บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2 1.เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม

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

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

2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอม

การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปนมากับเมล็ดพืชเป็นขั้นตอนสำคัญต่อการแบ่งเกรดคุณภาพของผลิตผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแบ่งเกรดผลิตผลทางการเกษตรเพื่อการส่งออก วิธีการตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชมีหลายวิธี ได้แก่ การใช้แรงงานคน การใช้วิธีทางกล การใช้วิธีการประมวลผลภาพ เป็นต้น

2.2.1 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน

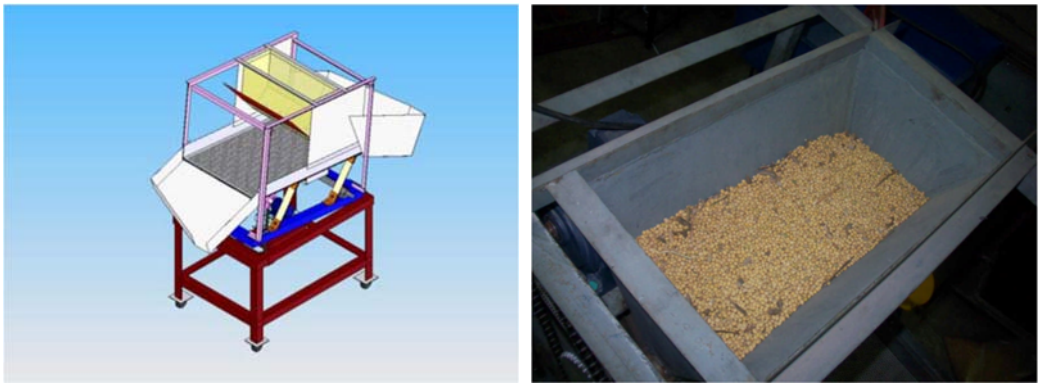
การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการใช้แรงงานคนแสดงดังภาพที่ 1 เป็นวิธีการตรวจสอบแบบดั้งเดิมและเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการคัดแยก โดยส่วนใหญ่เป็นการตรวจสอบและคัดแยกในขั้นตอนเดียว เหมาะสำหรับเมล็ดพืชที่มีขนาดใหญ่ เช่น การแยกเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์และเมล็ดอัลมอลล์ (ธริษตรี และเรืองชัย, 2531; Ledbetter, 2007) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมลดลง ได้แก่ เพศ อายุ ระยะเวลาในการทำงาน สภาพแวดล้อมในการทำงาน และความเหนื่อยล้าของคนที่คัดแยกจากการทำงาน (Ginesu et al., 2003)

ภาพที่ 2.1 การคัดแยกสิ่งแปลกปลอมโดยใช้แรงงานคน
ที่มา: ธริษตรี และเรืองชัย, 2531

2.2.2 การตรวจสอบและคัดแยกสิ่งแปลกปลอมด้วยการใช้วิธีทางกล

การตรวจสอบและคัดแยกด้วยวิธีทางกลมีหลายวิธี ได้แก่

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



(ก) (ข)

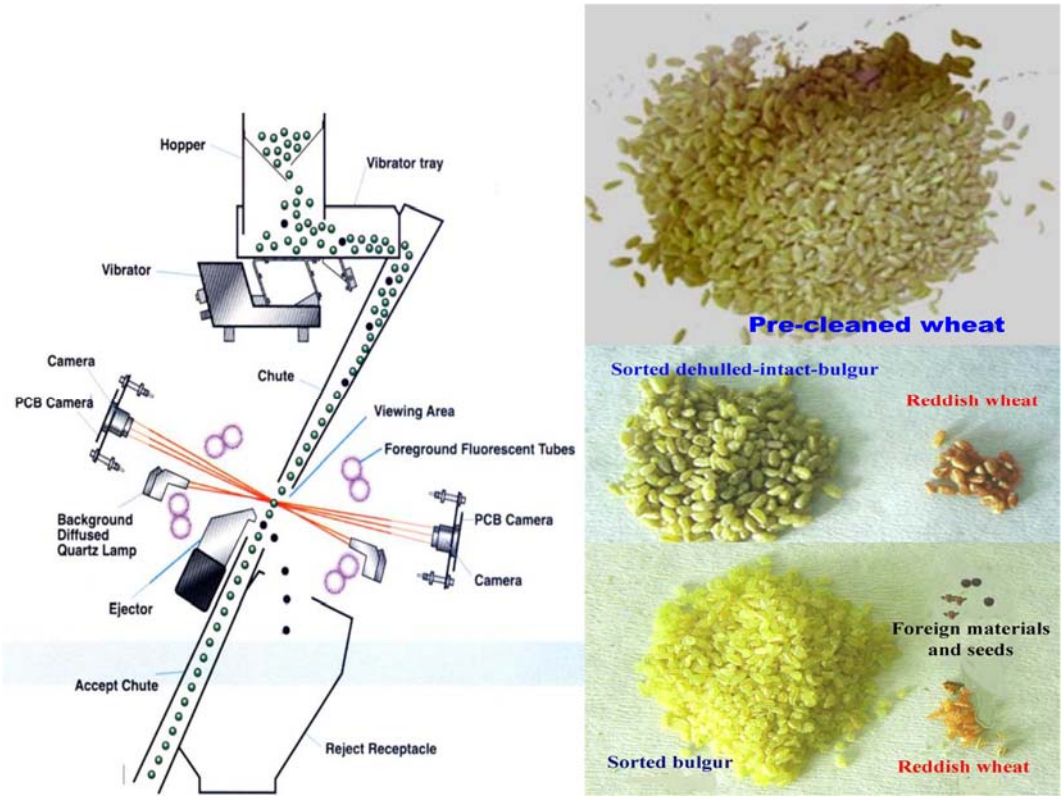
ภาพที่ 2.2 (ก) เครื่องคัดแยกถั่วเหลือง (ข) ถั่วเหลืองและสิ่งแปลกปลอมในถังเก็บเมล็ด
ที่มา: ถนอมขวัญ และคณะ, 2546

- การใช้สมบัติทางด้านแม่เหล็ก เป็นการตรวจสอบโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางไฟฟ้าของวัตถุ นิยมใช้ตรวจสอบเศษโลหะที่อาจปนมากับอาหาร ซึ่งข้อจำกัดของเครื่องตรวจจับ

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

2.2.3 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยจักรกลวิทัศน์

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



ภาพที่ 2.3

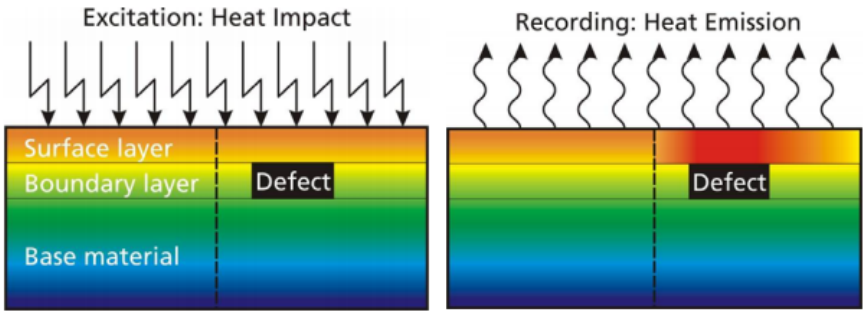
ที่มา: Bayram and Oner, 2006

2.2.4 การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน

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

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

คาบเวลาแบบสัญญาณไซน์ ผ่านไปยังอุปกรณ์กระตุ้นความร้อน เช่น หลอดไฟ หรือ อัลตราโซนิค เพื่อให้ความร้อนจากนั้นวัดผลตอบสนองในรูปแบบของเฟส (Phase) และ แมกนิจูด (Magnitude) จากภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน ในภาพของเฟสสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของเวลาในการกระจายความร้อน และความผิดปกติบนพื้นผิวได้ วิธี Pulse thermography วิธีนี้เป็นวิธีการให้ความร้อนจากแหล่งกระตุ้นเพียงแค่ระยะเวลาสั้น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัสดุ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Cp) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity)



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

การตรวจสอบสิ่งผิดปกติในอาหารด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อนทำได้โดย อาศัยการตรวจจับรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากวัตถุที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกัน เช่น ความแตกต่างของการแผ่รังสีอินฟราเรดของอาหารและสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่ในเมล็ดพืช เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีองค์ประกอบภายในที่ต่างกัน จึงส่งผลให้มีค่า Emissivity (ε) ที่ต่างกัน ทำให้ความสามารถในการดูดซับความร้อนของวัสดุและการแผ่รังสีความร้อนออกมาจากวัสดุต่างกัน โดยการตรวจสอบด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ให้ความร้อนหรือความเย็น (Heat Source) แก่เมล็ดพืช เช่น Flash Light เป็นต้น เพื่อทำให้ความแตกต่างของรังสีที่แผ่ออกมาจากสิ่งผิดปกติกับเมล็ดพืชแตกต่างกันชัดเจนมากยิ่งขึ้น จากนั้นนำภาพถ่ายทางความร้อนมาตรวจวัดรังสีที่ออกมาจากเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอม ซึ่งปริมาณรังสีที่วัตถุแผ่ออกมาจะสอดคล้องกับเฉดสีที่แสดงในภาพถ่ายความร้อน และแสดงความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของเมล็ดพืช โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะแสดงสีที่เข้มกว่าวัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จากหลักการดังกล่าวจึงทำให้ สามารถแยกสิ่งผิดปกติที่เจือปนไปกับเมล็ดพืชได้ ข้อดีของการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนในการตรวจสอบสิ่งผิดปกติในเมล็ดพืช ได้แก่ สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนในเมล็ดพืชโดยไม่ต้องสัมผัส เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่อาจเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบ จัดเป็นการตรวจสอบแบบไม่สัมผัสจึงไม่ทำให้อาหารเกิดการสูญเสีย

ภาพถ่ายทางความร้อนเป็นภาพที่ได้จากการแผ่รังสีของวัตถุ ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด (Infrared region) การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมด้วยการประมวลผลภาพถ่ายความร้อนปัจจุบันเป็นวิธีที่ดำเนินงานอยู่ในระดับงานวิจัย โดยเป็นการวัดเชิงคุณภาพที่พิจารณาความแตกต่างของภาพ ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของสมบัติทางความร้อนของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ต้องการตรวจสอบ

$$E(T) = \varepsilon\sigma T^4 \qquad (1)$$

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช

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

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

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

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะของสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดพืช

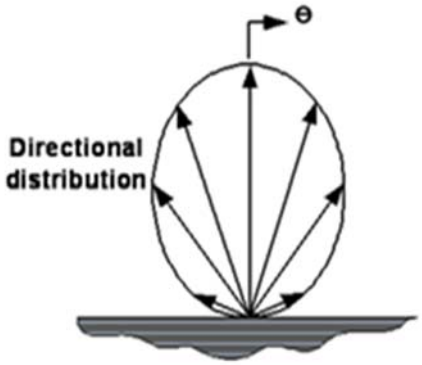
ชนิด	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·K)	ที่มา
ไม้	1.260-2.900	Tan, 2010
หิน	0.460-0.900	Lalit et al., 2010
ลูกเหล็ก	0.477-1.449	ASM International, 2002
ฟิวเจอร์บอร์ด	0.881-2.584	Boudenne et al., 2005
ถั่วลิสง	1.926-2.912	ASHRAE, 1989
		Alam and Shove, 1973
ถั่วเหลือง	1.583-2.353	Ramstad and Geddes, 1942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

2.3 ภาพถ่ายความร้อน

2.3.1 การแผ่รังสีความร้อน

วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าศูนย์องศาสัมบูรณ์ (Absolute Zero หรือ - 273.15°C หรือ 0 K) จะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมา สำหรับกลไกของการแผ่รังสีความร้อนเกิดจากการสั่น (Oscillations) และการเคลื่อนที่ (Transition) ของอิเล็กตรอนซึ่งประกอบกันเป็นสสาร วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงอิเล็กตรอนจะสั่นหรือเคลื่อนที่มาก ส่งผลให้พลังงานภายในวัตถุมีค่าสูง กล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับอุณหภูมิ และรังสีความร้อนที่แผ่ออกจากวัตถุอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 0.1 ไมโครเมตร ถึง 100 ไมโครเมตร (ประวิทย์, 2553) โดยความเข้มของการแผ่รังสี

ความร้อนออกจากวัตถุใด ๆ มีค่าสูงสุดที่มุม **θ** เท่ากับ 0 องศา แสดงดังภาพที่ 2.5 (นวภัทรา และทวีพล, 2555)



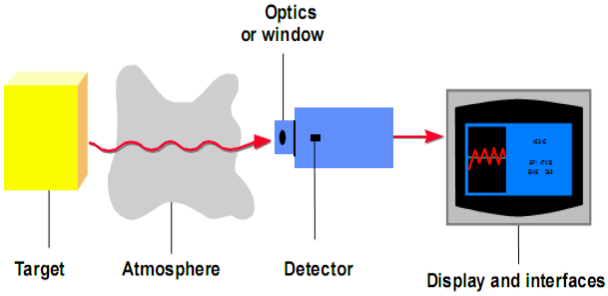
ภาพที่ 2.5 การแผ่รังสีจากพื้นผิวแปรผันตามทิศทาง
ที่มา: นวภัทรา และทวีพล, 2555

รังสีความร้อนทั้งหมดที่แผ่ออกจากพื้นผิววัตถุจริง (Radiosity, J) ประกอบด้วยรังสีที่เกิดจากวัตถุเอง (Emission, E) และรังสีจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบหรือจากวัตถุอื่นมากระทบและสะท้อนออกจากวัตถุ ($G_{\lambda,ref}$) แสดงในภาพที่ 2.9 ดังนั้น Radiosity ที่ออกมาจากวัตถุดังสมการที่ 3

$$J = E + G_{\lambda,ref} \qquad (3)$$

2.3.2 กล้องถ่ายภาพความร้อน

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



ภาพที่ 2.6 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ
ที่มา: Gruner, 2003

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

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

2.4 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การตรวจสอบเมล็ดพืชด้วยจักรกลวิทัศน์

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

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

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

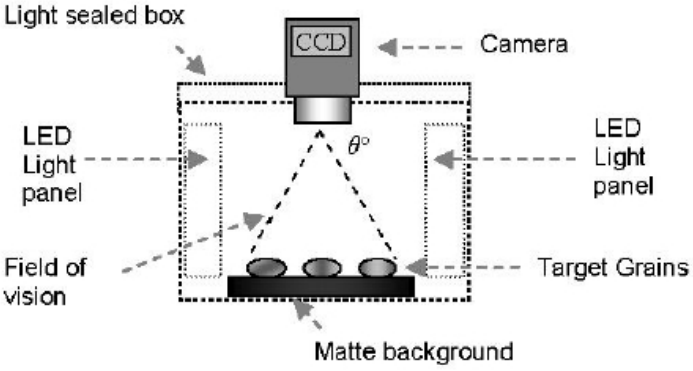
Omid et al. (2009) พัฒนาระบบอัจฉริยะสำหรับคัดแยกพันธุ์ของถั่วพิสตาชิโอเชีย โดยรวมการวิเคราะห์คลื่นเสียง องค์ประกอบหลัก และโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อคัดแยกถั่ว พิสตาชิโอเชียพันธุ์พื้นเมือง 4 พันธุ์ จำนวน 3,200 เมล็ด ทดลองหาคลื่นเสียงโดยให้ถั่วเลื่อนลงรางที่เอียง 60 องศา เมล็ดถั่วจะตกกระทบแผ่นเหล็ก ส่งสัญญาณเสียงและบันทึกไว้สำหรับวิเคราะห์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

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

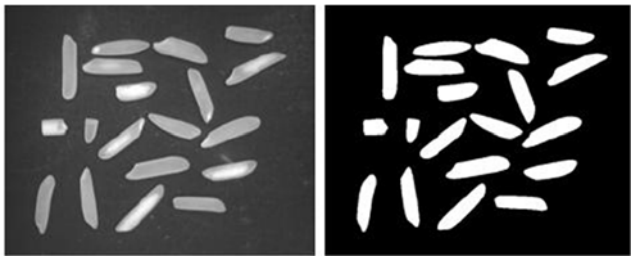
Nakariyakul & Casasent (2011) จำแนกประเภทของความเสียหายภายในอัลมอนด์โดยใช้ภาพความยาวคลื่นสูงกับหลักการอัตราส่วนของการตอบสนองของความยาวคลื่นสองช่วงที่ต่างกัน พบว่ามีความแม่นยำร้อยละ 97

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

ตรวจสอบและคัดแยกสายพันธ์ของเมล็ดพืชได้ Choudhary et al. (2007) วิเคราะห์และประมวลผลภาพโดยใช้ภาพถ่ายเมล็ดพืช ได้แก่ ข้าวฟ่าง ข้าวบาเล่ย์ ข้าวโอ๊ต และข้าวไรย์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการคัดแยกด้วยการประมวลผลภาพ พบว่าปัจจัยที่มีผลได้แก่ ความยาวคลื่นสั้น ภาพร่าง สี และผิวสัมผัส อย่างไรก็ตามพบว่าไม่สามารถนำปัจจัยเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งมาใช้วิเคราะห์สำหรับตรวจสอบชนิดของเมล็ดพืชได้ ควรพิจารณาภาพร่างและผิวสัมผัสของเมล็ดพืชมาใช้ในการตรวจสอบด้วย เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงวิธีการตรวจสอบให้มีคุณภาพดีและเหมาะสม สำหรับใช้ในการตรวจคุณภาพของเมล็ดข้าว ระบุชนิดของสายพันธุ์ข้าว และตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืช (Majumdar and Jayas, 2000; Paliwal et al., 2003; Choudhary et al., 2008) นอกจากนี้ยังมีการใช้ลักษณะของพื้นผิวภายนอกของเมล็ดพืชในการคัดแยกสายพันธุ์ที่ต่างชนิดกัน (Zayas and Flinn, 1998)



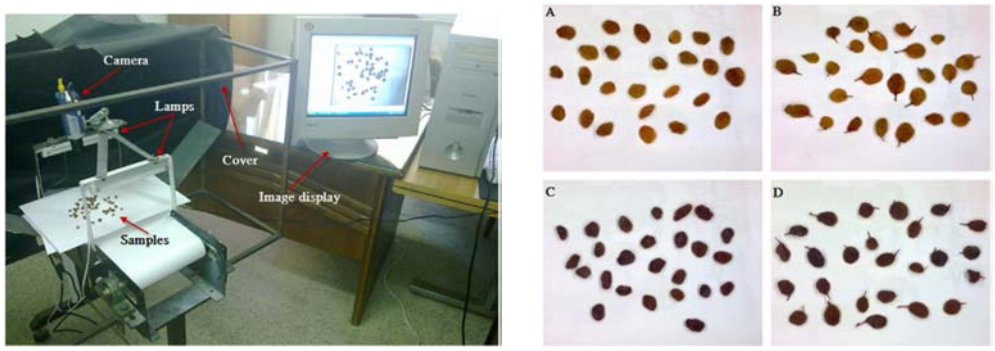
(ก)



(ข)

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

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



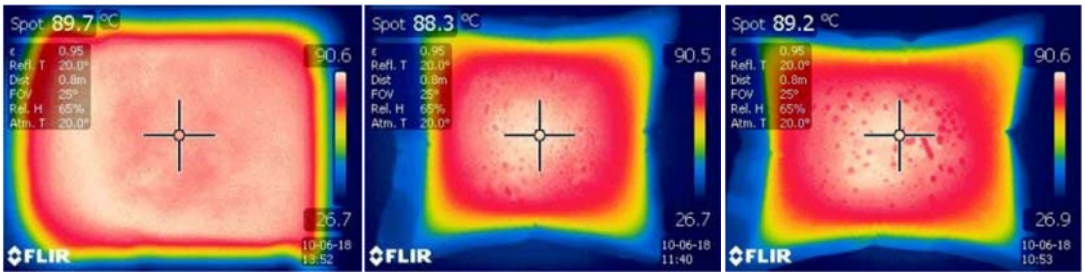
(ก) (ข)

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

2.4.2 การตรวจสอบเมล็ดพืชด้วยวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางความร้อน

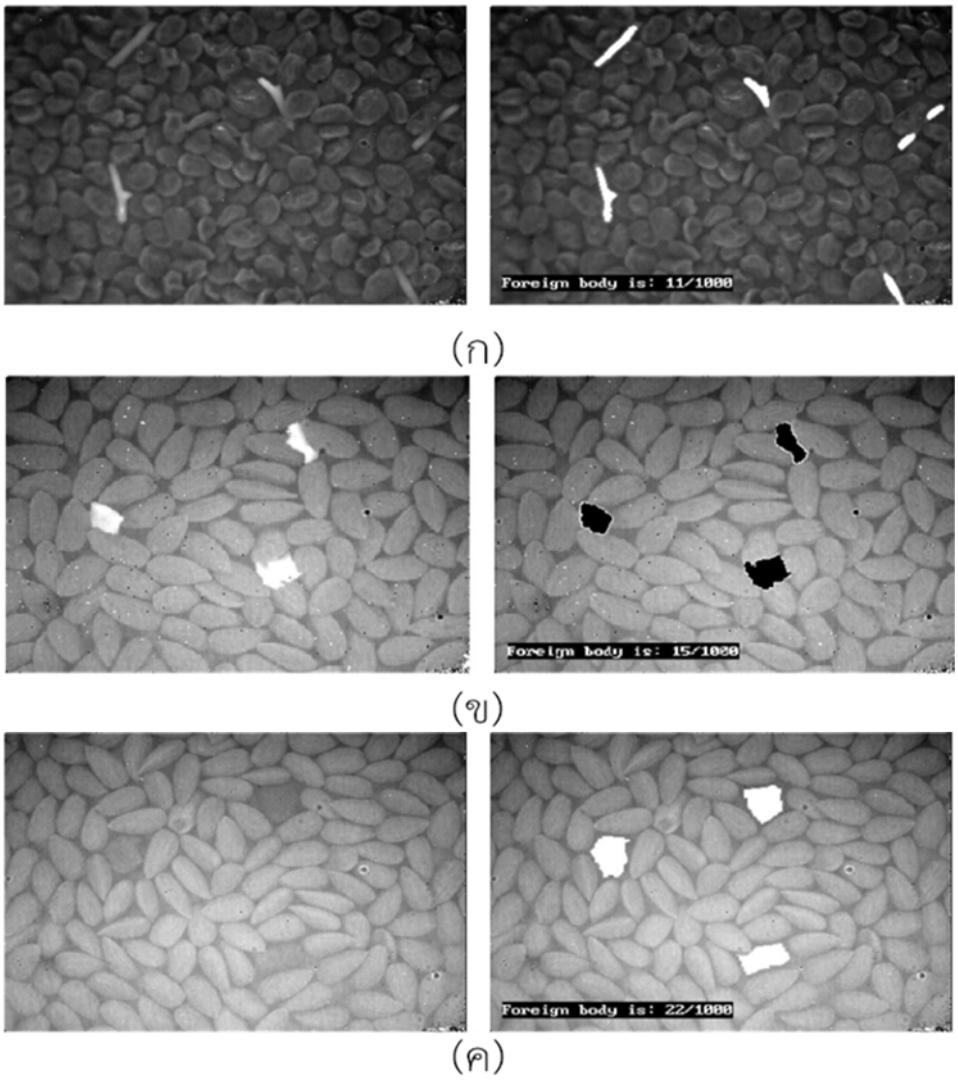
ใจทิพย์ และคณะ (2545) ประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุร่วมกับการใช้ภาพถ่ายความร้อนในการจัดการข้าวให้ปราศจากสารพิษ Alflatoxin โดยพบว่าปริมาณการติดเชื้อ A. flavus ลดลง เมื่อระยะเวลาและอุณหภูมิในการให้คลื่นความถี่วิทยุเพิ่มขึ้น ภาพความร้อนที่ได้จากกล้องอินฟราเรดแสดงการกระจายความร้อนของการบรรจุเมล็ดข้าวแบบสุญญากาศ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

Ginesu et al. (2004) ใช้ภาพถ่ายความร้อนตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมเช่น หิน กระดาษแข็ง โลหะชิ้นเล็ก ๆ และเปลือกไม้ ที่ปะปนมากับเมล็ดอัลมอลล์ ลูกเกด และถั่วลิสง โดยอาศัยความแตกต่างของพลังงานที่กล้องได้รับระหว่างสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืช เนื่องจากสมบัติทางความร้อนของวัสดุมีค่าแตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของภาพเทาต่อระยะเวลาในการลดอุณหภูมิของเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอม สามารถตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชได้ เช่น เศษไม้กับลูกเกด ภาพที่ 10 (ก) เศษกระดาษแข็งกับเมล็ดอัลมอลล์ ภาพที่ 10 (ข) และเศษหินกับเมล็ดอัลมอลล์ ภาพที่ 10 (ค)



(ก) (ข) (ค)

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



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

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

Chandra et al. (2010) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางความร้อนในการตรวจสอบแมลงที่ทำให้เมล็ดข้าวสาลีเกิดความเสียหายโดยอาศัยคลื่นสั้น เปรียบเทียบความแตกต่างของช่วงความยาวคลื่นและคุณสมบัติความแตกต่างของสี สามารถใช้ตรวจสอบแมลงได้แก่ ด้วงงวงข้าว มอดข้าวเปลือก ด้วงท้องแบน มอดแป้ง นอกจากแมลงศัตรูข้าวที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังพบแมลงอื่นๆ อีกหลายชนิด