

## งานวิจัยการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสำหรับการประเมินคุณภาพภายในของทุเรียนและมังคุด (NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES FOR EVALUATION OF THE INTERNAL QUALITY OF DURIAN AND MANGOSTEEN: A REVIEW)

\*อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล<sup>1</sup> และ วารุณี ธนะแพสย์<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 1 หมู่ 6 ถนนมัลลีย์แมน กำแพงแสน นครปฐม 73140

<sup>2</sup> สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10903

ผู้เขียนติดต่อ: อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล E-mail: fengant@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

ปัญหาการส่งออกทุเรียนและมังคุดของประเทศไทยได้แก่ ทุเรียนอ่อน และอาการมังคุดเนื้อแก้ว มีการพัฒนางานวิจัยเพื่อหาเทคนิคการวัดแบบไม่ทำลายเพื่อประเมินทุเรียนอ่อน งานวิจัยเริ่มแรกเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการวัดความถี่ธรรมชาติของเสียงเคาะผล ผลการศึกษาพบว่า ความถี่ธรรมชาติของผลทุเรียนจะลดลงในขณะที่ทุเรียนมีความแก่มากขึ้นอย่างไรก็ตามความแตกต่างของความถี่ธรรมชาติมีค่าลดลงเมื่อเข้าใกล้ความแก่ที่เหมาะสม จากการสังเกตพบว่าเกษตรกรจะตรวจสอบดัชนีหลายค่าในการตัดสินใจเก็บเกี่ยวทุเรียน ดังนั้นจึงเพิ่มการวัดความแข็งแรงก้านร่วมกับการวัดความถี่ธรรมชาติของเสียงเคาะและวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสหสัมพันธ์แบบพหุคูณซึ่งได้ความแม่นยำเพิ่มขึ้น งานวิจัยต่อมาเป็นการใช้เทคนิคการวัดแสงสะท้อนที่มองเห็นได้จากปลายหนามซึ่งให้ผลความแม่นยำที่ดี งานวิจัยล่าสุดเป็นการวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ของเปลือกและก้านซึ่งเป็นการวัดทางอ้อมแต่ให้ความแม่นยำที่ดีในการจำแนกกลุ่มทุเรียนอ่อนจากทุเรียนปกติ อย่างไรก็ตามเทคนิคที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่สามารถนำไปสู่การพัฒนาเครื่องคัดแยกแบบต่อเนื่องในเชิงการค้าได้ สำหรับงานวิจัยตรวจสอบอาการเนื้อแก้วในมังคุด เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้เป็นเทคนิคที่สามารถตรวจสอบอาการเนื้อแก้วได้แม่นยำที่สุด โดยเป็นการวัดการส่องผ่านแสงอินฟราเรดย่านใกล้ของผลมังคุดที่ตำแหน่งต่างๆ รอบผล มังคุดที่มีอาการเนื้อแก้วจะดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้้น้อยกว่ามังคุดปกติ เทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ได้รับการพัฒนาไปเป็นเครื่องคัดแยกแบบต่อเนื่องและมีการใช้งานในทางการค้าเป็นผลสำเร็จ

คำสำคัญ: เทคนิคการวัดแบบไม่ทำลาย; ทุเรียนอ่อน; มังคุดเนื้อแก้ว

## NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES FOR EVALUATION OF THE INTERNAL QUALITY OF DURIAN AND MANGOSTEEN: A REVIEW

Anupun TERDWONGWORAKUL<sup>1</sup> and Warunee THANAPASE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Agricultural Engineering, Kasetsart University  
1 Moo 6 Malaiman Road, Kamphaengsaen, Nakhon Pathom 73140, Thailand

<sup>2</sup> Kasetsart Agricultural Agro-Industrial Product Improvement Institute, Kasetsart University  
50 Paholyothin Road, Ladyao, Chatujuk, Bangkok 10900, Thailand

Corresponding author: Anupun TERDWONGWORAKUL. E-mail: fengant@ku.ac.th

### ABSTRACT

Problems faced with exporting durians and mangosteens of Thailand involve immature durians and translucent mangosteens. There have been researches and development in determining the non-destructive techniques for evaluation of the immature durians. The initial research was the application of the resonant frequency measurement of the tapping sound of durian. The results showed that the resonant frequency decreased with the maturity. However, the difference in the resonant frequency was small during the period of proper maturity for harvest. It was noticed that the farmers practically assess multiple indices prior to making decision in harvest durian. Therefore next research was thus conducted on measurement of the stem strength in addition to the resonant frequency and the multiple linear regression was performed to develop a multivariate predicting model. Better accuracy in evaluation of

the immature durians was reported. Subsequent research was the measurement of the reflectance of the visible light irradiated on the spine. The results were showed to yield the improved accuracy. The latest research was conducted on the absorbance of the near infrared reflected from the peel and the stem. Promising accuracy was obtained in discriminant between the immature durian and normal durian. Nevertheless, the techniques were not suitable for development of the on-line and continuous sorting machine for commercial use. For the assessment of the translucent mangosteen, the near infrared spectroscopy found a success in accurate detection of the translucent mangosteen. The technique measured the transmittance of the near infrared light at various positions around the fruit. The translucent mangosteen normally absorbed more light than the normal mangosteen. Currently the near infrared technique was successfully developed into the commercially on-line sorting machine.

**Keywords:** Non-destructive technique; immature durian; translucent mangosteen

## 1. บทนำ

ทุเรียนเป็นผลไม้ส่งออกในรูปผลสดที่สำคัญของประเทศ ปัญหาที่เกิดกับการส่งออกทุเรียนมาโดยตลอดก็คือ การปะปนของทุเรียนด้อยคุณภาพโดยเฉพาะทุเรียนผลอ่อน เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตทุเรียนมีราคาตกต่ำลงการแก้ไขปัญหานี้วิธีหนึ่งคือ การหาดัชนีวัดความสุกแก่ของทุเรียนแบบวัตถุวิสัย (objective method) เพื่อใช้แยกทุเรียนผลอ่อนออกจากทุเรียนแก่ ถึงแม้จะมีการแนะนำให้ใช้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งของทุเรียน ซึ่งเป็นค่าที่สามารถหาได้โดยง่ายและเป็นที่ยอมรับทางวิชาการ เป็นดัชนีที่ใช้วัดความสุกแก่ของทุเรียนก็ตาม แต่ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งนั้นเป็นค่าที่ได้จากวิธีการวัดแบบทำลายผลทุเรียน จึงควรมีดัชนีที่ใช้วัดความสุกแก่ของทุเรียนโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลทุเรียนซึ่งสามารถประเมินค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งหรือวัดความแก่ทุเรียน

โดยปกติชาวสวนจะเก็บเกี่ยวทุเรียนโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติภายนอกของผลทุเรียนหลายอย่างประกอบกัน เช่น สีผล ความแข็งแรงก้านผล เคาะฟังเสียง ความต้านทานแรงบีบปลายหนามเข้าหากัน อายุผลหลังดอกบาน เป็นต้น [1] แต่การพิจารณาแบบนี้เป็นการวัดแบบอัตวิสัย (subjective method) ซึ่งต้องใช้ความชำนาญและประสบการณ์ของผู้วัดเป็นสำคัญอาจเกิดความผิดพลาดได้ง่าย วิธีการเคาะและฟังเสียงเป็นวิธีที่สามารถนำมาปรับให้เป็นวิธีการวัดแบบวัตถุวิสัยได้ง่ายโดยใช้เทคนิคเคาะและเก็บค่าสัญญาณเสียงโดยทุเรียนแก่จะมีเสียงแหลมไม่ตึบแน่น ความแข็งแรงของก้านผลเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่ามาใช้พิจารณาความสุกแก่ของผลทุเรียนจากประสบการณ์ของชาวสวนทุเรียน ทุเรียนที่มีอายุมากขึ้น ก้านผลจะแข็งและมีแรงตึงกลับคล้ายสปริง การวัดความแข็งแรงของก้านผลสามารถวัดในลักษณะวัตถุวิสัยได้โดยใช้เครื่องมือวัด

มังคุดจัดเป็นราชินีของผลไม้ มีมูลค่าการส่งออกที่สูง อย่างไรก็ตามมังคุดเนื้อแก้วจัดเป็นมังคุดที่ผิดปกติในสายตาของผู้บริโภคต่างประเทศ ดังนั้นผู้ส่งออกมังคุดจึงมีความต้องการเครื่องมือที่สามารถคัดแยกมังคุดเนื้อแก้วออกจาก

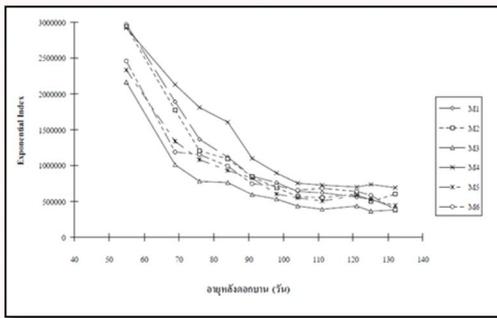
มังคุดปกติได้โดยไม่ทำลาย ซึ่งในปัจจุบันวิธีที่นิยมคือการนำมังคุดไปแช่น้ำ [2] โดยมีมังคุดที่จมน้ำมักจะเป็นมังคุดเนื้อแก้ว ซึ่งหมายถึงว่า มังคุดเนื้อแก้วจะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่ามังคุดปกติ เนื่องจากเนื้อแก้วมีสาเหตุมาจากผลมังคุดดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วเมื่อมีความแห้งแล้งต่อเนื่องยาวนานและเกิดฝนตก อย่างไรก็ตามความถ่วงจำเพาะจะแปรปรวนตามฤดูกาล จึงทำให้วิธีการแช่น้ำมีความแม่นยำไม่สูงนัก ดังนั้นผู้ส่งออกโดยทั่วไปจะใช้วิธีผ่าเปิดมังคุดออกดูทุกผลและปิดกลับแล้วพินทุกรอบผล และส่งออกในรูปแบบมังคุดสดแช่แข็งแทน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ยุ่งยาก

บทความนี้นำเสนองานวิจัยเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายแบบต่างๆ เพื่อประเมินทุเรียนอ่อนและตรวจวัดมังคุดเนื้อแก้ว

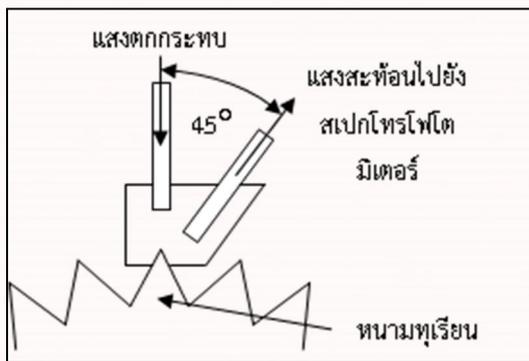
## 10. การตรวจวัดทุเรียนอ่อน

### การวัดความถี่ธรรมชาติ

Terdwongworakul et al. (1997) [3] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงดัชนีเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential index) ซึ่งคือ  $f \ln(m)$  โดยที่  $f$  คือ ความถี่ธรรมชาติของสัญญาณเสียงเคาะ และ  $m$  คือ มวลของผลทุเรียน โดยเคาะทุเรียนที่มีอายุหลังดอกบานตั้งแต่ 55 วันจนถึง 133 วันของทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ขณะแก่บนต้นโดยใช้อายุหลังดอกบานเป็นค่าอ้างอิงของความแก่ (รูปที่ 1) ผลการศึกษาพบว่าดัชนีเอ็กซ์โปเนนเชียลเฉลี่ยจะมีค่าลดลงเมื่อทุเรียนมีอายุหลังดอกบานมากขึ้น อย่างไรก็ตามความแปรปรวนในกลุ่มตัวอย่างที่อายุหลังดอกบานเท่ากันมีค่าสูงจึงทำให้ค่าดัชนีเอ็กซ์โปเนนเชียลของทุเรียนที่มีอายุหลังดอกบานใกล้เคียงกันบางผลไม่แตกต่างกัน นอกจากนั้นอัตราการลดลงของดัชนีจะน้อยเมื่อทุเรียนแก่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยว (รูปที่ 2) ดังนั้นจึงไม่สามารถนำดัชนีเอ็กซ์โปเนนเชียลมาใช้วัดความแก่ทุเรียนเพื่อเก็บเกี่ยวสำหรับป้องกันทุเรียนดิบเข้าสู่ตลาดได้อย่างแม่นยำเพียงพอ



รูปที่ 1 เครื่องมือที่ใช้วัดความถี่ธรรมชาติของทุเรียน



รูปที่ 2 การลดลงของดัชนีเอ็กซ์โปเนนเชียลตามอายุหลังดอกบาน

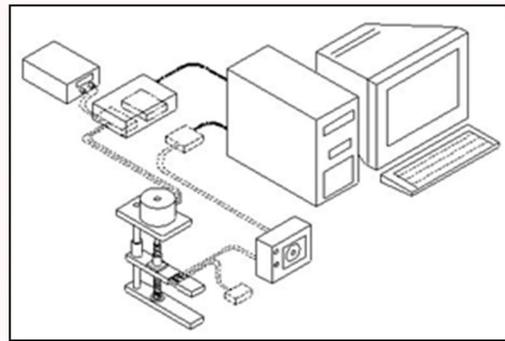
### การวัดความถี่ธรรมชาติและความแข็งแรงของก้าน

ในการเก็บเกี่ยวทุเรียนเกษตรกรจะพิจารณาคุณสมบัติหลายอย่างในการตัดสินใจเลือกทุเรียนแก่ ดังนั้นงานวิจัยต่อมาจึงเป็นการวัดคุณสมบัติแบบพหุคุณ อนุพันธ์ และ อนุทวีคูณ (2549) [4] ศึกษาการวัดความแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบไม่ทำลาย โดยนำผลทุเรียน 130 ผล ที่เก็บเกี่ยวใน 7 ช่วงอายุหลังดอกบานตั้งแต่ 105 วัน จนถึง 136 วัน ตั้งแต่อ่อนจนแก่มาวัดความแข็งแรงก้านด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นโดยเฉพาะ โดยบันทึกแรงกดตามแนวรัศมีกับระยะกด (รูปที่ 3) และวัดเสียงเคาะเพื่อนำมาหาความถี่ธรรมชาติ เนื้อทุเรียนถูกนำมาอบแห้งเพื่อหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งสำหรับใช้เป็นดัชนีอ้างอิงความแก่ของทุเรียน

การวิเคราะห์สถิติเพื่อศึกษาความสัมพันธ์พบว่า สำหรับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงก้านนั้น พื้นที่ใต้กราฟแรงกดกับระยะกดหรือพลังงานที่ใช้ในการกด มีความสัมพันธ์ทางบวกกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งโดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$r = 0.808$  และความถี่ธรรมชาติเสียงเคาะมีความสัมพันธ์ทางลบกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งที่  $r = -0.448$  เมื่อวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณโดยเลือกตัวแปรทำนายเข้าโมเดลแบบขั้นพบว่า พื้นที่ใต้กราฟแรงกดกับระยะกดและความถี่ธรรมชาติมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเนื้อแห้งโมเดลพหุคูณที่ได้เมื่อนำไปทำนายมีค่า  $r = 0.844$  ซึ่งแสดงให้เห็นว่า

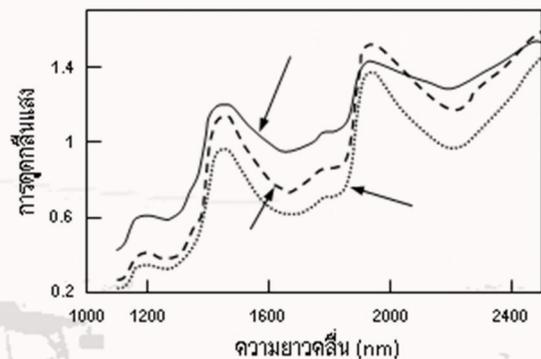
โมเดลถดถอยพหุคูณมีความแม่นยำมากกว่าโมเดลถดถอยอย่างง่ายที่ใช้ตัวแปรทำนายเพียงตัวแปรเดียว



รูปที่ 3 อุปกรณ์วัดความแข็งแรงก้านผลทุเรียน

### การวัดการดูดกลืนแสงของหนามทุเรียน

งานวิจัยอีกงานหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับการวัดการดูดกลืนแสงของทุเรียนที่สัมพันธ์กับความอ่อน-แก่ได้แก่ การวัดการดูดกลืนแสงของปลายหนามทุเรียนในย่านแสงที่มองเห็นได้ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 350 nm ถึง 700 nm (Timkhum and Terdwongworakul, 2012) [5] ซึ่งเป็นย่านที่ต่อเนื่องจากอินฟราเรดย่านใกล้ ทั้งนี้เนื่องจากสีของปลายหนามเป็นอีกดัชนีหนึ่งที่เกษตรกรใช้ในการประเมินความอ่อน-แก่ของทุเรียนเช่นเดียวกัน โดยในงานวิจัยนี้เป็นการวัดการดูดกลืนแสงในรูปแบบการสะท้อนแสงของปลายหนามทุเรียนที่ส่วนกลางของพูที่สมบูรณ์จำนวน 3 พู (รูปที่ 4) โดยศึกษากับตัวอย่างผลทุเรียนที่เก็บเกี่ยวที่อายุหลังดอกบาน (days after anthesis, DAA) 99, 106, 113, 120, 127 และ 134 วัน



รูปที่ 4 การวัดการดูดกลืนแสงของปลายหนามทุเรียน

(ที่มา: Timkhum and Terdwongworakul., 2012)

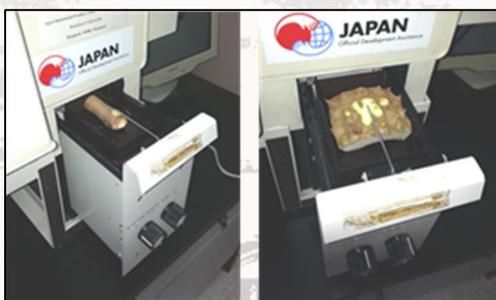
## 11. การวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ของเปลือกและหนาม

Somton et al. (2014) [6] ประยุกต์เทคนิค NIR เพื่อสร้างโมเดลในการทำนายน้ำหนักเนื้อแห้ง แต่ปัญหาคือ เปลือกทุเรียนมีความหนาแน่นทำให้แสงไม่สามารถทะลุผ่านเปลือกเข้าไปถึงเนื้อได้ อย่างไรก็ตามเกษตรกรสามารถใช้การเปลี่ยนแปลง

ของก้านและเปลือกมาเป็นดัชนีในการประเมินความอ่อน-แก่ของทุเรียน ดังนั้น Somton et al. (2014) จึงวัดการดูดกลืนแสงในรูปแบบสะท้อนแบบแพร่ของก้านและเปลือกแทน (รูปที่ 5) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ข้อมูลการดูดกลืนแสงของก้านและเปลือกมาจำแนกทุเรียนออกเป็นกลุ่มความแก่ทุเรียน 3 กลุ่ม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มแบบตัวแปรพหุคูณที่เรียกว่า discriminant analysis สร้างโมเดลด้วยข้อมูลการดูดกลืนแสงของก้าน เปลือก และก้านรวมกับเปลือก ซึ่งให้ความแม่นยำในการจำแนกทุเรียนเท่ากับ 91.7%, 84.7% และ 91.4% ตามลำดับ ข้อมูลจากก้านอย่างเดียวให้ความแม่นยำในการจำแนกทุเรียนมากกว่าข้อมูลจากเปลือกอย่างเดียว เหตุผลหนึ่งคือ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของก้านมีความใกล้เคียงกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของเนื้อ (รูปที่ 6) และเมื่อนำข้อมูลของก้านและเปลือกมารวมกันในการสร้างโมเดลจะให้ความแม่นยำในการจำแนกสูงสุด งานวิจัยนี้เป็นการทำลายบางส่วนของเนื้อในทุเรียนระหว่างการวัดการดูดกลืนแสงของก้านและเปลือกต้องปาดเปลือกของก้านและหนามของเปลือกออกให้ผิวเรียบเพื่อลดผลกระทบจากการกระเจิงแสง อย่างไรก็ตามผลวิจัยของการศึกษานี้เป็นก้าวแรกในการนำไปสู่การวิจัยเพื่อให้ได้เทคนิคที่ไม่ต้องทำลายตัวอย่างทุเรียนต่อไปในอนาคต



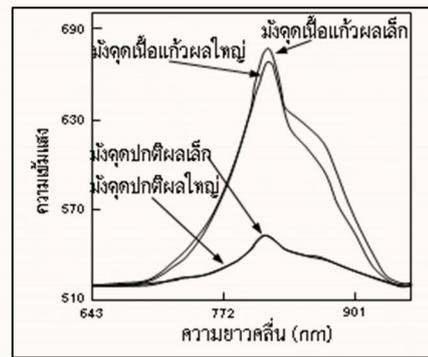
(ก)



(ข)

(ค)

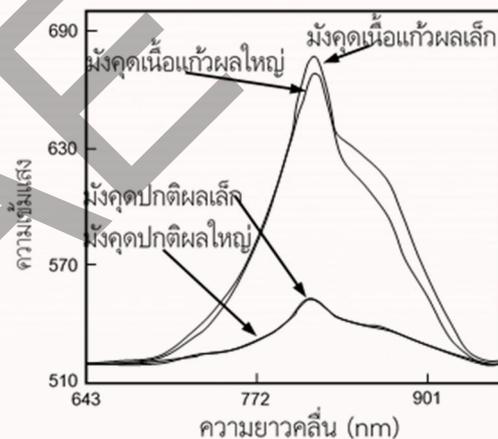
รูปที่ 5 (ก) ผลทุเรียนและการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ (ข) ก้าน และ (ค) เปลือกทุเรียน (ที่มา: Somton et al., 2014)



รูปที่ 6 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของเนื้อทุเรียน (pulp) ก้าน (stem) และเปลือก (rind) (ที่มา: Somton et al., 2014)

## 12. การตรวจสอบมังคุดเนื้อแก้ว

มังคุดออกเป็นมังคุดเนื้อแก้วและเนื้อปกติได้แม่นยำถึง 92% สำหรับมังคุดตัวอย่างที่ไม่เป็นเปลือกแข็ง



รูปที่ 7 สเปกตรัมความเข้มแสงที่ส่องผ่านผลมังคุดเนื้อแก้ว (translucent flesh) และมังคุดเนื้อปกติ (normal flesh) ที่มีขนาดผลต่างกัน

(ที่มา: Teerachaiyut et al., 2007)

ในงานวิจัยระดับปริญญาเอกดังกล่าวเป็นการศึกษารูปแบบการวัดเก็บข้อมูลที่เหมาะสม พลังงานแสงที่ใช้ที่สูงเพียงพอแต่ไม่ทำให้เกิดการไหม้ ลักษณะการวางผลที่เหมาะสมที่ทำให้ได้สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างผลมังคุดปกติและผลมังคุดที่มีอาการเนื้อแก้ว ผลการวิจัยพบว่าโมเดลที่พัฒนาจากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดย่านใกล้สามารถคัดแยกมังคุดออกเป็นผลปกติและผลที่เป็นเนื้อแก้วด้วยความแม่นยำถึง 92% ซึ่งผลจากการวิจัยในระดับปริญญาเอกนี้ได้รับการต่อยอดโดยความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บริษัท SAIKA Technological Institute Foundation และรัฐบาลญี่ปุ่นในการพัฒนาเป็นเครื่องคัดแบบออนไลน์ที่สามารถใช้ในทางการค้าได้ ซึ่งหลังจากความร่วมมือเป็นเวลา 3 ปี ทำให้ได้เครื่องคัดมังคุดเนื้อแก้ว

แบบออนไลน์ ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือดังกล่าวได้มีการนำไปใช้งานจริงโดยบริษัทส่งออกมังคุดรายใหญ่ของประเทศไทย

อย่างไรก็ตามเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้นี้ยังไม่สามารถนำไปประยุกต์เพื่อวัดผลทุเรียนทั้งผลเพื่อคัดแยกทุเรียนอ่อนได้โดยตรง เนื่องจากเปลือกทุเรียนมีความหนากว่าเปลือกมังคุดทำให้แสงไม่สามารถส่องผ่านผลเพื่อนำข้อมูลเกี่ยวกับเนื้อทุเรียนออกมาให้วัดได้

### 13. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับทุนอุดหนุนวิจัย

### 14. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ketsa, S.. 1997. Durian, pp. 323-334. In S. K. Mitra, ed. Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits. CABI., Wallingford.
- [2] นิวัฒน์ พรหมแพทย์. 2533. มังคุดเพื่อการส่งออก. ชมรมไม้ผลแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- [3] Terdwongworakul, A., Srichonpet, S., Poniym, K. and Sukhareon, A. (1997) Investigation of change of exponential frequency index as related to durian maturity, Proceedings of 5th International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering, 3-10 September 1997, UC Davis, California USA.
- [4] อนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล และ ณัฐภูมิ เนียมสอน (2549) การวัดความสุกแก่ทุเรียนพันธุ์หมอนทองแบบไม่ทำลายด้วยความแข็งแรงก้านผลและความถี่เสียง, วิศวกรรมสาร มช. ฉบับที่ 5 ปีที่ 33 กันยายน-ตุลาคม 2549 หน้า 555-563.
- [5] Timkhum, P. and Terdwongworakul, A. (2012). Non-destructive classification of durian maturity of 'monthong' cultivar by means of visible spectroscopy of the spine. Journal of Food Engineering, 112(4), 263-267.
- [6] Somton, W., Pathaveerat, S. and Terdwongworakul, A. (2014) Application of near infrared spectroscopy for indirect evaluation of 'Monthong' durian maturity. International Journal of Food Properties, DOI:10.1080/10942912.2014.891609, Accepted author version posted online: 28 Jul 2014.

- [7] Teerachaichayut, S., Kil, K. Y., Terdwongworakul, A., Thanapase, W. and Nakanishi, Y. (2007) Non-destructive prediction of translucent flesh disorder in intact mangosteen by short wavelength near infrared spectroscopy. Postharvest Biology and Technology, 43, 202-206.