TPT-17

การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี

*วราวิช พรพระ[1] ทวีพล ซื่อสัตย์[1] และ นวภัทรา หนูนาค[2]

[1] *ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520*

[2] *ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520*

ผู้เขียนติดต่อ: วราวิช พรพระ E-mail: king_hakker@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟีวิธีนี้อาศัยหลักการของการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีการถ่ายเทความร้อนที่ต่างกัน โดยระบบนี้ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพความร้อน แหล่งกำเนิดความร้อน สายพานสำหรับลำเลียงถาดตัวอย่าง ซึ่งควบคุมด้วยเครื่องควบคุมแบบตรรก ที่โปรแกรมได้ และคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลภาพถ่ายความร้อนแบบเวลาจริงในการทดลองได้ทำการตรวจจับหาสิ่งแปลกปลอม เช่น หิน ไม้ และพลาสติก ที่ปะปนอยู่ในเมล็ดถั่วแดง และถั่วลิสง การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างและระยะเวลาในการตรวจจับด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน จากนั้นนำภาพถ่ายความร้อนมาวิเคราะห์ด้วยการประมวลผลภาพแบบเวลาจริงเพื่อแยกแยะและหาปริมาณสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืช โดยใช้ซอฟต์แวร์ซึ่งพัฒนาบนVision BuilderAI ของบริษัท National Instruments จากผลการทดลองได้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างธัญพืชกับสิ่งแปลกปลอมได้ และสามารถแยกแยะและหาปริมาณสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชได้อย่างอัตโนมัติ

คำสำคัญ: ภาพถ่ายทางความร้อน; ธัญพืช; สิ่งแปลกปลอม; การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวกับเกษตรนั้น ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบหรืออาหารสำเร็จรูป ในกระบวนการผลิต ผู้ผลิตย่อมที่จะต้องการให้วัตถุดิบที่ได้เหล่านั้นมีความสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอมเพื่อให้ได้คุณภาพและเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบนั้นๆ ในปัจจุบันคนให้ความสำคัญในเรื่องของการดูแลสุขภาพมากขึ้น มีการเลือกสรรวัตถุดิบที่มีประโยชน์ต่อร่างกายนำมาปรุงอาหาร เช่น เมล็ดพืชชนิดต่างๆที่อุดมด้วยคุณค่าถูกนำเอามาดัดแปลงเป็นอาหาร และเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่างๆ มากมาย[1] โดยเฉพาะเมล็ดพืชเป็นวัตถุดิบที่สำคัญที่นำไปใช้เพื่อการแปรรูปอาหารเป็นแป้งแล้วนำไปแปรรูปต่อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เพราะฉะนั้นในกระบวนการผลิตหรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเมล็ดพืชจึงจำเป็นอย่างมากที่จะต้องคำนึงถึงความสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอม ซึ่งสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ในวัตถุดิบเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น การเก็บเกี่ยว การขนส่ง การเก็บรักษา เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ทำให้มีสิ่งแปลกปลอมปะปนเข้ามาในเมล็ดพืชได้ทำให้มีผลในด้านคุณภาพของวัตถุดิบลดลง วิธีการดั้งเดิมในการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออกจากวัตถุดิบคือการใช้กำลังคนในการคัดแยก แต่ปัจจัยทางด้านกายภาพของแต่ละบุคคลทำให้มีผลในการคัดแยกเช่น เพศ อายุ สภาพแวดล้อมในการทำงาน เป็นต้น[2] หรือวิธีการคัดแยกในทางเชิงกลบางวิธี เช่น การใช้ตะแกรงร่อน ไม่สามารถแยกวัตถุดิบที่มีลักษณะทางกายภาพดังเช่นขนาดที่ใกล้เคียงกันได้[3] และส่วนของวิธีการคัดแยกหรือการตรวจสอบแบบไม่สัมผัสกับวัตถุดิบมีหลากหลายวิธี เช่น วิธีการคัดแยกสี (color sorter) เป็นวิธีการคัดแยกด้วยสีที่ผิวของวัตถุ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อคัดแยกวัสดุที่มีสีแตกต่างกันออกจากกัน

โดยใช้การถ่ายภาพและวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image processing) เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่เก็บไว้ แต่สำหรับวิธีนี้ยังคงมีข้อจำกัดคือไม่สามารถแยกวัตถุที่มีสีคล้ายคลึงกันได้อย่างชัดเจน ทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจสอบหรือคัดแยกลดลง ทั้งนี้เพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการวัตถุดิบที่มีความสะอาดและได้คุณภาพต่อลูกค้า ปัจจัยในด้านความสะอาดและคุณภาพในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับสินค้าเพื่อบริโภคย่อมเป็นปัจจัยสำคัญและมีความจำเป็นอย่างมาก

วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายเป็นวิธีหนึ่งที่ไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อวัตถุดิบทั้งทางด้านคุณภาพและกายภาพ โดยทั่วไปมีการนำเทคนิค Active thermography ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอาหารหรือด้านอื่นมากมาย เช่น การนำไปตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในอาหารโดยใช้หลักการถ่ายภาพความร้อน[4] นำหลักการ Active thermography ไปใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวและรอยต่อของอิฐ[5] และนำหลักการถ่ายภาพความร้อนไปตรวจจับรอยชำรุดใน

วัสดุที่เป็นไม้[6] เป็นต้น งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี การประยุกต์ใช้งานกล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อการวัดและการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Passive Thermography และ Active Thermography ซึ่งวิธี Active Thermography เป็นวิธีที่ได้เลือกนำมาทดสอบ วิธีการประยุกต์ในการใช้ระบบนี้โดยทั่วไปแล้วจะต้องมีแหล่งกระตุ้นความร้อนจากภายนอก (Heat Source) มาเป็นแหล่งให้ความร้อนกับวัตถุที่จะทำการตรวจสอบ ซึ่งตัวอย่างที่จะนิยมใช้เป็นแหล่งกระตุ้นความร้อนสำหรับงานตรวจสอบแบบไม่ทำลาย คือ แสงจากหลอดไฟฮาโลเจน หลอดไฟซีนอน แสงเลเซอร์ กระแสไฟฟ้าหมุนวน หรือ อัลตราโซนิค เป็นต้น สำหรับวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธี Active thermography นี้จะมีด้วยกันอยู่หลายวิธี เช่น วิธี lock-in infrared thermography การทดสอบด้วยวิธีนี้มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีอื่นเนื่องจาก แหล่งให้ความร้อนจะต้องป้อนเป็นลักษณะคาบเวลา เช่น สัญญาณไซน์ ผ่านไปยังอุปกรณ์กระตุ้นความร้อน เช่น หลอดไฟที่ให้ความร้อน หรือ อัลตราโซนิค จากนั้นวัดผลตอบสนองในรูปแบบของเฟส (Phase) และ แมกนิจูด (Magnitude) จากภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อน ในภาพของเฟสสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ของเวลาในการแพร่ความร้อน และความผิดปกติบนพื้นผิวได้ วิธีPulse thermography วิธีนี้เป็นวิธีการให้ความร้อนจากแหล่งกระตุ้นเพียงแค่ระยะเวลาสั้น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิววัสดุ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Cp) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) และสำหรับความร้อนที่ให้ไปถ้าเป็นโลหะจะมีค่าการนำความร้อนสูงซึ่งให้ความร้อนในช่วงมิลลิวินาที แต่ถ้าวัสดุเป็นพลาสติกหรืออโลหะจะให้ความร้อนในช่วงวินาที ซึ่งค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) หรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นสมบัติเชิงความร้อน (thermal properties) ของวัสดุ ที่บ่งบอกถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อนโดยการนำความร้อน (conduction) ของวัสดุต่างๆ ซึ่งเป็นการส่งผ่านความร้อนภายในโมเลกุลของวัสดุ จากโมเลกุลที่ระดับพลังงานสูงกว่าไปยังระดับที่ต่ำกว่า ของแต่ละวัสดุก็จะไม่เท่ากัน[7]

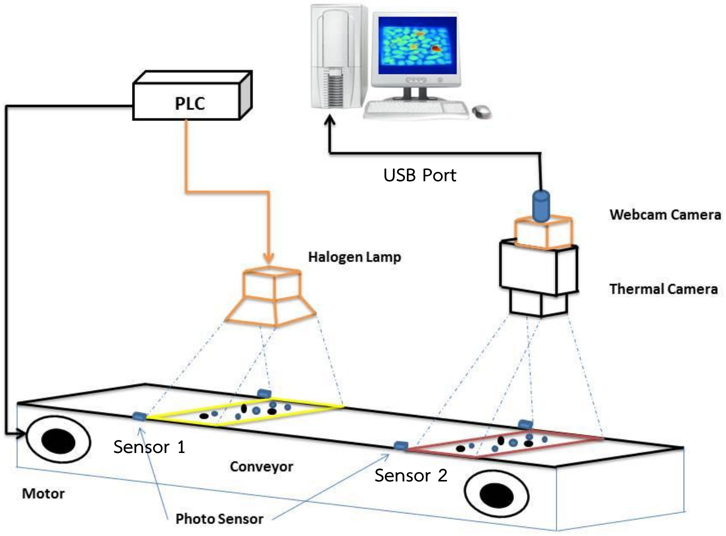
2. อุปกรณ์และวิธีการ

การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพความร้อนที่ใช้ในการทดลองคือ FLUKE Ti32 IR FUSION TECHNOLOGY (320x240 FPA) Infrared spectral band 7.5 um – 14 um, หลอดไฟ halogen 50-60 Hz 100W, สายพานลำเลียง เครื่องที่โปรแกรมได้ (PLC) model:SYSMAC C28H ที่ใช้ในการควบคุมสายพานและไฟแหล่งกำเนิดแสง โฟโตเซนเซอร์ กล้อง webcam ที่ใช้สำหรับจับภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน ซอฟต์แวร์ Vision Builder AI Version 2012 และcomputerที่ใช้ในการประมวลผล ระบบการทดลองแสดงดังรูปที่ 1

2.1 การทำงานของระบบการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืช

ในการทดลองได้นำตัวอย่างเมล็ดพืชมาทั้งหมด 2 ชนิด คือ ถั่วแดงและถั่วลิสง และสิ่งแปลกปลอมกำหนดขึ้นมา 3 ชนิด คือ ไม้ หิน และพลาสติก โดยในการทดลองกำหนดให้กลุ่มตัวอย่างเมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ปะปน

กันวางอยู่ในถาดทดลองขนาด 10x10 ซม. วางบนสายพานซึ่งเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ที่ถูกควบคุมจาก PLC ถาดทดลองเคลื่อนบนสายพานจนกระทั่งเซนเซอร์ตัวที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงความร้อน (halogen lamp) ตรวจจับได้ จากนั้นสายพานหยุดเพื่อให้ความร้อน 5 วินาที ถาดกลุ่มตัวอย่างเคลื่อนที่จากตำแหน่งเซนเซอร์ตัวที่ 1 ไปยังเซนเซอร์ตัวที่ 2 ซึ่งเป็นตำแหน่งติดตั้งกล้องถ่ายภาพความร้อน โดยใช้เวลา 3 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเย็นตัวลง (cooling) ของกลุ่มตัวอย่าง



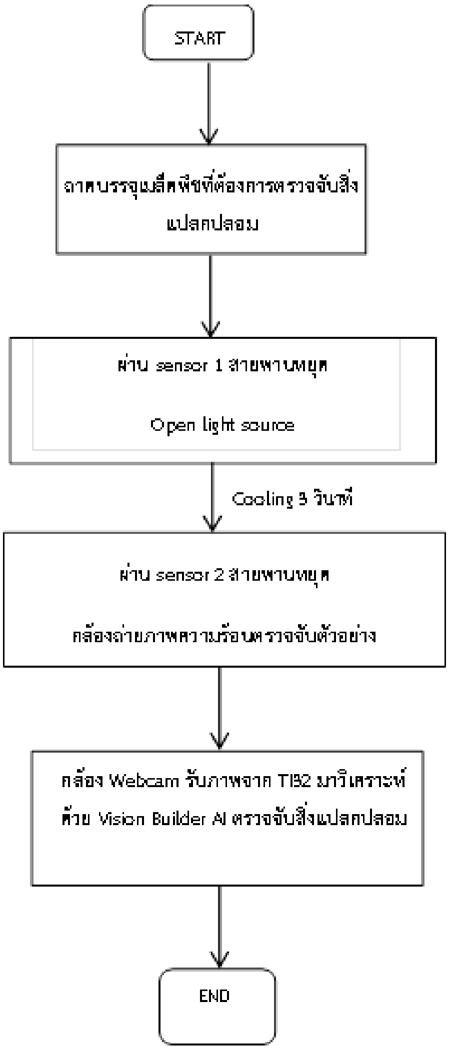
รูปที่ 1 ระบบการทดลอง

เมื่อเซนเซอร์ตัวที่ 2 ตรวจจับถาดได้ สายพานจะหยุด 1 วินาที เพื่อให้กล้องถ่ายภาพความร้อนทำการจับภาพกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ตรวจจับได้จะมีสีที่แตกต่างกันเนื่องจากคุณสมบัติการแผ่รังสีความร้อนที่แตกต่างกันของวัตถุ และใช้กล้อง webcam จับภาพถ่ายที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาจำนวนของสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในเมล็ดพืชด้วยซอฟต์แวร์ vision builder AI อัลกอริทึมการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี แสดงดังรูปที่ 2

2.2 การคัดแยกจำนวนสิ่งแปลกปลอมออกจากเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายทางความร้อนด้วยซอฟต์แวร์ Vision Builder AI

ในขั้นตอนการทดลองการคัดแยกนี้เริ่มต้นทำการกำหนดให้เมล็ดพืชเทียบปริมาณเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 2 ตัวอย่างเมล็ดพืช โดยที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมมาปะปนอยู่ โดยกำหนดปริมาณจริงเท่ากับ 10 เมล็ด จากนั้นทำการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืชและจำนวนสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วนดังนี้ 8:2, 6:4, 5:5 และ 0:10 ตามลำดับ

แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Vision Builder AI ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท National Instruments โดยที่โปรแกรมดึงภาพสีจากกล้อง webcam เชื่อมต่อผ่าน USB จากนั้นกำหนดค่า threshold ของค่าสี (Hue) ในซอฟแวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดช่วงของเฉดสีร้อนคือสีแดงอยู่ในช่วง 0-18 และเฉดสีเย็นคือสีฟ้าเพื่อตรวจจับสิ่งแปลกปลอม เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชมีค่าแตกต่างกัน



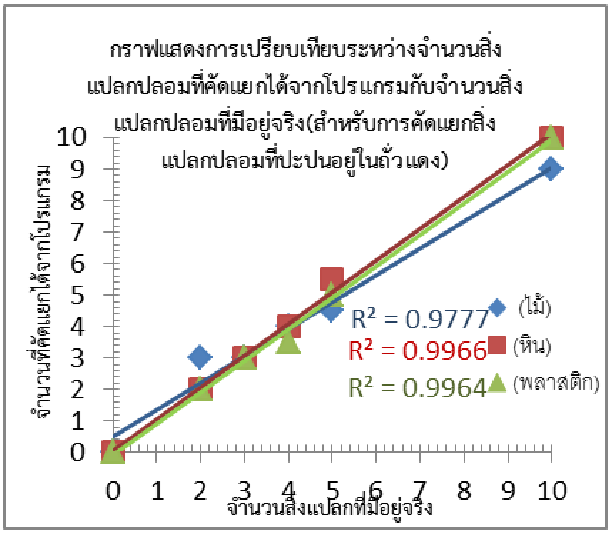
รูปที่ 2 การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี

โดยที่เมล็ดพืชเมื่อผ่านการให้ความร้อนและ cooling แล้ว ภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนจะเป็นเฉดสีฟ้าและสิ่งแปลกปลอมจะเป็นเฉดสีแดง โปรแกรมจะทำการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมโดยใช้เครื่องมือคำสั่ง Detect Object ตรวจจับวัตถุที่เป็นสีแดงเพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมจริง หน้าต่างซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 3

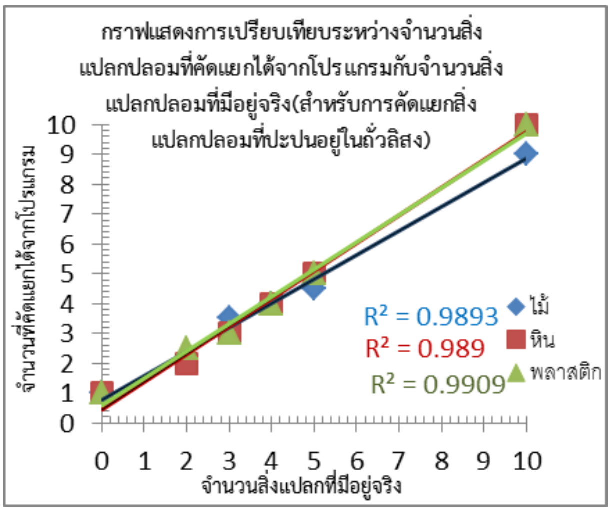
3.ผลการทดลองและวิจารณ์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองตรวจจับหาสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชโดยใช้ภาพถ่ายทางความร้อน โดยผลการทดลองพบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนแก่เมล็ดพืชและสิ่งแปลกปลอมเป็นระยะเวลา 5 วินาที คือระยะเวลาที่ดีที่สุด และระยะเวลาในการ cooling ที่ดีที่สุดคือ 3 วินาที ซึ่งช่วงระยะเวลาที่ได้นี้จะให้ภาพที่ชัดเจนที่สุดในการนำมาวิเคราะห์เพื่อทำการตรวจจับปริมาณจำนวนของสิ่งแปลกปลอมเปรียบเทียบกับจำนวนเมล็ดพืช ซึ่งผลที่ได้โดยการวิเคราะห์หาปริมาณสิ่งแปลกปลอมจากโปรแกรม Vision Builder AI ค่อนข้างแม่นยำ โดยผลที่ได้จากการทดลองแสดงดัง รูปที่ 4 โดยที่จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่คัดแยกได้จากโปรแกรมมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนสิ่งแปลกที่มีอยู่จริง (สำหรับการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ในถั่วแดง) และรูปที่ 5 จำนวนสิ่งแปลกปลอมที่คัดแยกได้จากโปรแกรมมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับจำนวนสิ่งแปลกที่มีอยู่จริง (สำหรับการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ในถั่วลิสง) ผลการทดลองจากการนำภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืช ปริมาณ 100% โดยไม่มีสิ่งแปลกปลอมปะปนมาวิเคราะห์ด้วยซอฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น พบว่าโปรแกรมไม่สามารถตรวจจับสิ่งแปลกปลอมได้และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 0% ดังแสดงในตารางที่ 1 และจากผลการทดลองเมื่อทำการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืชและจำนวนสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วนดังนี้ 8:2, 6:4, 5:5 และ 0:10 ตามลำดับ เมื่อนำภาพถ่ายความร้อนมาวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจจับหาสิ่งแปลกปลอมในเมล็ดพืชเปรียบเทียบกับจำนวนจริงของสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่ พบว่าผลการทดลองที่ได้ในกรณีที่เปรียบเทียบให้มีสิ่งแปลกปลอมปะปนในเมล็ดถั่วแดง โปรแกรมสามารถตรวจจับปริมาณสิ่งแปลกปลอมได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0% แต่มีในกรณีที่มีการคัดแยกไม้ที่ปะปนมาในถั่วแดงที่อัตราส่วน 5:5 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 20% และที่อัตราส่วน 0:10 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 10% ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2 และในกรณีที่เปรียบเทียบให้มีสิ่งแปลกปลอมปะปนในเมล็ดถั่วลิสงสามารถตรวจจับปริมาณสิ่งแปลกปลอมได้ค่อนข้างแม่นยำเช่นกัน โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0%

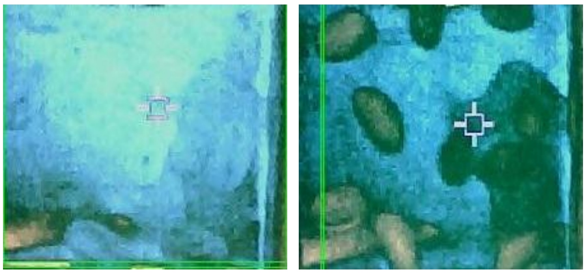
รูปที่ 3 หน้าต่างซอฟต์แวร์ Vision Builder AI ที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่คัดแยกได้จากโปรแกรมกับจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริง (ในถั่วแดง)

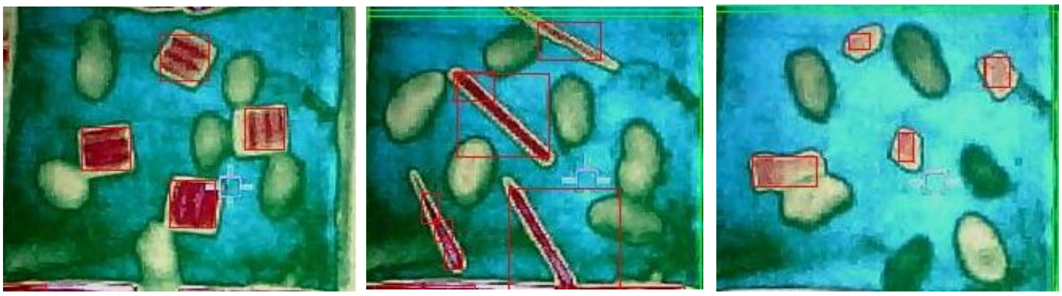


รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่คัดแยกได้จากโปรแกรมกับจำนวนสิ่ง แปลกปลอมที่มีอยู่จริง (ในถั่วลิสง)



(ก) (ข)

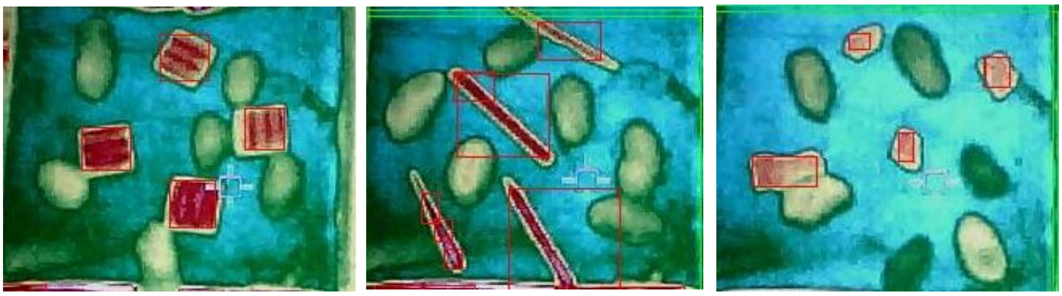
รูปที่ 6 ภาพแสดงภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชที่มีปริมาณ 100% (ก) ถั่วแดง (ข) ถั่วลิสง



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 7 ภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืช (ถั่วแดง) ปะปนกับสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่อัตราส่วน 60:40

พลาสติก (ข) ไม้ และ (ค) หิน



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 8 ภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืช (ถั่วลิสง) ปะปนกับสิ่งแปลกปลอมต่างๆ ที่อัตราส่วน 60:40

พลาสติก (ข) ไม้ และ (ค) หิน

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 9 ภาพถ่ายความร้อนของสิ่งแปลกปลอม 100% (ก) พลาสติก (ข) ไม้ และ (ค) หิน

ต่มีในกรณีที่มีการคัดแยกไม้ที่ปะปนมาในถั่วลิสงที่มีอัตราส่วน 0:10 มีเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 10% ดังแสดงในตารางที่ 3 ในการทดลองบางอัตราส่วนที่มีค่าความผิดพลาดในการตรวจจับ อาจเกิดจากสิ่งแวดล้อมภายนอกจากแสงหรืออุณหภูมิเข้ามารบกวน ทำให้ค่าการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุเปลี่ยนไปทำให้กล้องถ่ายภาพความร้อนไม่สามารถตรวจจับวัตถุนั้นได้ หรือในส่วนของเมล็ดพืชที่ยังมีความร้อนสะสมอยู่บางเมล็ดทำให้มีการแผ่รังสีในเฉดสีเดียวกันกับสิ่งแปลกปลอมจึงทำให้โปรแกรมตรวจจับเมล็ดพืชนั้นด้วย

ในรูปที่ 6-9 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายความร้อนในกรณีต่างๆ ที่ทำการทดลองวิเคราะห์หาจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาในเมล็ดพืชโดยใช้ Vision Builder AI โดยในรูปที่ 5 แสดงแสดงภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืชที่มีปริมาณ 100% (ก) ถั่วแดง (ข) ถั่วลิสง รูปที่ 6 แสดงภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืช (ถั่วแดง) ปะปนกับสิ่งแปลกปลอมต่างๆที่อัตราส่วน 60:40 (ก) พลาสติก (ข) ไม้ และ (ค) หิน รูปที่ 7 แสดงภาพถ่ายความร้อนของเมล็ดพืช (ถั่วลิสง) ปะปนกับสิ่งแปลกปลอมต่างๆที่อัตราส่วน 60:40 (ก) พลาสติก (ข) ไม้ และ (ค) หิน และรูปที่ 8 แสดงภาพถ่ายความร้อนของสิ่งแปลกปลอม 100% (ก) พลาสติก (ข) ไม้ และ(ค)หิน

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณจำนวนเมล็ดพืชจริงกับสิ่งแปลกปลอมเทียบกับปริมาณจำนวนเมล็ดพืชกับสิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมตรวจจับได้

ชนิดของเมล็ดพืช	จำนวนจริง (เมล็ด)		จำนวนที่ตรวจจับได้จากโปรแกรม (เมล็ด)	
	เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม
ถั่วแดง	10	0	10	0
ถั่วลิสง	10	0	10	0

ตารางที่ 2 แสดงการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืช (ถั่วแดง) และจำนวนสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วน 8:2, 6:4, 5:5 และ 0:10 ตามลำดับ

ชนิดของเมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	จำนวนอัตราส่วนจริง (เมล็ด)		จำนวนอัตราส่วนการทดลอง (เมล็ด)	
		เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม
ถั่วแดง	พลาสติก	8	2	8	2
ถั่วแดง	ไม้			8	2
ถั่วแดง	หิน			8	2
ถั่วแดง	พลาสติก	6	4	6	4
ถั่วแดง	ไม้			6	4
ถั่วแดง	หิน			6	4
ถั่วแดง	พลาสติก	5	5	5	5
ถั่วแดง	ไม้			5	4
ถั่วแดง	หิน			5	5
ถั่วแดง	พลาสติก	0	10	0	10
ถั่วแดง	ไม้			0	9
ถั่วแดง	หิน			0	10

ตารางที่ 3 แสดงการปรับอัตราส่วนระหว่างจำนวนเมล็ดพืช (ถั่วลิสง) และจำนวนสิ่งแปลกปลอมในอัตราส่วน 8:2, 6:4, 5:5 และ 0:10 ตามลำดับ

ชนิดของเมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	จำนวนอัตราส่วนจริง (เมล็ด)		จำนวนอัตราส่วนการทดลอง (เมล็ด)	
		เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม
ถั่วลิสง	พลาสติก	8	2	8	2
ถั่วลิสง	ไม้			8	2
ถั่วลิสง	หิน			8	2
ถั่วลิสง	พลาสติก	6	4	6	4
ถั่วลิสง	ไม้			6	4

ชนิดของเมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	จำนวนอัตราส่วนจริง (เมล็ด)		จำนวนอัตราส่วนการทดลอง (เมล็ด)	
		เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม	เมล็ดพืช	สิ่งแปลกปลอม
ถั่วลิสง	หิน			6	4
ถั่วลิสง	พลาสติก	5	5	5	5
ถั่วลิสง	ไม้			5	5
ถั่วลิสง	หิน			5	5
ถั่วลิสง	พลาสติก	0	10	0	10
ถั่วลิสง	ไม้			0	9
ถั่วลิสง	หิน			0	10

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดพืชด้วยเทคนิคแอคทีฟเทอร์โมกราฟฟี ในการทดลองได้ทำการตรวจจับหาสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนในเมล็ดถั่วแดง และถั่วลิสง โดยกำหนดสิ่งแปลกปลอม 3 ชนิด คือ หิน ไม้ และพลาสติก ระยะเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่ธัญพืชและสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมาที่ได้จากผลการทดลองคือ 5 วินาที และช่วงเวลาเว้นระยะห่างหลังจากให้ความร้อนคือ 3 วินาที ซึ่งทำให้ได้ภาพถ่ายความร้อนที่ชัดเจนที่ใช้นำมาวิเคราะห์เพื่อแยกแยะและหาปริมาณสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืช โดยใช้ซอฟต์แวร์ Vision Builder AI ซึ่งซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างธัญพืชกับสิ่งแปลกปลอมได้ค่อนข้างชัดเจน โดยจากผลการทดลองปริมาณจำนวนสิ่งแปลกปลอมที่มีอยู่จริงมีความสัมพันธ์อย่างเป็นเชิงเส้นกับปริมาณสิ่งแปลกปลอมที่โปรแกรมตรวจจับได้ด้วยค่า $R^2>0.97$ และสามารถแยกแยะและหาปริมาณสิ่งแปลกปลอมกับเมล็ดพืชได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งในทุกกรณีมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% และระบบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำหลักการไปประยุกต์ใช้งานเพื่อตรวจหาสิ่งแปลกปลอมในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ต่อไปในอนาคตได้

5. อ้างอิง

[1] เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ (2544) การศึกษาทางมานุษยวิทยาโภชนาการ : กรณีถั่ว สถาบันการแพทย์แผนไทย กรมการแพทย์กรุงเทพฯ

[2] พงษ์เทพ เกิดดอนแฝก และคณะ. (2545). *การศึกษาการใช้ แรงของสนามแม่เหล็กในการคัดแยกเมล็ดพืช.* พิมพ์ ครั้งที่ 6. (หน้า 330-334)

[3] สุพรรณ ยั่งยืน และเสรี วงส์พิเชษฐ์. (2550). การศึกษาและ พัฒนาเครื่องแยกดินทรา ย ออกจาก อ้อยลำ . Postharvest Newsletter. ปีที่ 6 ฉบับที่ 4

[4] G.Ginesu, D.D. Giusto, V.Margner V., (2004). Dection of Foreign Bodies in Food by Thermal Image Processing.IEEE Trasactions on Industrial Electronics.51, 480-490.

[5] Christiane MAIERHOFER, Mathias ROELLIG (2009) Active thermography for the characterization of surfaces andinterfaces of historic masonry structures, Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), Berlin, Germany

[6] P. Meinlschmidt (2005), Thermographic detection of defects in wood and wood-based materials, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer-Institute for wood research, Braunschweig Germany

[7] Thermal conductivity Food Network –Solution เรียบเรียงโดย ผศ. ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ศ.ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์ URL: http:// www. Foodnetworksolution-.com/wiki/word/0564/thermal-conductivity, เข้าดูเมื่อวันที่ 28/01/2556.