


ระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชโดยใช้วิธีการนอกที่ฟเทอร์โมกราฟี  
DETECTION OF FOREIGN BODIES IN GRAINS  
USING ACTIVE THERMOGRAPHY



ธนากร เฉลิมชุตติเดช  
ชวกรกน กนกนารัฐ  
ธีรดา เมธิโชติเศรษฐ์

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2555

ระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชโดยใช้วิธีการแอกทีฟเทอร์โมกราฟี  
DETECTION OF FOREIGN BODIES IN GRAINS  
USING ACTIVE THERMOGRAPHY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

DETECTION OF FOREIGN BODIES IN GRAINS  
USING ACTIVE THERMOGRAPHY



THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG


ACADEMIC YEAR 2012

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของธัญพืชโดยใช้วิธีการแอกทีฟเทอร์โมกราฟี  
DETECTION OF FOREIGN BODIES IN GRAINS USING  
ACTIVE THERMOGRAPHY

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธนาธร เฉลิมชุตติเดช รหัสนักศึกษา 52010471  
นายธรกรณก แก่นธนารัฐ รหัสนักศึกษา 52010491  
นายธีรดา เมธิ์โชติเศรษฐ์ รหัสนักศึกษา 52010516

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2555

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** ระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชโดยใช้วิธีการแอกทีฟเทอร์โมกราฟี  
DETECTION OF FOREIGN BODIES IN GRAINS USING  
ACTIVE THERMOGRAPHY

**นักศึกษาผู้จัดทำ** นายธนาธร เฉลิมชุตติเดช รหัสนักศึกษา 52010471  
นายธรรณก แก่นธนารัฐ รหัสนักศึกษา 52010491  
นายธีรดา เมธิโชติเศรษฐ์ รหัสนักศึกษา 52010516

**อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ชี้อัสตย์

**ปีการศึกษา** 2555

### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอระบบตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช ด้วยวิธีแอกทีฟเทอร์โมกราฟี โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง จากนั้นใช้การตรวจจับด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน เนื่องจากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ต่างกัน ดังนั้นรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจึงมีค่าต่างกัน ทำให้สามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้ วิธีนี้เหมาะสมกับการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอโลหะ ที่มีสีและขนาดเหมือนกันกับเมล็ดพืช ซึ่งการตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพวิธีเดิมทำได้ยาก ระบบตรวจสอบนี้ประกอบด้วย สายพานลำเลียง แหล่งกำเนิดความร้อนจากหลอดฮาโลเจน ซึ่งทั้งหมดควบคุมด้วยพีแอลซี กล้องถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรดช่วงความยาวคลื่น 8-14 ไมโครเมตร และคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพแบบเวลาจริงโดยใช้โปรแกรม Vision Builder Ai ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ คือ เมล็ดถั่วลิสง เมล็ดถั่วแดง และสิ่งแปลกปลอม คือ เศษไม้ เศษหิน และพลาสติก ระบบนี้สามารถคัดแยกสิ่งแปลกปลอมได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามความเร็วในการปฏิบัติงานยังต้องพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title** DETECTION OF FOREIGN BODIES IN GRAINS USING  
ACTIVE THERMOGRAPHY

**Authors** Mr. Thanatorn Chalermchutidech  
Mr. Thonkanok Kaenthanarat  
Mr. Teerada Meteechotiset

**Advisor** Assoc. Prof. Dr. Taweepol Suesut

**Year** 2012

### ABSTRACT

This project present the detection of foreign bodies in grains using active thermography. The sample were heated before detecting by thermal image camera. Because the heat radiation capacity of grains and foreign bodies is different , the heat radiation from the sample surface is different , Therefore the foreign body can be indentified. This method is suitable for detecting the foreign body such as non-metal material same size and color which is difficult to classify by traditional image processing. Our system consists of conveyor, heat source from halogen lamp, programmable logic controller, thermal image camera with wavelength 8-14  $\mu\text{m}$  and computer for image processing. The Vision Builder AI was developed for real-time thermal image processing. For the case study peanuts and red beans are the grain and wood, grout and plastic are foreign body. This system can be done as well, however the speed of the operation has to be improved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการและการเรียบเรียงวิทยานิพนธ์นี้คงจะไม่เสร็จสมบูรณ์ได้ ต้องประสบปัญหาต่างๆ แต่ถ้าไม่ได้ความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ทำให้ผู้จัดทำสามารถเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ไปอย่างราบรื่น จึงต้องขอกล่าวขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่เป็นมากกว่าอาจารย์ที่ปรึกษา คอยสนับสนุน ให้กำลังใจ คำแนะนำ และคำที่ปรึกษาที่ดีมาก ผู้จัดขาบซึ่งใจเป็นที่สุด

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวกัทร หนูนาค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา อนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอาหาร และให้ความรู้ คอยชี้แนะ ให้ผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาและกำลังใจที่มีคุณค่ามากแก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ นาย ชีระวัฒน์ หนูนาค ผู้เชี่ยวชาญด้านกล้องถ่ายภาพความร้อน ที่ให้ยืมกล้องถ่ายภาพความร้อน รวมทั้งให้คำแนะนำ ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน

ขอขอบพระคุณ นาย ภาณุพล โขลนกระโทก นักศึกษาปริญญาเอก ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ในทุกด้าน

ขอขอบพระคุณ นาย ธนานพ พรพระ นักศึกษาปริญญาโท ที่ให้ข้อมูล รวมทั้งช่วยคิด ช่วยแก้ไข ปัญหาด้วยกัน และคอยให้คำแนะนำต่างที่ทำให้เกิดประโยชน์ในการทดลองครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ นางสาว พรอรุณ มงคลถลาง นักศึกษาปริญญาโท ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ด้านวิชาการ คอยหาข้อมูลให้ วิทยานิพนธ์เล่มนี้ลุล่วง

ขอขอบพระคุณ นาย อิศระ อาจไพรินทร์ ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ข้อมูลด้านอุปกรณ์ และคอยสร้างบรรยากาศที่ดีในการทำงาน

ขอขอบพระคุณพี่นักศึกษาปริญญาโทห้อง I-104 ในน้ำใจที่แบ่งปันพื้นที่ในห้องผู้จัดทำได้ใช้สอยเพื่อดำเนินโครงการ สร้างเสียงเฮฮา อ้อยาศัยดี เป็นกันเอง

ขอขอบพระคุณ นางสาว อัญชลี ภูทอง นาย วรนนท์ ฉัตรวิริยะเลิศ นาย คณิน จันทรหลี นักศึกษา วิทยานิพนธ์ร่วมที่เอื้อเพื่อข้อมูล คำปรึกษา คำแนะนำเชิงเทคนิคด้านวิศวกรรมอาหาร

ขอขอบพระคุณ นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการดำเนินโครงการ สร้างบรรยากาศที่ดีในการทำงาน

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆและทุกคนที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้ที่คอยถามไถ่ คำแนะนำและให้กำลังใจที่ตีเสมอมา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ .....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ .....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 การแผ่รังสีอินฟราเรด .....	3
2.2 Active Thermography .....	5
2.2.1 Pulsed Thermography .....	5
2.2.2 Cavity Absorption Thermography .....	5
2.2.3 Lock-In Thermography .....	6
2.2.4 Thermo-inductive Testing .....	7
2.3 ความจุความร้อน .....	8
2.4 แสงและการมองเห็นสี .....	9
2.4.1 แสง .....	9
2.4.2 การมองเห็นสี .....	13
2.5 กล้องถ่ายภาพความร้อน .....	14
2.5.1 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน .....	14
2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน .....	15
2.6 Vision Builder AI .....	17
2.6.1 ส่วนประกอบของหน้าต่าง Vision Builder AI .....	17
2.6.2 การตั้งค่าอินเตอร์เฟซ .....	18
2.6.3 การตรวจสอบอินเตอร์เฟซ .....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน .....	20
3.1 การออกแบบระบบและโปรแกรมการทดลอง .....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านที่  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.1 การออกแบบระบบชุดสายพานลำเลียง.....	20
3.1.2 การออกแบบระบบควบคุมชุดสายพานลำเลียง..... โดยใช้พีแอลซี omron sysmac c28h	21
3.1.3 การออกแบบโปรแกรมการทดลอง.....	21
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	26
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	29
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง.....</b>	<b>32</b>
4.1 การทดลองที่ 1..... ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วแดง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นพลาสติก	32
4.2 การทดลองที่ 2..... ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วแดง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นเศษไม้	33
4.3 การทดลองที่ 3..... ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วแดง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นเศษหิน	34
4.4 การทดลองที่ 4..... ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วลิสง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นพลาสติก	35
4.5 การทดลองที่ 5..... ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วลิสง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นเศษไม้	36
4.6 การทดลองที่ 6..... ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วลิสง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นเศษหิน	37
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนาต่อ.....</b>	<b>38</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	38
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการนี้.....	38
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ.....	38
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>39</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>40</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างค่าความจุความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช.....	9
2.2 ความยาวคลื่นของสีต่างๆ.....	14
2.3 แสดงการตั้งค่าอินเตอร์เฟซ.....	18
4.1 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง ของถั่วแดงกับพลาสติก.....	32
4.2 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง ของถั่วแดงกับเศษไม้.....	33
4.3 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง ของถั่วแดงกับเศษหิน.....	34
4.4 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง ของถั่วลิสงกับพลาสติก.....	35
4.5 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง ของถั่วลิสงกับเศษไม้.....	36
4.6 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง ของถั่วลิสงกับเศษหิน.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สเปคตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	4
2.2 การถ่ายเทพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ.....	4
2.3 การตรวจสอบรอยตะเข็บจากการเชื่อม.....	5
2.4 Cavity effect .....	6
2.5 Lock-In Thermography.....	7
2.6 หลักการของ Thermo-inductive .....	7
2.7 การให้ความร้อน Thermo-inductive .....	8
2.8 ภาพถ่ายความร้อน Thermo-inductive .....	8
2.9 สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	10
2.10 การสะท้อนของแสงกับผิวสะท้อนราบ.....	10
2.11 เปรียบเทียบรังสีสะท้อนบนผิวเรียบและผิวขรุขระจะทำให้เห็นภาพที่สะท้อนแตกต่างกัน.....	11
2.12 แสดงการหักเหแสงเมื่อแสงผ่านตัวกลางที่ต่างกัน.....	11
2.13 การเลี้ยวเบนของแสง.....	12
2.14 การแทรกสอดของแสง.....	12
2.15 การทดลองปรากฏการณ์แทรกสอดของแสง.....	12
2.16 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....	13
2.17 ระบบการวัดรังสีอินฟราเรด.....	15
2.18 FOV IFOVและบริเวณการมองเห็นจากกล้องถ่ายภาพความร้อน.....	16
2.19 แสดงส่วนประกอบของหน้าต่าง Vision Builder AI.....	17
3.1 แสดงระบบสายพานลำเลียงการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมแบบอัตโนมัติ.....	20
3.2 แลคเตอร์ไดอะแกรม.....	21
3.3 บูลีน.....	21
3.4 แสดงคำสั่งที่ใช้ติดต่อกับกล้อง.....	22
3.5 แสดงคำสั่งที่ใช้วัดค่าสี.....	22
3.6 แสดงคำสั่งที่ใช้ตรวจจับวัตถุแปลกปลอม.....	23
3.7 แสดงคำสั่งที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์ภาพ.....	24
3.8 แสดงคำสั่งที่ใช้เพื่อตั้งค่าสถานะ.....	24
3.9 แสดงคำสั่งที่ใช้เพื่อแสดงสถานะ.....	25
3.10 แสดงคำสั่งที่ใช้เพื่อ เก็บภาพ เก็บข้อมูล และหน่วงเวลา.....	25
3.11 แสดงคำสั่งทั้งหมดของโปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอม.....	26
3.12 สายพานลำเลียง.....	26
3.13 กล้องภาพถ่ายความร้อน ยี่ห้อ FLUKE รุ่น TI32.....	27
3.14 พีแอลซี ยี่ห้อ omron sysmac c28h.....	27
3.15 แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์.....	27
3.16 แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์และรีเลย์.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ห้ามการนำออกเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์เห็นหน้าเว็บไซต์หรือช่องทางอื่นๆ  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม กรุณาแจ้งให้ทราบล่วงหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.17 โฟโต้เซนเซอร์.....	28
3.18 ชุดหลอดไฟ ขนาด 150 วัตต์.....	28
3.19 เมล็ดถั่วแดงและถั่วลิสง.....	29
3.20 สิ่งแปลกปลอม.....	29
3.21 ถาดใส่เมล็ดพืชพืชและสิ่งแปลกปลอม.....	29
3.22 กล้องภาพถ่ายความร้อน ที่พร้อมทำการทดลอง.....	30
3.23 ถาดทดลอง ในขณะที่ทำการทดลอง.....	30
3.24 ชุดหลอดไฟ ขณะให้ความร้อน.....	30
3.25 กล้องภาพถ่ายความร้อน ขณะจับภาพ.....	31
3.26 หน้าโปรแกรม vision builder AI.....	31
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม กับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ มีอยู่จริงของถั่วแดงกับพลาสติก.....	32
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม กับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ มีอยู่จริงของถั่วแดงกับเศษไม้.....	33
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม กับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ มีอยู่จริงของถั่วแดงกับเศษหิน.....	34
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม กับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ มีอยู่จริงของถั่วลิสงกับพลาสติก.....	35
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม กับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ มีอยู่จริงของถั่วลิสงกับเศษไม้.....	36
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม กับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ มีอยู่จริงของถั่วลิสงกับเศษหิน.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญญานิพนธ์

ประเทศไทยถือเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการส่งออกผลผลิต และผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นจำนวนมากโดยผลผลิตทางธัญพืชก็ถือเป็นส่วนหนึ่งในผลผลิตที่มีการส่งออก และนำมา จำหน่ายภายในประเทศ ธัญพืชเป็นสินค้าเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ในปี พ.ศ. 2555 มีมูลค่าการ ส่งออกกว่า 100 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 20 ของประเทศ (กรมศุลกากร, 2555) และเนื่องจาก ปัจจุบันผู้บริโภคต้องการธัญพืชที่มีคุณภาพดีปราศจากสิ่งแปลกปลอม ทำให้ผู้ประกอบการต้องใส่ใจ กับขั้นตอนการคัดแยกเพิ่มมากขึ้น เพื่อเพิ่มคุณภาพและศักยภาพการส่งออกผลผลิต ดังนั้นคุณภาพ ของเมล็ดพืชที่ได้มานั้นต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะวัตถุดิบที่ก่อนที่จะนำแปรรูปต้องมีการ ตรวจสอบว่ามีสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชหรือไม่ โดยการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชในอดีตทำการตรวจสอบโดยการใช้บุคคล มีการคัดแยกก็จะมีความแม่นยำในระดับหนึ่ง เนื่องจากการ ตรวจสอบโดยใช้บุคคลมีหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดความผิดพลาด เช่น เพศ อายุ สายตา และ ความเหนื่อยล้าของบุคคล ต่อมาได้มีการพัฒนาการตรวจสอบมาเป็นวิธีทางกล คือ การใช้ลมเป่า แต่การใช้ ลมเป่า ก็ยังมีความผิดพลาดอยู่ ทำให้คัดแยกได้ไม่ร้อยเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากอาจมีสิ่งแปลกปลอมมี น้ำหนักและขนาดที่ใกล้เคียงกับเมล็ดพืช ทำให้แยกความแตกต่างได้ยาก แต่ในปัจจุบันถ้าสิ่ง แปรกปลอมเป็นโลหะ สามารถแยกแยะสิ่งแปลกปลอมได้โดยใช้ชุดแยกด้วยแม่เหล็ก แต่ถ้าสิ่ง แปรกปลอมไม่ใช่โลหะจะใช้การประมวลผลภาพสีเข้ามาทำการแยกแยะ

จากงานวิจัยต่างชาติ ที่ทำการตรวจสอบพื้นผิวของไม้ โดยใช้หลักการเอกซเรย์โทมोगราฟฟี คือการให้ความร้อนแก่วัสดุที่จะทำการทดลอง เพื่อทำให้เกิดค่าความจุความร้อน แล้วใช้กล้อง ถ่ายภาพความร้อนตรวจจับดูรอยแตกของผิวไม้เพื่อยกระดับคุณภาพของไม้ในการส่งออก

โครงการนี้ได้นำงานวิจัยจากต่างชาติ มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมใน เมล็ดพืช โดยใช้หลักการเอกซเรย์โทมोगราฟฟีที่ให้ความร้อนกับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม แล้วก็ ใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจจับ เพื่อที่จะได้ภาพถ่ายความร้อนที่มีสีแตกต่างกันของเมล็ดพืชกับสิ่ง แปรกปลอม โดยจะใช้ โปรแกรม NI VISION BUILDER AI ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ด พืช

เป้าหมายโครงการนี้เพื่อที่หาวิธีแยกสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่โลหะในเมล็ดพืชและสามารถ นำไปใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยกระดับคุณภาพของสินค้า

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปัญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชโดยภาพถ่ายความร้อน
2. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน
3. เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจพีแอลซี ให้ทำการควบคุมแบบอัตโนมัติ
4. เพื่อออกแบบและสร้างระบบสายพานลำเลียงการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช

แบบอัตโนมัติ

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. ออกแบบและสร้างระบบสายพานลำเลียงเพื่อทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม แบบอัตโนมัติ
2. ศึกษาการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน เพื่อทำการแยกแยะความแตกต่างของเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอม
3. ใช้โปรแกรม Vision Builder AI ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม

### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ออกแบบระบบต้นแบบ

1. ออกแบบระบบสายพานลำเลียงเพื่อทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช โดยให้สัมพันธ์กับหลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน
2. ศึกษาการเขียนและออกแบบโปรแกรมพีแอลซี เพื่อใช้ควบคุมสายพานลำเลียงแบบอัตโนมัติ
3. ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะนำมาประกอบเป็นสายพานลำเลียง ควบคุมแบบอัตโนมัติ เพื่อจะได้อุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุด

ศึกษาการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน

1. ศึกษาส่วนประกอบและหลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน
2. ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน
3. ศึกษาทฤษฎีการแผ่รังสีอินฟราเรด
4. ศึกษาทฤษฎีแสงและการมองเห็นสี

การเขียนและการใช้งานโปรแกรม Vision Builder AI

1. เขียนโปรแกรมตามลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน
2. ทดสอบโปรแกรมตรวจจับวัตถุจากตัวอย่างวัตถุ
3. ทดสอบการรับภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อนมาประมวลผลด้วยโปรแกรม
4. ทดสอบโปรแกรมแบบเวลาจริง

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนได้มีคุณภาพมากขึ้น
2. ช่วยเพิ่มคุณภาพและลดต้นทุนที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพในเมล็ดพืช
3. ได้โปรแกรมสำหรับตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชจากภาพถ่ายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การแผ่รังสีอินฟราเรด

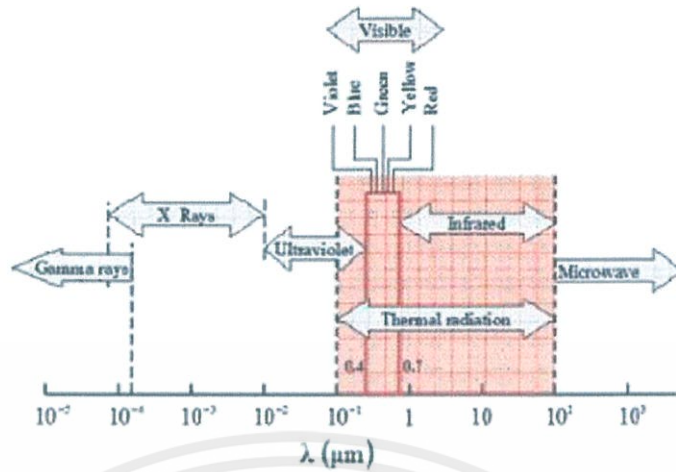
ในปีค.ศ.1800 นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ Sir. William Herschel เป็นผู้ค้นพบคลื่นรังสีอินฟราเรด (Infrared:IR) หรือคลื่นรังสีความร้อนซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งแผ่มาจากดวงอาทิตย์ค้นพบโดยการทดลองวัดอุณหภูมิของแถบสีรุ้งจากปริซึมโดยเลื่อนเทอร์โมมิเตอร์ จากแถบสีม่วงไปยังแถบสีแดง พบว่าอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่าสูงสุดที่แถบสีแดงขอบเขตดังกล่าวเรียกว่า “อินฟราเรด” (ขอบเขตต่ำกว่าแถบสี แดง) ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 0.75 ถึง 100  $\mu\text{m}$  มีความถี่ในช่วง 1011 – 1014 Hz และมี คุณสมบัติไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเมื่อความถี่สูงขึ้นพลังงานจะสูงขึ้นตามไปด้วย และเนื่องจากย่านรังสีอินฟราเรดอยู่ในช่วงคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของแสงสีแดง มนุษย์จึงไม่สามารถมองเห็นรังสีอินฟราเรดแต่สามารถรู้สึกถึงความร้อนได้ โดยวัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (Absolute zero หรือ  $-273.15^{\circ}\text{C}$  หรือ 0 K) จะมีการแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา ซึ่งวัตถุที่ร้อนจะแผ่รังสี ออกมามากกว่าวัตถุที่เย็น (ประวิทย์ , 2553)

ย่านรังสีอินฟราเรดแบ่งออกเป็น 4 ช่วงตามช่วงของความยาวคลื่นได้แก่ ช่วงใกล้อินฟราเรด (Near-IR: 0.75-2.5  $\mu\text{m}$ ) ช่วงคลื่นสั้น (1.4-3  $\mu\text{m}$ ) ช่วงกลาง (3-8  $\mu\text{m}$ ) ช่วงคลื่นยาว ( 8-15 $\mu\text{m}$ ) และช่วงไกล ( Extreme: 15-100  $\mu\text{m}$ ) ซึ่งรังสีอินฟราเรดในย่าน Near-IR โดยทั่วไปนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบ การวัดค่าการกระจายความร้อน การสะท้อนหรือการหักเหของรังสีส่วนรังสีในช่วงคลื่นสั้นถึงช่วงคลื่นยาว จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานการตรวจสอบการแผ่รังสีของวัตถุโดยที่ช่วงคลื่นยาวจะมีความไวในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุดที่ช่วงอุณหภูมิห้องแต่ในช่วงกลางจะมีความไวในการตอบสนองที่อุณหภูมิสูงมาก เช่น  $400^{\circ}\text{C}$  (Gowen,2010)

การแผ่รังสีอินฟราเรดสัมพันธ์กับพลังงานที่สสารแผ่ออกมา ณ อุณหภูมิหนึ่งๆโดยกลไกของการแผ่รังสีอินฟราเรดเกี่ยวข้องกับพลังงานเนื่องจากการสั่น (Oscillations) และการเคลื่อนที่ (Transition) ของอิเล็กตรอนซึ่งประกอบกันเป็นสสารวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนจะสั่นหรือเคลื่อนที่มาก ส่งผลให้พลังงานภายในวัตถุมีค่าสูงกล่าวได้ว่าการแผ่รังสีอินฟราเรดเกี่ยวข้องกับสภาพทางความร้อนภายใน การแผ่รังสีเป็นปรากฏการณ์เชิงปริมาตร(volumetric phenomenon) คือ การแผ่รังสีความร้อนจากสสารเป็นผลรวมของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่จุดใดๆ ของสสารนั้นตลอดทั้งปริมาตร ซึ่งในที่นี้จะเน้นไปที่การแผ่รังสีอินฟราเรดในลักษณะที่เรียกว่าเป็นปรากฏการณ์พื้นผิว (surfacephenomenon)

กล่าวคือในของแข็งและของเหลว ส่วนใหญ่รังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาโดยโมเลกุลภายในจะถูกโมเลกุลที่อยู่ติดกันดูดซับพลังงานเอาไว้เกือบทั้งหมด จึงเป็นผลให้รังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากของแข็งหรือของเหลว สามารถคิดได้ว่าแผ่ออกมาจากโมเลกุลบริเวณใกล้พื้นผิวหรือปรากฏการณ์พื้นผิว สเปกตรัมของการแผ่รังสีแสดงดังรูป 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีการขังในหนังสือการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

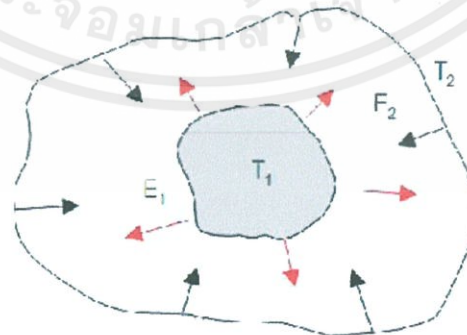


รูปที่ 2.1 สเปกตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การแผ่รังสีอินฟราเรดสัมพันธ์กับคุณสมบัติของคลื่นอันได้แก่ความถี่ (frequency :  $\nu$ ) และความยาวคลื่น (wavelength :  $\lambda$ ) แสดงความสัมพันธ์ ดังสมการ 2.1

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.1)$$

โดย  $c$  คือความเร็วของแสงในสุญญากาศสำหรับเดินทางในสุญญากาศ  $c = c_0 = 2.998 \times 10^8$  m/s รังสีอินฟราเรด หรือรังสีความร้อนแผ่ออกจากพื้นผิววัตถุในรูปแบบของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (รูปที่ 2.2) ในช่วงความยาวคลื่นหนึ่ง ซึ่งขนาดของการแผ่รังสีอินฟราเรดเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความยาวคลื่นโดยรังสีอินฟราเรด หรือรังสีความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุอื่นมาตกกระทบบนพื้นผิววัตถุที่สนใจบางส่วนจะถูกดูดซึม(Absorbed) บางส่วนจะสะท้อน(Reflected) และบางส่วนจะส่งผ่านหรือทะลุผ่านออกไป(Transmitted)จากวัตถุเรียกค่าคุณสมบัติดังกล่าวของวัตถุว่า ค่าความสามารถในการดูดซึมรังสี (Absorptivity,  $\alpha$ ) ค่าความสามารถในการสะท้อนรังสี ( Reflectivity,  $\rho$  ) และค่าความสามารถในการส่งผ่านรังสี ( Transmissivity,  $\tau$  ) ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 การถ่ายเทพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ

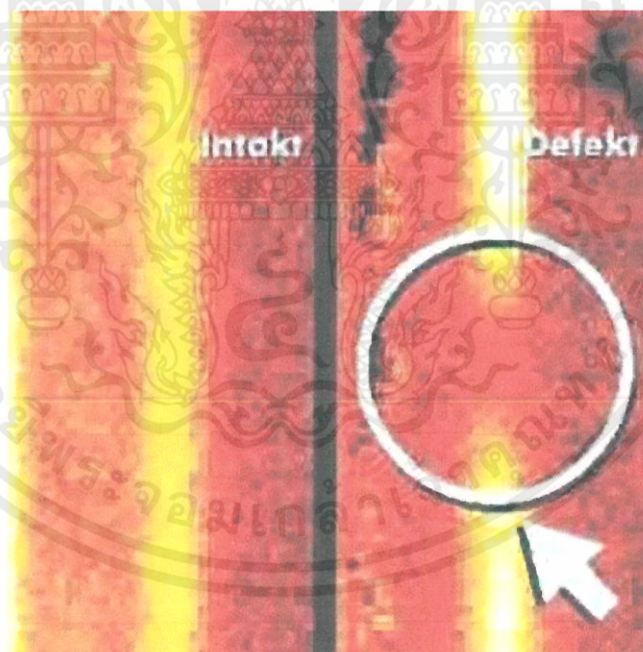
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อใช้ในการสอนเท่านั้น ไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 Active Thermography

สำหรับวิธีการประยุกต์ใช้งานในรูปแบบนี้จำเป็นต้องมีแหล่งกระตุ้นความร้อนให้กับวัตถุที่จะทำการวัดและทดสอบแหล่งกระตุ้นความร้อนในที่นี้ได้แก่ แสงเลเซอร์ กระแสหมวน หรืออัลตราโซนิก เป็นต้น นิยมใช้มากในการวัดทดสอบแบบไม่ทำลาย(Non-destructive testing) โดยปกติจะใช้กับการทดสอบวัตถุ ที่ช่วงอุณหภูมิ ต่ำประมาณ 20-50 °C ซึ่งใช้แหล่งกระตุ้นความร้อนที่อุณหภูมิ เพียงเล็กน้อยการทดสอบแบบนี้มีอยู่ด้วยกันหลายวิธีคือ Pulsed Thermography, Lock-In Thermography และ Thermoinductive

### 2.2.1 Pulsed Thermography

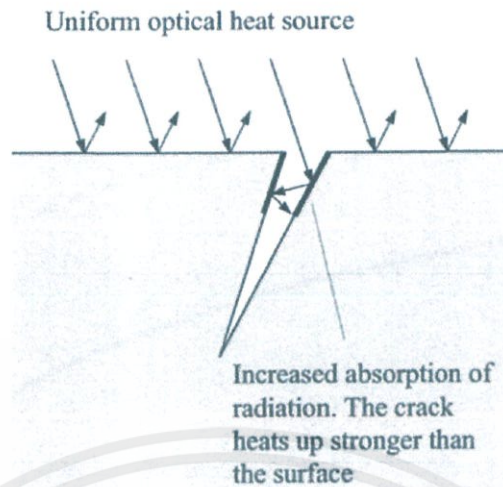
วิธีใช้การกระตุ้นด้วยความร้อนเป็นเวลาสั้นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัสดุ เช่น พลาสติกซึ่งมีค่าการนำความร้อนสูงใช้เวลาเพียงไม่กี่มิลลิวินาที ส่วนวัสดุ ประเภทพลาสติกหรือโลหะ จะใช้เวลาเป็นวินาที ตัวอย่างการใช้งานในการทดสอบตะเข็บรอยเชื่อม (Weld Seam Testing) ซึ่งสามารถออกแบบระบบตรวจสอบให้เป็น in-line quality control ได้ในแบบอัตโนมัติเพื่อใช้ในการหารอยเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์ จากตัวอย่างในรูปที่10 แสดงให้เห็นว่ารอยเชื่อมที่ดีจะต้องมีการประติดประต่อกันตลอดแนว ซึ่งในการทดสอบนี้ภาพถ่ายความร้อนที่ได้ถูกนำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้การประมวลผลภาพ (Image processing) เข้าร่วมด้วย



รูปที่2.3 การตรวจสอบรอยตะเข็บจากการเชื่อม

### 2.2.2 Cavity Absorption Thermography

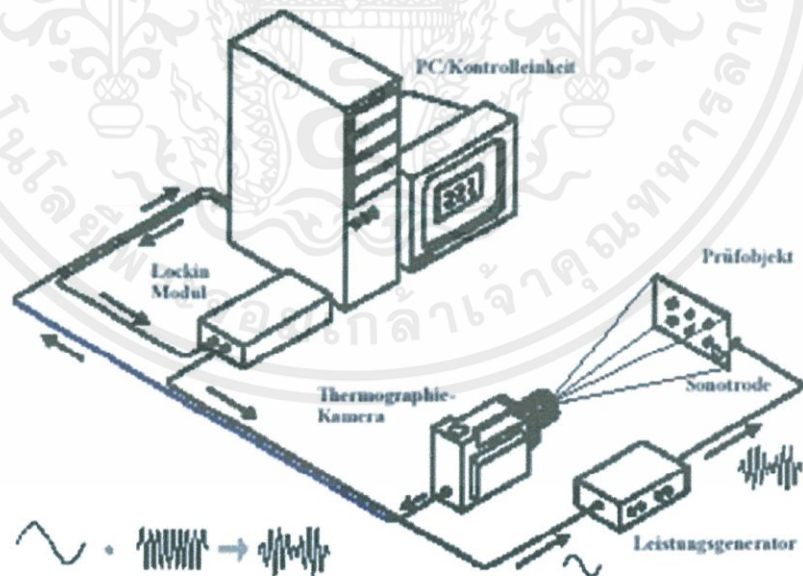
วิธีนี้จะใช้ได้กับรอยแตก ร้าวของโลหะที่เป็นช่องเปิด เนื่องจากว่าค่า Emissivity และ ค่า Absorption ของช่องว่างที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าพื้นผิวปกติ ดังนั้นจึงทำให้เราสามารถตรวจสอบได้ว่ามีรอยแตก ร้าวเกิดขึ้นโดยในบริเวณดังกล่าวจะมีลักษณะที่คล้ายกับว่ามีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่นวิธีนี้สามารถใช้ได้ทั้งแบบ Passive Thermography และ Active Thermography



รูปที่ 2.4 Cavity effect

### 2.2.3 Lock-In Thermography

การทดสอบด้วยวิธีนี้มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีอื่นเนื่องจากแหล่งให้ความร้อนจะต้องเป็นลักษณะคาบเวลา เช่น สัญญาณไซน์ผ่านไปยังอุปกรณ์กระตุ้นความร้อน เช่น หลอดไฟฮีทเตอร์ หรือ อุลตราโซนิก จากนั้นวัดผลตอบสนองในรูปแบบของเฟส (Phase) และ แมกนิจูด (Magnitude) จากภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน ในภาพของเฟสสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของเวลาในการแพร่ความร้อน และความผิดปกติ บนพื้นผิวได้ จากตัวอย่างเป็นการทดสอบ โดยการใช้อัลตราโซนิกในการกระตุ้นความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

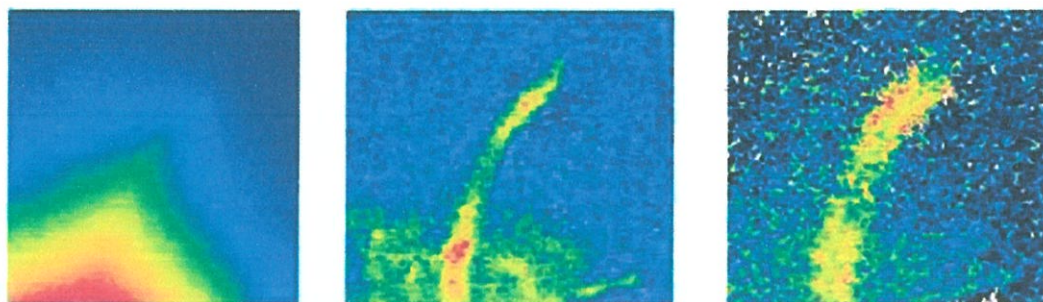
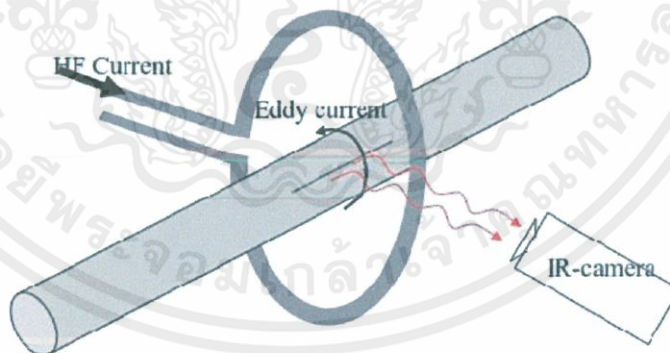


Bild 9: Rißdetektion in Keramikbauteil mit modulierter Ultraschallanregung (40 kHz). Links das Thermographiebild, in der Mitte das Amplitudenbild und rechts das Phasenbild bei jeweils 0,03 Hz.

### รูปที่ 2.5 Lock-In Thermography

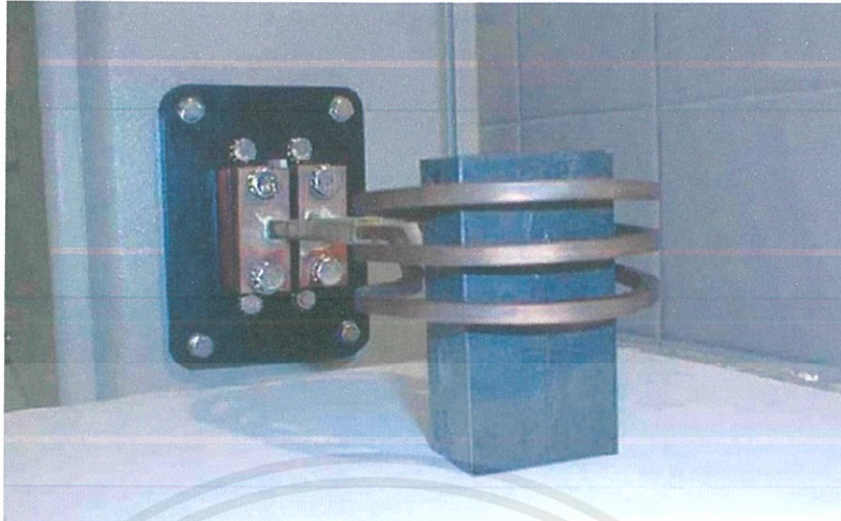
#### 2.2.4 Thermo-inductive Testing

วิธีนี้อาศัยการกระตุ้นความร้อนเพียงเล็กน้อยกับเหล็กโดยใช้ กระแสหมุนวนหรือ Eddy Current โดยปกติแล้วการทดสอบผิวของโลหะเราจะใช้หลักการของ Eddy Current ในการตรวจสอบรอยแตกร้าวบนเนื้อโลหะ อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถทราบรูปร่างและขนาดของรอยร้าวที่เกิดขึ้นได้ การใช้วิธี Thermo-inductive คือหลักการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ และใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนตรวจหาลักษณะรอยร้าวบนพื้นผิวโลหะ บริเวณที่มีรอยร้าวจะมีกระแสไหลมากกว่าปกติ จึงทำให้มี อุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่น ดังเห็นได้จากรูปที่ 2.6 การประยุกต์ใช้เทคนิคในการประมวลผลภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อนทำให้เราสามารถนำมาพัฒนาออกแบบระบบตรวจสอบคุณภาพแบบอัตโนมัติได้

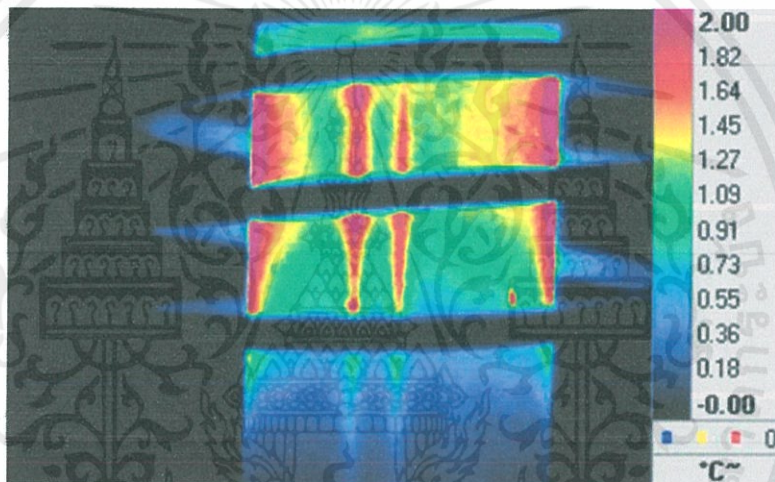


รูปที่ 2.6 หลักการของ Thermo-inductive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.7 การให้ความร้อน Thermo-inductive



รูปที่2.8 ภาพถ่ายความร้อน Thermo-inductive

### 2.3 ความจุความร้อน

ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) คือ ปริมาณความร้อนที่พอดี ทำให้วัตถุมวล 1 หน่วย มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม 1 องศา มีหน่วยเป็นหน่วยปริมาณความร้อนต่อหน่วยมวลต่อหน่วยอุณหภูมิเช่น แคลอรีต่อกรัมต่อองศาเซลเซียส กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมต่อองศาเซลเซียส หรือจูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวิน สำหรับสมการของการหาความร้อนสำหรับปริมาณความร้อนแฝงจะมีรูปทั่วไปคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Aviara and Haque, (2000) ได้หาค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืชตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ชุด โดยอบเมล็ดพืชตัวอย่างเป็นเวลา 2.30 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดพืชตัวอย่างใส่ในโถดูดความชื้น ประมาณ 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาคำนวณหาความชื้นจากสมการที่ 2.2

$$\%moisture = \frac{mass_{start} - mass_{final}}{mass_{overall}} \times 100 \quad (2.3)$$

ทำการหาค่าความจุความร้อนโดยขั้นแรกจะผสมน้ำกับน้ำแข็งในภาชนะ ที่ไว้จนอุณหภูมิคงที่แล้วทำการวัดอุณหภูมิ จากนั้นวัดอุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่าง นำตัวอย่างที่วัดอุณหภูมิแล้วใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์พร้อมทั้งนำน้ำเย็นใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์ จากนั้นใส่เทอร์โมมิเตอร์เพื่อวัดอุณหภูมิ พร้อมทั้งใช้ไม้กวนน้ำจนอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์คงที่ จากนั้นสามารถคำนวณค่าความจุความร้อนของตัวอย่าง ได้จากสมการที่ 2.4

$$Cp_{sample} = \frac{(mass_{water})(Cp_{water})(T_{mixture} - T_{water})}{(mass_{sample})(T_{sample} - T_{mixture})} \quad (2.4)$$

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่าความจุความร้อนของสิ่งปดอมปนและเมล็ดพืช

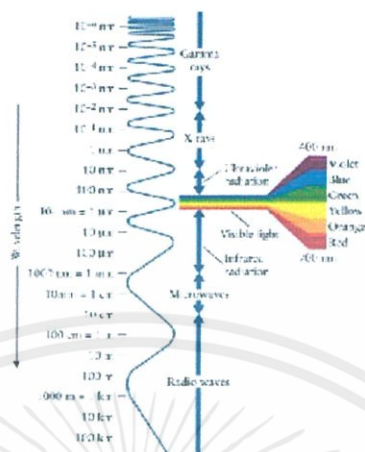
ชนิด	ค่าความจุความร้อน (kJ/kg K)	ที่มา
ไม้	1.26 - 2.9	Tan
หิน	0.46-0.9	Tan
ถั่วลิสง	1.926-2.912	ASHRAE (1989)
ถั่วแดง	3.660 - 3.326	Fillaudeau et al., (2006)
พลาสติก	1.731±8.5	Boundenne et al., (2005)

## 2.4 แสงและการมองเห็นสี

### 2.4.1 แสง

แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ได้การเคลื่อนที่ของพลังงานแสง จะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 380-760 นาโนเมตร (Nanometres) ช่วงความยาวคลื่นของพลังงานแสงดังกล่าวช่วยทำให้เกิดการเห็นส่วนพลังงานรูปอื่น เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต, รังสีเอ็กซ์ ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 380 นาโนเมตรหรือคลื่นวิทยุ, คลื่นโทรทัศน์และพลังงานไฟฟ้าที่มี

ช่วงความยาวคลื่นยาวกว่า 760 นาโนเมตรพลังงานเหล่านี้มิได้ช่วยให้เกิดเห็น ซึ่งแสงนั้นจะแสดงได้ ทั้งคุณสมบัติของคลื่นและคุณสมบัติของอนุภาค

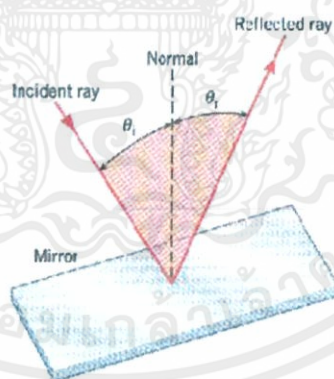


รูปที่ 2.9 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

### แสงแสดงคุณสมบัติเชิงคลื่น

1) การสะท้อนของแสง การสะท้อนของแสง เป็นสมบัติของแสงเชิงเรขาคณิต ถ้าแสงเดินทาง ไปกระทบวัตถุทึบแสงผิวขรุขระแสงจะเปลี่ยนทิศทางไป ณ ตำแหน่งผิวขรุขระที่แสงกระทบ โดยแสง

ย้อนกลับในตัวกลางเดิมเรียกการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า การสะท้อน(reflection)



รูปที่ 2.10 การสะท้อนของแสงกับผิวสะท้อนราบ

การสะท้อนของแสงกับวัตถุผิวขรุขระหรือวัตถุทั่วไป วัตถุเหล่านั้นจะดูดกลืนแสงไว้ส่วนหนึ่ง ส่วนที่เหลือจะสะท้อน ถ้าเกิดการสะท้อนกับกระจกเงาแสงจะสะท้อนทั้งหมดโดยไม่ถูกดูดกลืน การที่ตาของเรามองเห็นวัตถุต่างๆได้ เนื่องจากมีแสงไปกระทบวัตถุนั้นแล้วแสงสะท้อนเข้าสู่ตา การที่แสงสะท้อนวัตถุจะเป็นไปตามกฎการสะท้อนของคลื่น คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นปกติต้องอยู่บนระนาบเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

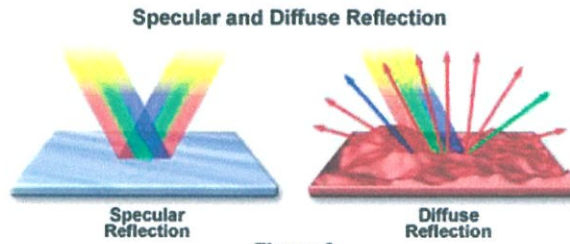
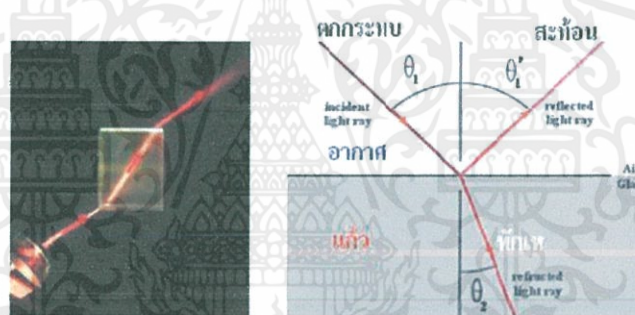


Figure 3

รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบรังสีสะท้อนบนผิวเรียบและผิวขรุขระจะทำให้เห็นภาพที่สะท้อนแตกต่างกัน

ในการสะท้อนของแสงกับผิวของวัตถุ ถ้าผิวของวัตถุเรียบแสงที่สะท้อนออกมาจะเป็นระเบียบ ภาพที่มองเห็นจากการสะท้อนจึงชัดเจน แต่ถ้าผิวสะท้อนขรุขระ รังสีสะท้อนจะไม่มีระเบียบ จะมองเห็นภาพจากการสะท้อนไม่ชัด

2) การหักเหของแสง การหักเหของแสงเกิดจากการที่แสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน เป็นผลทำให้อัตราเร็วแสงเปลี่ยนไป ความยาวคลื่นแสงเปลี่ยนแปลง ทิศทางของแสงเปลี่ยนแปลงไปด้วยโดยความถี่คงที่ ซึ่งในขณะที่แสงเกิดการหักเหก็จะเกิดการสะท้อนของแสงขึ้นพร้อมๆกันด้วย ดังรูป



รูปที่ 2.12 แสดงการหักเหแสงเมื่อแสงผ่านตัวกลางที่ต่างกัน

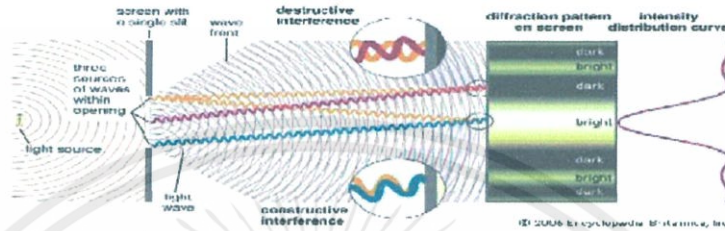
จากรูปที่ 2.6 เมื่อแสงเดินทางผ่านอากาศ (ตัวกลางที่ 1) มีค่าดัชนีหักเห  $n_1$  ไปยังแก้ว (ตัวกลางที่ 2) มีค่าดัชนีหักเห  $n_2$  จะเห็นได้ว่ารังสีของแสงที่เข้าไปในตัวกลางที่ 2 มีแนวทางเปลี่ยนไปจากแนวรังสีตกกระทบบเดิม แสงจะเกิดการหักเห โดยถ้าให้  $\theta_1$  คือมุมที่รังสีตกกระทบบทำกับเส้นปกติ และ  $\theta_2$  คือมุมที่รังสีหักเหทำกับเส้นปกติ เรียกว่ามุมหักเห (angle of refraction) จากกฎของสเนลล์ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบบ ( $\theta_1$ ) และมุมหักเห ( $\theta_2$ ) และค่าดัชนีหักเหในตัวกลางทั้งสอง  $n_1$  และ  $n_2$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \tag{2.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู ใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การหักเหของแสงเกิดขึ้นตรงผิวรอยต่อของตัวกลาง ลักษณะการหักเหของแสง เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยเข้าสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า แสงจะหักเหเข้า

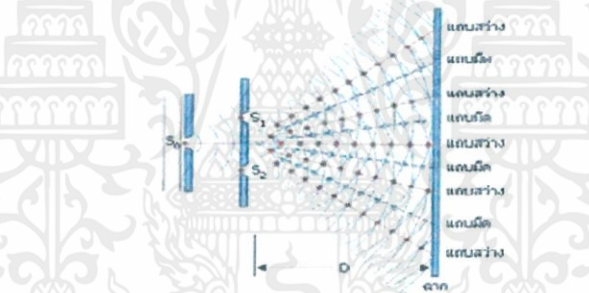
หาเส้นปกติ ในทางตรงกันข้ามถ้าแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากเข้าสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า แสงจะหักเหออกจากเส้นปกติ

3) การเลี้ยวเบนของแสง การเลี้ยวเบนของแสงเกิดขึ้นได้ เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์เดินทางผ่านช่องแคบที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสง ทุกๆจุดบน ช่องเดี่ยว (single slit) จะทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงใหม่ ตามหลักของฮอยเกน แสงจากแหล่งกำเนิดแสงใหม่จะเกิดการซ้อนทับกันบนฉาก ทำให้เราเห็นเป็นแถบมืดและแถบสว่าง

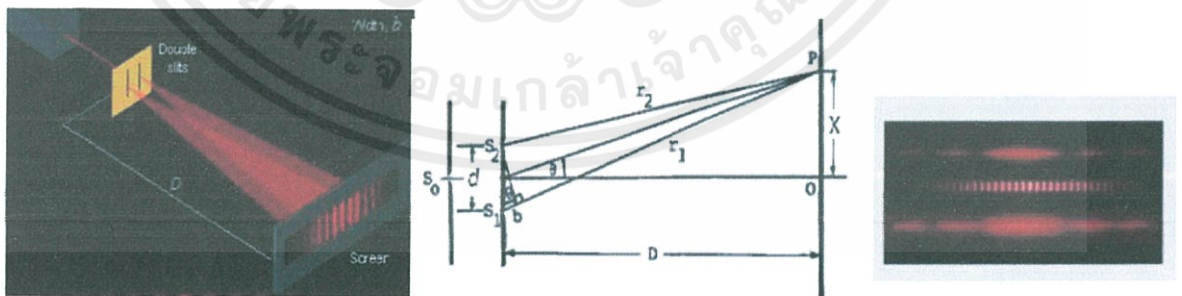


รูปที่ 2.13 การเลี้ยวเบนของแสง

4) การแทรกสอด โทมัส ยัง (Thomas Young) ได้ทำการทดลองปรากฏการณ์แทรกสอดของแสงโดยใช้อุปกรณ์ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.14 การแทรกสอดของแสง



รูปที่ 2.15 การทดลองปรากฏการณ์แทรกสอดของแสง

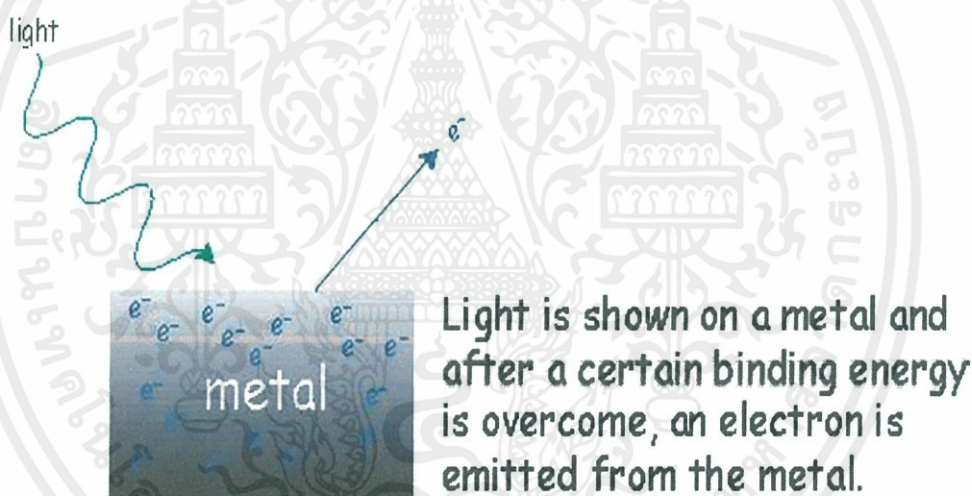
เมื่อให้แสงสีเดียวผ่านช่องแคบ  $S_0$  แล้วเลี้ยวเบนตกลงบนช่องแคบ  $S_1$  และ  $S_2$  ช่องแคบ  $S_1$  และ  $S_2$  จะทำหน้าที่เสมือนแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ ในการทดลองใช้แผ่นสลิตคู่ (Double slits) เมื่อคลื่นแสงทั้งสองเดินทางไปพบกันจะทำให้เกิดภาคแทรกสอดกัน ในลักษณะที่เสริมซึ่งหักล้างกันบนฉาก ทำให้ปรากฏเป็นแถบมืดและแถบสว่างปรากฏบนฉาก

จากรูป แลပ်สว่างที่เกิดจากการแทรกสอดของแสงอยู่ใกล้กันมาก ดังนั้น ถ้าวามุม  $\theta$  เป็นมุม เล็กมาก จะได้ว่า

$$\sin \theta \cong \tan \theta = \frac{X}{D} \quad (2.6)$$

### แสงแสดงคุณสมบัติเชิงอนุภาค

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ที่แสดงถึงคุณสมบัติเชิงอนุภาคของแสงซึ่ง โอนส์ไตน์เป็นบุคคลแรกที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้ โดยจะต้องพิจารณาว่าแสง มีลักษณะเป็นก้อนๆ เรียกว่าโฟตอนวิ่งมาชนผิวของโลหะ แล้วถ่ายทอโมเมนตัมให้กับอิเล็กตรอน ซึ่ง พลังงานของแสงที่วิ่งมาชนจะขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงนั้นคือ แสงสีม่วงมีพลังงานมากกว่าแสงสีแดง โดยที่ปรากฏการณ์ โฟโตอิเล็กทริกสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อฉายแสงไปตกกระทบที่ผิวของโลหะแล้ว ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา โดยที่พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะไม่ขึ้นอยู่กับความ เข้ม(แอมพลิจูด)ของแสง แต่จะขึ้นอยู่กับความถี่ เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า “ปรากฏการณ์โฟโต้ อิเล็กทริก”



รูปที่ 2.16 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

### 2.4.2 การมองเห็นสี

ในการมองเห็นของมนุษย์แสงมีความสำคัญมาก เพราะแสงเป็นจุดเริ่มต้นของการมองเห็น เพราะถ้าปราศจากแสง ก็จะไม่เห็นภาพใด ๆ ซึ่งแสงที่มนุษย์มองเห็นได้คือ แสงสีขาว (Light White) ซึ่งที่จริงแล้ว แสงสีขาวนี้ ประกอบไปด้วยสีจำนวน 7 สี ได้แก่ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสด สีแดง ซึ่งสีต่างๆเหล่านี้จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความยาวคลื่นของสีต่างๆ

สี	ความยาวคลื่น
แดง	760 - 630
แสด	630 - 590
เหลือง	590 - 560
เขียว	560 - 490
น้ำเงิน	490 - 440
คราม	440 - 420
ม่วง	420 - 380

แม่สีของแสงหรือบางครั้งเรียกว่า สีปฐมภูมิ (Primary Color) คือ สีแดง, สีเขียวและสีน้ำเงิน แม่สีของแสงทั้งสามสีนี้ เมื่อนำมาผสมกันโดยการฉายแสงซ้อนกันลงไปเราจะได้แสงชุดที่สองชั้น เรียกว่าสีทุติยภูมิ (Secondary Color)

สีของวัตถุที่มองเห็นแสดงได้ด้วยสมบัติ 3 อย่าง คือ

ฮิว(Hue) คือ แถบแสงสีแต่ละแสงสีในสเปกตรัม เช่น แถบแสงสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีม่วง

ความสว่างของแสงสี (Lightness) คือ ปริมาณแสงสะท้อนออกจากแถบแสงสีแต่ละแสงสีทำให้เกิดความรู้สึกว่ามีแสงผ่านเข้าตามากหรือน้อย

ความอิ่มตัวของสี (Color Saturation) คือ จำนวนหรือขนาดที่บอกให้ทราบว่าแถบสีนั้น อยู่ห่างจากที่ไม่มีสี (Achromatic Color) สีที่อิ่มตัวคือสีที่ไม่มีสีขาวปนอยู่เลย เช่น สีแดง สีน้ำเงิน เขียว ส่วนสีที่มีสีขาวปนมากเท่าใดความอิ่มตัวก็ยิ่งน้อยลงเท่านั้น เรียกว่าสีไม่อิ่มตัวเช่น สีชมพู สีฟ้า เทา เป็นต้น

## 2.5 กล้องถ่ายภาพความร้อน

### 2.5.1 หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อนหรือ Thermal image camera (TI - camera) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ ซึ่งใช้เทคนิคการตรวจสอบวิเคราะห์ ที่ไม่มีการสัมผัสและทำลายวัตถุ โดยกล้องถ่ายภาพความร้อนจะมองไม่เห็นภาพจริงหรือไม่ได้ทำการวัดอุณหภูมิโดยตรง แต่ทำการวัดการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ และทำการแปลงรังสีอินฟราเรดที่วัดได้เป็นอุณหภูมิ ส่วนประกอบหลักของกล้อง TI คือ เลนส์ (Lenses) ตัวตรวจจับ (Detector) และส่วนแสดงผล (Display) ซึ่งทำงานโดยพลังงานของรังสีอินฟราเรดจะแผ่จากวัตถุส่งผ่านเลนส์ของกล้องถ่ายภาพความร้อนและ จะถูกโฟกัสโดยเลนส์ไปยังตัวตรวจจับ โดยเซนเซอร์จะทำการแปลงรังสีอินฟราเรดให้อยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้า หลังจากนั้นอิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์ จะทำการแปลงข้อมูลที่รับมาจากตัวตรวจจับ และแสดงผลบนจอภาพ ซึ่งอาจจะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข สี หรือกราฟ ซึ่งวัตถุที่ร้อนกว่าจะแสดงสีสว่างและวัตถุที่เย็นกว่าจะแสดงสีมืดกว่า ซึ่งกล้องแปลงรังสีอินฟราเรดที่วัดได้เป็นอุณหภูมิโดยอาศัยทฤษฎีของ Stefan-Boltzmann ดังแสดงในสมการ (2.7)

จากกฎของ Stefan-Boltzmann  $E_b(T) = \sigma T^4$  ( $W/m^2$ ) ซึ่งเป็นการหาค่าวัตต์ในอุดมคติหรือวัตต์ดำเท่านั้น ดังนั้นหากวัตต์เป็นวัตต์จริง ต้องใส่ค่า Emissivity ( $\epsilon$ ) ในสมการด้วย ซึ่งจะได้

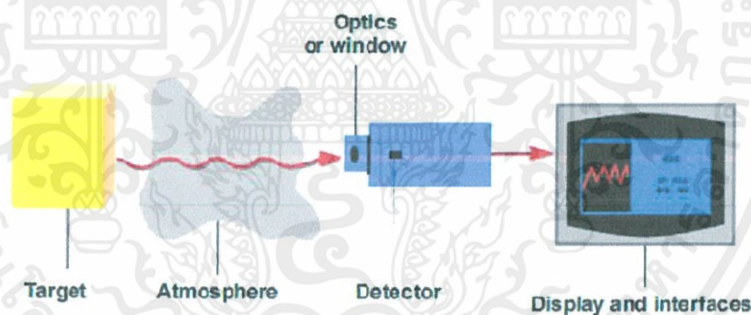
$$E(T) = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.7)$$

ซึ่ง  $\epsilon$  เป็นคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ โดยมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของรังสีที่แผ่ออกจากวัตต์กับรังสีที่แผ่ออกจากวัตต์ดำ ณ อุณหภูมิเดียวกันโดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งวัตต์ดำจะมีค่า  $\epsilon$  เท่ากับ 1 เสมอ เนื่องจากรังสีความร้อนที่แผ่ออกมาจากวัตต์ดำเป็นความร้อนที่เกิดจากพื้นผิวตัวมันเองทั้งหมดและมีความเข้มเท่ากันทุกทิศทุกทาง แต่วัตต์จริงจะมีค่า  $\epsilon$  ไม่คงที่ และต่ำกว่า 1 ซึ่งค่า  $\epsilon$  ของวัตต์จริงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ผิวของวัตต์ ชนิดและลักษณะผิวของวัตต์

ความยาวคลื่น (Wave Length) และมุมของการแผ่รังสี (Emission angle) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วโดยวัตต์จริงจะมีความเข้มของการแผ่รังสีสูงสุดที่มุม  $\theta$  เท่ากับ 0 องศา (มนตรี, 2548)

รังสีอินฟราเรดทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตต์จริง (Radiosity:  $J$ ) ประกอบด้วยรังสีที่เกิดจากวัตต์เอง (Emission:  $E$ ) และ Irradiation ที่มาจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือจากวัตต์อื่นมากระทบและสะท้อนออกจากวัตต์ ( $G_{\lambda,ref}$ ) ดังนั้น Radiosity ที่ออกมาจากวัตต์จึงเป็น

$$J = E + G_{\lambda,ref} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.17 ระบบการวัดรังสีอินฟราเรด

ที่มา : Gruner, 2003

## 2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของกล้องถ่ายภาพความร้อน

### 1) ค่า Emissivity ( $\epsilon$ ) (ปริญา, 2546)

จากสมการที่ (2.1) จะเห็นได้ว่าการแปลผลอัตราการแผ่รังสีอินฟราเรด ( $E$ ) เป็นอุณหภูมิที่ถูกต้องจำเป็นต้องทำการกำหนดค่า  $\epsilon$  ของผิววัตต์ที่เหมาะสมสำหรับวัตต์นั้นๆ ดังนั้นในการใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนจึงต้องมีการป้อนค่า  $\epsilon$  ของวัตต์ให้กับกล้องด้วย ซึ่งหากป้อนค่า  $\epsilon$  ที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงของวัตต์ จะทำให้กล้องสามารถอ่านค่าอุณหภูมิของวัตต์ได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นก่อนการใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนต้องทราบค่า  $\epsilon$  ของวัตต์ก่อน

### 2) ค่าการสะท้อนรังสีของผิววัตต์ (Reflection: $R$ ) (Fosbinder and Orth, 2011)

จากสมการที่ (2.2) แสดงให้เห็นว่ารังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากผิววัตถุ (Radiosity) ไม่ได้มีเพียงรังสีที่เกิดจากตัววัตถุเท่านั้น แต่ยังมีรังสีที่เกิดจากการสะท้อนรังสีที่แผ่มาจากแหล่งอื่นด้วย ซึ่งกล้อง TI จะรับ Radiosity ดังกล่าวทั้งหมดไป ดังนั้นเพื่อให้รังสีที่กล้อง TI ได้รับเป็นรังสีที่เกิดจากวัตถุจริงๆ จึงต้องมีการบ่อนค่าอุณหภูมิของ Background (อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมหรือวัตถุอื่นที่แผ่รังสีมากระทบกับวัตถุ) ให้กับกล้อง TI ด้วย ซึ่งกล้องจะนำอุณหภูมิดังกล่าวไปใช้ในการชดเชยค่าการสะท้อน ทำให้อุณหภูมิที่อ่านได้จากกล้องเป็นอุณหภูมิที่แท้จริงของวัตถุ

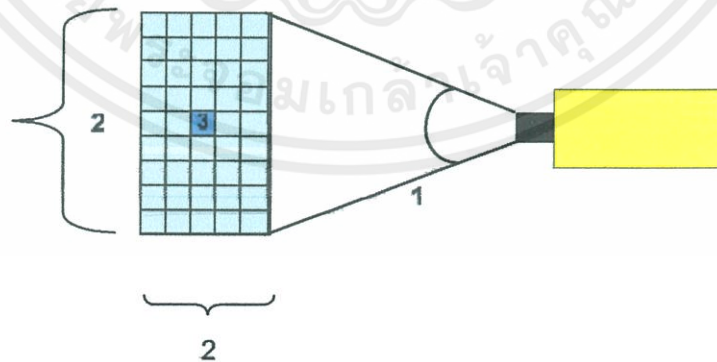
### 3) ระยะห่างระหว่างวัตถุกับกล้องถ่ายภาพความร้อน (ปริณญา, 2546)

เมื่อวัตถุและกล้องถ่ายภาพความร้อนอยู่ห่างกันมาก จะทำให้รังสีความร้อนของวัตถุที่เซนเซอร์ภายในกล้องตรวจจับได้มีปริมาณน้อยลง เนื่องจากพลังงานบางส่วนจะสูญเสียในสิ่งแวดล้อมอีกนัยหนึ่งหากจุดที่ร้อน (Hot Spot) ของวัตถุ มีขนาดเล็กมาก หรือเล็กกว่าพื้นที่ของการวัด (พื้นที่ของการวัดจะปรากฏที่หน้าจอก้อง TI ในขณะที่ทำการวัด) การวัดอุณหภูมิที่ระยะห่างจากวัตถุมาก ๆ ซึ่งทำให้จุดที่ไม่ร้อนหรือจุดที่ไม่เกี่ยวข้องกับจุดที่ต้องการวัดค่าเข้าไปในพื้นที่ของการวัดซึ่งมีผลต่อการวัดอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามระยะห่างที่เหมาะสมของการวัด จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัว (Specifications) ของกล้องแต่ละรุ่น

### 4) ขอบเขตการมองเห็นหรือ FOV (Field Of View) ของกล้องถ่ายภาพความร้อน (Fosbinder and Orth, 2011)

FOV มีผลต่อความละเอียดของกล้องถ่ายภาพความร้อน โดย FOV มีผลต่อพื้นที่การมองเห็นวัตถุของกล้อง จึงมีผลโดยตรงกับการรับค่าอุณหภูมิของวัตถุ ภายใน FOV มีค่า IFOV (Instantaneous Field Of View) เป็นหน่วยย่อย ซึ่ง IFOV มีผลต่อความละเอียดของกล้องถ่ายภาพความร้อน เช่นเดียวกับ FOV

FOV เป็นมุมของกล้องที่มองเห็นไปยังวัตถุ มีหน่วยเป็นองศา ซึ่งหากระยะทางการวัดแตกต่างกัน จะส่งผลต่อการรับพื้นที่หรือบริเวณการมองเห็นจากวัตถุแตกต่างกันด้วย คือ ถ้าระยะระหว่างกล้องกับวัตถุห่างกันน้อย จะสามารถรับรายละเอียดของพื้นที่หรือบริเวณการมองเห็นของวัตถุได้แคบกว่าระยะระหว่างกล้องกับวัตถุที่ห่างกันมาก ทำให้มีผลต่อความละเอียดของภาพ ส่วน IFOV คือ เป็นพื้นที่ที่เล็กที่สุดของ FOV ดังแสดงในรูปที่ 2.12



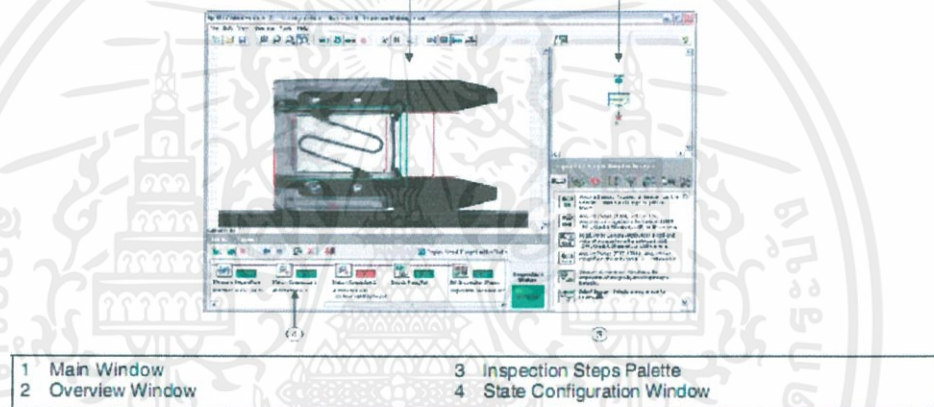
หมายเหตุ: หมายเลข 1 คือ FOV หมายเลข 2 คือพื้นที่หรือบริเวณการมองเห็นจากกล้องถ่ายภาพความร้อน หมายเลข 3 คือ IFOV

รูปที่ 2.18 FOV IFOV และบริเวณการมองเห็นจากกล้องถ่ายภาพความร้อน

## 2.6 Vision Builder AI

โปรแกรม Vision Builder AI ถูกออกแบบมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือเสริมที่ใช้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมที่ครอบคลุมการรักษาด้วยวิสัยทัศน์ optometric ตัดสินใจของผู้ใช้งาน จะให้คำแนะนำเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมมีความเหมาะสมที่สุดเพื่อความต้องการเฉพาะของผู้ใช้งานและเป็นเช่นควรจะเป็นหนึ่งที่จะบอกผู้ใช้งานสิ่งที่ระดับและการตั้งค่าจะดีที่สุดสำหรับผู้ใช้งานและพัฒนาอย่างต่อเนื่องของความสามารถของผู้ใช้ ผู้ใช้งานอาจจะใช้ Vision Builder AI เป็นเครื่องมือแบบสแตนด์อะโลนที่จะปรับปรุงความสามารถในการมองเห็นของผู้ใช้งานแต่การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ใดๆจะไม่แทนที่ความจำเป็นในการที่ครอบคลุมการรักษาด้วยวิสัยทัศน์ โปรแกรมโปรแกรมที่ได้รับการทดสอบบนระบบปฏิบัติการ Windows XP, Windows Vista และ Windows 7

### 2.6.1 ส่วนประกอบของหน้าต่าง Vision Builder AI



รูปที่ 2.19 แสดงส่วนประกอบของหน้าต่าง Vision Builder

#### 1) Main Windows

หน้าจอแสดงภาพที่ถูกประมวลผล จากการตรวจสอบขั้นตอนบางอย่างหรือแผนภาพสถานะสำหรับการตรวจสอบใช้หน้าหลักที่จะกำหนดขอบเขตของความสนใจในภาพ กำหนดค่าขั้นตอนที่พารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนบางอย่างและสร้าง/แก้ไขแผนภาพสถานะสำหรับการตรวจสอบ

#### 2) Overview window

แสดงมุมมองภาพ จากทั้งในปัจจุบันภาพการตรวจสอบหรือแผนภาพสถานะสำหรับการตรวจสอบ

#### 3) Inspection Steps palette









รายการและอธิบายขั้นตอนที่คุณใช้เพื่อสร้างการตรวจสอบของคุณเมื่อผู้ใช้งานคลิกที่ขั้นตอนจะเปลี่ยนเป็นหน้าคุณสมบัติสำหรับขั้นตอน




#### 4) State Configuration window

เอกสารนี้เป็นเอกสาร แสดงรายการของขั้นตอนในการตรวจสอบเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 การตั้งค่าอินเตอร์เฟซ

ตารางที่ 2.3 แสดงการตั้งค่าอินเตอร์เฟซ

Button	Name	Description
	Run Inspection Once	ทำงานการตรวจสอบ1ครั้ง
	Run Inspection in Loop	ทำงานการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง
	Run Inspection Until Failure	ทำงานการตรวจสอบจนกว่าตัวแปรสถานะการตรวจสอบมีค่า FAIL
—	Run Inspection Multiple Times	ทำงานตรวจสอบการระบุจำนวนครั้ง ตัวเลือกนี้จะใช้ได้เฉพาะจากเมนู Operate
	Stop Inspection	หยุดการตรวจสอบ
	Highlight Execution	ไฮไลท์การดำเนินการตรวจสอบเมื่อคุณเรียกใช้การตรวจสอบ ถ้าปุ่ม Execution จุดเด่นปรากฏเป็นสีเหลืองเน้นการดำเนินการถูกเปิดใช้งาน
	Pause	หยุดหรือดำเนินการต่อการดำเนินการของการตรวจสอบ ถ้าปุ่มหยุดชั่วคราวจะปรากฏสีแดงดำเนินการถูกหยุดชั่วคราว
	Single Step	ผ่านการตรวจสอบตามขั้นตอน ขั้นตอนเดียว จะใช้ได้เฉพาะเมื่อปุ่มหยุดชั่วคราวกด
	Use Previous Image	ใช้ภาพการตรวจสอบก่อนหน้านี้ในครั้งต่อไป การตรวจสอบดำเนินการ

Button	Name	Description
	Use Current Image	ใช้ภาพการตรวจสอบในปัจจุบันการตรวจสอบ ในครั้งต่อไปดำเนินการ*
	Use Next Image	ใช้ภาพการตรวจสอบต่อไปการตรวจสอบใน ครั้งต่อไปดำเนินการ*
	Select Next Image	ระบุการตรวจสอบภาพในการประมวลผลการ ตรวจสอบในครั้งต่อไปดำเนินการ*
*ปุ่มนี้ใช้เฉพาะกับการตรวจสอบว่าทั้งสองมีขั้นตอนการได้มาซึ่งจำลองหรือได้จำลองกล้อง สมาร์ต, จำลองระบบสมองกลฝังตัววิสัยทัศน์หรือวิสัยทัศน์จำลองระบบขนาดกะทัดรัดเลือกเป็น เป้าหมาย		

### 2.6.3 การตรวจสอบอินเตอร์เฟซ

หลังจากการตรวจสอบมีการกำหนดค่าใช้อินเตอร์เฟซการตรวจสอบการทำงานการ  
ตรวจสอบและ/หรือปรับใช้ระบบของผู้ใช้งานทำตามคำแนะนำต่อไปนี้เพื่อให้ทำงานได้ตรวจสอบจาก  
อินเตอร์เฟซการตรวจสอบ:

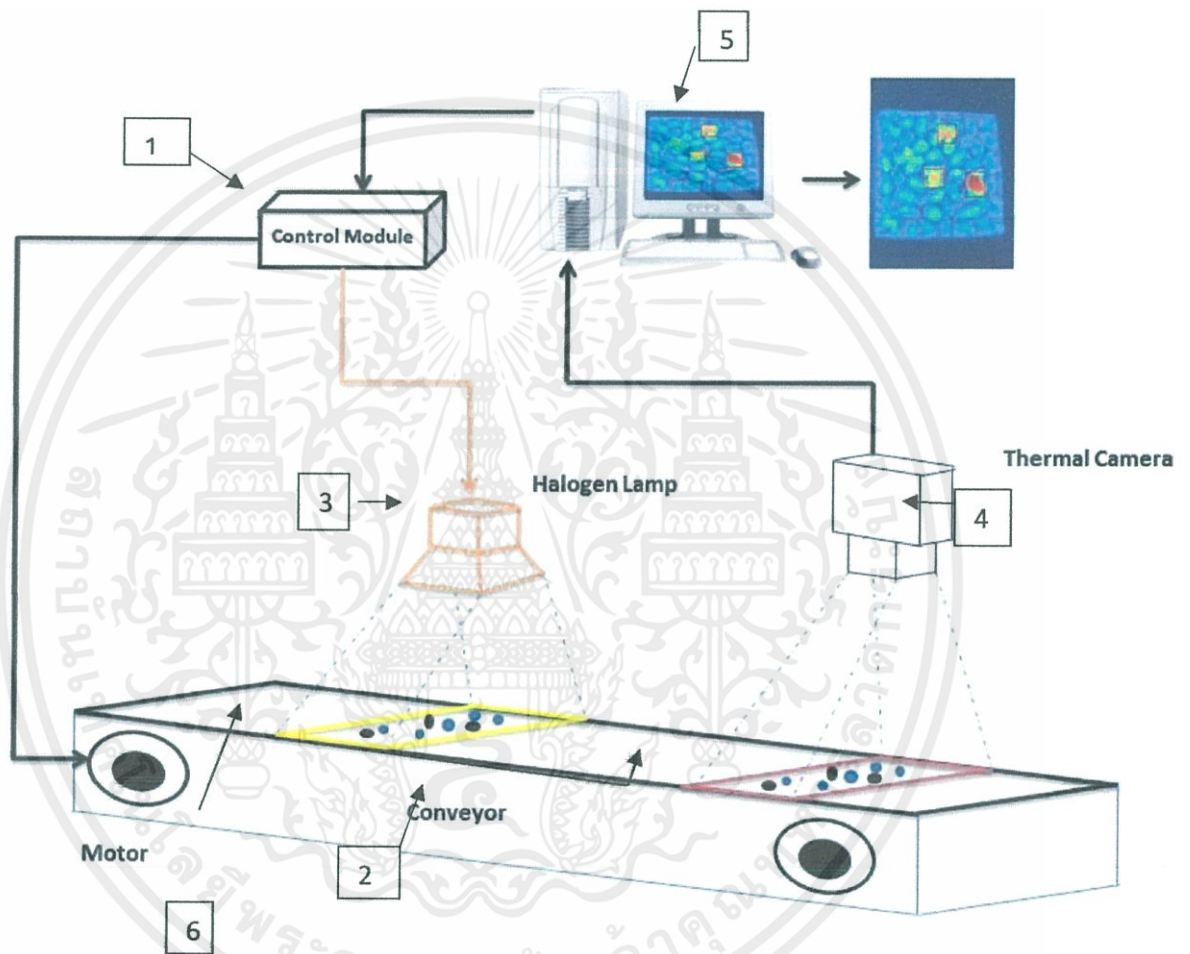
- 1) เลือกเริ่มต้น»โปรแกรมทั้งหมด » National Instruments » วิสัยทัศน์สร้าง AI เพื่อเปิด  
วิสัยทัศน์สร้าง AI
- 2) เมื่อหน้าจอ National Instruments Vision Builder AI ด้อนรับคลิกเรียกดูภายใต้  
เรียกใช้การตรวจสอบ
- 3) เลือกการตรวจสอบว่าผู้ใช้งานต้องการใช้และคลิกตกลงเมื่อต้องการเปิดการตรวจสอบการ  
ตรวจสอบใน Interface
- 4) คลิกที่ปุ่มตรวจสอบเริ่มต้น Vision Builder AI เริ่มทำงานการตรวจสอบและปรับปรุง  
พื้นที่สามของอินเตอร์เฟซการตรวจสอบกับข้อมูลล่าสุดการตรวจสอบโดยค่าเริ่มต้นVisionBuilder AI  
แสดงทุกภาพในการตรวจสอบแสดงหน้าต่าง ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนการตั้งค่าการแสดงผลในมุมมอง  
เมนูเพื่อดูภาพเท่านั้นที่ล้มเหลวหรือมีการแสดงผล นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถเปลี่ยนการขยายของ  
ภาพที่แสดงในตัวเลือกเมนูขอให้สังเกตข้อมูลประสิทธิภาพที่ปรากฏในการตรวจสอบสถิติแผงหน้าปัด  
ข้อมูลนี้สามารถช่วยให้ผู้ใช้งานกำหนดวิธีการได้อย่างมีประสิทธิภาพของผู้ใช้งานการตรวจสอบการ  
ทำงานบนพื้นฐานของข้อมูลนี้ผู้ใช้งานสามารถทำการปรับเปลี่ยนการเพิ่มความเร็วการตรวจสอบ
- 5) คลิกที่ปุ่มตรวจสอบหยุดที่จะหยุดการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

## 3.1 การออกแบบระบบและโปรแกรมการทดลอง

### 3.1.1 การออกแบบระบบชุดสายพานลำเลียง



รูปที่ 3.1 แสดงระบบสายพานลำเลียงการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมแบบอัตโนมัติ

ส่วนประกอบของชุดสายพานลำเลียงการตรวจสอบแบบอัตโนมัติ

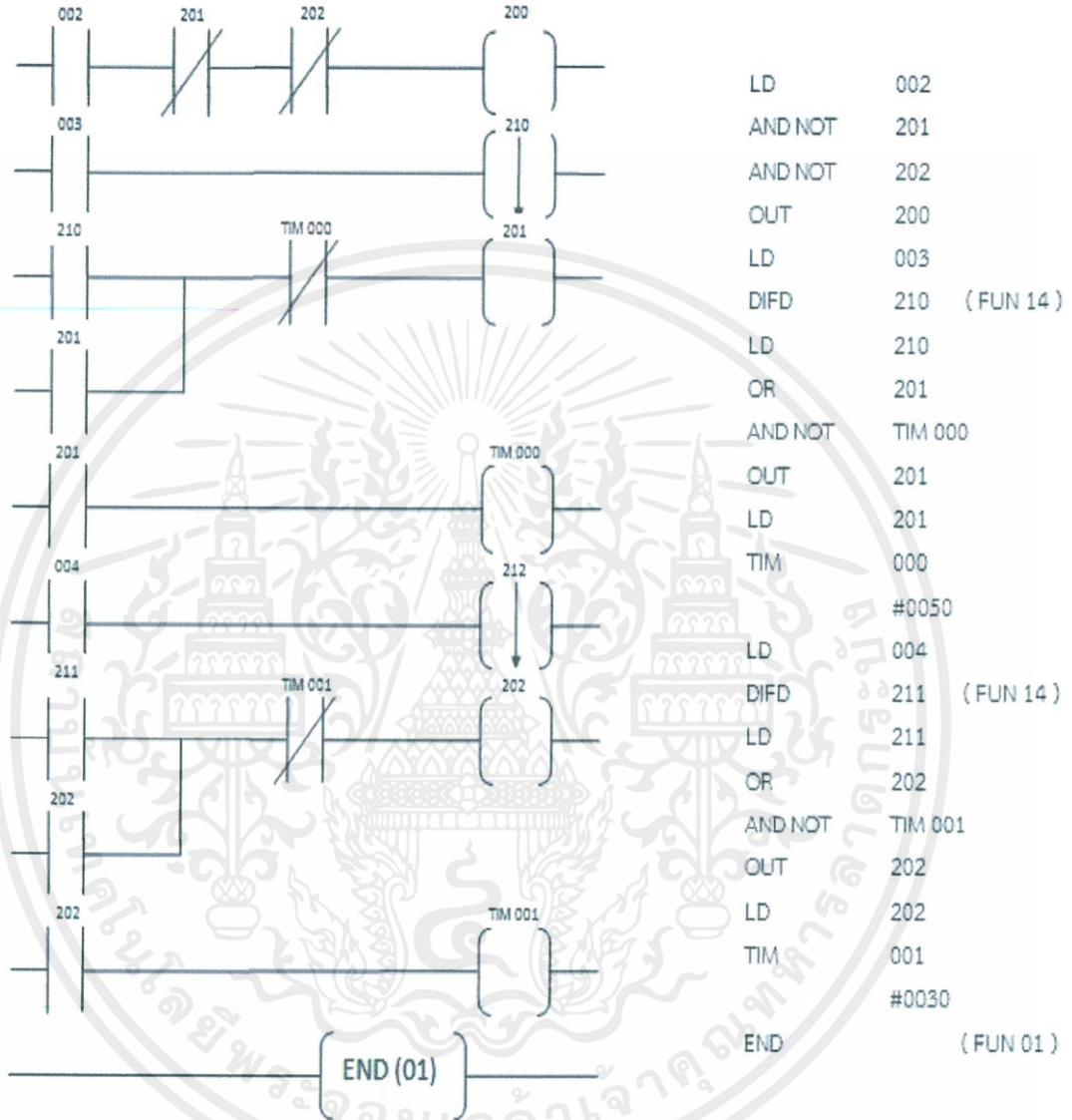
1. พีแอลซี ยี่ห้อ omron sysmac c28h
2. ชุดสายพานลำเลียง
3. แหล่งจ่ายความร้อน
4. กล้องถ่ายภาพความร้อน
5. คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม Vision Builder AI
6. โฟโต้เซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบระบบควบคุมชุดสายพานลำเลียงโดยใช้พีแอลซี รุ่นomron sysmac c28h

ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมชุดสายพานลำเลียง มีดังนี้

- 1) จัดสรรอินพุตและเอาต์พุตให้กับเซนเซอร์และสวิตช์
- 2) เขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมและบูลีนของชุดสายพานลำเลียง



รูปที่3.2 แลดเดอร์ไดอะแกรม

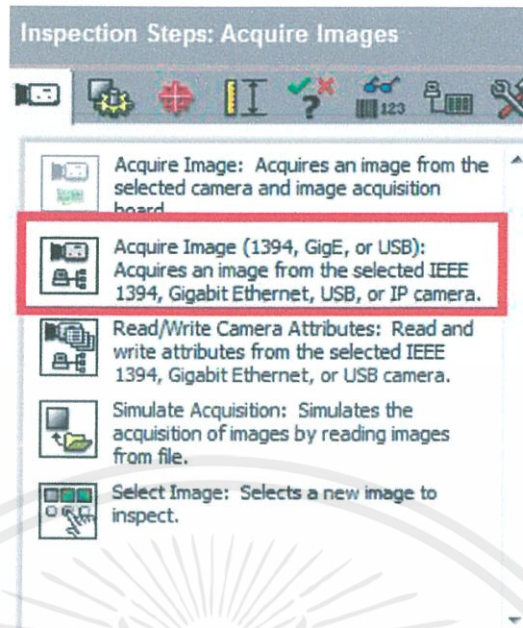
รูปที่3.3 บูลีน

- 3) ป้อนโปรแกรม โดยใช้ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ
- 4) ทำการรัน PLC

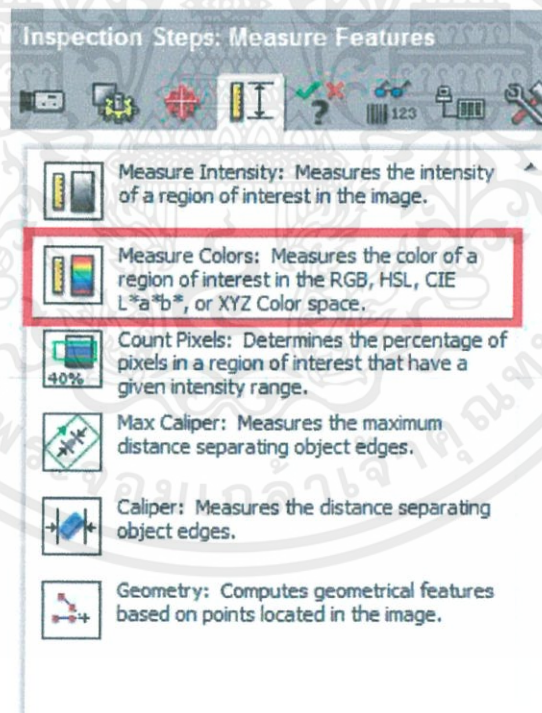
3.1.3 การออกแบบโปรแกรมการทดลอง

1)ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆก็ตาม -สร้างโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง Acquire Image (1394, GigE, or USB) Controls เพื่อติดต่อกับกล้อง  
 ดังรูปที่ 3.4 และใช้คำสั่ง Measure Colors เพื่อตรวจวัดค่าสีของภาพ ดังรูปที่ 3.5

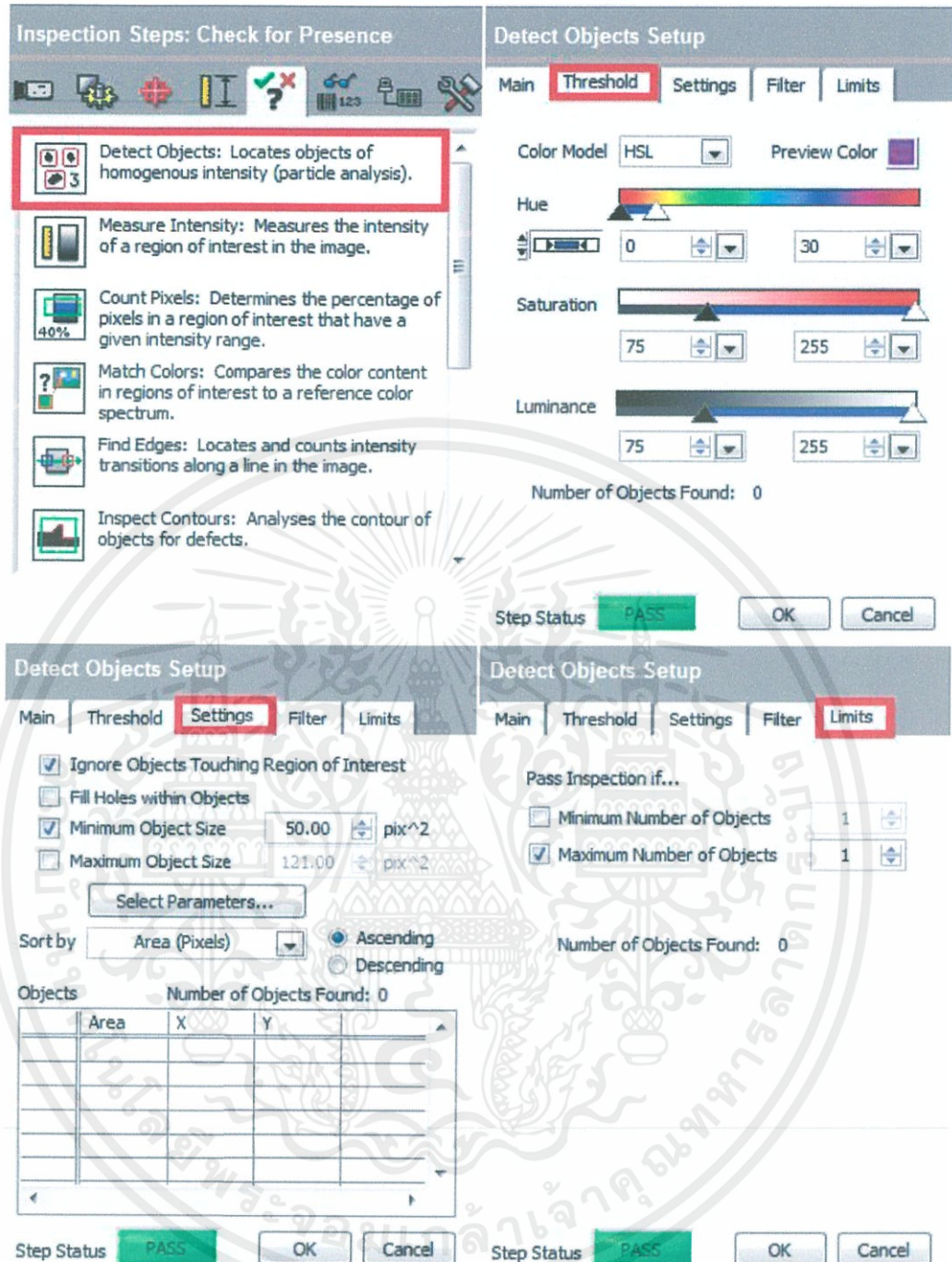


รูปที่ 3.4 แสดงคำสั่งที่ใช้ติดต่อกับกล้อง



รูปที่ 3.5 แสดงคำสั่งที่ใช้วัดค่าสี

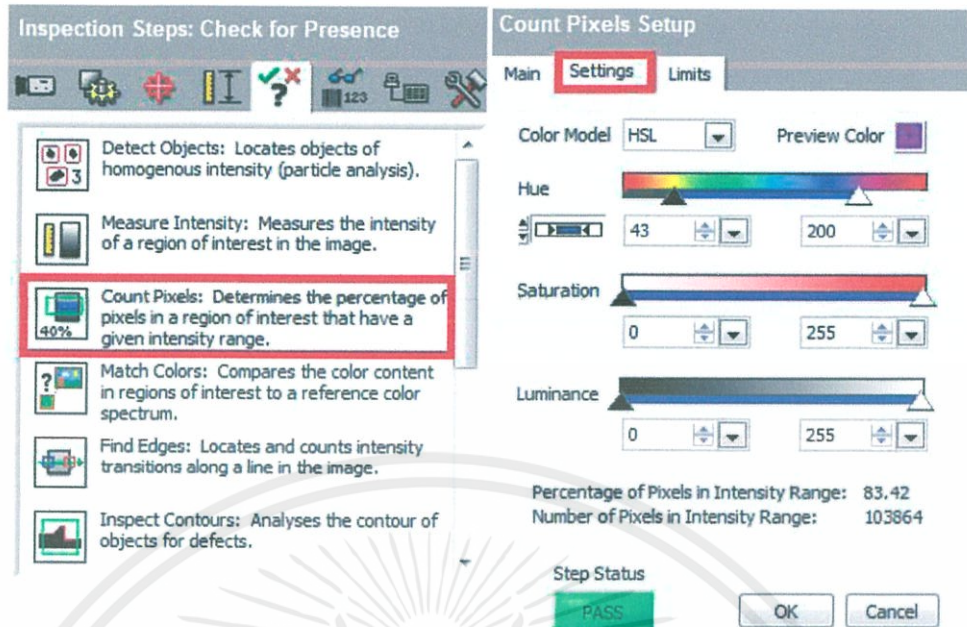
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
 -ใช้คำสั่ง Detect Objects Controls เพื่อตรวจจับวัตถุแปลกปลอมจากสีที่แตกต่าง โดยที่ทำการ  
 ปรับค่า Threshold เหนือให้จับที่โทนสีร้อน ต่อจากนั้นเราจะกำหนดค่า ให้จับขนาดวัตถุที่ไม่ต่ำกว่า  
 50 ตารางจุด และทำการจำกัดค่าถ้าเจอวัตถุแปลกปลอมที่มากกว่า 1 จะให้หน้าจอแสดงคำว่า fail  
 ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงคำสั่งที่ใช้ตรวจจับวัตถุแปลกปลอม

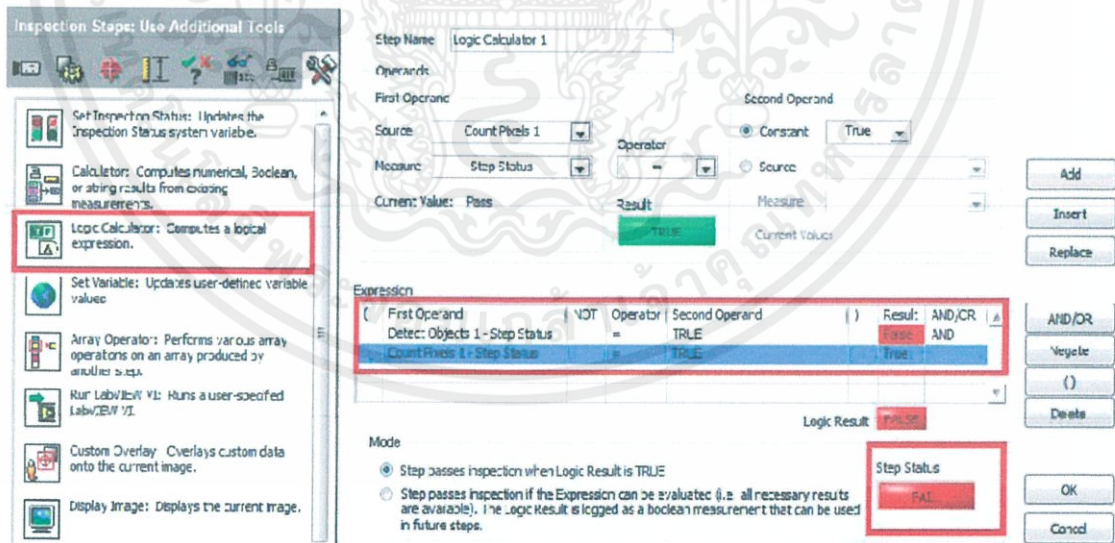
-ใช้คำสั่ง Count Pixels Controls เพื่อวัดค่าเปอร์เซ็นต์ภาพ โดยที่ทำการปรับค่า Threshold เติมนี้นให้จำนวนเปอร์เซ็นต์สีที่โทนสีเย็น ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



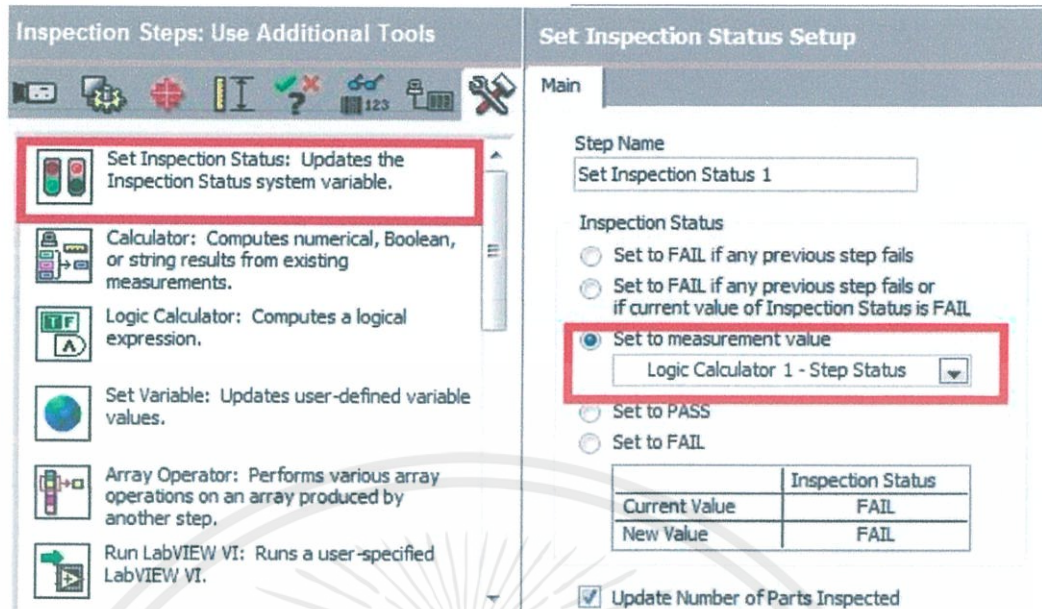
รูปที่ 3.7 แสดงคำสั่งที่ใช้คำนวณเปอร์เซ็นต์ภาพ

-ใช้คำสั่ง Logic Calculator เพื่อตั้งกฎแสดงสถานะ โดยจะตั้งค่าให้นำสถานะของคำสั่ง Detect Objects และ Count Pixels มาทำการ AND กัน เมื่อสถานะของคำสั่งใดขึ้น Fail จะทำให้สถานะของ Logic Calculator ขึ้น Fail ดังรูปที่ 3.5 จากนั้นใช้คำสั่ง Set Inspection Status เพื่อจะให้เห็นสถานะที่หน้าจอแสดงผล ว่าเป็น pass หรือ fail โดยตั้งค่าให้แสดงสถานะจากคำสั่ง Logic Calculator ดังรูปที่ 3.8



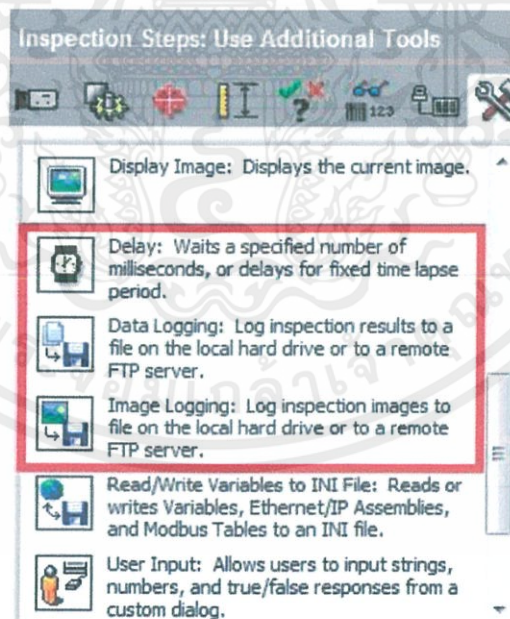
รูปที่ 3.8 แสดงคำสั่งที่ใช้เพื่อตั้งค่าสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงคำสั่งที่ใช้เพื่อแสดงสถานะ

-ใช้คำสั่ง image logging และ data logging เพื่อเก็บภาพและข้อมูลการทดสอบ โดยที่ข้อมูลจะทำการบันทึกเป็นรูปแบบไฟล์ .csv ซึ่งสามารถเปิดใน Microsoft Excel ได้ และทำการใช้คำสั่ง delay ให้นั่งเวลาเก็บภาพและข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ดังรูปที่ 3.10



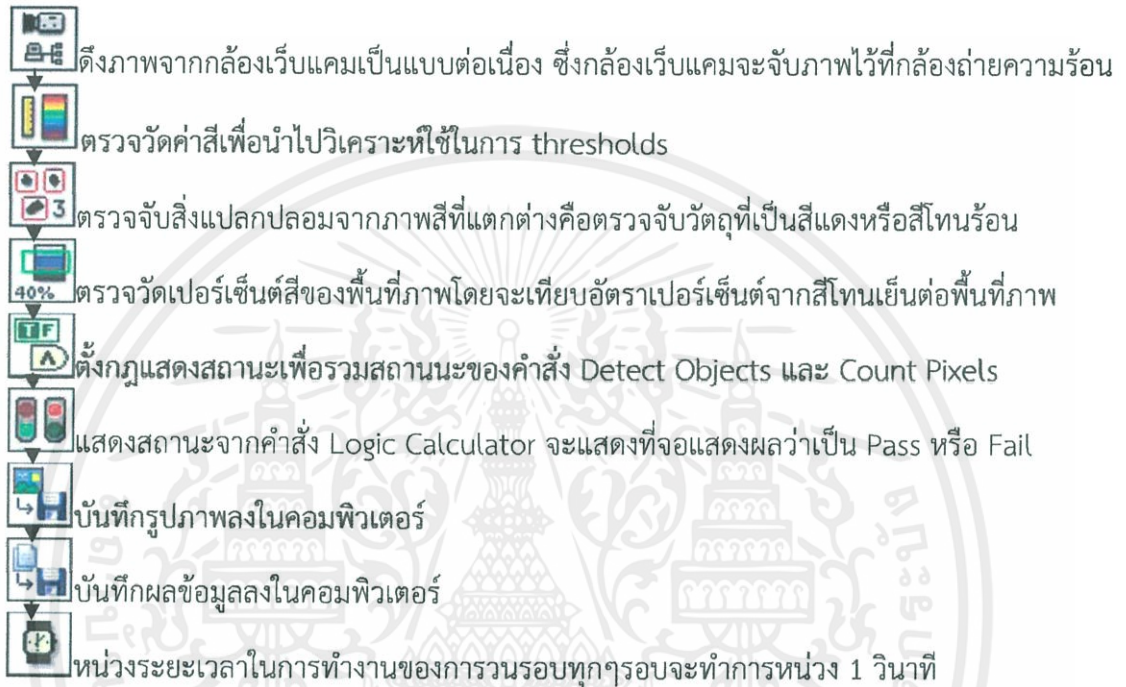
รูปที่ 3.10 แสดงคำสั่งที่ใช้เพื่อ เก็บภาพ เก็บข้อมูล และหน่วงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
-จากการใช้คำสั่งทั้งหมดจะแสดงในรายการขั้นตอนการตรวจสอบ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงคำสั่งทั้งหมดของโปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอม

## 2) ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม



## 3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.1 ชุดสายพานลำเลียง



รูปที่ 3.12 สายพานลำเลียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 กล้องถ่ายภาพความร้อน FLUKE รุ่น TI32



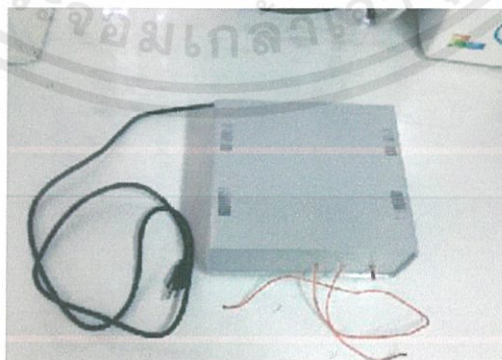
รูปที่ 3.13 กล้องถ่ายภาพความร้อน ยี่ห้อ FLUKE รุ่น TI32

### 3.2.3 พีแอลซี



รูปที่ 3.14 พีแอลซี ยี่ห้อ omron sysmac c28h

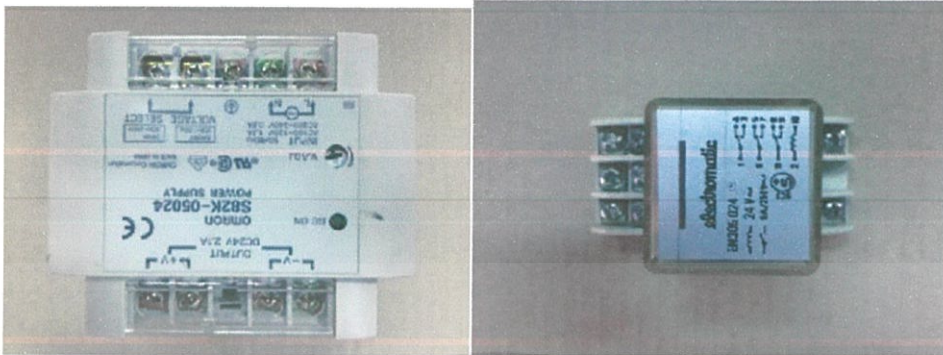
### 3.2.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 5 โวลต์



รูปที่ 3.15 แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์

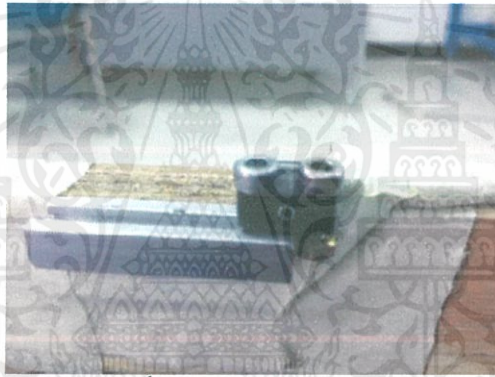
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์ และรีเลย์



รูปที่ 3.16 แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์ และรีเลย์

### 3.2.7 โฟโต้เซนเซอร์



รูปที่ 3.17 โฟโต้เซนเซอร์

### 3.2.8 หลอดไฟแบบไฮโดรเจนขนาด 150 วัตต์



รูปที่ 3.18 ชุดหลอดไฟ ขนาด 150 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.9 ถัวยี่ซ



รูปที่ 3.19 เมล็ดถั่วแดงและถั่วลิสง

### 3.2.10 สิ่งแปลกปลอม



รูปที่ 3.20 สิ่งแปลกปลอม

### 3.2.11 ถาดสังกะสี



รูปที่ 3.21 ถาดสังกะสีใส่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

## 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1. เตรียมวัสดุที่จะทำการทดลอง โดยจะใช้เมล็ดพืชคือ ถั่วลิสง และ ถั่วแดง และ อุปกรณ์ที่ใช้เป็นสิ่งแปลกปลอม ได้แก่ ไม้ หิน และพลาสติก เตรียมถาดไว้ใส่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่2.เตรียมกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยติดกล้องเว็บแคมไว้บนจอของกล้องถ่ายภาพความร้อนและทำการปรับRangeและspanของกล้องถ่ายภาพความร้อนให้พร้อมใช้สำหรับการทดลอง ดังรูปที่3.22



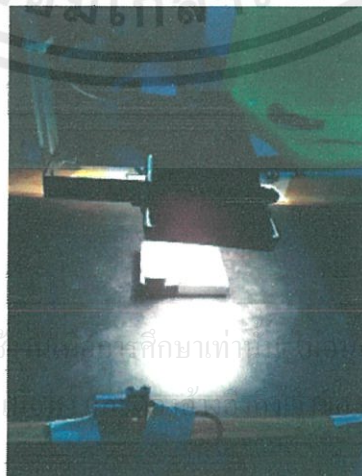
รูปที่3.22 กล้องถ่ายภาพความร้อน ที่พร้อมทำการทดลอง

ขั้นตอนที่3.นำถาดที่มี เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมวางบน ชุดสายพานลำเลียง



รูปที่ 3.23 ถาดทดลอง ในขณะที่ทำการทดลอง

ขั้นตอนที่4.ทำการรันระบบชุดสายพานลำเลียงโดยที่จะมีเซนเซอร์ตัวที่1เป็นสวิตซ์ในการหยุดสายพานและทำให้ชุดหลอดไฟทำงาน ดังรูปที่3.24



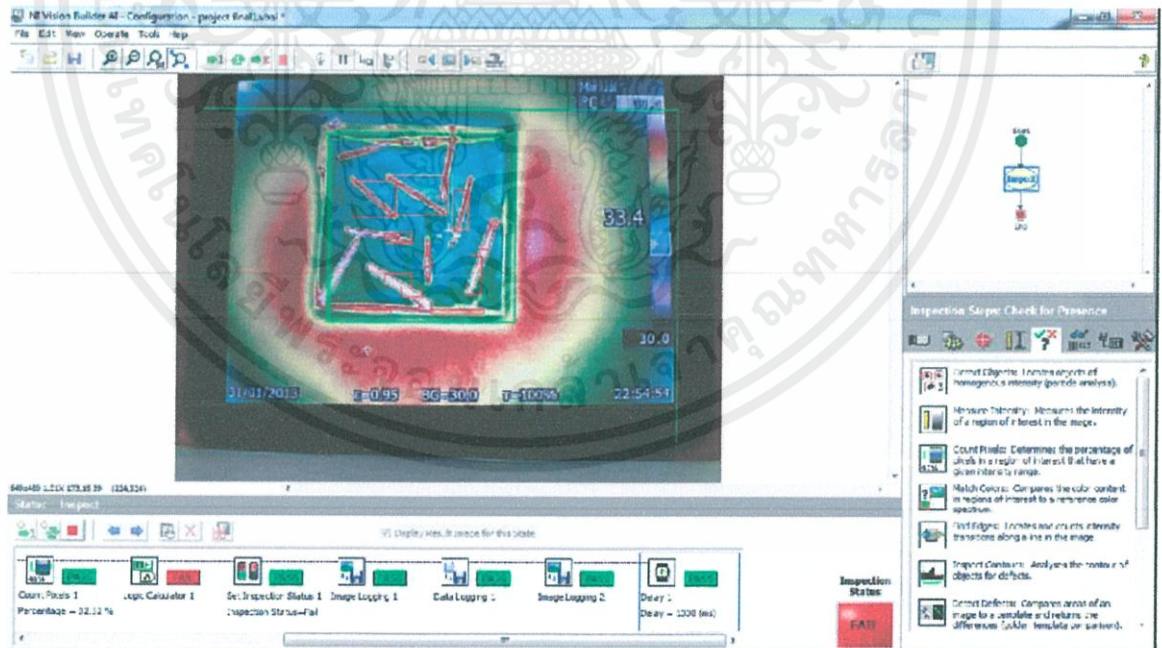
รูปที่3.24 ชุดหลอดไฟ ขณะให้ความร้อน

ขั้นตอนที่5.เซนเซอร์ตัวที่2ทำหน้าที่หยุดชุดสายพานลำเลียงไว้ชั่วคราวเพื่อให้กล้องถ่ายภาพความร้อน ได้ถ่ายภาพ ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 กล้องถ่ายภาพความร้อน ขณะจับภาพ

ขั้นตอนที่6.เมื่อได้ภาพถ่ายความร้อนก็นำมาทำการแยกแยะโดยใช้โปรแกรม Vision Builder AI



รูปที่ 3.26 หน้าโปรแกรม vision builder AI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ขั้นตอนที่7.ทำการเก็บผลการทดลองไว้ในรูปแบบไฟล์ .csv สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเปิดใน  
 โปรแกรม Microsoft Excel

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

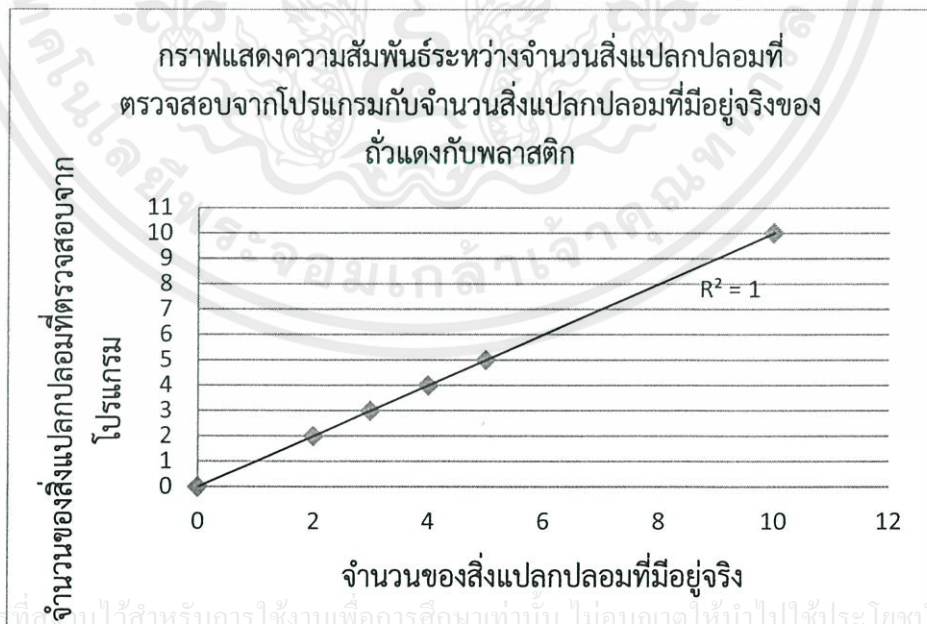
#### 4.1 การทดลองที่ 1

ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วแดง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นพลาสติก

ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชซึ่งให้สิ่งแปลกปลอมคือพลาสติก มีจำนวนตั้งแต่ 0, 2, 3, 4, 5 และ 10 ชิ้น โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนจับภาพแบบต่อเนื่องแล้วส่งภาพไปให้โปรแกรม ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม จะได้ผลตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วแดงกับพลาสติก

จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง	จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม
0	0
2	2
3	3
4	4
5	5
10	10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับความรู้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับ  
จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วแดงกับพลาสติก

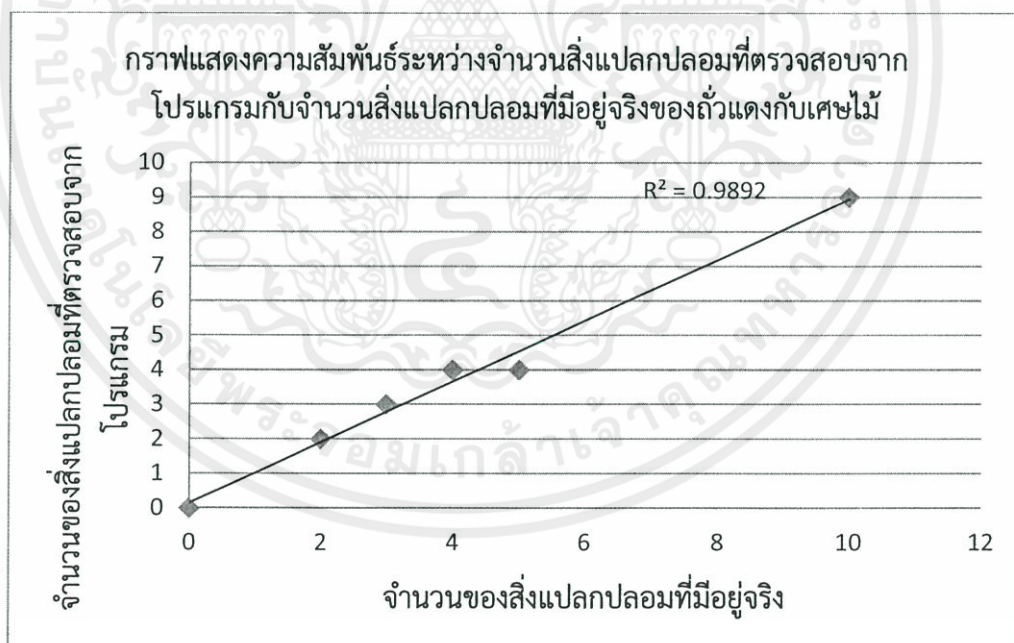
#### 4.2 การทดลองที่ 2

ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วแดง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นเศษไม้

ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช ซึ่งให้สิ่งแปลกปลอมคือเศษไม้ มีจำนวนตั้งแต่ 0, 2, 3, 4, 5 และ 10 ชิ้น โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนจับภาพแบบต่อเนื่องแล้วส่งภาพไปให้โปรแกรม ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม จะได้ผลตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงถั่วแดงกับเศษไม้

จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง	จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม
0	0
2	2
3	3
4	4
5	4
10	9



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วแดงกับเศษไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

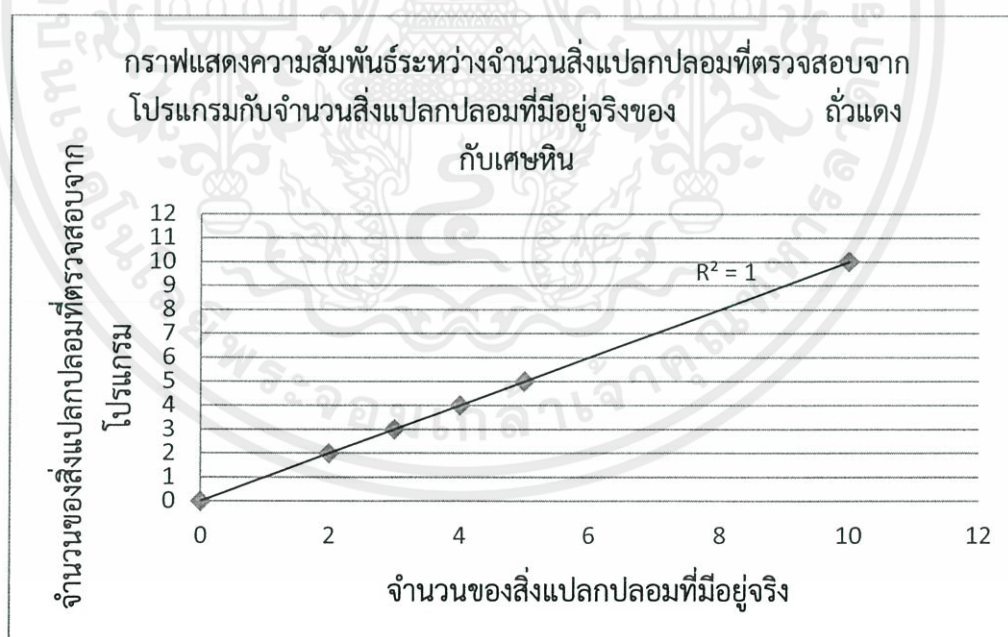
### 4.3 การทดลองที่ 3

ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วแดง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นเศษหิน

ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช ซึ่งให้สิ่งแปลกปลอมคือเศษหิน มีจำนวนตั้งแต่ 0, 2, 3, 4, 5 และ 10 ชิ้น โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนจับภาพแบบต่อเนื่องแล้วส่งภาพไปให้โปรแกรม ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม จะได้ผลตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วแดงกับเศษหิน

จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง	จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม
0	0
2	2
3	3
4	4
5	5
10	10



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วแดงกับเศษหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

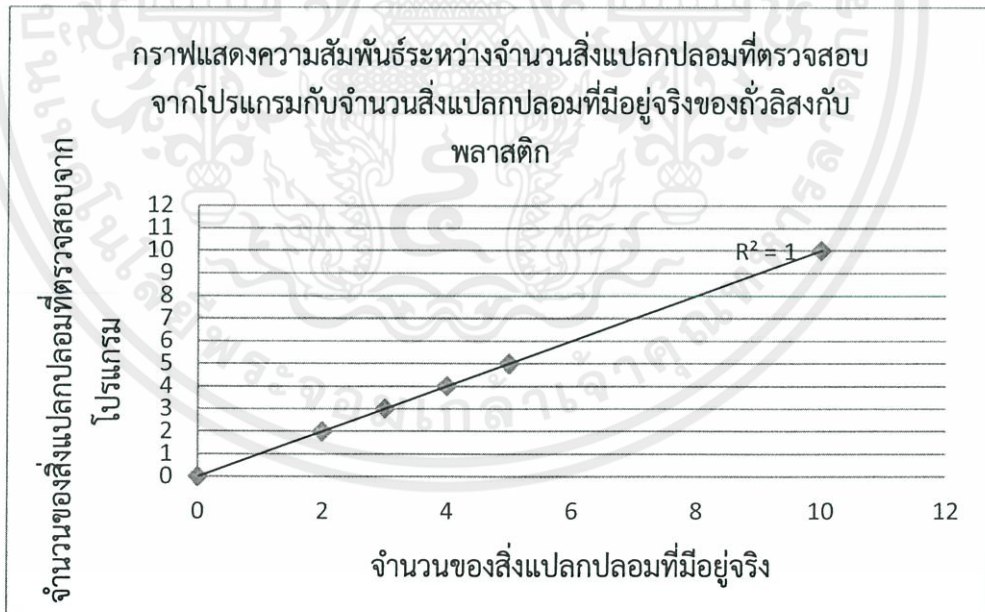
#### 4.4 การทดลองที่ 4

ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วลิสง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นพลาสติก

ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช ซึ่งให้สิ่งแปลกปลอมคือพลาสติก มีจำนวนตั้งแต่ 0, 2, 3, 4, 5 และ 10 ชิ้น โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนจับภาพแบบต่อเนื่องแล้วส่งภาพไปให้โปรแกรม ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม จะได้ผลตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วลิสงกับพลาสติก

จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง	จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม
0	0
2	2
3	3
4	4
5	5
10	10



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วลิสงกับพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

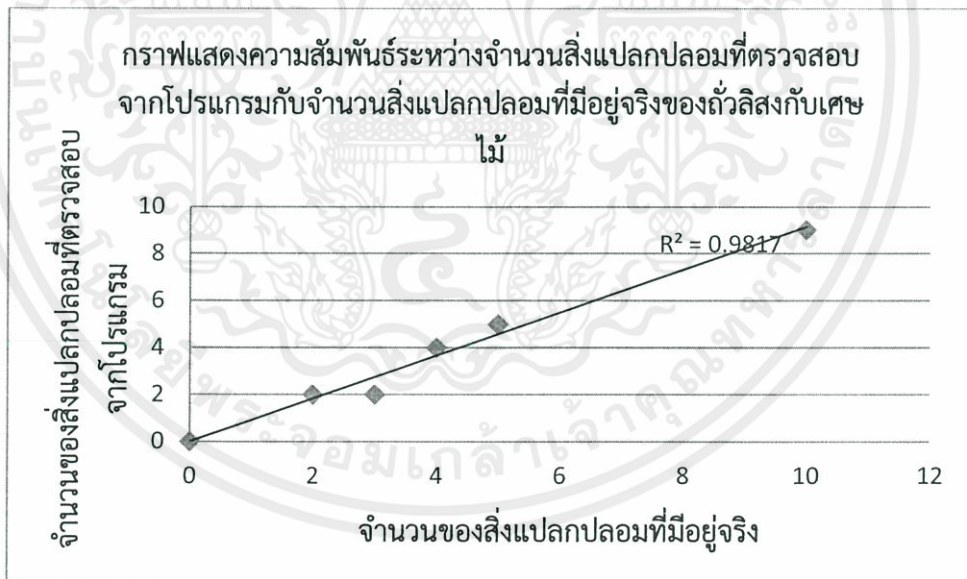
#### 4.5 การทดลองที่ 5

ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วลิสง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นเศษไม้

ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช ซึ่งให้สิ่งแปลกปลอมคือเศษไม้ มีจำนวนตั้งแต่ 0, 2, 3, 4, 5 และ 10 ชิ้น โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนจับภาพแบบต่อเนื่องแล้วส่งภาพไปให้โปรแกรม ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม จะได้ผลตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วลิสงกับเศษไม้

จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง	จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม
0	0
2	2
3	2
4	4
5	5
10	9



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วลิสงกับเศษไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

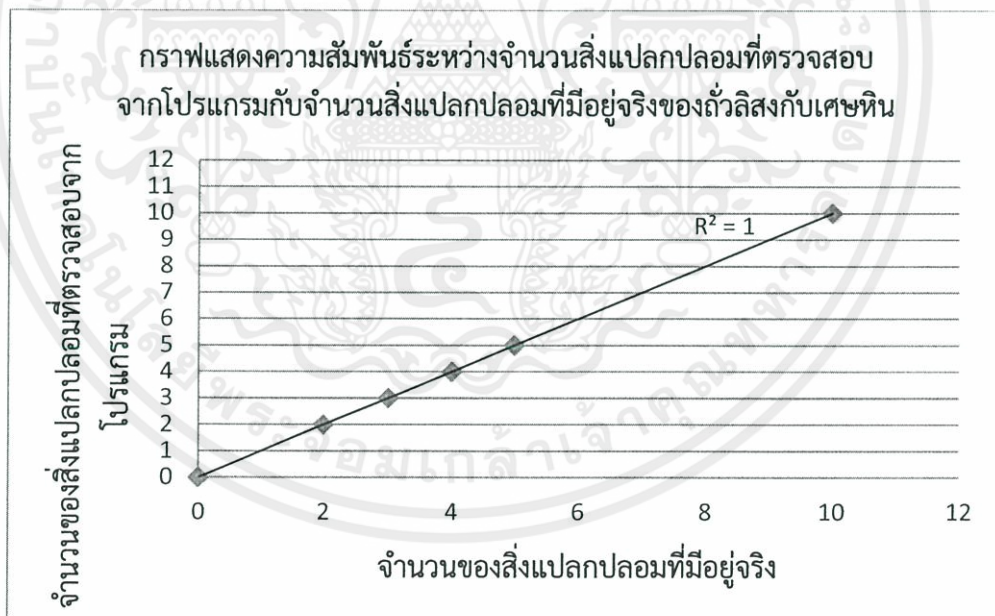
#### 4.6 การทดลองที่ 6

ทำการทดลองตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมของถั่วลิสง โดยมีสิ่งแปลกปลอมเป็นเศษหิน

ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช ซึ่งให้สิ่งแปลกปลอมคือเศษหิน มีจำนวนตั้งแต่ 0, 2, 3, 4, 5 และ 10 ชิ้น โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนจับภาพแบบต่อเนื่องแล้วส่งภาพไปให้โปรแกรม ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม จะได้ผลตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วลิสงกับเศษหิน

จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง	จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรม
0	0
2	2
3	2
4	4
5	5
10	9



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ตรวจสอบจากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงของถั่วลิสงกับเศษหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและแนวทางการพัฒนาต่อ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้จะใช้หลักการ ค่าความจุความร้อนมา มาทำการทดลอง โดยนำแหล่งจ่ายความร้อน มาให้ความร้อนกับ เมล็ดพืชที่จะทำการตรวจจับ เมื่อทำการให้ความร้อนแล้วก็ใช้กล้องภาพถ่ายความร้อนจับภาพ โดยกล้องภาพถ่ายความร้อนจับการคายความร้อนของเมล็ดพืชซึ่งสีของเมล็ดพืชในการทดลองที่ต่างชนิดกันก็จะมีสีแตกต่างกัน เกิดจากค่าความจุความร้อนต่างกัน ซึ่งค่าความจุความร้อนของเมล็ดพืชในการทดลองเป็น ดังนี้ถั่วแดงมีค่า 3.66-3.32 kJ/kgK, ถั่วลิสงมีค่า 1.926-2.192 kJ/kgK, หินมีค่า 0.46-0.9 kJ/kg K, เศษไม้มีค่า 1.26-2.9 kJ/kg K และพลาสติกมีค่า 0.9-0.16 kJ/kgK ซึ่งค่าเหล่านี้มีผลต่อการทดลองโดยตรง โครงการนี้มีสองส่วนหลักๆ ประกอบกันคือ ส่วนของอุปกรณ์ในการควบคุม และในส่วนของกระป๋องผลผลิตภาพส่วนของอุปกรณ์ควบคุมได้นำพีแอลซี มาเป็นตัวคอนโทรลเลอร์ มีโพโต้เซนเซอร์เป็นอินพุตและเอาท์พุตเป็นชุดสายพานและชุดหลอดไฟ ออกแบบได้ดังรูปที่ 3.1.2 และส่วนของการประมวลผลภาพจะใช้โปรแกรม Vision Builder AI เป็นโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบแยกแยะสิ่งปลอมปนกับเมล็ดพืช ในส่วนของการทดลองได้นำเมล็ดพืชมาสองชนิดคือ ถั่วลิสงและถั่วแดง ส่วนสิ่งแปลกปลอม ได้นำ พลาสติก เศษไม้และหินมาทำการทดลอง จากตารางที่ 4.1 จะเป็นการทดลองระหว่าง ถั่วแดงกับพลาสติก ตารางที่ 4.2 จะเป็นการทดลองระหว่างถั่วแดงกับเศษไม้ ตารางที่ 4.3 เป็นการทดลองระหว่าง ถั่วแดงกับหิน ตารางที่ 4.4 เป็นการทดลองระหว่าง ถั่วลิสงกับพลาสติก ตารางที่ 4.5 เป็นการทดลองระหว่าง ถั่วลิสงกับเศษไม้ และ ตารางที่ 4.6 เป็นการทดลองระหว่าง ถั่วลิสงกับหิน ผลการทดลองสามารถดูจากกราฟตารางในการทดลอง ซึ่งผลการทดลองสามารถตรวจสอบแยกแยะสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชตัวอย่างออกมาได้ร้อยละ 100 จะเห็นได้ว่าการทดลองนี้สามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชได้หมด การทดลองนี้จะทำให้เห็นว่าสามารถแยกแยะได้ดีกว่าแบบวิธีอื่นๆ

### 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการนี้

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการนี้ มีปัจจัยเรื่องแสงภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยทำให้ค่าของสีเกิดการเพี้ยนเกิดขึ้น และอีกปัจจัยสำคัญในคือ การทดลองเมื่อมีผู้ทดลองอยู่ใกล้ๆจะทำให้ขอบเขตมีลักษณะเป็นสีแดง เกิดจากรังสีจากตัวคนแผ่เข้าไปในกล้อง และที่สำคัญปัญหาเกิดจากกล้องเว็บแคมที่ผู้ทำการทดลองศึกษากล้องไม่ทราบว่า กล้องเว็บแคมมีการความขาวขึ้นโดยอัตโนมัติ

### 5.1 แนวทางการพัฒนาต่อ

โครงการนี้สามารถนำพัฒนาต่อ โดยให้สามารถคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

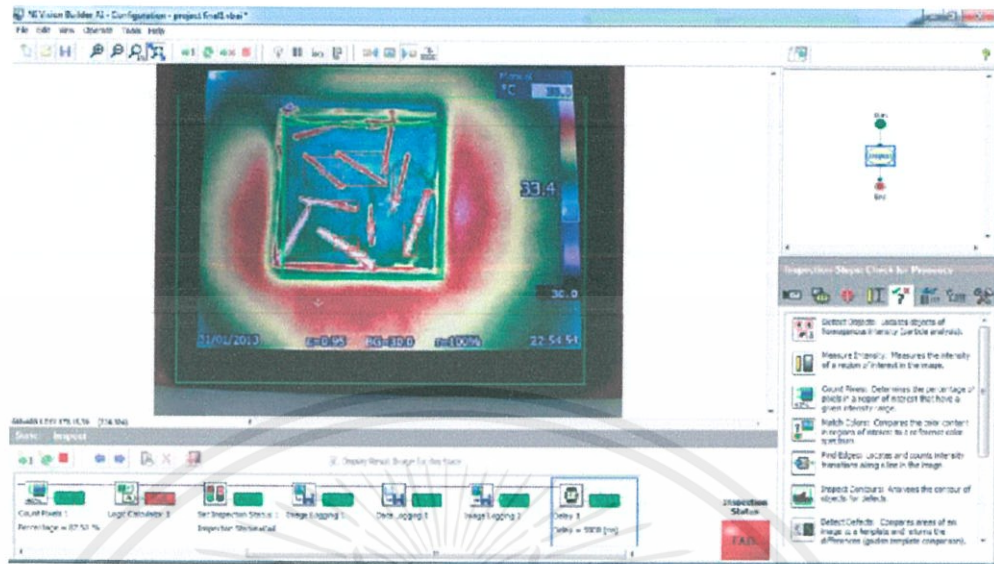
- [1] Giaime Ginesu, Daniele D. Giusto , Volker Märgner , Peter Meinschmidt. **Detection of Foreign Bodies in Food by Thermal Image Processing**, April 2004.
- [2] บุญญศักรย์ มิตรธรรมศิริ, ระพีพัฒน์ จำปีพรหม. **เครื่องวัดความเข้มข้นของน้ำตาลในกระบวนการ ออสโมติกด้วยหลักการวัดค่าความหนาแน่น**. ปริญญาานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรม การวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554
- [3] Available : <http://ni.com>. **NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial** . National Instruments Corporation, 2002-2011
- [4] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. **โครงการการวัดค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีอินฟราเรดของวัสดุและอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค**. กองทุนวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, มกราคม 2555.
- [5] Available : <http://www.omron.com> . **คู่มือPLC Omron sysmac c28h** . บริษัท ออมรอน อิเล็กทรอนิกส์, ตุลาคม 2550.
- [6] Available : <http://register.fluke.com>. **Ti32, TiR32 Users Manual**. Fluke Corporation, July 2009.
- [7] P. Meinschmidt. **Thermographic detection of defects in wood and wood-based materials**. May 2005.
- [8] รศ.ดร. ทวีพล ซื่อสัตย์. **การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนในอุตสาหกรรมเหล็ก**. ภาควิชาการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.1 แสดงรูปภาพโปรแกรม และการตรวจจับสิ่งแปลกปลอม



รูปที่ ก.1 แสดงโปรแกรมตรวจจับสิ่งแปลกปลอม

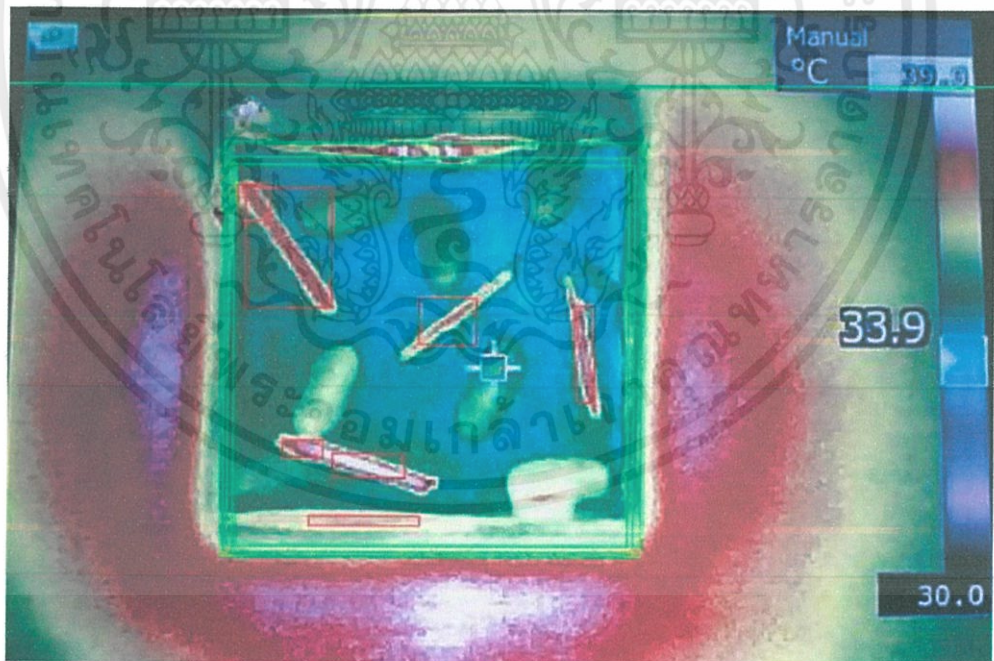


รูปที่ ก.2 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 80% กับ เศษไม้ 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

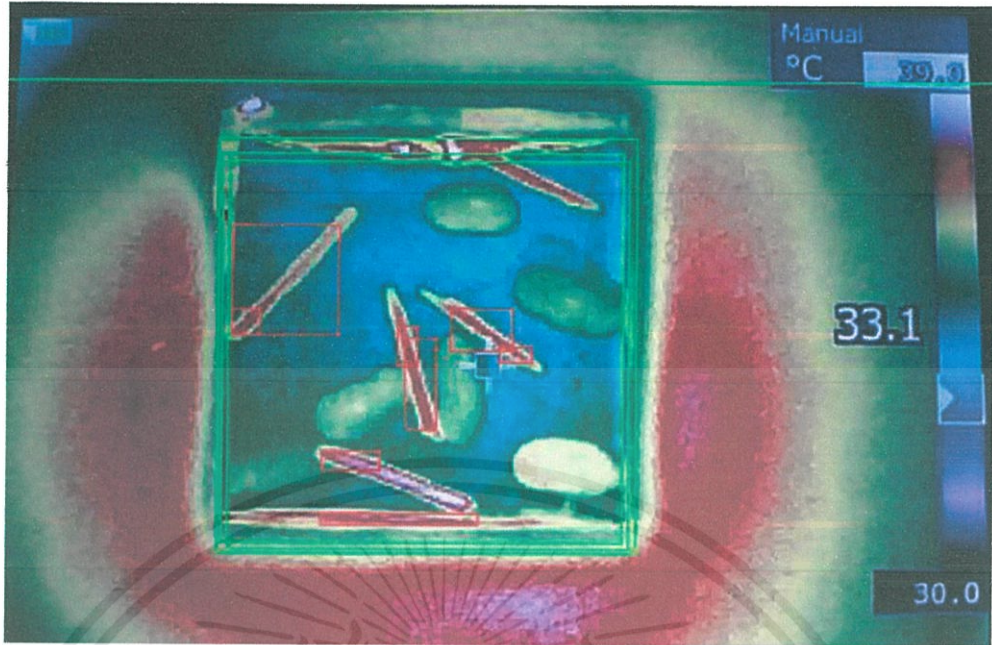


รูปที่ ก.3 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 70% กับ เศษไม้ 30%

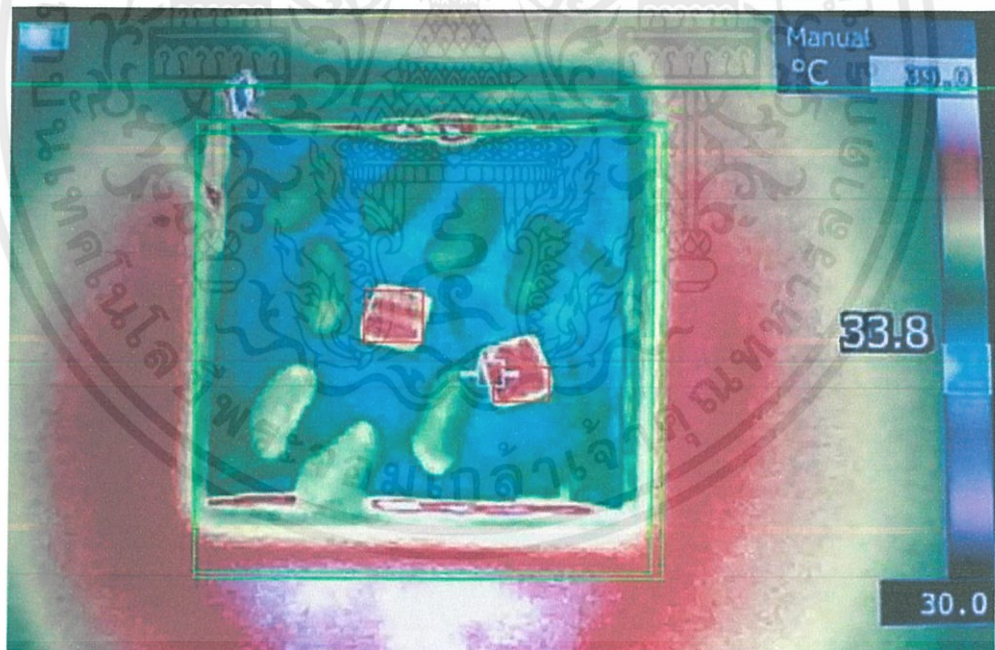


รูปที่ ก.4 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 60% กับ เศษไม้ 40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 50% กับ เศษไม้ 50%

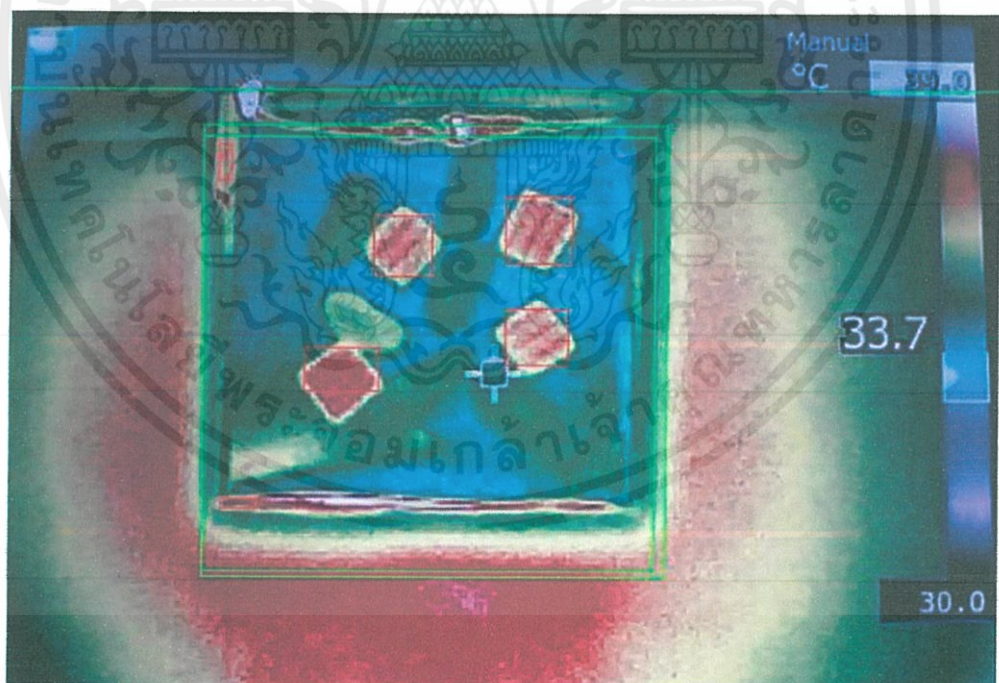


รูปที่ ก.6 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 80% กับ พลาสติก20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

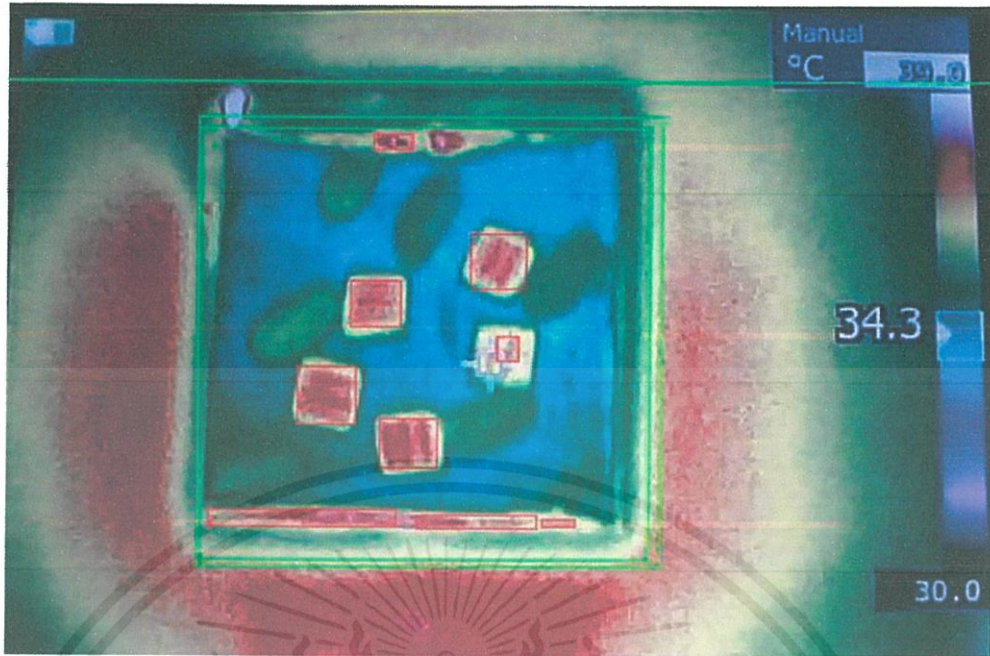


รูปที่ ก.7 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 70% กับ พลาสติก 30%

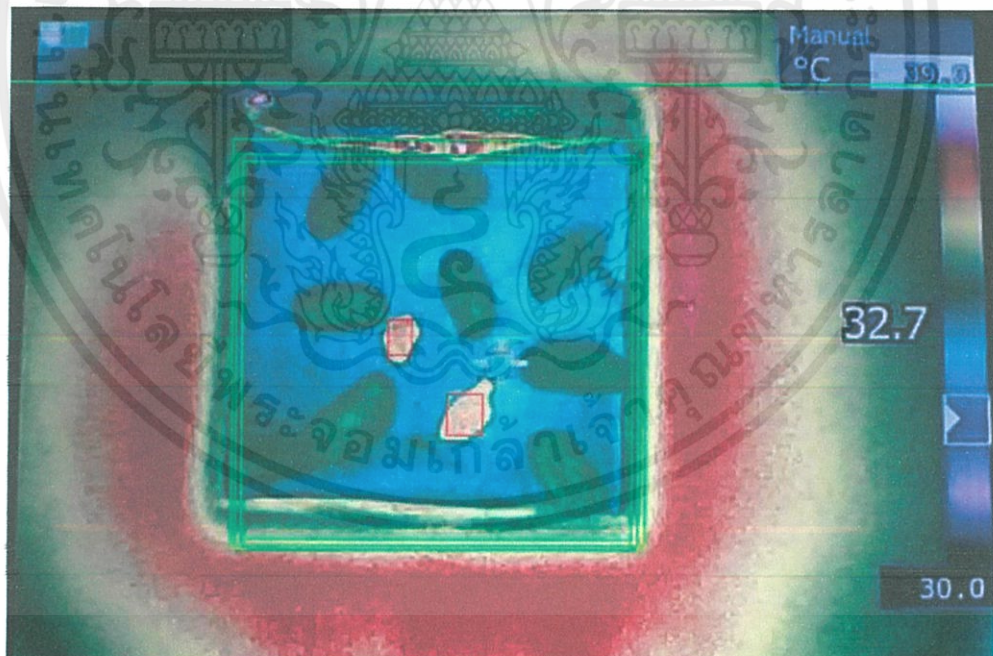


รูปที่ ก.8 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 60% กับ พลาสติก 40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

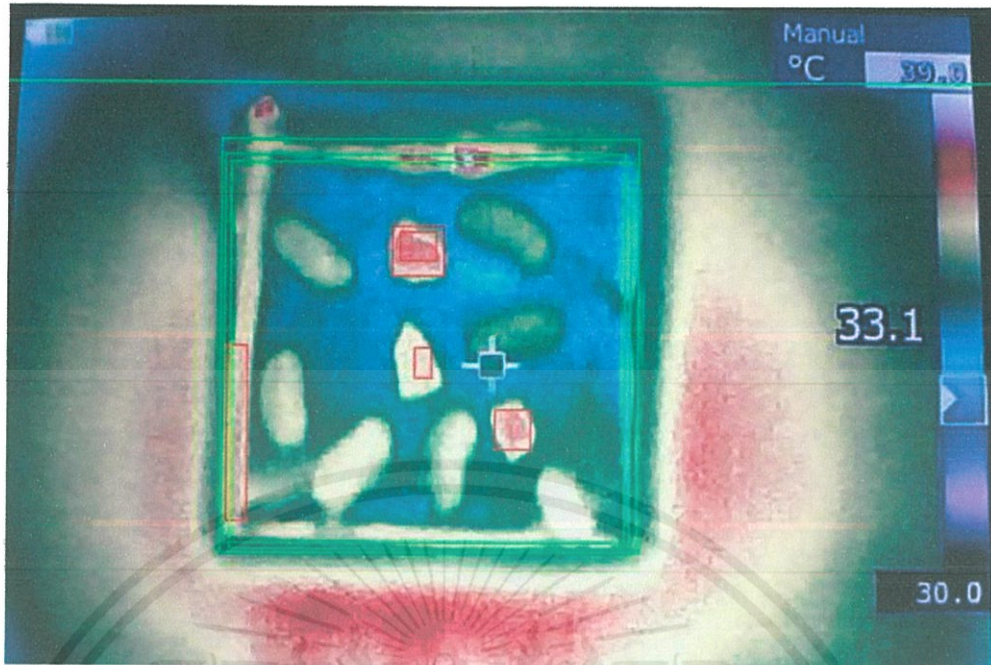


รูปที่ ก.9 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 50% กับ พลาสติก 50%

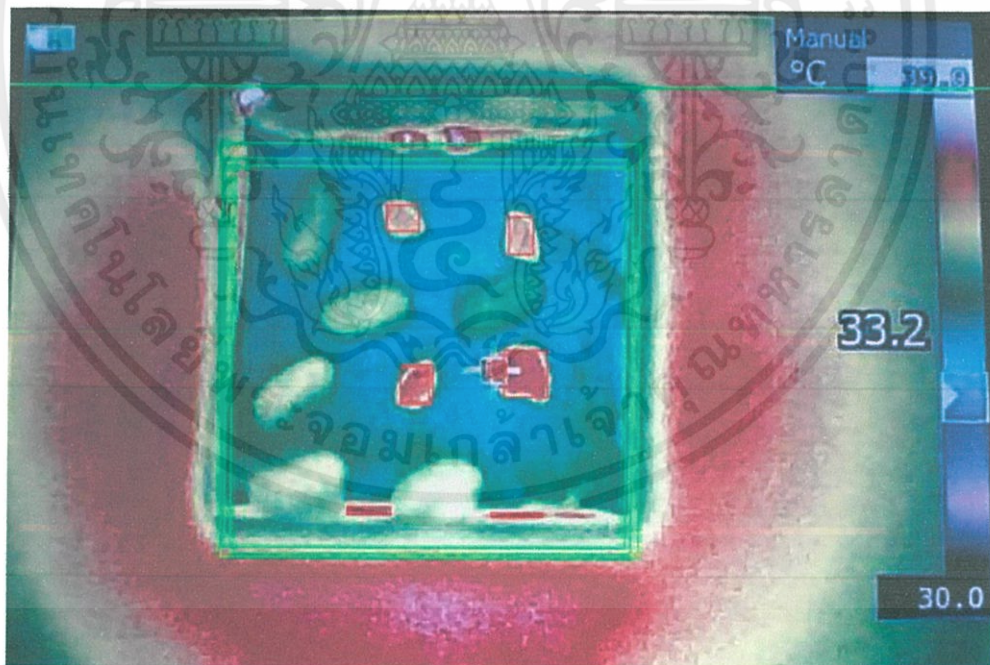


รูปที่ ก.10 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 80% กับ เศษหิน 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.11 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 70% กับ เศษหิน30%



รูปที่ ก.12 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 60% กับ เศษหิน40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

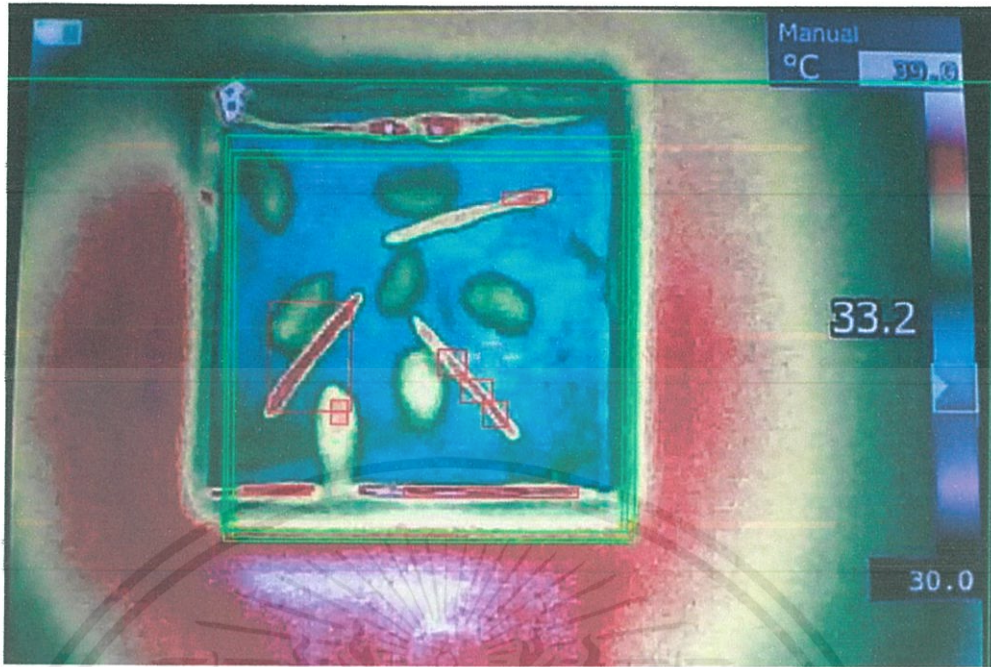


รูปที่ ก.13 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 50% กับ เศษหิน 50%

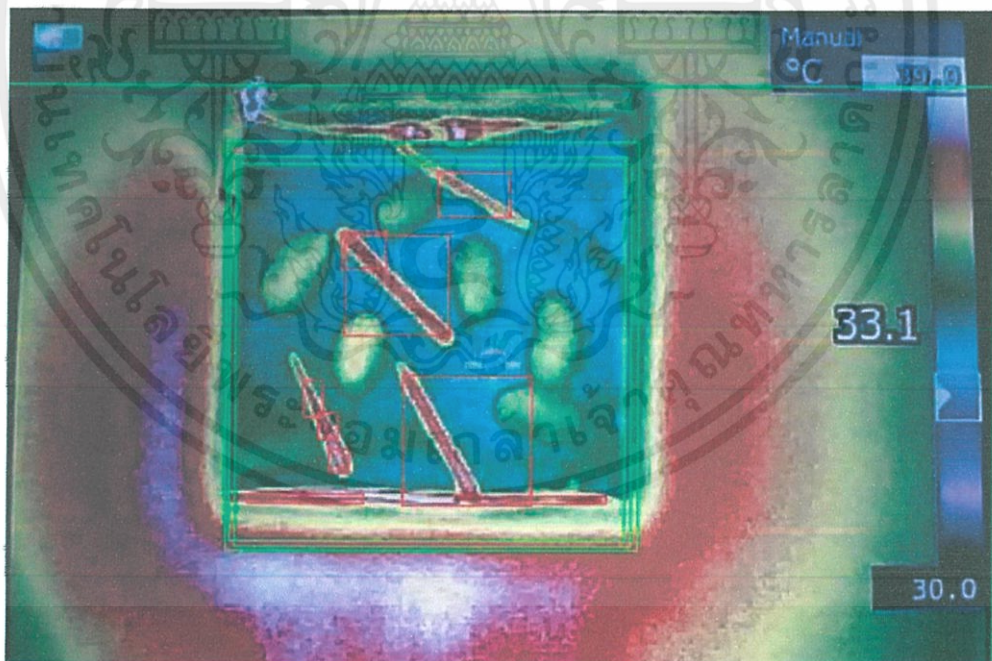


รูปที่ ก.14 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 80% กับ เศษไม้ 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

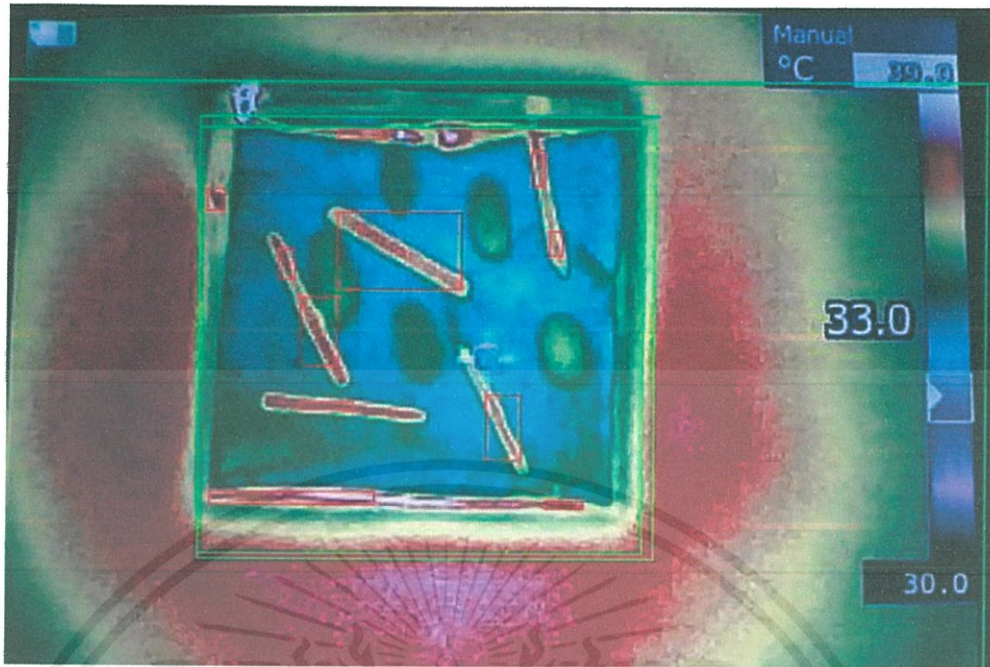


รูปที่ ก.15 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 70% กับ เศษไม้ 30%



รูปที่ ก.16 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 60% กับ เศษไม้ 40%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

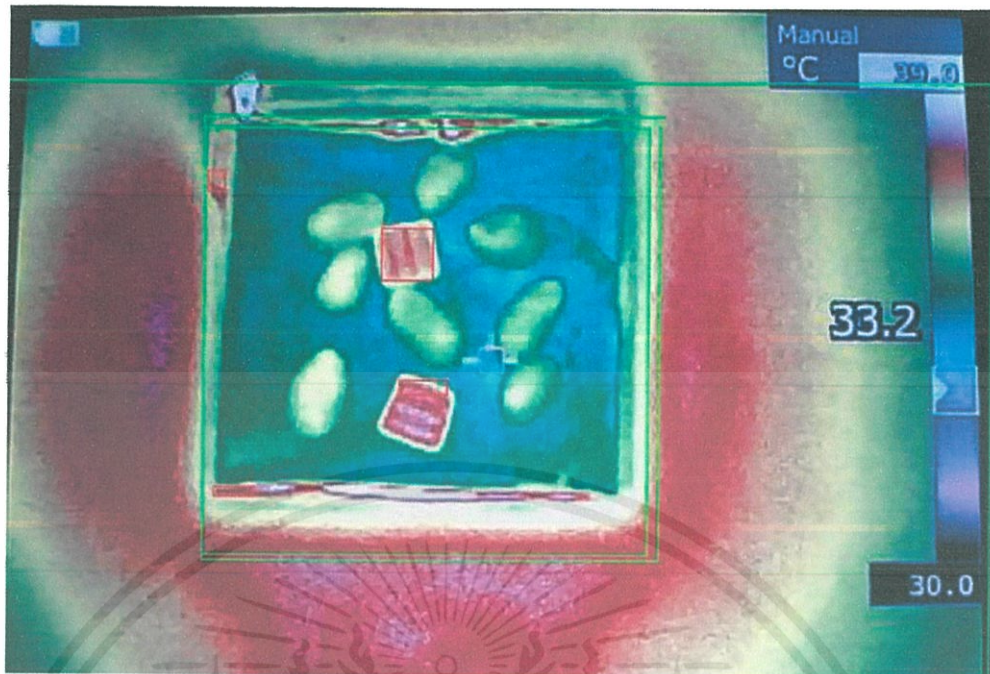


รูปที่ ก.17 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง50% กับ เศษไม้50%



รูปที่ ก.18 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 0% กับ เศษไม้ 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

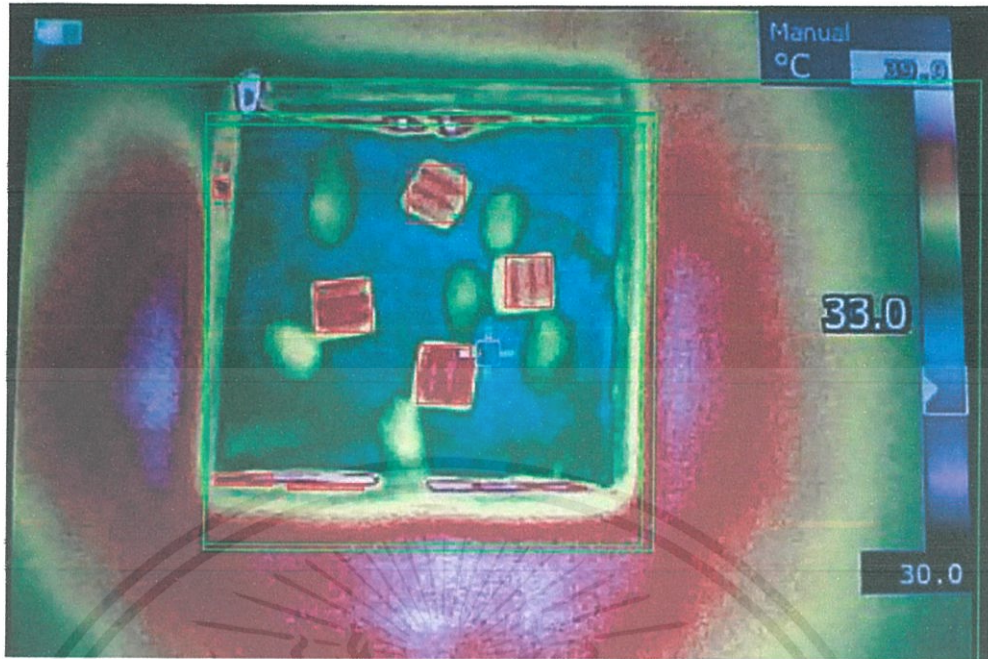


รูปที่ ก.19 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 80% กับ พลาสติก 20%



รูปที่ ก.20 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 70% กับ พลาสติก 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.21 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 60% กับ พลาสติก 40%

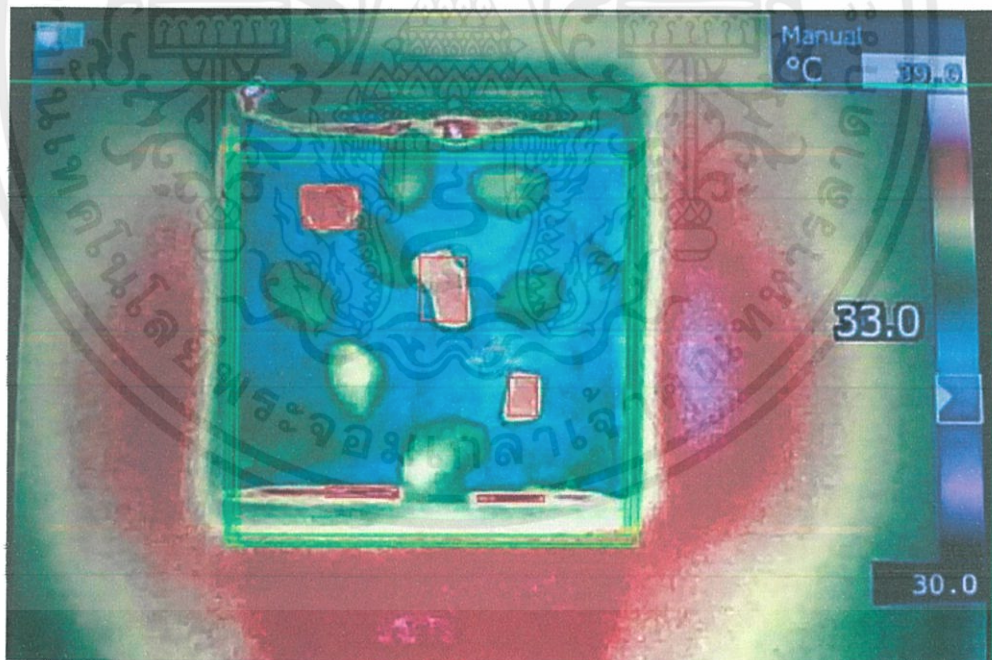


รูปที่ ก.22 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 50% กับ พลาสติก 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.23 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 80% กับ เศษหิน 20%

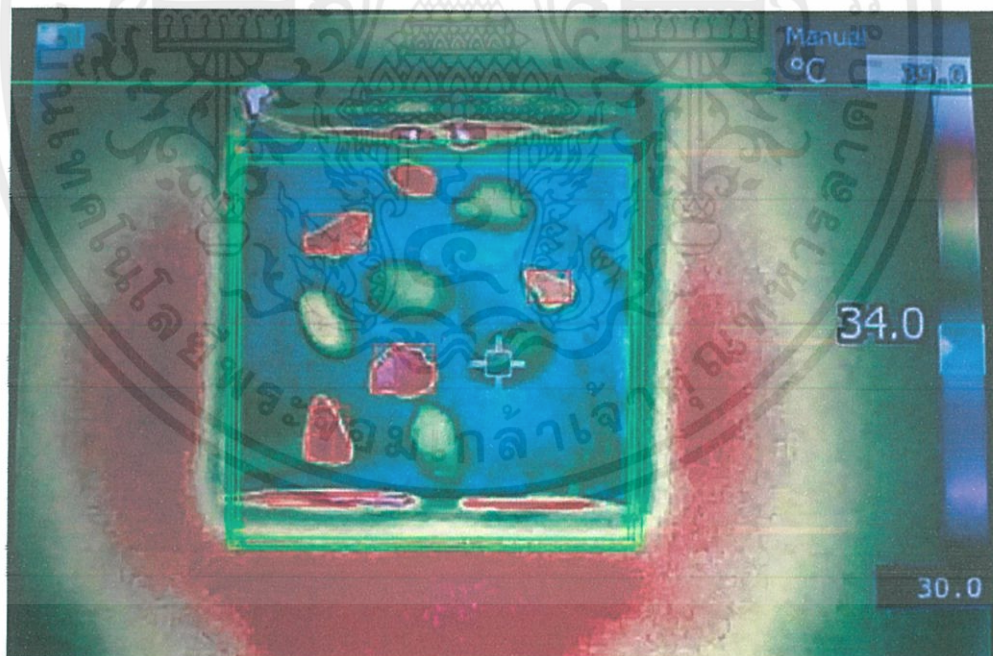


รูปที่ ก.24 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 70% กับ เศษหิน 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

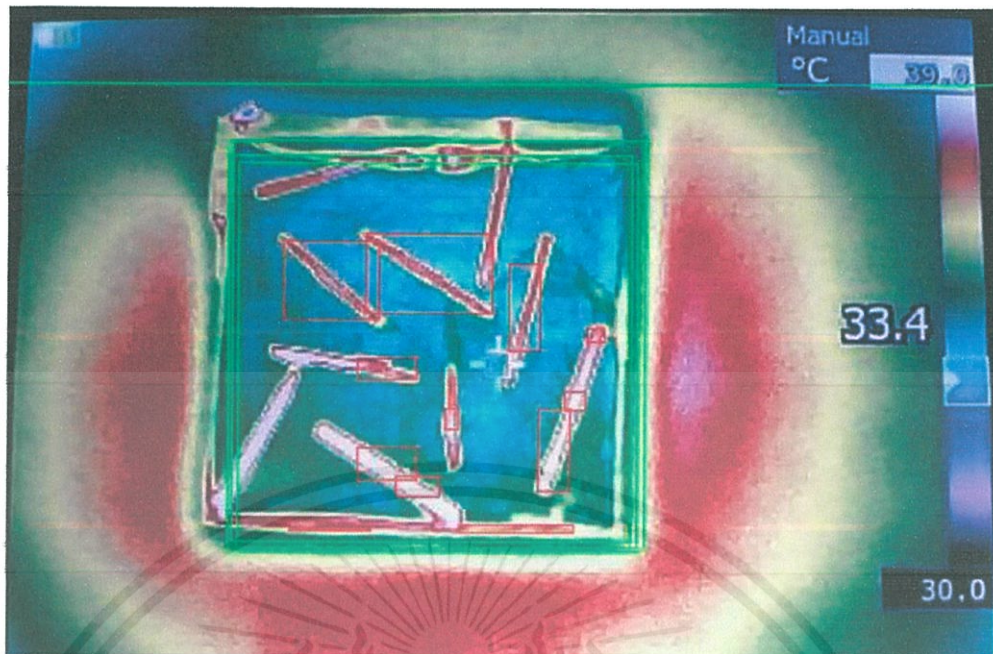


รูปที่ ก.25 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 60% กับ เศษหิน 40%

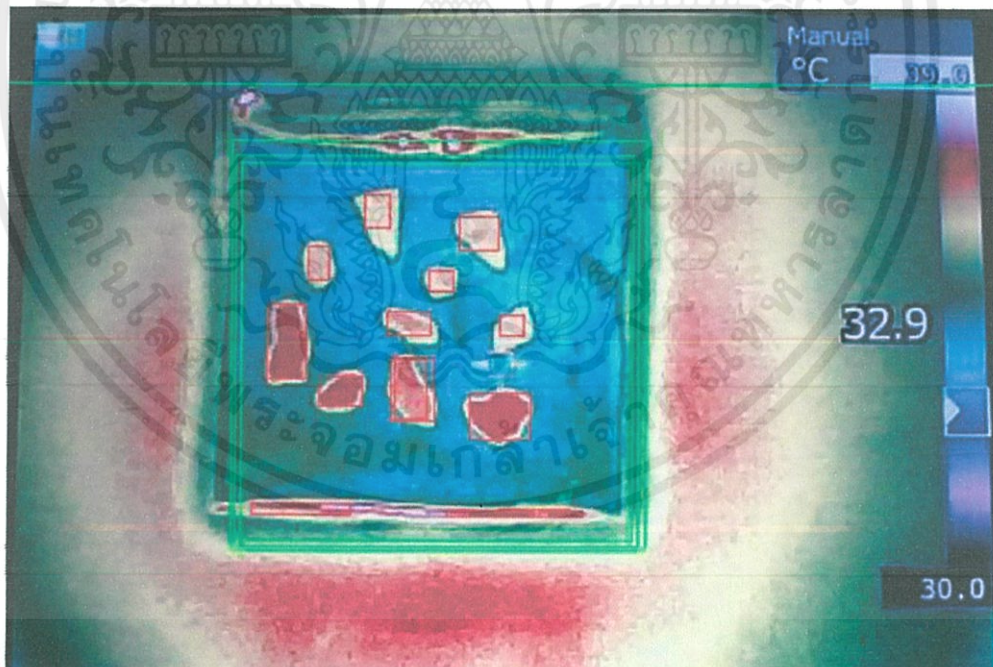


รูปที่ ก.26 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 50% กับ เศษหิน 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

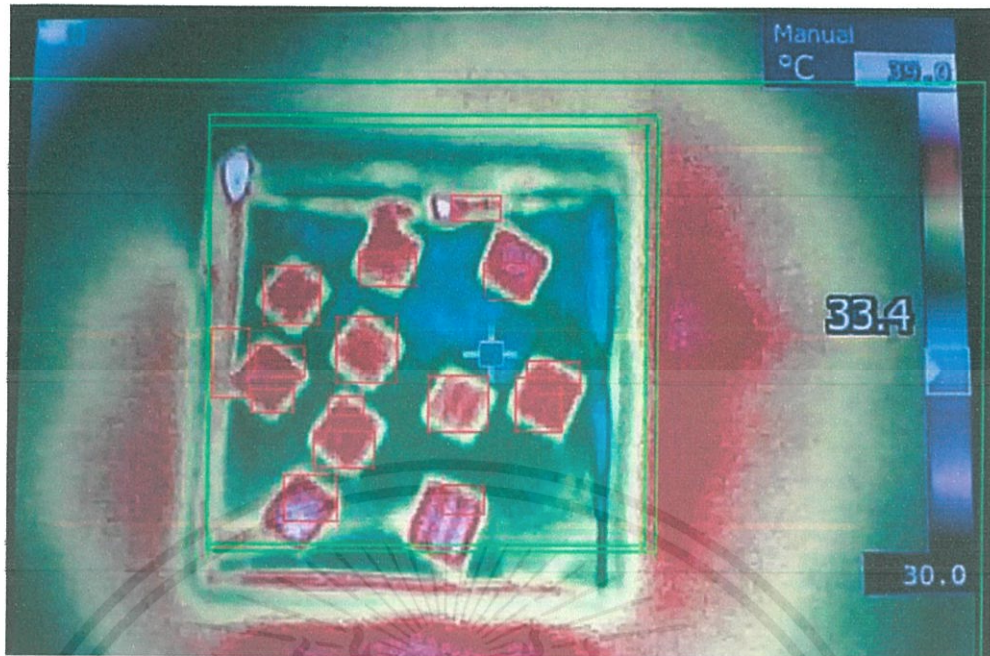


รูปที่ ก.27 แสดงผลการตรวจจับ เศษไม้ 100%



รูปที่ ก.28 แสดงผลการตรวจจับ เศษหิน 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

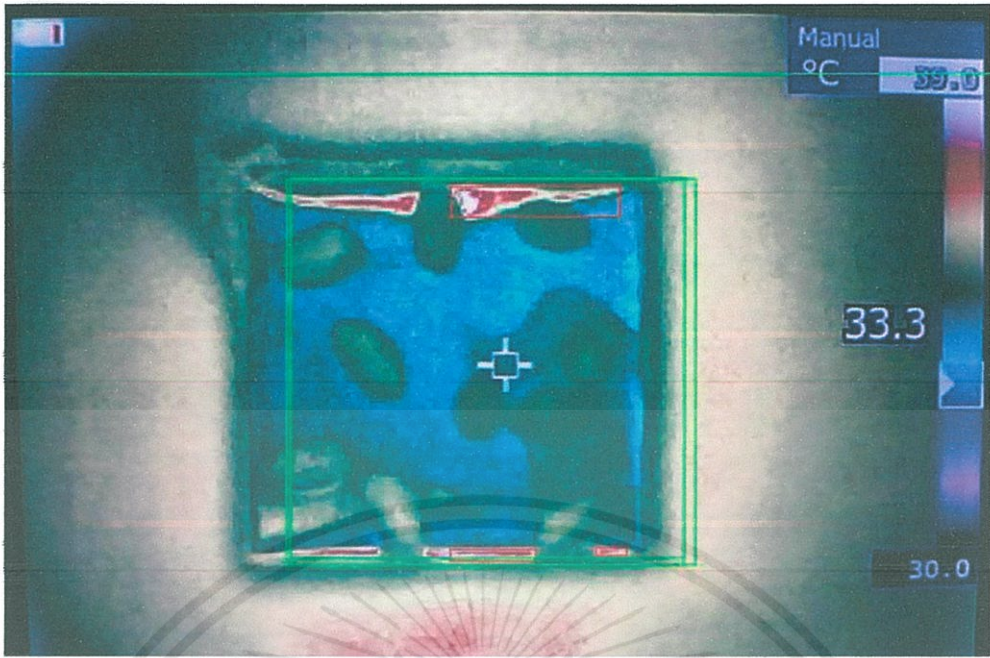


รูปที่ ก.29 แสดงผลการตรวจจับ พลาสติก 100%



รูปที่ ก.30 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วแดง 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.31 แสดงผลการตรวจจับ ถั่วลิสง 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้