สถานการณ์ระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์ในประเทศไทย
Situation of On-line Sorting System for Fresh Fruits in Thailand

สนธิสุข ธีระชัยชยุติ[1/]

Sontisuk Teerachaichayut[1/]

ABSTRACT

Thailand is famous to the worldwide that produces variety fruits. Thai fruits are generally satisfied and entirely accepted from consumers in taste. Foreigners have paid a visit as tourist or have done business, always say that Thai fruits are one of the most impressive points in Thailand. In the market strategy, this is a good chance for taking benefits in commerce. A good image of fresh Thai fruits means good potential products in business. If Thai fruits are fully supported, promoted, and developed the process of production packaging and distribution as well as concentration to solve problems, Thai fruits will be premium products of Thailand to the world's market. Good fame and income from export will immensely return to Thailand. But the main obstructed problem is the quality of fruits. Outside appearances and the internal quality of each fruit, must be good as consumers' requirements. Therefore there is a question: Is it possible to assure the quality of each fruit in a big lot?. The answer is 'yes'. That is 'on-line sorting system for fresh fruits' or 'continuous sorting system on conveyer for fresh fruits'. That is nondestructive evaluation system for the quality of each intact fresh fruit. Technologies have been applied to use for measurement and prediction of fruit qualities. Many research reports showed that image analysis techniques were used for evaluation of visible appearance while near infrared spectroscopy (NIRS) is a suitable technique for prediction of internal quality. NIRS is acceptable, accurate and reliable in use for fresh fruits. It is able to predict various internal qualities by only one time of measurement. It continuously

[1/] คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กทม. 10520

[1/] Faculty of Agro-Industry, Institute of Technology Ladkrabang, Lat Krabang, Bangkok 10520

inspects each fruit with high speed. Benefits of this system are convenient and easy to operate by producers or distributors. It makes consumers satisfy in all fruits they buy. Therefore, government should support this system for use in order to create a potential for export promotion. It will be able to increase export volume of fresh fruits. That will permanently advantage to farmers and economics of Thailand in the future.

Key-words: fruit, quality, sorting system, nondestructive

บทคัดย่อ

ประเทศไทยสามารถผลิตผลไม้ได้หลากหลายชนิด และได้ชื่อว่าเป็นประเทศที่มีผลไม้รสชาติดีเป็นที่ยอมรับไปทั่วโลก ชาวต่างชาติที่เข้ามาท่องเที่ยว หรือเข้ามาทำธุรกิจในประเทศไทยมักพูดถึงผลไม้ไทยว่าเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดความประทับใจในระดับต้นๆอยู่เสมอ ในเชิงกลยุทธ์ทางการตลาดนี่ถือว่าเป็นโอกาสที่ดีมากที่ประเทศไทยควรนำมาใช้เป็นประโยชน์ในด้านการค้า ภาพลักษณ์ที่ดีของผลไม้สดจากประเทศไทย ซึ่งถือได้ว่าเป็นสินค้าที่มีศักยภาพในทางธุรกิจ ถ้าได้รับการสนับสนุนส่งเสริม พัฒนาระบบการผลิต การบรรจุ และการจัดจำหน่ายตลอดจนแก้ปัญหาที่เป็นอุปสรรคต่างๆอย่างจริงจัง การยกระดับมาตรฐานสินค้าผลไม้สดของประเทศไทยไปสู่ตลาดโลก การสร้างชื่อเสียงและการสร้างรายได้จากการส่งออกผลไม้ นำเงินตราเข้าประเทศได้อย่างมหาศาลเป็นสิ่งที่เป็นไปได้อย่างสูง แต่เป็นที่ทราบกันดีว่า ปัญหาที่เป็นอุปสรรคสำคัญในการส่งออกคือปัญหาด้านคุณภาพของผลไม้ ผลไม้ทุกผลจำเป็นต้องมีคุณภาพทั้งภายนอกและภายในที่ดีตรงตามต้องการของลูกค้า ดังนั้นจึงมีคำถามว่า ผลไม้ปริมาณมากๆ และต้องประกันคุณภาพในทุกๆผลจะทำได้หรือไม่? คำตอบก็คือสามารถทำได้ วิธีการที่นำมาใช้ก็คือ ระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์ หรือระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดบนสายพานแบบต่อเนื่อง เป็นระบบการตรวจสอบคุณภาพโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลไม้ หรือทีเรียกว่าเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย เป็นการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อทำการวัด และทำนายคุณภาพต่างๆ ของผลไม้สด จากรายงานผลการวิจัยจำนวนมากได้แสดงไว้ว่าเทคนิคการประมวลภาพถ่าย (image analysis) ถูกนำมาใช้สำหรับการคัดแยกลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้ ส่วนการคัดแยกคุณภาพภายในที่ไม่สามารถมองเห็นได้ เทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโตรสโกปี (near infrared spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับว่ามีความเหมาะสม มีความแม่นยำ และเชื่อถือได้สำหรับการนำไปใช้งานกับผลไม้สด สามารถทำนายคุณภาพภายในต่างๆของผลไม้ได้หลายอย่าง โดยการวัดเพียงครั้งเดียว สามารถใช้ตรวจสอบผลไม้ได้ทีละผล ทำงานได้รวดเร็วและต่อเนื่อง ข้อดีของระบบดังกล่าวคือ ผู้ผลิตหรือ

ผู้จำหน่ายสามารถดำเนินการได้ง่ายและสะดวก ผลที่ได้คือทำให้ผู้บริโภคพึงพอใจในคุณภาพของผลไม้ที่ซื้อไปในทุกผล ดังนั้นรัฐบาลควรส่งเสริมให้มีการนำระบบนี้มาใช้เพื่อเป็นการสร้างศักยภาพ และเป็นการส่งเสริมการตลาดผลไม้สดส่งออกของไทย สามารถเพิ่มปริมาณการส่งออกผลไม้สด ซึ่งส่งผลดีต่อเกษตรกรและเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

คำหลัก: ผลไม้ คุณภาพ ระบบคัดแยก แบบไม่ทำลาย

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่สามารถปลูกและผลิตผลไม้สดได้หลากหลายชนิด ผลไม้ของไทยมีชื่อเสียงและเป็นที่ชื่นชอบของทั้งคนไทยและคนต่างประเทศ แต่ปัญหาที่พบคือคุณภาพของผลไม้สดของไทยที่จำหน่าย ยังไม่มีความสม่ำเสมอ ทั้งนี้อาจเกิดมาจากหลายๆ สาเหตุ อาทิ เกษตรกรเร่งเก็บเกี่ยวผลไม้ก่อนถึงวัยอันสมควร เพื่อต้องการขายในช่วงเวลาที่ตลาดมีความต้องการสูงซึ่งทำให้สามารถขายได้ในราคาที่ดี หรือขึ้นอยู่กับการดูแลสวนผลไม้ของเกษตรกร ได้แก่ การบำรุงดินโดยการใส่ปุ๋ย การกำจัดแมลงศัตรูพืช หรืออาจมีผลมาจากสภาพดินฟ้าอากาศที่เปลี่ยนแปลง ตลอดจนอาจมีผลมาจากวิธีการเก็บเกี่ยว การจัดเก็บและวิธีการขนส่ง เหล่านี้ล้วนส่งผลต่อคุณภาพของผลไม้สดที่ผลิตออกมาจากสวนของเกษตรกรทั้งสิ้น

สิ่งที่ผู้บริโภคต้องการเมื่อตัดสินใจซื้อผลไม้สดแล้วก็คือ หวังที่จะได้ผลไม้ที่มีคุณภาพดีและมีรสชาติที่ดี ดังนั้นจึงพบว่าผู้บริโภคพยายามคัดแยกและเลือกผลไม้ที่ซื้อ สังเกตได้จากพฤติกรรมของผู้บริโภคในแผงขายผลไม้สด โดยพบว่าผู้บริโภคยอมเสียเวลาเพื่อที่ตรวจดูสภาพภายนอกของผลไม้สดแต่ละผล และคัดเลือกผลให้ได้ดีที่สุดในการซื้อแต่ละครั้ง ถึงแม้ว่าบางครั้งคิดว่าได้เลือกผลไม้ที่ดีที่สุดแล้ว แต่เมื่อนำไปปอกรับประทานก็ยังไม่ได้คุณภาพที่ดี หรือไม่ได้รสชาติตามที่คาดหวัง เนื่องจากผู้บริโภคไม่สามารถมองเห็นองค์ประกอบที่อยู่ภายในผลไม้ได้ด้วยตาเปล่า ทำให้ผู้บริโภคอาจต้องเสียเงินซื้อผลไม้ทั้งๆ ที่มีคุณภาพไม่เป็นที่ต้องการ นอกจากนี้วิธีการคัดแยกของผู้บริโภคดังกล่าวก็ไม่เกิดผลดีต่อผลไม้ที่เหลืออยู่ในแผง เพราะการหยิบจับผลไม้ของผู้บริโภคแต่ละครั้งส่งผลให้เกิดอาการบอบช้ำ เกิดความเสียหายแก่ตัวผลไม้ ทำให้ผู้จำหน่ายได้รับผลกระทบเพราะผลไม้ที่เหลือในแผงมีคุณภาพด้อยลงไปอีก สถานการณ์แบบนี้พบกันอยู่ตามปกติในตลาดขายผลไม้สดในประเทศไทย และเช่นเดียวกับการซื้อขายผลไม้สดเพื่อการส่งออกก็พบปัญหาในลักษณะเดียวกัน การที่ผู้บริโภคซื้อผลไม้สดไปแล้วแต่ได้คุณภาพที่ไม่ดีก็ส่งผลทำให้ผู้บริโภคผิดหวังและไม่อยากจะกลับมาซื้ออีก ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการขยายตลาดผลไม้สดของประเทศไทย ปัญหาดังกล่าวจะมีวิธีการแก้ปัญหาอย่างไร การหาคำตอบนี้จึงเป็นสิ่งที่ทั้งผู้บริโภคและผู้จำหน่ายต้องการเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นในเนื้อหาที่นำเสนอต่อไปคือ การหาคำตอบเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

โดยเป็นการนำเอาเทคโนโลยีมาใช้เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ทั้งคุณภาพภายนอกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และคุณภาพภายในที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าโดยไม่ทำให้ผลไม้เสียหายหรือที่เรียกว่า การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย (Chen and Sun, 1991) เป็นการนำเอาเทคโนโลยีมาใช้เพื่อออกแบบระบบสำหรับการตรวจสอบ และคัดแยกคุณภาพผลไม้สดแบบอัตโนมัติ สามารถทำงานได้รวดเร็วและเชื่อถือได้ที่เรียกว่า ระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์ หรือระบบคัดแยกคุณภาพผลไม้สดบนสายพานแบบต่อเนื่อง โดยที่ได้มีงานวิจัยนำระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น แอปเปิล (Wen and Tao, 1998; McGlone *et al.*, 2005) ผลมะกอก (Salguero-Chaparro *et al.*, 2012) และลูกพีช (Gutierrez *et al.*, 2007) เป็นต้น

ระบบการตรวจสอบคุณภาพผลไม้แบบออนไลน์

ระบบการตรวจสอบคุณภาพผลไม้แบบออนไลน์ เป็นกระบวนการที่ใช้เทคโนโลยีในการตรวจสอบคุณภาพ เพื่อคัดเกรดผลไม้โดยพิจารณาจากคุณภาพภายนอกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และคุณภาพภายในที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Cubero *et al.*, 2011) ได้แก่ ลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ และอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นกับผลไม้ ทั้งนี้ความหมายของลักษณะปรากฏก็คือคุณภาพที่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก ได้แก่ ขนาด รูปร่าง สีและตำหนิภายนอกต่างๆ ส่วนความหมายของแบบออนไลน์ คือสามารถทำการตรวจสอบได้ในขณะที่ผลไม้กำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพาน หรือขณะกำลังถูกลำเลียงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ทั้งนี้จะสามารถประเมินคุณภาพของผลไม้แต่ละผลได้โดยใช้เทคนิคการวัดแบบไม่ทำลาย มีงานวิจัยที่นำเอาเทคโนโลยีแบบต่างๆ มาใช้ประเมินคุณภาพของผลไม้แบบไม่ทำลาย เช่น Kim และคณะ (2009) ทำการวัดความแน่นเนื้อของผลแอปเปิลโดยวิเคราะห์จากสัญญาณเสียง (ultrasonic), Jamshidi และคณะ (2012) ทำนายรสชาติของส้มพันธุ์วาเลนเซียจากสัญญาณแสงช่วงสายตามองเห็นและช่วงใกล้อินฟราเรด (visible and near infrared) ในขณะที่ Zhang และคณะ (2012) ประเมินความสุกของมะเขือเทศจากสัญญาณคลื่นแม่เหล็ก (magnetic resonance) ระบบจะทำการวัดและแปลงสัญญาณที่วัดได้ ออกมาเป็นสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่เชื่อถือได้ โดยมีวิธีและขั้นตอนการดำเนินการตามหลักการทางสถิติโดยจะนำเสนอในลำดับต่อไป เพื่อที่นำไปใช้ทำนายคุณภาพของผลไม้แต่ละผล และผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายถูกส่งไปในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อไปบังคับกลไกต่างๆเชิงกลสำหรับการคัดแยกเกรดของผลไม้แต่ละผลนั่นเอง ข้อดีอีกประการของระบบนี้คือ ข้อมูลของผลไม้แต่ละผลถูกบันทึกเก็บไว้ในหน่วยความจำ ทำให้สามารถนำข้อมูลกลับมาทวนสอบได้ อันจะเป็นประโยชน์อย่างมากเวลาที่ลูกค้ามีปัญหาหลังจากซื้อผลไม้ไปบริโภคแล้ว ทั้งนี้ระบบสามารถสืบค้นกลับไปหาแหล่งที่มาของวัตถุดิบได้ นอกจากนี้ยัง

สามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาใช้ประโยชน์ในการให้ข้อมูลกลับไปหาเกษตรกร เพื่อแก้ปัญหาและพัฒนาการปลูกผลไม้ให้ดีขึ้นได้เช่นกัน

การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย

สำหรับความหมายของ การตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย หรือ nondestructive evaluation ซึ่งหมายถึง การตรวจสอบโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายใดๆกับวัตถุที่ถูกตรวจสอบ (Shull, 2002) เมื่อวิธีการดังกล่าวถูกนำมาใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของผลไม้สด ก็หมายถึงสามารถประเมินคุณภาพทั้งภายนอกและภายในของผลไม้โดยไม่จำเป็นต้องปอกเปลือกออกนั่นเอง ดังนั้นจึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่สามารถคัดแยกคุณภาพของผลไม้ให้เป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค ทำให้ผู้บริโภคมั่นใจในผลไม้ที่ควักเงินในกระเป๋าจ่ายออกไป เพื่อแลกกับผลไม้ที่มีคุณภาพตามที่ตนต้องการ ในทางปฏิบัติการตรวจสอบเป็นที่ยอมรับก็ต่อเมื่อผลไม้ทุกผลต้องผ่านการตรวจสอบ ไม่ใช่วิธีการสุ่มตรวจเพียงบางตัวอย่าง ดังนั้นระบบตรวจสอบคุณภาพที่ยอมรับได้ต้องเป็นระบบที่สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง สะดวก รวดเร็ว สามารถใช้งานกับผลไม้ที่มีปริมาณมากๆได้ เป็นการตรวจสอบผลไม้ทีละผล และต้องตรวจสอบทุกผล ซึ่งเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย และสิ่งที่สำคัญคือต้องเป็นวิธีการที่ได้ผลลัพธ์จากการทำนายที่เชื่อถือได้

ตามที่ได้นำเสนอมาบ้างแล้วว่า คุณภาพของผลไม้สดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ อย่างแรกคือ คุณภาพที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น สี รอยตำหนิ รูปร่างลักษณะภายนอกของผลต่างๆ และคุณภาพที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ได้แก่ องค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีภายในผลที่ทราบได้ก็ต่อเมื่อทำการปอกเปลือกออกก่อน เช่น เนื้อสัมผัส ความหวาน ความเปรี้ยว หรือรวมถึงอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในผล เช่น อาการช้ำของเนื้อ อาการแห้ง แข็งและแกร็นของเนื้อ โดยคุณภาพทั้งสองลักษณะนี้ถูกใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลไม้แต่ละผลในแต่ละชนิด

เทคโนโลยีที่นำมาใช้เพื่อทำการคัดแยกคุณภาพผลไม้สด จึงต้องสามารถคัดแยกคุณภาพได้ทั้งสองลักษณะ และต้องไม่ทำให้ผลไม้เกิดความเสียหาย คือสามารถทำนายคุณภาพต่างๆ ของผลไม้แต่ละผลได้โดยไม่จำเป็นต้องปอกเปลือก และต้องนำมาออกแบบให้เป็นระบบคัดแยกที่ทำงานได้อย่างต่อเนื่องรวดเร็ว และผ่านการทดสอบว่ามีผลลัพธ์จากการทำนายที่เชื่อถือได้ ทั้งนี้เมื่อผลไม้แต่ละผลถูกคัดแยกเกรดแล้วจะถูกลำเลียงไปบรรจุลงในกล่องที่เตรียมไว้อย่างถูกต้องตามที่กำหนด เมื่อผลไม้ถูกจัดนำไปจำหน่ายก็จะทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อได้ตามความพอใจ โดยที่ไม่จำเป็นต้องไปคัดเลือกด้วยตนเองให้เสียเวลาอีก

เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

การตรวจสอบคุณภาพภายนอกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เป็นวิธีการเพื่อใช้ในการคัดแยกผลไม้โดยพิจารณาจากสภาพ

ภายนอกของผลไม้ ได้แก่ สี รอยตำหนิ ลักษณะที่ผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นบริเวณผิวด้านนอกของผลไม้ มีรายงานผลงานวิจัยที่ศึกษาการคัดแยกผลไม้จากลักษณะภายนอกโดยใช้เทคนิคประมวลภาพถ่าย เพื่อนำไปใช้ในระบบคัดแยกแบบออนไลน์สำหรับผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น การตรวจหาตำหนิบนผิวของผลแอปเปิล (Kleynen *et al.*, 2005) การตรวจหารอยช้ำที่ผิวของลูกท้อ (Zwiggelaar *et al.*, 1996) การตรวจหารอยตำหนิบนผิวของผลเชอรี่ (Guyer *et al.*, 2000) เทคนิคดังกล่าวสามารถนำไปใช้ตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพภายนอกของผลไม้ได้โดยอัตโนมัติแบบไม่ทำลายอย่างรวดเร็ว โดยสามารถดำเนินการได้ในขณะที่ผลไม้กำลังถูกลำเลียงอยู่บนสายพาน อย่างไรก็ตามเนื่องจากการตรวจสอบคุณภาพแบบนี้เป็นการพิจารณาจากลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าการคัดแยกสามารถดำเนินการได้โดยใช้คนที่มีความชำนาญการ และผ่านการอบรมมาอย่างดี มายืนด้านข้างของระบบสายพานลำเลียง และทำการคัดแยกผลไม้ที่ด้อยคุณภาพออกไป ทั้งนี้จะดำเนินการในขณะที่ผลไม้กำลังวิ่งอยู่บนสายพานลำเลียงได้เช่นเดียวกัน แต่เป็นวิธีการที่ต้องใช้แรงงานและมีโอกาสผิดพลาดได้มากกว่า

เทคนิคการตรวจสอบคุณภาพที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

การตรวจสอบคุณภาพภายในที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแบบไม่ทำลาย มีผู้ค้นคว้าวิจัยและมีรายงานผลงานวิจัยเป็นจำนวนมาก ซึ่งหลายงานวิจัยที่สามารถใช้เทคนิคมาตรวจสอบ และคัดแยกคุณภาพภายในของผลไม้หลายๆชนิด เช่น การใช้เทคนิค ultrasonic มาวิเคราะห์คุณภาพภายในของผลอาโวกาโด (Mizrach and Flitsanov,1999) การใช้เทคนิค MRI (magnetic resonance imaging) วิเคราะห์การเกิดสีน้ำตาลในผลแอปเปิ้ล (Gonzalez *et al.*, 2001) การใช้เทคนิค X-ray ใช้วิเคราะห์ความสุกแก่ของทุเรียน (Yantarasri *et al.*, 1998) การใช้เทคนิคไมโครเวฟวิเคราะห์อาการเนื้อแก้วในผลมังคุด (Tongleam *et al.*, 2004) แต่ปัญหาสำคัญคือการถ่ายทอดผลงานวิจัย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับทางปฏิบัติจริงยังมีอุปสรรคอยู่มาก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากหลายๆเรื่อง เช่น เมื่อนำมาใช้จริงแล้วอาจไม่ได้ผลดีเนื่องจากพบภาวะแทรกซ้อนที่ไม่เหมือนการทำงานในห้องปฏิบัติการ หรือเป็นวิธีการที่ยุ่งยากเกินไปที่จะนำมาใช้จริง หรือใช้เวลาในการตรวจสอบเป็นเวลานานเกินไป หรือต้นทุนสูงนับเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพผลไม้แบบออนไลน์

ในช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมามีนักวิจัยจำนวนมากได้นำเทคนิคที่เรียกว่า เนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีในการตรวจสอบและทำนายคุณภาพภายในของผลไม้หลากหลายชนิด การนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีแบบทะลุผ่านใช้ในงานวิจัย เพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพภายในของมังคุด (Teerachaichayut *et al.*, 2007) มีวัตถุประสงค์เพื่อที่คัดแยกมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วออกจากมังคุดปกติแบบไม่ทำลาย

และผลที่ได้ออกมาแสดงให้สามารถคัดแยกได้อย่างแม่นยำ ทำนายและการคัดแยกได้ถูกต้องสูง 92% อย่างไรก็ตามในงานวิจัยที่นำเอาเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีมาใช้นั้น เครื่องมือที่ใช้วัดจะต้องออกแบบเป็นพิเศษให้เหมาะสมสำหรับการวัดผลไม้แต่ละชนิด เนื่องจากผลไม้แต่ละชนิดมีขนาดและรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีเป็นการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพภายในของผลไม้ เช่น ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (soluble solids content) ของผลไม้ชนิดต่างๆ หรืออาการผิดปกติภายในผลไม้ เช่น อาการไส้สีน้ำตาลภายในผลแอปเปิล โดยไม่ต้องปอกเปลือกผลไม้ออก หรือเป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Nicola *et al.*, 2007) วิธีการสร้างสมการทำได้โดยต้องนำตัวอย่างผลไม้แต่ละผลมาตรวจวัดค่าการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้อินฟราเรด (750-2500 นาโนเมตร) โดยเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Figure 1) ข้อมูลที่ได้เป็นสเปกตรัม จากนั้นทำการผ่าแต่ละตัวอย่างเพื่อตรวจวัดคุณภาพภายใน โดยทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานและแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข ได้แก่ ค่าทางเคมีต่างๆ ทั้งนี้ค่าที่วิเคราะห์ที่ได้คือค่าที่ต้องการทำนาย หรือคือค่าที่สร้างสมการเพื่อมาทำนายนั่นเอง อาจจะเป็นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ หรือปริมาณกรด (acidity) หรือปริมาณความชื้น (moisture content) การจะสร้างสมการเพื่อทำนายคุณภาพที่ดี สมการควรได้มาจากตัวอย่างที่มีค่าทางเคมีที่มีการกระจายตัวของข้อมูลที่ดีและครอบคลุมช่วงตั้งแต่ค่าน้อยที่สุด ไปจนถึงค่าที่มากที่สุดของผลไม้ชนิดนั้นๆให้มากที่สุด จากนั้นนำข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลทางเคมีของตัวอย่างทั้งหมดมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อสร้างเป็นสมการสำหรับการทำนาย โดยใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis) และเมื่อได้สมการแล้วเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นว่าสมการมีประสิทธิภาพ จึงต้องทำการทดสอบสมการโดยวิธีนำสมการไปใช้ในการทำนาย (prediction) โดยการนำตัวอย่างผลไม้ที่ต้องการจะทำนายคุณภาพมาทำการวัดสเปกตรัม แล้วใช้สมการมาทำนายผล จากนั้นจึงตรวจสอบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ตรวจวัดได้จริงกับค่าที่ได้จากสมการ ถ้าผลยืนยันว่ามีความแม่นยำก็สามารถนำสมการไปใช้ในภาคปฏิบัติจริงได้นั่นเอง การประเมินประสิทธิภาพในการทำนายของสมการพิจารณาจากค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการทำนายหรือ standard error of prediction (SEP) และค่าความเอนเอียงหรือ bias หรือพิจารณาจากรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองของการทำนาย หรือ root mean square error of prediction (RMSEP) ที่ได้ เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าสมการมีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำเพียงใด โดยสมการที่มีความสามารถในการทำนายได้แม่นยำกว่าจะต้องมีค่า SEP และ bias หรือมีค่า RMSEP ที่ต่ำกว่า (Nicola *et al.*, 2007)

ข้อดีที่พบสำหรับการใช้เทคนิคเนียร์

Table 1. Applications of NIR spectroscopy in international publications for fruits.

Fruits	Applications	Statistical results	Reference
Apple	Firmness	SEP = 6.14 N	Peng and Lu (2008)
Apple	Soluble solids content	RMSEP = 0.5 Bx	Liu *et al.* (2006)
Avocado	Dry matter	RMSEP = 1.8 %	Clark *et al.* (2003)
Bayberry	Titratable acid	RMSEP = 2.89 g/l	Xie *et al.* (2011)
Grape	Soluble solids content	SEP = 1.11 Bx	Herrera *et al.* (2003)
Guava	Soluble solids content	SEP = 0.80 Bx	Hsieh and Lee (2005)
Jujube	Soluble solids content	RMSEP = 2.0-3.2 Bx	Wang *et al.* (2011)
Mango	Soluble solids content	RMSEP = 0.4 Bx	Saranwong *et al.* (2003)
Mangosteen	Soluble solids content	SEP = 0.7 Bx	Teerachaichayut *et al.* (2011)
Orange	Vitamin C	RMSEP = 3.9 mg/100g	Jun-fang *et al.* (2007)
Pear	Brown heart disorder	Accuracy = 91.2 %	Fu *et al.* (2007)
Plum	Soluble solids content	RMSEP = 0.45–0.61 Bx	Louw and Theron (2010)
Prune	Soluble solids content	SEP = 1.02 Bx	Slaughter *et al.* (2003)
Strawberry	Soluble solids content	SEP = 0.18 Bx	ElMasry *et al.* (2007)
Watermelon	Soluble solids content	RMSEP = 0.90 Bx	Tian *et al.* (2009)

N = the value of force in newton

Bx = degree Brix, approximate dissolved solid content in an aqueous solution in percentage by weight

SEP = the standard error of prediction

RMSEP = the root mean square error of prediction

อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีคือ เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับในระดับสากลว่าเป็นวิธีที่รวดเร็ว แม่นยำ เชื่อถือได้และเป็นวิธีการแบบไม่ทำลาย จากการที่เทคนิคนี้สามารถเก็บผลและส่งผลข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้งานในรูปของสัญญาณเพื่อไปบังคับกลไกเชิงกลอื่นๆได้ จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในระบบตรวจสอบและคัดแยกผลไม้แบบออนไลน์

มีรายงานผลการวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติจำนวนมาก ที่ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีมา ตรวจสอบคุณภาพภายในของผลไม้ชนิดต่างๆ โดยพิจารณาความแม่นยำในการทำนายได้จากค่า SEP และ bias หรือจากค่า RMSEP ทั้งนี้ค่าดังกล่าวถ้ายิ่งมีค่าน้อยก็ยิ่งแสดงให้เห็นถึงผลการทำนายที่แม่นยำมากนั่นเอง (Table 1)

สำหรับในประเทศไทย นักวิจัยได้ทำการวิจัยเพื่อประเมินคุณภาพของผลไม้ชนิดต่างๆของ

ไทย โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี และได้ผลตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ (Table 2) นอกจากนี้ยังมีรายงานผลงานวิจัยที่นำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีมากับผลไม้ไทย และได้ตีพิมพ์ลงในวิทยานิพนธ์ ได้แก่ การทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในส้มเขียวหวาน ได้ผลการทำนาย SEP = 0.494 °Bx, bias = 0.094 °Bx (วรรณกนก, 2546) การทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในชมพู่ ได้ผลการทำนายที่ดีที่สุดคือ SEP = 0.41 °Bx, bias = -0.08 °Bx (วลัยพร, 2548) และการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในมะม่วงได้ผลการทำนาย SEP = 0.40 °Bx (ศิรินนภา, 2546) จากผลงานวิจัยที่นำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีมาตรวจสอบคุณภาพภายในของผลไม้ไทยชนิดต่างๆ และได้ผลลัพธ์จากการทำนายที่แม่นยำ จึงเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพของเทคนิคนี้ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การวัดเพียงครั้งเดียว ยังสามารถนำไปใช้ทำนายคุณภาพต่างๆได้พร้อมกันโดยไม่จำเป็นต้องทำการวัดหลายหน แสดงได้ว่าเทคนิคนี้มีศักยภาพที่จะนำไปออกแบบเป็นระบบตรวจสอบ และคัดแยกคุณภาพของผลไม้ของไทยแบบออนไลน์ในภาคปฏิบัติจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตัวอย่างระบบตรวจสอบคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์

การนำเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีไปใช้คัดแยกคุณภาพผลไม้แบบออนไลน์ในประเทศไทยยังถือว่าเป็นเรื่องใหม่ แต่ในประเทศญี่ปุ่นมีการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ในการออกแบบระบบคัดแยกคุณภาพของผลไม้แบบออนไลน์ และถูกนำไปใช้งานในภาคปฏิบัติจริงเชิงพาณิชย์ในโรงงานคัดแยกคุณภาพและบรรจุผลไม้สดลงกล่อง (packing house) ในหลายแห่ง โดยนำไปใช้ทำนายคุณภาพของผลไม้ เช่น ใช้ในการทำนายปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของส้มและแอปเปิลในแต่ละผลอย่างต่อเนื่องและได้ผลที่รวดเร็วแม่นยำ สามารถคัดแยกคุณภาพและบรรจุลงกล่อง เพื่อจัดจำหน่ายเป็นการสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าได้เป็นอย่างดี เนื่องจากทำให้ผู้บริโภคมีความมั่นใจในคุณภาพ และสามารถเลือกซื้อผลไม้ได้ตามความต้องการ เช่น ผู้บริโภคมีความต้องการผลไม้ที่มีความเปรี้ยวแตกต่างกัน ก็สามารถที่เลือกซื้อตามความต้องการได้ นอกจากนี้ในโรงงานคัดแยกยังสามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่ทำการตรวจวัดผลไม้และบันทึกค่าไว้ ข้อมูลของผลไม้ที่ถูกบันทึกไว้สามารถย้อนกลับ (traceability) ไปสืบหาเกษตรกรผู้ปลูกผลไม้ได้ทันที คือเมื่อเกิดปัญหาขึ้นกับผลไม้นั้น โรงงานสามารถที่จะย้อนกลับไปหาข้อมูลของเกษตรกร เพื่อแจ้งให้เกษตรกรทราบถึงปัญหาหรือคุณภาพของผลผลิตของตน เพื่อที่ใช้เป็นแนวทางในการหาทางแก้ไขปัญหา และพัฒนาการปลูกเพื่อให้ได้คุณภาพผลผลิตที่ดีขึ้นและตรงกับความต้องการของตลาดอีกด้วย

ขั้นตอนการทำงานจริงของโรงงานคัดแยกและบรรจุผลไม้สดลงกล่องที่ใช้ระบบออนไลน์ เริ่มต้นจากผลไม้ของเกษตรกรถูกส่งเข้าใน

Table 2. Applications of NIR spectroscopy in national publications for fruits of Thailand

Fruits	Applications	Statistical results	Reference
Avocado (in Chiang Mai)	Dry matter and Fat	SEP = 1.15 %, bias = 0.16 % and SEP = 2.35 %, bias = -0.11 %	Rittiron *et al.* (2011)
Dragon fruit	Brix-acid ratio	SEP = 0.35	Wanitchang *et al.* (2010)
Guava	Phenolics and Soluble solids content	RMSEP = 2.63 mg/100g and RMSEP = 0.22 Bx	Chananiramitphon *et al.* (2011)
Longan	Soluble solids content	RMSEP = 0.706 Bx	Janhiran *et al.* (2011)
Mango	Chilling injury disorder and normal fruit	Signicant difference	Theanjumpol *et al.* (2008)
Mangosteen	Translucent fresh disorder	Accuracy = 84.8 % (interactance mode)	Noypitak *et al.* (2010)
Mangosteen	Translucent fresh quantity	SEP = 5.47 %	Nakawajana *et al.* (2011)
Mangosteen	Translucent fresh and gamboge disorders	Accuracy = 90 % and 81 % (transmittance mode)	Thanapase *et al.* (2010)
Mangosteen	Soluble solids content	SEP = 0.71 Bx, bias = -0.16 °Bx	Teerachaichayut *et al.* (2009)
Papaya ('Khaek Dum')	Soluble solids content	SEP = 0.80 Bx, bias = 0.06 °Bx	Rittiron *et al.* (2011)
Papaya ('Plukmailai')	Soluble solids content	SEP = 0.90 Bx, bias = 0.04 °Bx	Srimat *et al.* (2011)
Papaya ('Plukmailai')	Vitamin C	SEP = 4.56 mg/100ml bias = -0.10 mg/100ml	Sangwanangkul *et al.* (2011)

Bias = the mean difference between the true value and predicted value

สายการผลิต จากนั้นผลไม้จะไหลไปตามสายพาน และถูกลำเลียงต่อไปยังขั้นตอนต่างๆ เช่น ระบบล้างทำความสะอาด ระบบเคลือบผิว โดยทั้งหมดนี้ผลไม้มีการไหลอย่างต่อเนื่องบนสายพานลำเลียง เมื่อผลไม้ถูกลำเลียงเข้าสู่ระบบคัดแยกคุณภาพด้วยเครื่องตรวจวัดโดยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี ณ จุดนี้ผลไม้ถูกตรวจวัดแบบไม่ทำลายทีละผลอย่างต่อเนื่อง

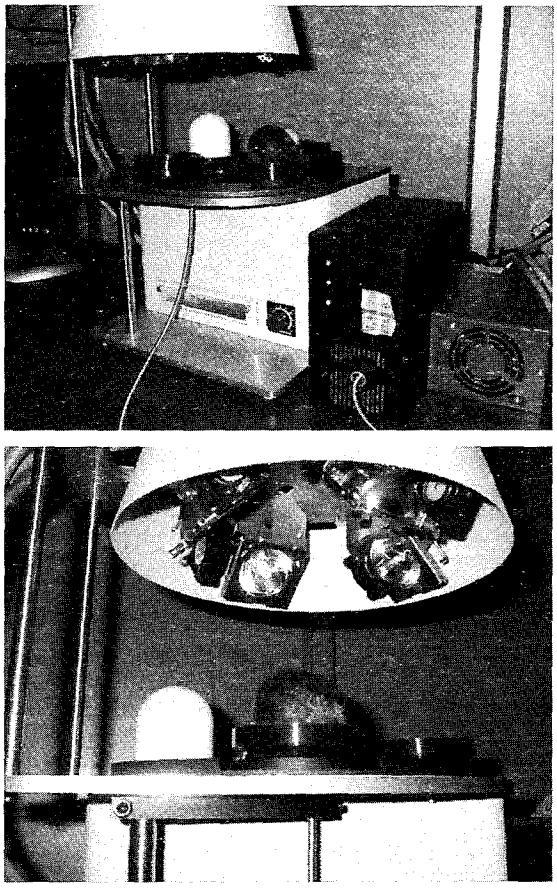

Figure 1. Near infrared spectrometer for quality evaluation of mangosteen in laboratory

ข้อมูลสเปกตรัมของทุกๆผล ถูกบันทึกไว้และนำมาวิเคราะห์โดยใช้สมการที่พัฒนาขึ้น ดังที่ได้นำเสนอมาแล้ว เพื่อใช้ในการทำนายตัวแปรที่อยากรู้ จากนั้นเมื่อผ่านการประมวลผลทำให้รู้ว่าคุณภาพภายในของผลไม้ผลนั้นๆ เป็นอย่างไร สัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังกลไกที่ทำหน้าที่คัดแยกผล โดยบังคับให้ผลไม้ในแต่ละเกรดถูกคัดแยกและถูกปล่อยลงในช่องทางที่กำหนดไว้ จากนั้นผลไม้ที่มีคุณภาพเหมือนกันในแต่ละเกรดก็ถูกบรรจุลงในกล่องที่เตรียมไว้ โดยแต่ละกล่องจะติดป้าย (tag) สำหรับบอกคุณภาพสินค้าไว้ เพื่อให้แต่ละกล่องสามารถถูกนำไปจัดเก็บในคลังสินค้าและแยกตามเกรด เมื่อต้องการจะจัดส่งสินค้าเกรดใดให้กับลูกค้าสามารถเรียกสินค้าจากคลังสินค้าเพื่อนำส่งได้อย่างถูกต้อง

สรุป

ระบบตรวจสอบคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์สามารถตรวจสอบคุณภาพได้จากลักษณะภายนอกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และคุณภาพภายในที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยไม่จำเป็นต้องปอกเปลือกผลไม้ออก หรือทำให้ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลไม้ รายงานผลการวิจัยแสดงเทคนิคประมวลภาพถ่ายและเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับใช้ทำนายคุณภาพต่างๆของผลไม้ สามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้การที่ระบบมีการบันทึกและเก็บข้อมูลของผลไม้ทุกผล นั่นหมายถึงว่า จะเป็นประโยชน์อย่างมากเวลาที่ลูกค้าที่ซื้อผลไม้ไปบริโภค และมีปัญหาเพราะสามารถนำข้อมูลกลับมาทวนสอบ เพื่อย้อนกลับไปหาแหล่งที่มาของวัตถุดิบได้

สำหรับในประเทศไทย ถ้าทุกภาคส่วนมองเห็นถึงประโยชน์และส่งเสริมให้นำเอาระบบการคัดแยกคุณภาพผลไม้แบบออนไลน์มาใช้ เป็นการเพิ่มความมั่นใจในการซื้อของผู้บริโภค อันส่งผลให้สามารถขยายตลาดส่งออกผลไม้ของไทยได้อย่างมาก โดยเฉพาะอย่างภาครัฐถ้าสามารถนำล่องจัดเป็นโรงคัดแยกคุณภาพผลไม้

ในแต่ละภาคของประเทศเป็นการยกระดับคุณภาพสินค้าผลไม้สดของเกษตรกร สามารถขยายตลาดส่งออกผลไม้สด เป็นแนวทางไปสู่การเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร ทำให้สามารถเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร หากมีระบบตรวจสอบคุณภาพผลไม้สดแบบออนไลน์จะเป็นการยกระดับมาตรฐานผลไม้ไทย ยกระดับราคา และเป็นการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า ทำให้ประเทศไทยที่มีชื่อเสียงในด้านการผลิตผลไม้ที่มีรสชาติดีอยู่แล้ว สามารถก้าวขึ้นเป็นผู้นำในการส่งออกผลไม้สดไปยังตลาดโลก สามารถขยายตลาดส่งออกและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันในเวทีการค้าโลกได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

วรรณกนก ทาสุวรรณ์. 2546. *การตรวจสอบคุณภาพของส้มเขียวหวานด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.* วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 133 หน้า.

วลัยพร เตียประสิทธิ์. 2548. *การทำนายค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณกรดทั้งหมดของชมพู่พันธุ์ทับทิมจันทร์ เพชรสามพราน และทูลเกล้า ด้วยเทคนิค near Infrared spectroscopy.* วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 151 หน้า.

ศิรินนภา ศรัณย์วงศ์. 2546. *การหาระดับความแก่สำหรับเก็บเกี่ยวของผลมะม่วงเพื่อการบริโภคสดแบบไม่ทำลายตัวอย่างโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี.* วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 176 หน้า.

Chananiramitphon, D., R. Rittiron and K. Thaipong. 2011. A high accuracy system for analysis of antioxidant (phenolics) and total soluble solids content in guava fruits by NIRs technique. *Agric. Sci. J.* 42(1) (suppl.): 307-310.

Chen, P. and Z. Sun. 1991. A review of non-destructive methods for quality evaluation and sorting of agricultural products. *J. Agric. Eng. Res.* 49: 85–98.

Clark, C.J., V.A. McGlone, C. Requejo, A. White and A.B. Woolf. 2003. Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 29: 300-307.

Cubero, S., N. Aleixos, E. Molt, J. Gmez-Sanchis and J. Blasco. 2011. Advances in machine vision applications for automatic inspection and quality evaluation of fruits and vegetables. *Food Bioprocess Tech.* 4 (4): 487-504.

ElMasry, G., N. Wang, A. ElSayed and M. Ngadi. 2007. Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. *J. Food Eng.* 81: 98–107.

Fu, X., Y. Ying, H. Lu and H. Xu. 2007. Comparison of diffuse reflectance and transmission mode of visible-near infrared spectroscopy for detecting brown heart of pear. *J. Food Eng.* 83: 317–323.

Gonzalez, J.J., R. C. Valle, S. Bobroff, W.V. Biasi, E.J. Mitcham and M.J. McCarthy. 2001. Detection and monitoring of internal browning development in 'Fuji' apples using MRI. *Postharvest Biol. Technol.* 22: 179–18.

Gutierrez, A., J. A. Burgos and E. Molto. 2007. Pre-commercial sorting line for peaches firmness assessment. *J. Food Eng.* 81: 721–727.

Guyer, D. and X. Yang. 2000. Use of genetic artificial neural networks and spectral imaging for defect detection on cherries. *Comp. Electron. Agric.* 29: 179–194.

Herrera, J., A. Guesalaga and E. Agosin. 2003. Shortwave-near infrared spectroscopy for non-destructive determination of maturity of wine grapes. *Meas. Sci. Technol.* 14: 689–697.

Hsieh, C. and Y. Lee. 2005. Applied visible/near-infrared spectroscopy on detecting the sugar content and hardness of pearl guava. *Trans. ASAE* 21: 1039–1046.

Jamshidi, B., S. Minaei, E. Mohajerani and H. Ghassemian. 2012. Reflectance Vis/NIR spectroscopy for nondestructive taste characterization of Valencia oranges. *Comput. Electron. Agric.* 85: 64–69.

Janhiran, A., W. Thanapase, S. Kasemsumran and J. Anusornwongchai. 2011. Determination of total soluble solids in longan fruits using near infrared instrument. *Agric. Sci. J.* 42 (suppl.): 51-54.

Jun-fang, X., L. Xiao-yu, L. Pei-wu, M. Qian and D. Xiao-xia. 2007. Application of wavelet transform in the prediction of navel orange vitamin C content by near-Infrared spectroscopy. *Agric. Sci. China* 6(9): 1067-1073.

Kim, K., S. Lee, M. Kim and B. Cho. 2009. Determination of apple firmness

by nondestructive ultrasonic measurement. *Postharvest Biol. Technol.* 52(1): 44–48.

Kleynen, O., V. Leemans and M.F. Destain. 2005. Development of a multi-spectral vision system for the detection of defects on apples. *J. Food Eng.* 69: 41–49.

Liu, Y., Y. Ying, H. Yu and X. Fu. 2006. Comparison of the HPLC method and FT-NIR analysis for quantification of glucose, fructose and sucrose in intact apple fruits. *J. Agric. Food Chem.* 54: 2810–2815.

Louw, E.D. and K.I. Theron. 2010. Robust prediction models for quality parameters in Japanese plums (*Prunus salicina* L.) using NIR spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 58: 176–184.

McGlone, V. A., P. J. Martinsen, C. J. Clark and R. B. Jordan. 2005. On-line detection of brownheart in Braeburn apples using near infrared transmission measurements. *Postharvest Biol. Technol.* 37(2): 142–151.

Mizrach, A. and U. Flitsanov. 1999. Nondestructive ultrasonic determination of avocado softening process. *J. Food Eng.* 40: 139-144.

Nakawajana, N., A. Terdwongworakul, A. Janhiran, S. Teerachaichayut and S. Pathaveerat. 2011. Investigation of using near infrared spectroscopy technique for prediction of translucent pulp quantity in mangosteen fruits. *Agric.I Sci. J.* 42(1) (suppl.): 123-126.

Nicolai, B. M., K. Beullens, E. Bobelyn, A. Peirs, W. Saeys, K. I. Theron and J. Lammertyn. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biol. Technol.* 46: 99-118.

Noypitak, S., A. Terdwongworakul and S. Pathaveerat. 2010. Discriminant analysis for nondestructive Separation of translucent flesh mangosteen by near Infrared spectroscopy. *Agric. Sci. J.* 41(1) (suppl.): 393-396.

Peng, Y. and R. Lu. 2008. Analysis of spatially resolved hyperspectral scattering images for assessing apple fruit firmness and soluble solids content. *Postharvest Biol. Technol.* 48: 52–62.

Rittiron, R., J. Sararuk, P. Uomthorn, S. Narongwongwattana and V. Srilaong. 2011. Quality assessment

of "Buccaneer" avocado cultivated in Chiang Mai by near infrared spectroscopy. *Agric. Sci. J.* 42(3) (suppl.): 93-96.

Rittiron, R., S. Thongdan-udom, L. Ratarpa and S. Narongwongwattana. 2011. Qualities determination of papaya (Khaek Dum) for consumption using near infrared spectroscopy. *Agric. Sci. J.* 42(3) (suppl.): 141-144.

Salguero-Chaparro, L., V. Baeten, O. Abbas and F. Pea-Rodrguez. 2012. On-line analysis of intact olive fruits by vis–NIR spectroscopy: optimisation of the acquisition parameters. *J. Food Eng.* 112 (3): 152–157.

Sangwanangkul, P., K. Iamjud, R. Rittiron and K. Thaipong. 2011. Nondestructive evaluation of vitamin C in 'Plugmailai' papaya fruit by NIRs technique. *Agric. Sci. J.* 42(1) (suppl.): 75-78.

Saranwong, S., J. Sornsrivichai and S. Kawano. 2003. Performance of a portable near infrared instrument for Brix value determination of intact mango fruit. *J. Near Infrared Spectrosc.* 11: 175–181.

Shull, P. J., 2002. *Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques, and Applications*. New York: Marcel Dekker, Inc. 841 p.

Slaughter, D.C., J.F. Thompson and E.S. Tan. 2003. Nondestructive determination of total and soluble solids in fresh prune using near infrared spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 28: 437-444.

Srimat, S., P. Sangwanangkul, R. Rittiron and K. Thaipong. 2011. Nondestructive determination of total soluble solids in 'Plukmailai' papaya fruit by near infrared spectroscopy technique. *Agric. Sci. J.* 42(1) (suppl.): 67-70.

Teerachaichayut, S., K.Y. Kil, A. Terdwongworakul, W. Thanapase and Y. Nakanishi. 2007. Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 43: 202–206.

Teerachaichayut, S., W. Thanapase, A. Terdwongworakul and S. Kasemsumran. 2009. Non-destructive soluble solids content evaluation of mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. *Agric.*

Sci. J. 40 (1): 55-64.

Teerachaichayut, S., A. Terdwongworakul, W. Thanapase and K. Kiji. 2011. Non-destructive prediction of hardening pericarp disorder in intact mangosteen by near infrared transmittance spectroscopy. *J. Food Eng.* 106: 206–211.

Theanjumpol, P., R. Suwapanich and V. Sardsud. 2008. Responsibility of chilling injury in mango cv. Nam Dok Mai Si Thong on near infrared. *Agric. Sci. J.* 39(3) (suppl.): 58-61.

Thanapase, W., S. Teerachaichayut, A. Terdwongworakul, S. Kasemsumran, A. Janhiran, S. Saranwong, S. Kawano, K. Shigefuji, K. Kiji and Y. Nitta. 2010. Non-destructive classification technique for translucent and Gamboge mangosteen by near infrared spectroscopy. *Agric. Sci. J.* 41(1) (suppl.): 369-372.

Tian, H., Y. Ying, H. Xu, H. Lu and L. Xie. 2009. Study on Vis/NIR spectra detecting system for watermelons and quality predicting in motion. Spectrosc. *Spect. Anal.* 29 (6):1536–1540.

Tongleam, T., N. Jittiwarangkul, P. Kumhom and K. Chamnongthai. 2004. Non-destructive grading of mangosteen by using microwave moisture sensing. Pages 650-653. *In: International Symposium on Communications and Information Technologies.* Sapporo, Japan.

Wanitchang, J., B. Jarimopas and A. Terdwongworakul. 2010. Maturity sorting of dragon fruit with partial least square regression model. *Agric. Sci. J.* 41(1) (suppl.): 365-368.

Wang, J., K. Nakano and S. Ohashi. 2011. Nondestructive evaluation of jujube quality by visible and near-infrared spectroscopy. *LWT- Food Sci. & Technol.* 44: 1119-1125.

Wen, Z. and Y. Tao. 1998. Fuzzy-based determination of model and parameters of dual-wavelength vision system for on-line apple sorting. *Opt. Eng.* 37(1): 293-299.

Xie, L., X. Ye, D. Liu and Y. Ying. 2011. Prediction of titratable acidity, malic acid, and citric acid in bayberry fruit by near-infrared spectroscopy. *Food Res. Int.* 44: 2198–2204.

Yantarasri, T., J. Sornsrivichai and P. Chen. 1998. X-ray and NMR for

nondestructive internal quality evaluation of durian and mangosteen fruits. *Acta Hort.* 464: 97-102.

Zhang, L., M. and J. McCarthy. 2012. Measurement and evaluation of tomato maturity using magnetic resonance imaging. *Postharvest Biol. Technol.* 67: 37–43.

Zwiggelaar, R., Q. Yang, E. Garcia-Pardo and C.R. Bull. 1996. Use of spectral information and machine vision for bruise detection on peaches and apricots. *J. Agric.Eng. Res.* 63: 323–332.