

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืช
โดยใช้ภาพถ่ายทางความร้อน

Detection of Foreign Bodies in Grains using Thermal Image

กันต์ รักเรืองเดช
ณัฐพล จันทร์เศรษฐี
รักษัธรรม แสงจันทา
ลดาวัลย์ พลมัน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืช

โดยใช้ภาพถ่ายทางความร้อน

Detection of Foreign Bodies in Grains using Thermal Image

กันต์	รักเรืองเดช
ณัฐพล	จันทร์เศรษฐี
รักษัธรรม	แสงจันทา
ลดาวัลย์	พลมัน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

Detection of Foreign Bodies in Grains using Thermal Image

Mr. Gun Rukreangdach

Mr. Nattapon Chansettie

Mr. Rakthum Sangchanda

Miss Ladawan Polman

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2557

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายความร้อน

Detection of Foreign Bodies in Grains using Thermal Image

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|------------------|--------------|--------------|----------|
| 1. นายกันต์ | รักเรืองเดช | รหัสประจำตัว | 54010091 |
| 2. นายณัฐพล | จันทร์เศรษฐี | รหัสประจำตัว | 54010429 |
| 3. นายรักษัธรรม | แสงจันทา | รหัสประจำตัว | 54011068 |
| 4. นางสาวดาวัลย์ | พลมัน | รหัสประจำตัว | 54011094 |

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. ดร. นวภัทรา หนูนาค)

หัวข้อโครงการ	การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายความร้อน	
นักศึกษา	นายกันต์	รักเรืองเดช
	นายณัฐพล	จันทร์เศรษฐี
	นายรัชชธรรม	แสงจินดา
	นางสาวลดาวัลย์	พลมัน
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร.นงภัทรา หนูนา	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2557	

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอวิธีการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชโดยใช้การประมวลผลภาพถ่ายความร้อน ตัวอย่างเมล็ดพืชที่ใช้ คือ ลูกเดือย ซึ่งมีสีและขนาดใกล้เคียงกับสิ่งแปลกปลอมซึ่งสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ได้แก่ เศษไม้ เศษเชือก เศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด) และหิน โดยชุดอุปกรณ์ทดสอบประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญสองอุปกรณ์ คือ แหล่งให้ความร้อนและกล้องถ่ายภาพความร้อน ทำการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน โดยระยะเวลาของการให้ความร้อนแก่วัสดุทดลองเท่ากับ 20 วินาที และบันทึกภาพถ่ายความร้อนในช่วงเวลาการคายความร้อนที่ 1 วินาที จากนั้นนำภาพถ่ายความร้อนที่ได้มาปรับภาพด้วยโปรแกรม Smart view และนำเข้าสู่กระบวนการประมวลผลและวิเคราะห์ภาพโดยใช้โปรแกรม Image J ซึ่งมี 5 ขั้นตอน ได้แก่ การรับภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน การแปลงภาพระดับสีเทา การแยกส่วนของภาพโดยใช้เทรซโฮลด์ การปรับปรุงคุณภาพด้วยคำสั่งวอเทอร์เฉด และการแสดงผลลัพธ์โดยใช้ค่าความกลมและพื้นที่เป็นตัวจำแนก ตามลำดับ ซึ่งจากการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน พบว่า สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับลูกเดือยได้โดยอาศัยความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของวัสดุ

Project Title	Detection of Foreign Bodies in Grains using Thermal Image
Students	Mr. Gun Rukreangdach Mr. Nattapon Chansettie Mr. Rakthum Sangchanda Miss Ladawan Polman
Project Advisor	Assoc. Prof. Dr.Navaphattra Nunak
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Academic Year	2014

ABSTRACT

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

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก รศ. ดร.นวกัทรานุชญา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานวิจัยที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และคำปรึกษาในการแก้ไขปัญหารวมถึงอุปสรรคต่าง ๆ ในระหว่างการทำโครงการงานวิจัยเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่คณะผู้วิจัยตลอดระยะเวลาในการศึกษา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภายในสาขาวิชาวิศวกรรมอาหารทุกคน ที่ได้ให้ความสะดวกในการยื่นอุปรกรณ์และห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ รศ. ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์ ที่ให้คำปรึกษาในการจัดทำชุดอุปกรณ์ทดลอง และการใช้งานโปรแกรม Image J

ขอขอบคุณนางสาวเมธิณี สงไทยและนายดิตถกร สุตโต ที่ให้คำปรึกษาการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนและช่วยเหลือในการถ่ายภาพความร้อน

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัย จนคณะผู้วิจัยสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสิ้น

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุนตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่คอยให้กำลังใจช่วยเหลือจนโครงการงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	4
2.1 เมล็ดพืช	4
2.2 ภาพถ่ายความร้อน	5
2.2.1 การแผ่รังสีความร้อน	5
2.2.2 กล้องถ่ายภาพความร้อน	6
2.3 สมบัติเชิงความร้อน	7
2.3.1 สมบัติการแผ่รังสีความร้อน	7
2.3.2 ความจุความร้อนจำเพาะ	8
2.4 การวิเคราะห์ภาพ	9
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และการทดลอง	15
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้และการเตรียมวัสดุ	15
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	15
3.1.2 การเตรียมวัสดุ	16
3.2 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับถ่ายภาพความร้อน	21
3.2.1 การเลือกชนิดหลอดไฟสำหรับเป็นแหล่งให้ความร้อน	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การเลือกชนิดภาชนะสำหรับใส่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	22
3.3.3 การหาระยะความสูงหลอดไฟ ตำแหน่งและระยะติดตั้งของกล้องถ่ายภาพความร้อน และการหาระยะโฟกัสของกล้องถ่ายภาพความร้อน	23
3.3 การทดลอง	24
3.3.1 การหาเวลาสำหรับการให้ความร้อนและคายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	24
3.3.2 การถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม	26
3.4 การประมวลผลภาพถ่ายความร้อน	27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	29
4.1 ความจุความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน	29
4.2 เวลาในการให้ความร้อนและคายความร้อนสำหรับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน	29
4.3 การประมวลผลภาพถ่ายความร้อน	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	59
5.1 สรุปผลการวิจัย	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	8
2.2 ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	9
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	15
3.2 ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง	18
3.3 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการถ่ายภาพความร้อน	25
4.1 ความจุความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	30
4.2 ตารางสรุปความจุความร้อนจำเพาะน้ำหนักเฉลี่ย ความจุความร้อนพลังงานความร้อนที่วัดได้ และพลังงานที่ก้องได้รับ	31
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ในการตรวจพบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับลูกเต๋อยด้วยวิธีการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน	47
4.4 ตารางแสดงตำแหน่งของเชือกที่ปนมากับลูกเต๋อย	51
4.5 ตารางแสดงตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเต๋อย	52
4.6 ตารางแสดงตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเต๋อย	53
4.7 ตารางแสดงตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเต๋อย	54
4.8 ตารางแสดงตำแหน่งของเชือกที่ปนมากับลูกเต๋อย	55
4.9 ตารางแสดงตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเต๋อย	56
4.10 ตารางแสดงตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเต๋อย	57
4.11 ตารางแสดงตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเต๋อย	58

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 สเปกตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆ	5
2.2 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง	5
2.3 รังสีความร้อนทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง	6
2.4 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ	7
2.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ	11
2.6 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมโดยกล้องถ่ายภาพความร้อน	12
2.7 ภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน	13
2.8 ภาพข่าวสาส์นที่ถูกตัวด้วงรบกวนและไม่ถูกรบกวน	13
2.9 ภาพถ่ายภาพความร้อนที่ใช้ในการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนในขนมปังกรอบ	14
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	16
3.2 ตัวอย่างการวัดขนาดเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	17
3.3 การวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสด้วย เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K	21
3.4 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน	21
3.5 ลักษณะการติดตั้งแหล่งให้ความร้อน	22
3.6 ภาดอะลูมิเนียมแบบผิวไม่มันวาว	23
3.7 ภาพเปรียบเทียบการแยกพื้นหลังของภาพขณะที่ใส่ตัวอย่างทดลอง	23
3.8 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการถ่ายภาพความร้อน	25
3.9 การเรียงลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมในภาชนะสำหรับการหาเวลาสำหรับการให้ความร้อนกับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม	26
3.10 การวางลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมในภาดอะลูมิเนียมสำหรับถ่ายภาพความร้อน	26
3.11 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ	28
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการให้ความร้อนที่เวลา 10 วินาที	33

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการให้ความร้อนที่เวลา 20 วินาที	33
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการให้ความร้อนที่เวลา 30 วินาที	34
4.4 ภาพจริงและภาพระดับสีเทาของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมจากโปรแกรม Smart view	35
4.5 การแปลงเป็นภาพระดับสีเทา	36
4.6 ภาพระดับสีเทาของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมจากโปรแกรม Image J	37
4.7 แนวโน้มการปรับโกบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อกับเชือก	38
4.8 แนวโน้มการปรับโกบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อกับหิน	39
4.9 แนวโน้มการปรับโกบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อกับฟิวเจอร์บอร์ด	39
4.10 แนวโน้มการปรับโกบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อกับไม้	40
4.11 แนวโน้มการปรับโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อกับเชือก	40
4.12 แนวโน้มการปรับโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อกับหิน	41
4.13 แนวโน้มการปรับโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อกับฟิวเจอร์บอร์ด	41
4.14 แนวโน้มการปรับโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อกับไม้	42
4.15 การเลือกช่วงอุณหภูมิและช่วงเทรซโฮลด์	43
4.16 ภาพการแยกส่วนภาพโดยใช้คำสั่งวอเตอร์เอด	44
4.17 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของเชือกที่ปนมากับลูกเต๋อ	45
4.18 ภาพแสดงแนวแกน	45
4.19 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเต๋อ	46
4.20 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเต๋อ	46
4.21 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเต๋อ	47
4.22 ผลการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมทั้งหมดที่ปนมากับลูกเต๋อ	48
4.23 ผลการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมทั้งหมดที่ปนมากับลูกเต๋อ	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการผลิตอาหารสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ ความปลอดภัยของผู้บริโภค ซึ่งหนึ่งในมาตรการสำคัญที่ใช้ควบคุมอันตรายในอาหาร คือ มาตรฐาน HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์อันตรายด้วยจุดควบคุมวิกฤต และป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการผลิต (อัจฉรา พุ่มฉัตร, 2553) โดยสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับอาหารถือเป็นอันตรายทางกายภาพต่อผู้บริโภค ซึ่งผู้ผลิตต้องมีมาตรการในการจัดการที่ดี ตัวอย่างสิ่งแปลกปลอมที่อาจปนมากับผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ หิน เศษไม้ เศษพลาสติก เป็นต้น โดยเกิดจากกระบวนการผลิต การเก็บรักษา การขนส่ง และการลำเลียง (ปวีณา มีธง, 2545)

เมล็ดพืชจัดเป็นสินค้าเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ในปี พ.ศ. 2556 มีมูลค่าการส่งออกกว่า 100 ล้านบาท โดยคิดเป็นร้อยละ 18.51 ของประเทศ (กรมศุลกากร, 2556) สำหรับขั้นตอนการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืช อาจมีสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษหิน เศษไม้ ปนมากับเมล็ดพืชในกระบวนการตากเพื่อลดความชื้นและการนวด (กรมส่งเสริมการเกษตร, มปป.) ซึ่งถ้าสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้มีขนาดใกล้เคียงกับเมล็ดพืชจะไม่สามารถคัดแยกโดยใช้ตะแกรงร่อนตามปกติได้ เช่น การคัดแยกหินกับถั่วเหลืองเพื่อส่งขายในกระบวนการผลิตน้ำมัน หากถั่วเหลืองมีสิ่งแปลกปลอมเกินกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะไม่สามารถนำไปขายได้ ทำให้ต้องขายเป็นถั่วเหลืองเกรดต่ำราคาถูก (กรมการค้าภายใน, 2546) สำหรับเมล็ดพืชที่ส่งขายในรูปแบบการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ เมล็ดพืชอาจต้องผ่านขั้นตอนการคัดแยกขนาดและคุณภาพ รวมถึงขั้นตอนการอบเพื่อลดความชื้น ซึ่งในระหว่างกระบวนการดังกล่าวอาจมีสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษโลหะจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการและเศษพลาสติกที่มากับถุงบรรจุภัณฑ์ ปนมากับเมล็ดพืช ทำให้เมล็ดพืชที่ส่งออกสูญเสียคุณภาพที่ควรเป็น และปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น ประกอบกับผู้ประกอบการต้องการเพิ่มคุณภาพและศักยภาพการส่งออก ทำให้ผู้ประกอบการหันมาใส่ใจกับขั้นตอนการตรวจสอบและการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้เมล็ดพืชที่มีคุณภาพดีปราศจากสิ่งแปลกปลอม วิธีการคัดแยกเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมทำได้หลายวิธี ได้แก่ การใช้แรงงานคน การคัดแยกด้วยวิธีทางกล การคัดแยกด้วยภาพถ่ายซึ่ง ได้แก่ วิธีเชิงแสง วิธีการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านต่าง ๆ วิธีภาพถ่ายทางความร้อน โดย

การคัดแยกด้วยแรงงานคนต้องคำนึงถึงอายุของผู้คัดแยกและระยะเวลาในการทำงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการคัดแยก (วินิต ชินสุวรรณ และคณะ, 2545) สำหรับการคัดแยกด้วยวิธีทางกลมีหลายวิธี เช่น การใช้ลมเป่าสิ่งแปลกปลอมออกซึ่งเมล็ดพืชต้องมีน้ำหนักเบา การใช้ตะแกรงร่อน ซึ่งมีข้อจำกัด คือ เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมควรมีรูปร่างและน้ำหนักที่แตกต่างกัน (Chakraverty & Singh, 2001) (ณัฐวุฒิ เนียมสอน และ ทวีชัย นิมาแสง, 2551) ซึ่งข้อจำกัดโดยรวมของการแยกด้วยวิธีเชิงกล คือ เมล็ดพืชเสี่ยงต่อความเสียหายเนื่องจากการแตกหัก สำหรับการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยวิธีเชิงแสงทำงานโดยใช้หลักการประมวลผลภาพ (Image-processing) (Mollazade *et al.*, 2012) ซึ่งเทคนิคนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องคัดแยกด้วยสี (Colour-sorter) เป็นวิธีการคัดแยกตรวจสอบแบบต่อเนื่องและรวดเร็ว ซึ่งมีข้อจำกัดคือ หากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีสีใกล้เคียงกันจะทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกลดลง (Bayram & Oner, 2006) สำหรับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม และการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชด้วยวิธีใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น การใช้รังสี X-ray ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องความหนาแน่นของวัตถุ (Domingo Mery, 2011) และการคัดแยกหรือตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) มีข้อจำกัดเรื่องความหนาของวัตถุ (Jensen *et al.*, 1984)

นอกจากนี้ยังมีวิธีการคัดแยกโดยอาศัยความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม โดยมีนักวิจัยบางกลุ่มได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้กล้องอินฟราเรดและกล้องถ่ายภาพความร้อนในการตรวจสอบหาสิ่งแปลกปลอม โดย Ginesu *et al.* (2004) ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนแสดงถึงความแตกต่างของรังสีอินฟราเรดและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนระหว่างสิ่งปลอมปนกับเมล็ดพืชได้ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการคัดแยกด้วยวิธีนี้จะลดลงหากเมล็ดพืชและสิ่งปลอมปนมีสมบัติทางความร้อนที่ใกล้เคียงกัน Senni *et al.* (2014) ได้ทดลองนำกล้องอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ซ่อนอยู่ภายในขนมปังกรอบ โดยนำสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้ไปใส่ไว้ในแป้งโดว์ ซึ่งการทดลองพบว่ากล้องถ่ายภาพความร้อนสามารถใช้ตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้ชัดเจน เนื่องจากสมบัติเชิงความร้อนของแป้งโดว์และสิ่งแปลกปลอมมีค่าต่างกันแม้ว่าสิ่งแปลกปลอมถูกซ่อนไว้ใต้แป้งโดว์ จะเห็นได้ว่าความสามารถในการตรวจสอบระหว่างสิ่งปลอมและเมล็ดพืช ขึ้นอยู่กับวิธีการตรวจสอบชนิดของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ซึ่งวิธีการตรวจสอบที่สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว คือ การตรวจสอบด้วยวิธีเชิงแสง แต่วิธีเชิงแสงมีข้อจำกัด หากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีสีใกล้เคียงกัน สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีเชิงความร้อนนี้ยังดำเนินการในระดับงานวิจัยสำหรับงานดังกล่าว

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงศึกษาวิธีการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชซึ่งมีสีที่ใกล้เคียงกันด้วยวิธีการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนในการทดลองแบบออฟไลน์ (Off-line) เนื่องจากสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืชที่มีสีใกล้เคียงกันทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจสอบด้วยการประมวลผลภาพสีลดลง จึงสอดคล้องกับข้อจำกัดกับการตรวจสอบด้วยเครื่องคัดแยกด้วยสี (Color-sorter) ซึ่งมีข้อจำกัดคือหากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีสีใกล้เคียงกันทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจสอบลดลง (Bayram & Oner, 2006) ดังนั้น จึงเน้นการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับลูกเต๋อย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาวิธีการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชซึ่งมีสีที่ใกล้เคียงกันด้วยวิธีการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายความร้อน ซึ่งทำการทดลองแบบออฟไลน์ ด้วยการถ่ายภาพเมล็ดพืชที่วางปนกับสิ่งแปลกปลอม และวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อนโดยใช้โปรแกรม Image J และ โปรแกรม Smart view สำหรับกระบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image preprocessing) พร้อมหาวิธีที่เหมาะสมในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้ โดยจัดเรียงเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมวางปะปนกันในภาชนะเป็นลักษณะการวางบนพื้นผิวระดับเดียวกัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนกับเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายความร้อนด้วยโปรแกรม Image J และยังเป็นแนวทางที่พัฒนาเป็นระบบตรวจสอบแบบอัตโนมัติได้

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 เมล็ดพืช

เมล็ดพืช (Grain) โดยทั่วไป หมายถึง เมล็ดพืชที่ใช้ประโยชน์ในการบริโภคหรือเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมไม่ได้ใช้ในการขยายพันธุ์สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

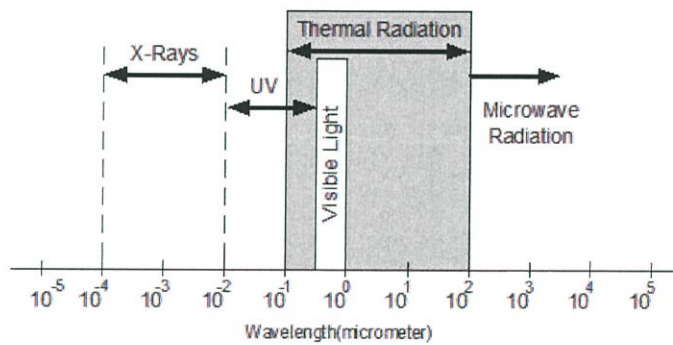
1. จำพวกธัญชาติ หมายถึงเมล็ดของธัญพืช (Cereal) แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ชนิดที่ไม่มีเปลือกแข็งหุ้มเมล็ด (Naked caryopsis) เช่น ข้าวสาลี (Wheat) ข้าวโพด (Maize) ข้าวไรย์ (Rye) และชนิดที่มีเปลือกแข็งหุ้มเมล็ด (Covered caryopsis) เช่น ข้าวเจ้า (Rice) ข้าวบาร์เลย์ (Barley) และข้าวโอต (Oat)
2. จำพวกเมล็ดถั่ว (Legumes หรือ Beans) เช่น ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ถั่วแดง และถั่วเขียว
3. จำพวกเมล็ดเปลือกแข็ง (Nuts) เช่น เม็ดมะม่วงหิมพานต์ เกาลัด และอัลมอนด์
4. จำพวกเมล็ดเปลือกนิ่ม (Seeds) เช่น เมล็ดแตงโม เมล็ดฟักทอง และเมล็ดทานตะวัน

เมล็ดพืชจัดเป็นสินค้าเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ในปี พ.ศ. 2556 มีมูลค่าการส่งออกกว่า 100 ล้านบาท โดยคิดเป็นร้อยละ 18.51 ของประเทศ (กรมศุลกากร, 2556) การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชหลังจากรลดความชื้นและนวดแล้ว จำเป็นต้องมีตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่มักปะปนมาในขั้นตอนดังกล่าว เช่น เศษฟาง เศษดิน หิน กรวด และทราย เป็นต้น เพื่อให้ได้เมล็ดพืชที่มีความสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมา ดังนั้น การตรวจสอบและคัดแยกจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ เนื่องจากในระบบการซื้อขายและการพิจารณาราคาของเมล็ดพืช ปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ คือความชื้นและปริมาณสิ่งแปลกปลอม ถ้าเมล็ดพืชมีปริมาณสิ่งแปลกปลอมและความชื้นสูงเกินกว่าที่กำหนด จะส่งผลให้ระยะเวลาในการเก็บรักษาและราคาของเมล็ดพืชต่ำลง โดยความชื้นปลอดภัยในการเก็บรักษาเมล็ดพืชคือ 15% (สุนีย์, 2555) นอกจากนี้ เมล็ดพืชที่ส่งขายในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ต้องผ่านขั้นตอนการคัดแยกขนาดและคุณภาพ ซึ่งในระหว่างกระบวนการดังกล่าวอาจมีสิ่งแปลกปลอม เช่น เศษโลหะจากเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการและเศษพลาสติกที่มากับถุงบรรจุภัณฑ์ปนมากับเมล็ดพืชทำให้เมล็ดพืชที่ส่งออกสูญเสียคุณภาพ

2.2 ภาพถ่ายความร้อน

2.2.1 การแผ่รังสีความร้อน

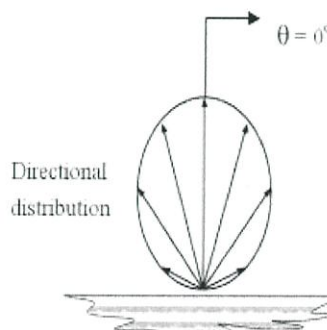
การแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนแบบไม่อาศัยตัวกลาง โดยเกิดขึ้นเมื่อวัตถุมีอุณหภูมิที่ผิวมากกว่า 0 องศาสัมบูรณ์ (0 K) โดยอิเล็กตรอนของวัตถุซึ่งประกอบกันเป็นสสารเกิดการสั่นและเคลื่อนที่ส่งผลให้วัตถุมีพลังงานภายในสูงขึ้น และปลดปล่อยพลังงานหรือแผ่รังสีความร้อนออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านคลื่นรังสีความร้อน (Thermal Radiation) ดังรูปที่ 2.1 โดยมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 10^{-1} - 10^2 μm ประกอบด้วยย่านรังสีอินฟราเรด (IR) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.75-100 μm , ย่านแสง (Visible light) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.3-0.75 μm และย่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) บางส่วน มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.1-0.3 μm (นวภัทรา และทวีพล, 2555)



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมการแผ่รังสีในย่านต่างๆ

ที่มา : Gruner, 2003

โดยความเข้มของการแผ่รังสีความร้อนออกจากวัตถุใดๆ มีค่าสูงสุดที่มุมเท่ากับ 0 องศา กับแนวตั้งดังรูปที่ 2.2 (มนตรี, 2548; นวภัทรา และทวีพล, 2555)

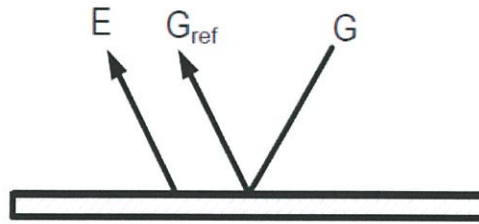


รูปที่ 2.2 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง

ที่มา: Incropera, 2006

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

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



รูปที่ 2.3 รังสีความร้อนทั้งหมดที่แผ่ออกมาจากพื้นผิววัตถุใดๆ

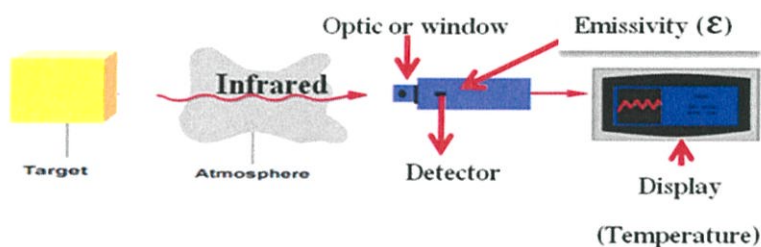
ที่มา : นวภัทรา และทวีพล, 2555

โดยภาพถ่ายความร้อนเป็นภาพที่ได้จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่น 1-100 μm ซึ่งสามารถแบ่งย่านรังสีอินฟราเรดได้ 5 ช่วง ตามช่วงของความยาวคลื่น ดังนี้ ช่วง NIR (Near-IR: 0.75-2.5 μm) ช่วงคลื่นสั้น (1.4-3 μm) ช่วงกลาง (3-8 μm) ช่วงคลื่นยาว (8-15 μm) และช่วงไกล (Extreme: 15-100 μm) การใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน รังสีอินฟราเรดในช่วงคลื่นสั้นถึงช่วงคลื่นยาวนิยมใช้วัดอุณหภูมิหรือตรวจสอบการแผ่รังสีของวัตถุ (นวภัทราและทวีพล, 2555)

2.2.2 กล้องถ่ายภาพความร้อน

กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal image camera ,TI - camera) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ผิววัตถุโดยไม่สัมผัสและทำลายวัตถุ ทำงานโดยอาศัยการตรวจจับรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากวัตถุ อุณหภูมิของวัตถุในแต่ละตำแหน่งบนภาพถ่ายความร้อนแสดงในรูปเฉดสี โดยบริเวณตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะแสดงเฉดสีที่สว่างกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ผลของอุณหภูมิแต่ละจุดที่ได้จากเซนเซอร์แต่ละตัว เมื่อนำมารวมกันจะประกอบขึ้นเป็นภาพเรียกว่า ภาพถ่ายทางความร้อน (นวภัทราและทวีพล, 2555) การวัดอุณหภูมิด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนแบ่งเป็น 2 แบบ คือ การวัดเชิงปริมาณเป็นการวัดอุณหภูมิที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน และการวัดเชิงคุณภาพเป็นการ

วิเคราะห์ความแตกต่างภายในภาพถ่ายความร้อน ซึ่งส่วนประกอบหลักของกล้องถ่ายภาพความร้อน ประกอบด้วย เลนส์ (Lens) ตัวตรวจจับ (Detector) และส่วนแสดงผล (Display) โดยพลังงานของรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากตัววัตถุจะถูกส่งผ่านเลนส์ของกล้องถ่ายภาพความร้อน จากนั้นส่งไปยังตัวตรวจจับที่ทำหน้าที่แปลงรังสีอินฟราเรดให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าและส่งไปยังส่วนแสดงผลซึ่งแสดงในรูปของภาพถ่ายความร้อนและอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 2.4 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ

ที่มา : Gruner, 2003

2.3 สมบัติเชิงความร้อน

2.3.1 สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity, ϵ)

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ (Emissivity, ϵ) คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุโดยมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของอัตราการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุจริงใดๆ กับอัตราการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุอุดมคติ (Black body) ณ อุณหภูมิและความยาวคลื่นเดียวกัน ซึ่งสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุจริงใด ๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แต่วัตถุอุดมคติมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนเท่ากับ 1 เนื่องจากมีความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนได้สูงที่สุดและมีความสามารถในการดูดซับรังสีที่มาจากกระทบทั้งหมดในทุกความยาวคลื่น ทุกทิศทาง และเป็นวัตถุทางอุดมคติที่ใช้สำหรับศึกษาการแผ่รังสีความร้อน สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุลักษณะพื้นผิวของวัตถุ (ความเรียบ, ความขรุขระ) รูปร่างเชิงเรขาคณิตของวัตถุช่วงความยาวคลื่นที่พิจารณา และอุณหภูมิที่ผิวของวัตถุ (นวกัทรานและทวีพล, 2555) การหาอัตราการแผ่รังสีความร้อนจากวัตถุจริงใดๆ จำเป็นต้องทราบสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุเพื่อป้อนให้กับกล้องถ่ายภาพความร้อน หากป้อนสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนได้ถูกต้องจะส่งผลให้อุณหภูมิที่วัดได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนถูกต้องด้วย ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมดังตารางที่ 2.1 โดยสามารถคำนวณอัตราการแผ่รังสีอินฟราเรดได้จากสมการที่ 2.2

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

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

ϵ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ (Emissivity)

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

T คือ อุณหภูมิที่ผิววัตถุ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

ชนิด	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน	ที่มา
ถั่วแดง	0.93-0.96	Kazarian and hall, 1965
ถั่วดำ	0.95-0.96	Boudenne <i>et al.</i> , 2005
ลูกเดือย	0.91-0.93	Jeng Liang Lin <i>et al.</i> , 1998
เศษไม้	0.82-0.92	Touloukian and Ho, 1972
เชือก	0.80-0.93	Mallory, 1969
หิน	0.88-0.95	Mallory, 1969
ฟิวเจอร์บอร์ด	0.84-0.86	Boudenne <i>et al.</i> , 2005

2.3.2 ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat, c_p)

ความจุความร้อนจำเพาะ คือ ค่าที่แสดงถึงสมบัติในการรับความร้อนของวัตถุ โดยทั่วไปความจุความร้อนจำเพาะคือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุมวล 1 หน่วยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม 1 หน่วยองศา มีหน่วยเป็น ปริมาณความร้อนต่อหน่วยมวลต่อหน่วยอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น จูลต่อกิโลกรัมต่อเคลวิน สำหรับการหาปริมาณความร้อนของวัตถุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแสดงดังสมการที่ 2.3 และตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมแสดงดังตารางที่ 2.2

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

โดย Q คือ ปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็น จูล (J)

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

c_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ มีหน่วยเป็น $kJ/kg \cdot K$

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ มีหน่วยเป็น $^{\circ}C$ หรือ K

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

ชนิด	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg*K)	ที่มา
ถั่วแดง	3.660-3.326	Legrand <i>et al.</i> , 2006
ถั่วดำ	1.170-3.200	ASHRAE, 1989
ลูกเดี๋ย	1.450-2.120	Legrand <i>et al.</i> , 2006
เศษไม้	1.260-2.900	Tan, 2010
เชือก	0.668-1.760	Boudenne <i>et al.</i> , 2005
หิน	0.460-0.900	Lalit <i>et al.</i> , 2010
ฟิวเจอร์บอร์ด	0.881-2.548	Boudenne <i>et al.</i> , 2005

2.4 การวิเคราะห์ภาพ

การวิเคราะห์ภาพ (Image analysis) เป็นกระบวนการบ่งชี้ลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับภาพ โดยอาศัยทั้งรูปร่างเชิงเรขาคณิตและสีที่เกิดขึ้น เพื่อช่วยจำแนกและตีความหมายได้ ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การรับข้อมูลภาพ การประมวลผลภาพเบื้องต้น การแยกส่วนของภาพ และการจำแนกวัตถุและการตีความหมาย ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพแสดงดังรูปที่ 2.5 โดยมีการอธิบายแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

1. การรับข้อมูลภาพ (Image acquisition) เป็นการรับข้อมูลภาพประกอบด้วยหน่วยพื้นฐานสองหน่วยคือ หน่วยแรกเป็นหน่วยที่ทำหน้าที่รับสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและส่งกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นสัดส่วนต่อสเปกตรัมที่วัดได้ หน่วยที่สองทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเพื่อสามารถนำไปประมวลผลในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้โดยอาศัยอุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

2. การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Image pre-processing) เป็นขั้นตอนการปรับเปลี่ยนลักษณะของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพและตรงตามที่ระบบต้องการ เช่น การปรับแสงในภาพ การปรับภาพเป็นภาพขาว-ดำ การลดทอนสัญญาณ การตรวจจับขอบวัตถุที่อยู่ในภาพ การแปลงสมบัติทางกายภาพของภาพ การแปลงภาพระดับสีเทา การวิเคราะห์ภาพเชิงความถี่ และการบีบอัดข้อมูลภาพ เป็นต้น

3. การแยกส่วนของภาพ (Image segmentation) เป็นขั้นตอนการแยกส่วนของภาพที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็น ส่วน ๆ โดยพิจารณาว่าส่วนใดจัดเป็นส่วนของวัตถุ ส่วนใดเป็นส่วนของฉากหลัง (Back ground) สำหรับกระบวนการแยกภาพมีหลายวิธี เช่น การใช้ค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) การแยกโดยใช้ขอบของวัตถุ การแยกโดยใช้ลักษณะของสี (Hue) การแยกโดยค่าความเข้ม (Intensity) และการแยกโดยใช้รูปร่างเชิงเรขาคณิตของภาพวัตถุ เป็นต้น

4. การจำแนกวัตถุและการตีความหมาย (Classification and interpretatio) เป็นขั้นตอนการจัดกลุ่มให้วัตถุ โดยอาศัยข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับลักษณะของวัตถุตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละกลุ่ม ดังนั้น ระบบจำเป็นต้องมีตัวอย่างของวัตถุแต่ละกลุ่ม เพื่อจำแนกวัตถุออกจากกัน

คำศัพท์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ

1. รูปภาพระดับสีเทา (Gray-scale image) เป็นรูปภาพที่แต่ละพิกเซลจะเก็บข้อมูลของความเข้มแสงเป็นข้อมูล 8 บิตทำให้แต่ละพิกเซลสามารถมีความเข้มแสงได้ถึง 256 ระดับโดยจะแทนสีดำด้วยเลข 0 และแทนสีขาวด้วยเลข 255 ซึ่งค่าระหว่าง 0-255 จะเป็นความเข้มแสงในโทนสีเทา และการแปลงภาพสี RGB เป็นภาพระดับสีเทาสำหรับการประมวลผลภาพสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$G^* = 0.3R+0.59G+0.11B \quad (2.4)$$

โดยกำหนดให้

G^* คือ ค่าระดับสีเทา R คือ ค่าระดับสีแดง G คือ ค่าระดับสีเขียว B คือ ค่าระดับสีน้ำเงิน

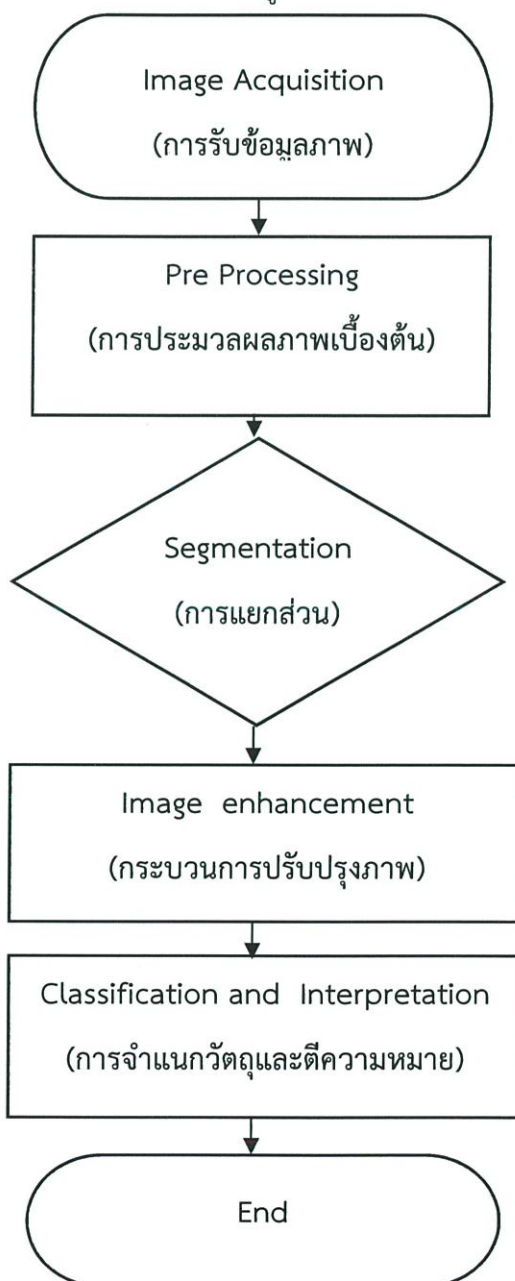
2. เทรชโฮลด์ (Threshold) คือ การเปรียบเทียบค่าพิกเซลกับค่าเทรชโฮลด์คงที่ โดยค่าพิกเซลในภาพที่มีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์จะถูกกำหนดเป็น 1 (จุดดำ) แต่ถ้าค่าของพิกเซลใด ๆ ในภาพมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเทรชโฮลด์จะถูกกำหนดให้เป็น 0 (จุดขาว) โดยทั่วไปการประยุกต์ใช้ค่าเทรชโฮลด์แปลงภาพสีให้เป็นภาพขาว-ดำมี 2 แบบคือ

2.1 เทรชโฮลด์แบบโลคอล (Local Threshold) คือ การแบ่งภาพหลักออกเป็นภาพย่อย ๆ ที่แต่ละภาพย่อยเหล่านั้นจะมีค่าเทรชโฮลด์เป็นของตัวเอง

2.2 เทรชโฮลด์แบบโกลบอล (Global Threshold) คือ การใช้ค่าเทรชโฮลด์ค่าเดียวกับทั้งภาพ

3. รูปภาพขาว-ดำ (Black-white image) เป็นรูปภาพที่ประกอบไปด้วยสีขาและสีดำเท่านั้น คอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์รูปภาพชนิดนี้ได้ง่ายกว่ารูปภาพชนิดอื่นๆ เนื่องจากรูปภาพขาวดำมีค่าข้อมูลเพียง 2 ค่าเท่านั้นโดยจะแทนสีดำด้วยค่า 0 และสีขาวด้วยค่า 1 หรือแทนสีดำด้วยค่า 0 และสีขาวด้วยค่า 255

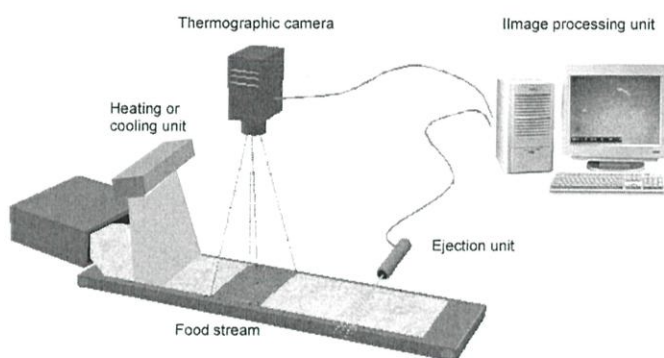
4. พิกเซล (Pixel) เป็นส่วนประกอบภาพหรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า จุดภาพ จำนวนของพิกเซลยิ่งมากขึ้นจะทำให้ภาพจะทำให้ภาพมีความละเอียดคมชัดมากยิ่งขึ้น แต่ละพิกเซลจะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงในภาพที่พิกเซลนั้นแทนอยู่



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ

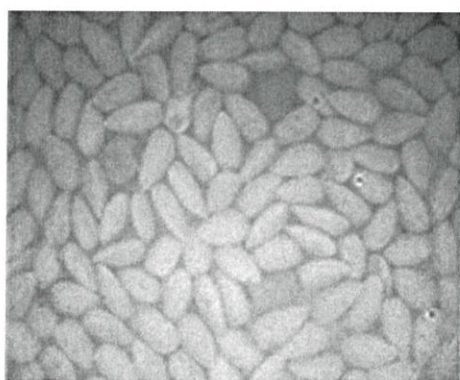
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Giaime *et al.* (2003) ได้ศึกษาและทดลองนำภาพถ่ายความร้อน (Thermal image) มาใช้ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืช ซึ่งในการทดลองแบ่งกลุ่มของสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เมล็ดอัลมอนต์กับหิน เมล็ดอัลมอนต์กับเศษกระดาษ และลูกเกตกับเศษไม้ซึ่งใช้ชุดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 2.6 โดยให้ความร้อนกับสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช และทิ้งไว้จนได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมและใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนถ่ายจะได้ภาพที่เกิดจากกล้องถ่ายภาพความร้อนซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7 จากนั้นนำภาพถ่ายทางความร้อนมาตรวจวิเคราะห์เพื่อตรวจหาสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชได้ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งผลการทดลองได้ภาพที่แสดงถึงความแตกต่างระหว่างเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมได้อย่างชัดเจน

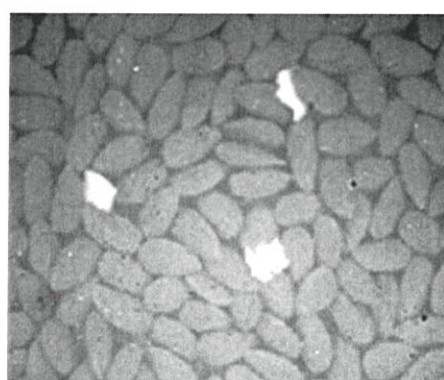


รูปที่ 2.6 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมโดยกล้องถ่ายภาพความร้อน

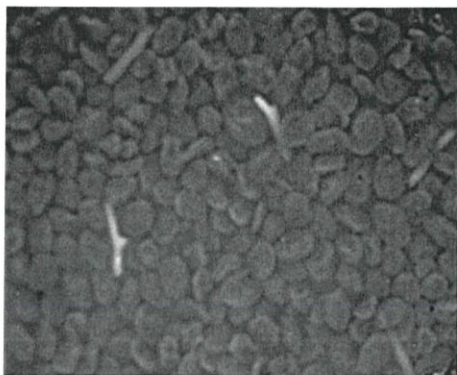
ที่มา : Giaime *et al.* (2003)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.7 ภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน (ก) ภาพเมล็ดอัลมอนต์กับหิน

(ข) ภาพเมล็ดอัลมอนต์กับเศษกระดาษ (ค) ภาพลูกเกดกับเศษไม้

ที่มา: Giaime *et al.* (2003)

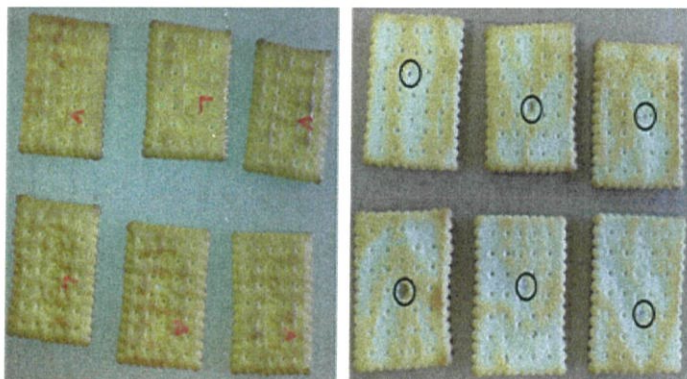
นอกจากนี้กล้องถ่ายภาพความร้อนยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบการรบกวนของแมลงในข้าวสาลี โดย Manickavasagan *et al.* (2008) ทดลองใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการตรวจจับการรบกวนของตัวด้วงในข้าวสาลี ซึ่งในการทดลองจะเริ่มจากนำข้าวสาลีที่ไม่ถูกแมลงรบกวนและข้าวสาลีที่ถูกแมลงรบกวนดังรูปที่ 2.8 มาบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและใส่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นนำมาทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 วินาที และใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนถ่ายรูป เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความแตกต่างของข้าวสาลีที่ถูกตัวด้วงรบกวนและไม่ถูกรบกวน จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของข้าวสาลีที่ถูกตัวด้วงรบกวนและไม่ถูกรบกวน



รูปที่ 2.8 ข้าวสาลีที่ถูกตัวด้วงรบกวนและไม่ถูกรบกวน

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

Senni *et al.* (2014) ได้ทดลองนำกล้องอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ซ่อนอยู่ภายในขนมปังกรอบ ซึ่งในการทดลองเป็นการนำสิ่งแปลกปลอมได้แก่ หิน เศษแก้ว เศษพลาสติก เศษไม้ เศษกระดาษ และเศษผ้า เป็นต้น มาใช้ในการทดลอง โดยนำสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้ไปใส่ไว้ในแป้งขนมปังหรือแป้งโดว์แล้วจึงนำไปอบเป็นเวลา 6 วินาที ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เมื่อทำการอบเสร็จแล้วจะทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเย็นตัวลง จากนั้นจึงใช้กล้องอินฟราเรดถ่ายภาพในทุกๆ 10 วินาที เป็นเวลา 30 นาที เมื่อทำการอบเสร็จแล้วจะทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเย็นตัวลง จากนั้นจึงใช้กล้องอินฟราเรดถ่ายภาพ เพื่อนำตรวจหาสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนอยู่ภายในขนมปังกรอบ ซึ่งภาพที่ได้จากการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.9 สามารถนำมาตรวจวิเคราะห์เพื่อตรวจหาสิ่งแปลกปลอมได้ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป จากผลการทดลองจะเห็นความแตกต่างระหว่างสิ่งแปลกปลอมกับอาหารได้จากภาพถ่ายความร้อน และงานวิจัยนี้มีการพัฒนาไปสู่ระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิตขนมปังกรอบ



รูปที่ 2.9 ภาพถ่ายความร้อนที่ใช้ในการตรวจหาสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนในขนมปังกรอบ

ที่มา : (Senni *et al.*, 2014)

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้และการเตรียมวัสดุ

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1

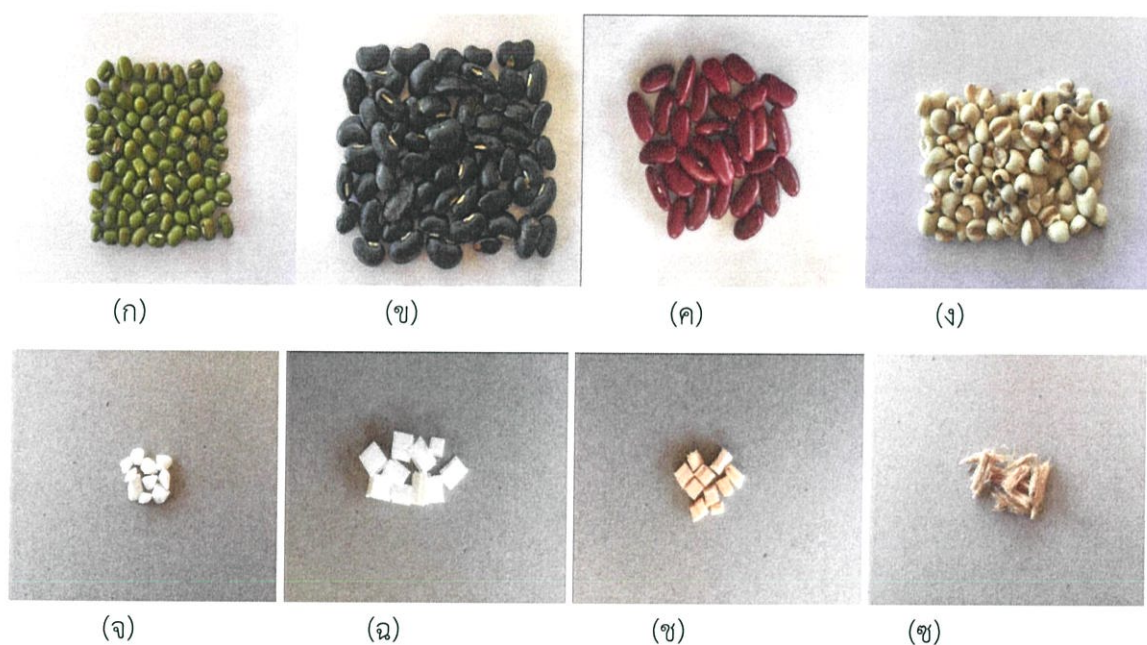
ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

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

3.1.2 การเตรียมวัสดุ

3.1.2.1 วัสดุทดลอง

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



รูปที่ 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง (ก) ถั่วเขียว (ข) ถั่วดำ (ค) ถั่วแดง (ง) ลูกเดือย (จ) เศษหิน (ฉ) เศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด) (ช) เศษไม้ และ (ซ) เศษเชือก

	กว้าง	ยาว	สูง
ถั่วดำ			
ถั่วเขียว			
ถั่วแดง			
ลูกเต๋อย			
หิวน			
พิวเจอร์บอร์ด			
เศษไม้			
เชือก			

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการวัดขนาดเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง

วัสดุตัวอย่าง	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/เมล็ด)	ขนาด (กว้างxยาวxสูง) (เซนติเมตร)	พื้นที่เฉลี่ย (เซนติเมตร)	แหล่งที่มา
ถั่วแดง	0.56±0.07	1.87x0.86x0.73	1.18±0.22	ถั่วแดงตราไร่ทิพย์
ถั่วดำ	0.25±0.04	1.39x0.93x0.68	0.89±0.29	ถั่วดำตราไร่ทิพย์
ถั่วเขียว	0.08±0.01	0.77x0.52x0.60	0.24±0.08	ถั่วเขียวตราไร่ทิพย์
ลูกเดือย	0.11±0.02	0.82x0.86x0.61	0.44±0.17	ลูกเดือยตราไร่ทิพย์
เศษไม้	0.01±0.01	0.56x0.49x0.24	0.06±0.01	ไม้ไผ่ของศึกษาภัณฑ์
หิน	0.05±0.00	0.61x0.48x0.39	0.12±0.06	หินจากร้านเครื่องเขียน
เชือก	0.01±0.00	1.18x0.30x0.12	0.04±0.02	เชือกจากร้านเครื่องเขียน
ฟิวเจอร์บอร์ด	0.01±0.01	0.71x0.61x0.44	0.18±0.08	ฟิวเจอร์บอร์ดจากร้านเครื่องเขียน

หมายเหตุ ข้อมูลน้ำหนักและพื้นที่เฉลี่ยของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมจำนวนชนิดละ 10 เมล็ด

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

3.1.2.2 การหาความชื้น

นำเมล็ดลูกเดือยมาบดใส่ภาชนะจำนวน 3 กรัม ทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นก่อนอบโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าที่มีความละเอียดอยู่ที่ 0.0001 กรัม (ยี่ห้อ Yamato รุ่น HB-120 ประเทศญี่ปุ่น) และนำเข้าไปอบในตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ Memmert รุ่น UFB 400 ประเทศเยอรมัน) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปดูดความชื้นในตู้อบความชื้น (Dessicator) (ยี่ห้อ Notthman รุ่น 50) และนำมาชั่งน้ำหนักหลังอบ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาความชื้นฐานแห้งจากสมการที่ 3.1 ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

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

3.1.2.3 การหาความจุความร้อนจำเพาะ

ใช้แคลอรีมิเตอร์หาความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ซึ่งอาศัยหลักการของสมดุลพลังงานความร้อนระหว่างตัวกลางกับวัตถุที่ต้องการหาความจุความร้อนจำเพาะ ซึ่งการทดลองนี้ใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลางโดยใช้น้ำธรรมดาผสมน้ำแข็ง แคลอรีมิเตอร์แต่ละตัวมีความจุความร้อนจำเพาะไม่เท่ากันจึงจำเป็นต้องมีการทดลองหาความจุความร้อนจำเพาะของแคลอรีมิเตอร์แต่ละตัวก่อน แล้วจึงไปหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเป็นลำดับถัดไป

1) การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของแคลอรีมิเตอร์

การหาความจุความร้อนจำเพาะของแคลอรีมิเตอร์ (c_c มีหน่วยเป็น J/kg.K) เริ่มจากชั่งน้ำหนักของแคลอรีมิเตอร์พร้อมแท่งกวนแล้วบันทึกมวลที่ได้ (m_c มีหน่วยเป็น kg) แล้วเติมน้ำเย็นซึ่งทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิคงที่ลงในแคลอรีมิเตอร์ ซึ่งทราบมวล (m_{w1} มีหน่วยเป็น kg) และวัตถุอุณหภูมิ (T_1 มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$) จากนั้นเติมน้ำธรรมดาลงในแคลอรีมิเตอร์ซึ่งทราบมวล (m_{w2} มีหน่วยเป็น kg) และทราบอุณหภูมิ (T_2 มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$) หลังจากนั้นใช้แท่งกวนของแคลอรีมิเตอร์กวนประมาณ 2 นาที จนน้ำ

ในแคลอรีมิเตอร์มีอุณหภูมิคงที่ บันทึกอุณหภูมิที่ได้เป็นอุณหภูมิผสม (T มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$) และคำนวณหาความจุความร้อนจำเพาะของแคลอรีมิเตอร์จากสมการที่ 3.2 โดยความจุความร้อนของน้ำ (c_w) มีค่าเท่ากับ 4.18 kJ/kg K

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

2) การหาความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

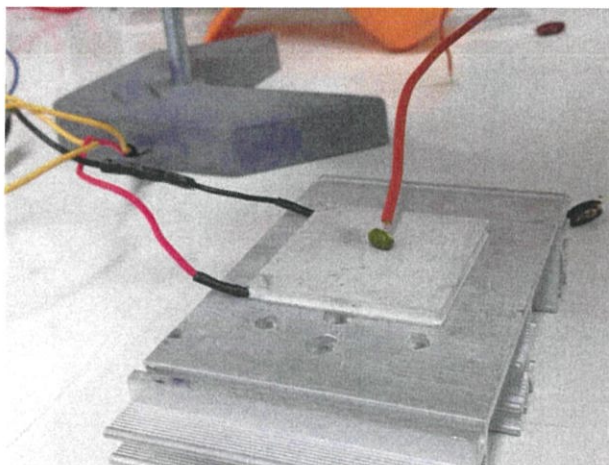
การหาความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม (c_{sample} มีหน่วยเป็น J/kg.K) เริ่มจากชั่งน้ำหนักของแคลอรีมิเตอร์พร้อมแท่งกวนแล้วบันทึกมวลที่ได้ (m_c มีหน่วยเป็น kg) จากนั้นเติมน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิคงที่ลงในแคลอรีมิเตอร์แล้วชั่งน้ำหนักบันทึกมวล (m_{w1} มีหน่วยเป็น kg) รวมทั้งวัดอุณหภูมิของน้ำเย็น (T_1 มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$) จากนั้นวัดอุณหภูมิเริ่มต้นของเมล็ดพืชหรือสิ่งแปลกปลอม (T_{sample} มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$) และชั่งน้ำหนัก (m_{sample} มีหน่วยเป็น kg) จากนั้นนำเมล็ดพืชหรือสิ่งแปลกปลอมใส่ในแคลอรีมิเตอร์ที่มีน้ำเย็นอยู่และใช้แท่งกวนของแคลอรีมิเตอร์กวนประมาณ 5-10 นาที จนน้ำในแคลอรีมิเตอร์มีอุณหภูมิคงที่ บันทึกอุณหภูมิที่ได้เป็นอุณหภูมิผสม (T_{mix} มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$) และคำนวณหาความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมจากสมการที่ 3.3 โดย c_c คือ ความจุความร้อนจำเพาะของแคลอรีมิเตอร์ที่หามาได้จากสมการที่ 3.2 ซึ่งมีหน่วยเป็น J/kg K

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

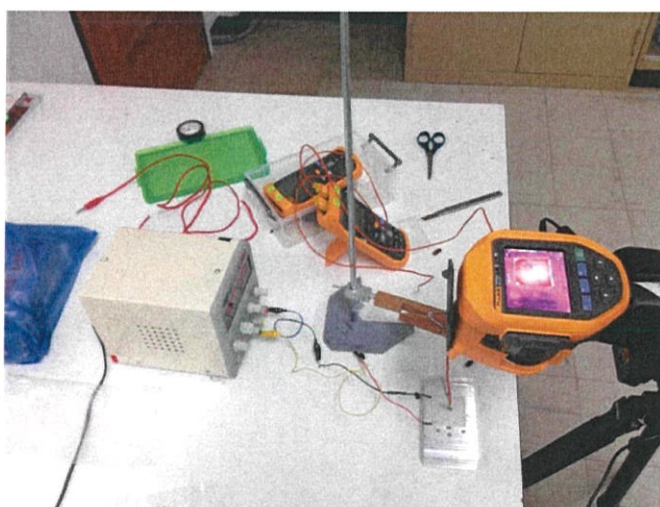
3.1.2.4 การหาสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity, ϵ) ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมสามารถหาโดยวิธีอย่างง่ายด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยให้ความร้อนแก่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ซึ่งทำให้อัตราการแผ่รังสีความร้อนจากวัสดุ (Emission) สูงขึ้น ซึ่งแหล่งความร้อนที่เลือกใช้สำหรับให้ความร้อน คือ แผ่นเพลเทียร์ (Peltier) ต่อกับชุดแหล่งจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้า นำเมล็ดพืชหรือสิ่งแปลกปลอมที่มีเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K สอดบริเวณพื้นผิว เพื่อวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสวางแผ่นเพลเทียร์ ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเมล็ดพืชหรือสิ่งแปลกปลอมจะความร้อนจากกลไกการนำความร้อน จากนั้นให้ความร้อนจนเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีอุณหภูมิคงที่ และใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนปรับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนที่ปรากฏบนกล้องจนอุณหภูมิที่อ่านได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ล สัมประสิทธิ์การ

แผ่รังสีความร้อนที่ปรากฏบนกล้องถ่ายภาพความร้อนขณะนั้นคือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชหรือสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการหา นั่นเอง การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 การวัดอุณหภูมิแบบสัมผัสด้วยเทอร์โมคัปเปิล Type K



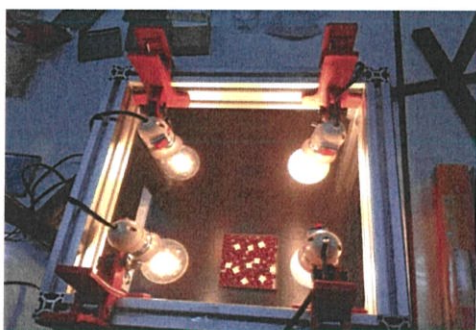
รูปที่ 3.4 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน

3.2 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับถ่ายภาพความร้อน

ในการออกแบบชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับใช้ถ่ายภาพความร้อนของสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืช ต้องมีการหาวัสดุ อุปกรณ์ที่นำมาใช้สำหรับการทดลอง ได้แก่ การเลือกใช้ชนิดของหลอดไฟสำหรับเป็นแหล่งให้ความร้อนและการติดตั้งหลอดไฟ ถาดที่ใช้ในการทดลอง การหาระยะความสูงหลอดไฟ ตำแหน่งและระยะติดตั้งของกล้องถ่ายภาพความร้อน รายละเอียดมีดังนี้

3.2.1. การเลือกชนิดหลอดไฟสำหรับเป็นแหล่งให้ความร้อน

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่กับเมล็ดพืชด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่วัสดุ เพื่อให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ต้องคำนึงถึงปริมาณในการให้ความร้อนที่ไม่ทำให้เมล็ดพืชสูญเสียคุณภาพ จึงเลือกใช้แหล่งความร้อนหลอดไฟประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์ ในการให้ความร้อนพิจารณาจากผลการทดลองคือ นำภาชนะหรือถาดอะลูมิเนียมมาให้ความร้อนแก่ถาดอะลูมิเนียม และดูปริมาณความร้อนที่ให้แก่ถาดอะลูมิเนียมว่ามีการกระจายไปยังถาดได้ทั่วถึงหรือไม่ ซึ่งหลอดไฟที่นำมาพิจารณามีอยู่ 2 แบบ คือ หลอดไฟกลมประเภทหลอดไส้ ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 4 หลอด นำมาทดลองให้ความร้อนโดยติดตั้งอยู่ที่มุมทั้ง 4 ด้านเหนือภาชนะใส่ตัวอย่างทดลอง (รูปที่ 3.5 (ก)) และหลอดไฟประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์ จำนวน 1 หลอด ติดตั้งอยู่เหนือภาชนะใส่ตัวอย่างทดลอง (รูปที่ 3.5 (ข)) จากการทดลอง พบว่า เมื่อใช้หลอดไฟประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์ จำนวน 1 หลอด เป็นแหล่งให้ความร้อนได้ภาพถ่ายความร้อนของถาดเปล่ามีสีเรียบเนียนสม่ำเสมอ จึงสรุปได้ว่า ถาดอะลูมิเนียมได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง ดังนั้นการทดลองเพื่อหาชนิดของแหล่งความร้อนจึงเลือกหลอดไฟประเภทโคมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์ จำนวน 1 หลอด



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

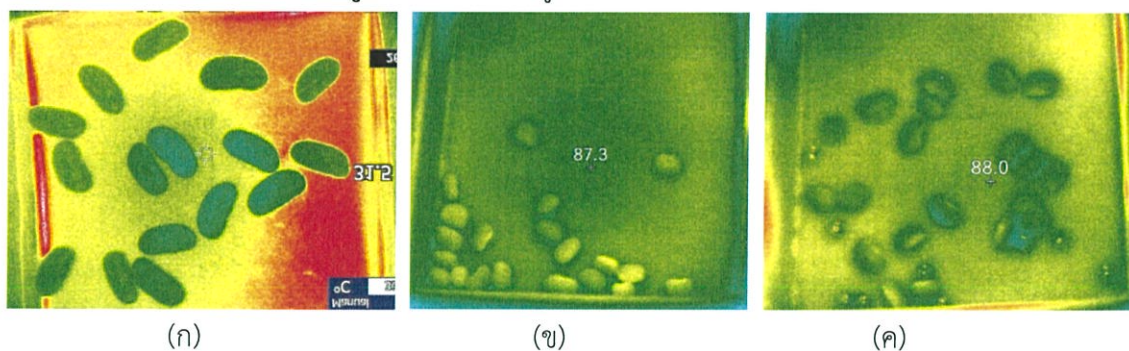
3.2.2 การเลือกชนิดภาชนะสำหรับใส่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

เลือกภาชนะที่สามารถแยกพื้นหลังของภาชนะกับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนได้ ซึ่งภาชนะที่นำมาทดลองพิจารณาในการเลือก ได้แก่ ถาดไม้ ถาดพลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด) และถาดอะลูมิเนียมที่มีผิวมันวาวและไม่มันวาว ทำการทดลองโดยนำเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมอย่างละ 1 ชนิด ใส่ถาดแต่ละชนิด แล้วใช้โคมไฟสปอร์ตไลท์ฮาโลเจน ขนาด 150 วัตต์ ให้ความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที ผลการทดลอง พบว่า ควรเลือกใช้ถาดอะลูมิเนียมที่ผิวไม่

มันวาว (รูปที่ 3.6) เพราะสามารถใช้ภาพถ่ายความร้อนแยกพื้นหลังจากตะกอนไขมันที่ผิวของมันวาวจากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมได้ (รูปที่ 3.7 (ก)) เมื่อจากตะกอนไขมันที่ผิวของมันวาวได้รับความร้อนจากหลอดไฟ จะมีการแผ่รังสีความร้อนเข้ากล้องถ่ายภาพความร้อนน้อยกว่าเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนต่ำกว่าหากเทียบกับถาดไม้และถาดพลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนใกล้เคียงกับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม เมื่อจากพลาสติกและถาดไม้ได้รับความร้อนจากหลอดไฟ รังสีความร้อนที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับใกล้เคียงกับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม จึงไม่สามารถใช้ภาพถ่ายความร้อนแยกพื้นหลังจากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 3.7 (ข) และ (ค) ตามลำดับ ดังนั้นการทดลองนี้จึงตัดสินใจเลือกจากตะกอนไขมันแบบผิวมันวาวสำหรับใส่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม



รูปที่ 3.6 ถาดอะลูมิเนียมที่ผิวมันวาว



รูปที่ 3.7 ภาพเปรียบเทียบการแยกพื้นหลังของภาชนะที่ใส่ตัวอย่างทดลอง (ก) ถาดอะลูมิเนียมที่ผิวมันวาว (ข) ถาดพลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด) และ (ค) ถาดไม้

3.2.3 การหาระยะความสูงหลอดไฟ ตำแหน่งและระยะติดตั้งของกล้องถ่ายภาพความร้อน

ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่กับเมล็ดพืชด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน การหาระยะความสูงหลอดไฟ ตำแหน่งและระยะติดตั้งของกล้องถ่ายภาพความร้อนมีผลต่อการถ่ายภาพความร้อน จึงต้องมีการปรับมุมของกล้องถ่ายภาพความร้อนให้เหมาะสมเพื่อลดผลของการเกิดการสะท้อนของรังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ในการทดลองนี้มีการปรับความชัดของภาพถ่ายความร้อน

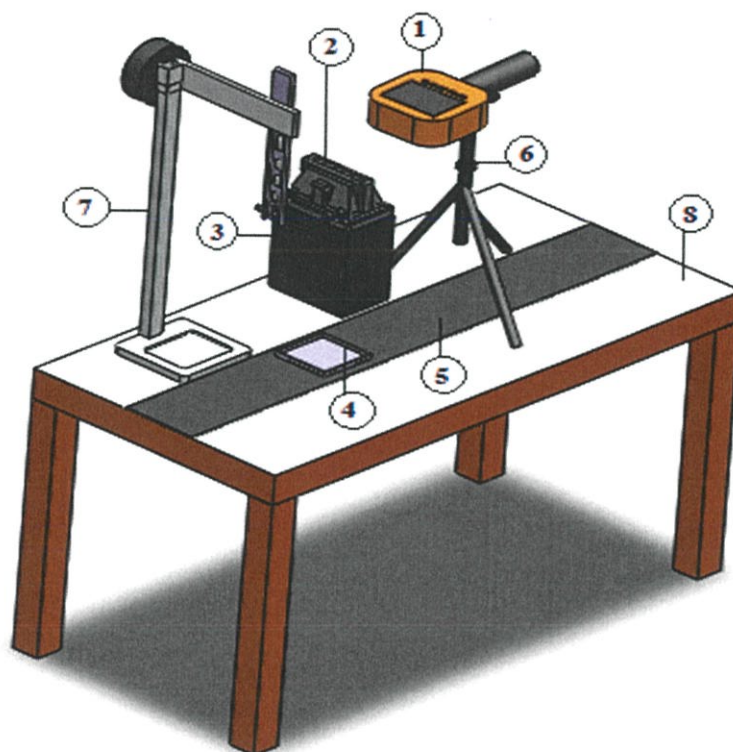
ด้วยการปรับระยะโพกัสของกล้องถ่ายภาพความร้อนที่ระยะ 43 เซนติเมตร ซึ่งสามารถปรับระยะโพกัสให้สูงกว่านี้ได้ แต่ไม่สามารถปรับให้ต่ำกว่าระยะนี้ได้ เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของขาตั้งกล้องและพื้นที่สายพานที่จำกัด

นอกจากนั้นการปรับระดับความสูงของหลอดไฟมีผลต่อกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมได้รับ จากการทดลองปรับระดับความสูงของหลอดไฟจากภาชนะใส่ตัวอย่าง พบว่า หากหลอดไฟเปล่งแสงสว่างออกมามากแสดงว่าหลอดไฟนั้นมีการปล่อยกำลังไฟฟ้าสูง จึงทำให้หลอดไฟนั้นกระจายความร้อนออกมาสูงด้วย ซึ่งหากปรับหลอดไฟให้มีระดับความสูงจากภาชนะใส่ตัวอย่างทดลองมากขึ้น ทำให้บริเวณภาชนะใส่ตัวอย่างทดลองได้รับพลังงานจากหลอดไฟได้น้อยลง จากข้อมูลการทดลองข้างต้นทำให้สามารถสร้างชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการถ่ายภาพความร้อนได้ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.8 สำหรับรายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 3.3 โดยชุดอุปกรณ์นี้ใช้ถ่ายภาพความร้อนเพื่อหาเวลาสำหรับให้ความร้อนแก่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ใช้ถ่ายภาพเพื่อคำนวณหาพลังงานความร้อนที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับจากการแผ่รังสีความร้อน และใช้ถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม

3.3 การทดลอง

3.3.1 การหาเวลาสำหรับการให้ความร้อนและคายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

เตรียมเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมได้แก่ ลูกเต๋อย เซขหิน เซขไม้ เซขเชือก และเซขพลาสติก (พีวีเจอร์บอร์ด) ตัวอย่างละ 5 ชิ้น เรียงลงในภาชนะสุญญากาศโดยไม่ให้มีตัวอย่างใดตัวอย่างหนึ่งติดกัน ดังรูปที่ 3.9 และให้ความร้อนเป็นเวลา 10 20 และ 30 วินาทีตามลำดับ จากนั้นปล่อยให้คายความร้อนเป็นเวลา 10 วินาที พร้อมทั้งบันทึกไฟล์วิดีโอด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนตลอดระยะเวลาคายความร้อนโดยเริ่มตั้งแต่วินาทีที่ 0 จนถึงวินาทีที่ 10 จากนั้นนำไฟล์วิดีโอที่ได้มาตัดภาพที่เวลา 1 วินาทีจนถึง 10 วินาทีในช่วงการคายความร้อน แล้วนำภาพที่ได้หาค่าความแตกต่างของภาพระดับสีเทา (Absolute difference of average gray level) โดยใช้โปรแกรม Image J เพื่อหาเวลาในการให้ความร้อนและคายความร้อน เพื่อใช้ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมกับลูกเต๋อย



รูปที่ 3.8 ชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการถ่ายภาพความร้อน

ตารางที่ 3.3 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับการถ่ายภาพความร้อน

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



รูปที่ 3.9 การเรียงลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมในภาชนะสำหรับการหาเวลาสำหรับการให้ความร้อน
กับเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

3.3.2 การถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม

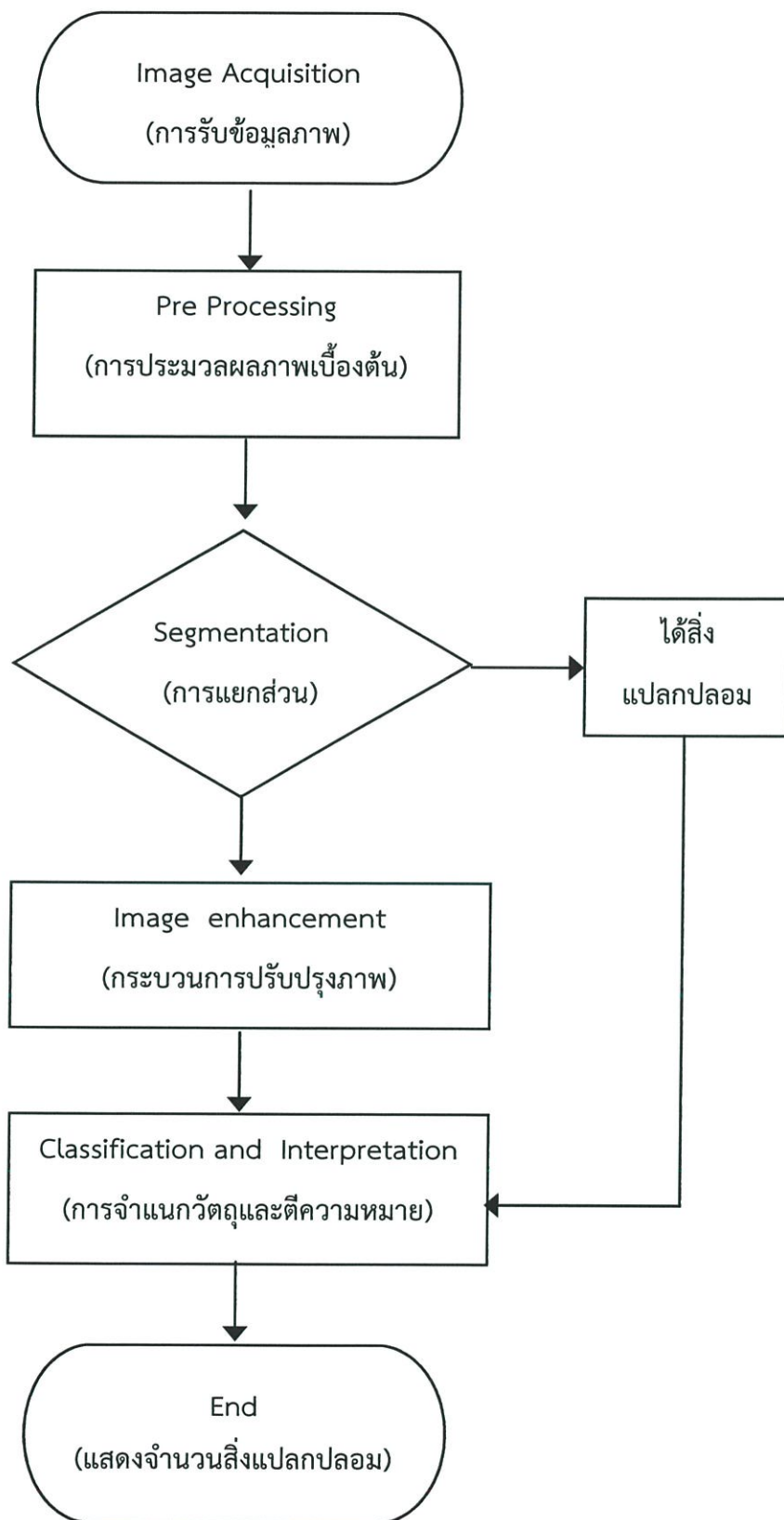
จัดเรียงเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมใส่ในถาดอะลูมิเนียมอย่างละหนึ่งชนิดเป็นจำนวนดังนี้ ลูกเต๋อย 80 เมล็ดและสิ่งแปลกปลอมได้แก่ เศษไม้ เศษพลาสติก (ฟิวเจอร์บอร์ด) เศษเชือก และเศษหิน อย่างละ 10 ชิ้น ใส่ในถาดอลูมิเนียมดังแสดงในรูปที่ 3.10 จากนั้นทำการถ่ายภาพความร้อนตามเวลาการให้ความร้อนที่วิเคราะห์ได้ เมื่อได้ภาพถ่ายความร้อนมาแล้วจะนำภาพถ่ายความร้อนที่ได้ไปเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพเป็นลำดับถัดไป



รูปที่ 3.10 การวางลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมในถาดอะลูมิเนียมสำหรับถ่ายภาพความร้อน

3.4 การประมวลผลภาพถ่ายความร้อน

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนเป็นการวัดเชิงคุณภาพที่พิจารณาความแตกต่างของภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืช และสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการตรวจสอบ ขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนแสดงดังรูปที่ 3.11 เริ่มด้วยการรับข้อมูลภาพ (Image Acquisition) ซึ่งเป็นการนำภาพถ่ายความร้อนจากขั้นตอนการถ่ายภาพหัวข้อที่ 3.3.2 มาปรับเป็นภาพระดับสีเทา (Gray scale) ปรับค่าสแปน (Span) ซึ่งเป็นการค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำของภาพถ่ายความร้อน และปรับค่าเลเวล (Level) ซึ่งเป็นค่าจุดกึ่งกลางของค่าสแปน โดยใช้โปรแกรม Smart view จากนั้นเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) โดยนำภาพมาแปลงเป็นภาพระดับสีเทาในโปรแกรม Image J จากนั้นเข้าสู่กระบวนการแยกส่วน (Segmentation) โดยใช้โปรแกรม Image J ซึ่งเป็นกระบวนการแยกพื้นหลังหรือภาชนะใส่ตัวอย่างทดลองออกจากเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมโดยการปรับค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ซึ่งเป็นการแปลงภาพให้มีการแสดงผลได้แค่ 2 ระดับคือ เฉดสีโทนเข้มและเฉดสีโทนอ่อน จากนั้นเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงภาพ (Image enhancement) แล้วไปยังกระบวนการจำแนกวัตถุและตีความหมาย (Classification and Interpretation) ซึ่งเป็นการระบุค่าความกลมและพื้นที่ของวัตถุที่ต้องการแสดงผลออกมา และสุดท้ายแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืช



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชด้วยวิธีประมวลผลภาพถ่ายความร้อนโดยใช้โปรแกรม Image J ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความจุความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม เวลาในการให้ความร้อน และพลังงานที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับ รายละเอียดผลการทดลองทั้งหมดแสดงดังต่อไปนี้

4.1 ความจุความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน

ความจุความร้อนจำเพาะ น้ำหนัก และสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ โดยสมบัติทางความร้อนของลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมจะใช้สำหรับการวิเคราะห์และเปรียบเทียบให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงหรือความแตกต่างระหว่างวัตถุสองสิ่งที่มีสมบัติทางความร้อนต่างกันดังตารางที่ 4.2

4.2 เวลาในการให้ความร้อนและคายความร้อนสำหรับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายความร้อน

การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยภาพถ่ายภาพความร้อนเป็นการวัดเชิงคุณภาพโดยพิจารณาความแตกต่างระหว่างภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม ภายใต้เงื่อนไขการกำหนดระยะเวลาในการให้ความร้อนและระยะเวลาการคายความร้อนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทา (Absolute difference of average gray level) กับเวลาช่วงคายความร้อนและเลือกระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพียงพอที่ทำให้โปรแกรมสามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้ ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยรูปที่ 4.1-4.3 แสดงค่าความแตกต่างระดับสีเทาของลูกเต๋อยกับสิ่งแปลกปลอมชนิดต่าง ๆ ได้แก่หิน เศษไม้ เศษพลาสติก (พีวเจอร์บอร์ด) และเศษเชือกที่ผ่านการให้ความร้อน 10 20 และ 30 วินาที ตามลำดับ ในระหว่างการคายความร้อน 10 วินาที

ตารางที่ 4.1 ความจุความร้อนจำเพาะและสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

ชนิด	ความจุความร้อน	ความจุความร้อน	ที่มา	สัมประสิทธิ์การ	สัมประสิทธิ์การ	ที่มา
	จำเพาะ, (Cp)(kJ/kg·K)	จำเพาะอ้างอิง (kJ/kg·K)		แผ่รังสีความร้อน, (ε)	แผ่รังสีความร้อน อ้างอิง	
ลูกเดี๋ย	2.16±0.82	1.45-2.12	Legrand <i>et al.</i> , 2006	0.94 ± 0.01	0.91-0.93	Jeng Liang Lin <i>et al.</i> , 1998
เศษหิน	0.89±0.02	0.46-0.90	Lalit <i>et al.</i> , 2010	0.94 ± 0.01	0.88-0.95	Mallory, 1969
เศษไม้	2.85±0.02	1.26-2.90	Tan, 2010	0.84 ± 0.03	0.82-0.92	Touloukian and Ho., 1972
เศษเชือก	1.54±0.53	0.67-1.76	Bouденne <i>et al.</i> , 2005	0.93 ± 0.01	0.80-0.93	Mallory, 1969
ฟิวเจอร์บอร์ด	1.31±0.60	0.88-2.55	Bouденne <i>et al.</i> , 2005	0.83 ± 0.02	0.84-0.86	Bouденne <i>et al.</i> , 2005

หมายเหตุ สิ่งแปลกปลอมและลูกเต๋อย จำนวน 3 กรัม

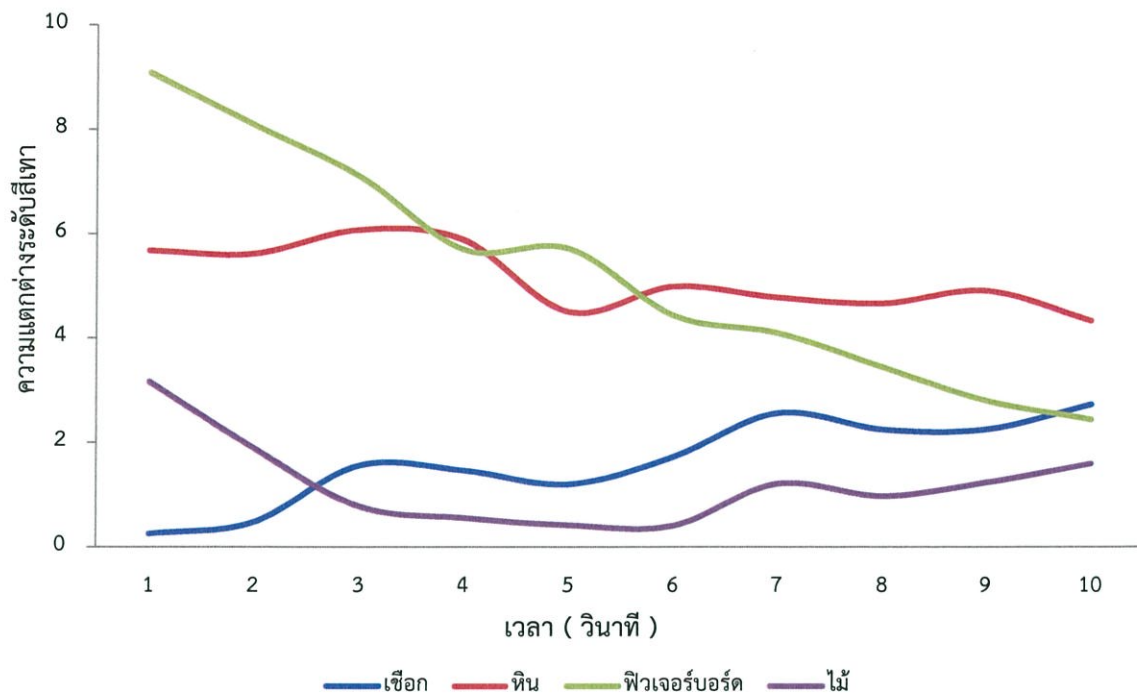
ตารางที่ 4.2 ตารางสรุปความจุความร้อนจำเพาะน้ำหนักเฉลี่ย ความจุความร้อน พลังงานความร้อนที่วัตถุได้รับ และพลังงานที่ก้องได้รับ

ชนิด	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg•K)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/เมล็ด)	ความจุความร้อน (kJ/•K)	พลังงานความร้อนที่วัตถุ ได้รับ(Watts)	พลังงานที่ก้องได้รับ (Watts/m ²)
ลูกเต๋อย	2.16	0.11±0.02	0.000240	0.64	447.46
เศษไม้	2.85	0.01±0.01	0.000036	0.12	355.99
เชือก	1.54	0.01±0.00	0.000007	0.02	445.63
เศษหิน	0.99	0.05±0.00	0.000046	0.07	440.99
ฟิวเจอร์บอร์ด	1.91	0.03±0.01	0.000059	0.17	367.99

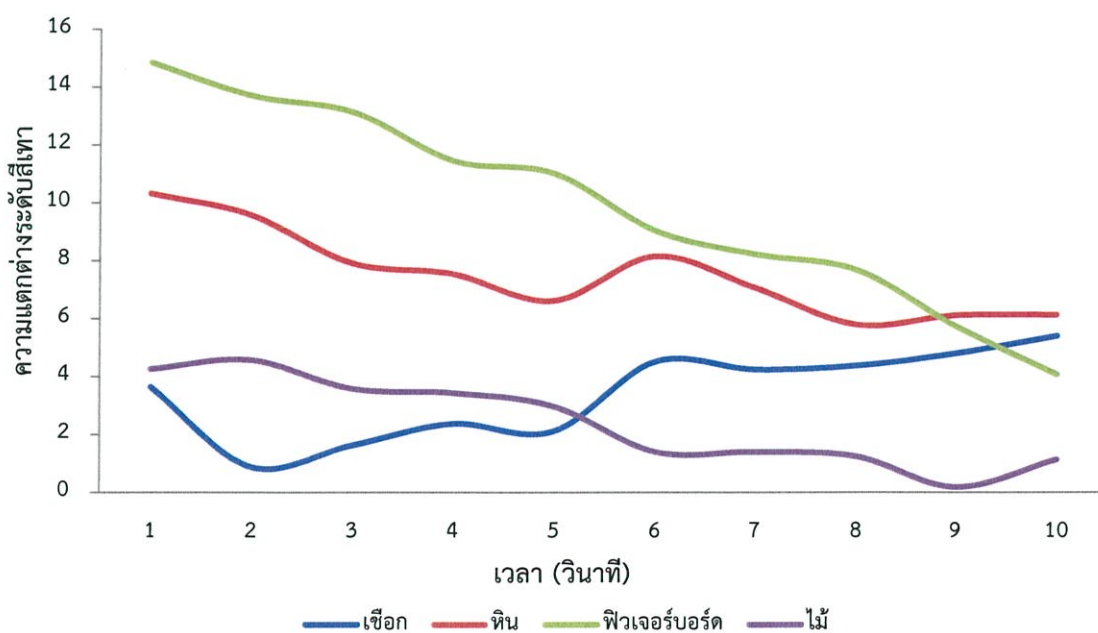
หมายเหตุ สิ่งแปลกปลอมและลูกเต๋อย จำนวน 3 กรัม

พบว่า เมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าความแตกต่างระดับสีเทาระหว่างลูกเต๋อกับสิ่งแปลกปลอมที่ใช้ในการทดลองทุกชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าความแตกต่างระดับสีเทาระหว่างลูกเต๋อกับเศษหิน เศษไม้ และฟิวเจอร์บอร์ด มีแนวโน้มที่ลดลงในระหว่างการคายความร้อน เนื่องจากพลังงานความร้อนที่กักเก็บได้รับลดลงขณะเดียวกันค่าความแตกต่างระดับสีเทาก็ลดลงด้วย สำหรับกรณีของเศษเชือกเมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระดับสีเทาเมื่อเปรียบเทียบกับลูกเต๋อ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการคายความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีค่าความจุความร้อน (Heat capacity rate) ของเศษเชือกมีค่าแตกต่างจากลูกเต๋อมากสุดเมื่อเทียบกับสิ่งแปลกปลอมชนิดอื่น จึงมีแนวโน้มของค่าความแตกต่างระดับสีเทาสูงขึ้นในระยะเวลาคายความร้อนเมื่อให้ความร้อน 10 และ 20 วินาที รวมถึงขนาดรูปร่างของเชือกที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอมีเส้นใยที่ยู่ จึงมีความผิดพลาดสูงในการเก็บข้อมูลจากการใช้โปรแกรม Image J หาค่าความแตกต่างระดับสีเทาด้วย โดยในการเลือกเวลาสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุทดลองควรพิจารณาเลือกจากพลังงานความร้อนที่เพียงพอ สำหรับการทดลองนี้เลือกใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนเพียง 20 วินาที เนื่องจากมีความแตกต่างระดับสีเทาเพียงพอสำหรับการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน ซึ่งการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างทดลองใช้หลอดไฟที่มีขนาด 150 วัตต์และหากต้องการลดระยะเวลาสำหรับการให้ความร้อนสามารถทำได้ด้วยการเพิ่มจำนวนวัตต์ของหลอดไฟให้มากขึ้น

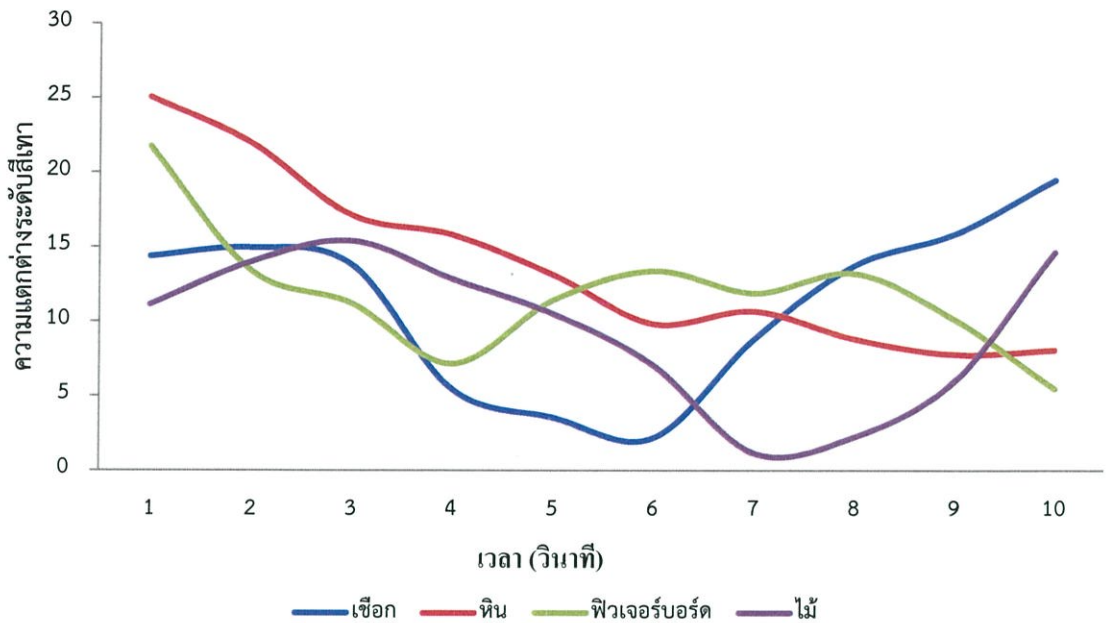
สำหรับการพิจารณาช่วงเวลาการคายความร้อนที่เหมาะสมในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อน พบว่า การคายความร้อนในช่วง 5 วินาทีแรกให้ค่าความแตกต่างของระดับสีเทาระหว่างลูกเต๋อกับหินและลูกเต๋อกับฟิวเจอร์บอร์ดอย่างชัดเจนโดยวินาทีที่ 1 ให้ค่าความแตกต่างสูงที่สุด จึงเหมาะสำหรับการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์ภาพระดับสีเทา ส่วนกรณีเชือกและไม้มีค่าความแตกต่างระดับสีเทาไม่สูงมากนัก จึงควรประมวลผลโดยอาศัยการแยกด้วยความแตกต่างของรูปร่าง



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการให้ความร้อนที่เวลา 10 วินาที



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการให้ความร้อนที่เวลา 20 วินาที



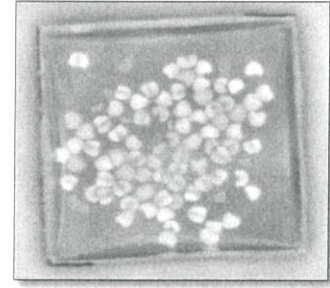
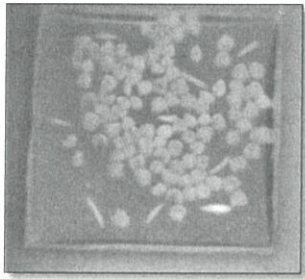
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างระดับสีเทากับเวลาช่วงคายความร้อนสำหรับการให้ความร้อนที่เวลา 30 วินาที

4.3 การประมวลผลภาพถ่ายความร้อน

ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพหาจำนวนสิ่งแปลกปลอมแสดงได้ดังนี้

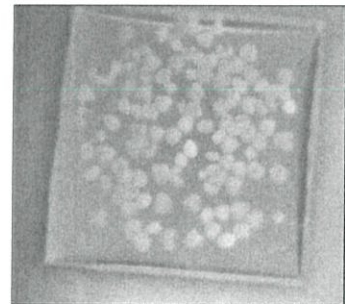
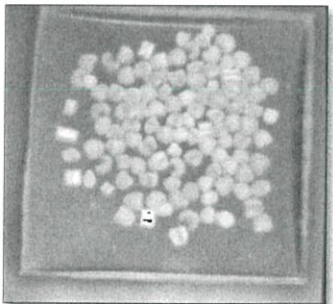
ขั้นที่ 1 การรับข้อมูลภาพ (Image acquisition)

นำภาพถ่ายความร้อนที่ได้จากกล้องมาปรับค่าสแกนเพื่อให้ย่านอุณหภูมิครอบคลุมอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดและให้สีของภาพมีความแตกต่างกับสิ่งแปลกปลอม โดยรูป (ก) (ข) (ค) และ (ง) มีการปรับค่าสแกนดังนี้ (ก) และ (ง) ปรับค่าในช่วง 22-34 (ข) ปรับค่าในช่วง 22-32 และ (ค) ปรับค่าในช่วง 22-33 พบว่ามีการแสดงเฉดสีเพื่อบ่งบอกถึงอุณหภูมิของเมล็ดพืช สิ่งแปลกปลอม และภาพเหมือนกัน โดยแบ่งออกเป็น 2 เฉดสี คือ ภาพจะแสดงเฉดสีเข้มเนื่องจากมีอุณหภูมิต่ำกว่าเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม และเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมแสดงเฉดสีอ่อนเนื่องจากมีอุณหภูมิสูงกว่าภาพการแสดงผลระดับสีของภาพที่แตกต่างกันเนื่องจากเมล็ดพืช สิ่งแปลกปลอม และภาพมีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันและมีการรับพลังงานความร้อนที่ต่างกัน จึงทำให้ภาพที่แสดงมีระดับสีที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.2 โดยรูปที่ 4.4 (ก) เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมมีสมบัติทางกายภาพ ความจุความร้อนและการรับพลังงานที่ต่างกันมากจึงทำให้ภาพมีการแสดงโทนสีที่ชัดเจนกว่าภาพอื่นๆ



(ก)

(ข)



(ค)

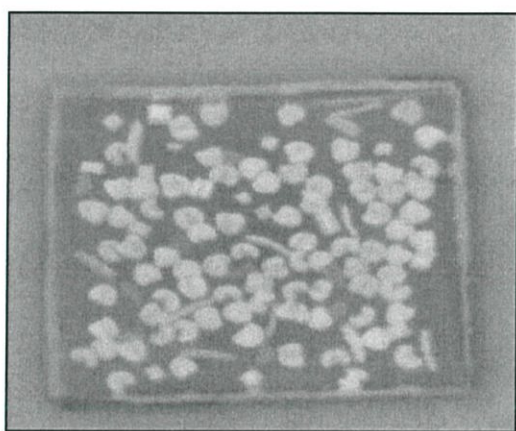
(ง)

รูปที่ 4.4 ภาพจริงและภาพระดับสีเทาของลูกเดือยและสิ่งแปลกปลอมจากโปรแกรม Smart view

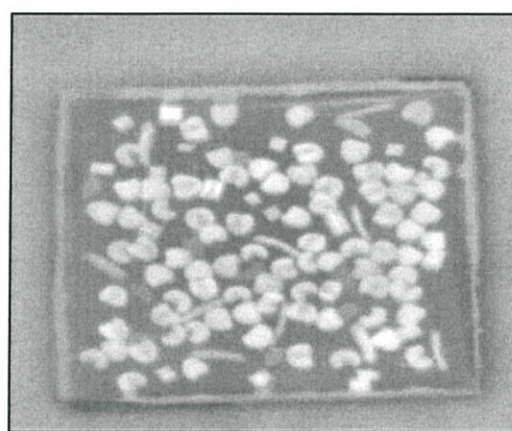
(ก) ลูกเดือยกับเชือก (ข) ลูกเดือยกับหิน (ค) ลูกเดือยกับฟิวเจอร์บอร์ด (ง) ลูกเดือยกับไม้

การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Pre-processing)

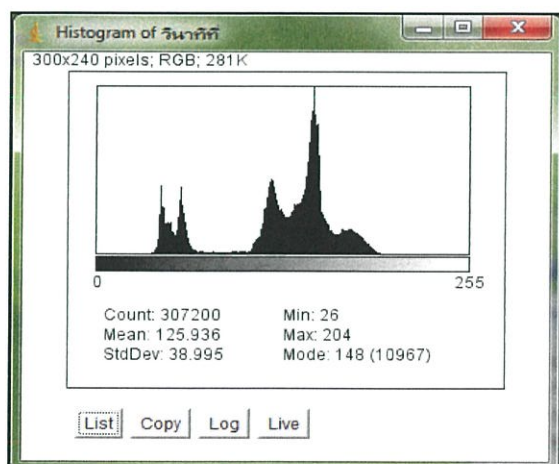
ขั้นตอนที่ 2 นำภาพระดับสีเทาจากโปรแกรม Smart view มาแปลงให้เป็นภาพระดับสีเทาด้วยโปรแกรม Image J เนื่องจากเมื่อทำการเปรียบเทียบการแปลงภาพระดับสีเทาจากทั้ง 2 โปรแกรมแล้วพบว่า ภาพระดับสีเทาที่มาจากโปรแกรม Smart view มีค่าความสว่างอยู่ในช่วง 26-204 ดังรูปที่ 4.5 (ก) ซึ่งแสดงว่า ภาพระดับสีเทานั้นมีค่าที่กองรวมกันอยู่จึงทำให้มีค่าความละเอียดน้อยกว่าการนำภาพมาแปลงในโปรแกรม Image J อีกครั้ง แสดงดังรูปที่ 4.5 (ข) แสดงให้เห็นว่า การแปลงค่าความสว่างจะอยู่ในช่วง 0-255 ซึ่งมีการกระจายค่าความสว่างมากกว่าโปรแกรม Smart view จึงทำให้ภาพที่นำมาใช้ในกระบวนการต่อไปมีค่าความละเอียดมากขึ้นทำให้การประมวลผลในขั้นตอนการปรับค่าเทรซโฮลด์เกิดสิ่งรบกวนน้อยลง



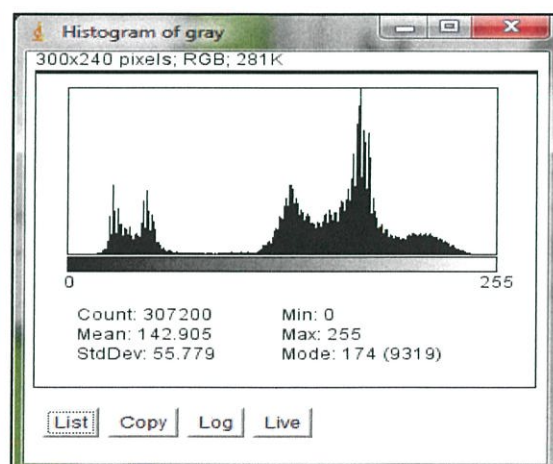
Gray scale 26 - 204



Gray scale 0 - 255

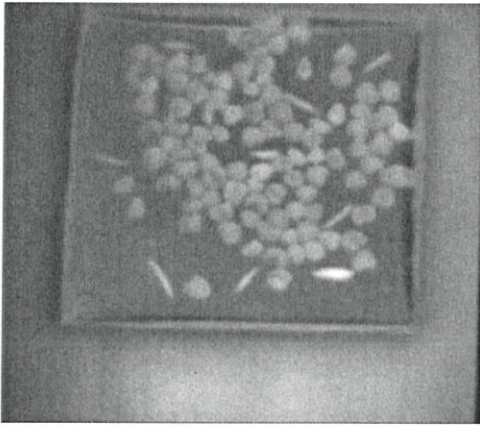


(ก)

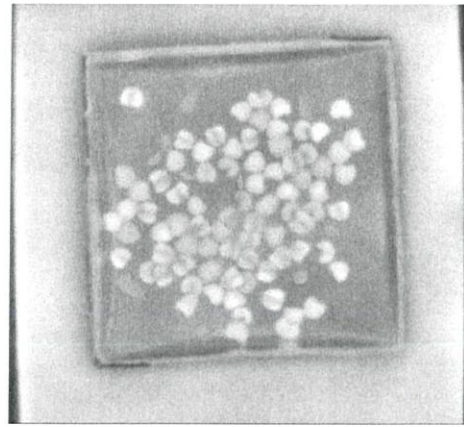


(ข)

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



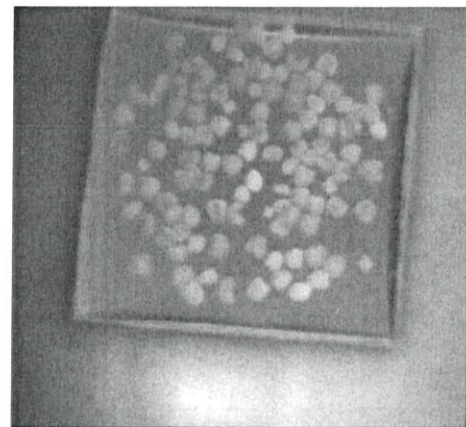
(ก)



(ข)



(ค)



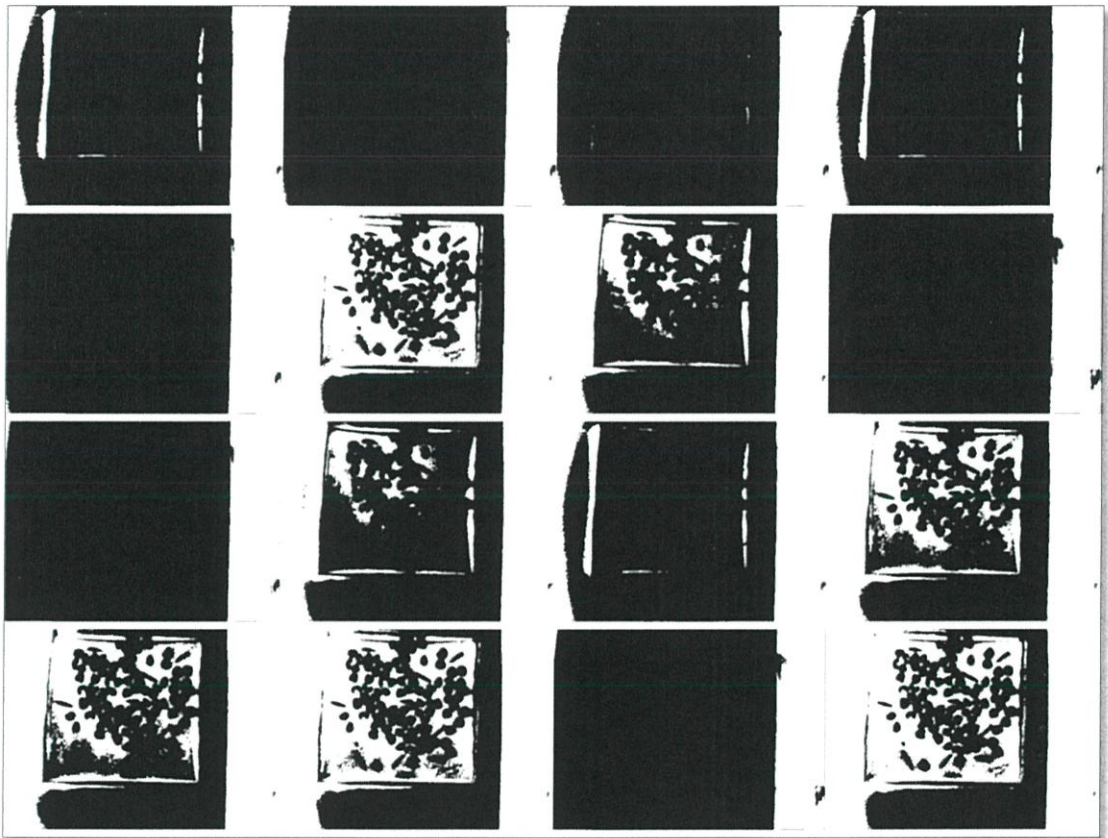
(ง)

รูปที่ 4.6 ภาพระดับสีเทาของลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมจากโปรแกรม Image J (ก) ลูกเต๋อยกับ
เชือก (ข) ลูกเต๋อยกับหิน (ค) ลูกเต๋อยกับฟิวเจอร์บอร์ด (ง) ลูกเต๋อยกับไม้

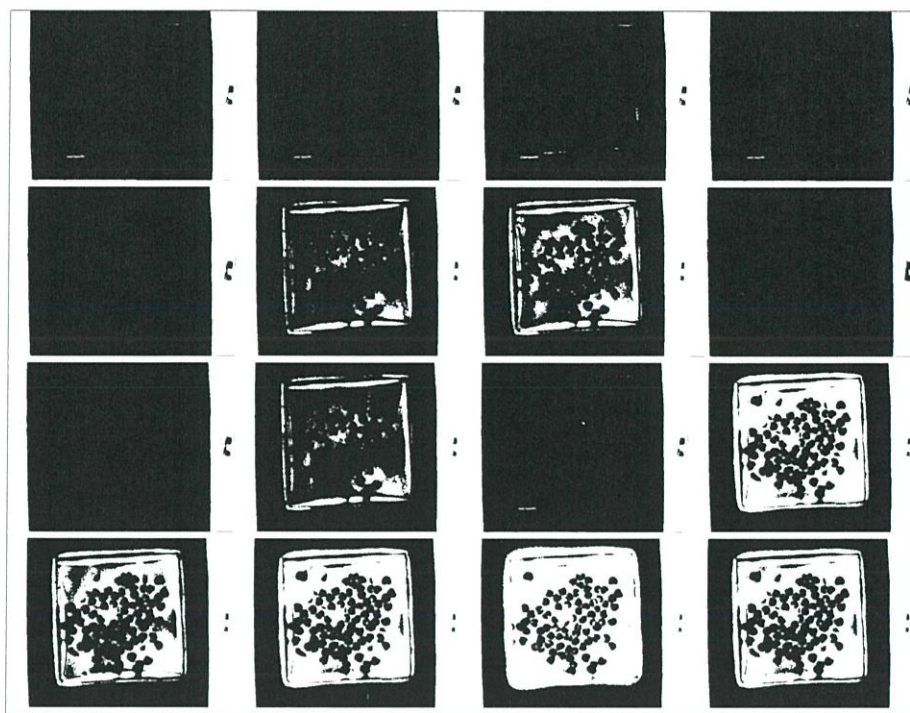
กระบวนการแยกส่วนภาพ (Segmentation)

ขั้นตอนที่ 3 ทำการแยกส่วนภาพที่ต้องการออกโดยการปรับค่าเทรชโฮลด์เพื่อแยกธาตุหรือพื้น
หลังออกจากลูกเต๋อยกับสิ่งแปลกปลอมโดยใช้โปรแกรม Image J สามารถแยกได้ เนื่องจากธาตุกับ
ลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอมแสดงเฉดสีของภาพระดับสีเทาที่แตกต่างกัน ซึ่งธาตุแสดงเฉดสีโทนเข้มบ่ง
บอกถึงพลังงานความร้อนที่กล้องถ่ายภาพความร้อนได้รับมีค่าที่ต่ำกว่าลูกเต๋อยและสิ่งแปลกปลอม ซึ่ง
แสดงเฉดสีโทนสว่าง เนื่องจากธาตุมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนที่น้อยกว่าลูกเต๋อยและสิ่ง
แปลกปลอมจึงทำให้กล้องได้รับพลังงานความร้อนที่น้อยกว่า การปรับค่าเทรชโฮลด์สามารถทำได้ 2
แบบคือ โลคอลเทรชโฮลด์ (Local Threshold) และโกลบอลเทรชโฮลด์ (Global Threshold) ซึ่งการ

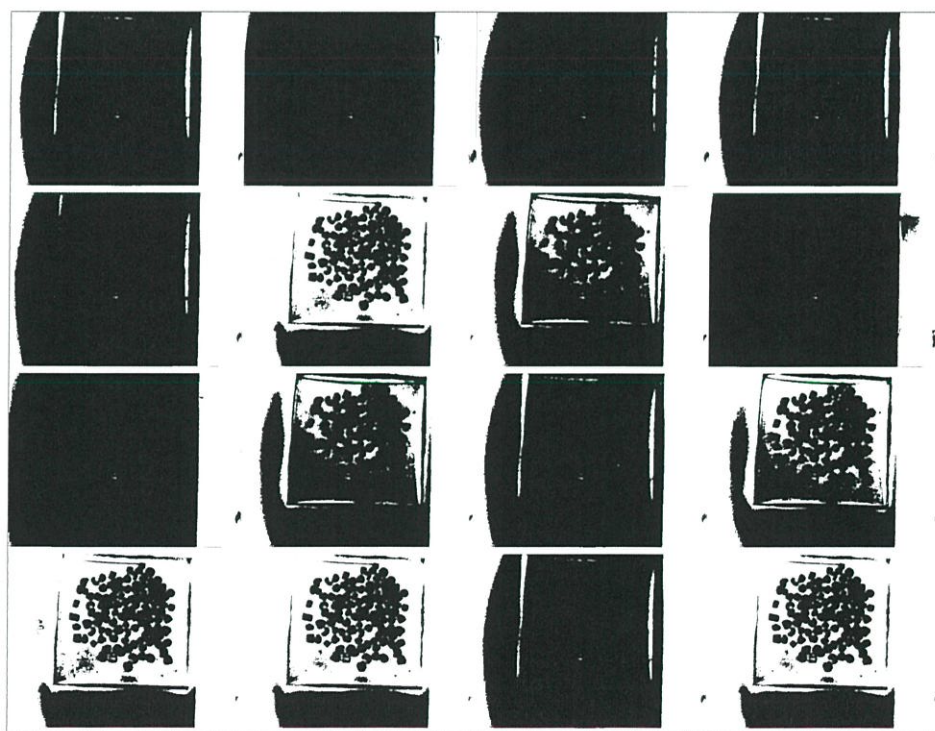
ปรับค่าโอบอลเทรชโฮลด์แสดงดังรูปที่ 4.7-4.10 แสดงให้เห็นถึงมีการแบ่งค่าเทรชโฮลด์ออกเป็น 16 ภาพและโลคอลเทรชโฮลด์แสดงดังรูปที่ 4.11-4.14 แสดงให้เห็นถึงมีการแบ่งค่าเทรชโฮลด์ออกเป็น 6 ภาพ ในการเลือกภาพแนวโน้มค่าเทรชโฮลด์ทั้ง 2 แบบ จะพิจารณาจากการดูภาพแล้วนับจำนวนของสิ่งแปลกปลอมที่ปรากฏในภาพว่ามีจำนวนครบถ้วนหรือไม่และต้องมีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งการแยกภาพโดยใช้โลคอลเทรชโฮลด์เหมาะสำหรับลูกเต๋ากับเชือก พลาสติก และไม้ เนื่องจากภาพระดับสีเทาของสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการตรวจสอบแตกต่างกัน และใช้โอบอลเทรชโฮลด์สำหรับลูกเต๋ากับหิน เนื่องจากภาพระดับสีเทาของหินใกล้เคียงกัน ข้อจำกัดคือ ภาพระดับสีเทาของธาตุ ลูกเต๋อย และสิ่งแปลกปลอมต้องแตกต่างกัน



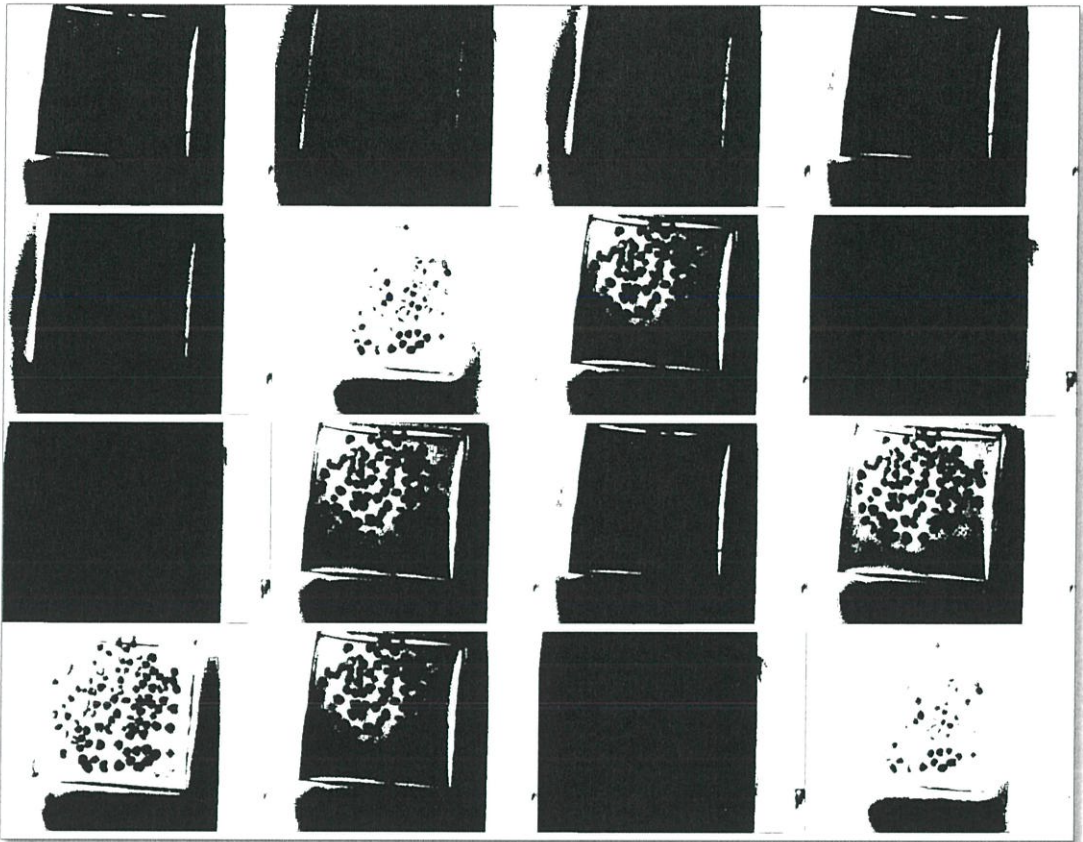
รูปที่ 4.7 แนวโน้มการปรับโอบอลเทรชโฮลด์ของลูกเต๋อยกับเชือก



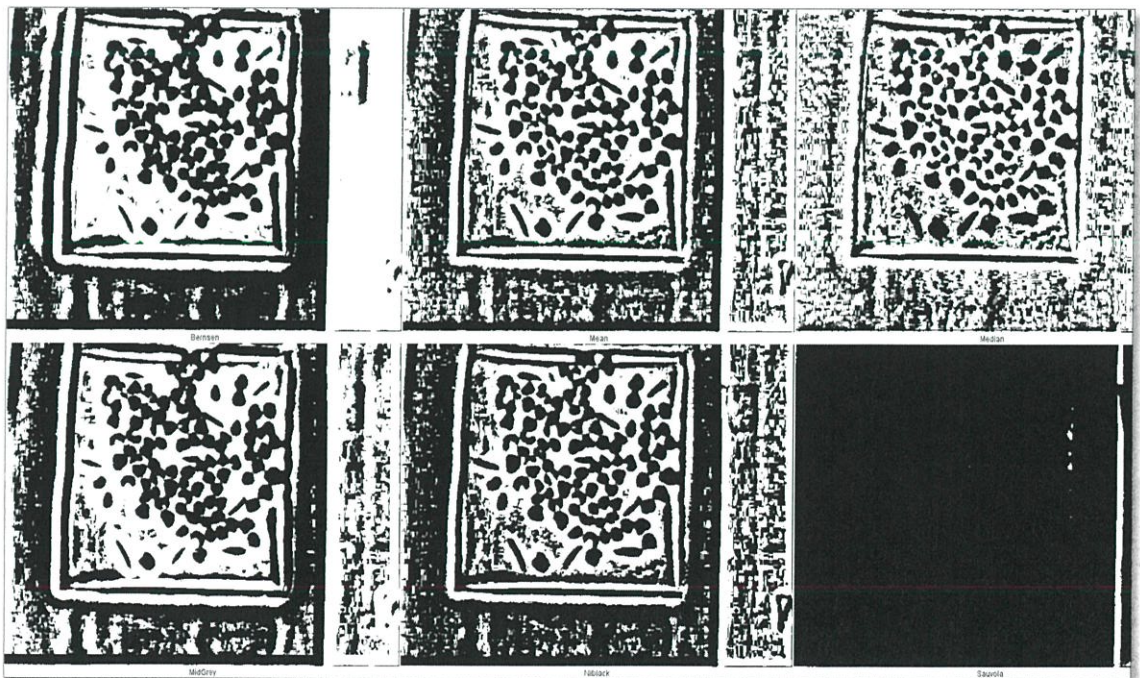
รูปที่ 4.8 แนวโน้มการปรับโกบอลเทรซโฮลด์ของลูกเดียวกับหิน



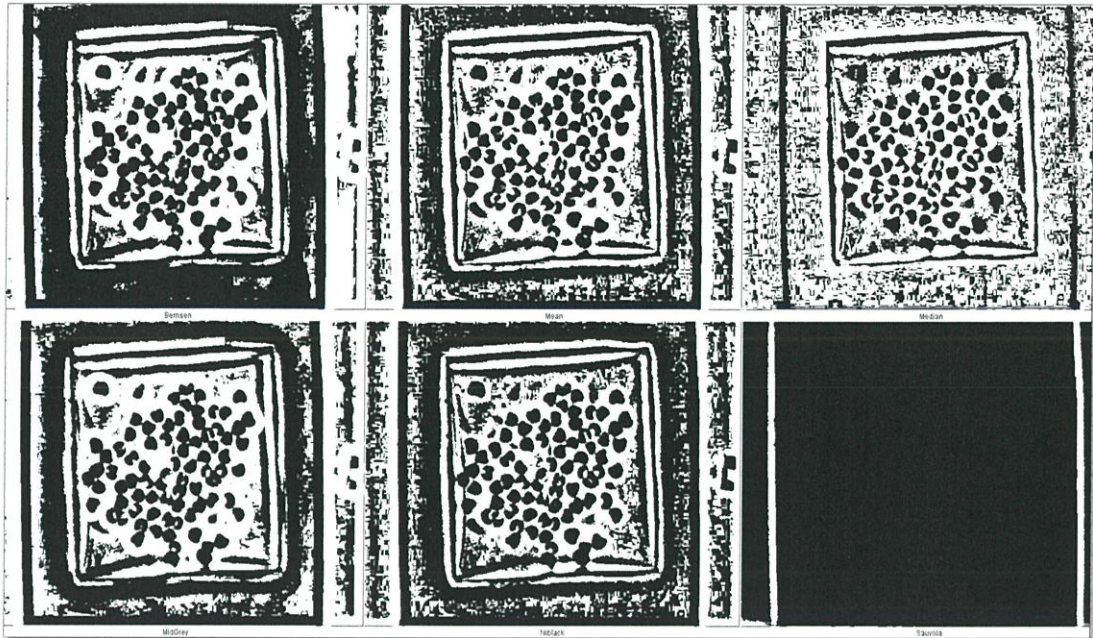
รูปที่ 4.9 แนวโน้มการปรับโกบอลเทรซโฮลด์ของลูกเดียวกับฟิวเจอร์บอร์ด



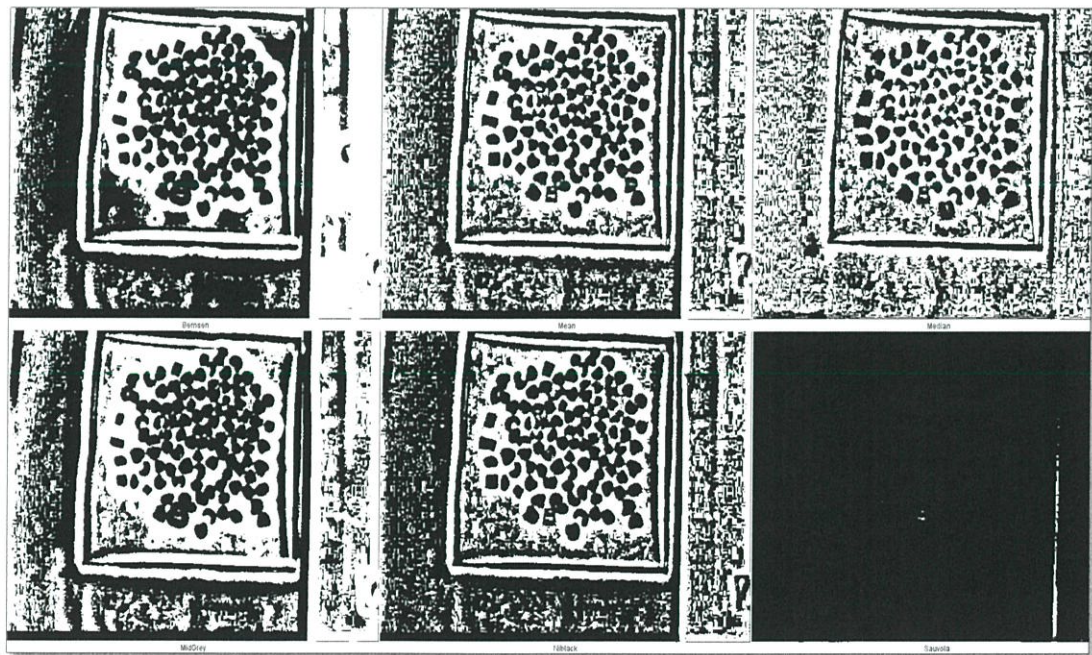
รูปที่ 4.10 แนวโน้มการปรับโกบอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อกับไม้



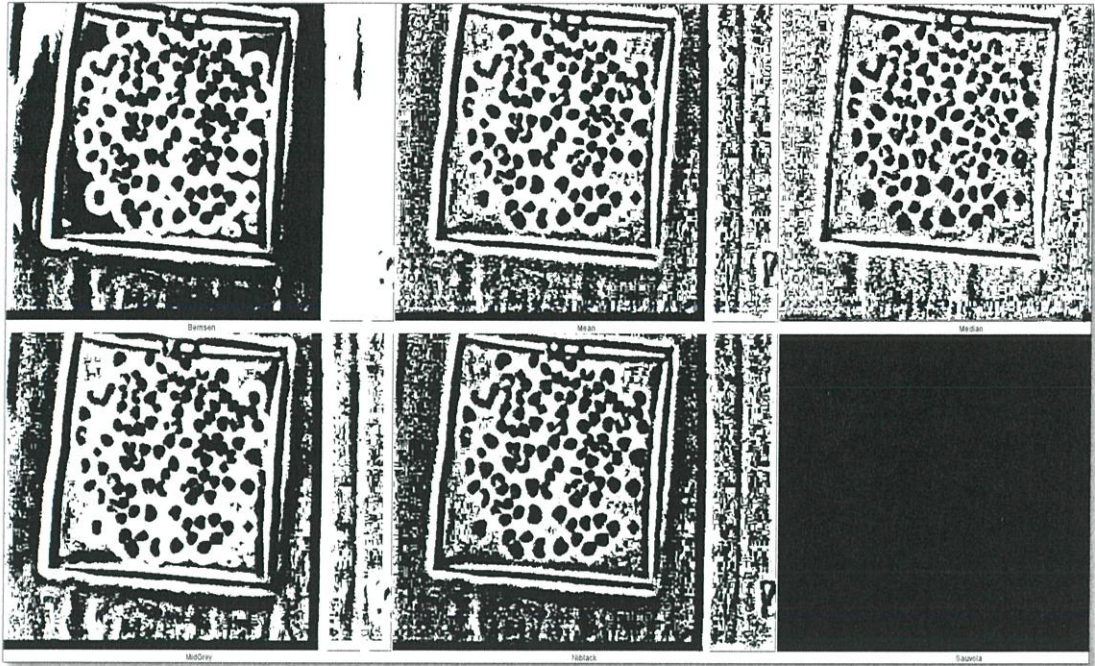
รูปที่ 4.11 แนวโน้มการปรับโลคอลเทรซโฮลด์ของลูกเต๋อกับเชือก



รูปที่ 4.12 แนวโน้มการปรับโลคอลเทรชโฮลด์ของลูกเต๋อกับหิน



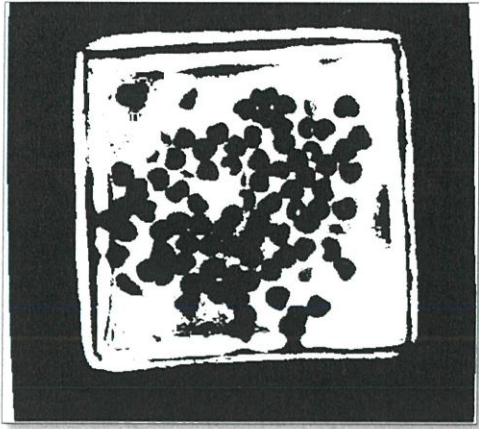
รูปที่ 4.13 แนวโน้มการปรับโลคอลเทรชโฮลด์ของลูกเต๋อกับฟิวเจอร์บอร์ด



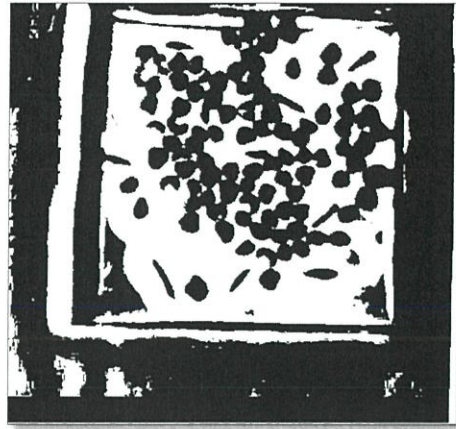
รูปที่ 4.14 แนวโน้มการปรับโลคอลเทรชโพลด์ของลูกเดียวกับไม้

Image enhancement (กระบวนการปรับปรุงภาพ)

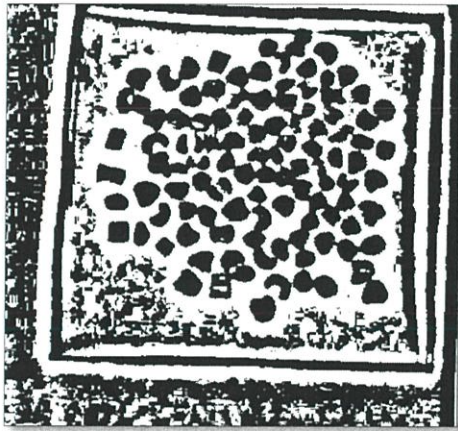
ขั้นตอนที่ 4 นำภาพที่เลือกจากแนวโน้มค่าเทรชโพลด์ ทั้ง 2 แบบแสดงดังรูปที่ 4.15 โดยภาพ (ก) เลือกใช้แบบโกลบอลเทรชโพลด์ที่มีค่าอยู่ในช่วง 175-255 และภาพ (ข)-(ง) เลือกใช้แบบโลคอลเทรชโพลด์ จากนั้นใช้คำสั่งวอเตอร์เชด (Watershed) เพื่อแยกวัตถุที่ติดกันจากรูปที่ 4.15 พบว่า สิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืชอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนจึงทำให้ไม่สามารถจำแนกสิ่งแปลกปลอมออกมาได้ จึงต้องทำการแยกวัตถุที่ติดกันซึ่งแสดงรูปที่ 4.16 พบว่า มีเส้นแบ่งระหว่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้น จากนั้นนำภาพไปใช้ในขั้นตอนต่อไป



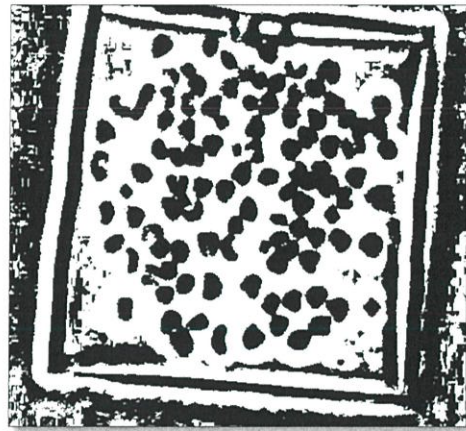
(ก)



(ข)

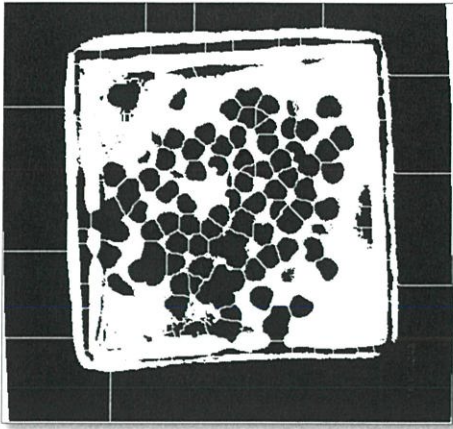


(ค)

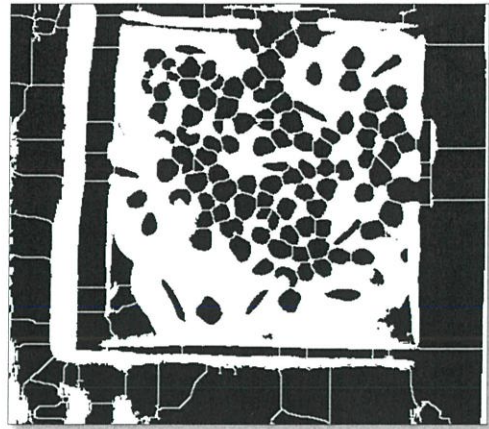


(ง)

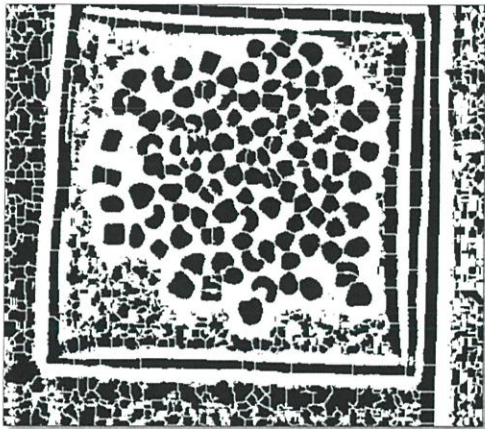
รูปที่ 4.15 การเลือกช่วงอนุภาคและช่วงเทรซโฮลต์ (ก) โกลบอลเทรซโฮลต์ในช่วง 175-255 ของลูกเต๋ยกับหิน (ข) โลคอลเทรซโฮลต์ของลูกเต๋ยกับเชือก (ค) โลคอลเทรซโฮลต์ของลูกเต๋ยกับฟิวเจอร์บอร์ด และ (ง) โลคอลเทรซโฮลต์ของลูกเต๋ยกับไม้



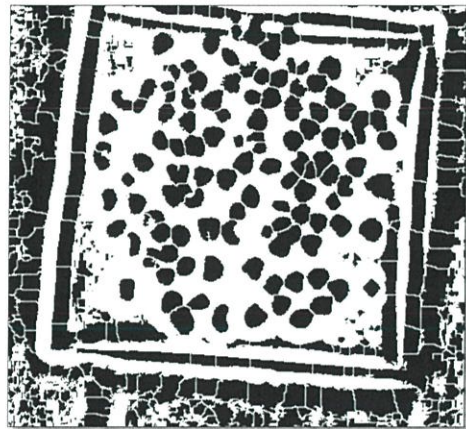
(ก)



(ข)



(ค)

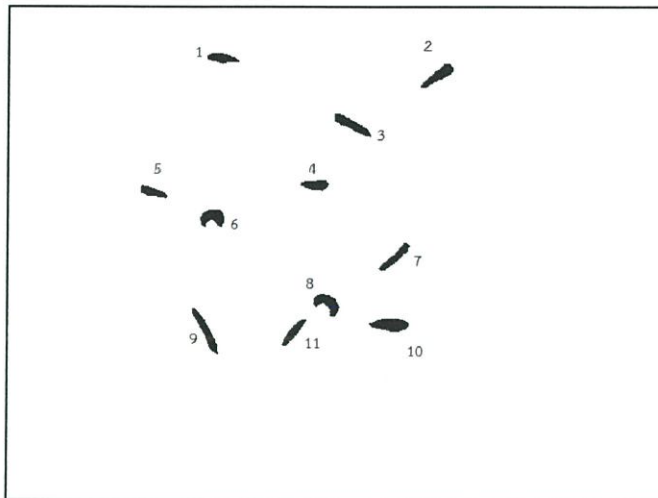


(ง)

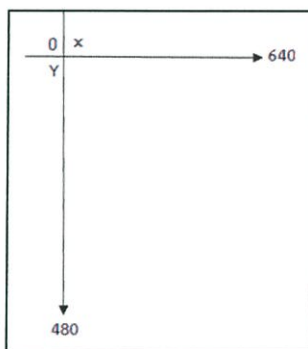
รูปที่ 4.16 ภาพการแยกส่วนภาพโดยใช้คำสั่งวอเทอร์เฉด (ก) ลูกเดียวกับหิน (ข) ลูกเดียวกับเชือก (ค) ลูกเดียวกับฟิวเจอร์บอร์ด และ (ง) ลูกเดียวกับไม้

Classification and interpretation (การจำแนกวัตถุและตีความหมาย)

ขั้นตอนที่ 5 แสดงผลลัพธ์โดยใช้ค่าความกลมและพื้นที่เป็นตัวจำแนก การประมวลผลภาพแสดงดังรูปที่ 4.17-4.20 และค่าเปอร์เซ็นต์ในการตรวจพบสิ่งแปลกปลอมแสดงดังตารางที่ 4.3

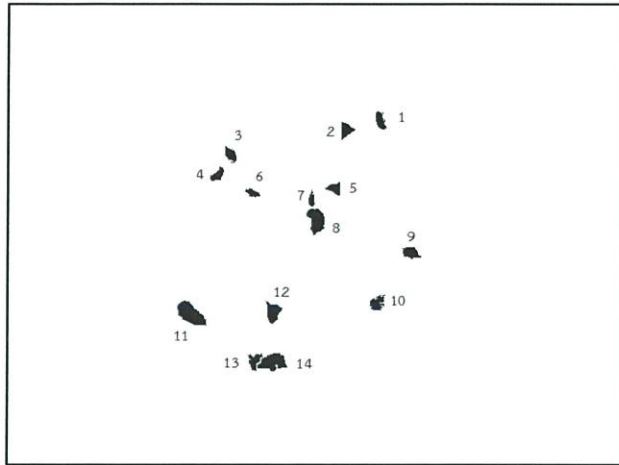


รูปที่ 4.17 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของเชือกที่ปนมากับลูกเต๋อย



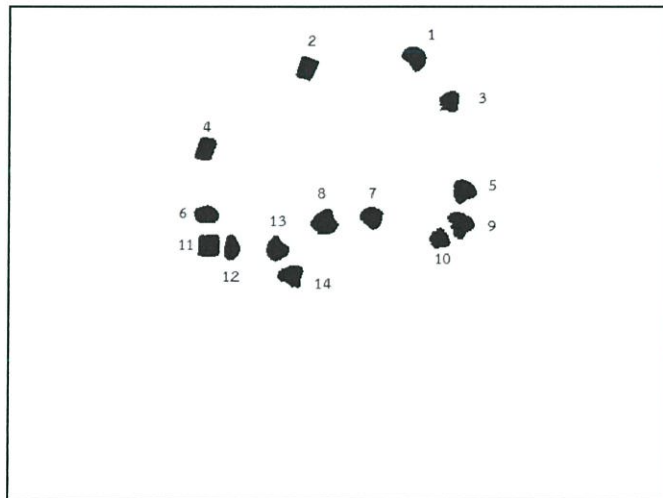
รูปที่ 4.18 ภาพแสดงแนวแกน

จากรูปที่ 4.17 ตรวจสอบเชือกทั้งสิ้น 9 ชิ้นจากจำนวนทั้งหมด 10 ชิ้น หาตำแหน่งของเชือกได้ตั้ง ตารางที่ 4.4



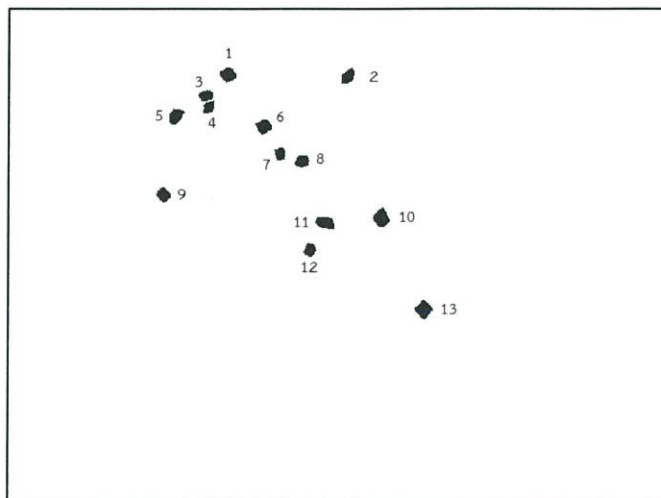
รูปที่ 4.19 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเดียว

จากรูปที่ 4.17 พบว่าตรวจสอบพบหินทั้งสิ้น 9 ชิ้นจากจำนวนทั้งหมด 10 ชิ้น ลูกเดียว 5 เมล็ด และหาตำแหน่งของหินได้ตั้งตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.20 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเดียว

จากรูปที่ 4.18 พบว่าตรวจสอบพบฟิวเจอร์บอร์ดทั้งสิ้น 3 ชิ้น จาก 10 ชิ้น และพบลูกเดียว 11 เมล็ด หาตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดได้ตั้งตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.21 ภาพแสดงการระบุตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเดี๋ย

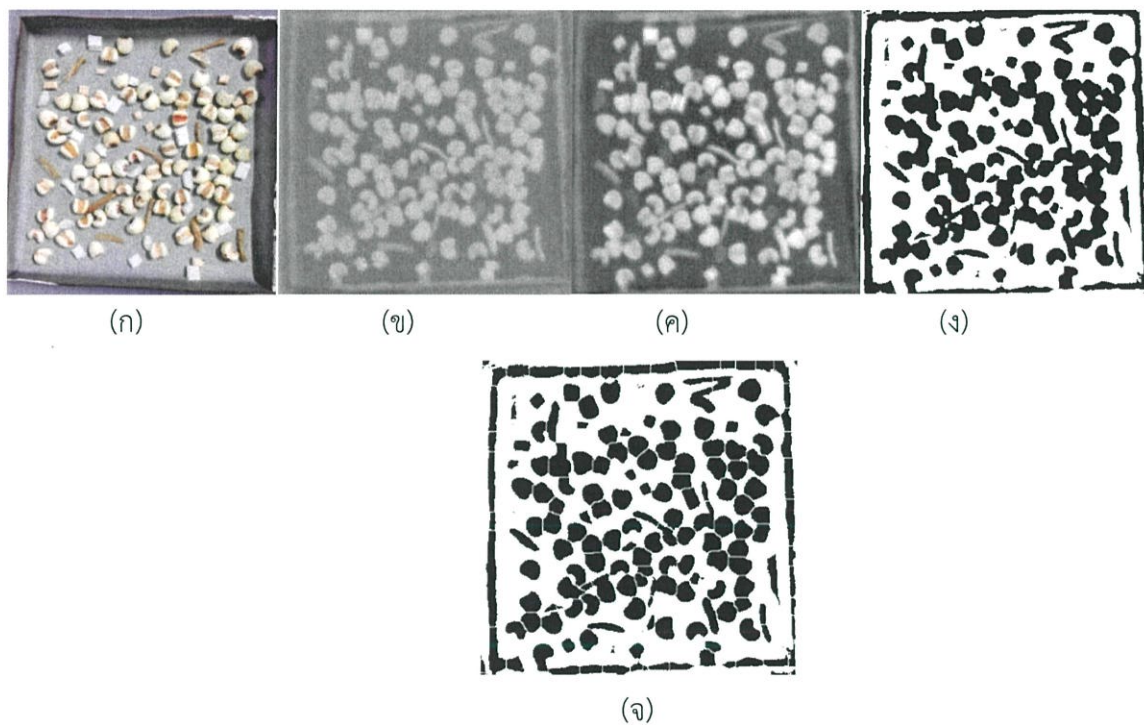
จากรูปที่ 4.19 พบว่าตรวจสอบพบไม้ทั้งสิ้นทั้งหมด 9 ชันจาก 10 ชัน และพบลูกเดี๋ย 4 เมล็ด
หาตำแหน่งของไม้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับลูกเดี๋ยด้วยวิธีการประมวลผล
ภาพถ่ายความร้อน

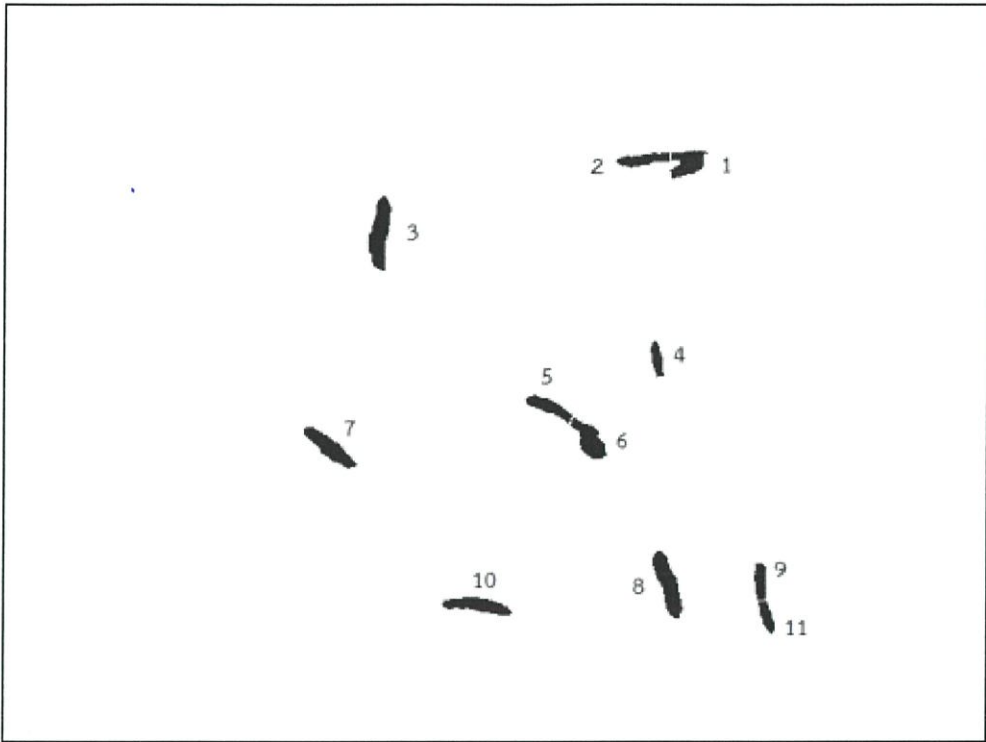
สิ่งแปลกปลอม	จำนวน (ชัน)	ตรวจพบ (ชัน)	เปอร์เซ็นต์
เศษเชือก	10	9	90%
เศษหิน	10	9	90%
ฟิวเจอร์บอร์ด	10	3	30%
เศษไม้	10	9	90%

จากนั้นใช้ขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นมาใช้ในการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมหลายชนิดที่ปนมากับ
ลูกเดี๋ยด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยขั้นตอนที่ 1 (รูปที่ 4.22 (ข)) รับภาพความร้อนของสิ่งแปลก
ปลอมหลายชนิดที่ปนมากับลูกเดี๋ยมาปรับเป็นภาพระดับสีเทาในโปรแกรม Smart view ปรับค่า
สแปนและเลเวลในช่วง 22-34 เพื่อให้สีของธาตุกับสิ่งแปลกปลอมและลูกเดี๋ยมีความแตกต่างกัน
จากนั้นขั้นตอนที่ 2 (รูปที่ 4.22 (ค)) ปรับภาพระดับสีเทาด้วยโปรแกรม Image J เพื่อแปลงภาพ
ระดับสีเทาที่มาจากอุณหภูมิเป็นภาพระดับสีเทาที่มีระดับความสว่าง 0 – 255 จากนั้นขั้นตอนที่ 3
(รูปที่ 4.22 (ง)) ทำการแยกส่วนภาพที่ต้องการออกโดยใช้เทรชโฮลด์ (Threshold) เพื่อแยกธาตุหรือ

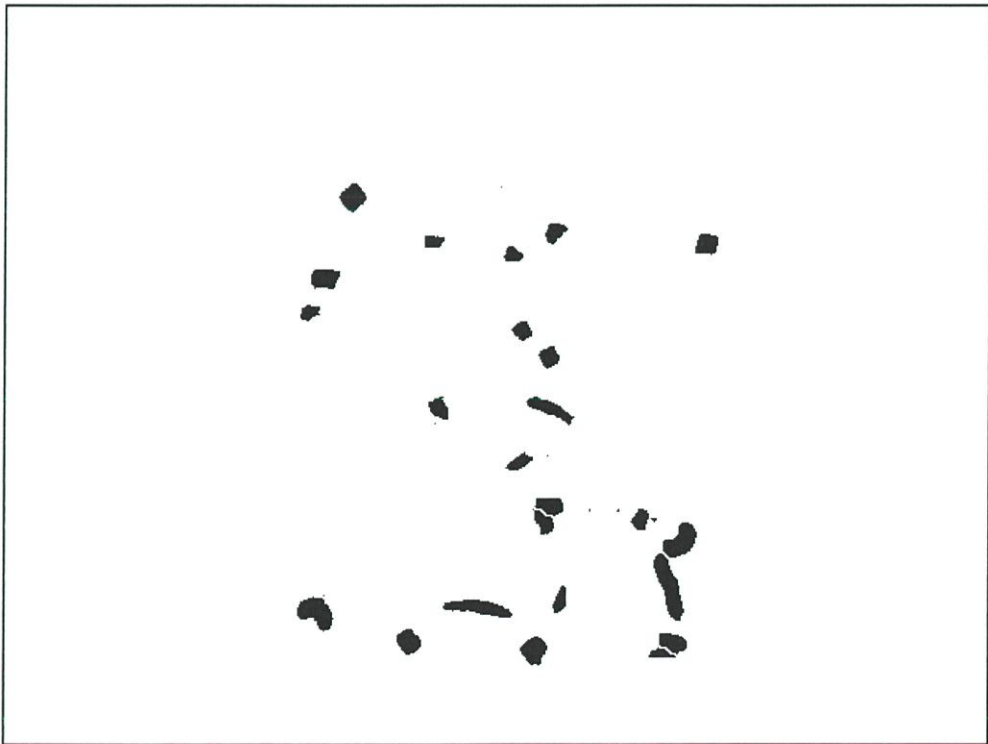
พื้นหลังออกจากลูกเดียวกับสิ่งแปลกปลอมโดยใช้โปรแกรม Image J ซึ่งใช้โลคอลเทรซโฮลด์สำหรับลูกเดียวกับเชือก พลาสติก และไม้ ส่วนโกลบอลเทรซโฮลด์ใช้สำหรับลูกเดียวกับหิน จากนั้นขั้นตอนที่ 4 (รูปที่ 4.22 (จ)) นำภาพที่ได้มาปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น เพื่อลดสิ่งรบกวนที่ปรากฏบนภาพและใช้คำสั่งวอเตอร์เชด (Wathershed) เพื่อแยกวัตถุที่ติดกัน และขั้นตอนที่ 5 แสดงผลลัพธ์ได้โดยใช้ค่าความกลมและพื้นที่เป็นตัวจำแนก ผลการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 4.23 และภาพจริงแสดงดังรูปที่ 4.22 (ก)



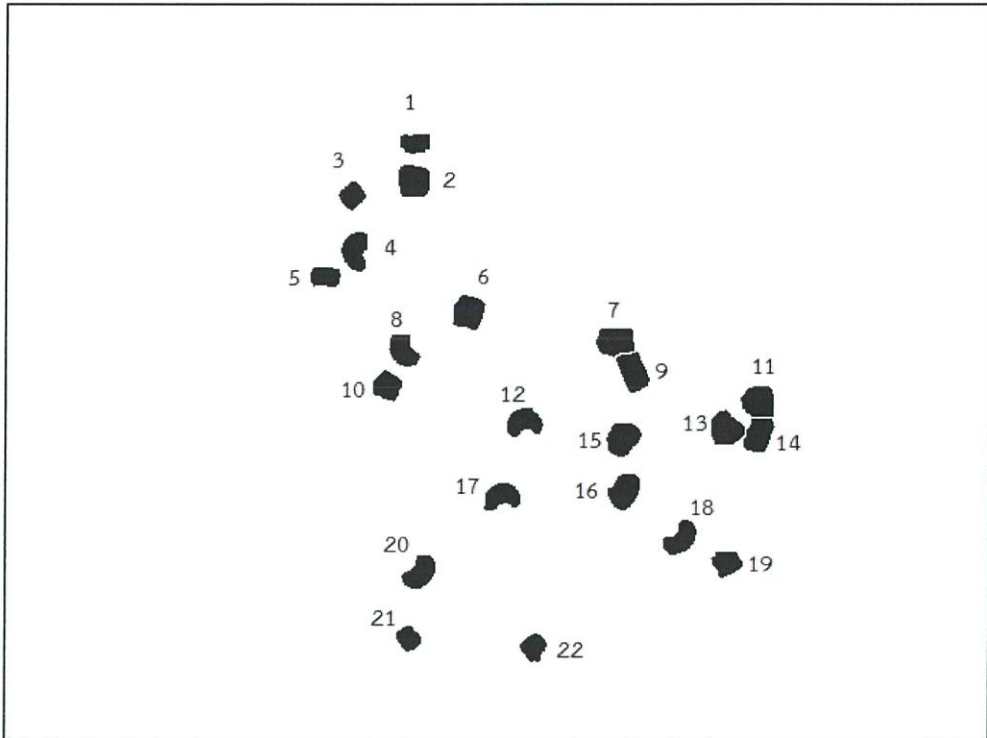
รูปที่ 4.22 ภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลภาพ (ก) ภาพจริง (ข) ขั้นตอนที่ 1 (ค) ขั้นตอนที่ 2 (ง) ขั้นตอนที่ 3 และ (จ) ขั้นตอนที่ 4



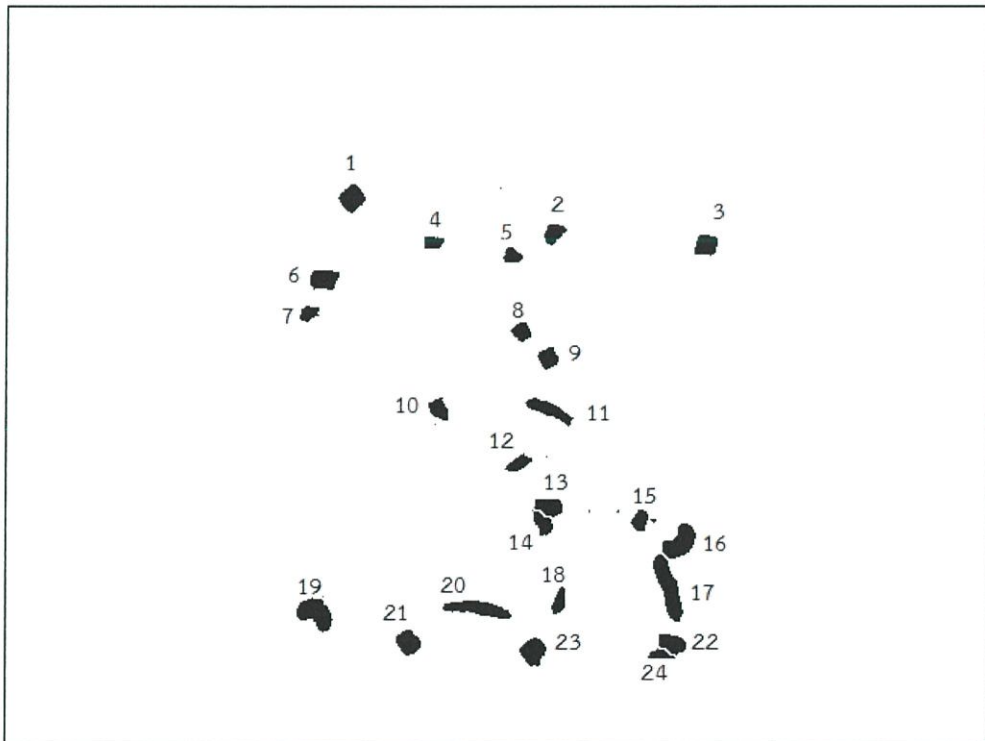
(n)



(p)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.23 ผลการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมทั้งหมดที่ปนมากับลูกเต๋วย

(ก) เชือก (ข) หิน (ค) ฟิวเจอร์บอร์ด และ (ง) ไม้

จากรูปที่ 4.23 พบว่า ตรวจสอบพบไม้ทั้งสิ้น 8 ชั้นจาก 10 ชั้น พบลูกเต๋อย 3 เมล็ด ตรวจสอบพบหิน
 ทั้งสิ้น 6 ชั้นจาก 10 ชั้น พบลูกเต๋อย 18 เมล็ด ตรวจสอบพบฟิวเจอร์บอร์ดทั้งสิ้น 9 ชั้นจาก 10 ชั้น
 พบลูกเต๋อย 14 เมล็ดตรวจสอบพบไม้ทั้งสิ้น 9 ชั้นจาก 10 ชั้น พบลูกเต๋อย 13 เมล็ดหาตำแหน่งได้ดัง
 ตารางที่ 4.8-4.11

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงตำแหน่งของเชือกที่ป็นมากับลูกเต๋อย

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

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเต็อย

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

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงตำแหน่งของฟิวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเต๋อย

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

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเต๋อย

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

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงตำแหน่งของเชือกที่ปนมากับลูกเต๋อย

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

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงตำแหน่งของหินที่ปนมากับลูกเต๋อย

ลำดับ	ตำแหน่ง (x,y)		หมายเหตุ
1	225.0991	124.2604	ลูกเต๋อย
2	415.0211	100.5610	ลูกเต๋อย
3	455.5877	154.8509	ลูกเต๋อย
4	277.8187	152.9835	ลูกเต๋อย
5	329.2368	161.7000	-
6	207.0845	177.0459	ลูกเต๋อย
7	197.2041	199.1429	-
8	335.6017	211.2119	ลูกเต๋อย
9	353.2429	228.3500	ลูกเต๋อย
10	281.9741	261.6852	-
11	353.8896	262.1234	ลูกเต๋อย
12	334.2565	296.8391	-
13	354.3947	325.0789	ลูกเต๋อย
14	350.2794	335.9926	ลูกเต๋อย
15	413.6293	334.1983	-
16	439.6881	348.3683	ลูกเต๋อย
17	432.2149	377.8977	ลูกเต๋อย
18	361.1789	386.7385	-
19	202.5179	394.4493	ลูกเต๋อย
20	308.3006	391.5467	ลูกเต๋อย
21	262.9792	413.4271	ลูกเต๋อย

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงตำแหน่งของพีวเจอร์บอร์ดที่ปนมากับลูกเต๋อย

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

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงตำแหน่งของไม้ที่ปนมากับลูกเต๋อย

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

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายความร้อนในการทดลองได้ทำการตรวจสอบหาสิ่งแปลกปลอมที่ปนมาในเมล็ดลูกเดือย โดยกำหนดสิ่งแปลกปลอม 4 ชนิด คือ หิน ไม้ เชือก และพลาสติก ระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ปนมาที่ได้จากการทดลองคือ 20 วินาที และช่วงเวลาเว้นระยะห่างหลังจากให้ความร้อนคือ 1 วินาที ซึ่งทำให้ได้ภาพถ่ายความร้อนที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อจำแนกสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชโดยใช้โปรแกรม Image J จากผลทดลอง พบว่า สามารถแยกสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชที่มีสีใกล้เคียงกันได้ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ 5 ขั้นตอน ได้แก่ การรับภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน การแปลงภาพระดับสีเทา การแยกส่วนของภาพโดยใช้เทรซโฮลด์ การปรับปรุงคุณภาพด้วยคำสั่งวอเทอร์เอด และการแสดงผลลัพธ์โดยใช้ค่าความกลมและพื้นที่เป็นตัวจำแนก ตามลำดับ ซึ่งวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อหาวิธีการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพในอนาคตได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับกรณีวิธีใช้โลคอลเทอร์สโฮลด์ถ้าสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการตรวจสอบมีภาพระดับสีเทาแตกต่างกันมากขึ้นต้องแบ่งจำนวนใช้โลคอลเทอร์สโฮลด์ให้มากยิ่งขึ้น แต่การทำโลคอลเทอร์สโฮลด์ไม่ได้มีผลดีเสมอไป เพราะภาพจะมีสิ่งรบกวนมากขึ้นเพราะฉะนั้นควรเลือกใช้ค่าเทอร์สโฮลด์ให้เหมาะสมกับภาพระดับสีเทาของสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการแยกและควรแบ่งจำนวนภาพให้ละเอียดที่สุดหากเป็นไปได้ให้มีความละเอียดเท่ากับจำนวนพิกเซลของภาพ จากนั้นนำมาหาความแตกต่างภาพระดับสีเทาในการคายความร้อนวินาทีที่ 1 ถึง 10 โดยข้อจำกัดนี้จะไม่สิ่งรบกวนหรือมีสิ่งรบกวนน้อยมาก เพราะเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาของสิ่งที่ต้องการแยกและวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำหลักการไปประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ในอนาคตได้ และควรใช้หลอดไฟที่มีกำลังวัตต์ที่มากกว่านี้ เนื่องจากจะทำให้ใช้เวลาในการให้ความร้อนน้อยลง

บรรณานุกรม

- ธริษตรี จุลกัทัพพะ และ เรืองชัย พันธุ์บุตร. (2531). เครื่องวัดขนาดเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ประเภทใช้แรงคน. รายงานของนักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.(ม.ป.ท.).
- นวกัทธา หนูนาค และทวีพล ชื่อสัตย์. (2555). การวัดและเครื่องมือวัด (Measurement and Instrumentation). กรุงเทพฯ : มินิ เซอร์วิส ซัพพลาย
- วินิต ชินสุวรรณ และคณะ. (2545). การประเมินความสูญเสียจากการเก็บเกี่ยวเมล็ดพืช. พิมพ์ครั้งที่ 6. น. 242-247.
- ถนอมขวัญชัยงาม สุรศักดิ์นิยมแก้วและณัฐฉินิยมสอน. (2546). การศึกษาผลของมุมและความถี่ที่มีผลต่อเครื่องคัดแยกถั่วเหลืองแบบเขย่า. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์ และ ชัยยันต์ จันทร์ศิริ. (2549). เครื่องวัดขนาดถั่วลิสงเมล็ดโตแบบตะแกรงทรงกระบอกหมุน. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- ณัฐฉินิยมสอนและทวีชัยนิมาแสง. (2551). เครื่องทำความสะอาดเมล็ดถั่วเหลืองโดยใช้ความถี่วงจําเพาะ. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: (ม.ป.ท.).
- Mallory, J. F. (1969). *Thermal Insulation*. New York: Van Nostrand Reinhold
- Touloukian, Y. S. and Ho, C. Y. (1972). *Thermophysical Properties of Matter*. 8(1), *Thermal Radiative Properties of Nonmetallic Solids*. New York; Plenum Press
- 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.
- Ginesu G., Giusto D.D., Margner V., (2004). *Detection of Forien Bodies in Food by Thermal Image Processing*. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. (51), p. 480-490

Boudenne, A., Ibos, L., Fois, M., Majeste, J. and Gehin, C. E. (2005). **Electrical and thermal behavior of polypropylene filled with copper particles.** *Composites: Part A*, (36), p. 1545–1554.

Bayram, M. and Oner, M. D. (2006). **Determination of applicability and effects of colour sorting system in bulgur production line.** *Journal of Food Engineering*, (74), p. 232-239.

Legrand, A. (2007). **Physical, mechanical, thermal and electrical properties of cooked red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) for continuous ohmic heating process.** *Journal of Food Engineering*, (81), p. 447–458.

Ledbetter C. A. (2007). **Shell cracking strength in almond (*Prunusdulcis* [Mill.] D.A. Webb.) and its implication in uses as a value-added product.** *Bioresource Technology*, (99), p. 5567–5573.

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.

Senni L., (2014), **Online automatic detection of foreignbodies in biscuits by infrared Thermography and image processing.** *Journal of Food Engineering*, (128). P. 146-156

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักและพื้นที่ของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

ชั้นที่	น้ำหนักวัสดุทดลอง (กรัม)								พื้นที่วัสดุทดลอง (ตารางเซนติเมตร)							
	ถั่วแดง	ถั่วดำ	ถั่วเขียว	ลูกเดือย	เศษไม้	เศษเชือก	เศษหิน	ฟิวเจอร์บอร์ด	ถั่วแดง	ถั่วดำ	ถั่วเขียว	ลูกเดือย	เศษไม้	เศษเชือก	เศษหิน	ฟิวเจอร์บอร์ด
1	0.480	0.230	0.070	0.130	0.015	0.004	0.036	0.012	0.912	0.629	0.318	0.407	0.042	0.044	0.098	0.112
2	0.580	0.150	0.080	0.140	0.009	0.003	0.075	0.013	1.155	0.724	0.175	0.358	0.085	0.054	0.057	0.149
3	0.460	0.270	0.040	0.130	0.011	0.005	0.033	0.012	1.258	0.912	0.105	0.759	0.058	0.020	0.050	0.152
4	0.490	0.240	0.060	0.100	0.006	0.008	0.036	0.012	1.314	1.077	0.239	0.411	0.077	0.052	0.180	0.162
5	0.560	0.310	0.100	0.130	0.015	0.006	0.052	0.013	1.530	0.935	0.221	0.501	0.050	0.084	0.232	0.134
6	0.650	0.200	0.070	0.130	0.015	0.005	0.051	0.011	1.173	0.556	0.356	0.495	0.083	0.022	0.063	0.340
7	0.650	0.300	0.080	0.060	0.016	0.005	0.047	0.012	1.424	0.853	0.334	0.232	0.074	0.036	0.228	0.251
8	0.610	0.250	0.070	0.070	0.015	0.002	0.051	0.009	1.125	0.874	0.197	0.653	0.047	0.033	0.152	0.073
9	0.650	0.260	0.100	0.130	0.012	0.003	0.042	0.010	0.792	0.772	0.195	0.337	0.032	0.073	0.096	0.299
10	0.490	0.270	0.080	0.090	0.014	0.005	0.038	0.005	1.152	1.607	0.304	0.255	0.077	0.020	0.080	0.169

ตารางที่ ก.2 ความชื้นเมล็ดพืช และความจุความร้อนจำเพาะของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

ครั้งที่	ความชื้น (%db)				ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·k)							
	ถั่วแดง	ถั่วดำ	ถั่วเขียว	ลูกเดือย	ถั่วแดง	ถั่วดำ	ถั่วเขียว	ลูกเดือย	เศษไม้	เศษเชือก	เศษหิน	ฟิวเจอร์บอร์ด
1	14.009	12.491	8.511	8.735	3.296	3.215	3.141	2.627	2.865	1.862	1.017	1.792
2	14.123	12.441	8.554	8.495	3.392	3.023	2.542	1.22	2.871	0.93	0.985	1.938
3	13.986	12.463	8.569	8.487	3.316	3.206	3.104	2.642	2.827	1.845	0.975	2

ตารางที่ ก.3 สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

ครั้งที่	ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (E) ที่ปรับได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน								
	ถั่วแดง	ถั่วดำ	ถั่วเขียว	ลูกเดือย	เศษไม้	เชือก	หิน	ฟิวเจอร์บอร์ด	
1	0.7	0.75	0.8	0.95	0.77	0.93	0.94	0.73	
2	0.73	0.73	0.86	0.94	0.73	0.94	0.94	0.8	
3	0.75	0.77	0.85	0.93	0.71	0.92	0.95	0.78	

ตารางที่ ก.4 ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ของ average gray level กับ เวลาคายความร้อนในวินาทีต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อน 10 วินาที

เวลาคายความร้อน	เวลาให้ความร้อน 10 วินาที				
	Absolute difference of average gray level				
	ลูกเต๋อย	เชือก	ฟิวเจอร์บอร์ด	ไม้	หิน
1.00	180.903	181.355	198.959	186.805	171.191
2.00	181.065	180.220	196.973	184.563	171.447
3.00	182.079	179.298	195.965	183.502	171.663
4.00	181.595	178.984	192.543	182.602	171.514
5.00	180.111	177.986	191.005	180.861	172.357
6.00	180.427	177.381	188.780	179.705	171.865
7.00	179.672	175.199	187.323	177.537	171.495
8.00	179.091	175.163	185.459	177.372	171.115
9.00	178.147	174.238	183.263	175.987	169.830
10.00	177.988	173.275	182.426	175.207	170.609

ตารางที่ ก.5 ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ของ average gray level กับ เวลาคายความร้อนในวินาทีต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อน 20 วินาที

เวลาคายความร้อน	เวลาให้ความร้อน 20 วินาที				
	Absolute difference of average gray level				
	ลูกเต๋อย	เชือก	ฟิวเจอร์บอร์ด	ไม้	หิน
1.00	157.722	163.668	185.192	164.736	142.967
2.00	157.374	158.770	182.350	164.911	143.620
3.00	154.710	152.252	178.074	160.449	143.366
4.00	154.203	150.645	174.129	159.683	143.391
5.00	152.629	149.488	171.499	157.296	143.162
6.00	152.857	146.271	168.027	155.026	141.344
7.00	151.194	145.051	164.726	153.337	141.225
8.00	149.892	143.621	162.336	151.773	141.693
9.00	150.082	143.219	159.198	149.814	141.441
10.00	150.338	142.647	156.701	148.664	141.658

ตารางที่ ก.6 ค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ของ average gray level กับ เวลาคายความร้อนในวินาทีต่าง ๆ เมื่อให้ความร้อน 30 วินาที

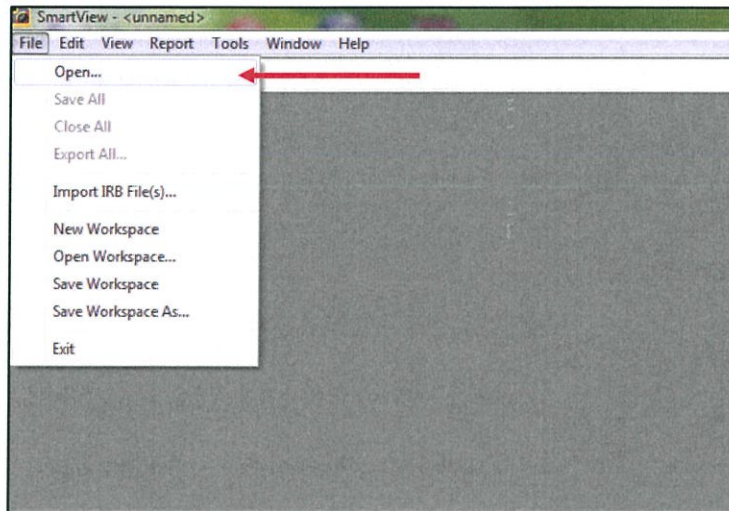
เวลาคายความร้อน	เวลาให้ความร้อน 30 วินาที				
	Absolute difference of average gray level				
	ลูกเต๋อย	เชือก	ฟิวเจอร์บอร์ด	ไม้	หิน
1.00	134.126	156.609	110.193	150.913	107.265
2.00	130.720	153.672	115.285	151.948	107.185
3.00	125.204	145.226	112.607	147.978	106.902
4.00	122.844	129.904	132.278	140.929	106.088
5.00	119.118	123.472	134.432	133.081	105.297
6.00	115.771	118.314	133.622	124.536	105.417
7.00	115.582	106.249	131.150	116.931	104.444
8.00	112.322	98.758	129.385	114.877	103.224
9.00	110.457	95.340	122.854	104.231	102.487
10.00	110.016	92.084	116.381	95.979	101.798

ภาคผนวก ข

การใช้โปรแกรมในการประมวลผลภาพ

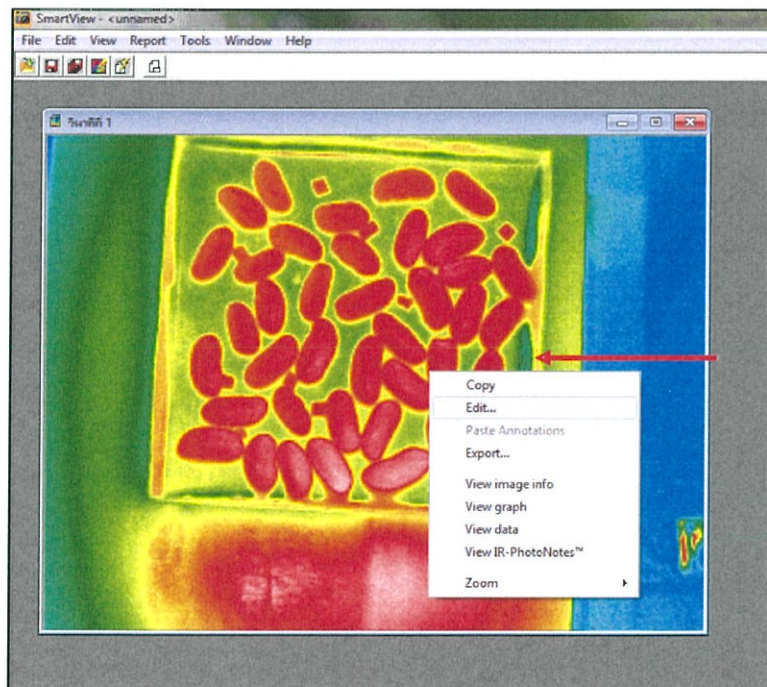
1.การใช้โปรแกรม Smart view

1.1 คลิกที่ File >>> Open เพื่อเปิดรูปภาพ



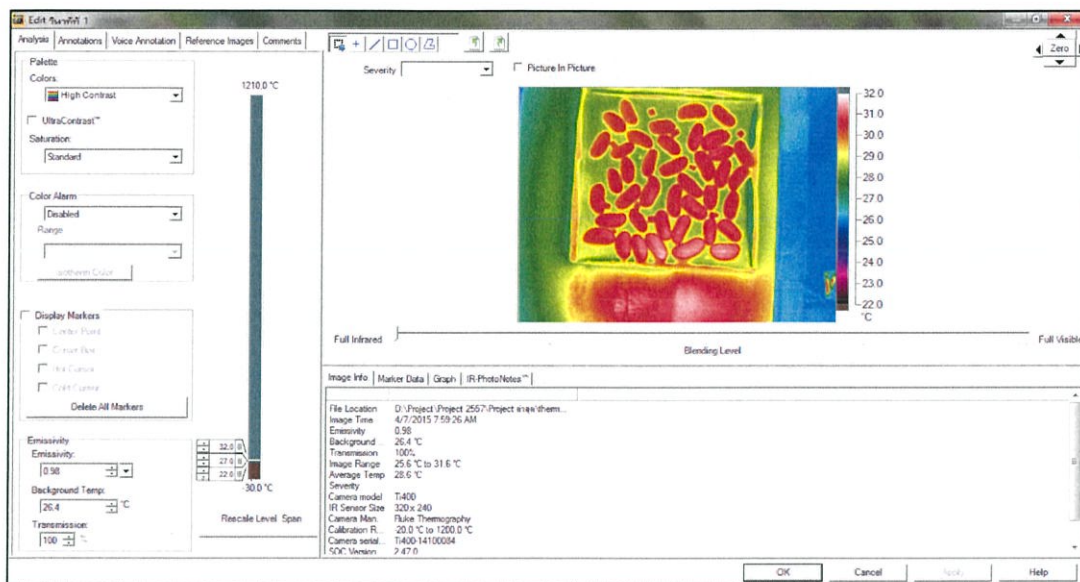
รูปที่ 1 การใช้งานโปรแกรม Smart View (1)

1.2 จากนั้นคลิกขวาที่รูปภาพเลือก Edit เพื่อทำการปรับค่า



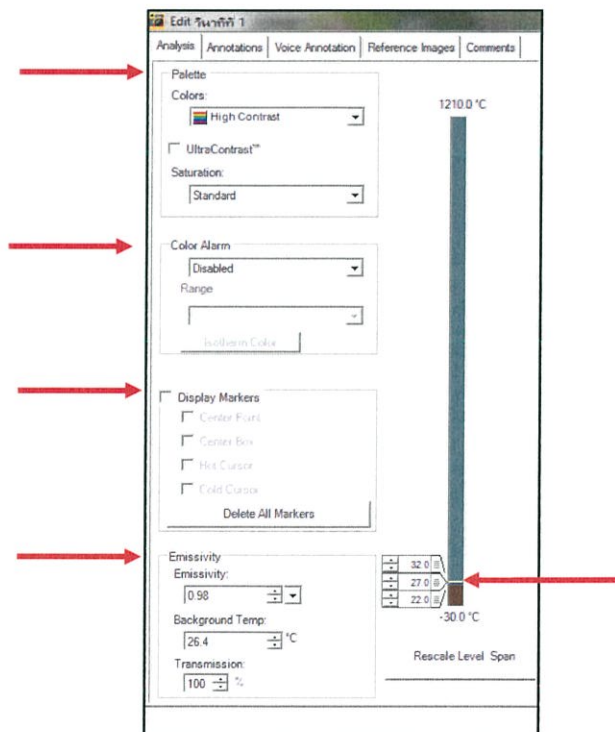
รูปที่ 2 การใช้งานโปรแกรม Smart View (2)

1.3 จะได้นหน้าต่างดังรูป



รูปที่ 3 การใช้งานโปรแกรม Smart View (3)

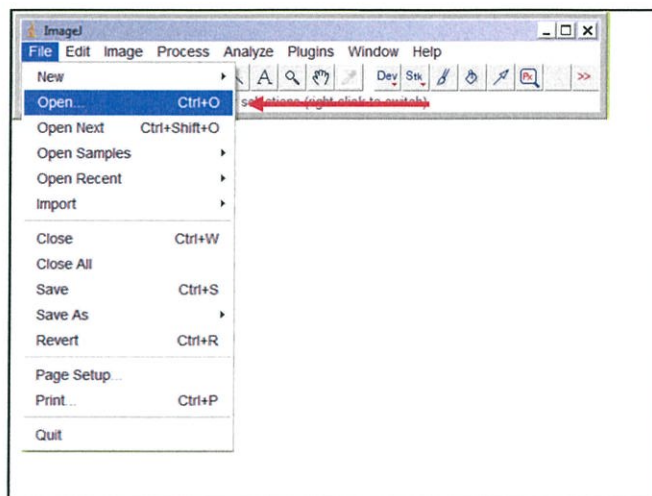
1.4 หน้าต่างแสดงการปรับค่า Palette, Color Alarm, Display Markers, Emissitivity, Spand&level



รูปที่ 4 การใช้งานโปรแกรม Smart View (4)

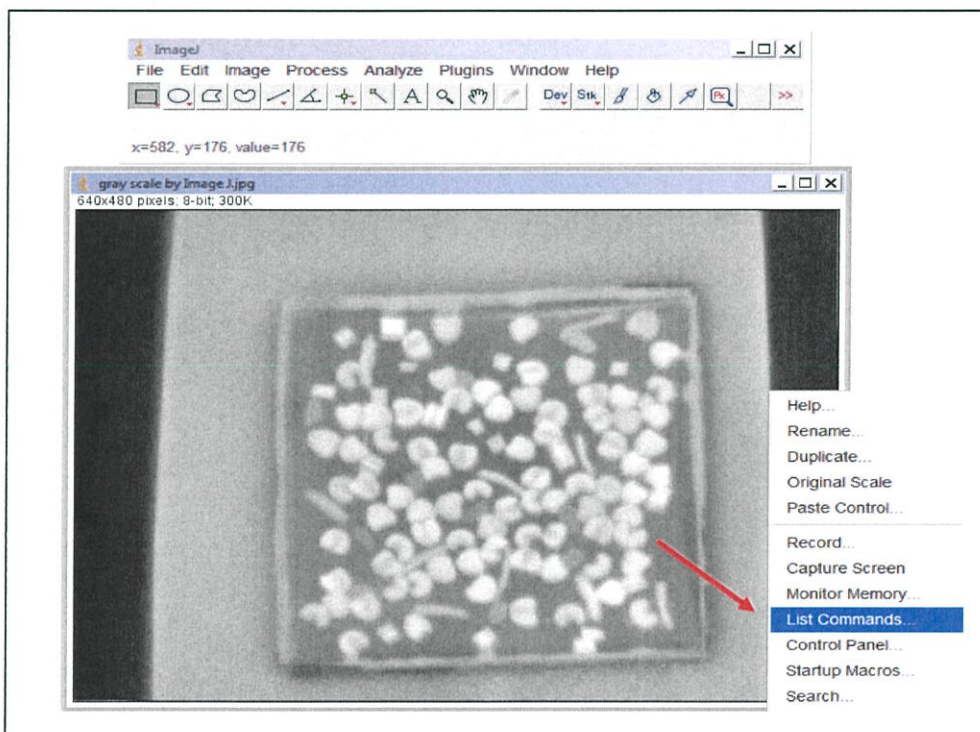
2.การใช้โปรแกรมประมวลผลภาพ ImageJ

2.1ทำการเปิดรูปคลิกที่ File >>> Open



รูปที่ 5 การใช้งานโปรแกรม Image J (1)

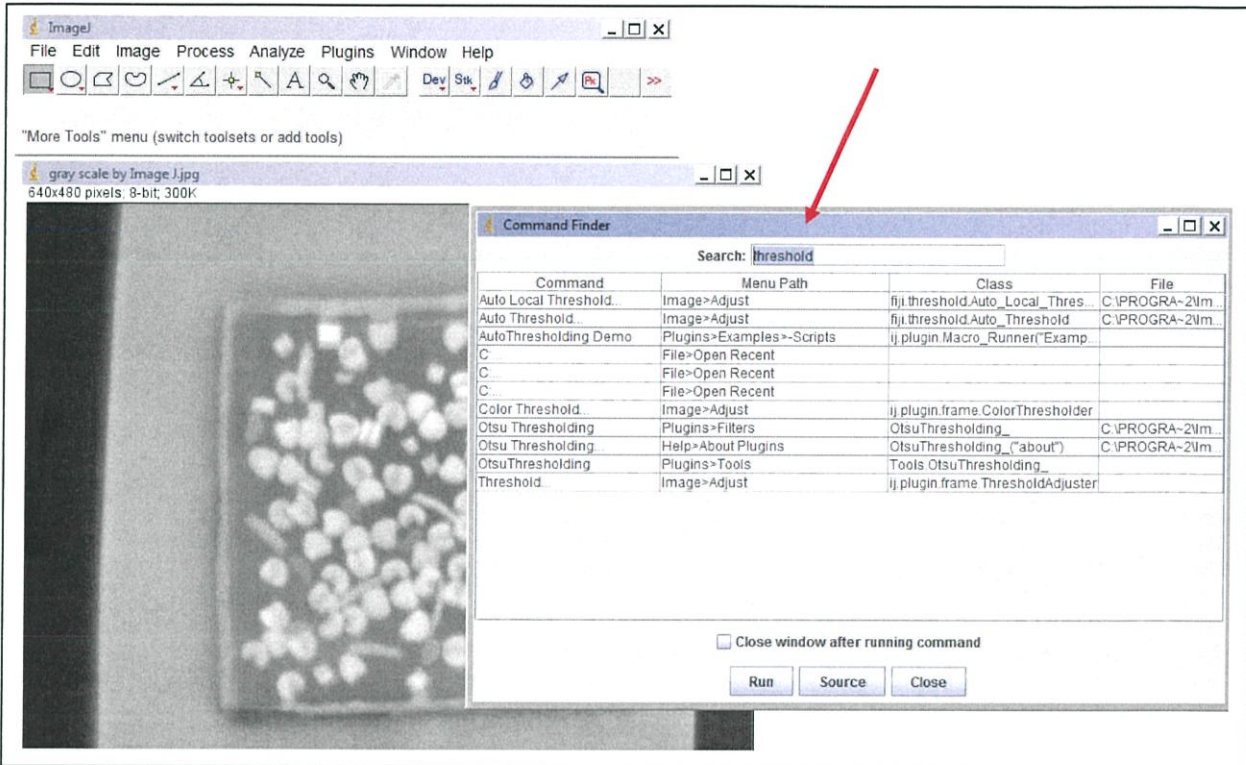
2.2คลิกขวาที่รูปภาพ จากนั้นเลือก List Commands



รูปที่ 6 การใช้งานโปรแกรม Image J (2)

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

ต้องการใช้คำสั่ง Threshold จากนั้นกด Run



รูปที่ 7 การใช้งานโปรแกรม Image J (3)