



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและพัฒนาระบบจักรกลวิทัศน์ภาพถ่ายความร้อนสำหรับตรวจจับสิ่ง  
แปลกปลอมในเมล็ดพืชแบบอัตโนมัติ

Design and Development of Thermal Imaging Machine Vision System  
for Automatic Foreign Bodies Detection in Grains

นายทวีพล ชื้อสัตย์

นางนวกัศรา หนูนาค

นายเอกสิทธิ์ ศรีธรรม

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและพัฒนาระบบจักรกลวิทัศน์ภาพถ่ายความร้อนสำหรับตรวจจับสิ่ง  
แปลกปลอมในเมล็ดพืชแบบอัตโนมัติ

Design and Development of Thermal Imaging Machine Vision System  
for Automatic Foreign Bodies Detection in Grains

นายทวีพล ชื้อสัตย์  
นางนวกัศรา หนูนาค  
นายเอกสิทธิ์ ศรีธรรม

600270478  
R00070

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ การออกแบบและพัฒนาระบบจักรกลวิทัศน์ภาพถ่ายความร้อนสำหรับตรวจจับสิ่ง  
แปลกปลอมในเมล็ดพืชแบบอัตโนมัติ

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 980,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

รายนามคณะผู้วิจัย

- 1) รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ (หัวหน้าโครงการวิจัย)  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 2) รองศาสตราจารย์ ดร.นวกัศรา หนูนา (ผู้ร่วมงานวิจัย)  
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 3) ดร.เอกสิทธิ์ ศรีธรรม (ผู้ร่วมงานวิจัย)  
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบจักรกลวิทัศน์ภาพถ่ายความร้อนสำหรับตรวจจับสิ่ง  
แปลกปลอมในเมล็ดพืชแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าว เมล็ดกาแฟ  
ด้วยการประมวลผลภาพความร้อน โดยชนิดของสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าวได้แก่ หิน เศษไม้ และ  
พลาสติก ในการนำภาพถ่ายความร้อนมาประมวลผลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การประมวลผลภาพ 2 มิติที่  
สามารถระบุสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลพื้นที่และเส้นทแยงมุมของวัตถุที่แตกต่างจากข้าว และการ  
ประมวลผลภาพความร้อนที่สามารถระบุสิ่งแปลกปลอมโดยใช้การประมวลผลของสีที่แตกต่างจากภาพถ่าย  
ความร้อนหลังจากที่วัตถุถูกกระตุ้นความร้อน เนื่องจากวัตถุต่างชนิดกัน จะมีคุณสมบัติเชิงความร้อน  
แตกต่างกัน เมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อนรังสีความร้อนที่แผ่ไปยังกล้องถ่ายภาพความร้อนของวัตถุต่างชนิดกัน  
จะแตกต่างกัน จึงทำให้เห็นสีของภาพถ่ายความร้อนหลังการกระตุ้นความร้อนต่างกัน และเมื่อนำไป  
ทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับแบบเวลาจริงพบว่า ระบบสามารถตรวจสอบได้ถูกต้อง โดย  
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการตรวจจับหิน เศษไม้ และพลาสติกมีค่าดังนี้ 14.87% 6.24% และ  
13.81% ตามลำดับ

คำสำคัญ : ภาพถ่ายความร้อน การประมวลผลภาพแบบเวลาจริง แอ็กทีฟเทอร์โมกราฟี

**Research Title:** Design and Development of Thermal Imaging Machine Vision System for Automatic Foreign Bodies Detection in Grains

**Researcher:** 1) Assoc. Prof. Dr.Taweepol Suesut

Faculty of Engineering, Department of Instrumentation and Control  
Engineering

2) Assoc. Prof. Dr.Navaphattra Nunak

Faculty of Engineering, Department of Food Engineering

3) Dr.Eakasit Sritham

Faculty of Engineering, Department of Food Engineering

### ABSTRACT

This research presents the design and development of thermal imaging machine vision system for automatic foreign bodies detection in grains by detecting foreign matter in the rice and roasted coffee as cases study. The type of foreign matter is mixed in the stone, wood chips and plastic. For the thermal processing is divided into two parts: 2D image processing that can identify foreign objects by processing the area and the diagonal of the object; thermal imaging processing can identify foreign matter by using different color processing of thermal images after the object is heated. Different objects having different thermal properties; therefore, the radiant heat dissipated to the thermal imager of different objects is also different. The testing of the operation in real-time system can be validated. The percentage of errors from wood and plastic chips were 14.87%, 6.24%, and 13.81%, respectively.

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

## กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยโครงการ “การออกแบบและพัฒนาระบบจักรกลวิทัศน์ภาพถ่ายความร้อนสำหรับตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชแบบอัตโนมัติ (Design and Development of Thermal Imaging Machine Vision System for Automatic Foreign Bodies Detection in Grains)” ภายใต้แผนงานวิจัย “การวิจัยและพัฒนา ระบบตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืช (Research and Development of Detecting System for Foreign Bodies Having Similar Physical Properties to Grains)” ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร และภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมสำหรับการอำนวยความสะดวกให้การ สนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องมือวิจัย และสถานที่สำหรับการดำเนินงานวิจัยโดยการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุน การวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558



ทวีพล ชื้อสตัย  
นวกัทราน หนูนาค  
เอกสิทธิ์ ศรีธรรม

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญภาพ.....	VI
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 การถ่ายเทความร้อน.....	11
2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	16
3.1 ชุดอุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง.....	16
3.2 การหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม.....	23
3.2 การทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอม.....	24
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	28
4.1 เวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม.....	28
4.2 ผลการทดสอบการทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอม.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....	41
บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง.....	42
ภาคผนวก.....	43
ประวัตินักวิจัย.....	45

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช.....	10
2.2 ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช.....	10
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของชั้นทดสอบและเวลาคายความร้อน.....	28
4.2 แสดงผลการทดลอง ข้าว-เศษไม้.....	36
4.3 แสดงผลการทดลอง ข้าว-ก้อนหิน.....	36
4.4 แสดงผลการทดลอง ข้าว-เศษกระดาษ.....	37
4.5 แสดงผลการทดลอง ข้าว-พลาสติก.....	37



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน.....	6
2.2 (ก) เครื่องคัดแยกถั่วเหลือง (ข) ถั่วเหลืองและสิ่งแปลกปลอมในถังเก็บเมล็ด.....	6
2.3 (ก) หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสี (ข) เมล็ดพืชที่ยังไม่ถูกแยกและเมล็ดพืชถูกแยกแล้ว.....	8
2.4 (ก) การให้ความร้อนกับพื้นผิวไม้ (ข) บริเวณที่เป็นโพรงจะสะสมความร้อนได้นานกว่า.....	9
2.5 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง.....	11
2.6 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ.....	12
2.7 (ก) การถ่ายภาพเมล็ดพืชด้วยกลุ่มควบคุมแสง (ข) การประมวลผลภาพจากโปรแกรม.....	14
2.9 การกระจายความร้อนของการบรรจุแบบสุญญากาศ (ก) บรรจุแบบไม่มีพื้นที่ว่างเต็มถุง 100% (ข) บรรจุแบบมีพื้นที่ว่างโดยมีพื้นที่บรรจุประมาณ 85% (ค) หลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุ.....	15
2.10 ภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม (ก) เศษไม้กับลูกเกด (ข) เศษกระดาศ และ (ค) เศษ หินกับเมล็ดอัลมอลด์.....	15
3.1 ระบบการทดลองการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในข้าว.....	16
3.2 สายพานลำเลียง.....	17
3.3 ที่ 3.3 มอเตอร์ รุ่น GLM-18.....	18
3.4 พีแอลซี (PLC) Omron รุ่น C200HX.....	18
3.5 เซนเซอร์แสง รุ่น E3X-DA11.....	19
3.6 หลอดไฟ halogen 50-60 Hz.....	19
3.7 อินเวอร์เตอร์ รุ่น 3G3IV-A2004-V2.....	20

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันรัฐบาลได้เล็งเห็นความสำคัญของสินค้าเกษตรและการสร้างเข้มแข็งของภาคอุตสาหกรรม เกษตรและอาหาร จึงมีนโยบายให้การสนับสนุนการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจ เพื่อยกระดับเข้าสู่ อุตสาหกรรมที่ใช้ปัญญา ใช้เทคโนโลยี และใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมเพื่อสร้าง ความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมและนารายได้เข้าประเทศ ซึ่งเมล็ดพืชและผลิตภัณฑ์จากเมล็ดพืชเป็น สินค้าเกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ตัวอย่างเมล็ดพืชที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง และถั่วชนิดอื่น ๆ โดยในปี พ.ศ. 2555 มีปริมาณการส่งออกประมาณ 45 ล้านตัน มูลค่ากว่า 250,000 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 20 ของรายได้จากผลิตผลทางการเกษตรที่ส่งออกทั้งหมด นอกจากนี้ ผลิตผลปริมาณมหาศาลที่ผลิตได้ยังนำมาใช้ตามความต้องการภายในประเทศเพื่อการบริโภค ทำเป็นเมล็ด พันธุ์ ผลิตอาหารสัตว์ และส่งเข้าสู่อุตสาหกรรมแปรรูป เช่น การสกัดน้ำมันจากเมล็ดถั่วเหลือง เป็นต้น (กรมศุลกากร, 2555; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ซึ่งการนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีสารสนเทศ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและศักยภาพการผลิต เพิ่มมูลค่าผลผลิต ทางการเกษตร และช่วยสร้างความมั่นคงในอาชีพและรายได้ให้แก่เกษตรกร สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การ พัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) ด้านความ เข้มแข็งภาคเกษตร นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาทางเศรษฐกิจ กลยุทธ์การวิจัยที่ 3 พัฒนาประสิทธิภาพการผลิตทางอุตสาหกรรมให้เอื้อต่อการดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืน แผนการวิจัยที่ 3.4 การวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะและพัฒนาศักยภาพด้านอุตสาหกรรมเกษตรของ ประเทศ และสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติรายประเด็นด้านเทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่ สำคัญเพื่ออุตสาหกรรมของประเทศ

ระบบการควบคุมอัตโนมัติได้ถูกนำมาใช้เพื่อทดแทนแรงงานคนในอุตสาหกรรมหลากหลาย ประเภทรวมทั้งอุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร โดยส่วนมากมักนำมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต เนื่องจากปัจจุบันปริมาณความต้องการในการบริโภคเพิ่มสูงขึ้นทั้งในและต่างประเทศ ทำให้กระบวนการ ผลิตต้องปรับตัวให้สามารถผลิตได้ปริมาณมากขึ้นในระยะเวลาอันสั้น อย่างไรก็ตามในห่วงโซ่การผลิตไม่ได้ มีเพียงกระบวนการผลิตเท่านั้น ยังรวมไปถึงกระบวนการตรวจสอบคุณภาพอีกด้วย ซึ่งจะทำให้สินค้าที่ผลิต ได้มีความน่าเชื่อถือและเพิ่มมูลค่าในตัวสินค้าได้ การตรวจสอบคุณภาพแบบอัตโนมัติจำเป็นต้องใช้ เครื่องมือที่ทันสมัยและเทคโนโลยีขั้นสูง เช่น ระบบจักรกลวิทัศน์ ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับระบบควบคุมได้ อย่างถูกต้องแม่นยำและรวดเร็ว ทดแทนการตรวจสอบด้วยสายตามนุษย์ได้เป็นอย่างดี

การพิจารณาคุณภาพของเมล็ดพืชโดยส่วนใหญ่พิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพเป็นหลัก เช่น สี ขนาด รูปร่าง เป็นต้น ซึ่งสามารถตรวจสอบด้วยสายตาได้ โดยคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพืชที่ดีต้องมีสี ขนาด และรูปร่างอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้คุณภาพของเมล็ดพืชยังพิจารณาถึงปริมาณสิ่ง แปรปลอมที่ปนอยู่กับเมล็ดพืชด้วย โดยสิ่งแปรปลอม เช่น เศษหิน เศษไม้ เศษพลาสติก อาจปนมากับ เมล็ดพืชในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว หรือในขั้นตอนการลดความชื้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดความชื้นด้วยวิธี ผึ่งแดด หรือในขั้นตอนการนวด เป็นต้น ซึ่งถ้าสิ่งแปรปลอมเหล่านี้มีขนาดใกล้เคียงกับเมล็ดพืชจะไม่

สามารถคัดแยกโดยใช้ตะแกรงร่อนตามปกติได้ เช่น การคัดแยกหินกับถั่วเหลืองเพื่อส่งขายในอุตสาหกรรม การผลิตน้ำมัน หากถั่วเหลืองมีสิ่งแปลกปลอมเกินกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถนำไปขายได้ ต้องขายเป็นถั่วเหลืองเกรดต่ำราคาถูก (กรมการค้าภายใน, 2546) สำหรับเมล็ดพืชที่ส่งขายในรูปแบบการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ เมล็ดพืชต้องผ่านขั้นตอนการคัดแยกขนาดและคุณภาพ ขั้นตอนการอบเพื่อลดความชื้น ซึ่งในระหว่างกระบวนการดังกล่าวอาจมีสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษโลหะจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ และเศษพลาสติกที่มากับถุงบรรจุภัณฑ์ ปนมากับเมล็ดพืชทำให้สูญเสียคุณภาพที่ควรเป็น และปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น ประกอบกับผู้ประกอบการต้องการเพิ่มคุณภาพและศักยภาพการผลิต ทำให้ผู้ประกอบการหันมาใส่ใจกับขั้นตอนการตรวจสอบและการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชมากยิ่งขึ้น

วิธีการตรวจสอบและคัดแยกเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้แรงงานคน การใช้วิธีทางกล การใช้วิธีเชิงแสง เป็นต้น โดยการใช้แรงงานคนเป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมได้ในขั้นตอนเดียวกัน เหมาะสำหรับเมล็ดพืชที่มีขนาดใหญ่ เช่น การแยกเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และเมล็ดอัลมอลด์ (ธริชตรี และ เรืองชัย, 2531; Ledbetter, 2007) แต่วิธีนี้ต้องคำนึงถึงอายุของคนคัดแยก สภาพแวดล้อมในพื้นที่ปฏิบัติงาน และระยะเวลาในการทำงานอย่างต่อเนื่อง (วินิต และ คณะ, 2545) สำหรับการใช่วิธีทางกลต้องเริ่มจากการคัดเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสม เช่น ชนิดของตะแกรงร่อน ขนาดของตะแกรงร่อน เป็นต้น วิธีทางกลมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้ลมเป่าสิ่งแปลกปลอมที่มีน้ำหนักเบาออก การใช้ตะแกรงร่อน และการใช้สมบัติความถ่วงจำเพาะ ซึ่งวิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชที่มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับสิ่งแปลกปลอมได้ เช่น การแยกดินและหินที่มีขนาดใกล้เคียงกับถั่วเหลือง (ณัฐวุฒิ และ ทวีชัย, 2551; ถนอมขวัญ และ คณะ, 2546)

สำหรับการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยวิธีการประมวลผลภาพ (Image processing) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ (Mollazade et al., 2012) ปัจจุบันนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องคัดแยกสี (Color sorter) โดยเครื่องคัดแยกประเภทนี้ทำงานโดยใช้หลักการประมวลผลภาพสี (Color image) ซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านที่ตามนุษย์มองเห็น (Visible region) แล้วส่งผลที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ให้ยิงลมใส่สิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมประมวลผลได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดในการตรวจสอบ คือ หากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีสีที่ใกล้เคียงกันจะทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกลดลง (Bayram and Oner, 2006) เช่น การคัดแยกข้าวเจ้ากับข้าวเหนียว จึงได้มีนักวิจัยบางกลุ่มเสนอการนำภาพถ่ายทางความร้อน (Thermal Image) ซึ่งได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด (Infrared region) มาใช้สำหรับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมเพื่อลดข้อจำกัดการทำงานของเครื่องคัดแยกสีดังกล่าว ซึ่งภาพถ่ายทางความร้อนตรวจสอบโดยอาศัยความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม เช่น หิน ทราย แข็ง เศษโลหะ และเศษไม้ กับเมล็ดพืช เช่น เมล็ดอัลมอลด์ ลูกเกด และถั่ว (Ginesu et al., 2004) แต่ประสิทธิภาพการคัดแยกด้วยวิธีนี้จะลดลงหากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีสมบัติทางความร้อนที่ใกล้เคียงกัน สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการนี้ยังดำเนินการในระดับงานวิจัยและยังไม่มีพัฒนาโปรแกรมเฉพาะสำหรับงานดังกล่าว

จากโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ 2555 นวภัทรา และ ทวีพล ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับวัตถุแปลกปลอมในอาหารด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน ซึ่งจัดเป็นวิธีการตรวจสอบขนาดแบบไม่ทำลาย (non-destructive test) ผลการวิจัยพบว่าสามารถหาวิธีแยกสิ่งแปลกปลอมที่มีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายกันได้ จากความสำคัญและความ

จำเป็นข้างต้น สามารถกล่าวได้ว่าการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยพัฒนาระบบการตรวจจับอย่างอัตโนมัติ เป็นประโยชน์โดยรวมกับประเทศ เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตได้ สามารถทำงานได้ผลลัพธ์แม่นยำ ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาานาน แก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการตรวจจับสิ่ง แปรกลปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืชโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนแบบ เวลาจริงและพัฒนาความสามารถในการตรวจจับสิ่งแปรกลปลอมด้วยชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นให้ทำงานได้ อย่างอัตโนมัติบนสายพานการผลิต โดยวิธีการตรวจสอบสิ่งแปรกลปลอมที่พัฒนาขึ้นนี้ จะช่วยเพิ่มศักยภาพ การตรวจจับสิ่งแปรกลปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพ เช่น สี และ รูปร่างคล้ายกับเมล็ดพืชได้ งานวิจัยนี้ นอกจากจะสามารถตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติได้แล้วยังสามารถพัฒนาสู่การใช้งานในระดับ อุตสาหกรรมได้ ส่งผลให้ประเทศไทยสามารถแข่งขันในระดับนานาชาติได้ รวมถึงการสร้างความเข้มแข็ง ทางรายได้ให้แก่เกษตรกรไทยอย่างยั่งยืน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจจับสิ่งแปรกลปลอมในเมล็ดพืชโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่าย ความร้อนแบบเวลาจริงบนสายพานการผลิต

1.2.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องมือที่ทำงานโดยอัตโนมัติสำหรับตรวจสอบสิ่งแปรกลปลอมที่มี สมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืช

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและพัฒนาวิธีการตรวจสอบสิ่งแปรกลปลอมที่ปนกับเมล็ดพืชด้วยเทคนิคการ ประมวลผลภาพถ่ายความร้อนแบบเวลาจริงจากกล้องถ่ายภาพความร้อนจักรกลวิทัศน์ โดยเมล็ดพืชที่ใช้ เป็นวัสดุทดสอบ ได้แก่ ข้าวสาร ข้าวกล้อง ข้าวโพด ถั่วลิสง ถั่วแดง และถั่วเหลือง และสิ่งแปรกลปลอมที่ใช้ เป็นวัสดุทดสอบ ได้แก่ เศษหิน เศษไม้ เศษโลหะ และเศษพลาสติก

1.3.2 พัฒนาศักยภาพในการตรวจจับสิ่งแปรกลปลอมด้วยโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่าย ความร้อนให้มีความถูกต้อง และรวดเร็วเพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาวิธีการตรวจจับสิ่งแปรกลปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี

1.4.2 ออกแบบและสร้างชุดสายพานลำเลียง และกลไกในการเคลื่อนเมล็ดให้เรียงตัวก่อนการตรวจจับ ระบบควบคุมมอเตอร์และชุดกำเนิดความร้อน

1.4.3 ออกแบบพัฒนาชุดรับภาพรังสีอินฟราเรดแบบเวลาจริง (real-time) การปรับแต่ง ค่าพารามิเตอร์ และความเร็วในการจับภาพสำหรับการตรวจจับสิ่งแปรกลปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วย เทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี

1.4.4 พัฒนาโปรแกรมการคัดแยกจำนวนสิ่งแปรกลปลอมออกจากเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายทางความ ร้อนด้วยซอฟต์แวร์บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ สำหรับประมวลผลภาพถ่ายความร้อนแบบเวลาจริงจากกล้อง Thermal imaging machine vision camera

1.4.5 นำค่าสมบัติทางความร้อนของสิ่งแปรกลปลอม และเมล็ดพืชจากผลการทดลองใน โครงการวิจัยที่ 1 มาปรับใช้กับซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น

1.4.6 พัฒนาโปรแกรมสำหรับการตรวจจับสิ่งแปรกลปลอมที่ปนอยู่กับเมล็ดพืชบนสายพานลำเลียง

1.4.7 ทดสอบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืชชนิดต่าง ๆ ด้วยชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพความร้อนและโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบนชุดสายพานลำเลียง

1.4.8 ปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบตรวจจับสิ่งแปลกปลอมทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

1.4.9 วิเคราะห์ผลการทดสอบและประเมินผลที่ได้

1.4.10 สรุปผลการทดสอบ เขียนบทความและเขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 วิธีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในย่านอินฟราเรดแบบเวลาจริง

1.5.2 วิธีตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายเมล็ดพืช

1.5.3 องค์ความรู้ทางด้านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภาพถ่ายความร้อนขั้นสูงสำหรับการแก้ปัญหาภาคอุตสาหกรรม และ เทคนิคการวัดแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัตถุ



## บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2 1. เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

เมล็ดพืชโดยทั่วไป หมายถึง เมล็ดพืชที่ใช้ประโยชน์ในการบริโภค หรือเป็นวัตถุดิบในการอุตสาหกรรมไม่ได้ใช้ทำพันธุ์ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเมล็ดธัญพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด กลุ่มเมล็ดถั่ว เช่น ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ถั่วแดง ถั่วเขียว กลุ่มเมล็ดเปลือกแข็ง เช่น เม็ดมะม่วงหิมพานต์ เกาลัด และอัลมอนด์ และกลุ่มเมล็ดเปลือกนิ่ม เช่น เมล็ดแตงโต เมล็ดฟักทอง และเมล็ดทานตะวัน

สำหรับเมล็ดพืชที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วลิสง โดยทั่วไปการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชหลังจากการลดความชื้นและนวดแล้ว จำเป็นต้องตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่มักปนมาในขั้นตอนดังกล่าว เช่น เศษฟาง เศษดิน หิน กรวด ทราย เป็นต้น เพื่อให้ได้เมล็ดพืชที่มีความสะอาด ดังนั้น ขั้นตอนการตรวจสอบและคัดแยกจึงเป็นสิ่งจำเป็น และมีความสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ เนื่องจากในระบบการซื้อขายพิจารณาราคาของเมล็ดพืชจากปัจจัยสองประการคือ ความชื้น และปริมาณสิ่งแปลกปลอม ถ้าเมล็ดพืชมีปริมาณสิ่งแปลกปลอมและความชื้นสูงเกินกว่าที่กำหนด จะส่งผลให้ระยะเวลาในการเก็บรักษาและราคาของเมล็ดพืชต่ำลง โดยความชื้นปลอดภัยในการเก็บรักษาเมล็ดพืช คือ 15% (สุนีย์, 2555) นอกจากนี้เมล็ดพืชที่ส่งขายในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ ต้องผ่านขั้นตอนการคัดแยกขนาดและคุณภาพ ซึ่งในระหว่างกระบวนการดังกล่าวอาจมีสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษโลหะจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ และเศษพลาสติกที่มากับถุงบรรจุภัณฑ์ ปนมากับเมล็ดพืชทำให้เมล็ดพืชที่ส่งออกสูญเสียคุณภาพที่ควรเป็น

### 2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอม

การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชเป็นขั้นตอนสำคัญต่อการแบ่งเกรดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแบ่งเกรดผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อการส่งออก วิธีการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้แรงงานคน การใช้วิธีทางกล การใช้วิธีการประมวลผลภาพ เป็นต้น

#### 2.2.1 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน

การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการใช้แรงงานคนแสดงดังภาพที่ 1 เป็นวิธีการตรวจสอบแบบดั้งเดิมและเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการคัดแยก โดยส่วนใหญ่เป็นการตรวจสอบและคัดแยกในขั้นตอนเดียว เหมาะสำหรับเมล็ดพืชที่มีขนาดใหญ่ เช่น การแยกเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์และเมล็ดอัลมอลด์ (ธริชตรี และ เรืองชัย, 2531; Ledbetter, 2007) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมลดลง ได้แก่ เพศ อายุ ระยะเวลาในการทำงาน สภาพแวดล้อมในการทำงาน และความเหนื่อยล้าของคนที่คัดแยกจากการทำงาน (Ginesu et al., 2003)

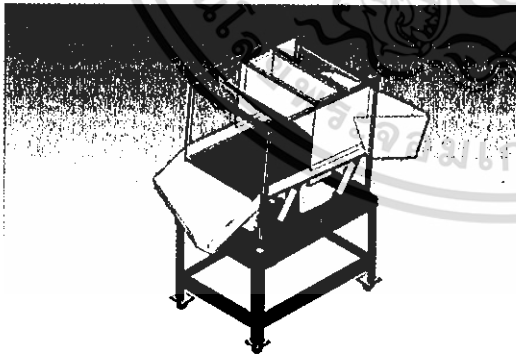


ภาพที่ 2.1 การคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน  
ที่มา: ธีรชตรี และเรืองชัย, 2531

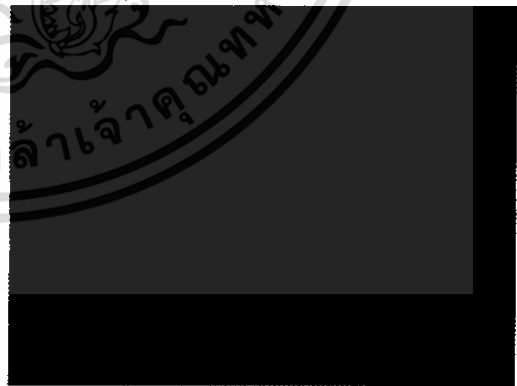
### 2.2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการใช้วิธีทางกล

การตรวจสอบและคัดแยกด้วยวิธีทางกลมีหลายวิธี ได้แก่

- การใช้ลมเป่าสิ่งแปลกปลอมที่มีน้ำหนักเบาออกจากเมล็ดพืช เช่น เศษซากพืช เศษไม้ เมล็ดลีบหรือเมล็ดแตก ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอม มีต้นทุนต่ำ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เหมาะกับการคัดแยกเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่มีน้ำหนักเท่ากัน
- การใช้ตะแกรงร่อน โดยต้องเลือกขนาดของตะแกรงร่อนให้มีขนาดใกล้เคียงกับเมล็ดพืชที่ต้องการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก จากนั้นเขย่าตะแกรงโดยที่เมล็ดพืชจะค้างอยู่บนตะแกรงและสิ่งแปลกปลอมจะรอดผ่านรูตะแกรงออกไป เช่น การคัดแยกถั่วลิสงกับเศษหินและดิน (ธวัชชัย และชัยยันต์, 2549; ชัยยันต์, 2555) การคัดแยกสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ กรวด หิน ดิน ทราย เปลือก กิ่ง ก้าน และเมล็ดพืชอื่น ๆ ออกจากเมล็ดถั่วเหลืองโดยอาศัยความถ่วงจำเพาะ (ภาพที่ 2) (ณัฐวุฒิ และทวีชัย, 2551) และการคัดแยกเศษหินออกจากถั่วเหลืองอาศัยหลักการสันสะเทือน (ถนอมขวัญ และคณะ, 2546) และการคัดแยกเปลือกข้าวออกจากเมล็ดข้าวกล้อง (สมชัย, 2548)



(ก)



(ข)

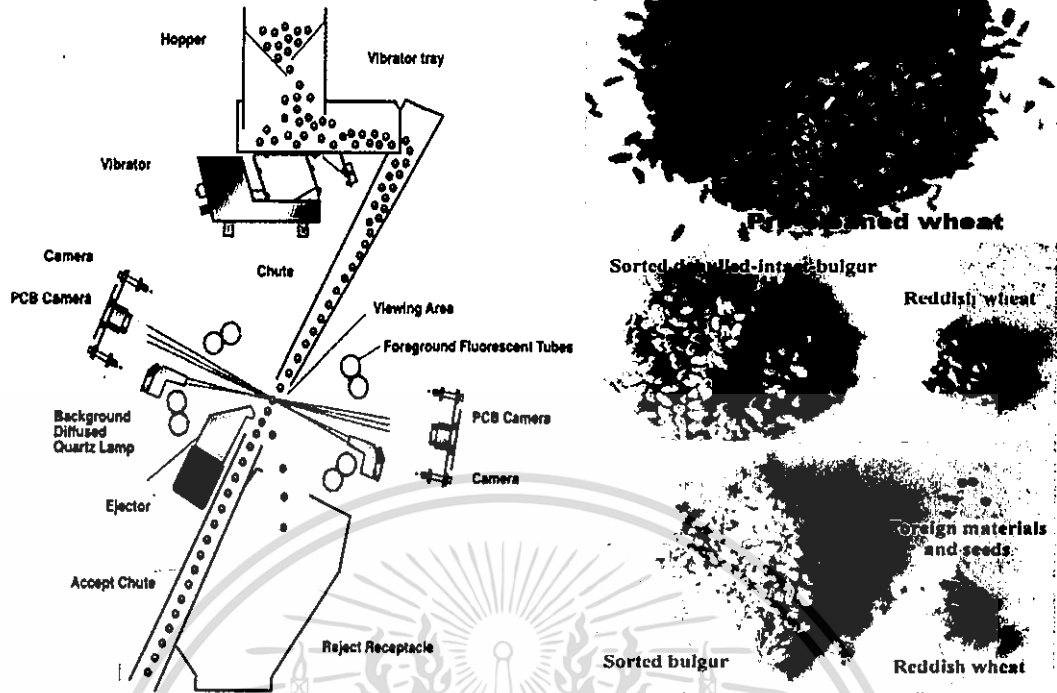
ภาพที่ 2.2 (ก) เครื่องคัดแยกถั่วเหลือง (ข) ถั่วเหลืองและสิ่งแปลกปลอมในถังเก็บเมล็ด  
ที่มา: ถนอมขวัญ และคณะ, 2546

- การใช้สมบัติทางด้านแม่เหล็ก เป็นการตรวจสอบโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางไฟฟ้าของวัตถุ นิยมใช้ตรวจสอบเศษโลหะที่อาจปนมากับอาหาร ซึ่งข้อจำกัดของเครื่องตรวจจับ

- โลหะคือ ถ้าวัตถุที่ใช้ตรวจจับมีสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแม่เหล็กคล้ายคลึงกัน จะทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกเศษโลหะลดลง ส่วนใหญ่จะใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการสุดท้ายก่อนออกสู่ตลาด (พงษ์เทพ และคณะ, 2545) สำหรับกระบวนการคัดแยกด้วยวิธีเชิงกลนั้นส่วนใหญ่ไม่สามารถแยกเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกันได้ เช่น มีขนาดเท่ากัน มีน้ำหนักเท่ากัน หรือมีปริมาตรเท่ากันได้ ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะมีการลงทุนต่ำ และประหยัดพลังงานมาก แต่ยังไม่สามารถคัดแยกสิ่งแปลกปลอมได้ทั้งหมด

### 2.2.3 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยจักรกลวิทัศน์

จักรกลวิทัศน์ประกอบด้วยกระบวนการรับภาพ การวิเคราะห์ภาพ และทำความเข้าใจภาพ ทำงานเลียนแบบการมองเห็นและรับรู้ของมนุษย์ ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ จักรกลวิทัศน์ มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์จนเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ในงานตรวจสอบและคัดแยกผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ สามารถลดแรงงาน และประหยัดเวลาในการทำงานได้ ประโยชน์อีกทางหนึ่ง คือ เป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย โดยทั่วไปการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมสำหรับเมล็ดพืช เช่น ข้าว จะใช้การประมวลผลด้วยภาพสี (Color Image) อาศัยคุณสมบัติของสีแต่ละสีที่แตกต่างกันของแต่ละวัตถุ โดยสีที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านที่ตามนุษย์มองเห็น ประกอบไปด้วยสีจำนวน 7 สี ได้แก่ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแดง ซึ่งสีต่างๆ เหล่านี้จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 380-760 นาโนเมตร การตรวจสอบด้วยวิธีนี้นำมาใช้ทดแทนการตรวจสอบด้วยสายตาของคนที่มีข้อจำกัดในการแบ่งแยกสีที่มีความหลากหลาย (จันทร์เพ็ญ, 2551) ซึ่งเป็นวิธีที่นำไปใช้ในเครื่องคัดแยกสี (Color Sorter) เครื่องนี้ใช้สำหรับตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอม เช่น กรวด หิน ดิน ทราย เปลือก กิ่ง ก้าน และเมล็ดพืชอื่นๆ โดยอาศัยการแตกต่างของสีที่ต่างกัน หลักการทำงานของเครื่องคัดแยกสี คือ เมื่อผลิตผลผ่านเข้าไปในพื้นที่ตรวจสอบแสง (Photo detector) และทำการตรวจสอบด้วยระบบกล้อง CCD (Charge Coupled Device) ทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์ที่ทำงานโดยการตรวจสอบแต่ละพิกเซล และทำหน้าที่รับแสงและเปลี่ยนค่าแสงเป็นสัญญาณอนาล็อกส่งเข้าสู่วงจร เปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลอีกที จากนั้นโปรแกรมจะตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพเพื่อตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสีของวัสดุที่ตรวจสอบ ถ้าโปรแกรมตรวจพบสีที่ปฏิเสธจะส่งสัญญาณไปที่ตัวควบคุมเครื่องอัตโนมัติ และยิงวัสดุออกแสดงดังภาพที่ 2.3 (ก) และ 2.3 (ข) วิธีนี้จะช่วยเพิ่มคุณภาพก่อนจัดเก็บเมล็ดพืช นอกจากนี้เครื่องคัดแยกสียังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นๆ เช่น พริก กระเทียม เมล็ดกาแฟ เป็นต้น อย่างไรก็ตามกระบวนการตรวจสอบและคัดแยกด้วยความแตกต่างของสีนี้สามารถคัดแยกสิ่งแปลกปลอมได้รวดเร็ว แต่อาจไม่สามารถแยกสิ่งแปลกปลอมที่มีสีใกล้เคียงกันได้



ภาพที่ 2.3

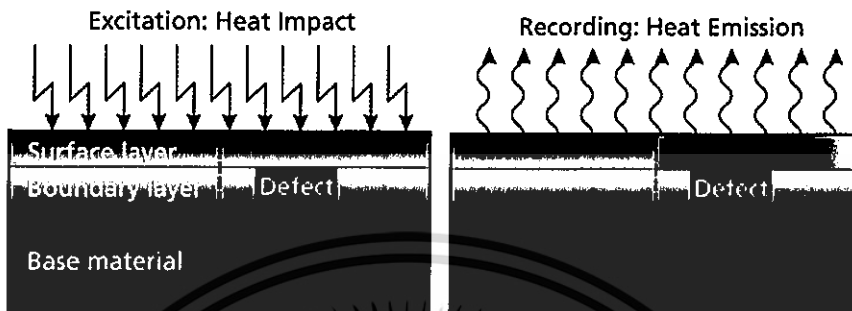
ที่มา: Bayram and Oner, 2006

#### 2.2.4 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน

ภาพถ่ายความร้อน (Infrared thermography) ได้จากกล้องที่สามารถถ่ายภาพของการแผ่ความร้อนจากอินฟราเรด สามารถใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิแบบไม่สัมผัสวัตถุ โดยทั่วไปเราพบว่าเครื่องมือเครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์หลายชนิดมักจะเกิดความร้อนขึ้นผิดปกติก่อนที่จะเกิดความเสียหาย ดังนั้นจึงทำให้ Infrared Thermography มีบทบาทอย่างมากในการประยุกต์ใช้งานเพื่อการวัดและทดสอบในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การตรวจสอบสถานะในอุตสาหกรรม การแพทย์ การทดลอง และอื่นๆ

การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อการวัดและการทดสอบแบ่งออกเป็น ประเภท 2 คือ Passive thermography และ Active thermography ซึ่งงานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิค Active thermography เป็นวิธีที่ได้เลือกนำมาทดสอบ วิธีการประยุกต์ในการใช้ระบบนี้โดยทั่วไปแล้วจะต้องมีแหล่งกระตุ้นความร้อนจากภายนอก (Heat Source) มาเป็นแหล่งให้ความร้อนกับวัตถุที่จะทำการตรวจสอบ ซึ่งตัวอย่างที่จะนิยมใช้เป็นแหล่งกระตุ้นความร้อนสำหรับงานตรวจสอบแบบไม่ทำลาย คือ แสงจากหลอดไฟฮาโลเจน หลอดไฟซีนอน แสงเลเซอร์ กระแสไฟฟ้าหมุนวน หรือ อัลตราโซนิก เป็นต้น ตัวอย่างการประยุกต์ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนด้วยเทคนิค Active thermography ในการหาความผิดปกติบนแผ่นไม้อัด ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยให้ความร้อนลงบนพื้นผิวของตัวอย่างก่อน จากนั้นใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจสอบความผิดปกติ พบว่าบริเวณที่เป็นโพรงอากาศอยู่ภายในความร้อนจะผ่านออกไปได้น้อยจึงทำให้ความร้อนสะสมอยู่นานกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นจึงทำให้กล้องสามารถตรวจจับบริเวณที่ผิดปกติได้ สำหรับวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธี Active thermography นี้จะมีด้วยกันอยู่หลายวิธี เช่น วิธี lock-in infrared thermography การทดสอบด้วยวิธีนี้มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีอื่นเนื่องจาก แหล่งให้ความร้อนจะต้องป้อนเป็นลักษณะ

คาบเวลาแบบสัญญาณไซน์ ผ่านไปยังอุปกรณ์กระตุ้นความร้อน เช่น หลอดไฟ หรือ อัลตราโซนิก เพื่อให้ ความร้อนจากนั้นวัดผลตอบสนองในรูปแบบของเฟส (Phase) และ แมกนิจูด (Magnitude) จากภาพที่ได้ จากกล้องถ่ายภาพความร้อน ในภาพของเฟสสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของเวลาในการกระจายความ ร้อน และความผิดปกติบนพื้นผิวได้ วิธี Pulse thermography วิธีนี้เป็นวิธีการให้ความร้อนจากแหล่ง กระตุ้นเพียงแค่ระยะเวลาสั้น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัสดุ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Cp) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)



ภาพที่ 2.4 (ก) การให้ความร้อนกับพื้นผิวไม้ (ข) บริเวณที่เป็นโพรงจะสะสมความร้อนได้นานกว่า  
ที่มา: P. Meinschmidt (2005)

การตรวจสอบสิ่งผิดปกติในอาหารด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนทำได้โดย อาศัยการตรวจจับรังสี อินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากวัตถุที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกัน เช่น ความแตกต่างของการแผ่รังสีอินฟราเรดของ อาหารและสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่ในเมล็ดพืช เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีองค์ประกอบภายในที่ต่างกัน จึง ส่งผลให้มีค่า Emissivity ( $\epsilon$ ) ที่ต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดซับความร้อนของวัสดุและการแผ่รังสี ความร้อนออกจากวัสดุต่างกัน โดยการตรวจสอบด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ให้ความร้อนหรือความ เย็น (Heat Source) แก่เมล็ดพืช เช่น Flash Light เป็นต้น เพื่อทำให้ความแตกต่างของรังสีที่แผ่ออกมา จากสิ่งผิดปกติกับเมล็ดพืชแตกต่างกันชัดเจนมากยิ่งขึ้น จากนั้นนำภาพถ่ายทางความร้อนมาตรวจวัดรังสี ที่ออกมาจากเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอม ซึ่งปริมาณรังสีที่วัตถุแผ่ออกมาจะสอดคล้องกับเฉดสีที่แสดงใน ภาพถ่ายความร้อน และแสดงความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของเมล็ดพืช โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะแสดงสี ที่เข้มกว่าวัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จากหลักการดังกล่าวจึงทำให้ สามารถแยกสิ่งผิดปกติที่เจือปนไปกับเมล็ด พืชได้ ข้อดีของการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการตรวจสอบสิ่งผิดปกติในเมล็ดพืช ได้แก่ สามารถ ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนในเมล็ดพืชโดยไม่ต้องสัมผัส เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่อาจเกิดจาก อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบ จัดเป็นการตรวจสอบแบบไม่สัมผัสจึงไม่ทำให้อาหารเกิดการสูญเสีย

ภาพถ่ายทางความร้อนเป็นภาพที่ได้จากการแผ่รังสีของวัตถุ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่าน อินฟราเรด (Infrared region) การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน ปัจจุบันเป็นวิธีที่ดำเนินงานอยู่ในระดับงานวิจัย โดยเป็นการวัดเชิงคุณภาพที่พิจารณาความแตกต่างของ ภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการ ตรวจสอบ

$$E(T) = \epsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

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

1) ความจุความร้อนจำเพาะ คือ ค่าที่แสดงถึงคุณสมบัติในการรับความร้อนของวัตถุ โดยทั่วไปความจุความร้อนจำเพาะคือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุมวล 1 หน่วย มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม 1 องศา มีหน่วยเป็น ปริมาณความร้อนต่อหน่วยมวลต่อหน่วยอุณหภูมิ เช่น แคลอรีต่อกรัม ต่อองศาเซลเซียส กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส หรือจูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวิน สำหรับสมการของการหาพลังงานความร้อนที่วัตถุได้รับจะมีภาพทั่วไปแสดงดังสมการที่ 2 และตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุแสดงดังตารางที่ 2.2

$$q = m \int_{T_1}^{T_2} c_p dT \quad (2)$$

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช

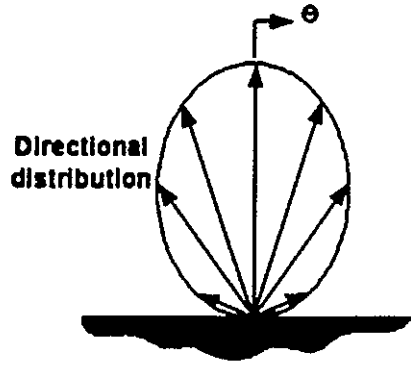
ชนิด	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·K)	ที่มา
ไม้	1.260-2.900	Tan, 2010
หิน	0.460-0.900	Lalit et al., 2010
ลูกเหล็ก	0.477-1.449	ASM International, 2002
ฟิวเจอร์บอร์ด	0.881-2.584	Boudenne et al., 2005
ถั่วลิสง	1.926-2.912	ASHRAE, 1989
ถั่วเหลือง	1.583-2.353	Alam and Shove, 1973 Ramstad and Geddes, 1942 Kazarian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

## 2.3 ภาพถ่ายความร้อน

### 2.3.1 การแผ่รังสีความร้อน

วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (Absolute Zero หรือ  $-273.15^{\circ}\text{C}$  หรือ  $0\text{ K}$ ) จะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมา สำหรับกลไกของการแผ่รังสีความร้อนเกิดจากการสั่น (Oscillations) และการเคลื่อนที่ (Transition) ของอิเล็กตรอนซึ่งประกอบกันเป็นสสาร วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนจะสั่นหรือเคลื่อนที่มาก ส่งผลให้พลังงานภายในวัตถุมีค่าสูง กล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับอุณหภูมิ และรังสีความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 0.1 ไมโครเมตร ถึง 100 ไมโครเมตร (ประวิทย์, 2553) โดยความเข้มของการแผ่รังสี

ความร้อนออกจากวัตถุใด ๆ มีค่าสูงสุดที่มุม  $\theta$  เท่ากับ 0 องศา แสดงดังภาพที่ 2.5 (นวกัฑรา และทวิพล, 2555)



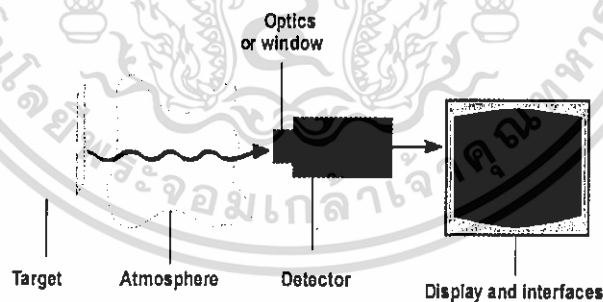
ภาพที่ 2.5 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง  
ที่มา: นวกัฑรา และทวิพล, 2555

รังสีความร้อนทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง (Radiosity,  $J$ ) ประกอบด้วยรังสีที่เกิดจากวัตถุเอง (Emission,  $E$ ) และรังสีจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือจากวัตถุอื่นมากระทบและสะท้อนออกจากวัตถุ ( $G\lambda_{ref}$ ) แสดงในภาพที่ 2.9 ดังนั้น Radiosity ที่ออกมาจากวัตถุตั้งสมการที่ 3

$$J = E + G\lambda_{ref} \quad (3)$$

### 2.3.2 กล้องถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อนหรือ Thermal image camera (TI - camera) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุโดยไม่มีการสัมผัสและทำลายวัตถุ อาศัยการวัดรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากวัตถุ และปรับค่ารังสีอินฟราเรดที่วัดได้เป็นอุณหภูมิอาศัยกฎของ Planck และกฎของ Stefan-Boltzmann (นวกัฑรา และ ทวิพล, 2555 (ลักษณะการทำงานแสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ  
ที่มา: Gruner, 2003

ส่วนประกอบหลักของกล้อง TI ได้แก่ เลนส์ (Lenses) ตัวตรวจจับ (Detector) และส่วนแสดงผล (Display) โดยมีหลักการทำงานดังนี้ จะแสดงผลออกมาให้รูปแบบของเฉดสีและตัวเลข และประกอบด้วยเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรดหลายตัว แต่ละตัวแสดงผลออกมาในรูปแบบของสีแตกต่างกันตามอุณหภูมิของจุดนั้น ๆ โดยทั่วไปสีแดงจะแสดงผลที่มีอุณหภูมิสูงและสีน้ำเงินแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ หรือโทนสีสว่างแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และโทนสีมืดแสดงผลของบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ผลของแต่ละจุดที่

ได้จากเซนเซอร์แต่ละตัว เมื่อนำมารวมกันจะประกอบขึ้นเป็นภาพ เรียกว่า ภาพถ่ายทางความร้อน (Thermal Image) (นวกัทร และ ทวีพล, 2555) รูปแบบการวัดอุณหภูมิด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ การวัดเชิงปริมาณ (Quantitative) ซึ่งหมายถึงการวัดอุณหภูมิของจุดที่สนใจ และการวัดเชิงคุณภาพ (Qualitative) ซึ่งหมายถึงการพิจารณาความแตกต่างของภาพ ซึ่งการวัดเชิงคุณภาพสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ (ยุทธพงศ์ และคณะ, 2556)

## 2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.4.1 การตรวจสอบเมล็ดพืชด้วยจักรกลวิทัศน์

การเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชจำพวกถั่ว มักมีถั่วหลายพันธุ์ผสมปนเปกัน ดังนั้น ในการเก็บรักษาหรือการนำไปจำหน่าย การคัดแยกและการตรวจคุณภาพเป็นสิ่งที่จะต้องทำ (Pearson & Slaughter, 1996)

ออกแบบและสร้างเครื่องสำหรับแยกเมล็ดถั่วแตกของถั่วพิสตาชิโอเซีย (Pistachio nuts) โดยทดสอบถั่วจำนวน 180 เมล็ด การคัดแยกถั่วแตกพบว่ามีความสำเร็จร้อยละ 100 และจากการคัดแยกพันธุ์ถั่วได้ผลความแม่นยำร้อยละ 99

งานวิจัยของ Ghazanfari et al. (1996) ใช้โครงข่ายประสาทเทียม แยกถั่วพิสตาชิโอ 4 สายพันธุ์ เมื่อทดสอบกับตัวอย่างถั่ว 150 ตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยความแม่นยำ ร้อยละ 95.9 ต่อมา Pearson & Toyofugu (2000) พัฒนาเครื่องจักรกลวิทัศน์อัตโนมัติเพื่อแยกถั่ว พิสตาชิโอที่ยังไม่ปอกเปลือกออกจากกระบวนการผลิตในเครื่องจักรประกอบด้วยเครื่องมือลำเลียงถั่วไปผ่านกล้องโดยไม่ให้ถั่วกระเด็น คัดแยกถั่วที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกโดยการเปรียบเทียบสี มีความแม่นยำของการคัดแยกร้อยละ 95 ระบบทำงานได้ 40 เมล็ดต่อวินาที

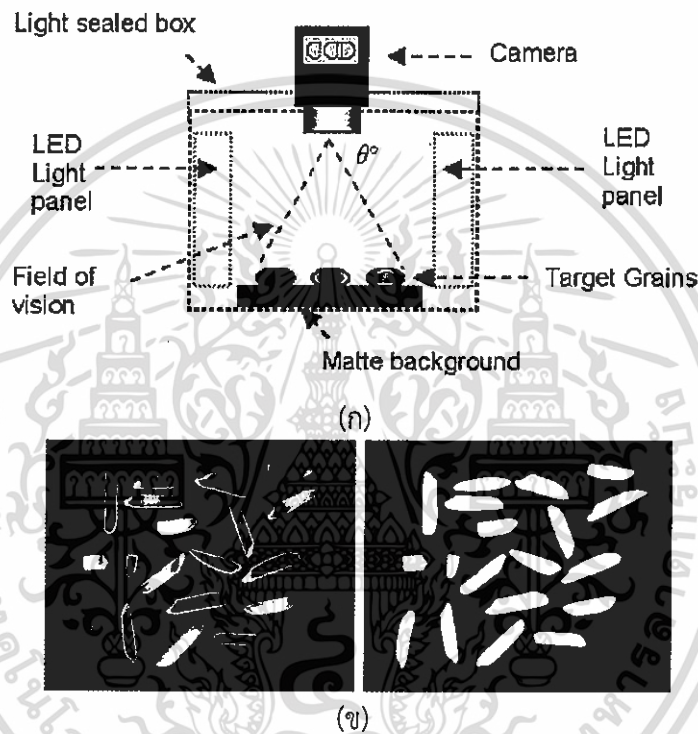
Omid et al. (2009) พัฒนาระบบอัจฉริยะสำหรับคัดแยกพันธุ์ของถั่วพิสตาชิโอเซีย โดยรวมการวิเคราะห์คลื่นเสียง องค์ประกอบหลัก และโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อคัดแยกถั่ว พิสตาชิโอเซียพันธุ์พื้นเมือง 4 พันธุ์ จำนวน 3,200 เมล็ด ทดลองหาค้นเสียงโดยให้ถั่วเลื่อนลงรางที่เอียง 60 องศา เมล็ดถั่วจะตกกระทบแผ่นเหล็ก ส่งสัญญาณเสียงและบันทึกไว้สำหรับวิเคราะห์ จากการคัดแยกพบว่าความแม่นยำของระบบร้อยละ 97.5

Huang (2011) ตรวจสอบและจำแนกถั่วหมากด้วยเครื่องจักรกลวิทัศน์ โดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมและเทคนิคการประมวลผลภาพ และตรวจหาถั่วที่มีโรคหรือแมลง จำแนกประเภทของถั่วหมากจากคุณสมบัติทางเรขาคณิต เช่น ความยาวแกนหลัก พื้นที่ จำนวนแกน จากการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของการจำแนกถั่วหมากมีความแม่นยำร้อยละ 90.9

Nakariyakul & Casasent (2011) จำแนกประเภทของความเสียหายภายในอัลมอนต์โดยใช้ภาพความยาวคลื่นสูงกับหลักการอัตราส่วนของการตอบสนองของความยาวคลื่นสองช่วงที่ต่างกัน พบว่ามีความแม่นยำร้อยละ 97

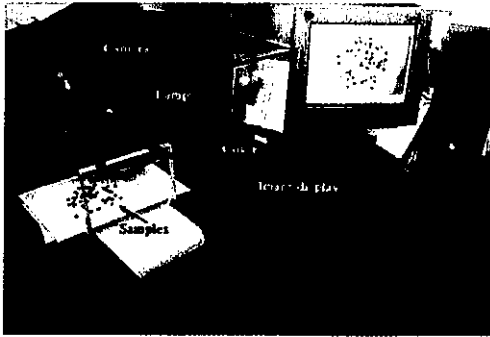
Hobson et al. (2007) เสนอวิธีการถ่ายภาพที่ใช้กล้องควบคุมแสงสำหรับการถ่ายภาพเพื่อตรวจสอบสายพันธุ์ของเมล็ดพืช ก่อนนำไปประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม ซึ่งการใช้กล้องควบคุมแสงช่วยลดแสงรบกวนจากธรรมชาติ จึงจะทำให้ได้ภาพที่ชัดเจน ง่ายต่อการนำไปประมวลผลภาพ มีหลักการดำเนินการดังภาพที่ 7 (ก) โดยมีหลอด LED 2 หลอดในการให้ความสว่างในกล้องควบคุมแสง เมล็ดพืชจะถูกวางบนถาดที่มีสีของพื้นผิวแตกต่างกับเมล็ดพืช และวางอยู่ใต้ตำแหน่งโฟกัสของกล้อง บันทึกภาพจากนั้นนำไปผ่านขั้นตอนในการปรับภาพ จะได้ภาพที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนดังภาพที่ 7 (ข) แสดงภาพที่ได้ระหว่างเมล็ดพืชตัวอย่างและพื้นหลังมีความแตกต่างอย่างชัดเจน โดยอาศัยสมบัติทางกายภาพ เช่น ภาพร่าง ค่าเฉลี่ยของความยาว และค่า Grey Level จากการประมวลผลภาพ พบว่าสามารถ

ตรวจสอบและคัดแยกสายพันธุ์ของเมล็ดพืชได้ Choudhary et al. (2007) วิเคราะห์และประมวลผลภาพ โดยใช้ภาพถ่ายเมล็ดพืช ได้แก่ ข้าวฟ่าง ข้าวบาเลย์ ข้าวโอ๊ต และข้าวไรย์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ภาพด้วย โปรแกรม MATLAB เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการคัดแยกด้วยการประมวลผลภาพ พบว่าปัจจัยที่มีผลได้แก่ ความยาวคลื่นสั้น ภาพร่าง สี และผิวสัมผัส อย่างไรก็ตามพบว่าไม่สามารถนำปัจจัยเพียงอย่างเดียวมาใช้ในการวิเคราะห์สำหรับตรวจสอบชนิดของเมล็ดพืชได้ ควรพิจารณาภาพร่างและผิวสัมผัสของเมล็ดพืชมาใช้ในการตรวจสอบด้วย เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงวิธีการตรวจสอบให้มีคุณภาพดีและเหมาะสม สำหรับใช้ในการตรวจคุณภาพของเมล็ดข้าว ระบุชนิดของสายพันธุ์ข้าว และตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืช (Majumdar and Jayas, 2000; Paliwal et al., 2003; Choudhary et al., 2008) นอกจากนี้ยังมีการใช้ ลักษณะของพื้นผิวภายนอกของเมล็ดพืชในการคัดแยกสายพันธุ์ที่ต่างชนิดกัน (Zayas and Flinn, 1998)

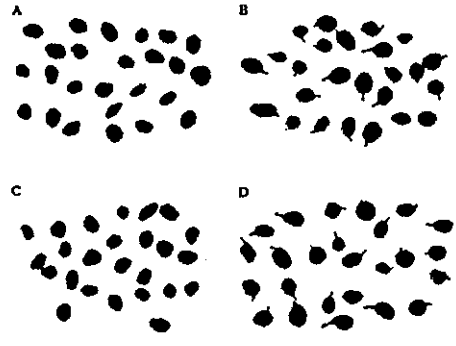


ภาพที่ 2.7 (ก) การถ่ายภาพเมล็ดพืชด้วยกลุ่มควบคุมแสง (ข) การประมวลผลภาพจากโปรแกรม ที่มา: Hobson et al. (2007)

Mollazade et al. (2012) ประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพในการตรวจสอบลูกเกดกับสิ่งแปลกปลอม (ก้าน) โดยใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพภาพที่ 8 (ก) เพื่อเก็บข้อมูลภาพ จากนั้นตรวจสอบกับลูกเกดที่มีสีเขียว ลูกเกดสีเขียวก้าน ลูกเกดสีดำ และลูกเกดสีดำที่มีก้าน ภาพที่ 8 (ข) โดยอาศัยความแตกต่างของสี ขนาด และภาพร่างของลูกเกด ซึ่งการตรวจสอบพบว่าวิธี ANNs SVMs DTs และ BNs มีความถูกต้องในการตรวจสอบสูงสุด 96.33 95.67 94.67 และ 94.33 %



(ก)



(ข)

ภาพที่ 8 (ก) ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้ถ่ายภาพ ลูกเกตที่ใช้ในการตรวจสอบ (ข)  
ที่มา: Mollazade et al. (2012)

2.4.2 การตรวจสอบเมล็ดพืชด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อน

ใจทิพย์ และคณะ (2545) ประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุร่วมกับการใช้ภาพถ่ายความร้อนในการจัดการข้าวให้ปราศจากสารพิษ Aflatoxin โดยพบว่าปริมาณการติดเชื้อ *A. flavus* ลดลง เมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการให้คลื่นความถี่วิทยุเพิ่มขึ้น ภาพความร้อนที่ได้จากกล้องอินฟราเรดแสดงการกระจายความร้อนของการบรรจุเมล็ดข้าวแบบสุญญากาศ เปรียบเทียบระหว่างการบรรจุแบบไม่มีพื้นที่ว่างเต็มถุง 100% และการบรรจุแบบมีพื้นที่ว่างโดยมีลักษณะการบรรจุหลวมโดยมีพื้นที่บรรจุประมาณ 85% แสดงดังภาพที่ 9 จากการที่เมล็ดข้าวได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอส่งผลให้เชื้อราที่ติดมาตายในที่สุด

Ginesu et al. (2004) ใช้ภาพถ่ายความร้อนตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมเช่น หิน กระดาษแข็ง โลหะชิ้นเล็ก ๆ และเปลือกไม้ ที่ปะปนมากับเมล็ดอัลมอลด์ ลูกเกต และถั่วลิสง โดยอาศัยความแตกต่างของพลังงานที่กล้องได้รับระหว่างสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืช เนื่องจากสมบัติทางความร้อนของวัสดุมีค่าแตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของภาพหาต่อระยะเวลาในการลดอุณหภูมิของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชได้ เช่น เศษไม้กับลูกเกต ภาพที่ 10 (ก) เศษกระดาษแข็งกับเมล็ดอัลมอลด์ ภาพที่ 10 (ข) และเศษหินกับเมล็ดอัลมอลด์ ภาพที่ 10 (ค)

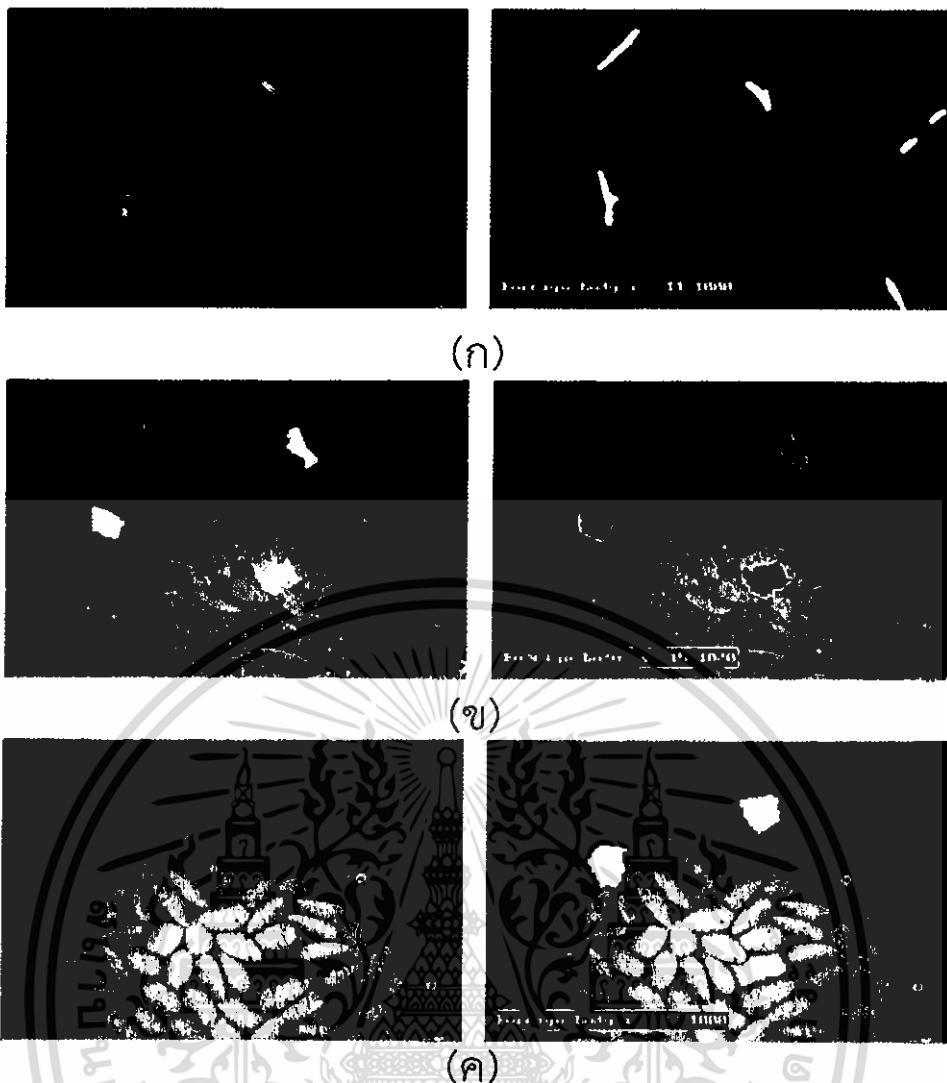


(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 2.9 การกระจายความร้อนของการบรรจุแบบสุญญากาศ  
(ก) บรรจุแบบไม่มีพื้นที่ว่างเต็มถุง 100% (ข) บรรจุแบบมีพื้นที่ว่างโดยมีพื้นที่บรรจุประมาณ 85%  
(ค) หลังจากผ่านคลื่นความถี่วิทยุ  
ที่มา: ใจทิพย์ วานิชชังและคณะ, 2545



ภาพที่ 2.10 ภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม (ก) เศษไม้กับลูกเกด (ข) เศษกระดาษ และ (ค) เศษหินกับเมล็ดอัลมอลต์  
ที่มา: Ginesu et al. 2004

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

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

## บทที่ 3

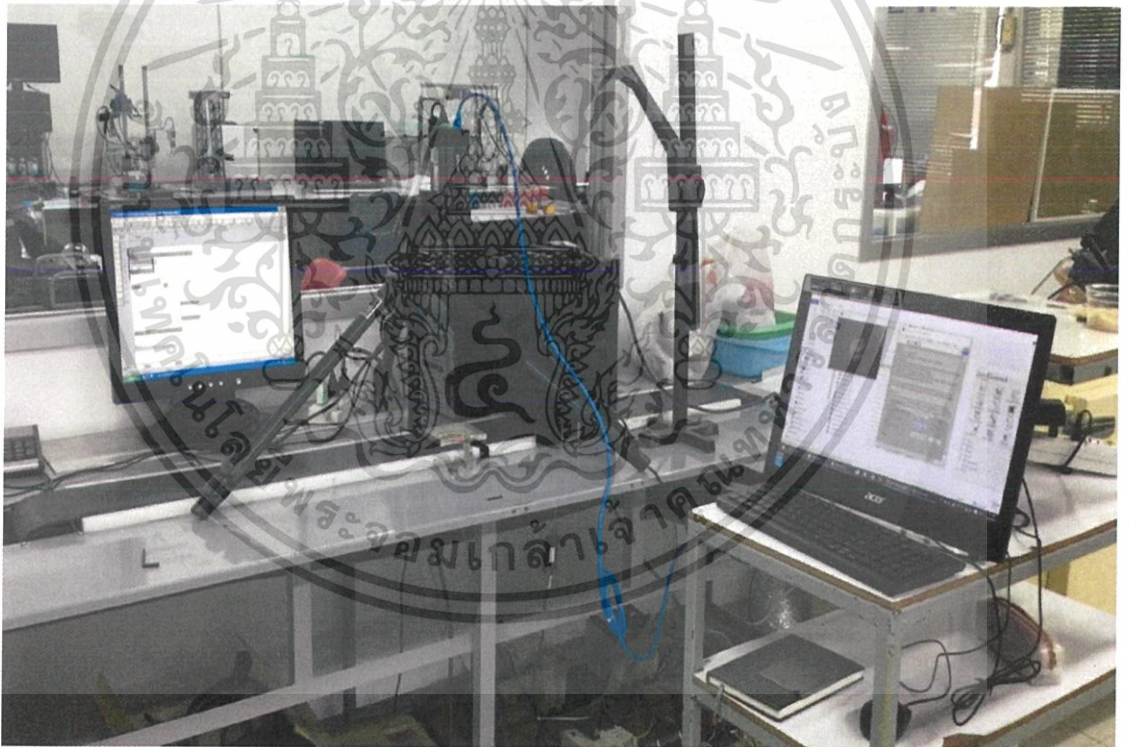
### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบชุดทดลองการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืช โดยยกตัวอย่าง ข้าวเป็นกรณีศึกษา การหาเวลาที่เหมาะสมในการกระตุ้นความร้อน การหาเวลาที่เหมาะสมในการตรวจจับภาพถ่ายความร้อน วิธีการประมวลผลภาพ 2 มิติ วิธีการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน วิธีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าว รวมทั้งการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจจับ การออกแบบชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุม และชุดการวิเคราะห์ภาพ โดยเนื้อหาประกอบด้วย ชุดอุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง นำมาทดลองของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในข้าว

#### 3.1 ชุดอุปกรณ์และตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 ชุดอุปกรณ์

ชุดการทดลองของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในข้าวประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุม และชุดการวิเคราะห์ภาพ แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ระบบการทดลองการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในข้าว

### 3.1.1.1 ชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุม

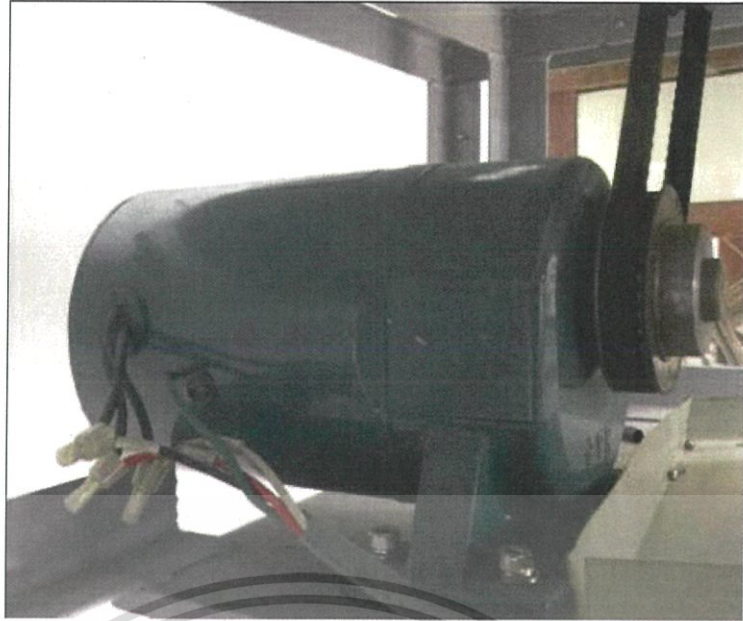
ชุดกำเนิดความร้อนพร้อมระบบควบคุมประกอบด้วยสายพานลำเลียง (ภาพที่ 3.2) กลุ่มตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เคลื่อนที่โดยมอเตอร์ยี่ห้อ nissei รุ่น GLM-18 (ภาพที่ 3.3) ที่ควบคุมการทำงานด้วยเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ (Programable logic Controller; PLC) ยี่ห้อ Omron รุ่น C200HX (ภาพที่ 3.4) ซึ่งมีสัญญาณขาเข้า (Input) คือ เซนเซอร์แสง ยี่ห้อ Omron รุ่น E3X-DA11 (ภาพที่ 3.5) และสัญญาณขาออก คือ หลอดไฟ halogen 50-60 Hz 100W 200-240 VAC ที่ใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนกับตัวอย่าง (ภาพที่ 3.6) และอินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับ (ภาพที่ 3.7)



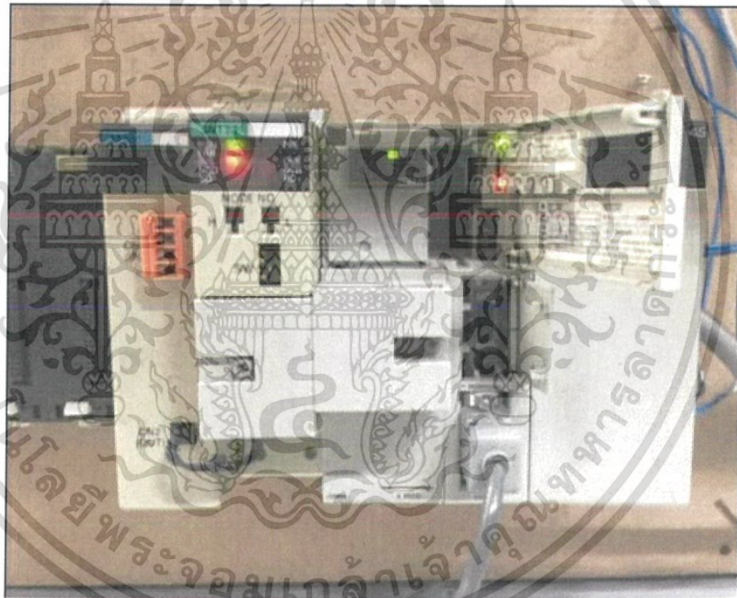
ภาพที่ 3.2 สายพานลำเลียง

ข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ รุ่น GLM-18

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



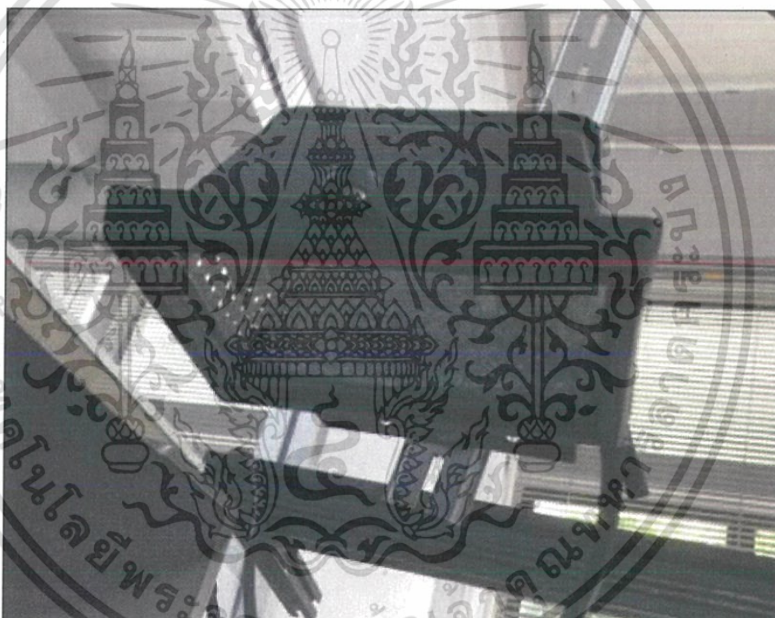
ภาพที่ 3.3 มอเตอร์ รุ่น GLM-18



ภาพที่ 3.4 พีแอลซี (PLC) Omron รุ่น C200HX



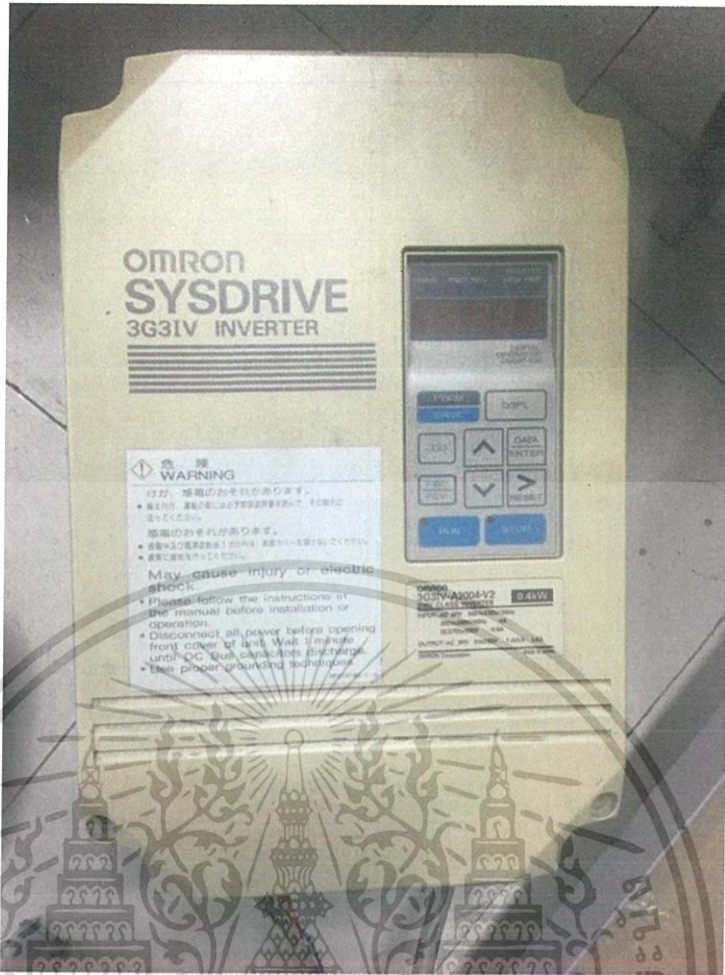
ภาพที่ 3.5 เซนเซอร์แสง รุ่น E3X-DA11



ภาพที่ 3.6 หลอดไฟ halogen 50-60 Hz

ข้อมูลทางเทคนิคของอินเวอร์เตอร์ รุ่น 3G3IV-A2004-V2

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



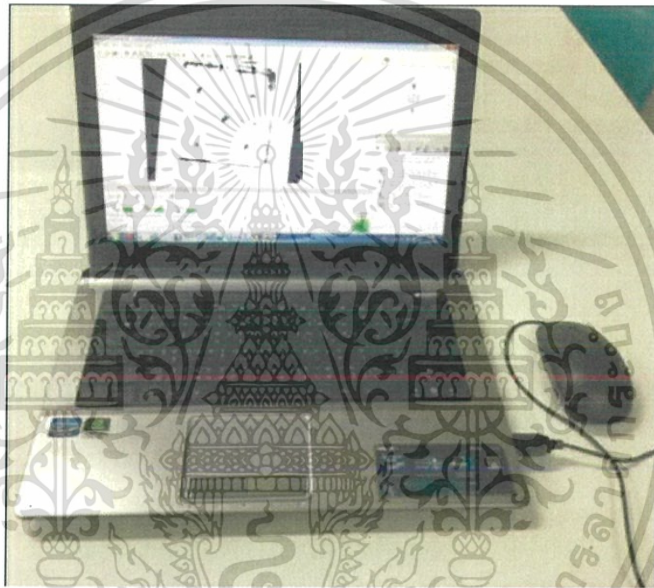
ภาพที่ 3.7 อินเวอร์เตอร์ รุ่น 3G3IV-A2004-V2

3.1.1.2 ชุดการวิเคราะห์ภาพ

ในการทดลองและวิเคราะห์ภาพโดยใช้ระบบภาพแบบ gray scale เมื่อตัวอย่างได้รับความร้อนจากระบบให้ความร้อน จากนั้นใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR รุ่น A315 (ภาพที่ 3.7) ซึ่งมีความละเอียด 320 x 240 พิกเซล รับรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 7.5-14  $\mu\text{m}$  ช่วงการวัดอุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  ถึง  $350^{\circ}\text{C}$  ความไวต่ออุณหภูมิ (Thermal sensitivity) เท่ากับ  $<0.05^{\circ}\text{C}$  @  $+30^{\circ}\text{C}/50$  mK ค่า FOV เท่ากับ  $25^{\circ}\text{H} \times 18.8^{\circ}\text{H}$  ค่า IFOV เท่ากับ 3.16 mRad และความถูกต้องของการวัดเท่ากับ  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  ทำการถ่ายภาพวัตถุตัวอย่าง ซึ่งภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนจะมีลักษณะภาพที่เป็นเฉดสีต่างๆ จากนั้นนำภาพมาเข้าคอมพิวเตอร์ (ภาพที่ 3.8) เพื่อปรับภาพให้เป็น gray scale ผ่านซอฟต์แวร์ ThermoCAM และนำมาประมวลผลภาพผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW 2014



ภาพที่ 3.8 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Camera) FLIR รุ่น A315



ภาพที่ 3.9 คอมพิวเตอร์ประมวลผล (Computer Vision System) ด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW 2014

### 3.1.2 ตัวอย่างและสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ในการทดลอง (Sample and Foreign Bodies)

ในการทำการทดลองได้ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดข้าว คือ ข้าวกล้อง โดยกำหนดสิ่งแปลกปลอมขึ้นมาได้แก่ เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก (ภาพที่ 3.9-3.11)



ภาพที่ 3.10 ข้าวกล้อง



ภาพที่ 3.11 เศษไม้, ก้อนหิน



ภาพที่ 3.12 เศษกระดาษ, พลาสติก

### 3.2 การหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม

การหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม เป็นขั้นตอนการถ่ายภาพหลังจากที่ข้าวได้รับความร้อน เพื่อให้ได้ภาพถ่ายความร้อนที่สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้ ทำได้โดยการเตรียมข้าวและสิ่งแปลกปลอม ข้าวกล้อง เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก เรียงลงในถาดทดลอง ดังภาพที่ 3.12 และให้ความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นทิ้งตัวอย่างคายความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที พร้อมทั้งใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนบันทึกภาพในรูปแบบของไฟล์วิดีโอ ตลอดระยะเวลาการคายความร้อนตั้งแต่วินาทีที่ 0 จนถึงวินาทีที่ 10 ซึ่งทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ จากนั้นนำไฟล์วิดีโอที่ได้มาตัดภาพตั้งแต่เวลาเวลาวินาที 4 เป็นต้นไปในช่วงการคายความร้อน ตัดภาพทุกๆวินาที และนำภาพที่ได้หาค่าอุณหภูมิ เพื่อหาเวลาในการคายความร้อนที่สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมกับข้าวได้



ภาพที่ 3.13 การเรียงข้าวและสิ่งแปลกปลอมในถาดทดลอง

### 3.3 การทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิค แอคทีฟเทอร์โมกราฟี

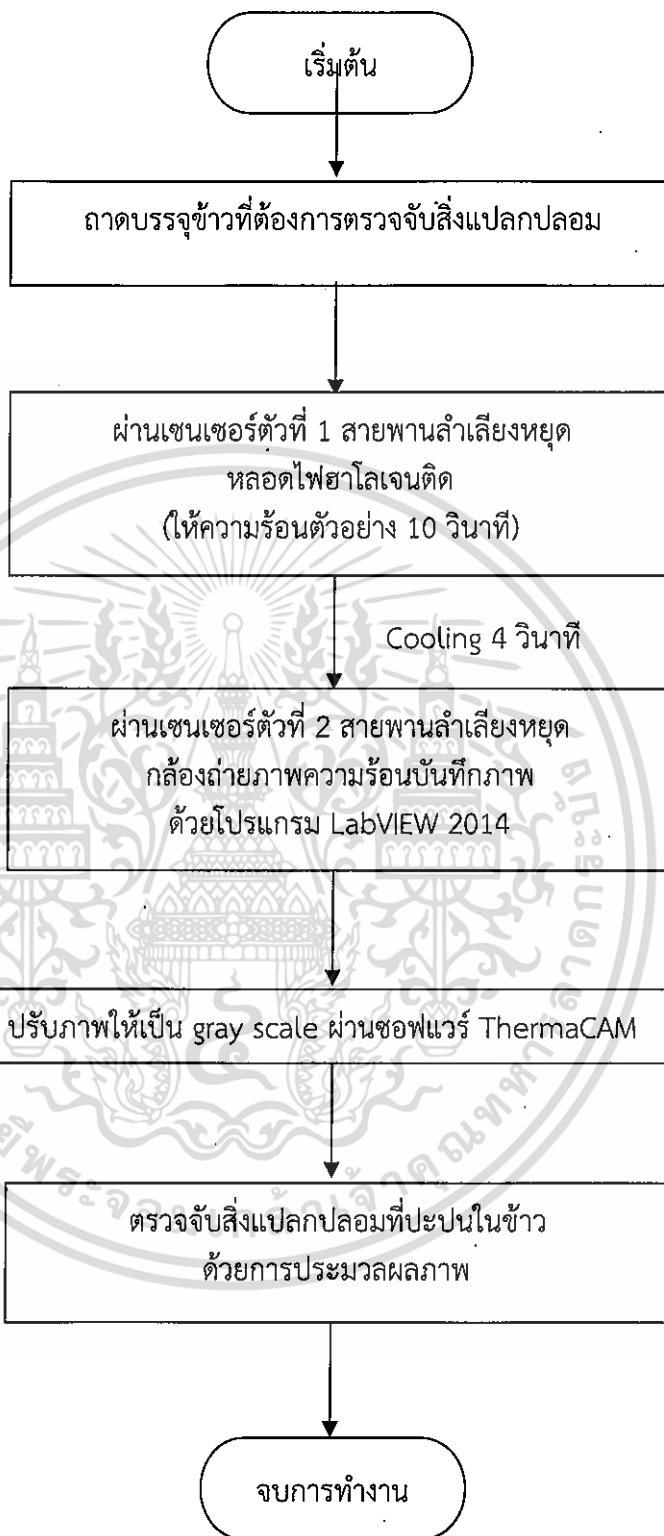
#### 3.3.1 ระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว

ในการทดลองได้นำตัวอย่างของเมล็ดข้าว คือ ข้าวกล้อง และกำหนดสิ่งแปลกปลอมขึ้นมา ได้แก่ เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก โดยในการทดลองกำหนดให้ชั้นทดสอบของข้าว และสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนกันวางอยู่ในภาดทดลองขนาด 10 x 10 เซนติเมตร (ภาพที่ 3.13) จำนวน 30 ชั้นทดสอบ วางภาดทดลองบนสายพานซึ่งเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ที่ถูกควบคุมจาก PLC ภาดทดลอง เคลื่อนบนสายพานจนกระทั่งเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง ความร้อน (halogen lamp) ตรวจจับได้ จากนั้นสายพานหยุดเพื่อให้ความร้อน 10 วินาที ภาดกลุ่มตัวอย่าง เคลื่อนที่จากตำแหน่งเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ไปยังเซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ซึ่งเป็นตำแหน่งตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยใช้เวลา 4 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเย็นตัว (cooling) ของกลุ่มตัวอย่าง เมื่อเซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ตรวจจับภาดได้สายพานจะหยุด 7 วินาที เพื่อให้กล้องถ่ายภาพความร้อนทำการจับภาพกลุ่มตัวอย่าง



ภาพที่ 3.14 ภาดทดลองขนาด 10 x 10 เซนติเมตร

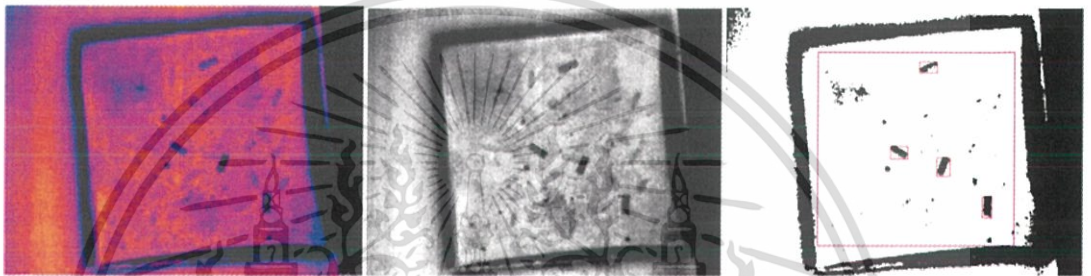
จากนั้นภาพกลุ่มตัวอย่างที่ตรวจจับได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR รุ่นA315/A615 จะมีสีที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติการแผ่รังสีที่แตกต่างกันของวัตถุ บันทึกภาพด้วยโปรแกรม LabVIEW 2014 และจากนั้นปรับภาพให้เป็น gray scale ผ่านซอฟต์แวร์ ThermoCAM โดยปรับ level และ span ให้ภาพมีความชัดมากที่สุด และจึงนำภาพมาวิเคราะห์หาจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าว ซึ่งอัลกอริทึมจะมีการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าวด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟี แสดงดังภาพที่ 3.14



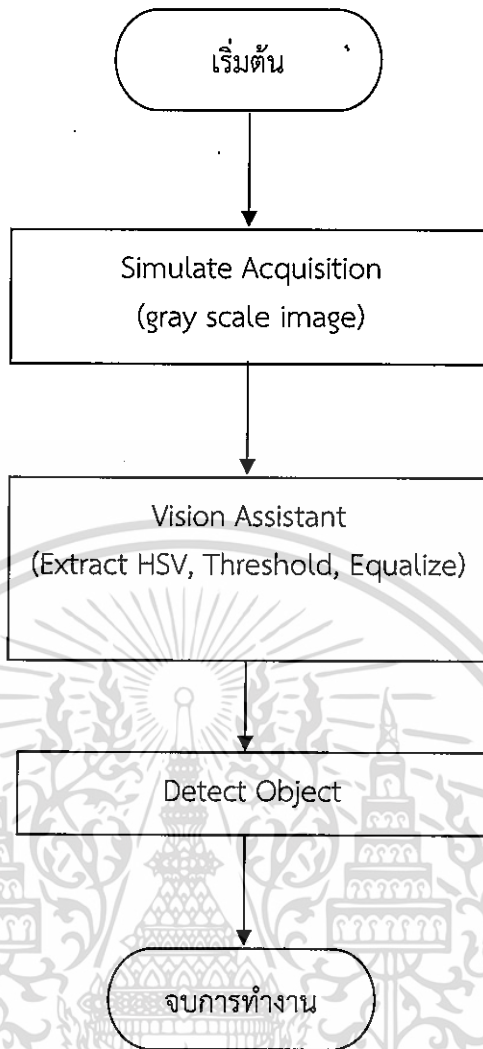
ภาพที่ 3.15 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าว  
ด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี

### 3.3.2 โปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว

การทดลองโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยซอฟต์แวร์ Vision Builder AI 2013 SP1 ของ LabView 2014 โดยนำภาพถ่ายทางความร้อนที่ได้มาทำให้เป็น gray scale ด้วยโปรแกรม ThermaCAM ซึ่งข้าว คือ ข้าวกล้อง และสิ่งแปลกปลอมที่กำหนดเศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก โดยจะใส่ข้าวลงไป 29 เม็ด จากนั้นใส่สิ่งแปลกปลอมลงไป 1 ชิ้น วางกระจายกัน จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกัน โดยเพิ่มสิ่งแปลกปลอมเป็น 2, 3, 4 และ 5 ชิ้น และลดข้าวเหลือ 28, 27, 26 และ 25 ชิ้นตามลำดับ และทำการวิเคราะห์ผ่านระบบตรวจจับสิ่งแปลกปลอม โดยภาพที่เป็นแบบ gray scale จะแบ่งออกเป็น 256 ระดับ (0-255) จากนั้นอัลกอริทึม Threshold โดยจะทำให้ภาพให้เหลือเพียงสองสี หลังจากนั้นอัลกอริทึม Equalize จะทำให้ภาพเป็นสีขาวดำ และสุดท้ายคือการ Detect Object โดยจะเป็นการนับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่พบ แสดงดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.16 ภาพถ่ายความร้อน, ภาพ gray scale, Detect Object



ภาพที่ 3.17 อัลกอริทึมซอฟต์แวร์การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในข้าว  
ด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

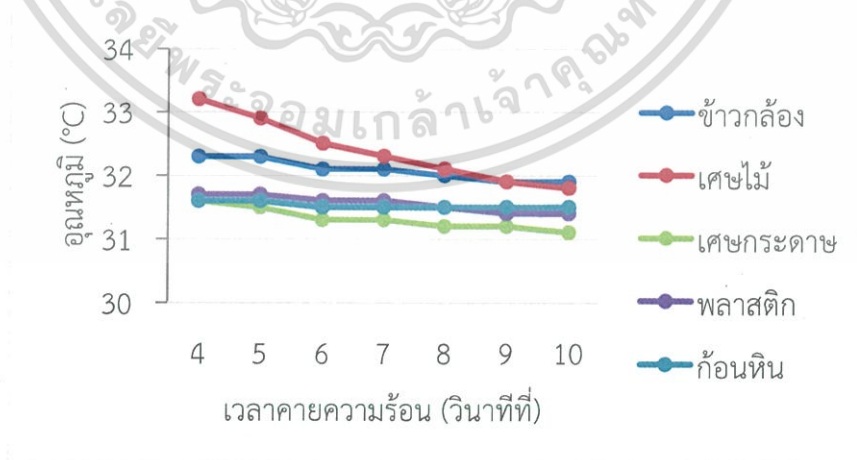
ในการทำการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม และทดลองการทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี

### 4.1 เวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม

ผลการตรวจสอบหาเวลาสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมจากภาพถ่ายความร้อนที่ถ่ายหลังจากที่ข้าวได้รับความร้อน โดยภาพถ่ายความร้อนดังกล่าวประกอบด้วย ข้าวและสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ ข้าวกลิ้ง เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก ซึ่งได้มาจากให้ความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที และหาค่าอุณหภูมิจากภาพถ่ายความร้อน โดยหาเวลาที่มีความแตกต่างระหว่างข้าวและสิ่งแปลกปลอมมากที่สุด ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

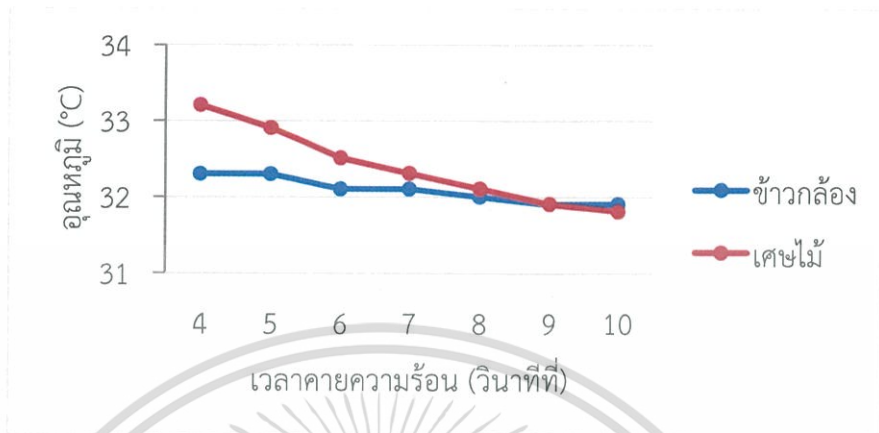
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของชั้นทดสอบและเวลาคายความร้อน

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



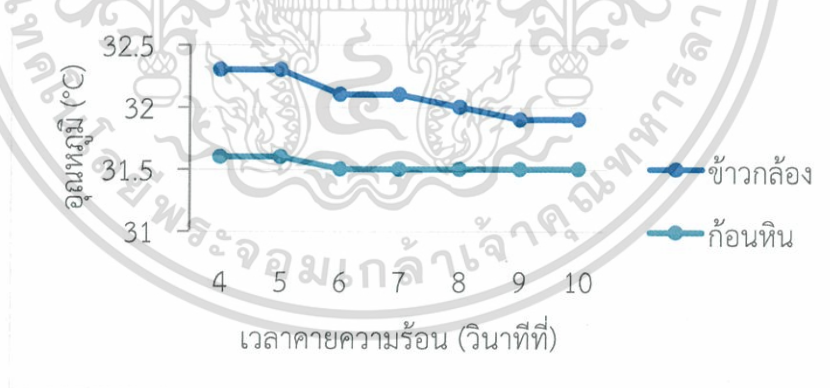
ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของชั้นทดสอบกับเวลาคายความร้อน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของชั้นทดสอบและเวลาคายความร้อนของข้าว และสิ่งแลกเปลี่ยน โดยให้ความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที พบว่าเมื่อเวลาในการเวลาคายความร้อนของ ข้าวเพิ่มขึ้น ค่าอุณหภูมิของชั้นทดสอบจะมีค่าที่ลดลง โดยแสดงว่าอุณหภูมิของชั้นทดสอบแปรผกผัน กับเวลาในการคายความร้อน อีกทั้งกราฟดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าสิ่งแลกเปลี่ยนต่างชนิดกันจะมีความสามารถในการคายความร้อนแตกต่างกัน



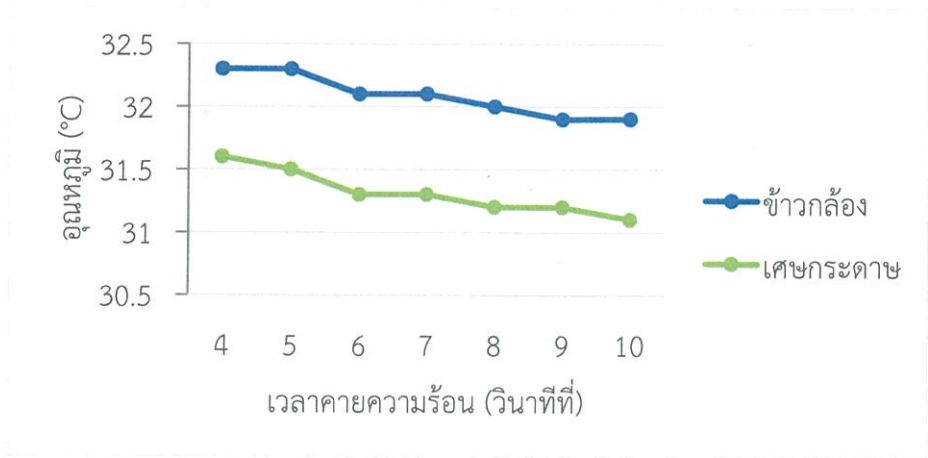
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับเศษไม้

จากภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับเศษไม้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาในการตรวจสอบเศษไม้ที่ปะปนมาในข้าวในกระบวนการคายความร้อนวินาทีที่ 4 มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาดังกล่าวอย่างชัดเจน



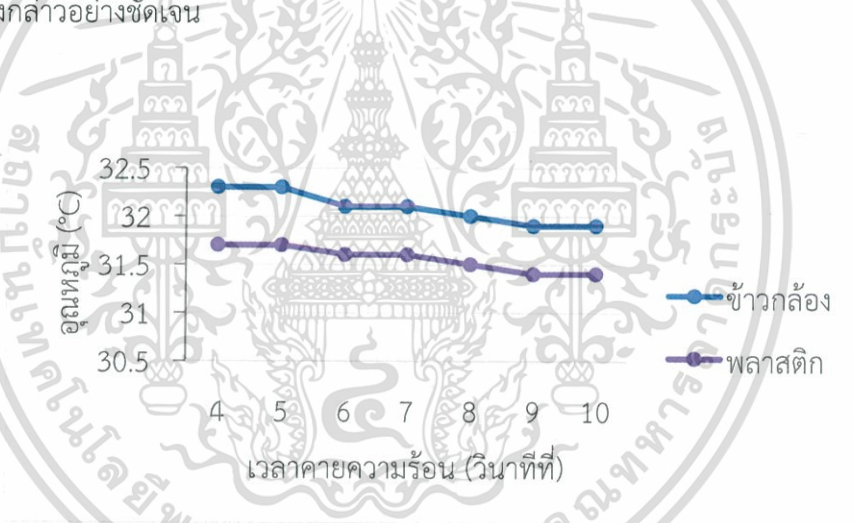
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับก้อนหิน

จากภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับก้อนหิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาในการตรวจสอบก้อนหินที่ปะปนมาในข้าวในกระบวนการคายความร้อนวินาทีที่ 5 มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาดังกล่าวอย่างชัดเจน



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับเศษกระดาศ

จากภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับเศษกระดาศ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาในการตรวจสอบเศษกระดาศที่ปะปนมาในข้าวในกระบวนการคายความร้อนช่วงเวลา 5-8 วินาที มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลาดังกล่าวอย่างชัดเจน



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับพลาสติก

จากภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาคายความร้อนของข้าวกล้องกับพลาสติก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาในการตรวจสอบพลาสติกที่ปะปนมาในข้าวในกระบวนการคายความร้อนช่วงเวลา 4-5 วินาที มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลาดังกล่าวอย่างชัดเจน

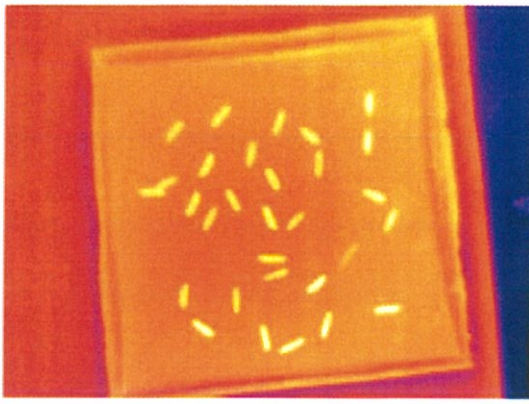
## 4.2 ผลการทดสอบการทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟี

การทดลองการทำงานของระบบและโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในข้าวด้วยเทคนิคแอกทีฟเทอร์โมกราฟีนั้น ในขั้นตอนแรกจะเป็นการทดลองระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าวโดยจะได้ผลออกมาในเชิงคุณภาพคือภาพถ่ายทางความร้อน และการทดลองในขั้นตอนที่ 2 คือการพัฒนาโปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าวทำการทดสอบโดยใช้ภาพถ่ายทางความร้อนจากขั้นตอนแรกมาผ่านการประมวลผลภาพจากโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้น

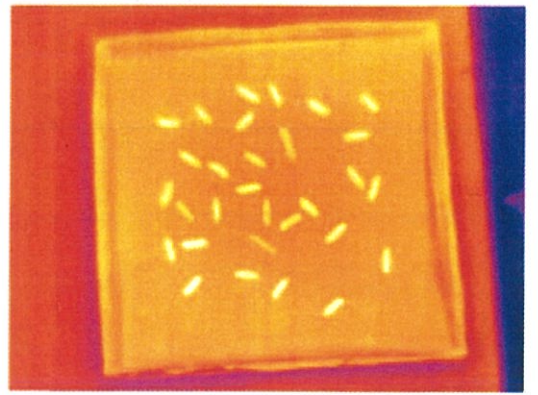
### 4.2.1 ระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว

จากการทดลองเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าวนั้น ได้ทำการทดลองกับข้าวกล้อง และสิ่งแปลกปลอม 4 ชนิด ได้แก่ เศษไม้ ก้อนหิน เศษกระดาษ และพลาสติก โดยได้ทำการปรับอัตราส่วนระหว่างข้าวกับสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วน ดังนี้ 29:1, 28:2, 27:3, 26:4 และ 25:5 เมื่อระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอม จะได้ภาพถ่ายทางความร้อนของข้าวที่มีสิ่งแปลกปลอมปะปนอยู่ในสภาพทดลอง





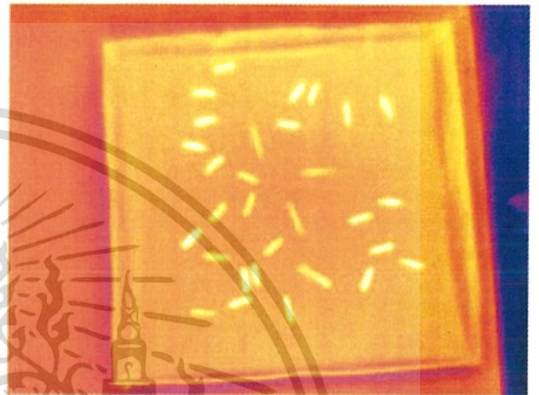
(ก)



(ข)



(ค)



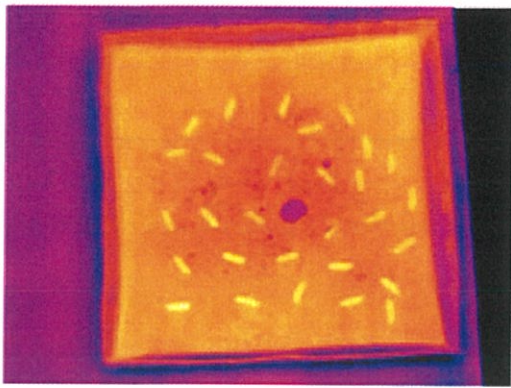
(ง)



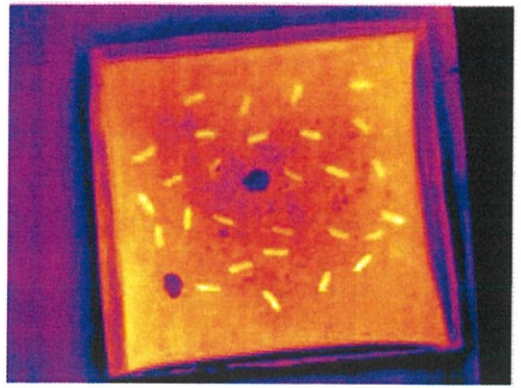
(จ)

ภาพที่ 4.6 ภาพถ่ายความร้อนของข้าว-เศษไม้ โดยมีอัตราส่วน ข้าว:เศษไม้

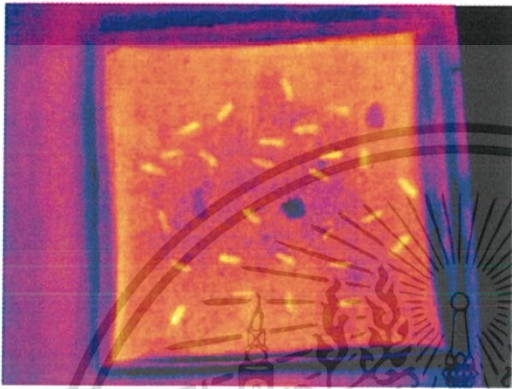
(ก) 29:1 (ข) 28:2 (ค) 27:3 (ง) 26:4 (จ) 25:5



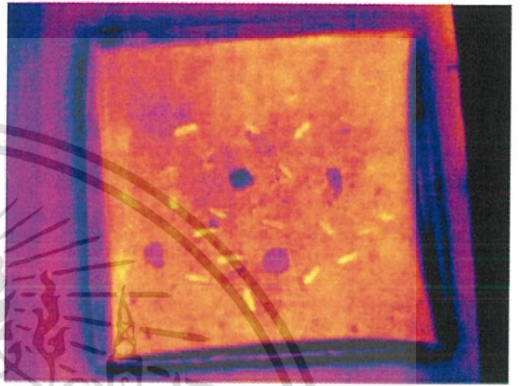
(ก)



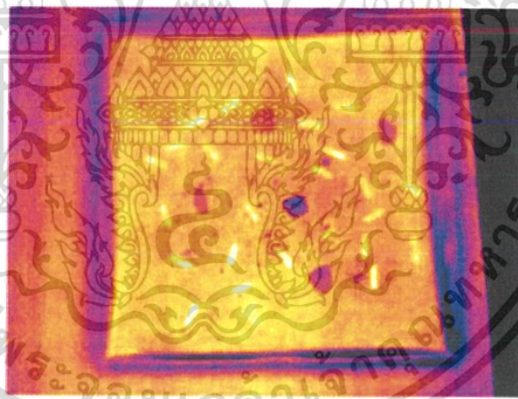
(ข)



(ค)



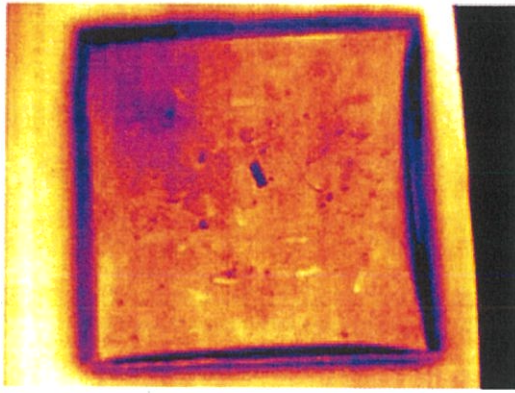
(ง)



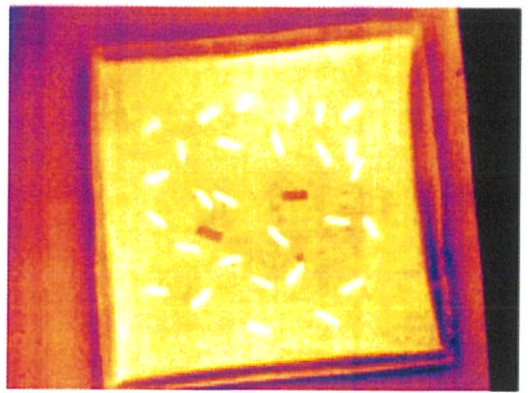
(จ)

ภาพที่ 4.7 ภาพถ่ายความร้อนของข้าว-ก้อนหิน โดยมีอัตราส่วน ข้าว:ก้อนหิน

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



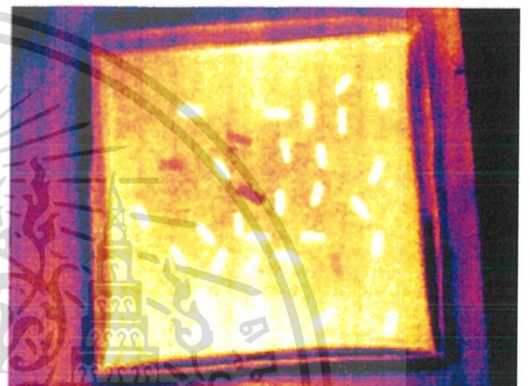
(ก)



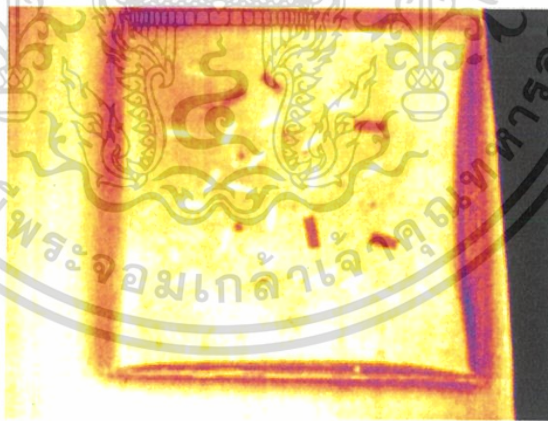
(ข)



(ค)

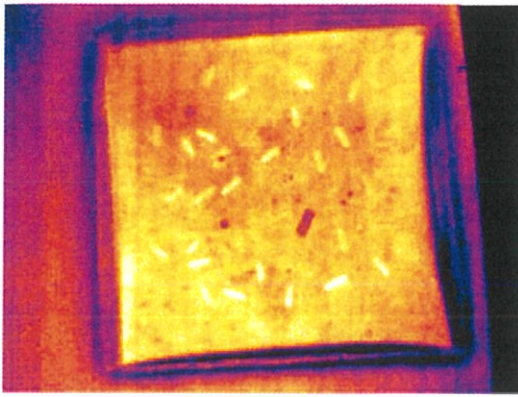


(ง)

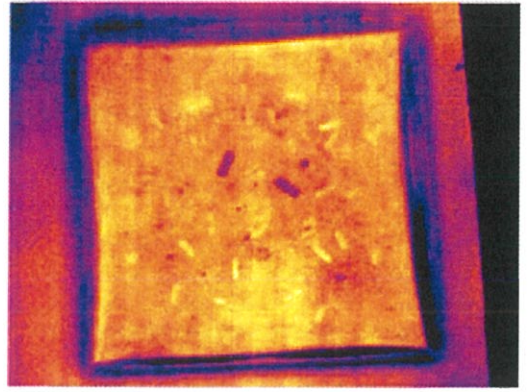


(จ)

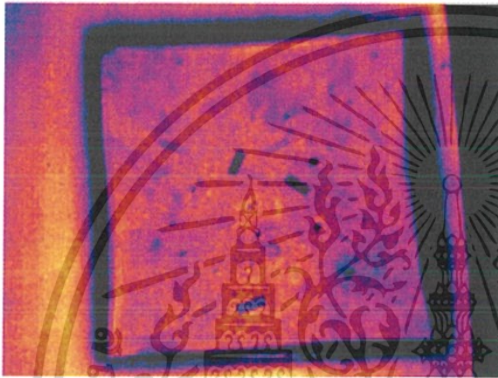
ภาพที่ 4.8 ภาพถ่ายความร้อนของข้าว-เศษกระดาก โดยมีอัตราส่วน ข้าว:เศษกระดาก  
(ก) 29:1 (ข) 28:2 (ค) 27:3 (ง) 26:4 (จ) 25:5



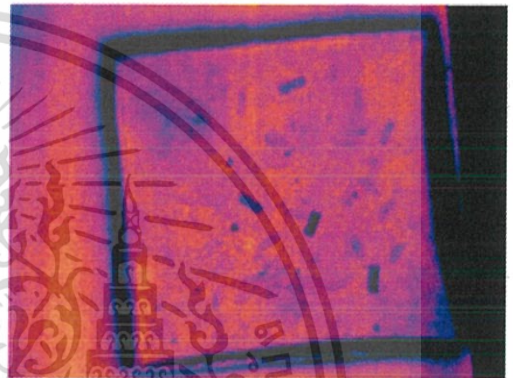
(ก)



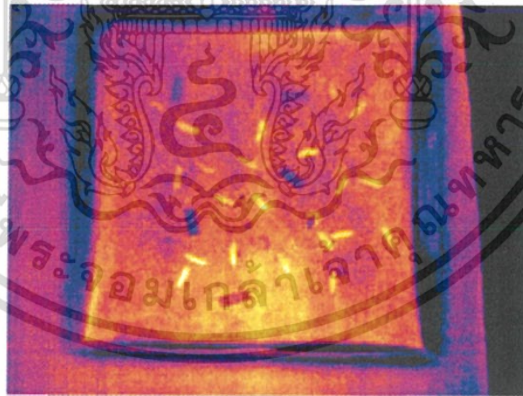
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 4.9 ภาพถ่ายความร้อนของข้าว-พลาสติก โดยมีอัตราส่วน ข้าว:พลาสติก

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

#### 4.2.2 โปรแกรมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับข้าว

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

ตารางแสดงค่าความผิดพลาดของการประมวลผล

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลอง ข้าว-เศษไม้

จำนวนเมล็ดข้าว	จำนวนสิ่งแปลกปลอม (เศษไม้)	จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจจับได้ (เศษไม้)	ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น
29	1	1	0
28	2	2	0
27	3	3	0
26	4	3	1
25	5	4	1

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลอง ข้าว-ก้อนหิน

จำนวนเมล็ดข้าว	จำนวนสิ่งแปลกปลอม (ก้อนหิน)	จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจจับได้ (ก้อนหิน)	ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น
29	1	1	0
28	2	2	0
27	3	3	0
26	4	4	0
25	5	5	0

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลอง ข้าว-เศษกระดาษ

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

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลอง ข้าว-พลาสติก

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

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

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

ผลการทดลองการหาเวลาที่ดีที่สุดสำหรับการถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมพบว่าในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมแต่ละชนิดที่ปะปนในข้าวมีเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพแตกต่างกัน ดังนี้ เศษไม้ที่ปะปนมาในข้าวเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพคือ วินาทีที่ 4 ก้อนหินที่ปะปนมาในข้าวเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพคือ วินาทีที่ 5 เศษกระดาษที่ปะปนมาในข้าวเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพคือ ช่วงวินาทีที่ 5-8 และพลาสติกที่ปะปนมาในข้าวเวลาที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพคือ ช่วงวินาทีที่ 4-5 เนื่องจากมีความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลาดังกล่าวอย่างชัดเจน

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

ในการวิจัยตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในข้าวด้วยการประมวลผลภาพ 2 มิติผสมกับภาพถ่ายความร้อน การประมวลผลภาพแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การประมวลผลภาพ 2 มิติที่สามารถระบุสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลพื้นที่และเส้นทแยงมุมของวัตถุที่แตกต่างจากข้าว และการประมวลผลภาพความร้อนที่สามารถระบุสิ่งแปลกปลอมโดยใช้การประมวลผลของสีที่แตกต่างจากภาพถ่ายความร้อนหลังจากที่วัตถุถูกกระตุ้นความร้อน เนื่องจากวัตถุต่างชนิดกัน จะมีคุณสมบัติเชิงความร้อนแตกต่างกัน เมื่อถูกกระตุ้นด้วยความร้อนรังสีความร้อนที่แผ่ไปยังกล้องถ่ายภาพความร้อนของวัตถุต่างชนิดกันจะแตกต่างกัน จึงทำให้เห็นสีของภาพถ่ายความร้อนหลังการกระตุ้นความร้อนต่างกัน

จากผลการทดลองการประมวลผลภาพ 2 มิติ พบว่าระบบสามารถแยกหินและเศษไม้ออกจากข้าวได้ แต่ไม่สามารถแยกพลาสติกที่ปะปนในข้าวได้เนื่องจากพลาสติกมีขนาดและเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกับข้าว และในผลการทดลองการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนพบว่าระบบสามารถแยกเศษไม้และพลาสติกออกจากข้าวได้ แต่ไม่สามารถแยกหินปะปนในข้าวได้เนื่องจากหินมีคุณสมบัติทางความร้อนใกล้เคียงกับข้าว ดังนั้นพบว่าประมวลผลภาพ 2 มิติไม่สามารถแยกสิ่ง

แลกเปลี่ยนที่มีขนาดและเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกับข้าวได้ และการประมวลผลภาพความร้อนไม่สามารถแยกสิ่งแลกเปลี่ยนที่มีคุณสมบัติทางความร้อน เช่น สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน ค่าความจุความร้อนจำเพาะใกล้เคียงกับข้าว จึงมีการนำการประมวลผลภาพ 2 มิติผสมกับการประมวลผลภาพความร้อนในการตรวจจับสิ่งแลกเปลี่ยนที่ปะปนในข้าว เพื่อให้ระบบมีความสามารถตรวจจับได้ทั้งสิ่งแลกเปลี่ยนที่มีขนาดใกล้เคียงกับข้าว และมีคุณสมบัติเชิงความร้อนเหมือนกับข้าว

## 5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

จากงานวิจัยการตรวจจับสิ่งแลกเปลี่ยนที่ปะปนในข้าวด้วยการประมวลผลภาพ 2 มิติผสมกับการประมวลผลภาพความร้อน โดยระบบการตรวจจับนี้สามารถระบุพิกัดและนับจำนวนสิ่งแลกเปลี่ยนที่ปะปนในข้าวได้ ซึ่งสามารถนำงานวิจัยไปพัฒนาต่อโดยเพิ่มระบบในการกำจัดสิ่งแลกเปลี่ยนที่ตรวจจับได้ออกจากการกระบวนการ



## บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย

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

Nunak, T., Rakruangdet, 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

Scopus

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

#### Document details

[◀ Back to results](#) [◀ Previous](#) 6 of 41 [Next ▶](#)

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

Lecture Notes in Engineering and Computer Science  
Volume 1, 2015, Pages 323-327  
International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2015, IMECS 2015: The Royal Garden Hotel Tsimshatsui, Kowloon, Hong Kong; 18 March 2015 through 20 March 2015, Code 112542

#### Thermal image resolution on angular emissivity measurements using infrared thermography (Conference Paper)

Nunak, T., Rakruangdet, K., Nunak, N., Suesut, T.

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Ladkrabang Bangkok, Thailand

#### 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°. 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.

[View references \(9\)](#)

#### Author keywords

[Electrical equipment](#) [Emissivity measurements](#) [Thermal image resolution](#) [Thermal imager](#) [Viewing angle](#)

# 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°. 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° 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].

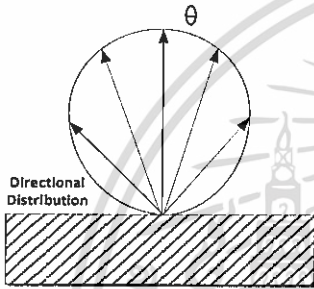


Fig. 1. Radiation emitted by a real surface at various directions or viewing angles ( $\theta$ )

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.

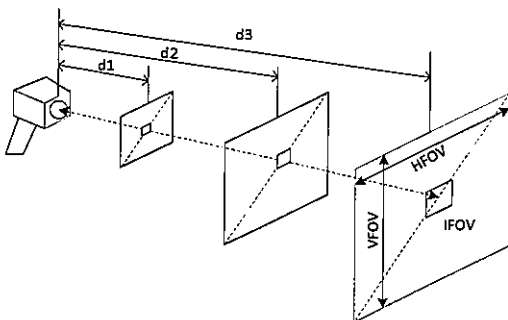


Fig.2. Spatial resolution at a different object to camera distances

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  $45^\circ$  to the normal direction along with their original photograph are presented in Fig.4.

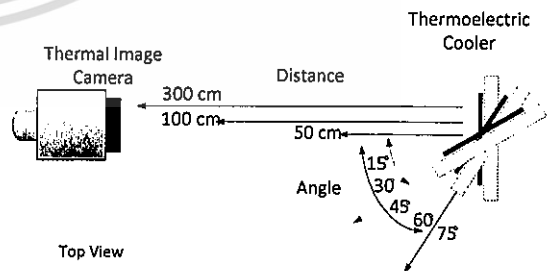
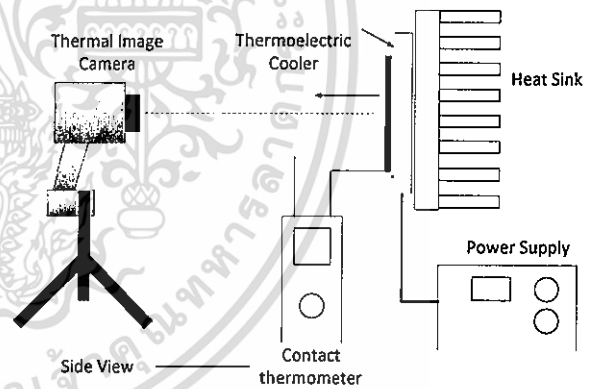


Fig. 3. Schematic of a typical experimental setup

### 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  $\pm 2^\circ\text{C}$  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.

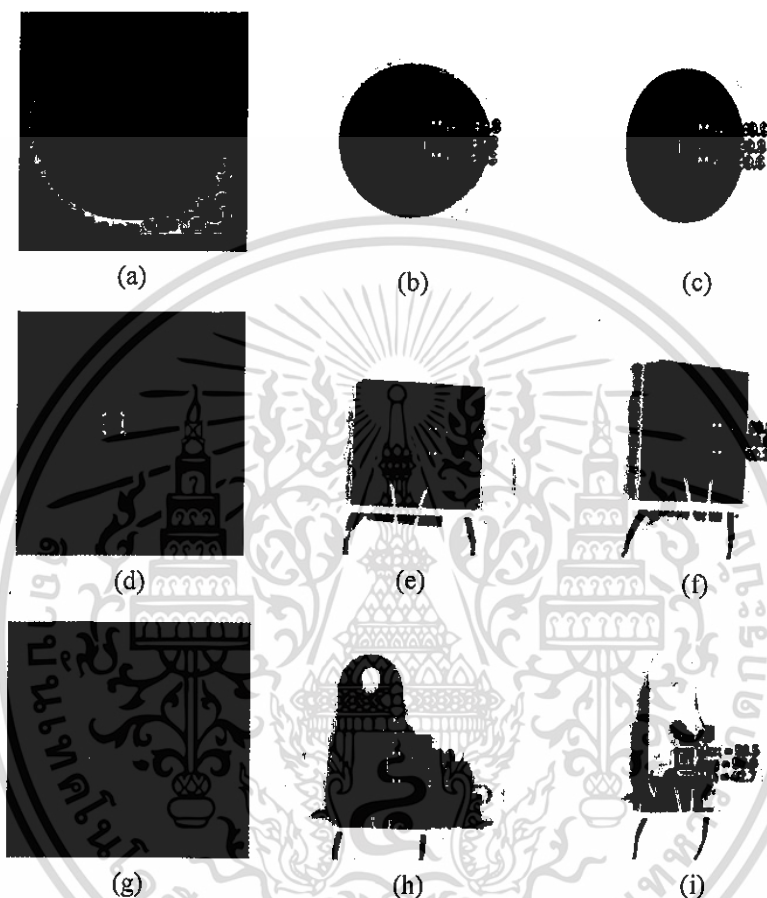


Fig. 4. Typical (a, d, g) original photograph and thermal images (b, e, h) at normal direction and (c, f, i) at 45° to the normal direction of blackbody, black painted sheet, and galvanized zinc sheet, respectively

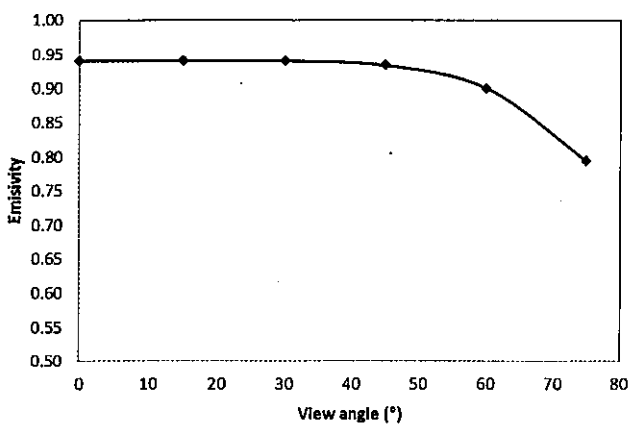
### C. Measurement Method

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.

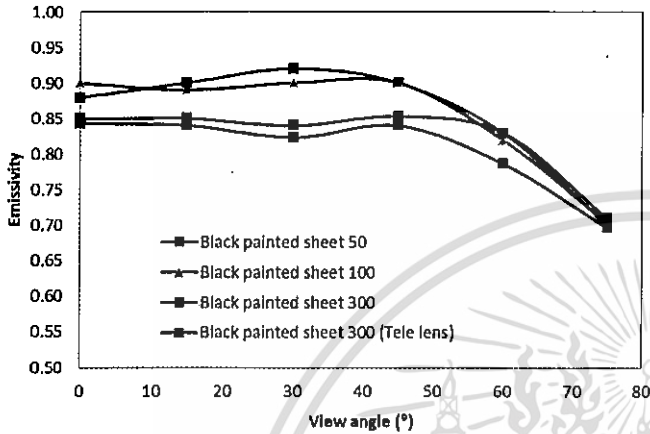
Temperature of sample surface measured by TI was simultaneously measured with a J-type contact thermocouple, in order to record the actual temperature, which are placed on the sample surface, close to the area

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.

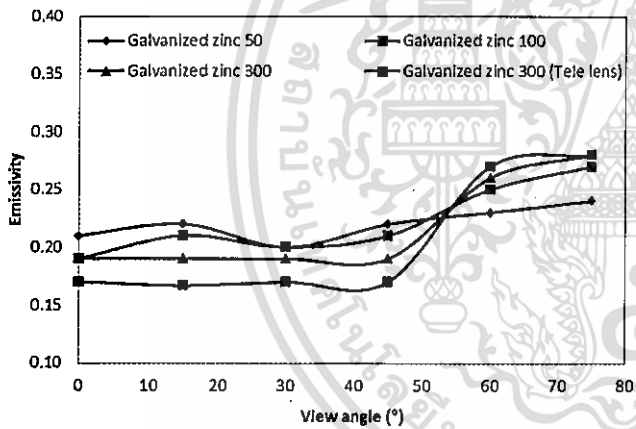
Experiments were performed on two types of samples: square piece of black painted sheet, as a representative of the high emissivity sample, and galvanized steel sheet, as a representative of the low emissivity sample, as a part of the electrical distribution equipment such as PG clamp, connector or bolt. 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  $45^\circ$ . 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. Rotrugsu, 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](#) [Email](#) [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., Nunak, N.<sup>a</sup> & Suesut, T.<sup>b</sup> & P.

<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.

# 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.

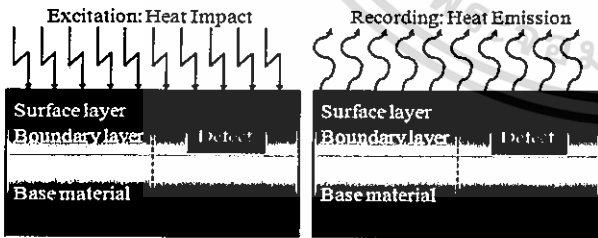


Fig. 1. Principle of active thermography (adapted from P. Meinlschmidt)

### 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.

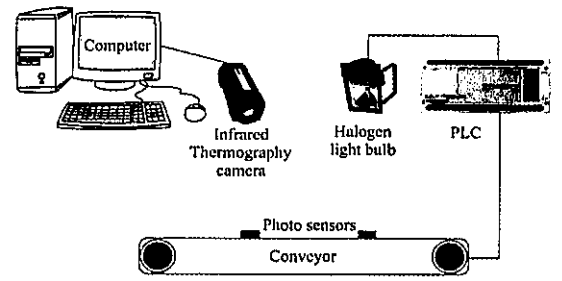


Fig. 2. The detection system for foreign bodies in roasted coffee by using Active thermography.

TABLE I  
TECHNICAL CHARACTERISTIC OF IR CAMERA [15]

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.)
I FOV	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.

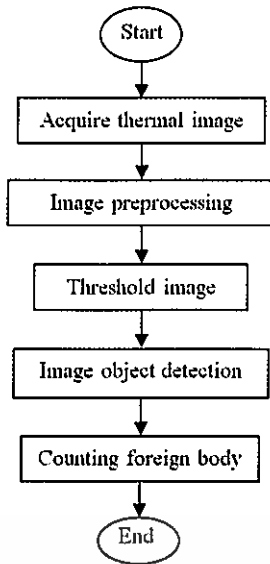


Fig. 3. Image processing for detecting foreign bodies

### 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.

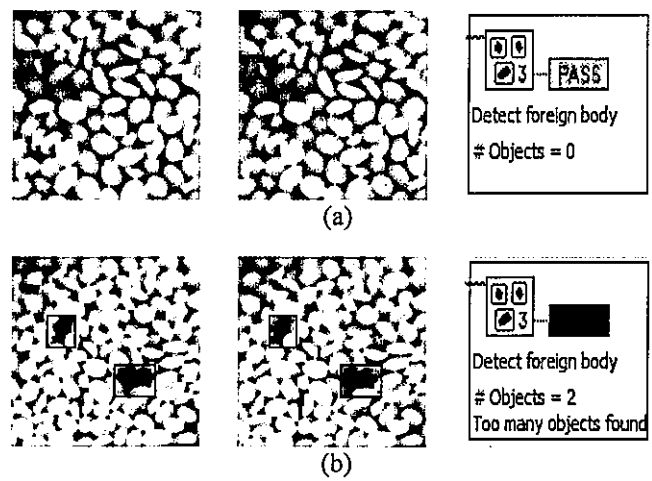


Fig. 4. The examples for detecting foreign bodies. There are thermal images from infrared thermography camera, gray images converted by FLIR IR Camera Player software and the result from the program. (a) The detection of stones in roasted coffee, there is no any foreign body, the program cannot detect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

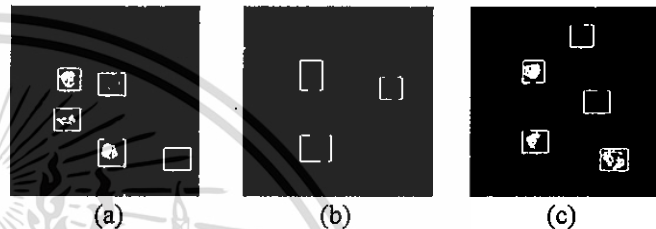


Fig. 5. Examples of roasted coffee beans and stones are mixed together. (a) 5 pieces of stones in roasted coffee, (b) 3 pieces of stones in roasted coffee and (c) 5 pieces of stones in roasted coffee

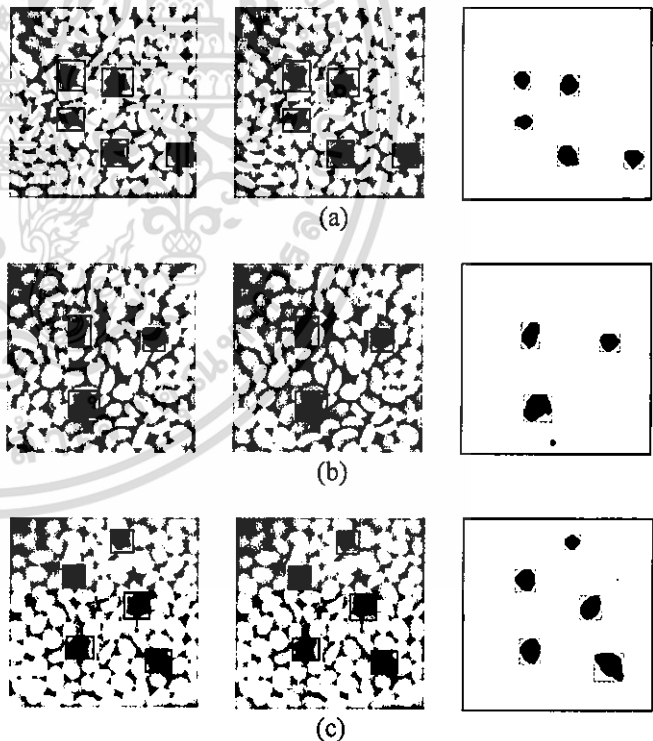


Fig. 6. The examples of counting the number of foreign bodies from Fig. 5. There are thermal images from infrared thermography camera, gray image converted from FLIR IR Camera Player software and the result from the program. (a) The detection of stone in roasted coffee, the program can count 5 from 5 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 ( $^{\circ}\text{C}$ ). 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.

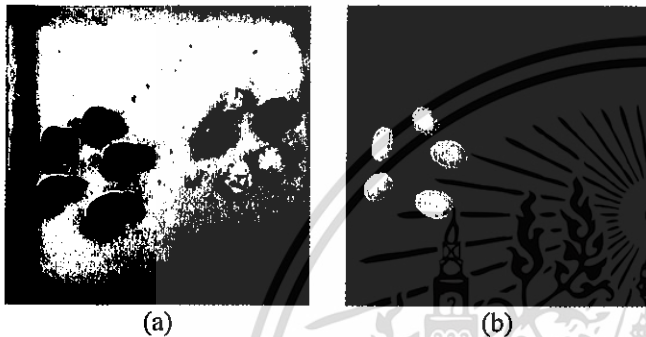


Fig. 7. The image and gray image of sample tray is placed with 5 pieces of roasted coffee beans and 5 pieces of stones.

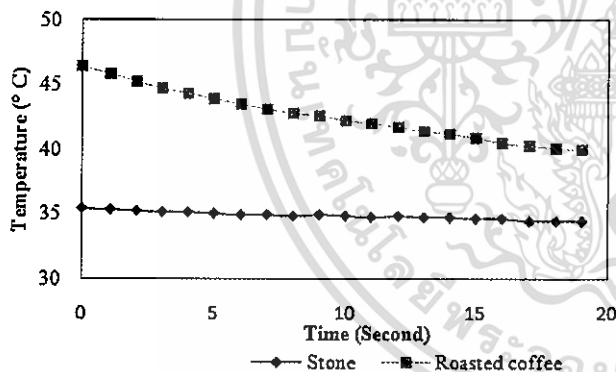


Fig. 8. Temperature curves of the sample in cooling times after the coffee beans and stones are heated about 4 seconds. In x-axis represents the time (seconds) and the y-axis represents the temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ).

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

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. Meinslshmidi, "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. Meinslshmidt, "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. Rakrueangdet, 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>

## บรรณานุกรม

- จันทร์เพ็ญ โทมัส. (2551). การประมวลผลภาพแบบดิจิทัล (Digital Image Processing).  
วิธีการทดลองทางฟิสิกส์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ใจทิพย์ วานิชซึ่ง, พัทณี บุญธกานนท์, กรรณิกา กระแสโทและประทุมพร เสาวพันธ์. (2545). ศึกษา  
กรรมวิธีในการเพิ่มคุณภาพข้าว. รายงานการวิจัยสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล สถาบัน  
เทคโนโลยีราชมงคล. ชลบุรี. น. 153-156.
- ชัยยันต์ จันทร์ศิริ. เครื่องตัดขนาดถั่วลิสงเมล็ดโตแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน. ศูนย์นวัตกรรม  
เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ณัฐวุฒิ เนียมสอนและทวีชัย นิมาแสง. (2551). เครื่องทำความสะอาดเมล็ดถั่วเหลืองโดยใช้ความ  
ถ่วงจำเพาะ. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ถนอมขวัญ ช่างงาม สุรศักดิ์ เนียมแก้วและณัฐวุฒิ เนียมสอน. (2546). การศึกษาผลของมุม และ  
ความถี่ที่มีผลต่อเครื่องตัดแยกถั่วเหลืองแบบเขย่า. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บ  
เกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์และชัยยันต์ จันทร์ศิริ. (2549). เครื่องตัดขนาดถั่วลิสงเมล็ดโตแบบตะแกรง  
ทรงกระบอกหมุน. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.  
ป.ท.).
- ธริษตรี จุลกัทัพพะและเรืองชัย พันธุ์บุตร. (2531). เครื่องตัดขนาดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ประเภทใช้  
แรงคน. รายงานของนักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (ม.ป.ท.).
- นวกัทธา หนูนา และทวีพล ชื้อสัตย์. (2555). การวัดและเครื่องมือวัด (Measurement and  
Instrumentation). กรุงเทพฯ : มิน เซอร์วิส ซัพพลาย
- พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก, พงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ, จักรพงษ์ กลิ่นสะอาดและศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล. (2545).  
การศึกษาการใช้แรงของสนามแม่เหล็กในการตัดแยกเมล็ดพืช. พิมพ์ครั้งที่ 6. น. 330-334.
- มนตรี พิรุณเกษตร. (2548). การถ่ายเทความร้อน ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์. พิมพ์  
ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: วิทย์พัฒนา
- ยุทธพงศ์ ทัพผดุง, ธิระวัฒน์ หนูนา, ทวีพล ชื้อสัตย์และนวกัทธา หนูนา. (2555). การใช้  
เทคโนโลยีภาพถ่ายความร้อนอินฟราเรดอย่างมืออาชีพ. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย  
ในพระบรมราชูปถัมภ์. น. 30.
- วินิต ชินสุวรรณ, นิพนธ์ ป้องจันทร์, สมชาย ชวนอุดมและวราจิต พยอม. (2545). การประเมินความ  
สูญเสียจากการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืช. พิมพ์ครั้งที่ 6. น. 242-247.
- สุนีย์ โฆษิตประเสริฐ. (2550). หลักการพื้นฐานในการจัดเก็บ. ค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2555. จาก  
[http://kpp-rsc.ricethailand.go.th/image/rice/Manage\\_storage/1storage-1.pdf\(07/04/2007\)](http://kpp-rsc.ricethailand.go.th/image/rice/Manage_storage/1storage-1.pdf(07/04/2007)).
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2555). ข้อมูลด้านการผลิตและ  
การตลาดสินค้าเกษตรที่สำคัญ. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

- สมชัย เทพศิลป์วิสุทธิ์. (2552). เครื่องคัดแยกเมล็ดข้าวกล้องออกจากข้าวเปลือก. นิตยสาร เทคโนโลยีเครื่องกล. น. 77-80.
- 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.
- Ginesu, G., Giusto, D. D., and Märgner, V. (2004). Detection of Foreign Bodies in Food by Thermal Image Processing. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, (51), p. 480-490.
- Gubareff, G. G., Janssen, J. E. and Torborg, R. H. (1960). *Thermal Radiation Properties Survey*. Minneapolis-Honeywell Regulation Company, Minneapolis, MN: (N.P.)
- Gruner, K.D. (2553). *Principles of Non-Contact Temperature Measurement*. Retrieved December 28, 2012, from: [http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR\\_THEORY\\_55514\\_ENG\\_REVB\\_LR.PDF](http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR_THEORY_55514_ENG_REVB_LR.PDF).
- Ghazanfari A, Irudayaraj J, Kusalik A. (1996). Grading pistachio nuts using a neural network approach. *Transactions of the American Society of Agricultural & Biological Engineers* 39(6): 2319-2324.
- Huang KY. (2011). Detection and classification of areca nuts with machine vision. *Computers & Mathematics with Applications* 64(5): 739-746.
- Hobson, D. M., Carter R. M. and Yan, Y. (2007). Characterisation and Identification of Rice Grains through Digital Image Analysis. *Instrumentation and Measurement, Technology Conference - IMTC 2007: Warsaw, Poland*. p. 1-5
- Jeng, L. L., Chuen, S. L. and Chung, T. S. (1998). Measurement and analysis of ignition behavior for peanut shell during combustion. *Agricultural Machinery Engineering, China: National Chung-Hsing University*, 7(3), p. 63-73.
- Kazarian, E. A. and Hall, C. W. (1965). Thermal properties of grains. *Transactions of the ASAE*, 48(8), p. 33-37.
- Kreith, F. and Kreider, J. F. (1978). *Principle of solar Energy*. New York: Hemisphere Publishing
- Ledbetter C. A. (2007). Shell cracking strength in almond (*Prunus dulcis* [Mill.] D.A. Webb.) and its implication in uses as a value-added product. *Bioresource Technology*, (99), p. 5567-5573.

- Manickavasagan, A., Jayas, D. S. and White, N. D. G. (2007). **Wheat class identification using monochrome images**. *Journal of Cereal Science*, (47), p. 518-527.
- Mollazade, K., Omid, M., and Arefi, A., (2012). **Comparing data mining classifiers for grading raisins based on visual features**. *Computers and Electronics in Agriculture*, (84), p. 124–131.
- Nakariyakul S, Casasent D. (2011). **Classification of internally damaged almond nuts using hyperspectral imagery**. *Journal of Food Engineering* 103(1): 62-67
- Omid M, Asghar MO, Mohammad H. (2009). **An intelligent system for sorting pistachio nut varieties**. *Expert Systems with Applications* 36(9): 28-35.
- 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.
- P. Meinschmidt (2005), **Thermographic detection of defects in wood and wood-based materials**, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Institute for wood research, Braunschweig Germany
- Pearson T, Toyofugu N. (2000). **Automated sorting of pistachio nuts with closed shells**. *Applied Engineering in Agriculture* 16(1): 91–94.
- Pearson TC, Slaughter DC. (1996). **Machine vision detection of early split pistachio nuts**. *Transactions of the American Society of Agricultural & Biological Engineers* 9 (3): 1203–1207.
- Ramstad, P. E. and Geddes, W. F. (1942). **The respiration and storage behavior of soybeans**. *Univ. Minn. Tech. Bul.* p. 156.



แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 2 รอบ 12 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2558

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)  แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การออกแบบและพัฒนาระบบจักรกลวิทัศน์ภาพถ่ายความร้อนสำหรับตรวจจับสิ่งแปลกปลอม  
ในเมล็ดแบบอัตโนมัติ

(ภาษาอังกฤษ) Design and development of thermal image machine vision system for automatic  
foreign bodies detection in grains

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558

ระยะเวลาดำเนินการ 1 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2558

ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย

1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)

งวดที่ 1 294,000 บาท 30 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 12 พฤศจิกายน 2557

งวดที่ 2 686,000 บาท 70 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 24 เมษายน 2558

2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้จ่าย			
ค่าวัสดุ	980,000	980,000	0
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
รวม	980,000	980,000	0

( รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์ )

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

20 / ก.ค. / 2558

( )

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

/ / 2558



**แบบรายงานการใช้จ่ายเงินโครงการวิจัย**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 1 รอบ 6 เดือน ประจำปีงบประมาณ 2558**

แหล่งงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)  แหล่งเงินรายได้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การออกแบบและพัฒนาระบบจักรกลวิทัศน์ภาพถ่ายความร้อนสำหรับตรวจจับสิ่งแปลกปลอม  
 ในเมล็ดแบบอัตโนมัติ.....

(ภาษาอังกฤษ) Design and development of thermal image machine vision system for automatic  
 foreign bodies detection in grains.....

ชื่อ-สกุลหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน/ผู้วิจัย รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์.....

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2557..... ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2558.....

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

**ข้อมูลการรายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณโครงการวิจัย**

**1. การเบิกจ่ายงบประมาณ (กรณีการจ่ายเงินถ้าจ่ายงวดเดียวให้ลบข้อที่ไม่เกี่ยวข้องออก)**

งวดที่ 1 294,000 บาท 30 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว) 12 พฤศจิกายน 2557.....

งวดที่ 2 686,000 บาท 70 % วันที่ได้รับอนุมัติให้เบิกจ่ายเงิน (ป/ด/ว).....

**2. สรุปงบประมาณค่าใช้จ่ายที่นับตั้งแต่เริ่มทำการวิจัยถึงปัจจุบัน (จำแนกตามหมวดค่าใช้จ่าย)**

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร :ค่าจ้างชั่วคราว			
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน			
ค่าใช้จ่าย			
ค่าวัสดุ	980,000	294,000	686,000
ค่าสาธารณูปโภค			
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์			
รวม	980,000	294,000	686,000

(.....รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์.....)

ลงนามหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

..... 8 /เม.ย. / 2558.....

(.....)

ลงนามเจ้าหน้าที่การเงิน/เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

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

## ประวัติคณะผู้วิจัย

## ก. หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล นาย ทวีพล ชื่อสัตย์  
Mr. Taweepol SUESUT
2. เลขหมายบัตรประชาชน 3250400144339
3. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์  
เงินเดือน 30,740 บาท  
เวลาที่ใช้ในการทำวิจัย 30 ชั่วโมงต่อสัปดาห์
4. หน่วยงาน/  
สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เขตลาดกระบัง กทม. 10520  
โทรศัพท์ 02-329-8347-8 โทรสาร 02-329-8349  
E-mail kstaweep@kmitl.ac.th และ taweepol.suesut@yahoo.com

## 5. ประวัติการศึกษา

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

## 6. สาขาวิชาที่ชำนาญพิเศษ

- การออกแบบเครื่องจักรและระบบโรงงานอัตโนมัติ
- การวัดคุมทางอุตสาหกรรม
- การวัดและทดสอบ
- ระบบตรวจสอบด้วยแมชชีนวิชั่น ประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมอาหาร

## ประสบการณ์ภาคอุตสาหกรรม

- ที่ปรึกษาในการออกแบบ สร้างเครื่องตรวจสอบคุณภาพของตัวเก็บประจุกำลังในโรงงานพานาโซนิคมัสซึชิตะประเทศไทย จำกัด
- ที่ปรึกษาในการออกแบบ ติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงงานเครื่องระยองพานอล
- ที่ปรึกษาในการออกแบบติดตั้งระบบแสดงผลแจ้งการทำงานในโรงงานฮอนด้า แมนูแฟคเจอร์ ประเทศไทย

## ผลงานทางวิชาการ

## ตำรา

1. ทวีพล ชื่อสัตย์ 2545, การวิจัยดำเนินงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 178 หน้า

2. นวภัทรา หนูนาค และ ทวีพล ชี้อัสตัย, 2555, การวัดและเครื่องมือนวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 316 หน้า
3. ยุทธพงศ์ ทัพผดุง, ชีระวัฒน์ หนูนาค, ทวีพล ชี้อัสตัย และ นวภัทรา หนูนาค 2555, การใช้เทคโนโลยีกล้องถ่ายภาพความร้อนอย่างมืออาชีพ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 120 หน้า

#### 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 Proceeding ย้อนหลัง 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", International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2012(IMECS 2012), Hong Kong, 14-16 March, 2012
- C. Chaiyachit, S. Sathamsakul, W. Sriratana and T. Suesut, " Hall Effect Sensor for Measuring Metal Particles in Lubricant", International 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 KCU 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 KCU 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 Kittitiraseseth**, “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 Kittitiraseseth**, “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

- Taweeapol 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 Taweeapol 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 Taweeapol 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

### 7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย

#### แหล่งทุนภายนอก

##### สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

โครงการวิจัย การออกแบบเครื่องมือวัดความเข้มข้นและพัฒนาระบบควบคุมในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีออสโมติก ประจำปีงบประมาณ 2552

##### กองทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

- 1) โครงการวิจัย การออกแบบระบบเปลี่ยนแหล่งจ่ายสายส่งแรงสูงแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยพีแอลซี ปี พ.ศ. 2555
- 2) โครงการวิจัย การวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี พ.ศ. 2553

##### โครงการ IRPUS สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม

##### ปีการศึกษา 2552

- 1) โครงการวิจัย การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบเนื้อสัมผัสและความเค็มของแมงกะพรุนดอง
- 2) โครงการวิจัย การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของน้ำกระเจี๊ยบในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

#### แหล่งทุนภายใน

##### กองทุนวิจัย สจล.

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

เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

- 1) โครงการวิจัย ระบบตรวจสอบความลึกของร่องยางรถยนต์แบบเวลาจริงด้วยเมซซีนิวชั่น  
ประจำปีงบประมาณ 2556
- 2) โครงการวิจัย การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อลดพลังงานที่สูญเสียในเครื่องจักรไฟฟ้า

ประจำปีงบประมาณ 2555

- 3) โครงการวิจัย ระบบเปลี่ยนแหล่งจ่ายสายส่งแรงสูงแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยพีแอลซี  
ประจำปีงบประมาณ 2555
- 4) โครงการวิจัย ระบบควบคุมอุณหภูมิที่พื้นผิวสำหรับการสอบเทียบกล้องถ่ายภาพความร้อน

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2554

- 5) โครงการวิจัย เครื่องตัดขนาดปลาแบบอัตโนมัติด้วยเทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2553

## 7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

แหล่งทุนภายนอก

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

- 1) โครงการวิจัย การออกแบบเครื่องมือวัดความเข้มข้นและพัฒนาระบบควบคุมในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีออสโมติก (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)  
เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2554

กองทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

- 1) โครงการวิจัย การออกแบบระบบเปลี่ยนแหล่งจ่ายสายส่งแรงสูงแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยพีแอลซี ปี พ.ศ. 2556
- 2) โครงการวิจัย การวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี พ.ศ. 2555

โครงการ IRPUS สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2553

- 1) โครงการวิจัย การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบเนื้อสัมผัสและความเค็มของแมงกะพรุนดอง (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- 2) โครงการวิจัย การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของน้ำกระเจี๊ยบในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน (หัวหน้าโครงการวิจัย)

- 3) โครงการวิจัย การศึกษาหาวิธีแก้ปัญหาสภาพหัวเหลืองของกุ้งแดงหลังละลาย  
(ผู้ร่วมโครงการวิจัย)
- 4) โครงการวิจัย การพัฒนาการแปรรูปขิงผงแบบอัตโนมัติในระหว่างกระบวนการระเหย  
น้ำ

(ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

- 5) โครงการวิจัย การผลิตน้ำมันหอมระเหยจากไอน้ำระเหยทิ้งในกระบวนการผลิตขิงผง

(ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

แหล่งทุนภายใน

เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

- 1) โครงการวิจัย การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อลดพลังงานที่สูญเสียในเครื่องจักร  
ไฟฟ้า

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2556 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

- 2) โครงการวิจัย ระบบเปลี่ยนแหล่งจ่ายสายส่งแรงสูงแบบอัตโนมัติควบคุมด้วยพีแอลซี

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2556 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

- 3) โครงการวิจัย การวัดปริมาตรผักและผลไม้จากพิกัดเชิงเรขาคณิตด้วยโครงสร้างแสง  
สามมิติ

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2555 (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

- 4) โครงการวิจัย ระบบควบคุมอุณหภูมิที่พื้นผิวสำหรับการสอบเทียบกล้องถ่ายภาพความ  
ร้อน

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2554 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

- 5) โครงการวิจัย เครื่องอบแห้งชนิดควบคุมคุณภาพด้วยเทคนิคการวัดการแผ่รังสี  
อินฟราเรด

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2554 (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

- 6) โครงการวิจัย เครื่องคัดขนาดปลาแบบอัตโนมัติด้วยเทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2553 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

7) โครงการวิจัย เครื่องละลายปลาประสิทธิภาพสูงเพื่ออุตสาหกรรม

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2553 (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

#### 7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ

- 1) โครงการวิจัย การวัดขนาดและคัดเลือกชนิดของปลาโดยใช้ลำแสงเลเซอร์ตัดผ่านแบบอัตโนมัติ  
แหล่งทุน กองทุนวิจัย สจล. ประจำปี พ.ศ. 2554 ระยะเวลาการรับทุน 2 ปี  
เสร็จสิ้นไปแล้ว 90% (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- 2) โครงการวิจัย ระบบตรวจสอบความลึกของร่างกายรถยนต์แบบเวลาจริงด้วยแมชชีนวิชั่น  
แหล่งทุน เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2556  
เสร็จสิ้นไปแล้ว 95% (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- 3) โครงการวิจัย การตรวจจับวัตถุแปลกปลอมในอาหารด้วยการประมวลผลภาพ  
แหล่งทุน เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2556  
เสร็จสิ้นไปแล้ว 95% (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

#### ข. ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นาง นวภัทรา หนูนาค  
Mrs.Navaphattra NUNAK
2. เลขบัตรประชาชน 3679900089811
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์  
เงินเดือน 28,410 บาท  
เวลาที่ใช้ทำวิจัย 30 ชั่วโมงต่อสัปดาห์
4. หน่วยงาน/  
สถานที่ติดต่อ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เขตลาดกระบัง กทม. 10520  
โทรศัพท์ 02-329-8356-8 ต่อ 17 โทรสาร 02-329-8356-8 ต่อ 13  
E-mail kbnavaph@kmitl.ac.th และ navaphattra@gmail.com

#### 5. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ชื่อสถานศึกษา
วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)	2542	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (Post-Harvest and Food Process Engineering)	2545	Asian Institute of Technology (AIT)
ปริญญาดุษฎีบัณฑิต Dr.Nat.Tech	2549	University of Natural Resources and

## 6. 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

- นวภัทรา หนูนา และ ทวีพล ชื้อสตัย, 2555, การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 316 หน้า
- ยุทธพงศ์ ทัพผดุง, ชีระวัฒน์ หนูนา, ทวีพล ชื้อสตัย และ นวภัทรา หนูนา 2555, การใช้เทคโนโลยีกล้องถ่ายภาพความร้อนอย่างมืออาชีพ, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 120 หน้า

### 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 Navapattra 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 การวิจัยและพัฒนาระบบการแปรรูปอาหารด้วยกระบวนการออสโมติกแบบอัตโนมิติ  
แหล่งทุน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (ทุนวิจัยมุ่งเป้า) ประจำปีงบประมาณ 2552

### 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

#### แหล่งทุนภายนอก

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

- 1) โครงการวิจัย การศึกษาผลของการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์  
ทุนวิจัยมุ่งเป้า ประจำปีงบประมาณ 2554

สำนักงานส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์

- 1) โครงการวิจัย การออกแบบและพัฒนาเครื่องขจัดน้ำออกจากไซโป้วหลังกระบวนการล้าง  
ประจำปีงบประมาณ 2552

โครงการ IRPUS สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2552

- 1) โครงการวิจัย การศึกษาหาวิธีแก้ปัญหาสภาพหัวเหลืองของกุ้งแดงหลังละลาย
  - 2) โครงการวิจัย การพัฒนาการแปรรูปขิงผงแบบอัตโนมิติในระหว่างกระบวนการระเหยน้ำ
  - 3) โครงการวิจัย การผลิตน้ำมันหอมระเหยจากไอน้ำระเหยทิ้งในกระบวนการผลิตขิงผง
- ปีการศึกษา 2551

- 1) โครงการวิจัย การศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการล้างและลดความเค็มของแมงกะพรุนแห้ง

- 2) โครงการวิจัย การหาวิธีลดระยะเวลาในกระบวนการละลายปลาทูน่าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2550

- 1) โครงการวิจัย การศึกษาหาวิธีลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตไซโป้วหวาน
- 2) โครงการวิจัย การศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมของการกำจัดน้ำออกจากกระบวนการผลิตไซโป้ว

#### แหล่งทุนภายใน

**เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ**

- 1) โครงการวิจัย การตรวจจับวัตถุแปลกปลอมในอาหารด้วยการประมวลผลภาพ/2556
- 2) โครงการวิจัย การออกแบบระบบฆ่าเชื้ออาหารเหลวด้วยวิธีพาสเจอร์ไรซ์อย่างถูกหลักสุขลักษณะ/ 2555
- 3) โครงการวิจัย การศึกษาผลการเขย่าน้ำมันในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และน้ำมันทอด/ 2555
- 4) โครงการวิจัย การวัดปริมาตรผักและผลไม้จากพิกัดเชิงเรขาคณิตด้วยโครงสร้างแสงสามมิติ/2555
- 5) โครงการวิจัย เครื่องอบแห้งชนิดควบคุมคุณภาพด้วยเทคนิคการวัดการแผ่รังสีอินฟราเรด/ 2554
- 6) โครงการวิจัย เครื่องละลายปลาประสิทธิภาพสูงเพื่ออุตสาหกรรม/ 2553
- 7) โครงการวิจัย เครื่องผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นด้วยเทคนิคโอห์มมิกเพื่ออุตสาหกรรม/2552
- 8) โครงการวิจัย ชุดตรวจสอบขนาดปลาด้วยเทคนิค Structured Light Sectioning/ 2551
- 9) โครงการวิจัย ชุดตรวจสอบระดับความสดของกุ้งด้วยแมชชีนวิชั่น/ 2550

**7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว**

**แหล่งทุนภายนอก**

**สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)**

- 1) แผนงานวิจัย การวิจัยและพัฒนาระบบการแปรรูปอาหารด้วยกระบวนการออสโมติกแบบอัตโนมิติ (หัวหน้าแผนงานวิจัย)  
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (ทุนวิจัยมุ่งเป้า)  
ประจำปีงบประมาณ 2552  
เสร็จสิ้นแผนงานวิจัย มิถุนายน พ.ศ. 2556
- โครงการวิจัย การออกแบบเครื่องมือวัดความเข้มข้นและพัฒนาระบบควบคุมในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยวิธีออสโมติก (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)  
เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2554
- โครงการวิจัย การศึกษาผลของการนำสารละลายออสโมติกกลับมาใช้ใหม่ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (หัวหน้าโครงการวิจัย)  
เสร็จสิ้นโครงการวิจัย มิถุนายน พ.ศ. 2556

**สำนักงานส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์**

- 1) โครงการวิจัย การออกแบบและพัฒนาเครื่องขจัดน้ำออกจากไขปิวหลังกระบวนการล้าง  
เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2553 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

**กองทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค**

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

**สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรม**

- 1) โครงการวิจัย การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการละลายและการนึ่งปลาทูน่า เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปลาทูน่ากระป๋อง (ผู้ร่วมโครงการวิจัย) เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี-พ.ศ. 2554
- 2) โครงการวิจัย การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมระบบการนึ่งปลาทูน่า เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปลาทูน่ากระป๋อง (ผู้ร่วมโครงการวิจัย) เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2552

#### โครงการ IRPUS สกว. ฝ่ายอุตสาหกรรม

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2553

##### หัวหน้าโครงการวิจัย

- 1) โครงการวิจัย การศึกษาหาวิธีแก้ปัญหาสภาพหัวเหลืองของกุ้งแดงหลังละลาย
- 2) โครงการวิจัย การพัฒนาการแปรรูปชิงฝงแบบอัตโนมัติในระหว่างกระบวนการระเหยน้ำ
- 3) โครงการวิจัย การผลิตน้ำมันหอมระเหยจากไอน้ำระเหยทิ้งในกระบวนการผลิตชิงฝง  
ผู้ร่วมโครงการวิจัย
- 4) โครงการวิจัย การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบเนื้อสัมผัสและความเค็มของแมงกะพรุนดอง
- 5) โครงการวิจัย การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของน้ำกระเจียบในระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2552

- 1) โครงการวิจัย การศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมสำหรับการล้างและลดความเค็มของแมงกะพรุนแห้ง (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- 2) โครงการวิจัย การศึกษาหาวิธีลดระยะเวลาในกระบวนการละลายปลาทูน่าด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า (หัวหน้าโครงการวิจัย)

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2551

- 1) โครงการวิจัย การศึกษาหาวิธีลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตไซโป๊วหวาน (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- 2) โครงการวิจัย การศึกษาหากรรมวิธีที่เหมาะสมของการกำจัดน้ำออกจากกระบวนการผลิตไซโป๊ว

(หัวหน้าโครงการวิจัย)

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

แหล่งทุนภายใน

เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

- 1) โครงการวิจัย การออกแบบระบบฆ่าเชื้ออาหารเหลวด้วยวิธีพาสเจอร์ไรซ์อย่างถูกหลัก  
สุขลักษณะ (หัวหน้าโครงการวิจัย)

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2555

- 2) โครงการวิจัย การศึกษาผลการเขย่าน้ำมันในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมที่มีต่อ  
คุณภาพของผลิตภัณฑ์และน้ำมันทอด (หัวหน้าโครงการวิจัย)

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2555

- 3) โครงการวิจัย การวัดปริมาตรผักและผลไม้จากพิกัดเชิงเรขาคณิตด้วยโครงสร้างแสง  
สามมิติ

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2555 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

- 4) โครงการวิจัย การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อลดพลังงานที่สูญเสียในเครื่องจักร  
ไฟฟ้า

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2555 (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

- 5) โครงการวิจัย เครื่องอบแห้งชนิดควบคุมคุณภาพด้วยเทคนิคการวัดการแผ่รังสี  
อินฟราเรด

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2554 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

- 6) โครงการวิจัย ระบบควบคุมอุณหภูมิที่พื้นผิวสำหรับการสอบเทียบกล้องถ่ายภาพความ  
ร้อน

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2554 (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

- 7) โครงการวิจัย เครื่องละลายปลาประสิทธิภาพสูงเพื่ออุตสาหกรรม

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2553 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

- 8) โครงการวิจัย เครื่องคัดขนาดปลาแบบอัตโนมัติด้วยเทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2553 (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

9) โครงการวิจัย เครื่องผลิตน้ำผลไม้เข้มข้นด้วยเทคนิคโอห์มมิกเพื่ออุตสาหกรรม

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2552 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

10) โครงการวิจัย ชุดตรวจสอบขนาดปลาด้วยเทคนิค Structured Light Sectioning

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2551 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

11) โครงการวิจัย ชุดตรวจสอบระดับความสดของกุ้งด้วยแมชชีนวิชั่น

เสร็จสิ้นโครงการวิจัย ปี พ.ศ. 2550 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

#### 7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ

- 1) โครงการวิจัย การตรวจจับวัตถุแปลกปลอมในอาหารด้วยการประมวลผลภาพ  
แหล่งทุน เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2556  
เสร็จสิ้นไปแล้ว 95% (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- 2) โครงการวิจัย ระบบตรวจสอบความลึกของร่างกายรถยนต์แบบเวลาจริงด้วยแมชชีนวิชั่น  
แหล่งทุน เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ประจำปีงบประมาณ 2556  
เสร็จสิ้นไปแล้ว 95% (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)