

การตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในน้ำกะทิด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

รวิภัทร ลากเจริญสุข¹, ธยานนท์ ลั่นวงษา², พันฉาย สันติสกุลวงศ์³ และ วุฒิพงษ์ บุตรนนท์⁴

บทคัดย่อ

กะทิเป็นส่วนประกอบในการทำอาหารไทยที่สำคัญหลากหลายชนิด ปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้บริโภคทั้งภายในและภายนอกประเทศคือการปลอมปนของกะทิโดยวัสดุที่มีราคาถูกและมีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายกับกะทิ น้ำมักถูกนำมาใช้ปลอมปนในกะทิซึ่งทำให้ยากต่อการแยกได้ด้วยตาเปล่า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในน้ำกะทิสดด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ตัวอย่างของน้ำกะทิสดได้มาจากการคั้นกะทิจากมะพร้าวซึ่งซื้อมาจากตลาด น้ำกะทิกถูกนำมาผสมด้วยน้ำกลั่นที่ระดับการผสมตั้งแต่ 10-90 %w/w เนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมถูกบันทึกในช่วงเลขคลื่น 12500 ถึง 4000 cm^{-1} สเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดเริ่มต้นถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค partial least squares regression (PLSR) แบบจำลองแสดงถึงสมรรถนะในการตรวจสอบกะทิปลอมปนในกลุ่มข้อมูลสร้างแบบจำลองและทดสอบแบบจำลองด้วยค่า $R^2_{\text{training}} = 0.96$ และ $R^2_{\text{testing}} = 0.85$ ตามลำดับ ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นถึงแนวทางในการประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในกะทิได้

คำสำคัญ: กะทิ, การปลอมปน, เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

E-mail: ravipat.la@kmitl.ac.th

² นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

³ นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

⁴ นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Determination of water adulterated in coconut milk by using near infrared spectroscopy

Agustami Sitorus¹, Thayanont Lunvongsa², Phanchay Suntisakoonwong³ and Wutthiphong Boodnon⁴

Abstract

Coconut milk is important ingredient for cooking many Thai food. An issue for domestic and international customers is adulterated coconut milk with cheap and analogous materials. Water has been often used to adulterate in coconut milk which is difficult for detecting with visualization. This research aims to study on determination of adulteration of water in coconut milk by using near infrared spectroscopy. The fresh coconut milk sample was obtained from crushing of coconut which was bought from market. Coconut milk was mixed with distilled water at level of 10-90 %w/w. Near infrared spectra were recorded in range of 12500 – 4000 cm^{-1} . The raw spectra were used to establish the model with partial least squares regression (PLSR) technique. The model showed performance of determination of adulterated coconut milk on training and testing set with $R^2_{\text{training}} = 0.96$ และ $R^2_{\text{testing}} = 0.85$ respectively. This result presented the guideline for application of near infrared spectroscopy to detect adulteration of water in coconut milk.

Keyword: Coconut milk, Adulteration, Near infrared spectroscopy

¹ Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang E-mail: ravipat.la@kmitl.ac.th

² Student, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

³ Student, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

⁴ Student, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

บทนำ

กะทิเป็นส่วนประกอบในการทำอาหารไทยที่สำคัญหลากหลายชนิดจึงทำให้กะทิมีความต้องการจากท้องตลาดสูง อุตสาหกรรมกะทิจึงมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยตั้งแต่ต้นน้ำ (ผู้เพาะปลูก) ไปจนถึงผู้ประกอบการแปรรูปขนาดใหญ่ที่มีตลาดทั้งในประเทศและส่งออกองค์ประกอบทางเคมีของกะทิประกอบด้วยไขมัน (15.44 – 38.0%) โปรตีน (2.06 – 3.50%) ความชื้น (52.0 – 74.6%) เกล็ด (0.64 – 0.90%) คาร์โบไฮเดรต (2.7 – 6.88%) (Alyaqoubi et al., 2015). ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกพริกไทยที่สำคัญในลำดับต้นๆ ของโลก ปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งออกกะทิในปี 2560 - 2564 ในปริมาณประมาณ 250,000 ตันต่อปีคิดเป็นมูลค่าการส่งออกถึงประมาณ 15,000 ล้านบาท (กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2565) ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมกะทิทั้งการบริโภคในและนอกประเทศที่สำคัญคือการปลอมปนของวัสดุวัตถุอื่นที่มีราคาถูกและมีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายลงในกะทิ วัสดุที่มีราคาถูก หาได้ง่ายในชีวิตประจำวันและมักถูกนำมาปลอมปนในกะทิคือน้ำ ซึ่งทำให้เมื่อนำน้ำมาผสมในกะทิแล้วทำให้แยกได้ด้วยตาเปล่าได้ยากมาก การปลอมปนของน้ำในกะทิทำให้ปริมาณของน้ำกะทิที่ถูกจำหน่ายมากขึ้นแต่คุณภาพย่ำแย่ลงกะทิปลอมปนนี้ย่อมเป็นการลดความน่าเชื่อถือต่อผู้บริโภคที่ต้องการบริโภคสินค้าที่มีคุณภาพแน่นอนว่าย่อมส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจของไทย ได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหราชอาณาจักร ออสเตรเลีย แคนาดา และเยอรมัน ปัญหาการปลอมปนนี้อาจทำให้ประเทศคู่ค้าที่สำคัญเหล่านั้นมองหาแหล่งจำหน่ายแหล่งใหม่ผลกระทบที่เกิดขึ้นย่อมส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ ดังนั้นหากมีวิธีการในการตรวจสอบการปลอมปนที่สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วและสามารถคัดแยกกะทิบริสุทธิ์จากกะทิปลอมปนย่อมเป็นการยืนยันคุณภาพของกะทิต่อผู้บริโภคและประเทศคู่ค้าสำคัญเหล่านี้ได้ในการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในกะทิที่ไม่สามารถทำได้ด้วยตาเปล่าจำเป็นต้องใช้วิธีวิเคราะห์ทางเคมีที่มีขั้นตอนยุ่งยากและใช้เวลานานการนำเทคโนโลยีในการตรวจสอบคุณภาพทางวิธีวิเคราะห์ทางเคมีที่สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วมีต้นทุนต่ำไม่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์เข้ามาช่วยแก้ปัญหาการปลอมปนของน้ำในกะทิจะเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ได้

เทคโนโลยีในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจคือเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี วิธีการนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ในระดับอุตสาหกรรม เช่น อาหาร ยา ผลผลิตทางการเกษตร จากงานวิจัยที่ผ่านมาเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีถูกนำมาประยุกต์ใช้ตรวจสอบการปลอมปนของสิ่งอื่นในผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำผึ้ง (Guelpa et al., 2017; Li et al., 2017; Bazar et al., 2016), แป้ง kudzu (Xu et al., 2015), ซอสถั่วเหลือง (Thitibunjan and Sirisomboon, 2014), แป้งรากบัวจีน (Xu et al., 2013) และ แป้ง shanyao (Ma et al., 2017) งานวิจัยข้างต้นแสดงผลการทดลองไปในแนวทางเดียวกันคือเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีสมรรถนะในการตรวจสอบการปลอมปนของ

วัสดุต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่สูงในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในกะทิ ข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นเห็นถึงความน่าสนใจและความเป็นไปได้สูงในยุคที่ใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบการปลอมปนของแป้งจากปลายข้าวและลูกเดือยในพริกไทยป่น

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในน้ำกะทิด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้หากเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีความสามารถในการตรวจสอบการปลอมปนได้ย่อมช่วยเรื่องของการรับรองความบริสุทธิ์และคุณภาพของกะทิซึ่งส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของคู่ค้ากะทิของประเทศไทยและผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในกะทิด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

กรอบแนวคิดในการวิจัย

คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 800-2500 nm สามารถแบ่งช่วงความยาวคลื่นออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่น 800-1100 nm และช่วงคลื่นยาวที่มีความยาวคลื่น 1100-2500 nm (Osborne et al., 1993) พลังงานของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดจะอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับการสั่น (vibration) แบบโอเวอร์โทน (Overtone) และคอมบิเนชัน (Combination) ของพันธะภายในโมเลกุลของสาร โดยเฉพาะพันธะไฮโดรเจน (เช่น O-H, C-H, N-H) หากการสั่นของพันธะใดเกิดที่ความถี่ที่ตรงกับความถี่ของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดก็จะเกิดการดูดกลืนพลังงานขึ้น (วิชัย รุ่งตระกูล และคณะ, 2527) ซึ่งการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดใช้มากในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ในผลผลิตต่างๆ น้ำมีพันธะโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนดังนั้นเมื่อมีผสมน้ำลงในกะทิจึงมีความเป็นไปได้ที่เนียร์อินฟราเรดจะตรวจวัดการปลอมปนของน้ำในกะทิได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างๆ หรือเรียกว่าสเปกตรัมจะยังไม่สามารถใช้ในการตรวจสอบกะทิปลอมปนได้จำเป็นต้องใช้เทคนิคเคโมเมตริกส์ (Chemometric) เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองในการทำนายระดับการปลอมปนของน้ำในกะทิต่อไป เช่น การสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค partial Least Squares Regression (PLSR)

วิธีการดำเนินการ

ตัวอย่างมะพร้าวกะทิถูกซื้อมาจากท้องตลาดนำมาชูดและคั้นน้ำกะทิ หลังจากนั้นตัวอย่างของกะทิถูกนำมาผสมด้วยน้ำกลั่น โดยผสมน้ำลงในกะทิด้วยสัดส่วนต่างๆ ทั้งสิ้น 9 ระดับ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90% w/w ในการผสมแต่ละครั้งตัวอย่างกะทิปลอมปนถูกเขย่าให้เข้ากันและบรรจุลงในขวดสีชา ก่อนการวัดสเปกตรัมตัวอย่างถูกตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที

สเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดถูกบันทึกบนตัวอย่างกะทิบริสุทธิ์และกะทิปลอมปน แต่ละตัวอย่างจะถูกแบ่งออกเป็น 10 ส่วนเท่าๆ กัน ตัวอย่างถูกเทลงในหลอดแก้วทรงกระบอกและกดทับด้วยแท่นอลูมิเนียมเพื่อวัดสเปกตรัม สเปกตรัมของตัวอย่างจะถูกบันทึกด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA, Bruker, Germany) ที่ความยาวคลื่น $12,500\text{--}4,000\text{ cm}^{-1}$ ($800\text{--}2,500\text{ nm}$) ในโหมด reflectance ด้วยความละเอียดในการวัด 8 cm^{-1} ภาพที่ 1 แสดงการเก็บข้อมูลเนียร์อินฟราเรดด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA, Bruker, Germany)



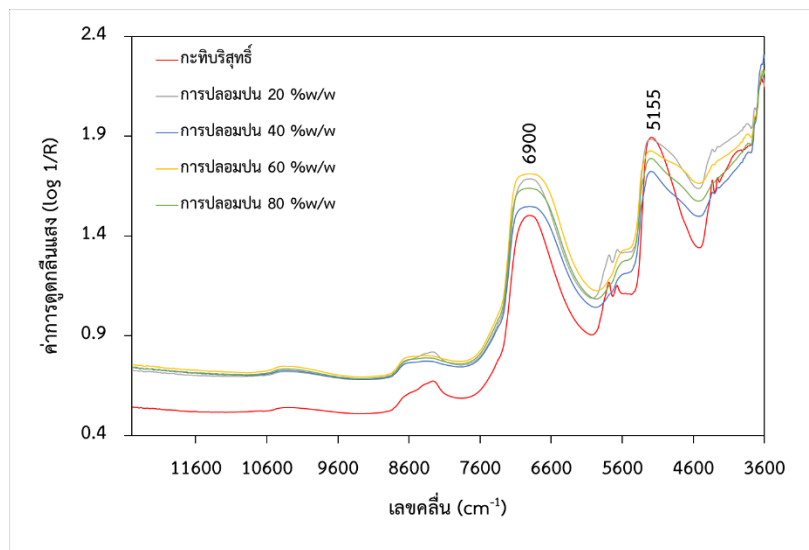
ภาพที่ 1 การเก็บข้อมูลเนียร์อินฟราเรดด้วยเครื่อง FT-NIR spectrometer (MPA, Bruker, Germany)

ข้อมูลสเปกตรัมจำนวน 100 ตัวอย่าง (สเปกตรัมของกะทิบริสุทธิ์ 10 ตัวอย่างและสเปกตรัมของกะทิปลอมปนที่ 9 ระดับการปลอมปนจำนวน 90 ตัวอย่าง) ถูกแบ่งออกเป็นชุดสร้างแบบจำลอง (training set) และชุดทดสอบแบบจำลอง (testing set) ด้วยอัตราส่วน 80:20 ตามลำดับ ข้อมูลชุดสร้างแบบจำลองถูกใช้สร้างแบบจำลองในการตรวจสอบการปลอมปนด้วยน้ำในกะทิถูกสร้างโดยเทคนิค partial least square regression (PLSR) การทดสอบแบบจำลองชุดสร้างแบบจำลองดำเนินการด้วยวิธีการ leave-one-out cross validation จากนั้นแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นถูกนำมาทดสอบสมรรถนะกับชุดทดสอบแบบจำลองและรายงานผลสมรรถนะด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of determination) ของชุดสร้างแบบจำลองและชุดทดสอบแบบจำลอง

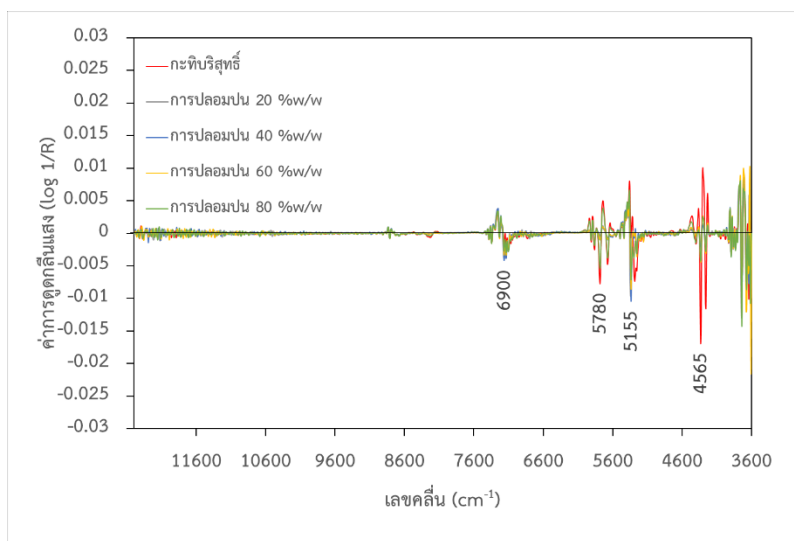
(R^2_{training} และ R^2_{testing}) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error) ของชุดสร้างแบบจำลองและชุดทดสอบแบบจำลอง ($RMSE_{\text{training}}$ และ $RMSE_{\text{testing}}$)

ผลการวิจัย

ภาพที่ 2 แสดงสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดของกะทิและกะทิปลอมปนด้วยน้ำที่ระดับต่างๆ พิกของการดูดกลืนพลังงานของคลื่นเนียร์อินฟราเรดเกิดขึ้นชัดเจนที่เลขคลื่นเท่ากับ 6900 และ 5155 cm^{-1} (ซึ่งเท่ากับความยาวคลื่นเท่ากับ 1450 และ 1940 nm ตามลำดับ) พิกทั้งสองนี้สอดคล้องกับการสั่นสะเทือนของน้ำแบบโอเวอร์โทนอันดับที่ 1 และคอมบิเนชันของพันธะ O-H (Osborne and Fearn, 1986) สเปกตรัมแสงเนียร์อินฟราเรดของกะทิที่ปลอมปนด้วยน้ำมีแนวโน้มแตกต่างจากกะทิบริสุทธิ์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบระดับการปลอมปนของน้ำในกะทิ อย่างไรก็ตามสเปกตรัมเริ่มต้นอาจจะได้รับผลกระทบต่างๆ ในระหว่างการตรวจวัด เช่น สัญญาณรบกวน ผลของอุณหภูมิ ลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างต่อผลการดูดกลืนแสง ดังนั้นสเปกตรัมเริ่มต้นควรได้รับการดำเนินการปรับปรุงเพื่อให้เห็นพฤติกรรมของสเปกตรัมได้ชัดเจนขึ้น เช่น การปรับปรุงสเปกตรัมด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 3 จากรูปพิกการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดจะกลับหัวเนื่องจากการปรับปรุงด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 2 ส่งผลให้เกิดพิกที่เด่นชัดขึ้นมา ได้แก่ 6900, 5780, 5155 และ 4565 cm^{-1} (1450, 1725, 1940, 2190 nm ตามลำดับ) โดยพิกที่เลขคลื่น 5900 cm^{-1} เป็นพิกการสั่นสะเทือนแบบโอเวอร์โทนอันดับที่ 1 ของพันธะ CH_3 สำหรับพิกที่เลขคลื่น 4565 cm^{-1} เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ $\text{HC}=\text{CH}$ แบบคอมบิเนชัน โดยทั้งสองพันธะนี้เป็นพันธะโครงสร้างของไขมัน (Osborne and Fearn, 1986)



ภาพที่ 2 สเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดของกะทิและกะทิปลอมปนด้วยน้ำที่ระดับต่างๆ



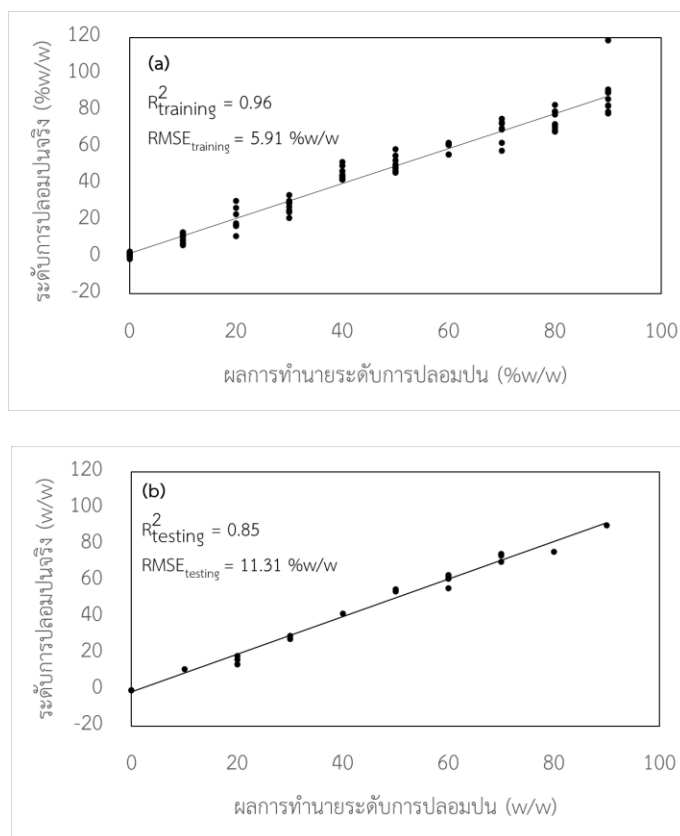
ภาพที่ 3 สเปกตรัมเนียร์อินฟราเรดที่ถูกดำเนินการปรับปรุงด้วยวิธีอนุพันธ์อันดับที่ 2 ของกะทิและกะทิปลอมปนด้วยน้ำที่ระดับต่างๆ

ตารางที่ 1 แสดงผลการทำนายระดับการปลอมปนของน้ำในกะทิด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่สร้างจากเทคนิค PLSR พัฒนาขึ้นด้วยค่า principal component (PC) เท่ากับ 11 จากผลการทำนายแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการตรวจสอบระดับการปลอมปนของน้ำในกะทิ โดยผลการทำนายข้อมูลในชุดสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค PLSR แสดงค่า $R^2_{\text{training}} = 0.96$ และค่า $RMSE_{\text{training}} = 5.91$ %w/w และการทำนายข้อมูลในชุดทดสอบแบบจำลองแสดงค่า $R^2_{\text{testing}} = 0.85$ และค่า

$RMSE_{testing} = 11.13$ %w/w ผลการทำนายนี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีความสามารถในการตรวจสอบระดับการปลอมปนของน้ำในกะทิ ภาพที่ 4 แสดงแผนภาพการกระจายตัวของผลการทำนายของชุดสร้างแบบจำลองและชุดทดลองแบบจำลอง

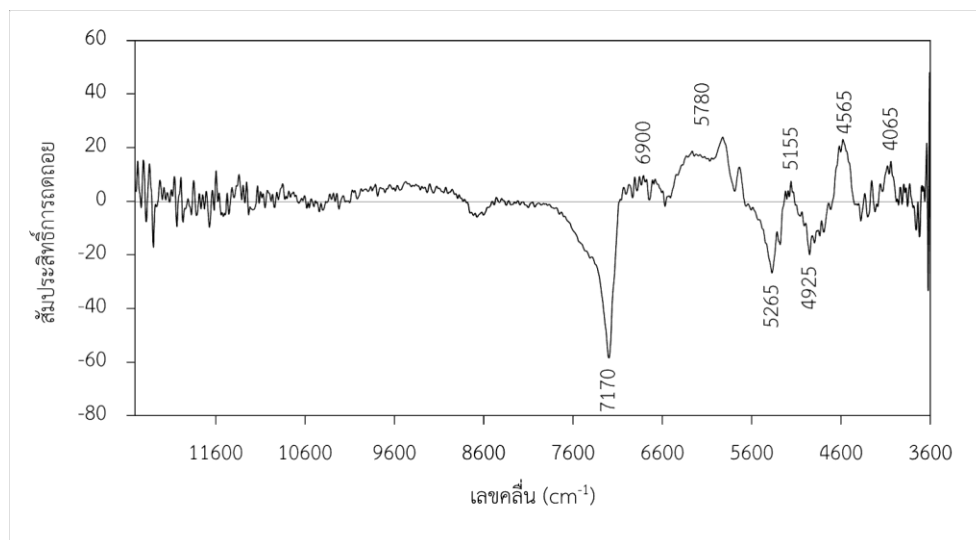
ตารางที่ 1 ผลการทำนายระดับการปลอมปนของน้ำในกะทิด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

แบบจำลอง	PC	การทำนายชุดสร้างแบบจำลอง		การทำนายชุดทดสอบแบบจำลอง	
		$R^2_{training}$	$RMSE_{training}$ (%w/w)	$R^2_{testing}$	$RMSE_{testing}$ (%w/w)
PLSR	11	0.96	5.91	0.85	11.13



ภาพที่ 4 แผนภาพการกระจายตัวของผลการทำนายของชุดสร้างแบบจำลอง (a) และชุดทดลองแบบจำลอง (b)

ภาพที่ 5 แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยจากแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธี PLSR ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นค่าที่แสดงถึงระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น (ค่าการดูดกลืนแสงเนียร์อินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างๆ) กับตัวแปรตาม (ค่าระดับการปลอมปน) จากแบบจำลองที่สร้างจากเทคนิค PLSR โดยหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าสูงที่ตำแหน่งความยาวคลื่นใดแสดงว่าความยาวคลื่นนั้นมีอิทธิพลต่อแบบจำลองการทำนายระดับการปลอมปนของน้ำในกะทิ จากรูปค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมีค่าสูงที่เลขคลื่น 7170, 6900, 5780, 5265, 5155, 4925, 4565 และ 4065 cm^{-1} (1395, 1450, 1725, 1900, 1940, 2030, 2190 และ 2460 nm) โดยพีคเหล่านี้สัมพันธ์กับการสั่นสะเทือนของพันธะทางเคมีของน้ำ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน โดยที่เลขคลื่น 6900 และ 5155 cm^{-1} สอดคล้องกับการสั่นสะเทือนของน้ำแบบโอเวอร์โทนอันดับที่ 1 และคอมบินั่นของพันธะ O-H การสั่นสะเทือนของพันธะทางเคมี CH_2 ของไขมันแบบคอมบินั่นและแบบโอเวอร์โทนอันดับที่ 1 ที่เลขคลื่น 7170 และ 5780 cm^{-1} นอกจากนั้นมีการสั่นสะเทือนของพันธะทางเคมี $\text{HC}=\text{CH}$ ของไขมันแบบคอมบินั่น 4565 cm^{-1} พันธะทางเคมีของคาร์โบไฮเดรตแสดงขึ้นที่เลขคลื่น 5265 และ 4065 cm^{-1} โดยสัมพันธ์กับการสั่นสะเทือนแบบคอมบินั่นของ starch พีคของโปรตีนแสดงให้เห็นที่เลขคลื่น 4925 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับการสั่นสะเทือนของพันธะ CONH_2 แบบโอเวอร์โทนอันดับที่ 2 จากที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่สร้างจากเทคนิค PLSR ที่ใช้ในการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในกะทิเกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีในกะทิจากการปลอมปนของน้ำ



ภาพที่ 9 สัมประสิทธิ์การถดถอยจากแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธี PLSR

อภิปรายผล

จากการศึกษาครั้งนี้ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในกะทิด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีมีความสามารถในการตรวจสอบระดับการปลอมปนของน้ำในกะทิโดยแบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิค PLSR จากสเปกตรัมเริ่มต้นแสดงค่า $R^2_{\text{training}} = 0.96$ และ $R^2_{\text{testing}} = 0.85$ ผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นถึงแนวทางในการประยุกต์ใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในกะทิในระดับอุตสาหกรรมได้

ข้อเสนอแนะ

แบบจำลองที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เกิดขึ้นจากตัวอย่างกะทิจากมะพร้าวจากแหล่งที่มาเดียวซึ่งหากต้องการให้แบบจำลองที่ใช้ในตรวจสอบการปลอมปนของน้ำในกะทิตครอบคลุมมะพร้าวมากขึ้นควรใช้ตัวอย่างจากหลายแหล่งที่มาในจังหวัดหรือประเทศต่างๆ เนื่องจากมะพร้าวที่เพาะปลูกในแต่ละแหล่งเพาะปลูกจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากแบบจำลองเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีถูกสร้างจากตัวอย่างมะพร้าวหลากหลายแหล่งที่มาย่อมมีความสามารถในการตรวจสอบได้ครอบคลุมตัวอย่างจากแหล่งที่มาเหล่านั้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. (2565). **สินค้ามะพร้าวและกะทิ**.
<https://api.dtn.go.th/files/v3/60f7d503ef41404c21342ef0/download>.
- วิชัย รุ่งตระกูล และคณะ. (2527). **การประยุกต์สเปกโตรสโกปีในเคมีอินทรีย์**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: นำอักษรการพิมพ์.
- Alyaqoubi, S., Abdullah, A., Samudi, M., Abdullah, N., Addai, Z. R., & Musa, K. H. (2015). **Study of antioxidant activity and physicochemical properties of coconut milk (Pati santan) in Malaysia**. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. 7(4), 967-973.
- Bazar, G., Romvari, R., Szabo, A., Somogyi, T., Eles, V., & Tsenkova, R. (2016). **NIR detection of honey adulteration reveals differences in water spectral pattern**. Food Chemistry. 194, 873-880.



- Guelpa, A., Marini, F., Plessis, A. D., Slabbert, R., & Manley, M. (2017). **Verification of authenticity and fraud detection in South African honey using NIR spectroscopy.** Food Control. 73, 1388-1396.
- Li S., Zhang, X., Shan, Y., Donglin, S., Ma, Q., Wen, R., & Li J. (2017). **Qualitative and quantitative detection of honey adulterated with high-fructose corn syrup and maltose syrup by using near-infrared spectroscopy.** Journal of Sensor Letters. 218, 231-236.
- Ma, H. L., Wang, J. W., Chen, Y. J., Cheng, J. L., & Lai, Z. T. (2017). **Rapid authentication of starch adulterations in ultrafine granular powder of Shanyao by near-infrared spectroscopy coupled with chemometric methods.** Food Chemistry. 215, 108-115.
- Osborne, B. G., & Fearn, T. 1986. **Near infrared spectroscopy in food analysis** (1st published, pp. 117). United Kingdom: Longman Science & Technical.
- Thitibunjan, N., & Sirisomboon, P. (2014). **Detection of Adulteration of Soy Sauce by Brine Using Near Infrared Spectroscopy.** Agriculture and Agricultural Science Procedia. 2, 212-217.
- Xu, L., Shi, P. T., Ye, Z. H., Yan, S. M., & Yu, X. P. (2013). **Rapid analysis of adulterations in Chinese lotus root powder (LRP) by near-infrared (NIR) spectroscopy coupled with chemometric class modeling techniques.** Food Chemistry. 141(3), 2434-2439.
- Xu, L., Shi, W., Cai, C. B., Zhong, W., & Tu, K. (2015). **Rapid and nondestructive detection of multiple adulterants in kudzu starch by near infrared (NIR) spectroscopy and chemometrics.** LWT - Food Science and Technology. 61, 590-595.