อพิจารณาการกระจายความร้อนบนภาชนะ ซึ่งหลอดไฟที่นำมาพิจารณามีอยู่ 2 แบบ คือ หลอดไฟกลมประเภทหลอดไส้ ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 4 หลอด โดยนำมาติดตั้งบริเวณมุมทั้ง 4 ด้าน เหนือภาชนะใส่ตัวอย่างทดลอง (ภาพที่ 3.5 ก) และหลอดไฟประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์ จำนวน 1 หลอด ติดตั้งอยู่เหนือภาชนะใส่ตัวอย่างทดลอง (ภาพที่ 3.5 ข) จากการทดลอง พบว่า เมื่อใช้หลอดไฟประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์ จำนวน 1 หลอด เป็นแหล่งให้ความร้อนได้ภาพถ่ายความร้อนของภาชนะใส่ตัวอย่างที่เรียบเนียนสม่ำเสมอ จึงสรุปได้ว่า ภาชนะที่นิยมได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง ดังนั้น การทดลองเพื่อหาชนิดของแหล่งความร้อนจึงเลือกหลอดไฟประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์ จำนวน 1 หลอด



ภาพที่ 3.5 ลักษณะการติดตั้งแหล่งให้ความร้อน (ก) หลอดไฟกลมประเภทหลอดไส้ ขนาด 100 วัตต์ และ (ข) หลอดไฟประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ ขนาด 150 วัตต์

### 3.2.2 การเลือกชนิดภาชนะสำหรับใส่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

เลือกภาชนะที่สามารถแยกพื้นหลังของภาชนะกับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนได้ ซึ่งภาชนะที่นำมาทดลองพิจารณาในการเลือก ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถาดไม้ ถาดพลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด) และถาดอะลูมิเนียมที่มีผิวมันวาวและไม่มันวาว ทำการทดลอง โดยนำเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมอย่างละ 1 ชนิด ใส่ถาดแต่ละชนิด แล้วใช้คอมไพสพอร์ตไลท์ฮาโล เจน ขนาด 150 วัตต์ ให้ความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที ผลการทดลอง พบว่า ควรเลือกใช้ถาด อะลูมิเนียมที่มีผิวไม่มันวาว (ภาพที่ 3.6) เพราะสามารถใช้ภาพถ่ายความร้อนแยกพื้นหลังถาดอะลูมิเนียม ที่มีผิวไม่มันวาวจากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมได้ (ภาพที่ 3.7 ก) เมื่อถาดอะลูมิเนียมที่มีผิวไม่มันวาวได้รับความร้อนจากหลอดไฟ จะมีการแผ่รังสีความร้อนเข้ากล้องถ่ายภาพความร้อนน้อยกว่าเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนต่ำกว่าหากเทียบกับถาดไม้และถาดพลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนใกล้เคียงกับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม เมื่อถาดพลาสติกและถาดไม้ได้รับความร้อนจากหลอดไฟ รังสีความร้อนที่กล้องถ่ายภาพความร้อน ได้รับใกล้เคียงกับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม จึงไม่สามารถใช้ภาพถ่ายความร้อนแยกพื้นหลังออกจากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมได้อย่างชัดเจนดังภาพที่ 3.7 (ข) และ (ค) ตามลำดับ ดังนั้น การทดลอง นี้จึง ตัดสินใจเลือกถาดอะลูมิเนียมแบบผิวไม่มันวาวสำหรับใส่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม



ภาพที่ 3.6 ถาดอะลูมิเนียมที่มีผิวไม่มันวาว



(ก)

(ข)

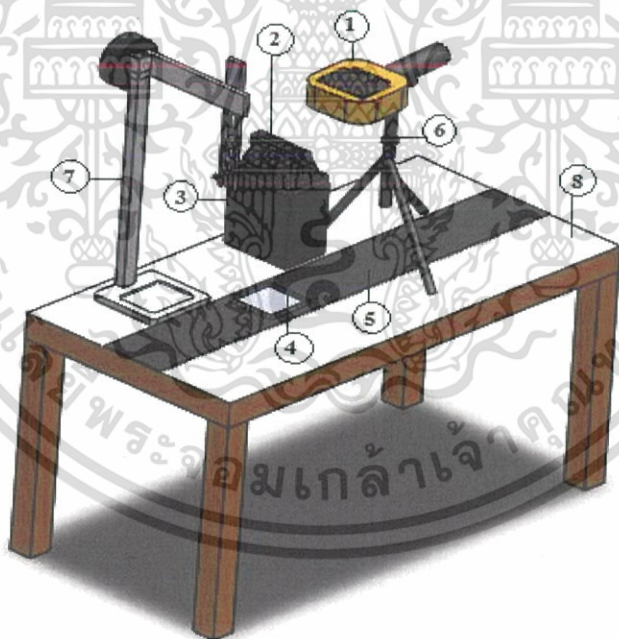
(ค)

ภาพที่ 3.7 ภาพเปรียบเทียบการแยกพื้นหลังของภาชนะที่ใส่ตัวอย่างทดลอง (ก) ถาดอะลูมิเนียมที่มีผิวไม่มันวาว (ข) ถาดพลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด) และ (ค) ถาดไม้

### 3.2.3 การพิจารณาดำเนินการติดตั้งหลอดไฟและกล้องถ่ายภาพความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่กับเมล็ดพืชด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน การหาระยะความสูงหลอดไฟ ตำแหน่งและระยะติดตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อนมีผลต่อการถ่ายภาพความร้อนอย่างมาก จึงต้องมีการปรับมุมของกล้องถ่ายภาพความร้อนให้เหมาะสมเพื่อลดผลของการเกิดการสะท้อน ของรังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบ โดยในการทดลองนี้ ได้ปรับความชัดของภาพถ่ายภาพความร้อน ด้วยการปรับระยะโฟกัสของกล้องถ่ายภาพความร้อนที่ระยะ 43 เซนติเมตร นอกจากนั้นการปรับระดับความสูงของหลอดไฟมีผลต่อกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมได้รับจากการทดลองปรับระดับความสูงของหลอดไฟจากภาชนะใส่ตัวอย่าง พบว่า หากหลอดไฟเปล่งแสงสว่างออกมามากแสดงว่าหลอดไฟนั้นมีการปล่อยกำลังไฟฟ้าสูง จึงทำให้หลอดไฟนั้นกระจายความร้อนออกมาสูงด้วย ซึ่งหากปรับหลอดไฟให้มีระดับความสูงจากภาชนะใส่ตัวอย่างทดลองมากขึ้น ทำให้บริเวณภาชนะใส่ตัวอย่างทดลองได้รับพลังงานจากหลอดไฟได้น้อยลง จากข้อมูลการทดลองข้างต้น ทำให้สามารถสร้างชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการถ่ายภาพความร้อนได้ แสดงดังภาพที่ 3.8 สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 3.3 โดยชุดอุปกรณ์นี้ใช้ถ่ายภาพความร้อนเพื่อหาเวลาสำหรับให้ความร้อนแก่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ใช้ถ่ายภาพเพื่อคำนวณหาพลังงานความร้อนที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับการแผ่รังสีความร้อน และใช้ถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม



ภาพที่ 3.8 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการถ่ายภาพความร้อน

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการถ่ายภาพความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข	ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการถ่ายภาพความร้อน
1	กล้องถ่ายภาพความร้อนยี่ห้อ Fluke รุ่น TI400
2	หลอดไฟคอมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์
3	ที่ครอบหลอดไฟ
4	ถาดอะลูมิเนียม
5	สายพานลำเลียง
6	ขาตั้งกล้อง
7	ขาตั้งหลอดไฟ
8	ฐานจำลองการถ่ายภาพความร้อน

## 3.3 การ

## ทดลอง

## 3.3.1 เวลาสำหรับการให้ความร้อนและคายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

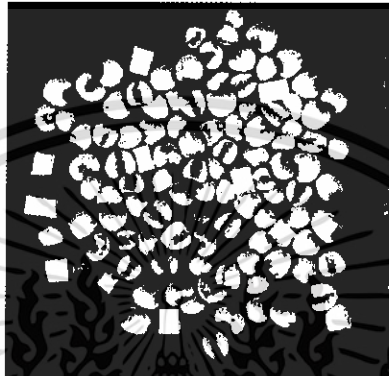
เตรียมเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ ลูกเต๋อย เศษหิน เศษไม้ เศษเชือก และเศษพลาสติก (พีวีเจร์บอร์ด) ตัวอย่างละ 5 ชิ้น เรียงลงในถาดอะลูมิเนียมโดยไม่ให้มีตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่งติดกัน ดังภาพที่ 3.9 และให้ความร้อนเป็นเวลา 10 20 และ 30 วินาที ตามลำดับ จากนั้นปล่อยให้คายความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที พร้อมทั้งบันทึกไฟล์วิดีโอด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนตลอดระยะเวลาการคายความร้อนโดยเริ่มตั้งแต่วินาทีที่ 0 จนถึงวินาทีที่ 10 นำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างของระดับสีเทา (Absolute difference of average gray level) ทุก 1 วินาที โดยใช้โปรแกรม Image J เพื่อหาเวลาในการให้ความร้อนและคายความร้อน เพื่อใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมกับลูกเต๋อย



ภาพที่ 3.9 การเรียงลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมเพื่อหาเวลาสำหรับการให้ความร้อน กับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

### 3.3.2 การถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม

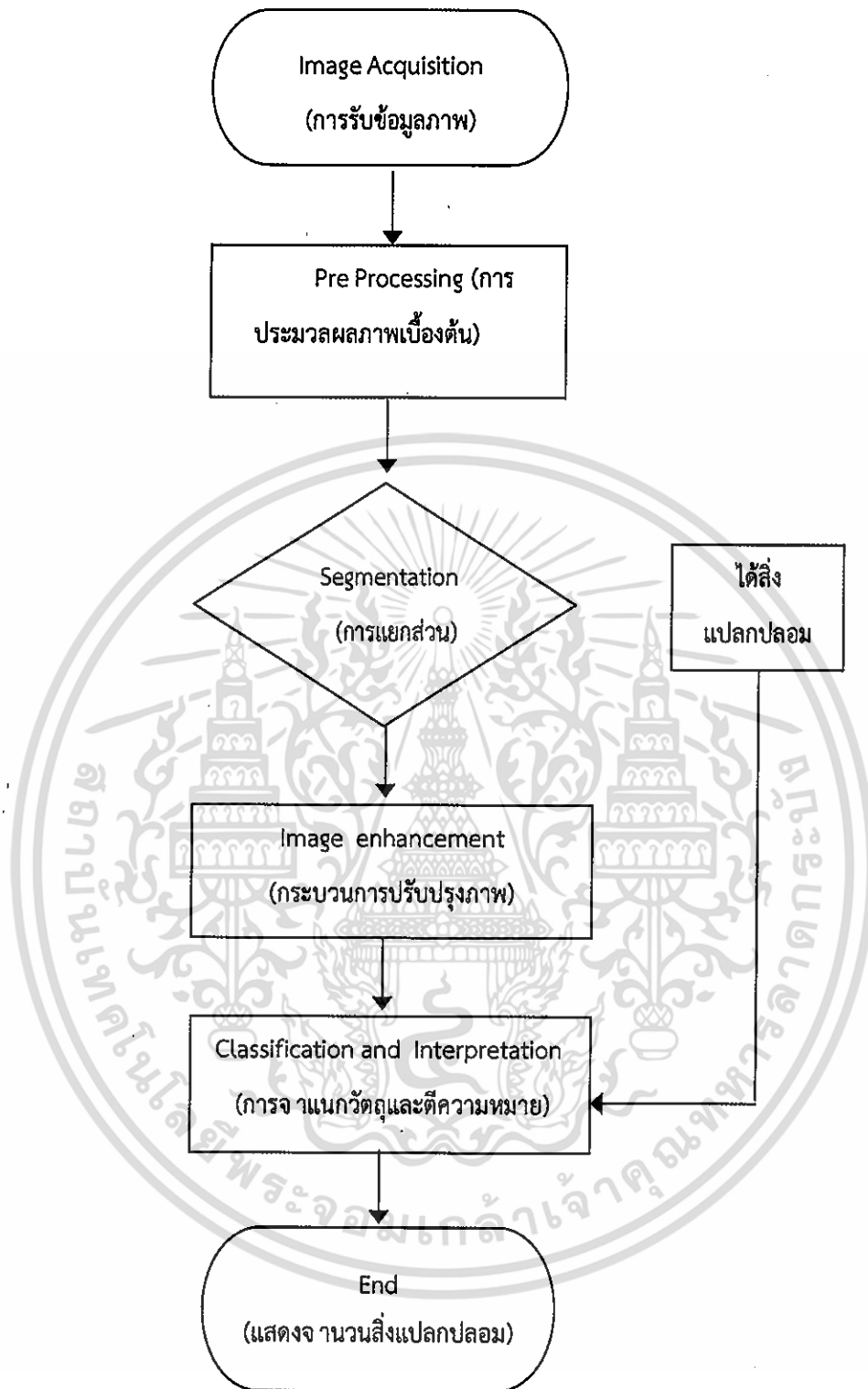
จัดเรียงเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมใส่ในถาดอะลูมิเนียมอย่างละหนึ่งชนิดเป็นจำนวน ดังนี้ ลูกเต๋อย 80 เมล็ด และสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ เศษไม้ เศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด) เศษเชือก และ เศษหิน อย่างละ 10 ชิ้น ใส่ในถาดอะลูมิเนียมดังแสดงในภาพที่ 3.10 จากนั้น ทำการถ่ายภาพความร้อน ตามเวลา การให้ความร้อนที่วิเคราะห์ได้ เมื่อได้ภาพถ่ายความร้อนมาแล้วจึงนำเข้าสู่กระบวนการ ประมวลผลภาพเป็นลำดับถัดไป



ภาพที่ 3.10 การวางลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมในถาดอะลูมิเนียมสำหรับถ่ายภาพความร้อน

### 3.4 การประมวลผลภาพถ่ายความร้อน

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนเป็นการวัดเชิงคุณภาพ ที่พิจารณาความแตกต่างของภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืช และสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการตรวจสอบ ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนแสดงดังภาพที่ 3.11 เริ่มด้วยการรับข้อมูลภาพ (Image Acquisition) ซึ่งเป็นการนำภาพถ่ายความร้อนจากขั้นตอนการ ถ่ายภาพหัวข้อที่ 3.3.2 มาปรับเป็นภาพระดับสีเทา (Gray scale) ปรับค่าสเปน (Span) ซึ่งเป็นการหา ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำของภาพถ่ายความร้อน และปรับค่าเลเวล (Level) โดยใช้โปรแกรม Smart view จากนั้นเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Pre-processing) โดยนำภาพมาแปลงเป็นภาพระดับสีเทาในโปรแกรม Image J จากนั้นเข้าสู่กระบวนการ แยกส่วน (Segmentation) โดยใช้โปรแกรม Image J ซึ่งเป็นกระบวนการแยกพื้นหลังหรือภาพขณะใส่ ตัวอย่างทดลองออกจากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมโดยการปรับค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ซึ่งเป็นการ แปลงภาพให้มีการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับ คือ เฉดสีโทนเข้มและเฉดสีโทนอ่อน จากนั้นเข้าสู่ กระบวนการปรับปรุงภาพ (Image enhancement) แล้วไปยังกระบวนการจำแนกวัตถุและ ตีความหมาย (Classification and Interpretation) ซึ่งเป็นการระบุค่าความกลมและพื้นที่ของวัตถุที่ ต้องการแสดงผลออกมา และสุดท้ายแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับ เมล็ดพืช



ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายความร้อนโดยใช้โปรแกรม Image J ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความจุความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี ความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม เวลาในการให้ความร้อน และพลังงานที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับ รายละเอียดผลการทดลองทั้งหมดแสดงดังต่อไปนี้

#### 4.1 ความจุความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน

ความจุความร้อนจำเพาะ น้ำหนัก และสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ โดยสมบัติทางความร้อนของลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมจะใช้สำหรับการวิเคราะห์และเปรียบเทียบให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงหรือความแตกต่างระหว่างวัตถุสองสิ่งที่มีสมบัติทางความร้อนต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

#### 4.2 เวลาในการให้ความร้อนและคายความร้อน

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายภาพความร้อนเป็นการวัดเชิงคุณภาพโดยพิจารณาความแตกต่างระหว่างภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ภายใต้เงื่อนไขการกำหนดระยะเวลาในการให้ความร้อนและระยะเวลาการคายความร้อนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทา (Absolute difference of average gray level) กับเวลาช่วงคายความร้อนและเลือกระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพียงพอที่ทำให้โปรแกรมสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้ ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยภาพที่ 4.1-4.3 แสดงค่าความแตกต่างระดับสีเทาของลูกเต๋อยกับสิ่งแปลกปลอมชนิดต่าง ๆ ได้แก่ หิน เศษไม้ เศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด) และเศษเชือกที่ผ่านการให้ความร้อน 10 20 และ 30 วินาที ตามลำดับ ในระหว่างการคายความร้อน 10 วินาที

ตารางที่ 4.1 ความจุความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

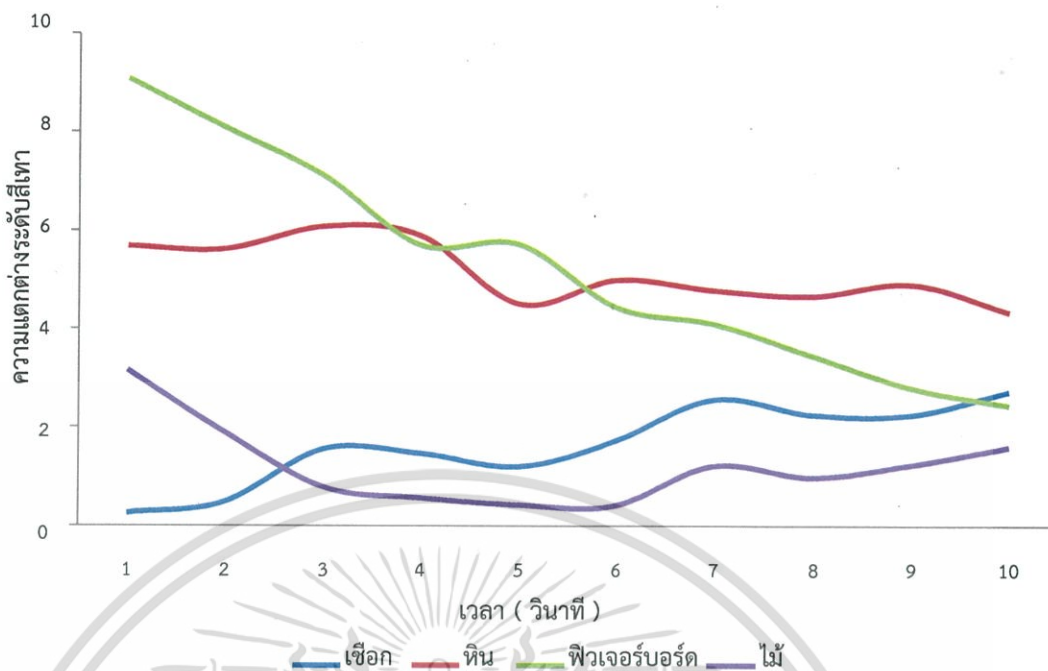
ชนิด	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·K)	ความจุความร้อนจำเพาะอ้างอิง (kJ/kg·K)	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (ε)	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนอ้างอิง	ที่มา
ลูกเดือย	2.16±0.82	1.45-2.12	0.94 ± 0.01	0.91-0.93	Jeng Liang Lin <i>et al.</i> , 1998
เศษหิน	0.89±0.02	0.46-0.90	0.94 ± 0.01	0.88-0.95	Mallory, 1969
เศษไม้	2.85±0.02	1.26-2.90	0.84 ± 0.03	0.82-0.92	Touloukian and Ho., 1972
เศษเชือก	1.54±0.53	0.67-1.76	0.93 ± 0.01	0.80-0.93	Mallory, 1969
ฟิวเจอร์บอร์ด	1.31±0.60	0.88-2.55	0.83 ± 0.02	0.84-0.86	Boudenne <i>et al.</i> , 2005

ตารางที่ 4.2 ความจุความร้อนจำเพาะ น้ำหนักเฉลี่ย ความจุความร้อน พลังงานความร้อนที่วัดได้ และพลังงานที่กักถ่ายภายใต้การแผ่รังสีความร้อนที่ได้รับ

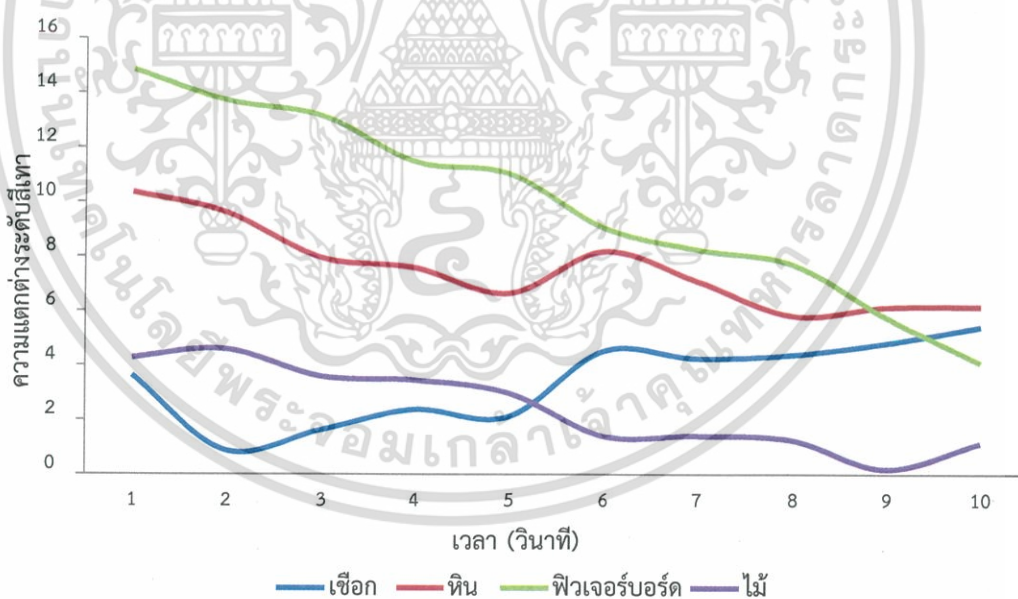
ชนิด	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·K)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/เมล็ด)	ความจุความร้อน (kJ/K)	พลังงานความร้อนที่วัดได้	พลังงานที่กักถ่ายภายใต้การแผ่รังสีความร้อนที่ได้รับ (Watts/m <sup>2</sup> )
ลูกเดือย	2.16	0.11±0.02	0.000240	0.64	447.46
เศษไม้	2.85	0.01±0.01	0.000036	0.12	355.99
เชือก	1.54	0.01±0.00	0.000007	0.02	445.63
เศษหิน	0.99	0.05±0.00	0.000046	0.07	440.99
ฟิวเจอร์บอร์ด	1.91	0.03±0.01	0.000059	0.17	367.99

พบว่า เมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างระดับสีเทาระหว่างลูกเต๋อกับสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ในการทดลองทุกชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าความแตกต่างระดับสีเทาของลูกเต๋อกับเศษหิน เศษไม้ และฟิวเจอร์บอร์ด มีแนวโน้มลดลงในระหว่างการคายความร้อน เนื่องจากพลังงานความร้อนที่กล้องได้รับลดลงขณะเดียวกันค่าความแตกต่างระดับสีเทาที่ลดลงด้วย สำหรับกรณีของเศษเชือกเมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระดับสีเทาของลูกเต๋อกับลูกเต๋อมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการคายความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความจุความร้อน (Heat capacity rate) ของเศษเชือกมีค่าแตกต่างจากลูกเต๋อมากที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งแปลกปลอมชนิดอื่น จึงมีแนวโน้มของค่าความแตกต่างระดับสีเทาสูงขึ้นในระยะเวลาคายความร้อน เมื่อให้ความร้อน 10 และ 20 วินาที รวมถึงขนาดรูปร่างของเชือกที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอมีเส้นใยที่ยุ่ย จึงมีความผิดพลาดสูงในการเก็บข้อมูลจากการใช้โปรแกรม Image J หาค่าความแตกต่างระดับสีเทาด้วย โดยในการเลือกเวลาสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุทดลองควรพิจารณาเลือกจากพลังงานความร้อนที่เพียงพอ ซึ่งในการทดลองนี้เลือกใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนเพียง 20 วินาที เนื่องจากมีความแตกต่างระดับสีเทาเพียงพอสำหรับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน ด้วยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างทดลองโดยใช้หลอดไฟที่มีขนาด 150 วัตต์ และหากต้องการลดระยะเวลาการให้ความร้อนสามารถทำได้ด้วยการเพิ่มจำนวนวัตต์ของหลอดไฟให้มากขึ้น

สำหรับการพิจารณาช่วงเวลาการคายความร้อนที่เหมาะสมในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน พบว่า การคายความร้อนในช่วง 5 วินาทีแรก ให้ค่าความแตกต่างของระดับสีเทาของลูกเต๋อกับหินและลูกเต๋อกับฟิวเจอร์บอร์ดอย่างชัดเจน โดยวินาทีที่ 1 ให้ค่าความแตกต่างสูงสุด จึงเหมาะสำหรับการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์ภาพระดับสีเทา ส่วนกรณีเชือกและไม้มีค่าความแตกต่างระดับสีเทาไม่มากนัก จึงควรประมวลผลภาพโดยอาศัยการแยกด้วยความแตกต่างของรูปร่าง

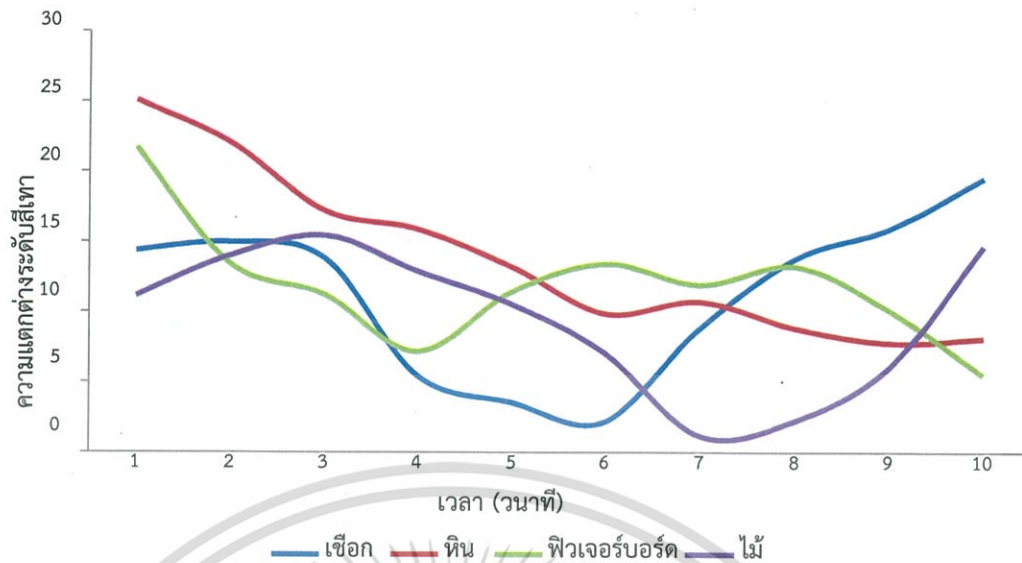


ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการให้ความร้อนที่เวลา 10 วินาที



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการให้ความร้อนที่เวลา 20 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการให้ความร้อนที่เวลา 30 วินาที

#### 4.3 การประมวลผลภาพถ่ายความร้อน

ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพหาจำนวนสิ่งแปลกปลอมแสดงได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การรับข้อมูลภาพ (Image acquisition)

นำภาพถ่ายความร้อนที่ได้จากกล้องมาปรับค่าสเปนเพื่อให้ย่านอุณหภูมิครอบคลุมอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และให้สีของภาพมีความแตกต่างกับสิ่งแปลกปลอม โดยภาพที่ 4.4 (ก) (ข) (ค) และ (ง) มีการปรับค่าสเปน ดังนี้ (ก) และ (ง) ปรับค่าในช่วง 22-34 (ข) ปรับค่าในช่วง 22-32 และ (ค) ปรับค่าในช่วง 22-33 พบว่า มีการแสดงเฉดสีเพื่อบ่งบอกถึงอุณหภูมิของเมล็ดพืช สิ่งแปลกปลอม และสภาพเหมือนกัน โดยแบ่งออกเป็น 2 เฉดสี คือ ภาพจะแสดงเฉดสีเข้มเนื่องจากมีอุณหภูมิต่ำกว่าเมล็ดพืช และสิ่งแปลกปลอม และเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมแสดงเฉดสีอ่อน เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงกว่าภาพ โดยการ แสดงระดับสีของภาพมีความแตกต่างกันเนื่องจากเมล็ดพืช สิ่งแปลกปลอม และสภาพมีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันและมีการรับพลังงานความร้อนที่ต่างกัน จึงทำให้ภาพที่แสดงมีระดับสีที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยภาพที่ 4.4 (ก) เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีสมบัติทางกายภาพ ความจุความร้อนและการรับพลังงานที่ต่างกันมากจึงทำให้ภาพมีการแสดงโทนสีที่ชัดเจนกว่าภาพอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

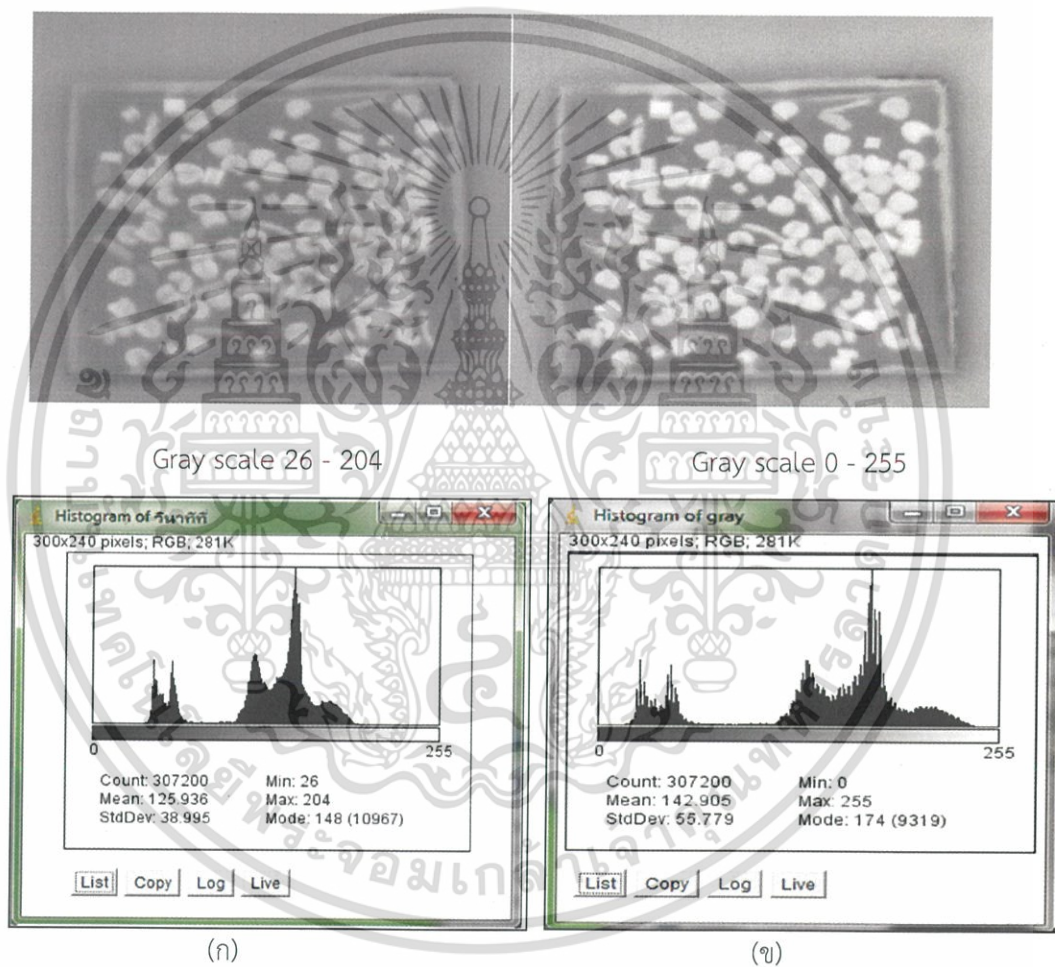


ภาพที่ 4.4 ภาพจริงและภาพระดับสีเทาของลูกเดือยและสิ่งแปลกปลอมจากโปรแกรม Smart view (ก) เชือก (ข) หิน (ค) พิวเจอร์บอร์ด (ง) ไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

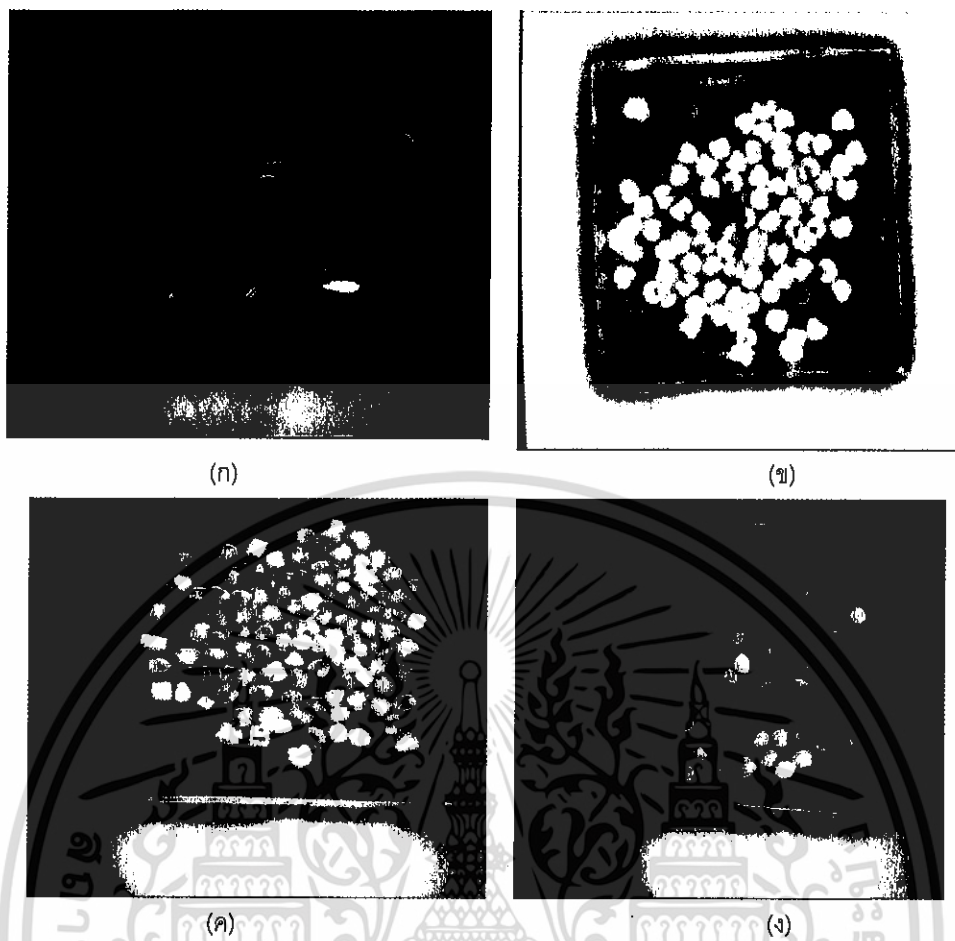
## ขั้นตอนที่ 2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Pre-processing)

นำภาพระดับสีเทาจากโปรแกรม Smart view มาแปลงให้เป็นภาพระดับสีเทาด้วยโปรแกรม Image J เนื่องจากเมื่อทำการเปรียบเทียบการแปลงภาพระดับสีเทาจากทั้ง 2 โปรแกรมแล้ว พบว่า ภาพระดับสีเทาที่มาจากโปรแกรม Smart view มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 26-204 ดังภาพที่ 4.5 (ก) แสดงว่า ภาพระดับสีเทานั้นมีค่าที่กองรวมกันอยู่จึงทำให้มีค่าความละเอียดน้อยกว่าการนำภาพมาแปลงในโปรแกรม Image J อีกครั้ง ดังภาพที่ 4.5 (ข) แสดงให้เห็นว่าการแปลงค่าความสว่างจะอยู่ในช่วง 0-255 ซึ่งมีการกระจายค่าความสว่างมากกว่าโปรแกรม Smart view จึงทำให้ภาพที่นำมาใช้ในกระบวนการต่อไปมีค่าความละเอียดมากขึ้นทำให้การประมวลผลในขั้นตอนการปรับค่าเทรชโฮลด์เกิดสิ่งรบกวนน้อยลง



ภาพที่ 4.5 การแปลงเป็นภาพระดับสีเทา (ก) โปรแกรม Smart view (ข) โปรแกรม Image J

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ภาพระดับสีเทาของลูกเต๋ยและสิ่งแปลกปลอมจากโปรแกรม Image J (ก) เชือก (ข) หิน (ค) ฟิวเจอร์บอร์ด (ง) ไม้

### ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการแยกส่วนภาพ (Segmentation)

ทำการแยกส่วนภาพที่ต้องการออกโดยการปรับค่าเทรชโฮลด์เพื่อแยกธาตุหรือพื้นหลังออกจากลูกเต๋ยกับสิ่งแปลกปลอมโดยใช้โปรแกรม Image J ซึ่งสามารถแยกได้ เนื่องจากธาตุกับลูกเต๋ยและสิ่งแปลกปลอมแสดงเฉดสีของภาพระดับสีเทาที่แตกต่างกัน ซึ่งธาตุแสดงเฉดสีโทนเข้มบ่งบอกถึงพลังงานความร้อนที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับมีค่าที่ต่ำกว่าลูกเต๋ยและสิ่งแปลกปลอม ซึ่งแสดงเฉดสีโทนสว่าง เนื่องจากธาตุมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนที่น้อยกว่าลูกเต๋ยและสิ่งแปลกปลอมจึงทำให้กล้องได้รับพลังงานความร้อนที่น้อยกว่าการปรับค่าเทรชโฮลด์สามารถทำได้ 2 แบบ คือ โลคอลเทรชโฮลด์ (Local Threshold) และโกลบอลเทรชโฮลด์ (Global Threshold) ซึ่งการปรับค่าโกลบอลเทรชโฮลด์แสดงดังภาพที่ 4.7-4.10 แสดงให้เห็นถึงการแบ่งค่าเทรชโฮลด์ออกเป็น 16 ภาพ และโลคอลเทรชโฮลด์แสดงดังภาพที่ 4.11-4.14 แสดงให้เห็นถึงการแบ่งค่าเทรชโฮลด์ออกเป็น 6 ภาพ ในการเลือกภาพแนวโน้มค่าเทรชโฮลด์ทั้ง 2 แบบ จะพิจารณาจากการดูภาพแล้วนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอมที่ปรากฏในภาพว่ามีจำนวน

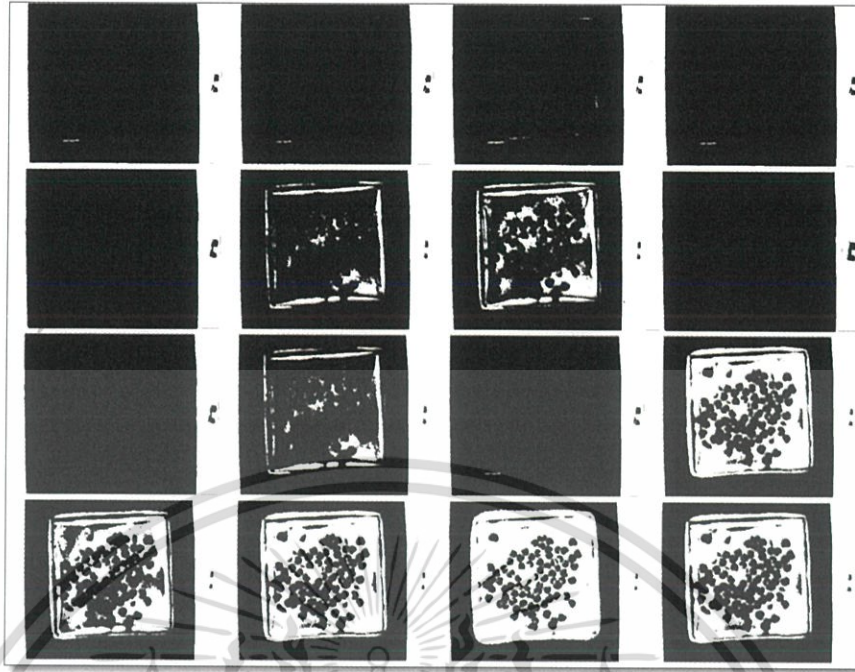
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครบถ้วนหรือไม่และต้องมีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งการแยกภาพโดยใช้โลคอลเทอร์ซโฮลด์เหมาะสำหรับลูกเต๋ายกกับเชือก พลาสติก และไม้ เนื่องจากภาพระดับสีเทาของสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการตรวจสอบแตกต่างกัน และใช้โกบอลเทอร์ซโฮลด์สำหรับลูกเต๋ายกกับหิน เนื่องจากภาพระดับสีเทาของหินใกล้เคียงกัน ข้อจำกัดคือ ภาพระดับสีเทาของถาด ลูกเต๋ายก และสิ่งแปลกปลอมต้องแตกต่างกัน

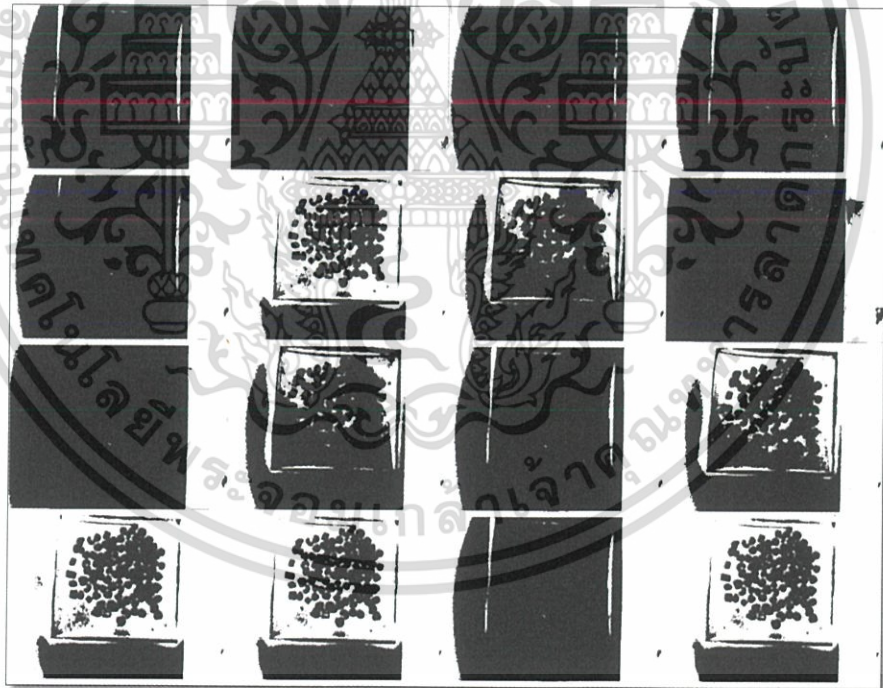


ภาพที่ 4.7 แนวโน้มจากโกบอลเทอร์ซโฮลด์ของลูกเต๋ายกกับเชือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

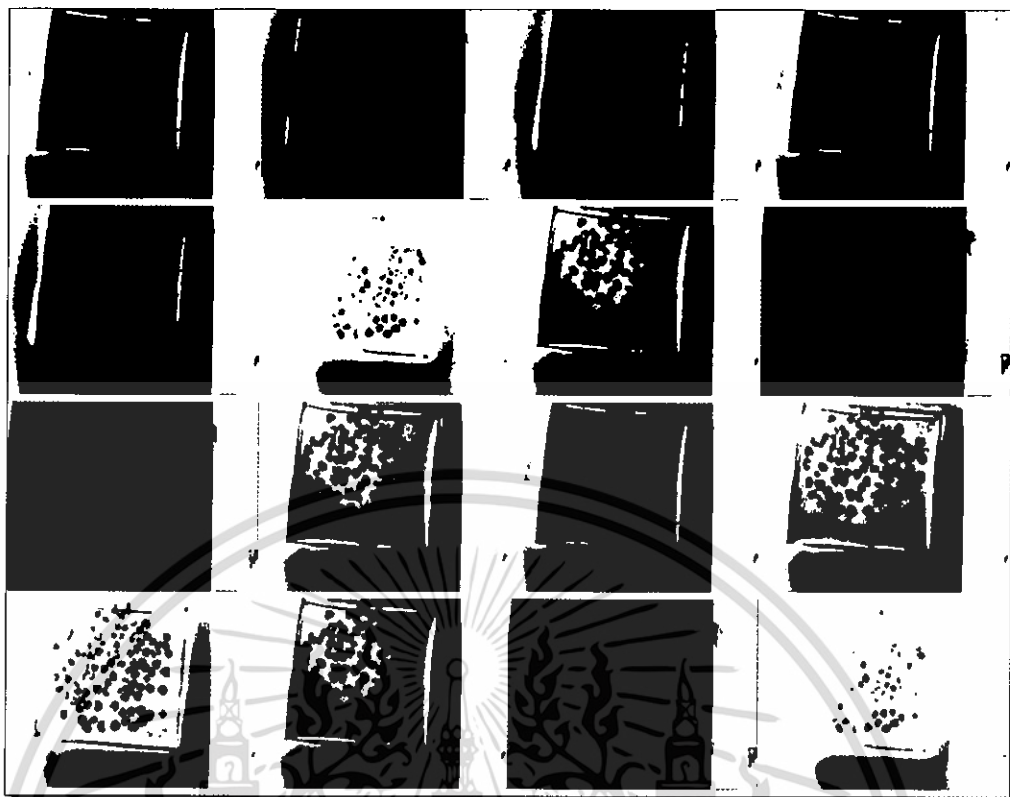


ภาพที่ 4.8 แนวโน้มจากโกลบอลเทรซโฮสต์ของลูกเดียวกับหิน

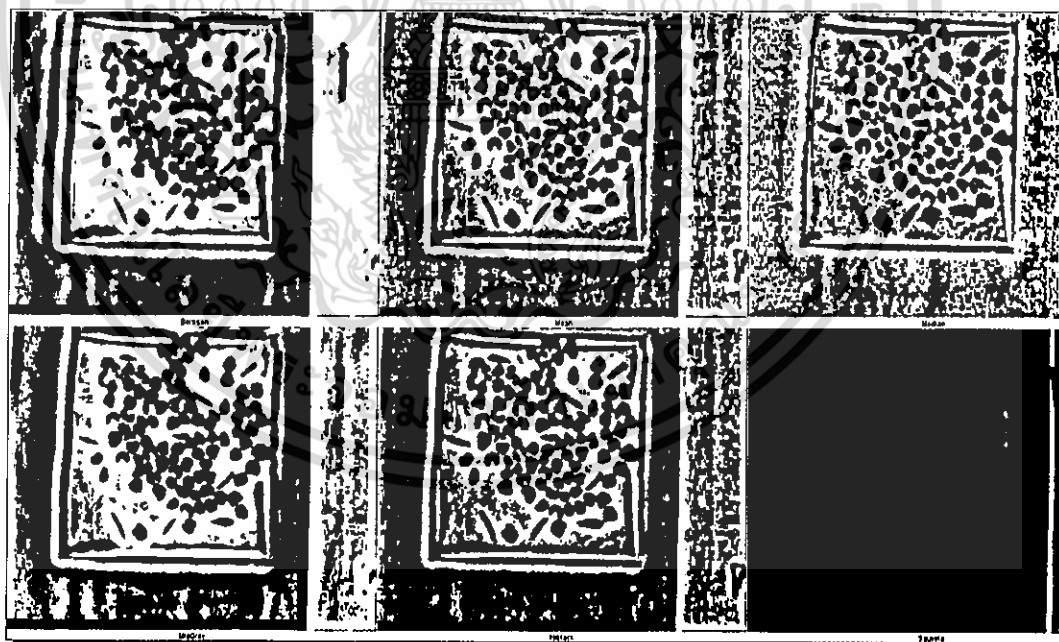


ภาพที่ 4.9 แนวโน้มจากโกลบอลเทรซโฮสต์ของลูกเดียวกับฟิวเจอร์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

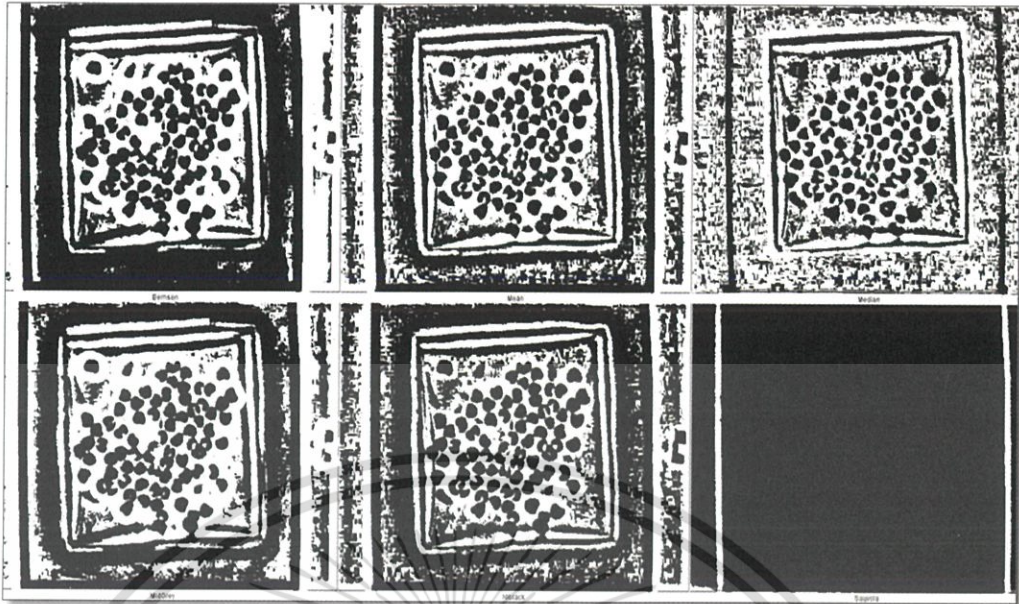


ภาพที่ 4.10 แนวโน้มจากโกบอลเทรซโฮลด์ของลูกเดียวกับไม้

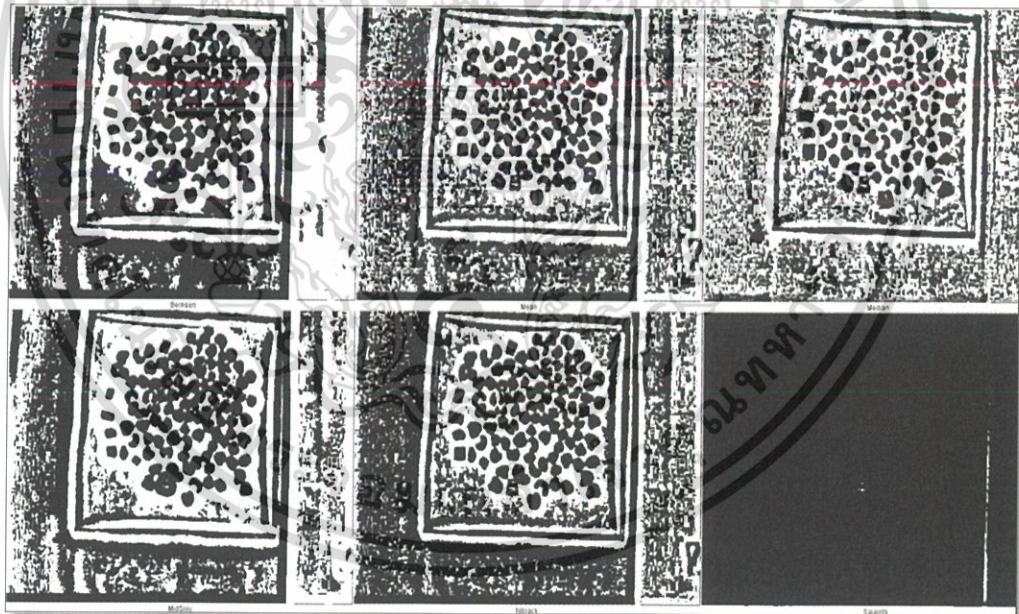


ภาพที่ 4.11 แนวโน้มจากโคคอลลเทรซโฮลด์ของลูกเดียวกับเชือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

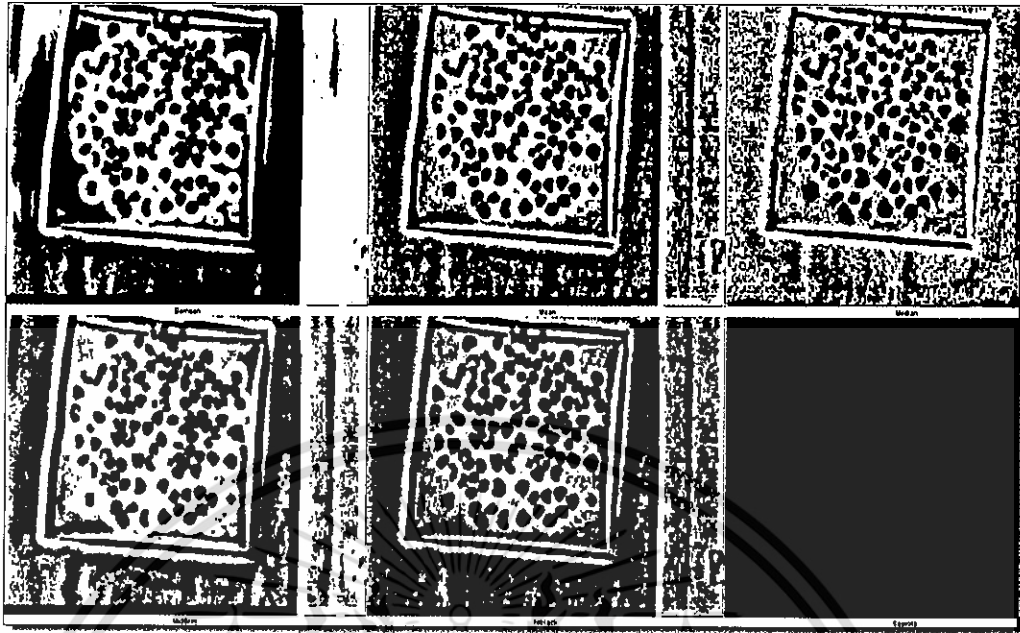


ภาพที่ 4.12 แนวโน้มจากโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกกับหิน



ภาพที่ 4.13 แนวโน้มจากโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกกับฟิวเจอร์บอร์ด

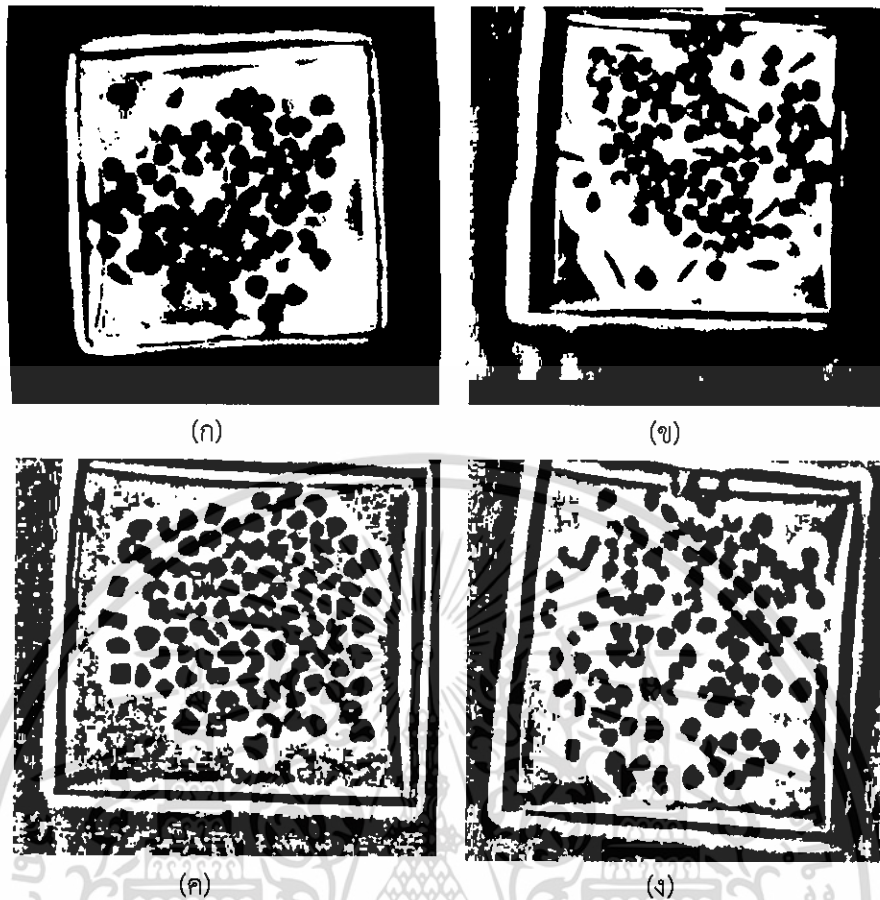
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 แนวโน้มจากโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อยกกับไม้

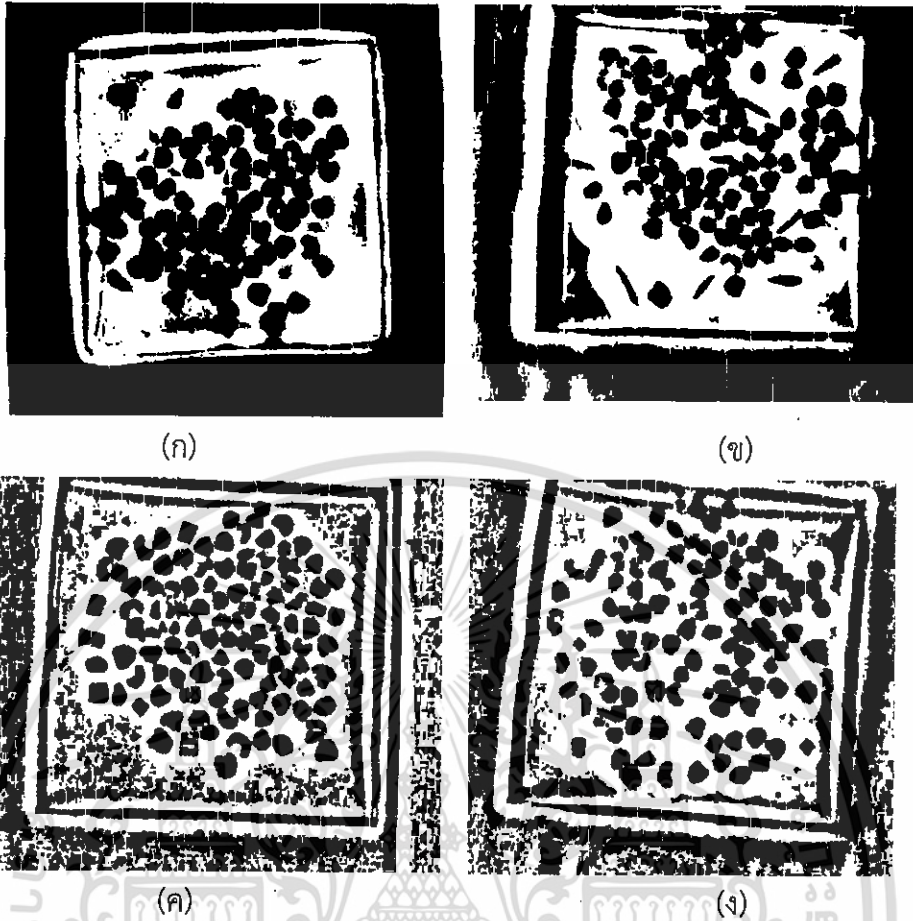
ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการปรับปรุงภาพ (Image enhancement)

นำภาพที่เลือกจากแนวโน้มค่าเทรซโฮลด์ ทั้ง 2 แบบดังภาพที่ 4.15 โดยภาพ (ก) เลือกใช้แบบโกลบอลเทรซโฮลด์ที่มีค่าอยู่ในช่วง 175-255 และภาพ (ข) - (ง) เลือกใช้แบบโลคอลเทรซโฮลด์ จากนั้นใช้คำสั่งวอเตอร์เชด (Watershed) เพื่อแยกวัตถุที่ติดกันจากภาพที่ 4.15 พบว่า สิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืชอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนจึงทำให้ไม่สามารถจำแนกสิ่งแปลกปลอมออกมาได้ จึงต้องทำการแยกวัตถุที่ติดกันซึ่งแสดงภาพที่ 4.16 พบว่า มีเส้นแบ่งระหว่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้น จากนั้นนำภาพไปใช้ในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 4.15 การเลือกช่วงอุณหภูมิและช่วงแรชโฮลต์ (ก) โกลบอลแรชโฮลต์ในช่วง 175-255 ของลูกเต๋อเดียวกับหิน (ข) โกลคอลลแรชโฮลต์ของลูกเต๋อเดียวกับเชือก (ค) โกลคอลลแรชโฮลต์ของลูกเต๋อเดียวกับฟิวเจอร์บอร์ด และ (ง) โกลคอลลแรชโฮลต์ของลูกเต๋อเดียวกับไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 ภาพการแยกส่วนภาพโดยใช้ค่าสิ่งวอเทอร์เชด (ก) ลูกเดียวกับหิน (ข) ลูกเดียวกับเชือก  
(ค) ลูกเดียวกับฟิวเจอร์บอร์ด และ (ง) ลูกเดียวกับไม้

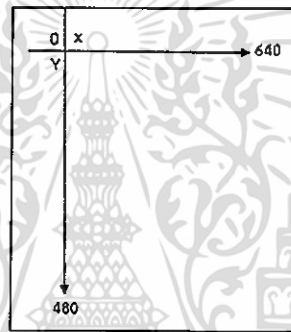
ขั้นตอนที่ 5 การจำแนกวัตถุและตีความหมาย (Classification and interpretation)

ผลลัพธ์โดยใช้ค่าความกลมและพื้นที่เป็นตัวจำแนกการประมวลผลภาพแสดง ดังภาพที่ 4.17-4.21 และค่าเปอร์เซ็นต์ในการตรวจพบสิ่งแปลกปลอมแสดงดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของเชือกที่ป็นมากับลูกเต๋อย

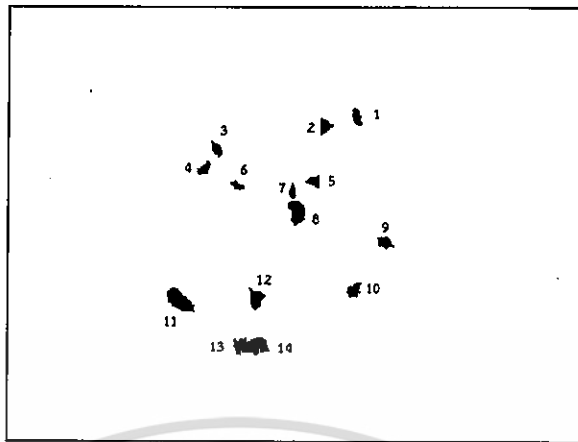


ภาพที่ 4.18 ภาพแสดงแนวแกน

จากภาพที่ 4.17 ตรวจสอบเชือกทั้งสิ้น 9 ชิ้นจากจำนวนทั้งหมด 10 ชิ้น หาดำแหน่งของเชือกได้ดัง

ตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.19 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเต๋อย

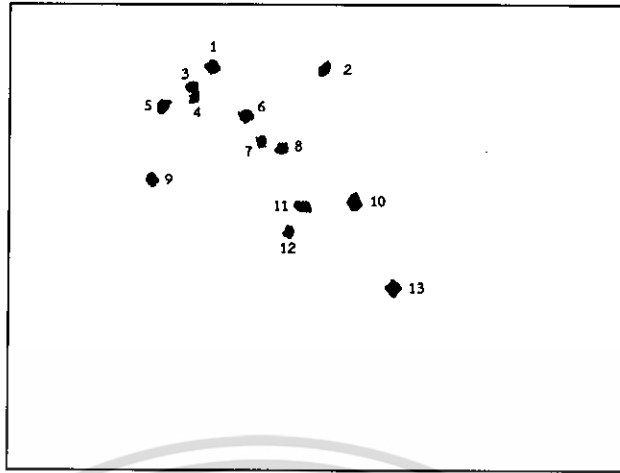
จากภาพที่ 4.19 พบว่าตรวจสอบ พบหินทั้งสิ้น 9 ชิ้นจากจำนวนทั้งหมด 10 ชิ้น ลูกเต๋อย 5 เมล็ด และหาตำแหน่งของหินได้ตั้งตารางที่ 4.5



ภาพที่ 4.20 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเต๋อย

จากภาพที่ 4.20 พบว่า ตรวจสอบพบฟิวเจอร์บอร์ดทั้งสิ้น 3 ชิ้น จาก 10 ชิ้น และพบลูกเต๋อย 11 เมล็ด หาตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดได้ตั้งตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเต๋อย

จากภาพที่ 4.21 พบว่า ตรวจสอบพบไม้ทั้งสิ้นทั้งหมด 9 ชิ้นจาก 10 ชิ้น และพบลูกเต๋อย 4 เมล็ด  
หาตำแหน่งของไม้ดังตารางที่ 4.7

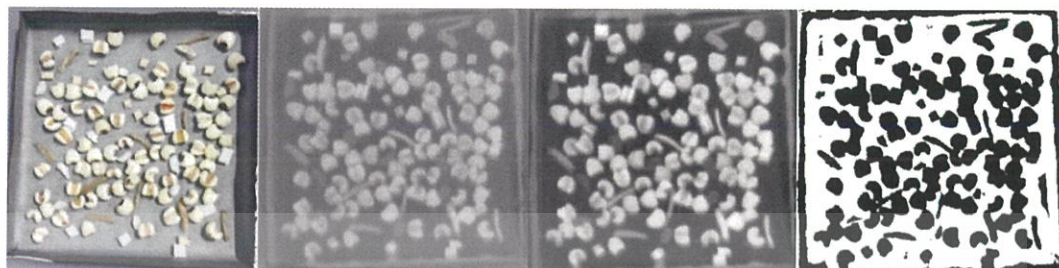
ตารางที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับลูกเต๋อยด้วยวิธีการประมวลผล  
ภาพถ่ายความร้อน

สิ่งแปลกปลอม	จำนวน (ชิ้น)	ตรวจพบ (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์
เศษเชือก	10	9	90%
เศษหิน	10	9	90%
ฟิวเจอร์บอร์ด	10	3	30%
เศษไม้	10	9	90%

จากนั้นใช้ขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นมาใช้ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมหลายชนิดที่ปนมากับลูกเต๋อยด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยขั้นตอนที่ 1 (ภาพที่ 4.22 ข) รับภาพความร้อนของสิ่งแปลกปลอมหลายชนิดที่ปนมากับลูกเต๋อยมาปรับเป็นภาพระดับสีเทาในโปรแกรม Smart view ปรับค่าสแกนและเลเวลในช่วง 22-34 เพื่อให้สีของถาดกับสิ่งแปลกปลอมและลูกเต๋อยมีความแตกต่างกัน จากนั้นขั้นตอนที่ 2 (ภาพที่ 4.22 ค) ปรับภาพระดับสีเทาด้วยโปรแกรม Image J เพื่อแปลงภาพ ระดับสีเทาที่มาจากอุณหภูมิเป็นภาพระดับสีเทาที่มีระดับความสว่าง 0 - 255 จากนั้นขั้นตอนที่ 3 (ภาพที่ 4.22 ง) ทำการแยกส่วนภาพที่ต้องการออกโดยใช้เทรชโฮลด์ (Threshold) เพื่อแยกถาดหรือพื้นหลังออกจากลูกเต๋อยกับสิ่งแปลกปลอมโดยใช้โปรแกรม Image J ซึ่งใช้โลคอลเทรชโฮลด์สำหรับ ลูกเต๋อยกับเชือก พลาสติก และไม้ ส่วนโกลบอลเทรชโฮลด์ใช้สำหรับลูกเต๋อยกับหิน จากนั้นขั้นตอนที่ 4 (ภาพที่ 4.22 จ) นำภาพที่ได้มาปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อลดสิ่งรบกวนที่ปรากฏบนภาพและใช้คำสั่งวอเทอร์เชด (Watershed) เพื่อแยกวัตถุที่ติดกัน และขั้นตอนที่ 5 แสดงผลลัพธ์ได้โดยใช้ค่าความกลมและพื้นที่เป็นตัวจำแนก ผลการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 4.23 และภาพจริงแสดงดังภาพที่ 4.22 (ก)

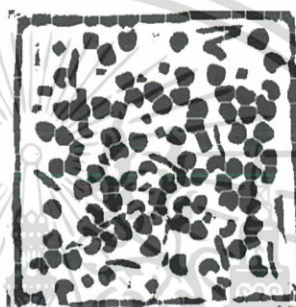


(ก)

(ข)

(ค)

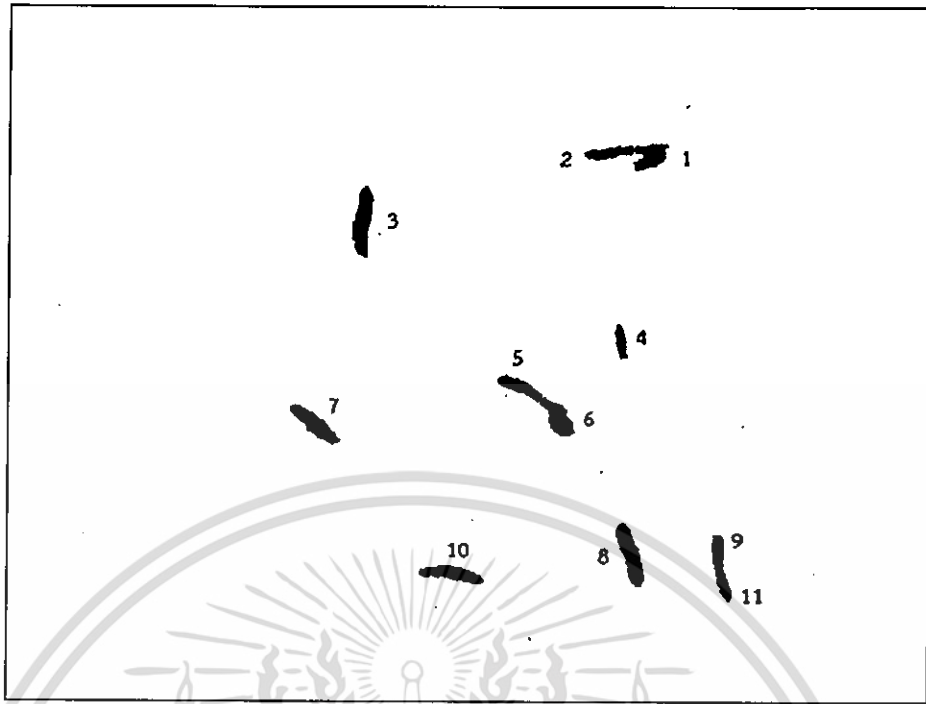
(ง)



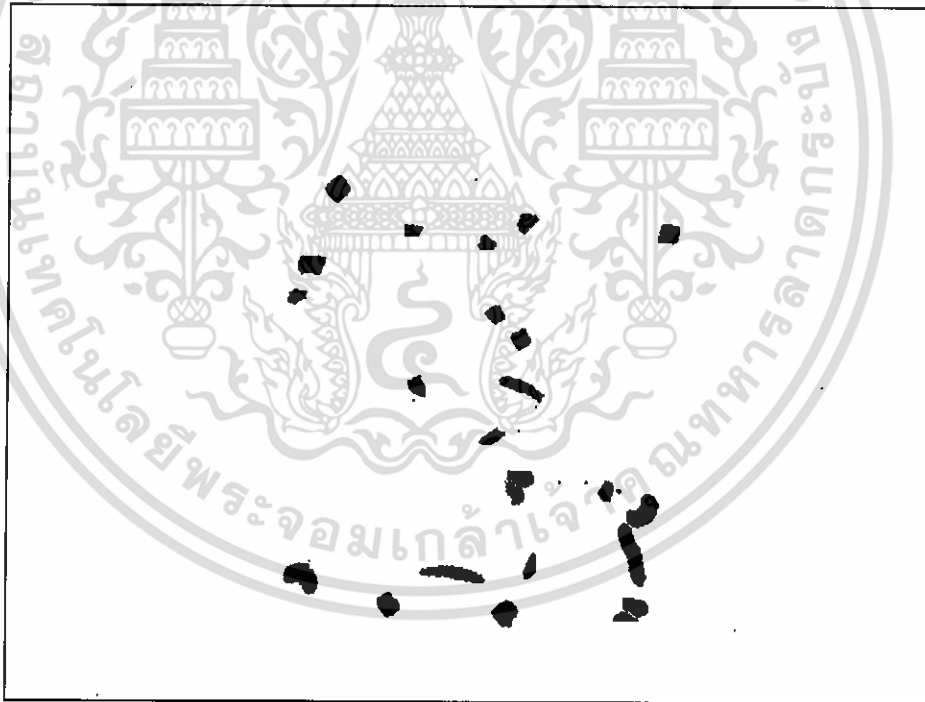
(จ)

ภาพที่ 4.22 ภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพ (ก) ภาพจริง (ข) ขั้นตอนที่ 1 (ค) ขั้นตอนที่ 2 (ง) ขั้นตอนที่ 3 และ (จ) ขั้นตอนที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



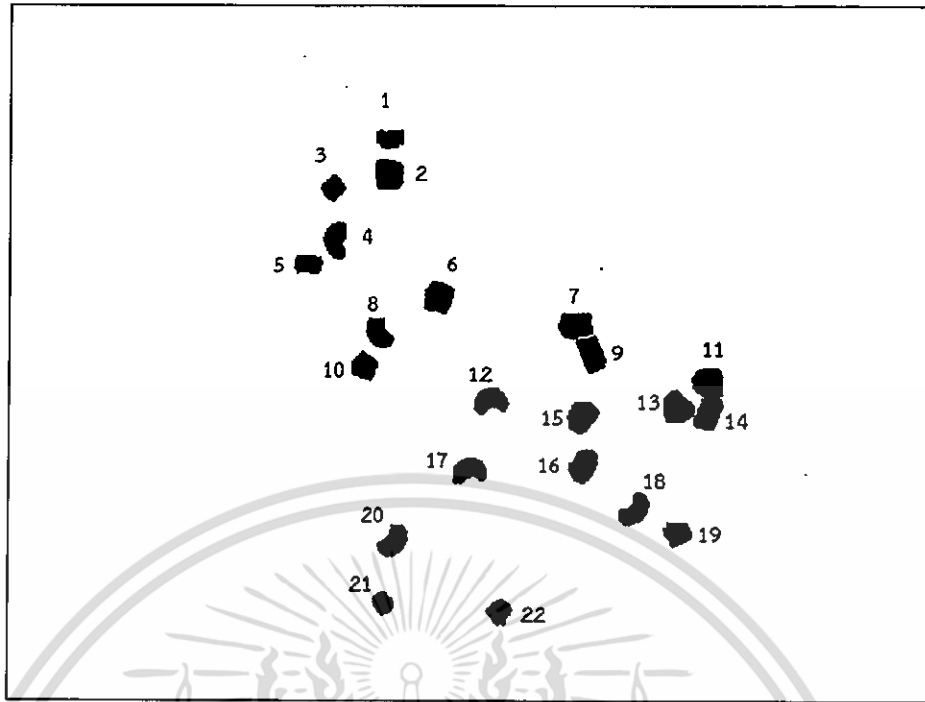
(ก)



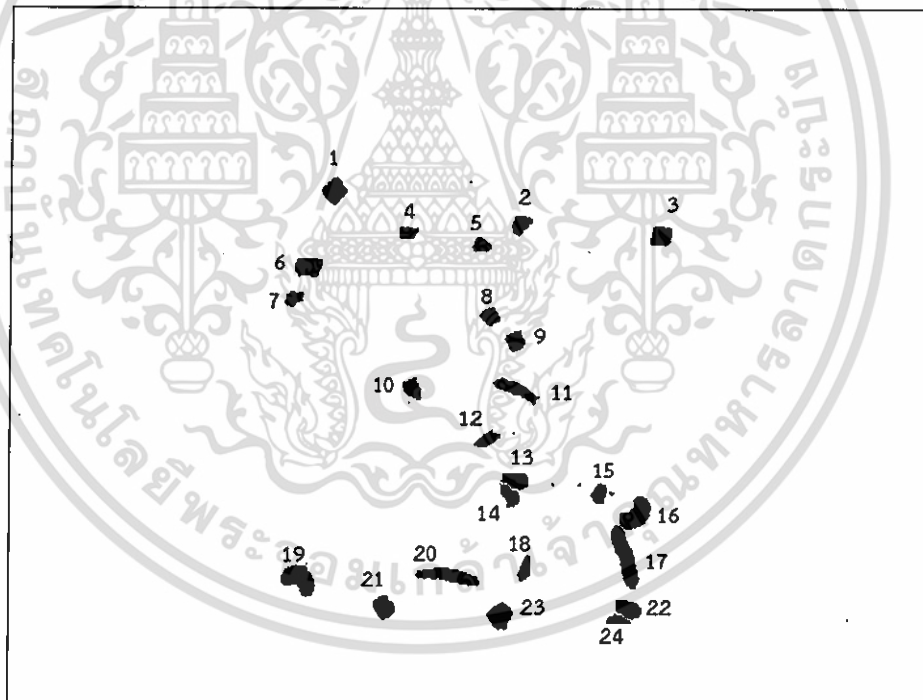
(ข)

ภาพที่ 4.23 ผลการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับลูกเต๋อย (ก) เชือก (ข) หิน (ค) ฟิวเจอร์บอร์ด (ง) ไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4.23 (ต่อ) ผลการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมทั้งหมดที่ปนมากับลูกเดียว (ก) เชือก (ข) หิน  
(ค) ฟิวเจอร์บอร์ด และ (ง) ไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.23 พบว่า สามารถตรวจสอบพบไม้ทั้งสิ้น 8 ชั้น จาก 10 ชั้น พบลูกเดียว 3 เมล็ด ตรวจสอบพบ หินทั้งสิ้น 6 ชั้น จาก 10 ชั้น พบลูกเดียว 18 เมล็ด ตรวจสอบพบฟิวเจอร์บอร์ดทั้งสิ้น 9 ชั้นจาก 10 ชั้น พบ ลูกเดียว 14 เมล็ด ตรวจสอบพบไม้ทั้งสิ้น 9 ชั้นจาก 10 ชั้น พบลูกเดียว 13 เมล็ด โดยหาตำแหน่งได้ดัง ตารางที่ 4.8-4.11

ตารางที่ 4.4 ตำแหน่งของเชือกที่ปนมากับลูกเดียว

ลำดับ	ตำแหน่ง (x,y)		หมายเหตุ
1	206.5586	49.09459	
2	417.5425	65.51307	
3	333.3203	113.9346	
4	299.2089	172.8944	
5	139.6111	179.9180	
6	198.5614	204.7218	ลูกเดียว
7	376.4261	243.1498	
8	311.3087	288.2114	ลูกเดียว
9	192.6331	315.6953	
10	372.0399	309.1170	
11	278.6872	316.5913	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเต๋อย

ลำดับ	ตำแหน่ง (x,y)		หมายเหตุ
1	384.8901	120.7908	
2	349.9122	130.6486	
3	229.8284	156.5075	
4	216.2097	177.6935	
5	338.3031	191.752	
6	253.0581	196.4767	
7	314.2848	203.3354	
8	319.3644	225.1525	ลูกเต๋อย
9	417.4515	258.9000	
10	382.7241	311.5920	
11	189.0688	323.2396	ลูกเต๋อย
12	275.1261	321.3782	ลูกเต๋อย
13	256.1863	372.2124	ลูกเต๋อย
14	275.1368	373.4474	ลูกเต๋อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตำแหน่งของพิวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเต๋อย

ลำดับ	ตำแหน่ง (x,y)	หมายเหตุ
1	384.8901	120.7908 ลูกเต๋อย
2	384.8901	120.7908
3	229.8284	156.5075 ลูกเต๋อย
4	216.2097	177.6935
5	338.3031	191.7520 ลูกเต๋อย
6	253.0581	196.4767 ลูกเต๋อย
7	314.2848	203.3354 ลูกเต๋อย
8	319.3644	225.1525 ลูกเต๋อย
9	417.4515	258.9000 ลูกเต๋อย
10	382.7241	311.5920 ลูกเต๋อย
11	189.0688	323.2396
12	275.1261	321.3782 ลูกเต๋อย
13	256.1863	372.2124 ลูกเต๋อย
14	275.1368	373.4474 ลูกเต๋อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเต๋อย

ลำดับ	ตำแหน่ง (x,y)		หมายเหตุ
1	210.6023	63.23295	
2	327.4726	64.87671	ลูกเต๋อย
3	189.0118	83.74409	
4	191.7182	95.00909	
5	159.5061	103.9303	ลูกเต๋อย
6	246.1807	113.9277	
7	262.133	140.5275	
8	283.5797	147.8841	
9	148.0282	180.5423	
10	359.7714	203.1571	ลูกเต๋อย
11	306.1429	207.7582	ลูกเต๋อย
12	291.4426	234.3115	
13	400.9638	292.5386	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ตำแหน่งของเชือกที่ปนมากับลูกเต๋อย

ลำดับ	ตำแหน่ง (x,y)		หมายเหตุ
1	443.6092	102.7969	
2	415.0211	100.5610	ขึ้นเดียวกับที่ 1
3	243.5000	148.8032	
4	424.3779	230.9427	
5	353.8896	262.1234	
6	380.7508	283.5997	ขึ้นเดียวกับที่ 5
7	210.9298	288.4213	
8	432.2149	377.8977	
9	492.3802	375.8473	
10	308.1265	391.5648	
11	496.7164	398.8955	ขึ้นเดียวกับที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเต๋อย

ลำดับ	ตำแหน่ง (x,y)	หมายเหตุ
1	225.0991 124.2604	ลูกเต๋อย
2	356.6185 147.0778	ลูกเต๋อย
3	455.5877 154.8509	ลูกเต๋อย
4	277.8187 152.9835	ลูกเต๋อย
5	329.2368 161.7000	
6	207.0845 177.0459	ลูกเต๋อย
7	197.2041 199.1429	
8	335.6017 211.2119	ลูกเต๋อย
9	353.2429 228.3500	ลูกเต๋อย
10	281.9741 261.6852	
11	353.8896 262.1234	ลูกเต๋อย
12	334.2565 296.8391	
13	354.3947 325.0789	ลูกเต๋อย
14	350.2794 335.9926	ลูกเต๋อย
15	413.6293 334.1983	
16	439.6881 348.3683	ลูกเต๋อย
17	432.2149 377.8977	ลูกเต๋อย
18	361.1789 386.7385	
19	202.5179 394.4493	ลูกเต๋อย
20	308.3006 391.5467	ลูกเต๋อย
21	262.9792 413.4271	ลูกเต๋อย
22	434.8966 414.1872	ลูกเต๋อย
23	344.2991 419.2729	ลูกเต๋อย
24	426.9545 421.4870	ลูกเต๋อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ตำแหน่งของพิวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเต๋อย

ลำดับ	ตำแหน่ง (x,y)		หมายเหตุ
1	287.2857	89.73308	ลูกเต๋อย
2	265.6737	89.93662	ลูกเต๋อย
3	264.8701	114.7205	
4	225.0991	124.2604	
5	227.2530	160.4256	ลูกเต๋อย
6	207.8186	177.2832	ลูกเต๋อย
7	300.6865	200.4486	
8	396.6466	219.4712	ลูกเต๋อย
9	258.5836	225.6003	ลูกเต๋อย
10	258.5836	225.6003	
11	408.2018	239.4420	
12	490.0265	259.1746	ลูกเต๋อย
13	337.2662	272.2354	ลูกเต๋อย
14	468.8883	276.8564	ลูกเต๋อย
15	490.1493	280.7841	
16	401.8173	283.172	ลูกเต๋อย
17	402.9632	317.4183	ลูกเต๋อย
18	322.9063	320.8048	ลูกเต๋อย
19	439.6881	348.3683	ลูกเต๋อย
20	469.5754	364.4325	
21	270.2077	370.4631	ลูกเต๋อย
22	262.9792	413.4271	
23	344.2991	419.2729	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเต๋อย

ลำดับ	ตำแหน่ง (x,y)		หมายเหตุ
1	265.6737	89.93662	
2	264.8701	114.7205	ลูกเต๋อย
3	225.0991	124.2604	
4	227.2530	160.4256	ลูกเต๋อย
5	207.8186	177.2832	ลูกเต๋อย
6	300.6865	200.4486	
7	396.6466	219.4712	ลูกเต๋อย
8	258.5836	225.6003	ลูกเต๋อย
9	408.2018	239.4420	
10	248.3225	248.6522	
11	490.0265	259.1746	ลูกเต๋อย
12	337.2662	272.2354	ลูกเต๋อย
13	468.8883	276.8564	ลูกเต๋อย
14	490.1493	280.7841	
15	401.8173	283.172	ลูกเต๋อย
16	402.9632	317.4183	ลูกเต๋อย
17	322.9063	320.8048	ลูกเต๋อย
18	439.6881	348.3683	ลูกเต๋อย
19	469.5754	364.4325	
20	270.2077	370.4631	ลูกเต๋อย
21	262.9792	413.4271	
22	344.2991	419.2729	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายความร้อน ในการทดลองได้ทำการตรวจสอบหาสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดลูกเดือย โดยกำหนดสิ่งแปลกปลอม 4 ชนิด ได้แก่ หิน ไม้ เชือก และเศษพลาสติก ระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ปนมา คือ 20 วินาที และบันทึกภาพความร้อนในช่วงของการคายความร้อนในวินาทีที่ 1 ซึ่งทำให้ได้ภาพถ่ายความร้อนที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อจำแนกสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชโดยใช้โปรแกรม Image J จากผลการทดลอง พบว่า สามารถแยกสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชที่มีสีใกล้เคียงกันได้ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ 5 ขั้นตอน ดังนี้ การรับภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน การแปลงภาพระดับสีเทา การแยกส่วนของภาพโดยใช้เทรชโฮลด์ การปรับปรุงคุณภาพด้วยคำสั่งวอเทอร์เ็ด และการแสดงผลลัพธ์โดยใช้ค่าความกลมและพื้นที่เป็นตัวจำแนก ตามลำดับ ซึ่งวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อหาวิธีการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับกรณีวิธีใช้โลคอลเทรชโฮลด์ ถ้าสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการตรวจสอบมีภาพระดับสีเทาแตกต่างกันมากขึ้น ต้องแบ่งจำนวนใช้โลคอลเทรชโฮลด์ให้มากยิ่งขึ้น แต่การทำโลคอลเทรชโฮลด์ไม่ได้มีผลดีเสมอไป เพราะภาพจะมีสิ่งรบกวนมากขึ้น ดังนั้น ควรเลือกใช้ค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมกับภาพระดับสีเทาของสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการแยกและควรแบ่งจำนวนภาพให้ละเอียดที่สุดหากเป็นไปได้ ให้ความละเอียดเท่ากับจำนวนพิกเซลของภาพ จากนั้นนำมาหาความแตกต่างของภาพระดับสีเทาในช่วงของการคายความร้อนวินาทีที่ 1 ถึง 10 โดยข้อจำกัดนี้จะไม่สิ่งรบกวนหรือมีสิ่งรบกวนน้อยมาก เพราะเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาของสิ่งที่ต้องการแยก โดยวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำหลักการไปประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ในอนาคตได้ และอาจเพิ่มกำลังวัตต์ของหลอดไฟหากต้องการลดระยะเวลาของการให้ความร้อน ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มกำลังการตรวจสอบได้

## บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย

### 6.1 บทความวิจัย Thermal Image Resolution on Angular Emissivity Measurements using Infrared Thermography

Nunak, T., Rakrueangdet, K., Nunak, N. & Suesut, T., "Thermal image resolution on angular emissivity measurements using infrared thermography", In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2015 (pp. 323-327). Hong Kong, 18-20 March 2015

The screenshot shows a Scopus document page. At the top, there are navigation links: Search, Sources, Alerts, Lists, and Help. Below this is a blue header with the text "Document details". The main content area includes a navigation bar with "Back to results", "Previous", "6 of 41", and "Next". Below the navigation bar are icons for Export, Download, Print, E-mail, Save to PDF, Add to List, and More. The document title is "Thermal image resolution on angular emissivity measurements using infrared thermography" (Conference Paper) by Nunak, T., Rakrueangdet, K., Nunak, N., and Suesut, T. The authors' affiliations are listed as King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Ladkrabang, Bangkok, Thailand. The abstract states: "This paper reports the effect of viewing angle and thermal image resolution (IFOV and FOV) of Thermal Imager (TI) on the emissivity, with a view to providing a potential temperature monitoring of equipment in the electrical power distribution system which the reliability of system is the most important concern. The results show that the emissivity, which is the most important parameter to obtain the accurate temperature, is approximately constant at the viewing angle less than 45°. In case of the changing of the object to detector distance, this will not affect to the temperature measurement if MFOV at the object level is smaller than the targeted object. This can be concluded that TI is an effective tool to measure the temperature and monitor the failure of electrical equipment installed in the position at far away from the operator." The author keywords are: Electrical equipment, Emissivity measurements, Thermal image resolution, Thermal imager, Viewing angle. There is a link to "View references (9)".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Thermal Image Resolution on Angular Emissivity Measurements using Infrared Thermography

T. Nunak, K. Rakrueangdet, N. Nunak, and T. Suesut

**Abstract**—This paper reports the effect of viewing angle and thermal image resolution (IFOV and FOV) of Thermal Imager (TI) on the emissivity, with a view to providing a potential temperature monitoring of equipment in the electrical power distribution system which the reliability of system is the most important concern. The results show that the emissivity, which is the most important parameter to obtain the accurate temperature, is approximately constant at the viewing angle less than  $45^\circ$ . In case of the changing of the object to detector distance, this will not affect to the temperature measurement if MFOV at the object level is smaller than the targeted object. This can be concluded that TI is an effective tool to measure the temperature and monitor the failure of electrical equipment installed in the position at far away from the operator.

**Index Terms**— Emissivity measurements, thermal imager, viewing angle, thermal image resolution, electrical equipment

## I. INTRODUCTION

EMISSIVITY ( $\epsilon$ ) of object and infrared detector-to-object distance are technical factors for an accurate infrared thermography measurement which are the source of uncertainty in temperature measurement with the infrared camera. Emissivity values play a significant role in the determination of correct temperature of an object surface. Emissivity depends on many factors such as temperature, surface roughness, wavelength, and viewing angle [1], [2], [3]. In general, emissivity of a real surface is interested in emission at a given wavelength or in a given direction, or in integrated averages over wavelength and direction [4].

Thermal imager (TI) or infrared thermography is a novel nondestructive technique that measures the temperature of an object remotely by measuring infrared radiation emitted by an object surface. It can be used as a tool for monitoring process and preventive maintenance since the faults

generally presented with abnormal temperature distribution and easily detected by thermal image [2]. Electrical inspection is one of the monitoring applications that has successfully utilized from TI. The reliability is the most important topic that engineer who takes responsibility of the electrical power distribution system needs to concern in order to avoid the failure of equipment. This causes to the Condition Based Maintenance (CBM), based on using the real-time data, involves to the electrical system and need to be achieved maintaining the correct equipment before its failures actually occur. The contact measurement of temperature of the electrical power distribution system is usually impossible to achieve, whereas TI can be an effective tool to success [5], [6].

For accurate measurement of electrical equipment temperature by an infrared camera, emissivity and object to camera distance need to clearly understand. Since increasing of object to camera distance can decrease the spatial resolution of a thermal imaging system. This can affect to an accurate thermal image and can be achieved by choosing the right TI with the appropriate application. Spatial resolution is explained in many specifications of TI such as FOV, IFOV, and detector array [2].

There are several performance parameters of TI, which effected to a sharp and accurate thermal image, e.g. spectral range, temperature resolution, frame rate, and spatial resolution or thermal image resolution [2]. Some researchers have been studied about these parameters, e.g. Muniz *et al.* [7] have proposed the use of experimental models for error correction in temperature measurement by thermal imager due to the influence of the field of view of the imager's lens, combined with varying viewing angles between the measured object and the imager. However, they have not yet studied the accurate temperature measurement in the viewpoint of emissivity changes due to the thermal image resolution.

Also in general, the emission of a real surface differs from the Planck distribution. Emissivity of real surface obtained from TI with the specific infrared spectral band should be presented at a given direction. In 2011, Suesut *et al.* [8] have been studies the emissivity of electrical distribution equipment at a normal direction over wavelength band from  $8 \mu\text{m}$  to  $14 \mu\text{m}$ . Nevertheless, equipment in the electrical distribution system is installed at the approximately height of 10 meters above ground level, the operator who carry the TI for measuring the temperature of equipment usually is at an angle of elevation of  $45^\circ$  with the targeted object.

Manuscript received December 29, 2014, revised January 18, 2015

T. Nunak is with the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand (corresponding author to provide phone: 66-2-326-000; fax: 66-2-326-xxx; e-mail: t\_nunak@yahoo.com).

K. Rakrueangdet is with the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand (e-mail: gun.rukreangdach@gmail.com).

N. Nunak is with the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand (e-mail: kbnavaph@kmitl.ac.th).

T. Suesut is with the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand (e-mail: kstaweep@kmitl.ac.th).

Therefore, the main objective of this paper was to study the effect of viewing angle and the thermal image resolution (IFOV and FOV) of TI as the influence of instrument on the emissivity, with a view to providing a potential method capable of actual implementation. Also, consideration about these parameters has the benefit to operator for choosing an appropriate thermal imager because they had an influence on an accurate temperature measurement.

## II. THEORETICAL BACKGROUND

### A. Basic Principle of Thermal imaging

An object emits infrared radiation at a temperature above 0 K. The amount of radiation emitted by an object depends on its temperature and emissivity. Emissivity is defined as the ratio of energy emitted from an object to that of a blackbody at the same temperature. In general, the spectral radiation emitted by a real surface differs from the Planck distribution (Fig. 1). Emissivity of real surface is interested in emission at a given wavelength or in a given direction, or in integrated averages over wavelength and direction [4].

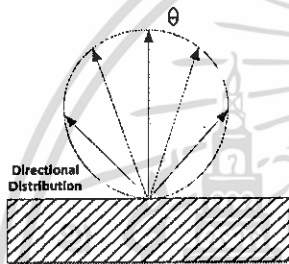


Fig. 1. Radiation emitted by a real surface at various directions or viewing angles ( $\theta$ )  
Source: Fundamentals of Heat and Mass Transfer [4]

For temperature measurement of an object with TI camera, the infrared radiation emitted from a measured object is converted into an electrical signal via IR detector in the camera and then processed into a thermal image which displayed a large number of point temperature over an area in form a thermal map of the measured object surface [2], [9].

### B. Thermal Image Resolution

Thermal image resolution or spatial resolution is an important parameter, e.g. field of view (FOV), instantaneous field of view (IFOV), detector array, considered for choosing the infrared camera.

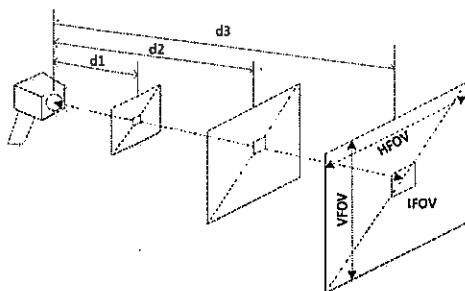


Fig.2. Spatial resolution at a different object to camera distances

This parameter can be used to indicate the ability of the camera to distinguish between two objects in the field of view. It primarily depends on object to camera distance, lens system and detector size. Thermal image resolution decreases with increasing object to camera distance as shown in Fig. 2. Lens system with small field of view has higher spatial resolution. Finally, detectors with larger number of array element will produce thermal images with better spatial resolution [2].

## III. EXPERIMENTS

### A. Experimental Setup

The equipment required for the experiments consists of an infrared camera of a thermal imager, a tripod of camera stand, and a heating unit. Fig. 3 shows the schematic of a typical experimental setup, where the thermal imager camera is placed suitably in front of the sample placed on thermoelectric cooling device (TEC) constructed on the holder. TEC was used as a heat source. The temperature was controlled by a DC power supply (24 V 2.1 A) with a current regulator circuit. In order to measure the emissivity at various directions, a special sample holder was used to enable adjusting of the samples direction as shown in Fig 3.

The acquired thermal images are displayed on the TI screen and stored in the personal computer and real time temperature of the sample can be remotely measured. Typical thermal images of samples at normal direction and 45° to the normal direction along with their original photograph are presented in Fig.4.

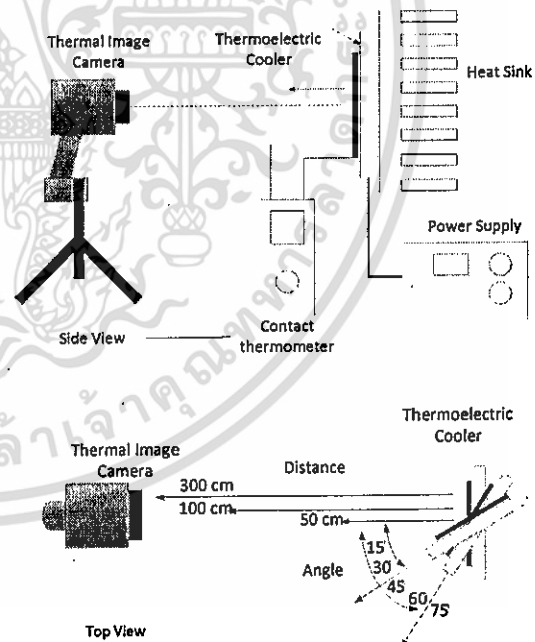


Fig. 3. Schematic of a typical experimental setup

### B. Thermal Imager (TI)

Infrared detector with a band pass filter from 7.5  $\mu\text{m}$  to 14  $\mu\text{m}$  was used in experiments. A portable infrared camera or

thermal imager Tii400 (Fluke Corporation, USA), with a temperature measurement range of -20 to 1,200°C and an accuracy of ±2°C at 25°C or 2%, whichever is greater, was used in experiments. The thermal detector was a Focal Plane Array, uncooled microbolometer of 320 x 240 pixels with the field of view 24° (horizontal) x 17° (vertical), spatial resolution (IFOV) 1.31 mRad and minimum focus distance of 15 cm. An addition lens type (telephoto IR) with the field of view 12° (horizontal) x 9° (vertical), IFOV 0.65 mRad and minimum focus distance of 45 cm was also used. The thermal sensitivity was 0.05°C at 30°C. Thermal images were analyzed by thermal imager software Fluke

TABLE I  
THERMAL IMAGE RESOLUTION OF THERMAL IMAGER (Ti400) AT  
VARIOUS OBJECT TO DETECTOR DISTANCE

Distance (cm)	FOV <sup>a</sup> (cm)	IFOV <sup>b</sup> (cm)
50	21x16 <sup>c</sup>	0.07x0.07 <sup>c</sup>
100	42x31	0.13x0.13
300	126x94	0.39x0.39
300 <sup>d</sup>	63x47	0.2x0.2

<sup>a</sup>Field of View; <sup>b</sup>Instantaneous Field of View;  
<sup>c</sup>Horizontal size x vertical size; <sup>d</sup>IR tele lens type

SmartView® 3.5. The thermal image resolution of Ti400 at different distances is presented in table 1.

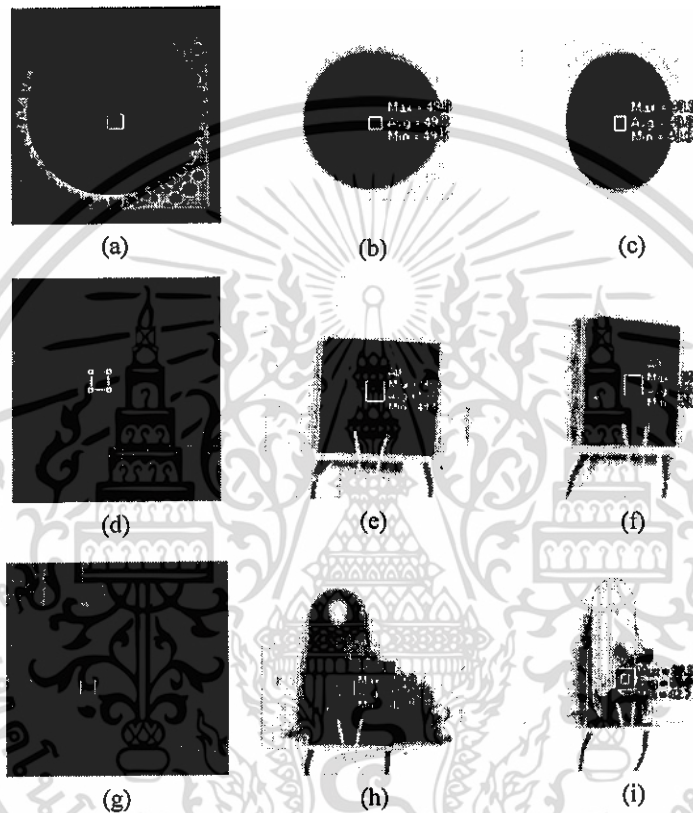


Fig. 4. Typical (a, d, g) original photograph and thermal images (b, e, h) at normal direction and (c, f, i) at 45° to the normal direction of blackbody, black painted sheet, and galvanized zinc sheet, respectively

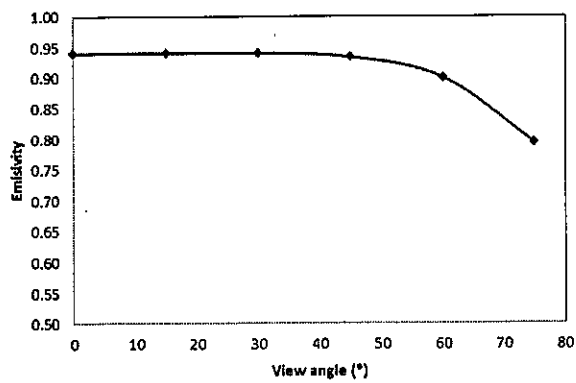
### C. Measurement Method

Three types of experiments were carried out. The change of emissivity of targeted object due to variations in viewing angle was studied. Then, the effect of IFOV and FOV changes on emissivity was investigated by changing the object to detector distance and lens type. The radiation emitted from the sample is measured using an infrared radiation detector, which has been calibrated at a blackbody model 9132 (HART Scientific, USA) during separate measurement in order to ensure that the obtained results from each experiment had no effect of the instrument.

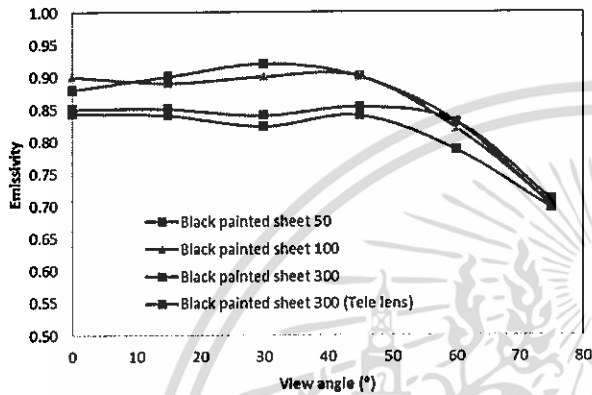
Temperature of sample surface measured by TI was simultaneously measured with a J-type contact thermocouple, in order to record the actual temperature, which are placed on the sample surface, close to the area

viewed by the infrared detector. Emissivity of the object at each condition as displayed in TI was adjusted until the temperature measured with TI equal to that of a thermocouple, then the adjusted emissivity is the actual value of the object. The reflection temperature or sometimes call the background temperature ( $T_{BG}$ ) is a parameter that affects the emissivity measurement; therefore, it was monitored during experiments for determining the reflection of radiation of the surrounding. In this study,  $T_{BG}$  was between 25.1°C to 26.4°C.

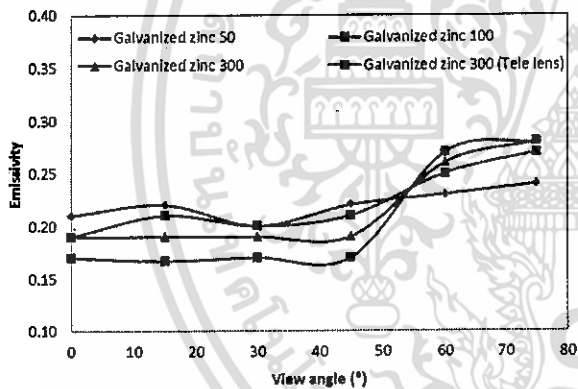
Experiments were performed on two types of samples: square piece of black painted sheet, as a representative of the high emissivity sample, and galvanized steel sheet, as a representative of the low emissivity sample, as a part of the electrical distribution equipment such as PG clamp, connector or bolt. The sample coated with a black-paint for



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Emissivity of (a) blackbody device, (b) black painted sheet, and (c) galvanized zinc steel sheet as a function of the emission angle at distance of 50 cm, 100 cm, 300 cm, and 300 cm with addition tele infrared lens

enhancing surface emissivity. The emissivity of each sample was measured at the temperature of 50°C normal to the surface and at the viewing angles 15°, 30°, 45°, 60°, and 75° to the normal direction at object to detector distance of 50 cm, 100 cm, and 300 cm. For each viewing angle the same sample was used for emissivity measurement. Each experiment was repeated three times and the average value was taken from the recorded data.

#### IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

##### A. Effect of Viewing Angle on Emissivity

The first experiment was carried out to understand how

the angle of view was influenced to the emissivity. Changing in the emissivity was recorded in each direction, and results for all samples are shown in Fig. 5 (a, b, and c). It can be seen that the emissivity of all three types of samples is approximately constant over a range of viewing angle and dramatic changes to increasing or decreasing with increasing of viewing angle depends on sample types. Emissivity of blackbody device and black painted sheet starts to decrease at the angle beyond 45°, whereas that of galvanized zinc steel sheet increases at this viewing angle. These results are in agreement with reported in the textbook of Fundamentals of Heat and Mass Transfer [4], which explained about the influence of viewing angle on emissivity of a surface. For emissivity of conductors, it is approximately constant over the range of angle less than or equal to 40° ( $\theta \leq 40^\circ$ ), after which it increases with increasing of angle. In contrast, for the emissivity of nonconductors, it is approximately constant for angle less than or equal to 70° ( $\theta \leq 70^\circ$ ), beyond which it decreases sharply with increasing of angle.

##### B. Effect of distance between object and detector on Emissivity

The increasing of object to detector distance causes the increasing of the size of a single pixel (IFOV) and the horizontal and vertical enlargement of the total measuring field (FOV) at the object level as explained in Fig. 2. FOV and IFOV of TI at various distances is shown in Table 1. It can be seen from the results in Fig. 5 (b and c), the emissivity for all distances at the same viewing angle are quite similar. This is thought to be due to the measured size or measurement field of view (MFOV) at the object level is smaller than the targeted object, as a highlighted rectangular frame on the picture in Fig. 4, for all objects to detector distances and all viewing angles even IFOV and FOV are changed.

##### C. Effect of Lens type on Emissivity

Changing IR lens from standard type to tele type can also changes the thermal image resolution as IFOV and FOV changed. It can be seen from the Fig. 5 (b and c) that the emissivity of both standard lens and tele lens at the same distance (300 cm) has almost the same values. This can be explained with the similar reasons of changing in object to detector distance. However, it was found that there is a slight variation in the results of the galvanized zinc steel sheet at a distance of 300 cm. This is probably due to the emissivity of this sample is quite low, causing to the sample meets the large effect of the surrounding radiation.

#### V. CONCLUSION

From the importance of accurate temperature measurement using TI, especially when used for monitoring the operation of the electrical power distribution system that the reliability of system is the most important thing, this paper reports the effect of viewing angle and thermal image resolution (IFOV and FOV) of TI on the emissivity, with a view to providing a potential method capable of actual implementation. The results show that the emissivity, which is the most important parameter to obtain the accurate

temperature, is approximately constant at the viewing angle less than 45°. Although changing of the object to detector distance causes to change the thermal image resolution, this will not affect to the temperature measurement if MFOV at the object level is smaller than the targeted object. This can be concluded that TI is an effective tool to measure the temperature and monitor the failure of electrical equipment installed in the position at far away from the operator. Nevertheless, most of electrical equipment has the low emissivity that will be affected from the surrounding radiation. Their exact values of emissivity at each angle should be reconsidered with concern the reflection, and also the results should be brought to determine the emissivity correction methodology at different angles in further research.

#### REFERENCES

- [1] R. Brandt, C. Bird, and G. Neuer, "Emissivity reference paints for high temperature applications," *Measurement*, vol. 41, pp. 731-736, Nov. 2008.
- [2] S. Bagavathiappan, B.B. Lahiri, T. Saravanan, J. Philip, and T. Jayakumar, "Infrared thermography for condition monitoring- A review," *Infrared Physics & Technology*, vol. 60, pp. 35-55, Mar. 2013.
- [3] S. Marinetti and P.G. Cesaratto, "Emissivity estimation for accurate quantitative thermography," *NDT&E International*, vol. 51, pp. 127-134, Jun. 2012.
- [4] F.P. Incropera, D.P. DeWitt, T.L. Bergman, and A.S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th ed., John Wiley & Sons, 2007, pp. 746-747.
- [5] R.A. Epperly, G.E. Heberlein, and L.G. Eads, "A tool for reliability and safety: predict and prevent equipment failures with thermography," *IEEE Conf. Petroleum and Chemical Industry*, pp. 59-68, 1997.
- [6] N.Y. Utami, Y. Tamsir, A. Pharmatrisanti, H. Gumiland, B. Cahyono, and R. Siregar, "Evaluation condition of transformer based on infrared thermography results," *Proceedings of the 9th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials*, pp. 19-23, 2009.
- [7] P. R. Muniz, S.P.N. Cani, and R.S. Magalhães, "Influence of Field of View of Thermal Imagers and Angle of View on Temperature Measurements by Infrared thermovision," *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, no. 3, Mar. 2014.
- [8] T. Suesut, N. Nunak, T. Nunak, A. Rotrugs, and Y. Tuppadung, "Emissivity measurements on material and equipment in electrical distribution system," *International Conference on Control, Automatin and Systems*, pp. 1259-1263, Oct. 2011.
- [9] A.A. Gowen, B.K. Tiwari, P.J. Cullen, K. McDonnell, and C.P. O'Donnell, "Applications of thermal imaging in food quality and safety assessment," *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 21, pp. 190-200, 2010.

## 6.2 บทความวิจัย Detection of Foreign Bodies in Roasted Coffee by using Active Thermography

Ngoensod, A., Nunak, N. & Suesut, T., "Detection of Foreign Bodies in Roasted Coffee by using Active Thermography", In Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2017. Hong Kong, 15-17 March 2017

Scopus

[Search](#) [Sources](#) [Alerts](#) [Lists](#) [Help](#) ▾

### Document details

< Back to results : < Previous 2 of 41 Next >

[Export](#) [Download](#) [Print](#) [E-mail](#) [Save to PDF](#) [Add to List](#) [More...](#)

Lecture Notes in Engineering and Computer Science  
Volume 2227, 2017, Pages 391-394  
2017 International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, IMECS 2017: The Royal Garden Hotel-Hong Kong: Hong Kong: 15 March 2017 through 17 March 2017: Code 133365

#### Detection of Foreign Bodies in Roasted Coffee by using Active Thermography (Conference Paper)

Ngoensod, A.<sup>a</sup>, Nunak, N.<sup>b</sup>, Suesut, T.<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Department of Instrumentation and Control Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

<sup>b</sup>Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

<sup>c</sup>Department of Instrumentation and Control Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

#### Abstract

[View references \(15\)](#)

This paper presents the detection of foreign bodies in roasted coffee by using active thermography with real time thermal image processing. Foreign bodies, including stone, wood, etc., are found in roasted coffee beans contaminated during drying process and transportation. The principle of radiation from objects with different emissivity and heat capacity is applied. The heat radiation from the roasted coffee and the foreign body are different, therefore, the thermal image can be used to identify the foreign objects. The active thermography system consists of a thermal image camera and computer image processing, heat source and conveyor system controlled by programmable logic controller. The testing and experimental results of the proposed system show that the foreign bodies in roasted coffee beans can be found in all batches, however, the number counting of foreign objects are inaccurate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Detection of Foreign Bodies in Roasted Coffee by using Active Thermography

A. Ngoensod, N. Nunak, and T. Suesut

**Abstract**—This paper presents the detection of foreign bodies in roasted coffee by using active thermography with real-time thermal image processing. Foreign bodies, including stone, wood, etc., are found in roasted coffee beans contaminated during drying process and transportation. The principle of radiation from objects with different emissivity and heat capacity is applied. The heat radiation from the roasted coffee and the foreign body are different; therefore, the thermal image can be used to identify the foreign objects. The active thermography system consists of a thermal image camera and computer image processing, heat source and conveyor system controlled by programmable logic controller. The testing and experimental results of the proposed system show that the foreign bodies in roasted coffee beans can be found in all batches, however, the number counting of foreign objects are inaccurate.

**Index Terms**—thermal image processing, Active Thermography, emissivity

## I. INTRODUCTION

In northern Thailand, the hill-tribe farmers grow Arabica coffee, while Robusta coffee is grown in South of Thailand [1]. Thailand is the third grown coffee in Southeast Asia [2]. Normally, the coffee production starts from growing coffee, harvesting the cherries, processing of cherries, drying the beans, milling process and finally roasting process. The quality of the coffee is not only depending on the odor and taste, but also the quality of production is very important. Consumers always have high expectations about food purity [3]. Generally, roasted coffee beans contain a small percentage of foreign bodies such as stone and wood. Therefore, it is important to find the way to get coffee 100% pure [4]. In coffee industrial production, many of coffee producers need a pure coffee without any foreign bodies matter because foreign bodies will reduce the quality of coffee. The traditional detection of foreign bodies

in coffee by using a person or sorting apparatus, it is not as good as it should be.

The color sorters are the machines replacing hand sorting that consists of the functions of the human hand, brain and eye by separating the color. The color sorter can reduce the amount of foreign bodies, but it cannot be done effectively for 100% [5]. There are many possible reasons for the limitation, for example, the difference material with the same physical size and same color.

The destoner or specific gravity separator is widely used in coffee industry based on the principles of different specific gravity. This machine can be used to produce roasted coffee for the finest quality and it is suitable for the large coffee industry [4].

To overcome this problem, in recent years, many new applications of infrared thermography have been developed [3][6][7]. Infrared thermography is a nondestructive evaluation method with an increasing span of applications. This technique is able to detect contaminants or inhomogeneities. Many industries use thermal image to detect foreign bodies.

Infrared nondestructive testing is particularly suitable to evaluate the quality of fruit, vegetables, seeds, flour, etc. This method includes passive and active infrared nondestructive testing. In active infrared nondestructive testing, the sample under test is stimulated by appropriate thermal activation and thermal images are collected in a determined interval time in order to reconstruct the time-temperature curves of the sample. By analyzing the behavior of the curves for any image pixel, inhomogeneities, flaws and foreign objects can be individuated even in the case of internal defects [7].

In this work, the problem has been solved by using active thermography to find foreign bodies in roasted coffee products. The principle of active thermography was applied to the foreign body detection system for roasted coffee beans.

## II. PRINCIPLE

### A. Emissivity

Emissivity is the coefficient of thermal radiation which ranges from 0 to 1, can be defined as a ratio of the thermal radiation from the surface of any object to the thermal radiation from a black body at the same temperature. The maximum thermal radiation that surfaces can radiate (Ideal surface or black body) is  $\epsilon = 1$ .

Emissivity of a surface, denoted  $\epsilon$ , is defined as

$$\epsilon = \frac{E(T)}{E_b(T)} \quad (1)$$

Manuscript received December 22, 2016; revised January 9, 2017. This work was supported in part by Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520

A. Ngoensod is with department of Instrumentation and Control Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520

N. Nunak is with department of Food Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520 (e-mail: Navaphattra@gmail.com).

T. Suesut is with department of Instrumentation and Control Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520 (corresponding author e-mail: taweeopol.su@kmitl.ac.th).

where

$E(T)$  is the thermal radiation energy of any object (equation 2);

$E_b(T)$  is The thermal radiation energy of a black body at the same temperature as that surface (equation 3 and 4);

$$E(T) = \epsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

$$E_b(T) = \int_0^\lambda \frac{C_1}{\lambda^5 \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1} d\lambda \quad (3)$$

$$E_b(T) = \sigma T^4 \quad (4)$$

where  $\sigma$  is the constant of Stefan–Boltzmann is equal to  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}^4$ .

Emissivity depends on the type of object, the surface of the object and the surface temperature of the object.

### B. Active thermography

Active thermography is a method that enabled nondestructive testing assessment of properties of materials. This method needs external heat source to stimulate the thermal energy to the sample. The difference of thermal radiation between the sample and the defects can be classified by the thermal image. There are 3 methods for active thermography: pulse methods, lock-in methods and pulse phase methods.

Meinlschmidt [13] was developed thermographic detection of defects in wood-based materials. When wood sample under detection was heated with heat source, the temperature of the surface will increase suddenly. The speed of heat at surface diffused into the sample based on the thermal properties such as emissivity, density and heat capacity. The defects in the sample made an obstacle for the heat spreading process. Thereby, the surface temperature over the defect would drop slower than the temperature in other areas and the surface over the defect expressed the hot spots for a long time.

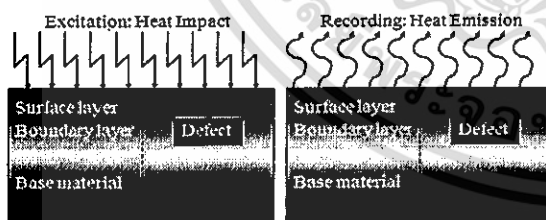


Fig. 1. Principle of active thermography (adapted from P. Meinlschmidt)

### III. EXPERIMENTAL SETUP

The experiment setup consisted of infrared thermography camera FLIR series A315 (see Table I), Halogen light bulb 50-60 Hz 100W, Conveyor  $15 \times 160 \text{ cm}^2$  7.27 cm/sec, Programmable Logic Controller Omron C200HX, photo sensors, and computer for thermal image processing as shown in Fig. 2.

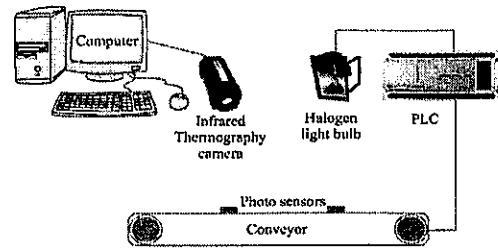


Fig. 2. The detection system for foreign bodies in roasted coffee by using Active thermography.

TABLE I  
TECHNICAL CHARACTERISTIC OF IR CAMERA [15]

Measuring range	-20 to +120°C (-4 to 248°F) 0 to +350°C (32 to 662°F)
Accuracy	±2°C or ±2% of reading
Resolution	320 × 240 pixels
Spectral range	7.5–13 μm
Thermal resolution	320 × 240 pixels
Image frequency	60Hz
Field of view	25° × 18.8° / 0.4 m (1.31 ft.)
IFOV	1.36 mrad
Sensor	Uncooled microbolometer
Camera Interface	Gigabit Ethernet

### A. Foreign bodies detection procedure

The detection procedure started from preparing the sample by mixing the roasted coffee and foreign bodies (i.e. stones, wood), and placed the sample on the tray. The conveyor system controlled by PLC was turned on. Then the sample tray placed on the conveyor belt. When the sample tray was passed to the first photo sensor, the belt would be stopped in order to heat for 50 seconds by stimulating light source. Afterward, the conveyor belt would move the tray to the second photo sensor which was the position for acquiring thermal image by infrared thermography. This step spent time for 4 seconds, including cooling time of sample and thermal image processing. The thermal images were analyzed to detect foreign bodies in roasted coffee using Vision Builder Software AI 2013 (National Instruments) by using functions stimulate acquisition, extract RGB, filter image, threshold image and detect objects, respectively according to the flowchart as shown in Fig. 3. The analysis was divided into 2 parts. There was detecting of foreign bodies and counting the number of foreign bodies. Stimulate acquisition is used for exporting images into the program, extract RGB is used for converting images to 8 bits, filter the image is used for suppressing the high frequencies, threshold image is segmented color into 2 colors (black and white), and detect object is used for counting the number of foreign bodies.

### B. Estimation of cooling time for detecting foreign bodies

This process for estimating a suitable cooling time after the roasted coffee beans was heated. The estimation was started by preparing the sample. After that the samples were heated for 50 seconds in order to increase the temperature of the samples around 40°C by stimulating light source. Then the samples were cooled down for 24 seconds in the ambient temperature and infrared thermography camera will be used to record thermal image into video files. Finally, the roasted coffee beans and stones were analyzed the temperature by

using FLIR IR Camera Player software. The experiment was repeated for five times.

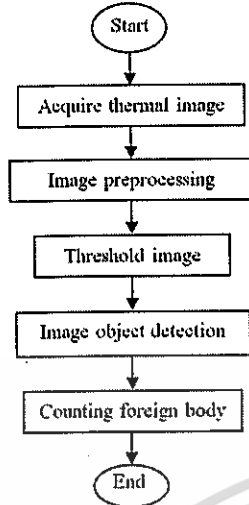


Fig. 3. Image processing for detecting foreign bodies

### C. Emissivity measurement

From the previous work [14], we applied this method for measuring the emissivity of roasted coffee bean and stone. In this emissivity measurement, the sample tray and the black tape were placed on an aluminum plate which was heated by water in a hot water bath for 85°C. The emissivity value shown on the thermal camera was adjusted the temperature to the temperature on the thermal camera was equal to the temperature at the thermocouple.

## IV. RESULTS AND DISCUSSION

The experiment results were divided into 3 parts: foreign bodies detection procedure, estimation of cooling time for detecting foreign bodies and emissivity measurement, respectively.

The foreign body detection procedure included detecting of the foreign object and counting the number of foreign bodies. Thermal images have clearly shown the difference between roasted coffee beans and foreign bodies, even though the eyes could not distinguish at some parts. FLIR IR Camera Player software was acquired thermal images and analyzed the temperature. The optimal setting temperature for the level and the span of this experiment was 27°C - 47°C.

For the detection of foreign bodies, the experiment was done randomly for 200 times with the sample containing the foreign body and the roasted coffee. The testing result found that the proposed system could correctly detect the foreign bodies for 100%. The detection result from Vision Builder AI shows pass for pure roasted coffee and shows fail for detecting the foreign bodies as shown in Fig. 4.

However, counting the number of foreign bodies was found some errors. The samples in this experiment were added 1, 2, 3, 4, and 5 pieces of the foreign bodies, respectively and the experiment was done 10 times repeatedly. The result found error 2 times of the total 50 times. The examples of counting the number of foreign bodies have shown in Fig. 6.

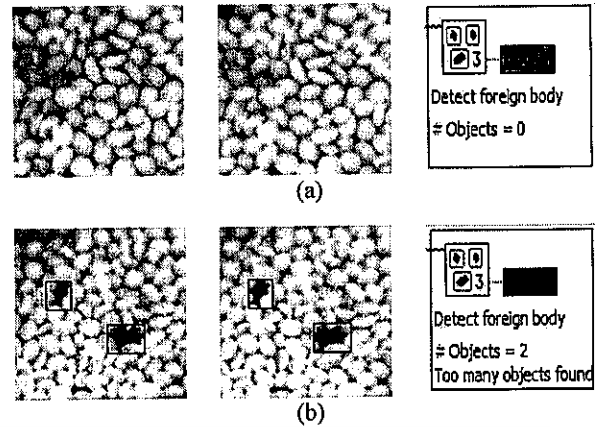


Fig. 4. The examples for detecting foreign bodies. There are thermal images from infrared thermography camera, gray images converted by FLIR IR Camera Player software and the result from the program. (a) The detection of stones in roasted coffee, there is no any foreign body, the program cannot detect foreign bodies. (b) The detection of stones in roasted coffee, the program can detect foreign bodies.

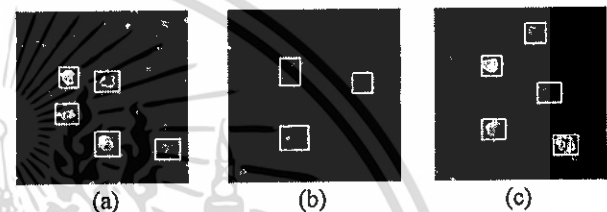


Fig. 5. Examples of roasted coffee beans and stones are mixed together. (a) 5 pieces of stones in roasted coffee, (b) 3 pieces of stones in roasted coffee and (c) 5 pieces of stones in roasted coffee

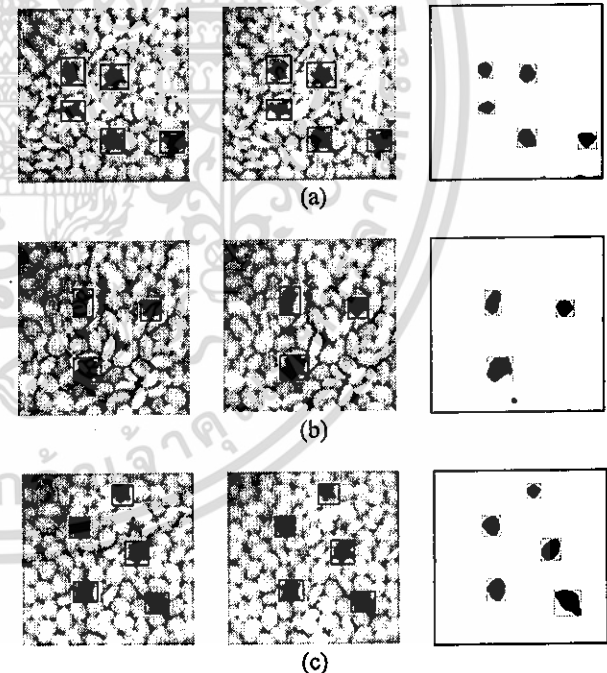


Fig. 6. The examples of counting the number of foreign bodies from Fig. 5. There are thermal images from infrared thermography camera, gray image converted from FLIR IR Camera Player software and the result from the program. (a) The detection of stone in roasted coffee, the program can count 5 from 5 pieces of foreign bodies. (b) The detection of stone in roasted coffee, the program can count 3 from 3 pieces of foreign bodies. (c) The detection of stone in roasted coffee, the program can count 5 from 5 pieces of foreign bodies.

The problem may be caused by the segmentation of the thermal image. The image processing algorithm cannot classify the difference between the roasted foreign bodies and sample tray, therefore, the function of counting object is mistaken the operation.

Fig. 7 shows gray images recorded from the infrared thermography. The intensity level relating to the temperature, low temperature was dark gray and high temperature was bright gray.

The estimation result of cooling time for detecting foreign bodies has shown in Fig. 8. In x-axis represents the time (seconds) and the y-axis represents the temperature (°C). After stimulating with same heating time, the temperature of the stones was constant, but the temperature of the roasted coffee beans was gradually declined because both materials had different emissivity. The suitable time for detection was the first second which the tray was moved to the position of the infrared camera due to the temperature between roasted coffee beans and stones was the most difference.

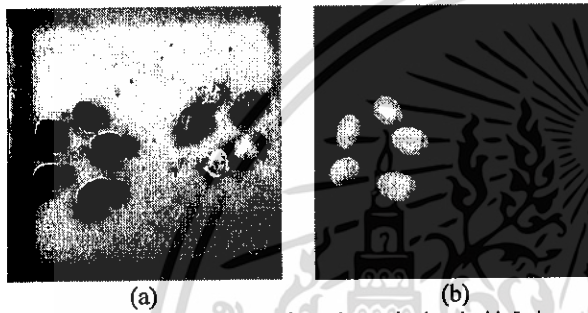


Fig. 7. The image and gray image of sample tray is placed with 5 pieces of roasted coffee beans and 5 pieces of stones.

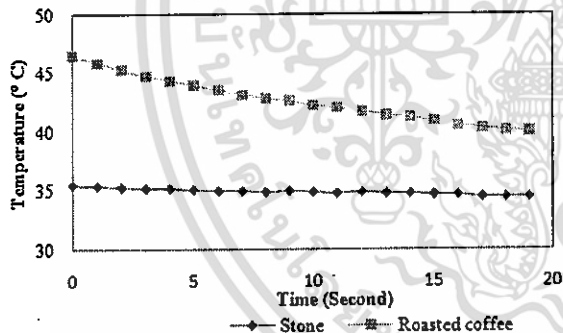


Fig. 8. Temperature curves of the sample in cooling times after the coffee beans and stones are heated about 4 seconds. In x-axis represents the time (seconds) and the y-axis represents the temperature (°C).

Table I shows emissivity of roasted coffee and stone from the experiment. The results of the emissivity were the difference between roasted coffee bean and stone. After the samples were stimulated, the surface temperature of the samples was different because of the thermal properties.

TABLE I  
EMISSIVITY OF THE MATERIAL

Material	Emissivity
Roasted coffee	0.75–0.78
Stone	0.80–0.85

## V. CONCLUSION

In this work, the detection of foreign bodies in roasted coffee was done by the principle of radiation from objects with different material properties such as emissivity and heat capacity. Consequently, the heat radiation from the sample surface and a foreign object surface is different. Therefore, the thermal image can be identified the contaminated objects from the roasted coffee beans by using active thermography. The testing and results of the system show that it can detect foreign bodies in roasted coffee beans accurately. However, it still has some problems caused by the thermal image processing. The result of experiment presents a clear comparison between roasted coffee and foreign bodies. This system can be improved to an automatic real-time system and this principle can apply to detect foreign bodies in other products as well.

## REFERENCES

- [1] A. Pongsak, "Coffee Production Status and Potential of Organic Arabica Coffee in Thailand", in *Assumption University : AU Journal of Technology*, June 7, 2015.
- [2] S. Chintongprasert, A. Saekoe, "Potentiality to export coffee in Thailand to Asean", *journal of marketing and management of Rajamangala University of Technology Thanyaburi*, 2015.
- [3] G.Ginesu, D.D. Giusto, V.Margner and P. Meinlschmidt, "Detection of Foreign Bodies in Food by Thermal Image Processing". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 51, pp. 480-490, 2004.
- [4] D. Giesen. (2013, March 17). Coffee destoner [Online]. Available: <http://www.giesencoffeeroasters.eu/roaster-equipment/coffee-destoner>
- [5] J. M. Low, W. S. Maughan, S. C. Bee and M. J. Honeywood, "Sorting by colour in the food industry", *Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC*, London, 2011.
- [6] L. Senni, M. Ricci, A. Palazzi, P. Burrascano, P. Pennisi and F. Ghirelli, "On-line automatic detection of foreign bodies in biscuits by infrared thermography and image processing, *Journal of Food Engineering 2014*, vol. 128, pp. 146–156, Dec. 2013.
- [7] S. Bagavathiappan, B.B. Lahiri, T. Saravanan, John Philip and T. Jayakumar, "Infrared thermography for condition monitoring – A review", *Infrared Physics & Technology*, vol. 60, pp. 35–55, September 2013.
- [8] J. Trefil, "The Nature of Science: An A-Z Guide to the Laws and Principles Governing Our Universe". *Houghton Mifflin Harcourt*, 2003, pp. 377.
- [9] M. Quinn, "Thermal Radiative Transfer and Properties (Book style)", *John Wiley & Sons*, 1992, pp.56.
- [10] Chelladurai, V., Jayas, D. S. and White, N. D. G. 2010. "Thermal imaging for detecting fungal infection in stored wheat". *Journal of Stored Products*, vol. 46, pp. 174-179, 2010.
- [11] S. Benzerrouk, "Active and Passive Thermography for the detection of defects in green-state poedermetallic compacts", Degree of Doctor of Philosophy, Worcester Polytechnic Institute, August 2011.
- [12] F.P. Incropera, D.P. DeWitt, T.L. Bergman, and A.S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th ed., John Wiley & Sons, 2007, pp. 746–747.
- [13] P. Meinlschmidt, "Thermographic detection of defects in wood and wood-based materials", *14<sup>th</sup> international Symposium of nondestructive testing of wood*, Hannover, Germany, May 2<sup>nd</sup> -4<sup>th</sup>, 2005.
- [14] K. Rakruangdet, N. Nunak, T. Suesut, and E. Sritham, "Emissivity Measurements of Reflective Materials using Infrared Thermography", *the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2016*, vol. 1, March 16 - 18, 2016.
- [15] FLIR A315 [Online]. Available: <http://www.flir.co.uk/automation/display/?id=41955>

## เอกสารอ้างอิง

- กรมการค้าภายใน (2555) ค้นเมื่อ 31 กรกฎาคม 2556. จาก <http://www.custom.go.th>
- กรมศุลกากร (2555) ค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2555. จาก <http://www.dit.go.th>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) 2555) 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)).
- จันทร์เพ็ญ โทมัส. (2551). การประมวลผลภาพแบบดิจิทัล (Digital Image Processing). วิธีการทดลองทางฟิสิกส์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ใจทิพย์ วานิชชัง, พิชณี บุญธกานนท์กรรณิกา กระแสโท , และประทุมพรเสาวพันธ์ .(2545). ศึกษากรรมวิธีในการเพิ่มคุณภาพข้าว. รายงานการวิจัยสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. ชลบุรี. น. 153-156.
- ชัยยันต์ จันทร์ศิริ. เครื่องตัดขนาดถั่วลิสงเมล็ดโตแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ณัฐภูมิ เนียมสอน และ ทวีชัยนิมาแสง. (2551). เครื่องทำความสะอาดเมล็ดถั่วเหลืองโดยใช้ความถี่สูงเฉพาะ. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ถนอมขวัญชัย ยายงาม สุรศักดิ์ เนียมแก้ว และ ณัฐภูมิเนียมสอน. (2546). การศึกษาผลของมุมและความถี่ที่มีผลต่อเครื่องตัดแยกถั่วเหลืองแบบเขย่า. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์ และ ชัยยันต์จันทร์ศิริ. (2549). เครื่องตัดขนาดถั่วลิสงเมล็ดโตแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ธริษตรี จุลกัทัพพะ และ เรืองชัย พันธุ์บุตร. (2531). เครื่องตัดขนาดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ประเภทใช้แรงคน. รายงานของนักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (ม.ป.ท.).
- นวกัทธา หนูนา และ ทวีพล ชื้อสัตย์. (2555). การวัดและเครื่องมือวัด (Measurement and Instrumentation). กรุงเทพฯ : มิน เซอร์วิส ซัพพลาย
- พงษ์เทพ เกิดดอนแฝกพงษ์สวัสดิ์, คชภูมิ, จักรพงษ์ กลิ่นสะอาด และ ศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล.(2545). การศึกษาการใช้แรงของสนามแม่เหล็กในการตัดแยกเมล็ดพืช. พิมพ์ครั้งที่ 6. น.330-334.
- มนตรี พิรุณเกษตร. (2548). การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: วิทย์พัฒนา
- ยุทธพงศ์ ทัพผดุง ,ธีระวัฒน์ หนูนา, ทวีพล ชื้อสัตย์และนวกัทธา หนูนา. (2555). การใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายความร้อนอินฟราเรดอย่างมืออาชีพวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรม . น .ราชูปถัมภ์. 30.

- วินิต ชินสุวรรณ, นิพนธ์ ป้องจันทร์, สมชาย ชวนอุดม และ วราจิต พยอม.(2545) .การประเมินความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืช. 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). ข้อมูลด้านการผลิตและการตลาดสินค้าเกษตรที่สำคัญ. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สมชัยเทพ ศิลป์วิสุทธิ. (2552). เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวกล้องออกจากข้าวเปลือก. นิตยสารเทคโนโลยีเครื่องกล. 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.
- Bison a, P.G., Marinetti, S., Mazzoldi, A., Grinzato, E. and Bressan, C. (2002). Cross-comparison of thermal diffusivity measurements by thermal methods. Infrared Physics & Technology, (43), p.127-132.
- 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Christine, B. and Stephane, H. (2012). Infrared thermography protocol for simple measurements of thermal diffusivity and conductivity. *Infrared Physics & Technology*, (55), p.376-379.
- Chudzik, S. (2012). Measurement of thermal parameters of a heat insulating material using infrared thermography. *Infrared Physics & Technology*, (55), p.73-83.
- 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.
- Gamaliel, L., Luis, A. B. and Luis, A. (2013). Estimation of wood density using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, (42), p. 29-32
- 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., Janssen, J. E. and Torborg, R. H. (1960). *Thermal Radiation Properties Survey*. Minneapolis-Honeywell Regulation Company, Minneapolis, MN: (N.P.)
- Gruner, K.D. (2012). *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](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.
- Krause, M., Blum, J., Skorov, Yu.V. and Trieloff, M. (2011). Thermal conductivity measurements of porous dust aggregates: I. Technique, model and first results. *Icarus*, (214), p.286-296.
- Kreith, F. and Kreider, J. F. (1978). *Principle of solar Energy*. New York: Hemisphere Publishing
- Laskar, J.M., Bagavathiappan, S., Sardar, M., Jayakumar, T., Philip, J. and Raj, B. (2008). Measurement of thermal diffusivity of solids using infrared thermography.

- Materials Letters, (62), p.2740-2472.
- 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.
- Meinlschmidt P. (2005), *Thermographic detection of defects in wood and wood-based materials*, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Institute for wood research, Braunschweig Germany
- 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.
- Senni L., Ricci, M., Palazzi, A., Burrascano, P., Pennisi, P. and Ghirelli, F. (2014). On-line automation detection of foreign bodies in biscuits by infrared Thermography and image processing. *Journal of Food Engineering*, (128), p. 146-156.
- 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](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
- Torres, C., Martin, C. S., Esparza, D. and Bonilla, D. (2012). Thermal diffusivity measurements of spherical samples using active infrared thermography. *Infrared Physics & Technology*, (55), p.469-474.

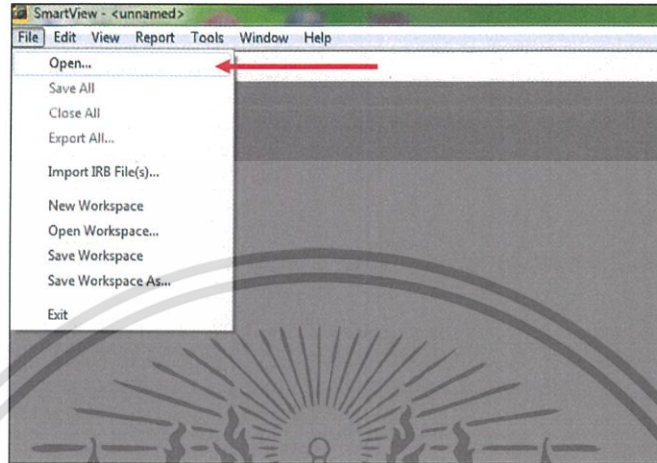


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก การใช้โปรแกรมในการประมวลผลภาพ

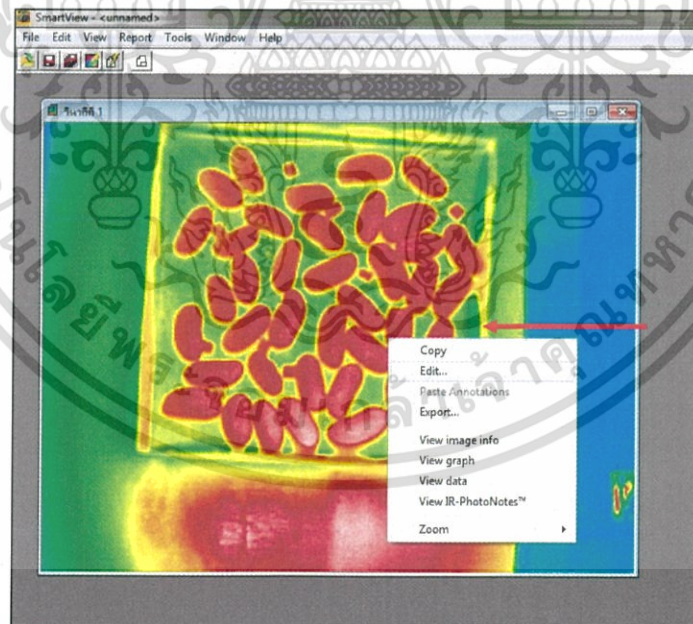
### 1.การใช้โปรแกรม Smart view

#### 1.1 คลิกที่ File >>> Open เพื่อเปิดรูปภาพ



ภาพที่ 1 การใช้งานโปรแกรม Smart View (1)

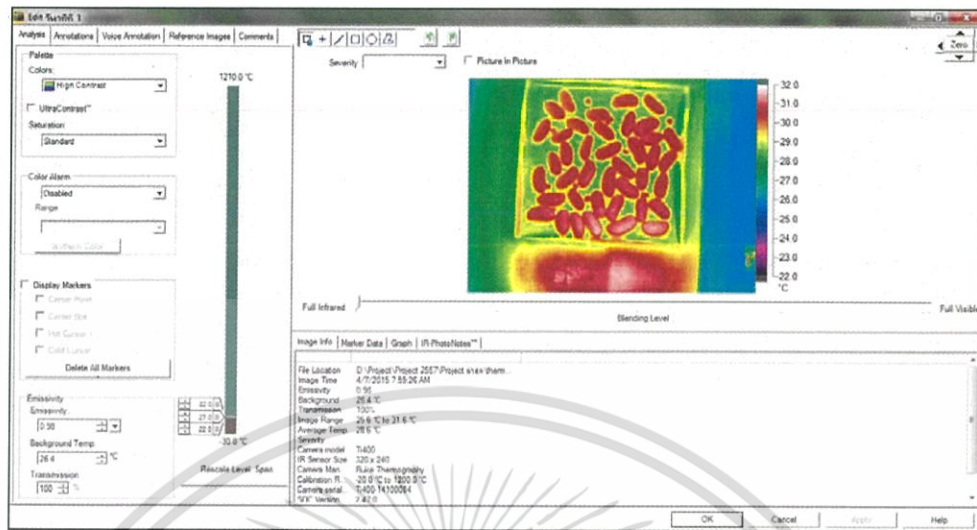
#### 1.2 จากนั้นคลิกขวาที่รูปภาพเลือก Edit เพื่อทำการปรับค่า



ภาพที่ 2 การใช้งานโปรแกรม Smart View (2)

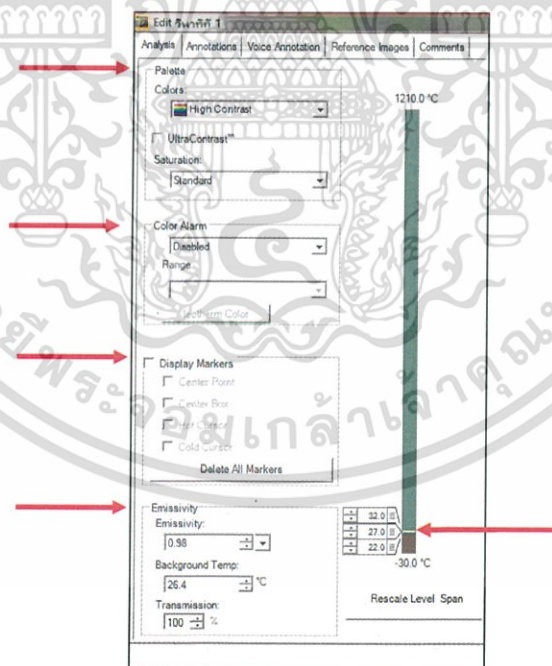
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.3 จะได้นหน้าต่างดังรูป



ภาพที่ 3 การใช้งานโปรแกรม Smart View (3)

## 1.4 หน้าต่างแสดงการปรับค่า Palette, Color Alarm, Display Markers, Emissivity, Span &amp; level

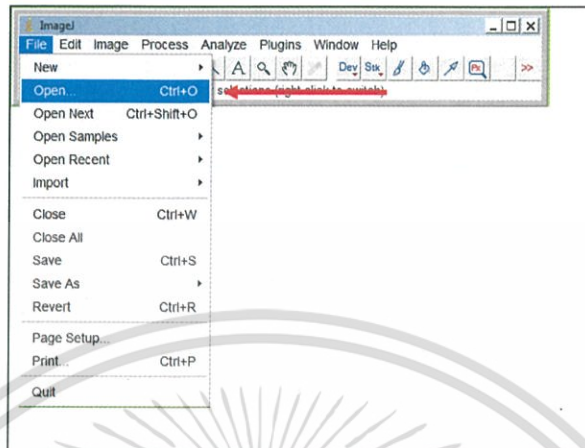


ภาพที่ 4 การใช้งานโปรแกรม Smart View (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การใช้โปรแกรมประมวลผลภาพ ImageJ

### 2.1 ทำการเปิดรูปคลิกที่ File >>> Open



ภาพที่ 5 การใช้งานโปรแกรม Image J (1)

### 2.2 คลิกขวาที่รูปภาพ จากนั้นเลือก List Commands

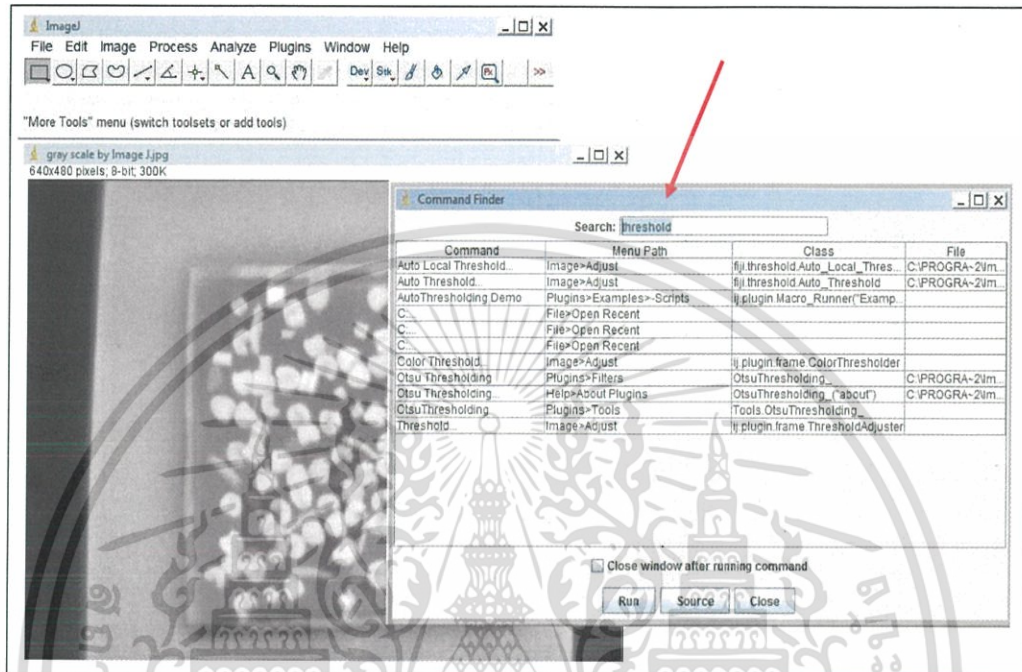


ภาพที่ 6 การใช้งานโปรแกรม Image J (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พิมพ์ชื่อคำสั่งที่ต้องการใช้ลงในช่อง search อาทิเช่น Densitometry 3 channel, Filter, Canny Edge Detector, Mexican Hat Filter, Measure RGB, IHC, Outline, Grid จากตัวอย่าง

ต้องการใช้คำสั่ง Threshold จากนั้นกด Run



ภาพที่ 7 การใช้งานโปรแกรม Image J (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

รหัสโครงการ/รหัสสัญญา 2558A11803001.....



## แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 1 รอบ 6 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2558

 แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)  แหล่งเงินรายได้

 ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืชด้วยระบบคอมพิวเตอร์  
 ประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรด

 (ภาษาอังกฤษ) Detection of foreign bodies having similar physical properties to grains using  
 computer-based thermal Infrared vision system

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัย/ผู้รับทุน/ผู้วิจัย รศ.ดร.นงนุช หนูนาคร

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2558

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558

## ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

## 1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 291,000 บาท 30 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ปี/ต/ว) 12 พฤศจิกายน 2557

งวดที่ 2 679,000 บาท 70 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ปี/ต/ว)

## 2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้สอย			
ค่าวัสดุ	970,000	291,000	679,000
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
รวม	970,000	291,000	679,000

( รศ.ดร.นงนุช หนูนาคร )

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัย/ผู้รับทุน

8 / เม.ย. / 2558

( )

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่บัญชี

/ / 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสโครงการ/รหัสสัญญา 2558A11803001.....



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2558

แล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)  แล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การตรวจค้นสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืชด้วยระบบคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพด้วยความร้อนในย่านอินฟราเรด.....

(ภาษาอังกฤษ) Detection of foreign bodies having similar physical properties to grains using computer-based thermal infrared vision system.....

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัย/ผู้รับทุน/ผู้วิจัย รศ.ดร. นววิษฎา หนูนาท.....

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557..... ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558.....

ระยะเวลาดำเนินการ..... 1 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557..... ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558.....

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 291,000 บาท 30 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ค/ว) 12 พฤศจิกายน 2557.....

งวดที่ 2 679,000 บาท 70 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ค/ว) 24 เมษายน 2558.....

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้บังคับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร สำหรับชั่วคราว			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้จ่าย			
ค่าวัสดุ	970,000	970,000	0
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: สาคูทรัพย์สิน			
รวม	970,000	970,000	0

( รศ. นววิษฎา หนูนาท )

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัย/ผู้รับทุน

..... 20 ..... ก.ย. .... 2558 .....

(.....)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่บัญชี

..... / ..... 2558 .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติคณะผู้วิจัย

### ก. หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล นางนวกัศรา หนูนาค  
Mrs.Navaphattra NUNAK
2. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
3. หน่วยงาน/  
สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เขตลาดกระบัง กทม. 10520
- โทรศัพท์ 02-329-8356-8 ต่อ 17 โทรสาร 02-329-8356-8 ต่อ 13
- E-mail navaphattra.nu@kmitl.ac.th และ navaphattra@gmail.com

### 4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ชื่อสถานศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)	2542	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร- ลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (Post-Harvest and Food Process Engineering)	2545	Asian Institute of Technology (AIT)
ปริญญาดุษฎีบัณฑิต Dr.Nat.Tech (Food Technology)	2549	University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria (BOKU)

### 5. สาขาวิชาที่ชำนาญพิเศษ

- Measurement and Instruments in Food Processing
- Heat Transfer and Thermal Processing Unit
- Hygienic Design of Food Processing Equipment
- Food Properties-Mechanical, Optical, Thermal and Textural Properties
- Osmotic Dehydration Process

### ตำรา

- นวกัศรา หนูนาค และ ทวีพล ชื่อสัตย์, 2555, การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 316 หน้า
- ยุทธพงศ์ ทัพผดุง, ธีระวัฒน์ หนูนาค, ทวีพล ชื่อสัตย์ และ นวกัศรา หนูนาค 2555, การใช้เทคโนโลยีกล้องถ่ายภาพความร้อนอย่างมืออาชีพ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 120 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. ผลงานวิชาการ

### International Journals

- Nunak N. and Schleining G. (2011). Instrumental Textural Changes in Raw White Shrimp during Iced Storage. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 20, 4, 350-360
- Pimpen Pornchaloempong Panmanas Sirisomboon and Navapattrra Nunak. 2011. Mass-Volume-Area properties of frozen Skipjack tuna. *International Journal of Food Properties* Available online: 12 Feb 2011
- N.Nunak and T.Suesut. (2010). Measuring geometric mean diameter of fruits and vegetables using light sectioning method. *Songklanakarin Journal Science Technology*
- Nunak N. and Schleining G. (2006). A rapid blade cutting method for the evaluation of osmotic dehydration of apples and potatoes. *Journal of Texture Studies*, 37, 1, 80-92
- Jarimopas B., Nunak T., and Nunak N. (2005). Electronic device for measuring volume of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 35, 25-31

### Selected Proceedings

- N. Nunak, T. Suesut, P. Khlonkratok and P. Mongkoltalang, "In line Osmotic Process Measurement of Concentration of Sugar solution", 2012 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2012), Bangkok Thailand, 21-24 November, 2012
- T. Suesut, N. Nunak, T. Nunak, A. Rotrugsa and Y.Tuppadung, "Emissivity Measurements on Material and Equipment in Electrical Distribution System", 11th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2011), KINTEX, Gyeonggi-do, Korea, 26th – 29th October 2011
- Navaphattra Nunak and Kiattisak Roonprasang, "Use of Electrical Conductivity to Monitor Gel Forming of Soft-Tofu", The 3rd AUN/SEED Net Regional Conference in Biotechnology (RC3BIO 2011), Hanoi, Vietnam, 3rd – 4th March 2011
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, "Design of an Instrument for Concentration Control of Sugar Solution during Osmotic Process", International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17<sup>th</sup> – 20<sup>th</sup> March, 2010
- Navaphattra Nunak, Teerawat Nunak and Taweepol Suesut, "Identification of Thermal Distribution in Liquid during Ohmic Heating Process by Infrared Thermography", International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17<sup>th</sup> – 20<sup>th</sup> March, 2010
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, "Evaluation of White Shrimp Freshness during Iced Storage by Computer Vision", International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17<sup>th</sup> – 20<sup>th</sup> March, 2010

- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Fish Species Sorting and Size Estimation using Laser Light Sectioning”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement, Kiryu, Japan, 17<sup>th</sup> – 20<sup>th</sup> March, 2010
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Electrical Conductivity of Bonito Tuna during Ohmic Thawing”, International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind, Nakhon Ratchasima, Thailand, 1<sup>st</sup> – 3<sup>rd</sup> April, 2009
- Navaphattra Nunak, Taweepol Suesut, and Sarayut Inthuset, “Fish Size Measurement by Computer Vision using Laser Light Sectioning”, International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind, Nakhon Ratchasima, Thailand, 1<sup>st</sup> – 3<sup>rd</sup> April, 2009
- N.NUNAK and G.SCHLEINING, “Evaluation of the water transfer in osmotically dehydrated fruit and vegetables using TA-XT2”, International Conference on Agricultural, Food and Biological Engineering & Post Harvest/ Production Technology, 21 – 24 January 2007, pp.
- Schleining, G. and Nunak, N. A rapid texture measurement method to determine the mass transfer in osmotically dehydrated plant products. In: Pedro Fito and Fidel Toldra: Intrafood 2005: Innovations in Traditional foods, 25-28 October, Valencia; Conference Proceedings, Vol 1, 261- 264; Elsevier, London; ISBN 84-9705-880-1.

## 7. ผลงานการวิจัย

### 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย

- 1) แผนงานวิจัย การวิจัยและพัฒนาระบบการแปรรูปอาหารด้วยกระบวนการออสโมติกแบบอัตโนมัติ  
แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (ทุนวิจัยมุ่งเป้า)  
ประจำปีงบประมาณ 2552

### 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

#### แหล่งทุนภายนอก

- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
- 1) โครงการวิจัย การศึกษาผลของการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์  
ทุนวิจัยมุ่งเป้า ประจำปีงบประมาณ 2554
- สำนักงานส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยีสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์
- 1) โครงการวิจัย การออกแบบและพัฒนาเครื่องขจัดน้ำออกจากไขไต้หลังกระบวนการล้าง  
ประจำปีงบประมาณ 2552

**กองทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค**

- 1) โครงการวิจัย การวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(ผู้ร่วมโครงการวิจัย)  
เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2555

**สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรม**

- 1) โครงการวิจัย การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการละลายและการนึ่งปลาทูน่าเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปลาทูน่ากระป๋อง(ผู้ร่วมโครงการวิจัย)  
เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2554
- 2) โครงการวิจัย การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมระบบการนึ่งปลาทูน่าเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปลาทูน่ากระป๋อง(ผู้ร่วมโครงการวิจัย)  
เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2552

**The European Commission: Framework of Erasmus Mundus**

ISEKI\_Mundus – Integrating Safety and Environment Knowledge in World Food Studies (ผู้ร่วมโครงการ)

ระยะเวลา 1<sup>st</sup> November 2007 – 30<sup>th</sup> September 2008

ISEKI\_Mundus 2 – Integrating Safety and Environment Knowledge in World Food Studies (ผู้ร่วมโครงการ)

ระยะเวลา 1<sup>st</sup> October 2009 – 30<sup>th</sup> September 2011

## ข. ผู้ร่วมโครงการวิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ-นามสกุล นาย ทวีพล ชื่อสัตย์  
Mr. Taweepol SUESUT
2. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
3. หน่วยงาน/  
สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เขตลาดกระบัง กทม. 10520
- โทรศัพท์ 02-329-8347-8 โทรสาร 02-329-8349
- E-mail taweepol.su@kmitl.ac.th และ taweepol.suesut@yahoo.com

## 4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ชื่อสถานศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมการวัดคุม)	2539	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ- ทหารลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	2541	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ- ทหารลาดกระบัง
ปริญญาดุษฎีบัณฑิต (Dr.Mont.- Institute for Automation)	2551	University of Leoben, Austria

## 5. สาขาวิชาที่ชำนาญพิเศษ

- การออกแบบเครื่องจักรและระบบโรงงานอัตโนมัติ
- การวัดคุมทางอุตสาหกรรม
- การวัดและทดสอบ
- ระบบตรวจสอบด้วยแมชชีนวิชั่นประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมอาหาร

## ประสบการณ์ภาคอุตสาหกรรม

- ที่ปรึกษาในการออกแบบ สร้างเครื่องตรวจสอบคุณภาพของตัวเก็บประจุกำลังในโรงงานพานาโซนิคมีสซีซี  
ตะประเทศไทย จำกัด
- ที่ปรึกษาในการออกแบบ ติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงงานเครื่องระยองพานอล
- ที่ปรึกษาในการออกแบบติดตั้งระบบแสดงผลแจ้งการทำงานในโรงงานฮอนด้าเมนูแฟคเจอร์ริงประเทศไทย

## 6. ผลงานทางวิชาการ

### ตำรา

1. ทวีพล ชื่อสัตย์ 2545, การวิจัยดำเนินงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง, 178 หน้า
2. นวกัฑรา หนูนา และ ทวีพล ชื่อสัตย์, 2555, การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร.  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 316 หน้า
3. ยุทธพงศ์ ทัพผดุง, ธีระวัฒน์ หนูนา, ทวีพล ชื่อสัตย์ และ นวกัฑรา หนูนา 2555, การใช้เทคโนโลยีกล้อง  
ถ่ายภาพความร้อนอย่างมืออาชีพ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 120 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ (International Publications)

- N.Nunak and T.Suesut, "Measuring geometric mean diameter of fruit and vegetable using computer vision", *Songklanakarin Journal Science Technology* 2010,

ผลงานวิชาการ International Proceedingย้อนหลัง 3 ปี

- T. Suesut, R. Piwatapkapol, and C. Sukkharak, "Fault Tolerant Control System Based on Ethernet", 2012 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2012), Bangkok Thailand, 21-24 November, 2012
- N. Nunak, T. Suesut, P. Khlonkratok and P. Mongkoltalang, "In line Osmotic Process Measurement of Concentration of Sugar solution", 2012 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2012), Bangkok Thailand, 21-24 November, 2012
- J. Niyompongwirat, N. Wararatkul and T. Suesut, " Temperature Monitoring System for Unbalance Phase Analysis of Induction Motor", Internation al MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2012(IMECS 2012), Hong Kong, 14-16 March, 2012
- C. Chaiyachit, S. Satthamsakul, W. Sriratana and T. Suesut, " Hall Effect Sensor for Measuring Metal Particles in Lubricant", Internation al MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2012(IMECS 2012), Hong Kong, 14-16 March, 2012
- Napat Wararatkul, Jakkrit Niyompongwirat and Taweepol Suesut, "Temperature Monitoring System for Estimating the Power losses in Induction Motor", The 4th KKU International Engineering Conference 2012(KKU-IENC 2012) "Driving together towards ASEAN Economic Community" Faculty of Engineering, Khon Kean University, Thailand, 10-12 May, 2012
- Narunat Suwannarunat, Panupon Klongratog and Taweepol Suesut "The new method of weight measurement using hall sensor", The 4th KKU International Engineering Conference 2012(KKU-IENC 2012) "Driving together towards ASEAN Economic Community" Faculty of Engineering, Khon Kean University, Thailand, 10-12 May, 2012
- T. Suesut, N. Nunak, T. Nunak, A. Rotrugsa and Y.Tuppadung, "Emissivity Measurements on Material and Equipment in Electrical Distribution System", 11th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2011), KINTEX, Gyeonggi-do, Korea, 26th – 29th October 2011
- Taweepol Suesut, Suphan Gulpanich and Kitti Tirasesth, "A Recognition System for 3D Embossed Digits on Non-smooth Metallic surface", 2011 International Conference of Telecommunication Technology and Applications, Sydney, Australia, 2-3 May, 2011
- Taweepol Suesut, Suphan Gulpanich and Kitti Tirasesth, "3D image acquisition for distributed vision network Using FPGA with Embedded Power PC", The 3rd International Conference on Machine Vision (ICMV 2010), Hong Kong, 28-29 December, 2010

- Navaphattra Nunak, Taweepol Suesut, and Sarayut Inthuset, “Fish Size Measurement by Computer Vision using Laser Light Sectioning”, International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind, Nakhon Ratchasima, Thailand, 1st – 3rd April, 2009
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Electrical Conductivity of Bonito Tuna during Ohmic Thawing”, International Conference on Innovations in Agricultural, Food and Renewable Energy Productions for Mankind, Nakhon Ratchasima, Thailand, 1st – 3rd April, 2009
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Fish Species Sorting and Size Estimation using Laser Light Sectioning”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement (CPIM 2010), Kiryu, Japan, 17th – 20th March 2010
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Design of an Instrument for Concentration Control of Sugar Solution during Osmotic Process”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement (CPIM 2010), Kiryu, Japan, 17th – 20th March 2010
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, “Evaluation of White Shrimp Freshness during Iced Storage by Computer Vision”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement (CPIM 2010), Kiryu, Japan, 17th – 20th March 2010
- Navaphattra Nunak, Teerawat Nunak and Taweepol Suesut, “Identification of Thermal Distribution in Liquid during Ohmic Heating Process by Infrared Thermography”, International Conference on Precision Instrumentation and Measurement (CPIM 2010), Kiryu, Japan, 17th – 20th March 2010
- Taweepol Suesut, “A Recognition system for stamped number on Non-smooth Metallic surface”, Asia Simulation conference 2009 (JSST2009), Ritsumeikan university, Shiga, Japan, 7-9 October, 2009
- Bernhard Moertl, Paul O’Leary, Matthew Harker and Taweepol Suesut, “Recognition of 3D Embossed Digits using Discrete Orthogonal Polynomials”, 9th International Conference on Quality Control by Artificial Vision, Wels, Austria, 27-29 May, 2009
- Navaphattra Nunak and Taweepol Suesut, 2009, “Measuring Geometric Mean Diameter of Fruits and Vegetables using Light Sectioning Method”, Songklanakarin Journal of Science and Technology, 6, 629-633

## 7. ผลงานการวิจัย

## แหล่งทุนภายนอก

## สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

- |              |   |
|--------------|---|
| โครงการวิจัย | การออกแบบเครื่องมือวัดความเข้มข้นและพัฒนาระบบควบคุมในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีออสโมติก |
|              | ประจำปีงบประมาณ 2552  |

## กองทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

- 1) โครงการวิจัย การออกแบบระบบเปลี่ยนแหล่งจ่ายสายส่งแรงสูงแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยพีแอลซีปี พ.ศ. 2555
- 2) โครงการวิจัย การวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคปี พ.ศ. 2553

## แหล่งทุนภายใน

## กองทุนวิจัย สจล.

- 1) โครงการวิจัย การวัดขนาดและคัดเลือกชนิดของปลาโดยใช้ลำแสงเลเซอร์ตัดผ่านแบบอัตโนมัติ ประจำปี พ.ศ. 2554 ระยะเวลาการรับทุน 2 ปี เสร็จสิ้นไปแล้ว 90% (หัวหน้าโครงการวิจัย)

## ข. ผู้ร่วมโครงการวิจัยคนที่ 2

1. ชื่อ-นามสกุล	นายเอกสิทธิ์ ศรีธรรม Mr.Eakasit SRITHAM	
2. ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์	
3. หน่วยงาน/ สถานที่ติดต่อ	สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กทม. 10520	
โทรศัพท์	02-329-8356-8	โทรสาร 02-329-8356-8 ต่อ 13
E-mail	kseakasi@kmitl.ac.th	

## 4. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ชื่อสถานศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)	2542	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร- ลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (Post-Harvest and Food Process Engineering)	2545	Asian Institute of Technology (AIT)
ปริญญาดุษฎีบัณฑิต (Biological Systems Engineering)	2556	University of Wisconsin-Madison

## 5. สาขาวิชาที่ชำนาญพิเศษ

- การออกแบบเครื่องจักรกลแปรรูปอาหาร
- เทคโนโลยีการอบแห้งอาหาร
- สมบัติทางด้านการไหลของอาหารเหลว

## 6. ผลงานวิชาการ

### International Journals

- Jindal, V.K. and Sritham, E., 2003, "Detecting eggshell cracks by acoustic impulse response and artificial neural networks", Paper number 036170, 2003 ASAE Annual Meeting.
- Sritham, E., Sundaram, G., and Roderic S.L., 2009, "Broadband Viscoelastic Spectroscopy: A New Technique for Characterizing Rheological Behavior of Solid Foods," International Journal of Food Properties 12 (1), pp. 102 – 113.
- Hailin, L., Sritham, E., Seokwon, L., Yingde C., Sundaram G., 2009, "Synthesis and characterization of pH-and salt-sensitive hydrogel based on chemically modified poultry feather protein isolate", Journal of Applied Polymer Science, 116, pp. 602–609.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. ผลงานการวิจัย

### 7.1 งานวิจัยที่เสร็จแล้ว

- 1) เครื่องอบแห้งทรงกระบอกหมุนพลังงานแสงอาทิตย์ แหล่งทุน งบประมาณเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2548 และปีที่แล้วเสร็จ 2548

#### อ.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม (หัวหน้าโครงการ)

- 2) การออกแบบและพัฒนาเครื่องอบกรอบงาโดยใช้เทคนิคสเปาท์เด็คเบต แหล่งทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่าย 5 ปี 2548 และปีที่แล้วเสร็จ 2548

#### อ.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม (หัวหน้าโครงการ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้