บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทุเรียนเป็นสินค้าเกษตรที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกที่สำคัญของโลก เนื้อที่ให้ผลทุเรียนในปี พ.ศ. 2558 ของประเทศเป็น 573,293 ไร่ ผลผลิตทุเรียนเท่ากับ 603,332 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558 คิดเป็นมูลค่าในการส่งออกในปี 2558 เท่ากับ 15,563.23 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558 ตลาดส่งออกที่สำคัญของทุเรียนไทย 5 ลำดับ ได้แก่ ประเทศจีน ฮ่องกง อินโดนีเซีย ไต้หวัน และญี่ปุ่นในปี 2555 (กระทรวงพาณิชย์ 2556) ทุเรียนมีแนวโน้มที่จะส่งออกเพิ่มขึ้นสืบเนื่องจากข้อตกลงการค้าเสรี การกีดกันทางการค้าที่ไม่ใช่ภาษีของการนำเข้าทุเรียนในแต่ละประเทศแตกต่างกัน ดังนั้นคณะกรรมการสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติออกประกาศกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง ทุเรียน ไว้ใช้เป็นมาตรฐานสมัครใจเพื่อให้ทุเรียนของไทยเป็นที่ยอมรับในระดับชาติและระดับสากล เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและส่งเสริมการส่งออก ลักษณะภายนอกของผลทุเรียนที่แก่ได้ที่ ตามที่กำหนดในมาตรฐาน ได้แก่ขั้วผลแข็ง สีเข้ม เมื่อสัมผัสขั้วจะรู้สึกสาก มือ บริเวณรอยต่อระหว่างขั้วผลและก้านผล ซึ่งเรียกว่าปากปลิงบวมโต เมื่อจับขั้วผลแล้วแกว่งผลทุเรียนจะรู้สึกว่าขั้วผลแข็ง และมีสปริงมากขึ้น ร่องหนามห่าง เมื่อบีบปลายหนามเข้าหากันจะรู้สึกว่ามีสปริง ปลายหนามเริ่มแห้ง มีสีน้ำตาล สังเกตเห็นรอยเป็นแนวยาวบนสันพูได้ชัดขึ้น ยกเว้นพันธุ์ก้านยาว ลักษณะภายในขั้นต่ำของผลแก่ได้ที่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองได้แก่เนื้อสีขาวปนเหลืองอ่อน ผิวเมล็ดสีครีมเป็นน้ำตาล และมีน้ำหนักเนื้อแห้งขั้นต่ำร้อยละ 32 น้ำหนักเนื้อแห้งดังกล่าวเทียบเท่ากับทุเรียนที่มีจำนวนวันสุกหลังการเก็บเกี่ยวในสภาพธรรมชาติประมาณ 6-9 วัน (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2546) Siriphanich and Sangwanangkul (2000) เสนอว่าการตัดสินจากน้ำหนักเนื้อแห้งและปริมาณน้ำตาลในเนื้อทุเรียนที่ระดับความสุกแก่ในการค้าขาย 70, 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ จะเทียบเท่ากับทุเรียนที่มีอายุ 106, 113 และ 120 วันหลังดอกบาน ทุเรียนที่จะเก็บเกี่ยวได้ต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 106 วันหลังดอกบาน และจะต้องมีน้ำหนักเนื้อแห้งอย่างน้อย 32 เปอร์เซ็นต์ คณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ได้ออกประกาศเรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ : ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยสินค้าเกษตรและอาหาร พ.ศ. 2548 (National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards, 2005) กำหนดให้การหาค่าน้ำหนักเนื้อแห้งซึ่งเกี่ยวข้องกับความชื้นและสารที่ระเหยได้ให้ใช้มาตรฐาน AOAC 950.01 หรือเทียบเท่า วิธีการนี้ถึงแม้จะได้ค่าแน่นอน แต่เป็นวิธีการที่ต้องทำให้ตัวอย่างเสียหาย (destructive) และใช้เวลานาน โดยต้องใช้ตัวอย่างขนาด 2 กรัม อบจนแห้งในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ใช้เวลา 5 ชั่วโมง และต้องทำการวิเคราะห์โดยการสุ่มชักตัวอย่าง ไม่สามารถทำได้ทุกผลหรือทุกพู นอกจากนี้คุณภาพที่เกี่ยวกับการรับประทานของเนื้อทุเรียนได้แก่ เนื้อสัมผัส ความชื้น และความหวาน เป็นสมบัติ

ที่ผู้บริโภคคำนึงถึงเป็นสิ่งที่ควรตรวจสอบโดยวิธีไม่ทำลายโดยให้ได้ค่าทั้งหมดในการวัดในคราวเดียว ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาวิธีวัดโดยไม่ทำลาย (nondestructive) และรวดเร็วทำได้ทุกผลหรือทุกพูโดยใช้วิธีเนียร์อินฟราเรดสแปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy; NIRS) เพื่อคัดแยกทุเรียนตามความสุกแก่โดยไม่ทำลายหรือทำให้เสียหาย ใช้เวลาในการวัดน้อย และสามารถตรวจวัดความสุกแก่ได้ทุกผลก่อนเก็บหรือก่อนส่งออก และตรวจคุณภาพเนื้อที่เกี่ยวกับการรับประทานได้ทุกพูโดยไม่ทำลาย สำหรับการขายในห้างสรรพสินค้าซึ่งจะเพิ่มการยอมรับในระดับชาติและระดับสากล เพิ่มความมั่นใจให้ผู้บริโภค ผู้ขาย และชาวสวน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการประเมินความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการส่งออกและการประเมินคุณภาพการรับประทาน (เนื้อสัมผัส ความชื้น และความหวาน) ของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการขายในห้างสรรพสินค้าซึ่งเป็นวิธีไม่ทำลายช่วยให้ประหยัดเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองในการประเมินความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการส่งออกและการประเมินคุณภาพการรับประทานของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการขายในห้างสรรพสินค้าด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

1.2.3 เพื่อประยุกต์แบบจำลองที่ได้ใน 2 ใช้จริงในสวนทุเรียนเพื่อการส่งออกและห้างสรรพสินค้าเพื่อเพิ่มความมั่นใจให้ผู้บริโภค ผู้ขาย และชาวสวน

1.2.4 เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อการประเมินความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการส่งออกและการประเมินคุณภาพการรับประทานของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการขายในห้างสรรพสินค้า

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ใช้ทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากสวนที่ผลิตเพื่อการส่งออกเท่านั้นและการวิจัยจะใช้ความยาวช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรดระหว่าง 700 – 2500 nm

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองในการประเมินความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการส่งออกและการประเมินคุณภาพการรับประทานของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการขายในห้างสรรพสินค้าโดยตรงด้วยวิธีไม่ทำลายโดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

2. สามารถประยุกต์แบบจำลองที่ได้ใน 1 ใช้จริงในสวนทุเรียนเพื่อการส่งออกและห้างสรรพสินค้าเพื่อเพิ่มความมั่นใจให้ผู้บริโภค ผู้ขาย และชาวสวน หรือหน่วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจคุณภาพของเนื้อทุเรียน เพื่อลดเวลา และแรงงานในการตรวจสอบซึ่งหมายถึงการลดต้นทุนในการผลิต
3. ได้องค์ความรู้ใหม่ในการประยุกต์ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเพื่อการประเมินความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการส่งออกและการประเมินคุณภาพการรับประทานของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการขายในห้างสรรพสินค้า
4. สามารถเพิ่มศักยภาพของการปรับปรุงและประกันคุณภาพของการผลิตทุเรียนทั้งเพื่อการส่งออกและบริโภคภายในประเทศได้ ทำให้ผู้บริโภค ผู้ขาย และชาวสวนสามารถมั่นใจในคุณภาพของผลิตภัณฑ์
5. ผลงานสามารถจดสิทธิบัตร หรือเผยแพร่ในวารสารระดับชาติและระดับนานาชาติได้
6. นอกจากนี้นักศึกษาที่เข้าร่วมโครงการนี้ระดับปริญญาตรี โทและเอก จะได้รับความรู้และทักษะในการตรวจวัดความสุกแก่ของทุเรียนและการประเมินคุณภาพที่เกี่ยวกับการรับประทานของเนื้อทุเรียน และเทคนิคทางเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

1.5 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

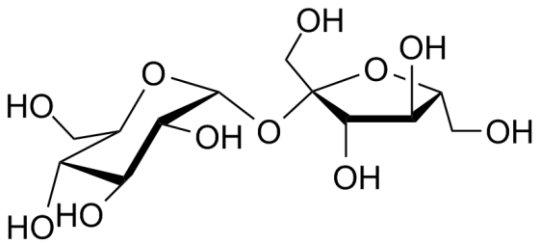
องค์ประกอบหลักทางเคมีของเนื้อทุเรียน แสดงดังตารางที่ 1.1 จะเห็นว่าเนื้อทุเรียนมีน้ำเป็นองค์ประกอบถึง 65% คาร์โบไฮเดรตในเนื้อทุเรียนมีถึง 27% ประกอบด้วยแป้งและน้ำตาลในเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองมีปริมาณแป้ง 9-10% ของน้ำหนักเนื้อ (จริงแท้ 2538) ปริมาณน้ำตาลของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่มีความสุกพอเหมาะในการรับประทาน 40 g จะมีปริมาณน้ำตาล ทั้งหมด 8.52 g แบ่งเป็น ฟรุ๊กโตส 0.38 g กลูโคส 0.40 g และซูโครส 7.74 g (พิมพร 2556) จะเห็นว่าซูโครสเป็นองค์ประกอบน้ำตาลหลัก

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบหลักทางเคมีของเนื้อทุเรียน (วิกิพีเดีย 2556)

ทุเรียน (*Durio zibethinus*) องค์ประกอบหลักต่อ 100 g	
คาร์โบไฮเดรต	27.09 g
เส้นใย	3.8 g
ไขมัน	5.33 g
โปรตีน	1.47 g
น้ำ	65 g

การใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทสโกปีเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงสเปกตรัมของตัวอย่าง ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ในกรณีนี้คือ เนื้อทุเรียน กับองค์ประกอบทางเคมีที่สนใจ เช่นใน

กรณีงานวิจัยนี้คือ เนื้อสัมผัส ความชื้น น้ำหนักเนื้อแห้ง และความหวาน หรือความสุกแก่ ความเป็นไปได้ในการนำเทคนิคนี้มาใช้คือ การที่องค์ประกอบทางเคมีมีการดูดซับคลื่นเนียร์อินฟราเรดที่ความยาวคลื่นเฉพาะ เช่น กรณีการวัดความชื้นหรือน้ำ น้ำมีการดูดซับคลื่นที่ความยาวคลื่น (Osborne and Fearn 1993) ที่760 nm ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของ O-H str. third overtone ที่ 970 nm ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของ O-H str. second overtone ที่ 1450 nm ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของ O-H str. first overtone ที่ 1940 nm ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของ O-H str. + O-H def. กรณีการวัดน้ำหนักเนื้อแห้งจะเห็นว่าน้ำหนักเนื้อแห้งมีค่าเท่ากับ 100-เปอร์เซ็นต์ความชื้น ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการประเมินค่าน้ำหนักเนื้อแห้งโดยใช้เทคนิคนี้เช่นกัน กรณีการวัดความหวานของเนื้อทุเรียน ซึ่งมีน้ำตาลซูโครสเป็นองค์ประกอบหลัก จะเห็นว่าจากโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลซูโครส (ภาพที่ 1.1) จะเห็นว่ามีพันธะ O-H ซึ่งจาก Osborne and Fearn (1993) รายงานว่าที่ 1440 และ 2080 nm ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนของ O-H str. first overtone และ O-H str. + O-H def. ของซูโครส ตามลำดับ



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลซูโครส (วิกิพีเดีย 2556)

สำหรับสมบัติเนื้อสัมผัสของผลไม้ จริงแท้ (2538) กล่าวว่าการอ่อนนุ่มของผลไม้เกิดขึ้นเนื่องจากการสลายตัวหรืออ่อนตัวของผนังเซลล์ประการหนึ่ง นอกจากนั้นยังเกิดจากการที่แป้งซึ่งสะสมไว้ในผลเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล และเกิดจากการสูญเสียน้ำออกไปจากผลิตผล ซึ่งองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพกทิน ซึ่งจาก Osborne and Fearn (1993) รายงานว่า ที่ 1490, 1780, 1820, 2336, 2352 nm ซึ่งเป็น Absorption band ของเซลลูโลส และที่ 1218, 1360, 1728, 2110, 2314, 2380 ซึ่งเป็น Absorption band ของเฮมิเซลลูโลส และ Absorption band ของแป้ง อยู่ที่ 990, 1440, 1450, 1528, 1540, 1580, 1900, 2000, 2100, 2276, 2461 nm Sirisomboon (2001) รายงานว่า Absorption band ของเพกทินอยู่ที่ 1928, 2104, 2366 nm

จากคำอธิบายข้างต้น จะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการประเมินค่าคุณภาพที่เกี่ยวกับการรับประทานของเนื้อทุเรียนได้แก่ เนื้อสัมผัส ความชื้น น้ำหนักเนื้อแห้ง และความหวาน เนื่องจากมีการดูดซับคลื่นเนียร์อินฟราเรดขององค์ประกอบที่เกี่ยวข้องซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตาม

สรีระของเนื้อทุเรียน เช่น เปลี่ยนแปลงตามความสุกแก่ของเนื้อทุเรียน ส่วนการตรวจสอบความสุกแก่จะศึกษาจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดโดยการตรวจที่ผิวของผล (เปลือก) โดยตรงทั้งบนต้นและหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้ว จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของเปลือกผลไม้จำนวนน้อยมาก ซึ่งสำหรับการเปลี่ยนแปลงของเปลือกทุเรียนไม่มีผู้ศึกษาเลย อย่างไรก็ดีเมื่อความสุกแก่เปลี่ยนแปลง มีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเซลล์และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์ของเปลือกและเนื้อของพืช (Ognjanov et al., 1995) ปริมาณ chelating-soluble pectin และ acid soluble pectin ของเปลือกกล้วย (Bicu and Mustata, 2013) เมื่อเก็บผลส้ม navel ไว้บนต้นหลังการบริบูรณ์ insoluble dietary fibre และwater soluble pectin มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Dong et al., 2008) เปลือกของลองกองมีการลดลงของไทรโคม (Trichome) และมีการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อพาเรงคิมา (Parenchyma cell) ในระหว่าง 13-16 สัปดาห์ของความสุกแก่ (Venkatachalam and Meenune, 2012) การเปลี่ยนแปลงของเปลือกผลไม้เช่นนี้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดของผิวของผล (เปลือก) ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะจำแนกความสุกแก่ของผลไม้ด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกสโทรสโกปี นอกจากนี้ เนื่องจากความสุกแก่ของทุเรียนมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียน จึงจะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดโดยการตรวจที่ผิวของผล (เปลือก) โดยตรงทั้งบนต้นและหลังจากเก็บเกี่ยวมาแล้วกับน้ำหนักเนื้อแห้งของเนื้อทุเรียนในงานนี้ ดังนั้น จากหลักการข้างต้น การนำเทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรด มาใช้ประเมินความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการส่งออกและการประเมินคุณภาพการรับประทานของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองเพื่อการขายในห้างสรรพสินค้าจึงมีความเป็นไปได้ อย่างไรก็ดี การที่จะมองเห็นความเปลี่ยนแปลงในรูปแบบการดูดกลืนแสงโดยตรงนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของทุเรียนมีรูปแบบการดูดกลืนแสง (Absorption band) ขนาดใหญ่ครอบคลุมรูปแบบการดูดกลืนคลื่นของสารเคมีชนิดอื่นและการซ้อนทับของแถบการดูดกลืนของคลื่นขององค์ประกอบที่มีความซับซ้อน ดังนั้นจึงต้องนำการใช้หลักการทาง Chemometric เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวแปรพหุ (Multivariate analysis) มาช่วยในการขจัดตัวแปรรบกวนออกไปแล้วสร้างแบบจำลองในการทำนาย (Calibration model) ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งของเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จึงเป็นการท้าทายที่จะได้องค์ความรู้ใหม่จากโครงการวิจัยที่ได้นำเสนอนี้ พร้อมกับการสามารถประยุกต์ใช้ได้ในสวนทุเรียนเพื่อการส่งออกและห้างสรรพสินค้า หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

1.6 ขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

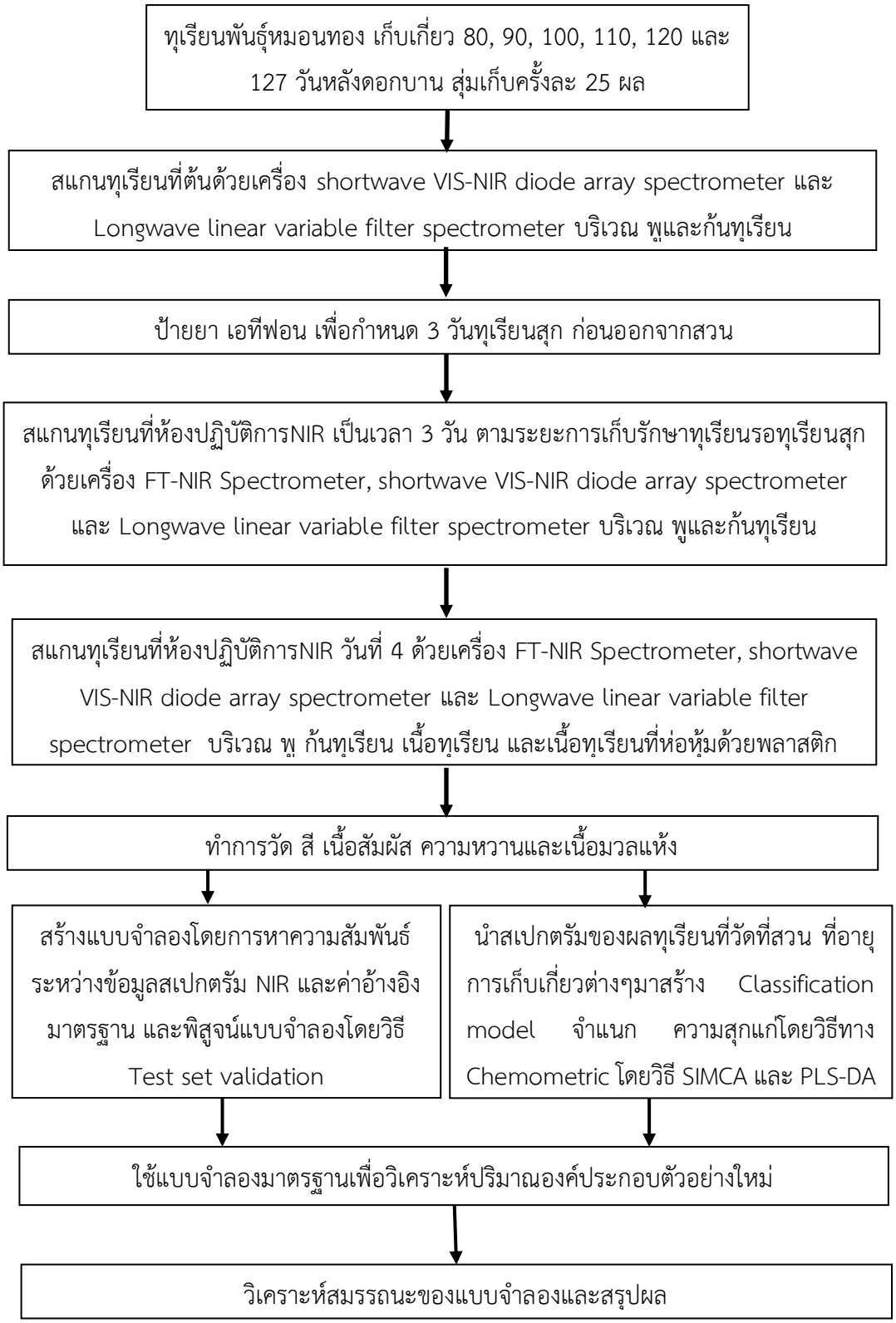
ขั้นตอนของการปฏิบัติในงานวิจัยนี้แสดงโดยสรุปดังภาพที่ 1.2

1. ศึกษากระบวนการผลิตทุเรียนในสวนทุเรียนเพื่อการส่งออกและบริโภคภายในประเทศ ทั้งนี้เน้นกระบวนการการเก็บเกี่ยวและการบรรจุภัณฑ์ส่งออก

2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการขายเนื้อทุเรียนให้ห้างสรรพสินค้าและตรวจวัดคุณภาพที่เกี่ยวกับการรับประทานเนื้อทุเรียน
3. ผูกป้ายชื่อเมื่อดอกทุเรียนบานจำนวน 700 ดอกโดยสุ่มผูกตามต้นต่างๆทั่วบริเวณสวนทุเรียนเพื่อการส่งออก
4. ในระหว่างรอวันครบกำหนดเก็บเกี่ยวทุเรียน ฝึกการสแกนผลทุเรียนและเนื้อทุเรียนพร้อมฝึกวัดคุณสมบัติที่เกี่ยวของกับการรับประทาน (เนื้อสัมผัส ความชื้น น้ำหนักเนื้อแห้ง และความหวาน) โดยใช้ทุเรียนที่ซื้อจากท้องตลาด
5. สุ่มตัวอย่างผลทุเรียนที่สวนทุเรียนเพื่อการส่งออก ที่อายุการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน 6 ระดับคือ 80, 90, 100, 110 (ช่วง100-110วันเป็นวันเก็บเกี่ยวเชิงการค้า), 120, และ127 วันหลังดอกบาน จำนวน 25 ผลต่ออายุการเก็บเกี่ยว โดยสแกนที่ต้นบริเวณตำแหน่งกลางพูที่ใหญ่ที่สุดของผลและก้นผล ด้วยเครื่อง Longwave linear variable filter spectrometer (MICRONIR JDSU, USA) ช่วงความยาวคลื่น 1150-2150 nm และเครื่อง Visible and NIR short wavelength diode array spectrometer (FQA-NIR GUN Fantec, Japan) ช่วงความยาวคลื่น 600-1100 nm
6. แล้วเก็บตัวอย่างทุเรียนที่สแกนนำมาป้ายยาเอธีฟอน (ethephon) โดยมีสัดส่วนน้ำต่อน้ำยา 2:1 ที่ปลายขั้ว แล้วนำมายังศูนย์วิจัยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีสำหรับผลผลิตทางการเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วสแกนทุกวันเป็นเวลา 4 วัน (เป็นเวลาที่ชาวสวนแจ้งว่าทุเรียนจะสุก) ที่บริเวณตำแหน่งกลางพูที่ใหญ่ที่สุดของผลและก้นผลด้วยเครื่อง Longwave linear variable filter spectrometer (MICRONIR JDSU, USA) ช่วงความยาวคลื่น 1150-2150 nm เครื่อง Visible and NIR short wavelength diode array spectrometer (FQA-NIR GUN Fantec, Japan) ช่วงความยาวคลื่น 600-1100 nm และ เครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ช่วงจำนวนคลื่น 12500-3600 cm-1 โดยก่อนสแกนนำทุเรียนมาไว้ที่อุณหภูมิปรับอากาศที่ 27 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อปรับอุณหภูมิผลทุเรียนให้คงที่
7. ในวันที่ 4 หลังจากสแกนแล้ว ปอกทุเรียนเพื่อนำเนื้อของพูใหญ่มาสแกนที่กลางพู ด้วยเครื่อง Longwave linear variable filter spectrometer (MICRONIR JDSU, USA) ช่วงความยาวคลื่น 1150-2150 nm เครื่อง Visible and NIR short wavelength diode array spectrometer (FQA-NIR GUN Fantec, Japan) ช่วงความยาวคลื่น 600-1100 nm และ เครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ช่วงจำนวนคลื่น 12500-3600 cm^{-1}
8. แล้วนำเนื้อทุเรียนใส่ถาดโฟมแล้วหุ้มด้วยพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ใส ความหนา 10 ไมโครเมตร แล้วสแกนด้วยเครื่อง Longwave linear variable filter spectrometer (MICRONIR JDSU, USA) ช่วงความยาวคลื่น 1150-2150 nm เครื่อง Visible and NIR short wavelength diode array

spectrometer (FQA-NIR GUN Fantec, Japan) ช่วงความยาวคลื่น 600-1100 nm และ เครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ช่วงจำนวนคลื่น 12500-3600 cm^{-1}

9. แล้วนำเนื้อทุเรียนทั้งพูไปวัดเนื้อสัมผัสบริเวณที่ผ่านการสแกนด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA HD Plus, Texture Analyzer, Stable Micro System, London, UK) โดยใช้หัววัดแบบทรงกระบอกหัวตัดเรียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm ด้วยความเร็วหัววัด 1 mm/s ความลึก 10 mm เพื่อวิเคราะห์ (Rupture force: N) (Average firmness: N/mm) (Toughness: Nmm) (Average penetrating force: N) (Penetrating energy: Nmm) ของเนื้อทุเรียน
10. นำเนื้อทุเรียนที่ผ่านการวัดเนื้อสัมผัสจำนวน 80 g มาปั่นด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียดแล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 วัดความชื้น น้ำหนักเนื้อแห้งโดยใช้เนื้อทุเรียนปริมาณ 5 g จำนวน 2 ซ้ำ โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ส่วนที่ 2 วัดความหวาน โดยใช้เนื้อทุเรียน 1 ส่วน ต่อน้ำ 3 ส่วน โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Microcentrifuge (Spectrafuge 7M, Labnet, USA) ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 10 min แล้ววัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Soluble solids content) ซึ่งเป็นเสมือนความหวานของเนื้อทุเรียนโดยรินส่วนบนที่เป็นของเหลวใสลงใน Digital Refractometer (Pal 1, ATAGO, Japan) ทั้งนี้ต้องคูณค่าที่ได้ด้วย 4
11. นำสเปกตรัมของผลทุเรียนที่วัดที่สวน ของผลทุเรียนที่วัดที่ห้องปฏิบัติการวันต่างๆ (4 วัน)และของเนื้อทุเรียนที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆมา**สร้าง** Classification model จำแนก ความสุกแก่โดยวิธีทาง Chemometric โดยวิธี PCA (Principle Component Analysis), SIMCA (Soft Independent Modeling of Class Analogy) และ PLS-DA (Partial Least Square-Discriminant Analysis)
12. แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพที่เกี่ยวกับการรับประทาน (เนื้อสัมผัส ความชื้น น้ำหนักเนื้อแห้งและความหวาน) กับ สเปกตรัมของผลทุเรียนและเนื้อทุเรียน โดยวิธีทาง Chemometric แบบ Partial least square regression
13. ทดสอบแบบจำลองเพื่อใช้ประเมินความสุกแก่ของทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การทำนายถูกโดยรวมและทดสอบแบบจำลองคุณภาพการรับประทานของเนื้อทุเรียนพันธุ์หมอนทองของตัวอย่างที่เป็น Unknown โดยพิจารณาจาก Coefficient of determination (R^2) Standard error of prediction (SEP) และ Bias
14. สรุปผล และ เขียนรายงาน
15. ประยุกต์ใช้วิธีการในสวนทุเรียนเพื่อการส่งออกและห้างสรรพสินค้าหรือหน่วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตทุเรียนหมอนทอง หลังจากเสร็จสิ้นโครงการเนื่องจากต้องรอเวลาทุเรียนออกผลอีกครั้งหนึ่ง



ภาพที่ 1.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำวิจัย