

การพัฒนาเครื่องวัดความบริสุทธิ์ของน้ำผึ้งต้นทุนต่ำ

DEVELOPMENT OF A LOW-COST HONEY PURITY METER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและเกษตรอัจฉริยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2567

KMITL-2024-EN-M-117-304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF A LOW-COST HONEY PURITY METER



WUTTHIPHONG BOODNON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN FOOD AND AGRICULTURAL INTELLIGENCE  
ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2024

KMITL-2024-EN-M-117-304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2024

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องวัดความบริสุทธิ์ของน้ำผึ้งต้นทุ่นต่ำ
นักศึกษา	นาย วุฒิพงษ์ บุตรนนท์
รหัสประจำตัว	66016088
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหารและเกษตรอัจฉริยะ
พ.ศ.	2567
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.รวิภัทร ลาภเจริญสุข

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องตรวจวัดการปลอมปนน้ำผึ้งในรูปแบบต้นทุ่นต่ำ โดยใช้เซนเซอร์ Vis-NIR multispectral รุ่น SparkFun AS7265X ที่สามารถวัดความยาวคลื่น 18 ช่วง (410-940 นาโนเมตร) เพื่อประมวลผลค่าการสะท้อนแสงของน้ำผึ้งที่ผสมกับน้ำเชื่อมในสัดส่วนต่างๆ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Multiple Linear Regression (MLR), Partial Least Squares Regression (PLSR) และ Principal Component Neural Network (PC-NN) เพื่อสร้างแบบจำลองการทำนายระดับการปลอมปน ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองที่ใช้เทคนิค PC-NN มีประสิทธิภาพสูงสุดในการระบุกลุ่มน้ำผึ้งปลอมปนและทำนายระดับการปลอมปน โดยสามารถทำนายระดับการปลอมปนได้มากกว่า 95% และมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5% และสามารถระบุกลุ่มน้ำผึ้งบริสุทธิ์และน้ำผึ้งปลอมปนได้ถูกต้อง 99% แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับการปลอมปนได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดนี้มีศักยภาพในการใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำผึ้งและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นๆ เพื่อประกันคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์เบื้องต้นสำหรับผู้ซื้อและผู้ขายในตลาด

<b>Thesis</b>	Development of a low-cost honey purity meter
<b>Student</b>	Mr. Wutthiphong Boodnon
<b>Student ID.</b>	66016088
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Food and Agricultural Intelligence Engineering
<b>Year</b>	2024
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Ravipat Lapcharoensuk

## ABSTRACT

This research focuses on developing a low-cost honey adulteration detection device using the SparkFun AS7265X Vis-NIR multispectral sensor, which can measure 18 wavelength bands (ranging from 410 to 940 nm) to analyze the reflectance values of honey mixed with syrup in various proportions. The collected data is then analyzed using techniques such as Multiple Linear Regression (MLR), Partial Least Squares Regression (PLSR), and Principal Component Neural Network (PC-NN) to create predictive models for adulteration levels. The research findings indicate that the model utilizing the PC-NN technique demonstrates the highest performance in identifying adulterated honey and predicting the levels of adulteration, achieving over 95% prediction accuracy with less than 5% deviation, and correctly distinguishing pure honey from adulterated honey with 99% accuracy. These results show that the developed system can effectively detect adulteration. Furthermore, the development of this measurement tool has significant potential for application in the honey production industry and other agricultural products, ensuring quality and safety for both buyers and sellers in the market.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างยิ่งต่อ รศ.ดร.รวิภัทร ลากเจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่มีคุณค่าและแนวทางที่ชัดเจนตลอดระยะเวลาของการทำวิจัยนี้ ท่านไม่เพียงแต่ช่วยชี้แนวทางที่ถูกต้องในการดำเนินการวิจัย แต่ยังถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่สำคัญที่ช่วยให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งใจในความทุ่มเทและความใส่ใจของท่านตลอดการทำงานวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ Agustami Sitorus ที่ให้การช่วยเหลือในการดำเนินการทดลอง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาวิทยานิพนธ์นี้ การสนับสนุนที่ได้รับทั้งด้านการปฏิบัติและคำแนะนำช่วยให้การทดลองสำเร็จตามวัตถุประสงค์ สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกคนที่มีส่วนร่วมและสนับสนุนในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม ที่ช่วยให้การทำวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความมีน้ำใจและการสนับสนุนที่ได้รับในทุกขั้นตอนของการทำงาน

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากกองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หมายเลขสัญญาทุน 2565-02-01-094

วุฒิพงษ์ บุตรนนท์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 ขอบเขตการดำเนินงาน.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 น้ำเชื่อมและน้ำผึ้ง.....	6
2.1.1 น้ำเชื่อม (Syrup).....	6
2.1.2 น้ำผึ้ง (honey).....	6
2.2 เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง และแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ..	7
2.2.1 Partial Least Squares Regression (PLS-R).....	8
2.2.2 Multiple linear regression (MLR).....	9
2.2.3 Principal Component Neural Network (PC-NN).....	10
2.3 ค่าทางสถิติสำหรับการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง Regression.....	12
2.3.1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, $R^2$ ).....	12
2.3.2 Root Mean Square Error (RMSE).....	12
2.4 การประเมินแบบจำลองจำแนกกลุ่ม.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 ตาราง Confusion Matrix.....	13
2.4.2 ตัวแปรวัดสมรรถนะของแบบจำลอง Classification .....	14
2.5 อุปกรณ์และระบบประมวลผลภายในเครื่องวัดความบริสุทธิ์ของน้ำฝิ่งต้นทุ่นต่ำ .....	16
2.5.1 เซนเซอร์ SparkFun Triad Spectroscopy Sensor - AS7265x .....	16
2.5.2 บอร์ดควบคุม Arduino Uno R3 .....	18
2.6 เทคนิค Spectroscopy.....	19
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA).....	20
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	24
3.1 การพัฒนาเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุ่นต่ำ.....	24
3.1.1 ส่วนตรวจวัด .....	24
3.1.2 ส่วนแสดงค่าและประมวลผล.....	24
3.2 ต้นทุ่นของเครื่อง Vis-NIR multispectral.....	27
3.3 ตัวอย่างทดลอง .....	27
3.4 การเก็บข้อมูลสเปกตรัมและองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง .....	28
3.5 การหาค่า Repeatability และ Reproducibility .....	30
3.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลการสะท้อนแสงของตัวอย่างน้ำฝิ่ง.....	30
3.7 การสร้างแบบจำลองการทำนายผลทางคณิตศาสตร์และการทดสอบสมรรถนะ .....	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง .....	33
4.1 ค่า Repeatability และ Reproducibility ของเซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ต้นทุ่นต่ำ .....	33
4.2 วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการสะท้อนแสงจากความยาวคลื่นและระดับการปลอมปน ต่างๆ ของเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุ่นต่ำด้วยวิธี ANOVA .....	33
4.3 ผลการตรวจสอบปริมาณน้ำในตัวอย่างน้ำฝิ่ง .....	37
4.4 ผลการตรวจสอบ Total sugar .....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5	กราฟแสดงค่าการสะท้อนแสงตัวอย่างน้ำผึ้งจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ	39
4.6	กราฟแสดงค่าการสะท้อนแสงตัวอย่างน้ำผึ้งจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany) .....	41
4.7	ผลทำนายผลการปลอมปนของในน้ำผึ้งจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ.....	42
4.7.1	แบบจำลองทำนายระดับการปลอมปน.....	42
4.7.2	แบบจำลองจำแนกกลุ่มปลอมปนต่างๆ.....	43
4.8	ผลทำนายผลการปลอมปนน้ำผึ้งจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany).....	46
4.8.1	แบบจำลองทำนายระดับการปลอมปน.....	46
4.8.2	แบบจำลองจำแนกกลุ่มปลอมปนต่างๆ.....	47
4.9	เปรียบเทียบผลทำนายผลการปลอมปนน้ำผึ้งจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำกับเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany).....	50
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง.....	52
5.1	สรุปผล.....	52
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	52
	เอกสารอ้างอิง .....	54
	ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA).....	57
	ภาคผนวก ข กราฟแสดงค่าการสะท้อนแสงตัวอย่างเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำและเครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	82
	ประวัติผู้เขียน.....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลอง MLR.....	10
ตารางที่ 2.2 ตาราง Confusion Matrix สำหรับปัญหาการจำแนกประเภทแบบสองคลาส (binary classification).....	14
ตารางที่ 3.1 ต้นทุนของเครื่องเครื่องมือตรวจวัดสิ่งปลอมปนในวัสดุการเกษตรด้วยเซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ในรูปแบบต้นทุนต่ำ.....	27
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงแสดงตัวอย่างปลอมปนและจำนวนตัวอย่างทั้งหมด.....	28
ตารางที่ 3.3 แสดงกลุ่มจำแนกข้อมูลตาม Criteria ทั้งสาม.....	31
ตารางที่ 4.1 แสดงความสามารถในการทวนซ้ำและความสามารถในการทำซ้ำของอุปกรณ์.....	33
ตารางที่ 4.2 แสดงความแตกต่างค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยในระดับการปลอมปนต่างๆ.....	35
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณน้ำที่อยู่ในตัวอย่างน้ำผึ้งและน้ำเชื่อมที่ตรวจสอบด้วยตู้อบลมร้อนตาม มาตรฐาน AOAC, 1990.....	37
ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์น้ำตาลชนิดต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างน้ำผึ้งและน้ำเชื่อมที่ตรวจสอบด้วยวิธี ด้วยวิธีการมาตรฐาน Liquid Chromatographic Method (AOAC 982.14, 2023)...	38
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทำนายน้ำผึ้งทั้ง 5 แหล่งที่มาที่ปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลสีร่าจากแบบจำลองทั้งสามที่เก็บข้อมูลจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ.....	44
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการผลการจำแนกกลุ่มจากแบบจำลอง PC-NN ใน Class ต่างๆ ที่เก็บข้อมูลจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ.....	46
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทำนายน้ำผึ้งทั้ง 5 แหล่งที่มาที่ปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลสีร่าจากแบบจำลองทั้งสามที่เก็บข้อมูลจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	48
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการผลการจำแนกกลุ่มจากแบบจำลอง PC-NN ใน Criteria ต่างๆ จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	50
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลการสร้างแบบจำลองจาก Vis-NIR multispectral แบบต้นทุนต่ำกับ เครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	51

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 น้ำผึ้ง.....	7
รูปที่ 2.2 โครงสร้าง Neural Network พื้นฐาน.....	11
รูปที่ 2.3 SparkFun Multispectral Sensor รุ่น AS7265x.....	16
รูปที่ 2.4 แสดงค่าความยาวคลื่นที่เซนเซอร์ตรวจวัดได้ทั้ง 18 ช่องสัญญาณ.....	17
รูปที่ 3.1 ส่วนตรวจวัดและภาพตัดขวางของส่วนตรวจวัด.....	24
รูปที่ 3.2 ระบบการทำงานของเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ.....	25
รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อส่วนต่างๆ ของเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ.....	25
รูปที่ 3.4 เคสเครื่องมือตรวจวัด (แยกส่วน).....	26
รูปที่ 3.5 เคสเครื่องมือตรวจวัด (ประกอบ).....	26
รูปที่ 3.6 เครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำที่เสร็จสมบูรณ์.....	26
รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างน้ำผึ้งคอยค่าผสมกับน้ำเชื่อมน้ำตาลสีฟ้าที่ระดับการปลอมปนทั้งหมด...	28
รูปที่ 3.8 การเก็บข้อมูลสเปกตรัมตัวอย่างจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ.....	29
รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงกระบวนการสร้างแบบจำลองการทำนายผลทางคณิตศาสตร์และการทดสอบสมรรถนะ.....	32
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำตาลชนิดต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างน้ำผึ้งและน้ำเชื่อม.....	39
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าการดูดซับแสงของตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ.....	40
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าการดูดซับแสงของตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีฟ้าจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ.....	40
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการดูดซับแสงของตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	41
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการดูดซับแสงของตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีฟ้าจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	42
รูปที่ 4.6 กราฟแสดง Scatter plot ผลการทำนายและค่าจริงของระดับการปลอมปนน้ำผึ้งของแบบจำลอง PC-NN ที่เก็บข้อมูลจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ.....	45
รูปที่ 4.7 กราฟแสดง Scatter plot ผลการทำนายและค่าจริงของระดับการปลอมปนน้ำผึ้งของแบบจำลอง PC-NN ที่เก็บข้อมูลจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer.....	49

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำผึ้งเป็นสารให้ความหวานที่ผึ้งผลิตขึ้นโดยใช้น้ำหวานจากดอกไม้ ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสเป็นหลัก [1] นอกจากนี้ยังมีน้ำตาล แร่ธาตุ วิตามิน และสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย มนุษย์ใช้น้ำผึ้งเป็นสารให้ความหวานตามธรรมชาติมาเป็นเวลาหลายพันปีและมีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ สามารถใช้ในการปรุงอาหาร และเป็นสารให้ความหวานจากธรรมชาติสำหรับชาและเครื่องดื่มอื่นๆ น้ำผึ้งเป็นสินค้าที่มีคุณค่า ทั้งเป็นอาหารและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์บำรุงผิว ตลาดน้ำผึ้งทั่วโลกมีมูลค่าหลายพันล้านดอลลาร์ และเป็นแหล่งรายได้ที่สำคัญสำหรับผู้เลี้ยงผึ้งและผู้ผลิตน้ำผึ้งจำนวนมากทั่วโลก ปัญหาสำคัญเกี่ยวกับการปลอมปนในอุตสาหกรรมน้ำผึ้งคือการเจือปนสารอื่นๆ เช่น น้ำเชื่อมน้ำตาลหรือน้ำเชื่อมข้าวโพดลงในน้ำผึ้งเพื่อเพิ่มปริมาณและลดต้นทุน การกระทำนี้ถือว่ามีผลเสียในหลายประเทศรวมถึงประเทศไทยด้วยเช่นกัน การปลอมปนมีผลเสียต่อคุณภาพของน้ำผึ้งหลายประการ เช่น สามารถลดสารอาหารตามธรรมชาติและสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำผึ้งซึ่งทำให้ประโยชน์ที่ได้จากน้ำผึ้งลดลงอย่างมาก นอกจากนี้ยังอาจทำให้น้ำผึ้งเน่าเสียและปนเปื้อนได้ง่ายขึ้น ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เป็นต้น วิธีที่สามารถตรวจสอบน้ำผึ้งได้นั้นประกอบด้วย Nuclear Magnetic Resonance (NMR) [2], Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS) [3], Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) [4] และ Near infrared spectroscopy (NIRS) [4] เป็นต้น วิธีการทางเหล่านี้ได้รับการศึกษาว่ามีความแม่นยำและเชื่อถือได้ สามารถตรวจจับการปลอมปนในน้ำผึ้งได้แม้เพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคเหล่านี้เป็นเทคนิคที่มีข้อจำกัด เช่น ELISA เป็นวิธีการที่ต้องใช้สารเคมีในการทดลอง ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบ และวิธีการต่างๆ ก็เป็นเทคนิคที่มีต้นทุนในการตรวจสอบแต่ละตัวอย่างสูง ใช้เวลานานในการตรวจสอบ หากมีการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบน้ำผึ้งที่รวดเร็ว ต้นทุนต่ำ ไม่ใช้สารเคมี และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จะมีประโยชน์มากในหลายด้าน เช่น การเพิ่มความรวดเร็วในการตรวจสอบ ทำให้สามารถตรวจน้ำผึ้งในปริมาณมากได้ในเวลาสั้น ลดความเสี่ยงในการปล่อยน้ำผึ้งปลอมปนเข้าสู่ตลาด การใช้เทคนิคต้นทุนต่ำจะช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายสำหรับผู้ผลิตและผู้เลี้ยงผึ้งขนาดเล็ก โดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีที่ซับซ้อนและแพง นอกจากนี้ การไม่ใช้สารเคมีช่วยลดความเสี่ยงต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม ลดการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรัพยากรและไม่ก่อให้เกิดของเสีย อีกทั้งยังส่งเสริมความยั่งยืนในอุตสาหกรรม และช่วยให้มีการตรวจสอบน้ำผึ้งได้อย่างแพร่หลาย รักษาคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ในตลาดโลก

เทคนิคสเปกโทรสโกปีคือเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาการโต้ตอบระหว่างแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร โดยการวัดและวิเคราะห์สเปกตรัมที่เกิดจากการดูดซับหรือการปล่อยแสงของอะตอมหรือโมเลกุล ซึ่งสามารถนำมาใช้ระบุคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสสารได้ เทคนิค Spectroscopy มีหลายประเภท เช่น UV-Vis spectroscopy ใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่ตามองเห็น, Infrared (IR) spectroscopy ใช้ในการวิเคราะห์การสั่นของโมเลกุล, Raman spectroscopy ใช้ในการศึกษาการกระเจิงแสง และ NMR spectroscopy ใช้ในงานวิจัยทางเคมีเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล Spectroscopy เป็นเครื่องมือที่สำคัญในวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุและสารต่างๆ สามารถใช้หลักการนี้กับวัสดุหลายหลายประเภท เช่น อาหาร ยา เครื่องสำอาง ไปจนถึงผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เทคนิคสเปกโทรสโกปีเป็นวิธีการที่น่าสนใจในการตรวจวัดความบริสุทธิ์ของน้ำผึ้งที่ปลอมปนด้วยวัสดุอื่น ๆ เทคนิคสเปกโทรสโกปีสามารถตรวจวัดการปลอมปนน้ำผึ้งที่ถูกปลอมปนได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างเช่น น้ำผึ้งที่ถูกปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมข้าวโพดฟรุทโทสสูง [5] น้ำเปล่าและน้ำหมักแอปเปิล [6] เทคนิคสเปกโทรสโกปีมีข้อดีที่สำคัญคือสามารถตรวจสอบและวิเคราะห์สารต่างๆ ได้อย่างแม่นยำโดยไม่ทำลายตัวอย่าง ทำให้สามารถใช้กับสารที่มีมูลค่าหรือที่ต้องการรักษาสภาพเดิมได้ นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของสารได้อย่างละเอียด อย่างไรก็ตามข้อเสียของเทคนิคนี้คือเครื่องมือที่ใช้ในสเปกโทรสโกปีมีราคาสูง จึงเป็นอุปสรรคต่อการเข้าถึงสำหรับผู้ผลิตหรือห้องปฏิบัติการขนาดเล็ก นอกจากนี้การใช้งานอาจต้องการความเชี่ยวชาญเฉพาะทางและในบางกรณีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมอาจซับซ้อนทำให้ต้นทุนและเวลาในการตรวจสอบเพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้เซนเซอร์สเปกโทรสโกปีราคาถูก เช่น SparkFun Triad Spectroscopy Sensor - AS7265x มาทดแทนเครื่องมือสเปกโทรสโกปีราคาแพงจะช่วยลดต้นทุนในการตรวจสอบสารต่างๆ ได้อย่างมาก แม้ว่าเซนเซอร์เหล่านี้อาจมีสมรรถนะในการตรวจวัดได้ไม่เท่าอุปกรณ์มาตรฐาน แต่ก็เพียงพอสำหรับการใช้งานในบางประเภท โดยเฉพาะในงานที่ต้องการตรวจสอบเบื้องต้น การใช้เซนเซอร์ราคาถูกยังช่วยให้ผู้ผลิตรายย่อยหรือห้องปฏิบัติการขนาดเล็กเข้าถึงเทคโนโลยีนี้ได้ง่ายขึ้นเพิ่มโอกาสในการใช้งานที่หลากหลาย นอกจากนี้ด้วยขนาดที่เล็กและการทำงานที่ง่ายกว่าทำให้สามารถนำเซนเซอร์ไปใช้ในภาคสนามหรือในพื้นที่ที่จำกัดได้สะดวก นอกจากนี้ยังมีหลายงานวิจัยที่ทำการศึกษาเซนเซอร์ SparkFun Triad Spectroscopy Sensor - AS7265x และสามารถตรวจสอบองค์ประกอบของวัสดุทางการเกษตรเบื้องต้น เช่น นม น้ำผึ้ง น้ำผลไม้ ได้ [7]

อย่างไรก็ดีข้อมูลการสะท้อนแสงของวัสดุไม่สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบทางเคมีได้โดยตรงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทางคณิตศาสตร์และสถิติที่เรียกว่า Chemometric เทคนิคนี้มุ่งเน้นในการดำเนินการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้มีความเข้าใจและมีการอธิบายที่ตีต่อข้อมูลที่เกิดจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทางเคมีและการวัดหรือการวิเคราะห์ในกรณีที่มีข้อมูลมีความซับซ้อน โดยมักนำเทคนิคทางสถิติเข้ามาช่วยในการทำนาย วิเคราะห์ความสัมพันธ์ ตรวจสอบความถูกต้อง หรือแยกแยะข้อมูลที่ซับซ้อน Chemometrics มักถูกนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคสเปกโทรสโกปี [8] เพื่อวิเคราะห์และควบคุมคุณภาพของสารเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมเคมี อาหาร และเกษตร ซึ่งมีความต้องการในการวิเคราะห์และควบคุมคุณภาพสูงและต้องการผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและสะดวกต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมการผลิตและทดสอบต่างๆ Chemometrics ถูกใช้ในเทคนิคสเปกโทรสโกปี เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ [9]

สำหรับในปัจจุบันวิทยาการข้อมูลและปัญญาประดิษฐ์ซึ่งเป็นศาสตร์ทางวิทยาการคอมพิวเตอร์ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการศึกษาอย่างแพร่หลาย เทคนิค Machine learning หรือการเรียนรู้ของเครื่องเป็นศาสตร์ทางวิทยาการข้อมูลและปัญญาประดิษฐ์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลสเปกตรัมแสงได้ การเรียนรู้ของเครื่องมีขั้นตอนในการดำเนินการตั้งแต่ การเก็บรวบรวมข้อมูล การจัดการข้อมูล การสร้างแบบจำลอง การประเมินแบบจำลอง นำแบบจำลองไปใช้ในทางปฏิบัติ มีงานวิจัยจำนวนมากที่ประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่องในการสร้างแบบจำลองจากเทคนิคสเปกโทรสโกปี สำหรับผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร เช่น artificial neural network (ANN), support vector machine (SVM) [8], Principal component analysis (PCA), linear discriminant analysis (LDA) และ k-nearest neighbors algorithm (k-NN) [10] เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาการใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปีด้วยการใช้เซนเซอร์ตรวจวัดราคาถูกร่วมกับกระบวนการ machine learning ในการพัฒนาเครื่องมือวัดต้นทุนต่ำช่วยในการทำนายความบริสุทธิ์ของน้ำผึ้งและปริมาณการปลอมปน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการรับรองความบริสุทธิ์และคุณภาพของน้ำผึ้งส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือการค้าขายน้ำผึ้งในท้องตลาด คาดหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ขายและผู้ซื้อน้ำผึ้งในการรับรองคุณภาพความบริสุทธิ์ของน้ำผึ้งเบื้องต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องมือสำหรับการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของน้ำผึ้งและปริมาณการปลอมปนด้วยเซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ในรูปแบบต้นทุนต่ำ

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีในการการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของน้ำผึ้งและปริมาณการปลอมปน

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำกระบวนการตรวจสอบแบบ Vis-NIR spectroscopy ด้วยเซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ยี่ห้อ Spark Fun รุ่น AS7265X ที่รับค่าความยาวคลื่นทั้งหมด 18 ช่วงความยาวคลื่นได้แก่ 410, 435, 460, 485, 510, 535, 560, 585, 610, 645, 680, 705, 730, 760, 810, 860, 900 และ 940 นาโนเมตร แล้วนำมาแปลงค่าเป็นสัญญาณดิจิทัลต่อลงภายหลังด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้อ Arduino Uno รุ่น R3 เพื่อตรวจสอบสิ่งปลอมปนในน้ำผึ้ง 5 แหล่งที่มา ปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว น้ำเชื่อมน้ำตาลสีรำ ด้วยอัตราส่วน 0% 10% 20% 30% 40% 50% 70% และ 100% เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับการตรวจสอบสารปลอมปนในวัสดุทางการเกษตรด้วยเทคนิค Multiple linear regression (MLR), Partial least squares regression (PLSR) และ Principal Component Neural Network (PC-NN) มาสร้างแบบจำลองทำนายระดับการปลอมปน และใช้แบบจำลอง Principal Component Neural Network (PC-NN) เพื่อจำแนกกลุ่มน้ำผึ้งเป็นกลุ่มต่างๆ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องมือสำหรับตรวจวัดสิ่งปลอมปนในวัสดุทางการเกษตรด้วยเซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำที่สามารถตรวจสอบน้ำผึ้งแท้ได้

### 1.5 ขอบเขตการดำเนินงาน

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การตรวจสอบปลอมปนในน้ำผึ้ง หรือการตรวจสอบการปลอมปนด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี เป็นต้น ออกแบบส่วนประกอบ ต่อวงจร เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องมือสำหรับตรวจวัดน้ำผึ้งให้สามารถพกพาและใช้งานได้ง่าย และสามารถแสดงผลการตรวจสอบการปลอมปนได้ จากนั้นเตรียมตัวอย่างน้ำผึ้งปลอมปนน้ำเชื่อม โดยใช้ตัวอย่างน้ำผึ้ง 5 แหล่งที่มาทำการผสมวัสดุปลอมปนได้แก่ น้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว และน้ำเชื่อมน้ำตาลสีรำ ด้วยอัตราส่วนต่อน้ำหนัก (w/w%) ที่ 100% (น้ำเชื่อมบริสุทธิ์) 70% 50% 40% 30% 20% 10% และ 0% (น้ำผึ้งบริสุทธิ์) ทำการตรวจวัดตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อม ด้วยเซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ยี่ห้อ SparkFun รุ่น AS7265X และวัดค่าสเปกตรัมจาก FT-NIR Spectrometer ในตัวอย่างเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือในการตรวจสอบด้วยวิธีมาตรฐาน สร้างแบบจำลองในการตรวจสอบการปลอมปนด้วยเทคนิค Multiple linear regression (MLR),

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Partial least square regression (PLSR) และ Principal Component Neural Network (PC-NN) ทดสอบสมรรถนะของเครื่องมือวัดและสมรรถนะของแบบจำลองด้วยค่าทางสถิติคือ Coefficient of determination ( $R^2$ ) และ Root Mean Square Error (RMSE) ใช้แบบจำลองที่ดีที่สุดมาสร้างแบบจำลองจำแนกประเภทโดยเกณฑ์ ดังนี้ Criteria A ประกอบด้วย กลุ่มตัวอย่างน้ำผึ้งบริสุทธิ์ (Pure) กลุ่มตัวอย่างปลอมปนน้ำเชื่อมทรายขาว (White) และกลุ่มตัวอย่างปลอมปนน้ำเชื่อมสีน้ำตาล (Brown) Criteria B ประกอบด้วย กลุ่มตัวอย่างน้ำผึ้งบริสุทธิ์ (Pure) และกลุ่มตัวอย่างน้ำผึ้งปลอมปน (Adulteration) และ Criteria C ประกอบด้วยกลุ่มตัวอย่างระดับการปลอมปน 0-10% กลุ่มตัวอย่างระดับการปลอมปน 20-30% กลุ่มตัวอย่างระดับการปลอมปน 40-50% และกลุ่มตัวอย่างระดับการปลอมปน 70-100% โดยมีการวัดผลที่สำคัญ 4 ประเภท ได้แก่ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score เมื่อได้ผลการทดลองแล้วก็สรุปผลและเขียนเล่มปริญญาานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 น้ำเชื่อมและน้ำผึ้ง

#### 2.1.1 น้ำเชื่อม (Syrup)

น้ำเชื่อมเป็นสารให้ความหวานที่ได้จากการละลายน้ำตาลในน้ำอุ่น โดยทั่วไปมักใช้เป็นน้ำตาลทรายขาวหรือน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์การผลิต ปกติแล้วแล้ว น้ำเชื่อมจะประกอบด้วย น้ำ (Water) เป็นส่วนประกอบหลักของน้ำเชื่อม มีหน้าที่ในการละลายสารต่าง ๆ และเป็นส่วนที่ทำให้น้ำเชื่อมมีความเป็นของเหลว น้ำตาล (Sugar) มักจะเป็นส่วนประกอบหลักอีกด้วย ซึ่งสามารถเป็นน้ำตาลทราย (sucrose) หรือน้ำตาลจากแหล่งอื่น ๆ ได้ตามแต่การผลิตและสูตรที่ใช้

#### 2.1.2 น้ำผึ้ง (honey)

น้ำผึ้งเป็นสารให้ความหวานจากธรรมชาติที่ผึ้งเก็บสะสมไว้เพื่อใช้เป็นอาหาร มีคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เช่น มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.4225 น้ำผึ้งปริมาณ 3,785 มิลลิลิตร (1 แกลลอน) จะมีน้ำหนัก 5,375 กรัม และให้พลังงาน 1,380 แคลอรี น้ำผึ้ง 100 กรัม จะให้พลังงานประมาณ 303 แคลอรี [12] น้ำผึ้งที่มีคุณภาพสูงควรมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 21% เพื่อรักษารสชาติที่เข้มข้นและสามารถเก็บรักษาได้นานโดยมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเพียงเล็กน้อย โดยหากไม่รวมปริมาณน้ำหรือความชื้นออกไป จะมีน้ำตาลประมาณ 95-99% ซึ่งประกอบไปด้วยฟรุกโตส กลูโคส เดกซ์โทรส ซูโครส มอลโทส แล็กโทส และน้ำตาลอื่นๆ รวม 17 ชนิด

ถึงแม้ว่าน้ำผึ้งจะมีรสหวาน แต่ในความเป็นจริงยังมีกรดต่างอยู่เช่นกัน เช่น กรดฟอร์มิก (Formic acid) กรดแอซิติก (Acetic acid) กรดซิตริก (Citric acid) กรดมาลิก (Malic acid) และกรดซัคซินิก (Succinic acid) ที่ถูกปิดบังอยู่เนื่องจากความหวานของน้ำผึ้ง ในน้ำผึ้งพบแร่ธาตุ เช่น แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม โซเดียม สังกะสี เหล็ก แมงกานีส และทองแดง ซึ่งถึงแม้จะมีปริมาณน้อยแต่ก็มีประโยชน์ต่อร่างกาย ในน้ำผึ้งพบเอนไซม์หลายชนิด เช่น อินเวอร์เทส ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นเดกซ์โทรสและกลูโคส รวมถึงไดเอสเทส (อะไมเลส) และเอนไซม์อื่นๆ เช่น แคทาเลส และฟอสฟาเทส เอนไซม์กลูโคออกซิเดสที่ทำให้เกิดกรดกลูโคนิกและไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ซึ่งสามารถยับยั้งเชื้อโรคได้ น้ำผึ้งมีวิตามินหลายชนิด เช่น ไทอามีน (B1), ไรโบฟลาวิน (B2), วิตามินซี, ไพรีดอกซิน (B6), กรดแพนโททินิก และกรดนิโคตินิก ซึ่งปริมาณจะแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของน้ำผึ้ง ส่วนใหญ่สารแวนิลอยในน้ำผึ้งจะเป็นเกสรดอกไม้และโปรตีน 4-7 ชนิดที่พบในปริมาณต่างกัน โปรตีนในน้ำผึ้งมีปริมาณประมาณ 0.1-0.6% น้ำผึ้งมีคุณสมบัติใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อต้านเชื้อโรค เนื่องจากกระบวนการที่เอนไซม์กลูโคออกซิเดสสร้างไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการต้านเชื้อโรค น้ำผึ้งจึงถูกนำมาใช้ในการรักษาบาดแผล แผลไฟไหม้ และการติดเชื้อ



รูปที่ 2.1 น้ำผึ้ง [11]

น้ำผึ้งที่ดีควรมีความชื้นและความหนืดที่เหมาะสม ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่น้อย น้ำผึ้งคุณภาพสูงไม่ควรมีความชื้นมากกว่า 21% หากมีน้ำมากเกินไป อาจทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและทำลายคุณค่าของน้ำผึ้งได้ น้ำผึ้งควรมีสีธรรมชาติ ตั้งแต่เหลืองอ่อนไปจนถึงน้ำตาลใส โดยไม่ควรมีลักษณะขุ่น มีกลิ่นหอมจากธรรมชาติที่สอดคล้องกับดอกไม้และแหล่งที่มา แหล่งน้ำผึ้งที่นิยมได้แก่ ลำไย ลิ้นจี่ และสับเสื่อ โดยเฉพาะน้ำผึ้งจากลำไยซึ่งมีรสชาติหวานหอมโดดเด่นกว่าน้ำผึ้งชนิดอื่น น้ำผึ้งที่มีคุณภาพควรปราศจากสิ่งเจือปน เช่น กาก ไขผึ้ง เศษผึ้ง หรือวัสดุอื่นๆ ที่แขวนลอย และต้องไม่มีกลิ่นหรือรสที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นบูดหรือเปรี้ยว อีกทั้งไม่ควรมีฟองและไม่มีการเติมสารปรุงแต่งสี กลิ่น หรือรสใด ๆ ในน้ำผึ้ง [12]

## 2.2 เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง และแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เป็นสาขาของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ที่เน้นการพัฒนาอัลกอริทึมและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้จากข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติ โดยไม่ต้องมีการกำหนดคำสั่งการทำงานอย่างละเอียดล่วงหน้า เป้าหมายหลักของ Machine Learning คือการวิเคราะห์ข้อมูลที่ซับซ้อนและค้นหารูปแบบที่ซ่อนอยู่ เพื่อใช้ในการทำนาย (Regression) หรือจำแนกประเภท (Classification) ของข้อมูลใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากประสบการณ์ในอดีต ตัวอย่างการใช้งานได้แก่ การทำนายยอดขาย การวิเคราะห์แนวโน้มทางธุรกิจ การตรวจจับการทุจริต รวมถึงการทำนายคุณภาพและการปลอมปนในผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำผึ้งในงานวิจัยนี้

กระบวนการทำงานของ Machine Learning เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งข้อมูลที่ใช้จะต้องมีคุณภาพสูงเพราะส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำของแบบจำลอง จากนั้นจะมีการเตรียมข้อมูล เช่น การล้างข้อมูลและการลดมิติข้อมูล เพื่อให้พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ เมื่อข้อมูลพร้อมแล้ว จะมีการเลือกโมเดล Machine Learning ที่เหมาะสมเพื่อนำมาฝึก (Training) โดยใช้ข้อมูลที่มีป้ายกำกับหรือไม่มีป้ายกำกับตามเทคนิคที่เลือก ระบบจะปรับน้ำหนักของตัวแปรต่างๆ ภายในโมเดล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ เมื่อฝึกโมเดลเสร็จแล้ว จะต้องทดสอบกับข้อมูลใหม่เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโมเดล และหากผลลัพธ์ยังไม่แม่นยำเพียงพอ ก็จะมีการปรับปรุงพารามิเตอร์หรือเลือกโมเดลใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต่อไป

ในงานวิจัยนี้ Machine Learning ถูกนำมาใช้สร้างแบบจำลองสำหรับการทำนายระดับการปลอมปนของน้ำผึ้งโดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมที่วัดได้จาก Vis-NIR multispectral sensor โมเดลที่ใช้ได้แก่

### 2.2.1 Partial Least Squares Regression (PLS-R)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์พหุคูณมิติศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (predictors) และตัวแปรตาม (response variables) โดยเฉพาะเมื่อข้อมูลมีลักษณะเป็นมิติสูง (high-dimensional data) หรือตัวแปรหลายตัวมีความสัมพันธ์กัน (multicollinearity) ซึ่งจะส่งผลให้แบบจำลองมีความไม่แม่นยำ PLS-R ใช้หลักการของการลดมิติข้อมูล (dimension reduction) โดยการสร้างตัวแปรใหม่ที่เรียกว่า "latent variables" หรือคอมโพเนนต์ ซึ่งเป็นการรวมข้อมูลจากตัวแปรอิสระหลายตัวให้อยู่ในรูปแบบที่สรุปข้อมูลสำคัญ เพื่อให้มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีประสิทธิภาพ

PLS-R ใช้หลักการการลดมิติ แบบจำลองจะทำการลดมิติข้อมูลโดยการค้นหาคอมโพเนนต์ที่อธิบายการกระจายของข้อมูลตัวแปรอิสระให้ได้มากที่สุด และคอมโพเนนต์เหล่านี้ยังต้องสามารถทำนายค่าตัวแปรตามได้อย่างแม่นยำ PLS-R ไม่ได้สร้างคอมโพเนนต์จากเฉพาะตัวแปรอิสระเท่านั้น แต่ยังใช้ข้อมูลจากตัวแปรตามในการค้นหาคอมโพเนนต์ที่เหมาะสม ดังนั้น คอมโพเนนต์ที่ได้จึงสัมพันธ์กับตัวแปรทั้งสองกลุ่ม หลังจากสร้างคอมโพเนนต์แล้ว PLS-R จะใช้คอมโพเนนต์เหล่านั้นในการทำนายค่าของตัวแปรตาม ซึ่งทำให้ PLS-R เหมาะกับข้อมูลที่มีความซับซ้อนหรือมีตัวแปรจำนวนมาก

แบบจำลอง PLS-R มีความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีตัวแปรอิสระหลายตัวที่มีความสัมพันธ์กันสูง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบเหนือเทคนิคการถดถอยเชิงเส้น (linear regression) ทั่วไป สามารถจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่ วิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนตัวแปรอิสระมากกว่าจำนวนตัวอย่างได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความแม่นยำในการทำนาย สามารถทำนายได้ดีในกรณีที่ตัวแปรหลายตัวมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ เนื่องจาก PLS-R สร้าง latent variables ที่เชื่อมโยงกับตัวแปรตาม จึงสามารถช่วยระบุว่าตัวแปรอิสระตัวใดมีผลมากที่สุดในการทำนายค่าตัวแปรตามได้ [13]

มีการประยุกต์ใช้แบบจำลอง PLS-R ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางเคมี เช่น การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง โดยเฉพาะในสเปกโทรสโกปี (spectroscopy) ใช้ในการตรวจจับการปลอมปนอาหาร เช่น น้ำผึ้ง นม หรือน้ำมัน เป็นต้น และการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน ใช้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์หลายตัวกับตัวแปรผลลัพธ์ เช่น การคาดการณ์ราคาหุ้น เป็นต้น

PLS-R มีข้อได้เปรียบในการจัดการกับข้อมูลที่ซับซ้อนและหลากหลาย ช่วยให้นักวิเคราะห์สามารถสร้างแบบจำลองที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพในการทำนาย

### 2.2.2 Multiple linear regression (MLR)

เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (dependent variable) กับตัวแปรอิสระหลายตัว (independent variables) โดยมีสมมติฐานว่าความสัมพันธ์นี้เป็นเชิงเส้น แบบจำลอง MLR ขยายจากการถดถอยเชิงเส้นธรรมดา (simple linear regression) ซึ่งใช้ตัวแปรอิสระเพียงหนึ่งตัวในการทำนายค่าของตัวแปรตาม ใน MLR จะใช้ตัวแปรอิสระหลายตัวในการสร้างแบบจำลอง สมการของ MLR มีรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + c \quad (1)$$

โดยที่:

Y	คือค่าตัวแปรตามที่ต้องการทำนาย
$x_1, x_2, \dots, x_n$	คือตัวแปรอิสระ (predictors) ที่ใช้ในการทำนาย
$a_0$	คือค่าคงที่หรือจุดตัดแกน (intercept)
$a_1, a_2, \dots, a_n$	คือสัมประสิทธิ์การถดถอย (coefficients) ของแต่ละตัวแปรอิสระ แสดงถึงอิทธิพลตัวแปรอิสระต่อค่าตัวแปรตาม
c	คือค่าความคลาดเคลื่อน (error term)

แบบจำลอง MLR ดำเนินการภายใต้สมมติฐานที่ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระเป็นเชิงเส้น ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ normal distribution ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่ (homoscedasticity) ตัวแปรอิสระไม่ควรมีความสัมพันธ์กันสูงเกินไป (ไม่มี multicollinearity) ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ควรมีความสัมพันธ์กัน (no autocorrelation)

MLR เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีข้อดีหลายประการในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเส้น อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของ MLR ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความถูกต้องของสมมติฐาน การเลือกตัวแปรอิสระที่เหมาะสม และความสามารถในการตีความข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลอง MLR

ข้อดีของ MLR	ข้อจำกัดของ MLR
ความง่ายในการใช้งาน มีการวิเคราะห์ที่ตรงไปตรงมาและสามารถสร้างสมการทำนายได้ในทันที	สามารถจัดการกับความสัมพันธ์เชิงเส้นเท่านั้น หากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระเป็นแบบไม่เชิงเส้น การใช้ MLR อาจไม่เหมาะสม
สามารถใช้ทำนายค่าตัวแปรตามได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อสมมติฐานต่างๆ ของ MLR ได้รับการตอบสนอง	หากตัวแปรอิสระหลายตัวมีความสัมพันธ์กันสูง อาจทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยผิดเพี้ยนและการทำนายไม่แม่นยำ
สามารถประเมินผลกระทบของตัวแปรอิสระหลายตัวในเวลาเดียวกันได้	หากมีตัวแปรอิสระที่ไม่เกี่ยวข้องหรือ noisy variables มากเกินไป อาจทำให้แบบจำลองซับซ้อนเกินไปและไม่แม่นยำ

MLR เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการทำนายความสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรหลายตัว ช่วยให้วิศวกรสามารถเข้าใจและตีความผลลัพธ์ได้อย่างชัดเจน แต่ควรระวังข้อจำกัดในเรื่องสมมติฐานและการเลือกตัวแปรที่เหมาะสม [14]

### 2.2.3 Principal Component Neural Network (PC-NN)

เป็นแบบจำลองการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผสมผสานระหว่างการลดมิติข้อมูลด้วย Principal Component Analysis (PCA) และการสร้างแบบจำลองด้วย Neural Networks (NN) ซึ่งช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) โดยเฉพาะในกรณีที่มีข้อมูลจำนวนมากหรือมีความซับซ้อน

PC-NN ใช้แนวคิดของ PCA เพื่อปรับปรุงการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมด้วยการลดมิติของข้อมูล ทำให้โครงข่ายเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยทำตามขั้นตอนดังนี้:

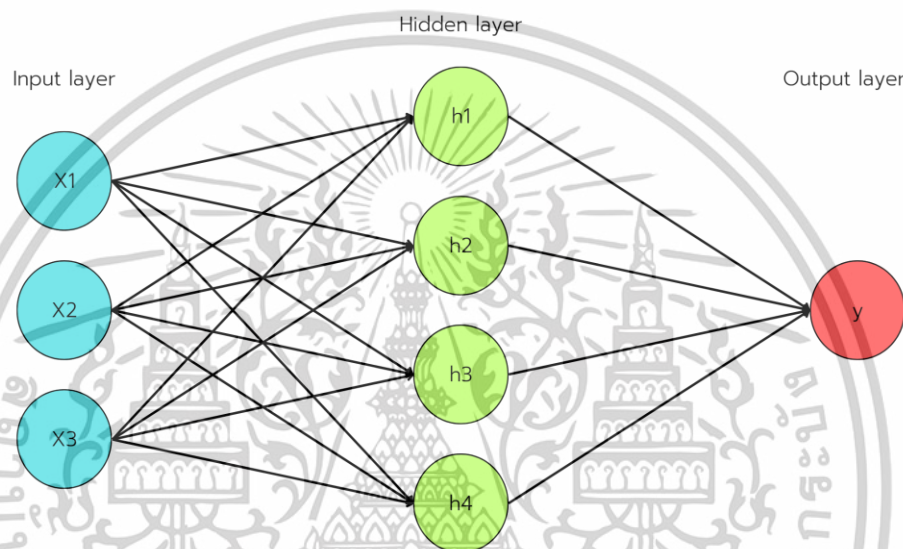
1) Principal Component Analysis (PCA) เป็นเทคนิคการลดมิติข้อมูลที่ช่วยแปลงข้อมูลจำนวนมากให้กลายเป็นชุดข้อมูลใหม่ที่มีมิติ (dimension) น้อยลง โดยใช้คอมโพเนนต์หลัก (principal components) ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้มากที่สุด โดย PCA จะหาคอมโพเนนต์เชิงเส้นที่ไม่สัมพันธ์กัน (orthogonal components) จากชุดตัวแปรอิสระ ซึ่งช่วยลดปัญหา multicollinearity ในข้อมูล ข้อมูลที่ถูกแปลงด้วย PCA ใช้วิธีการคำนวณและคู่สัดส่วนความแปรปรวนสะสม เลือกคอมโพเนนต์ที่มีความแปรปรวนสะสมเกิน 85%-95% ทำให้สามารถจะเก็บเฉพาะคอมโพเนนต์หลักที่มีความสำคัญ ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีข้อมูลที่เข้มข้นและลด noise

หรือข้อมูลที่ไม่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Neural Network (NN) โครงข่ายประสาทเทียมจะถูกใช้เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับการทำนายหรือการจำแนก (classification) ข้อมูล โดยใช้คอมโพเนนต์ที่ได้จาก PCA เป็น input แทนข้อมูลดิบ โครงข่ายประสาทเทียมมีหลายชั้น (layers) ที่ประกอบด้วย neurons ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลผ่านการเชื่อมโยงและการเรียนรู้ (training) ด้วยการปรับน้ำหนัก (weights) ของ neurons การลดมิติด้วย PCA จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำงานได้เร็วขึ้น เพราะข้อมูลที่เข้าสู่โครงข่ายมีมิติลดลง ทำให้การประมวลผลรวดเร็วและลดการ overfitting



รูปที่ 2.2 โครงสร้าง Neural Network พื้นฐาน

PC-NN มีประสิทธิภาพสูงในการประมวลผลข้อมูลที่มีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะในกรณีที่ข้อมูลดิบมีตัวแปรจำนวนมาก หรือข้อมูลมีความสัมพันธ์กันสูง ซึ่ง PCA จะช่วยลดปริมาณข้อมูลและจัดการกับปัญหา multicollinearity ได้เป็นอย่างดี แต่ก็ยังมีข้อเสียบางอย่าง ยกตัวอย่างเช่น หลังจาก that PCA แปลงข้อมูลให้เป็นคอมโพเนนต์หลัก ข้อมูลที่ได้จะเป็นคอมโพเนนต์ใหม่ที่ไม่สามารถตีความได้ตรงกับตัวแปรดั้งเดิม ดังนั้น การตีความผลลัพธ์อาจทำได้ยากขึ้น การตั้งค่าพารามิเตอร์: Neural Networks มีพารามิเตอร์หลายตัวที่ต้องปรับแต่ง เช่น จำนวนชั้นของ neurons ขนาดของคอมโพเนนต์ PCA ที่เลือกใช้งาน ซึ่งต้องใช้ในการทดสอบและการปรับจูนที่ละเอียดอ่อน PCA เป็นเทคนิคที่อิงการลดมิติแบบเชิงเส้น หากข้อมูลมีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น การใช้ PCA อาจไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ค่าทางสถิติสำหรับการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง Regression

### 2.3.1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, $R^2$ )

เป็นค่าที่ใช้ในการวัดความแม่นยำของแบบจำลองการถดถอย (regression model) โดยบ่งบอกถึงสัดส่วนของความแปรปรวนของตัวแปรตาม (dependent variable) ที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ (independent variables) ภายในแบบจำลอง

หลักการของ  $R^2$  คืออัตราส่วนระหว่าง ความแปรปรวนที่อธิบายได้ โดยแบบจำลองกับ ความแปรปรวนทั้งหมด ของตัวแปรตาม ดังสมการ

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (2)$$

โดยที่

$SS_{res}$  (Residual Sum of Squares) คือ ผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายได้

$SS_{tot}$  (Total Sum of Squares) คือ ผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม

ค่า  $R^2$  มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 หากค่า  $R^2 = 1$  หมายความว่า แบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้ทั้งหมด 100% (แบบจำลองมีความแม่นยำสูง) หากค่า  $R^2 = 0$  หมายความว่า แบบจำลองไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้เลย (ไม่มีความแม่นยำ) หาก  $R^2$  มีค่าสูง เช่น 0.85 หมายความว่า 85% ของความแปรปรวนของตัวแปรตามสามารถอธิบายได้โดยตัวแปรอิสระในแบบจำลอง ในบางกรณี  $R^2$  อาจมีค่าติดลบ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อแบบจำลองทำนายผลได้แย่กว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม

ค่า  $R^2$  ถูกใช้เพื่อประเมินว่าแบบจำลองนั้นสามารถทำนายค่าของตัวแปรตามได้ดีเพียงใด ยิ่งค่า  $R^2$  สูง แบบจำลองยิ่งมีความแม่นยำ ช่วยในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองต่างๆ โดยแบบจำลองที่มีค่า  $R^2$  สูงกว่า มักจะเป็นแบบจำลองที่ดีกว่า

### 2.3.2 Root Mean Square Error (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้ในการวัดความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ทำนายโดยแบบจำลองและค่าจริง โดยค่า RMSE บ่งบอกถึงขนาดของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทำนาย เป็นค่าที่แสดงผลต่างระหว่างค่าที่คาดการณ์กับค่าจริงในรูปของหน่วยเดียวกันกับตัวแปรตาม ทำให้เป็นตัวชี้วัดที่เข้าใจง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า RMSE คำนวณได้จากการนำค่า ความคลาดเคลื่อน (error) ระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนาย ได้มาหาค่าสแควร์รูทของค่าเฉลี่ยกำลังสองของข้อผิดพลาด ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2} \quad (3)$$

โดยที่

$y_i$  คือค่าจริงของตัวแปรตามสำหรับข้อมูลที่  $i$   
 $y'_i$  คือค่าที่แบบจำลองทำนายสำหรับข้อมูลที่  $i$   
 $n$  คือจำนวนตัวอย่าง

RMSE แสดงค่าเฉลี่ยของข้อผิดพลาดในแต่ละจุดข้อมูล ยิ่งค่า RMSE น้อย แสดงว่าแบบจำลอง มีความแม่นยำในการทำนายมากขึ้น เพราะค่าทำนายเข้าใกล้ค่าจริงมาก RMSE มักใช้เปรียบเทียบ ความแม่นยำระหว่างแบบจำลองต่างๆ ยิ่ง RMSE ต่ำกว่าแสดงว่าแบบจำลองทำนายได้ดีกว่า อีกทั้ง RMSE ยังเข้าใจง่าย เนื่องจาก RMSE อยู่ในหน่วยเดียวกันกับตัวแปรที่ทำนาย ทำให้ง่ายต่อการตีความ ผลลัพธ์ และ RMSE ยังสามารถบ่งบอกถึงข้อผิดพลาดของแบบจำลองในเชิงปริมาณได้ดี

RMSE ไวต่อค่าผิดปกติ (outliers) เพราะค่าผิดปกติจะทำให้ข้อผิดพลาดมีค่ากำลังสองสูง ซึ่ง อาจทำให้ RMSE สูงกว่าความเป็นจริง และ RMSE ไม่สามารถใช้บ่งบอกทิศทางของข้อผิดพลาด ได้ เนื่องจากเป็นค่าบวกเสมอ

ค่า RMSE ถูกใช้ในการวัดความแม่นยำของการพยากรณ์ เช่น ในการพยากรณ์ราคาหุ้นหรือ การพยากรณ์อากาศ และยังมีการใช้ประเมินคุณภาพของโมเดลในการทำนายค่าต่อเนื่อง (continuous values) เช่น การทำนายราคา หรือค่าทางวิทยาศาสตร์

## 2.4 การประเมินแบบจำลองจำแนกกลุ่ม

### 2.4.1 ตาราง Confusion Matrix

Confusion Matrix เป็นตารางที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการจำแนก ประเภทโดยแสดงผลการทำนายของแบบจำลองเมื่อเทียบกับค่าจริงของข้อมูล ซึ่งช่วยให้เห็นถึงความ ถูกต้อง (accuracy), ความผิดพลาด (errors), และประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทในแต่ละ คลาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตาราง Confusion Matrix สำหรับปัญหาการจำแนกประเภทแบบสองคลาส (binary classification)

	Predicted Positive	Predicted Negative
Actual Positive	True Positive (TP)	False Negative (FN)
Actual Negative	False Positive (FP)	True Negative (TN)

โดยที่ True Positive (TP) คือสิ่งที่ทำนาย ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง ในกรณีทำนายว่า จริง (Predicted Positive) และสิ่งที่เกิดขึ้นคือ จริง (Actual Positive) True Negative (TN) คือสิ่งที่ทำนายตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง ในกรณีทำนายว่า ไม่จริง (Predicted Negative) และสิ่งที่เกิดขึ้นคือ ไม่จริง (Actual Negative) False Positive (FP) คือสิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง ในกรณีทำนายว่า จริง (Predicted Positive) แต่สิ่งที่เกิดขึ้นคือ ไม่จริง (Actual Negative) False Negative (FN) คือสิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับที่ที่เกิดขึ้นจริง ในกรณีทำนายว่า ไม่จริง (Predicted Negative) แต่สิ่งที่เกิดขึ้นคือ (Actual Negative)

#### 2.4.2 ตัวแปรวัดสมรรถนะของแบบจำลอง Classification

จากค่าใน Confusion Matrix เราสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพต่างๆ ของแบบจำลองการจำแนกประเภทได้ ประกอบด้วย

1. ความแม่นยำของการจำแนกรวม (total classification accuracy หรือ accuracy, %) เป็นสัดส่วนของการทำนายที่ถูกต้องทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลทั้งหมดในชุดข้อมูล

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Accuracy}_{\text{micro}} = \frac{\sum (TP+TN)}{\sum (TP+TN+FP+FN)} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Accuracy}_{\text{macro}} = \frac{\sum \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}}{n} \times 100 \quad (6)$$

2. ความไว (sensitivity หรือ recall, %) การจำแนกกลุ่มตัวเองถูกคิดเป็นกี่ % วัดความสามารถในการทำนายค่าที่เป็นบวกเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนจริงที่เป็นบวก

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{sensitivity}_{\text{micro}} = \frac{\sum TP}{\sum (TP+FN)} \times 100 \quad (8)$$

$$\text{sensitivity}_{\text{macro}} = \frac{\sum \frac{TP}{(TP+FN)}}{n} \times 100 \quad (9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความเฉพาะเจาะจง (specificity, %) หมายถึง การจำแนกตัวอย่างจากกลุ่มอื่นว่าเป็นกลุ่มอื่น

$$\text{Specificity} = \frac{\text{TN}}{\text{TN}+\text{FP}} \times 100 \quad (10)$$

$$\text{specificity}_{\text{micro}} = \frac{\sum \text{TN}}{\sum (\text{TN}+\text{FP})} \times 100 \quad (11)$$

$$\text{specificity}_{\text{macro}} = \frac{\sum \frac{\text{TN}}{(\text{TN}+\text{FP})}}{n} \times 100 \quad (12)$$

4. ความเที่ยง (precision, %) หมายถึง วัดความแม่นยำของการทำนายที่เป็นบวกที่ถูกต้องจากการทำนายที่เป็นบวกทั้งหมด

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP}+\text{FP}} \times 100 \quad (13)$$

$$\text{precision}_{\text{micro}} = \frac{\sum \text{TP}}{\sum (\text{TP}+\text{FP})} \times 100 \quad (14)$$

$$\text{precision}_{\text{macro}} = \frac{\sum \frac{\text{TP}}{(\text{TP}+\text{FP})}}{n} \times 100 \quad (15)$$

5. คะแนน F1 (F1 score, %) เป็นค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักระหว่าง Precision และ Recall ที่ใช้ในการประเมินผลโดยรวมของโมเดล

$$\text{F1 score} = \frac{2 \times \text{precision} \times \text{sensitivity}}{\text{precision} + \text{sensitivity}} \times 100 \quad (16)$$

$$\text{F1 score}_{\text{micro}} = \frac{2 \times \text{precision}_{\text{micro}} \times \text{sensitivity}_{\text{micro}}}{\text{precision}_{\text{micro}} + \text{sensitivity}_{\text{micro}}} \times 100 \quad (17)$$

$$\text{F1 score}_{\text{macro}} = \frac{2 \times \text{precision}_{\text{macro}} \times \text{sensitivity}_{\text{macro}}}{\text{precision}_{\text{macro}} + \text{sensitivity}_{\text{macro}}} \times 100 \quad (18)$$

ในตรรกษาล่าง Micro หมายถึงการคำนวณค่าประเมินแบบรวมของทุกคลาส โดยการรวบรวมค่า True Positives (TP) True Negative (TN) False Positives (FP) และ False Negatives (FN) ของแต่ละคลาสเข้าด้วยกันก่อนที่จะคำนวณค่าตัวแปรวัดสมรรถนะของแบบจำลอง ผลการประเมินแบบ Micro Average จึงสะท้อนสมรรถนะโดยรวมของแบบจำลองทั้งหมด ซึ่งให้ความสำคัญกับจำนวนตัวอย่างในแต่ละคลาสแบบถ่วงน้ำหนัก เหมาะสำหรับกรณีที่คลาสมีจำนวนตัวอย่างแตกต่างกัน หรือในกรณีที่ต้องการวัดผลของแบบจำลองโดยรวมในทุกคลาส และ Macro หมายถึงการคำนวณค่าประเมินสมรรถนะโดยการคำนวณค่าตัวแปรวัดสมรรถนะของแบบจำลอง แยกตามแต่ละคลาสก่อน แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ในแต่ละคลาส ทำให้ทุกคลาสมีน้ำหนักเท่ากันในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Macro Average ซึ่งไม่ขึ้นกับจำนวนตัวอย่างในแต่ละคลาส เหมาะสำหรับการประเมินสมรรถนะของแบบจำลองที่มุ่งเน้นความสมดุลระหว่างคลาส โดยไม่มีคลาสใดได้รับน้ำหนักมากเกินไป

Confusion Matrix ถูกใช้ในการประเมินแบบจำลองการจำแนกประเภทในหลายด้าน ตัวอย่างเช่น การทำนายโรคในด้านการแพทย์: เพื่อประเมินว่าโมเดลสามารถตรวจจับผู้ป่วยที่เป็นโรค (positive class) และผู้ที่ไม่ได้เป็นโรค (negative class) ได้ดีแค่ไหน การตรวจจับการฉ้อโกงทางการเงิน: เพื่อวัดความสามารถของแบบจำลองในการจำแนกธุรกรรมที่เป็นการฉ้อโกงจากธุรกรรมปกติ การจำแนกประเภทใน Machine Learning: ใช้ในการวิเคราะห์การจำแนกข้อมูลเพื่อวัดประสิทธิภาพของโมเดลในงานเช่น การจำแนกภาพ การตรวจจับอีเมลสแปม เป็นต้น Confusion Matrix ช่วยให้เราวิเคราะห์ความสามารถของแบบจำลองในการจัดการกับการจำแนกประเภทได้ชัดเจน ทั้งในแง่ของการทำนายที่ถูกต้องและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น [16]

## 2.5 อุปกรณ์และระบบประมวลผลภายในเครื่องวัดความบริสุทธิ์ของน้ำผิวดินทุนต่ำ

### 2.5.1 เซนเซอร์ SparkFun Triad Spectroscopy Sensor - AS7265x

เป็นอุปกรณ์วัดแสงที่สามารถตรวจจับสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งมีความแม่นยำสูงและครอบคลุมช่วงกว้างของแสงที่ตามองเห็น (Visible) และแสงอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) ทำให้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม โดยเซนเซอร์นี้ใช้เทคโนโลยีจาก AS7265x series ของ AMS ซึ่งประกอบด้วย 3 ตัวตรวจจับแสง (AS72651, AS72652, และ AS72653) ครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 410 นาโนเมตร ถึง 940 นาโนเมตร โดยมีฟิลเตอร์แสงที่สามารถตรวจจับได้ใน 18 ช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน (6 ช่วงต่อแต่ละตัวตรวจจับ) [17]



รูปที่ 2.3 SparkFun Multispectral Sensor รุ่น AS7265x [17]

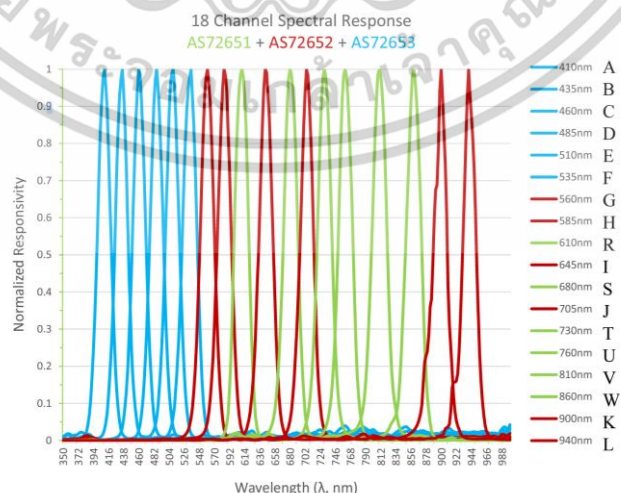
เซนเซอร์ AS7265x สามารถ ตรวจจับแสงได้ในช่วง 410-940 นาโนเมตร ครอบคลุมแสงที่ตามองเห็น (visible light) และแสงใกล้อินฟราเรด (NIR) เซนเซอร์มีฟิลเตอร์แสงเฉพาะที่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจจับแสง 18 ช่วงความยาวคลื่น ประกอบด้วย 410, 435, 460, 485, 510, 535, 560, 585, 610, 645, 680, 705, 730, 760, 810, 860, 900 และ 940 นาโนเมตร ใช้โปรโตคอลการสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือบอร์ดพัฒนาเช่น Arduino หรือ Raspberry Pi เพื่อส่งข้อมูลและรับคำสั่งได้ง่าย ใช้ LED แบบ 5700K ที่ติดตั้งบนบอร์ดสำหรับการส่องสว่างวัตถุที่ต้องการวัดแสงโดยตรง

เซนเซอร์ทำงานโดยการใช้ตัวตรวจจับแสงหลายตัวที่มีฟิลเตอร์แสง (optical filters) ในการแยกแสงที่ได้รับออกเป็นช่วงความยาวคลื่นต่างๆ จากนั้นจะทำการวัดความเข้มของแสงในแต่ละช่วงและแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัล ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของวัตถุหรือสารต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวิเคราะห์วัสดุ สี หรือคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ที่แสงมีส่วนในการสะท้อนหรือดูดซับ

เซนเซอร์ AS7265x สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดแสงและสเปกตรัม ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์สี (Color analysis): ใช้สำหรับตรวจสอบสีในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ หรือผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อวัดความถูกต้องและความสม่ำเสมอของสี การตรวจสอบคุณภาพอาหาร (Food quality inspection): ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของอาหาร โดยการวิเคราะห์สเปกตรัมแสงที่สะท้อนออกจากตัวอย่างอาหาร เช่น การวัดปริมาณน้ำตาล ความชื้น หรือการเจือปน การวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific research): สามารถใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสเปกโทรสโกปี เช่น การตรวจสอบลักษณะเฉพาะของวัสดุผ่านสเปกตรัม หรือการวิเคราะห์สารประกอบเคมี การตรวจจับแสงในงานอุตสาหกรรม: ใช้ตรวจจับคุณภาพและปริมาณแสงในกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับแสง เช่น ในการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ หรือการตรวจสอบลักษณะของวัสดุที่ผลิต งานทางการแพทย์: ใช้ในงานวิจัยทางการแพทย์ เช่น การวิเคราะห์แสงที่สะท้อนจากผิวหนัง เพื่อประเมินสุขภาพของเนื้อเยื่อหรือการตรวจสอบสารเคมีในตัวอย่างทางชีวภาพ



รูปที่ 2.4 แสดงค่าความยาวคลื่นที่เซนเซอร์ตรวจวัดได้ทั้ง 18 ช่องสัญญาณ [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SparkFun Triad Spectroscopy Sensor - AS7265x เป็นเซนเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับสเปกตรัมแสง โดยครอบคลุมทั้งแสงที่ตามองเห็นและแสงใกล้อินฟราเรด ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยที่ต้องการความละเอียดและความแม่นยำในการวัดแสง เช่น การตรวจสอบคุณภาพอาหาร การวิเคราะห์วัสดุ และการวิจัยทางวิทยาศาสตร์

### 2.5.2 บอร์ดควบคุม Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ยอดนิยมที่พัฒนาโดยบริษัท Arduino เพื่อใช้ในการพัฒนาและสร้างต้นแบบโปรเจกต์อิเล็กทรอนิกส์แบบโอเพ่นซอร์ส โดยใช้หน่วยประมวลผล ATmega328P ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพพอเหมาะสำหรับการควบคุมอุปกรณ์หรือระบบที่ไม่ซับซ้อนมาก นอกจากนี้ Arduino Uno R3 ยังรองรับการเชื่อมต่อกับเซนเซอร์และอุปกรณ์เสริมอื่นๆ ได้หลากหลาย

บอร์ด Arduino Uno R3 มีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P ใช้สถาปัตยกรรม AVR 8 บิต ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB (2 KB ใช้สำหรับบูตโหลดเดอร์) RAM 2 KB SRAM และ EEPROM 1 KB จำนวนขาอินพุต/เอาต์พุต (I/O Pins) ประกอบด้วย ขาดิจิทัล (Digital I/O) 14 ขา (6 ขารองรับ PWM) ขาแอนะล็อกอินพุต (Analog Input Pins) 6 ขา PWM Output 6 ขา UART (Serial) จำนวน 1 ช่อง แรงดันไฟฟ้าทำงานอยู่ที่ 5 V (มีเรกูเลเตอร์ในตัว) ต้องการแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Input Voltage) 7-12 V ผ่านแจ็ก DC หรือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 5 V ผ่านขา USB กระแสไฟสูงสุดที่ขา I/O คือ 40 mA ต่อขา สามารถการเชื่อมต่อ USB สำหรับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่ออัปเดตโปรแกรมและคำสั่งการทำงานต่างๆ และใช้พอร์ตนี้ในการจ่ายไฟให้กับบอร์ด มีปุ่มรีเซ็ตในตัว สามารถกดเพื่อตั้งค่าบอร์ดใหม่ได้ รองรับการสื่อสารผ่าน UART (Serial), SPI และ I2C ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์และอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ ได้หลากหลาย เช่น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น แสง และโมดูลเสียง สั่นสะเทือน หรือแสง เป็นต้น

บอร์ด Arduino Uno R3 ใช้ Arduino IDE (Integrated Development Environment) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มการพัฒนาโปรแกรมแบบโอเพ่นซอร์สที่สามารถเขียนโค้ดและอัปโหลดเข้าสู่บอร์ดได้ง่าย โดยใช้ภาษาการเขียนโปรแกรมที่คล้ายกับภาษา C++ สามารถเพิ่มความสามารถของบอร์ดได้ด้วย Arduino Shields ซึ่งเป็นบอร์ดเสริมที่เชื่อมต่อกับ Arduino เพื่อเพิ่มฟังก์ชันการทำงาน เช่น Wi-Fi, Bluetooth, จอแสดงผล LCD, มอเตอร์ควบคุม เป็นต้น Arduino Uno R3 เหมาะสำหรับการโครงการอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน เช่น การควบคุมไฟ LED เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ การควบคุมมอเตอร์ หรือการสร้างระบบ IoT ขนาดเล็ก [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 เทคนิค Spectroscopy

Spectroscopy (สเปกโทรสโกปี) เป็นเทคนิคทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดและวิเคราะห์สเปกตรัม อันเป็นผลจากการที่สสารดูดกลืนหรือปล่อยพลังงานในรูปของแสงออกมาในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ การวิเคราะห์นี้ช่วยให้เราสามารถศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสสารได้

Spectroscopy มีหลักการคือ เมื่อแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านสสาร บางส่วนจะถูกดูดซับและบางส่วนจะสะท้อนหรือส่งผ่านออกมา การที่สสารดูดกลืนแสงในความยาวคลื่นต่างๆ นั้น ขึ้นอยู่กับโครงสร้างอะตอมและโมเลกุลของสสาร โดยทั่วไปแล้ว เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลได้รับพลังงานจากแสง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในสถานะพลังงานของมัน เช่น การเปลี่ยนแปลงสถานะพลังงานของอิเล็กตรอน หรือการเปลี่ยนแปลงลักษณะการสั่นหรือการหมุนของโมเลกุล การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะนี้เรียกว่า "สเปกตรัม" ซึ่งแสดงเป็นกราฟของความเข้มของแสงในแต่ละความยาวคลื่น และสามารถนำไปใช้ในการระบุชนิดของสสาร รวมถึงศึกษาคุณสมบัติอื่นๆ ได้ ประเภทของ Spectroscopy ได้แก่

Absorption Spectroscopy (การวิเคราะห์การดูดกลืนแสง): ใช้ศึกษาการดูดกลืนแสงของสสารในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ โดยสเปกตรัมที่ได้จะมีลักษณะเป็นการลดลงของความเข้มแสงในบางช่วงของความยาวคลื่น อธิบายถึงการดูดกลืนพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ตัวอย่างเช่น UV-Vis Spectroscopy ใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่ตามองเห็นในการศึกษาการดูดกลืนแสงของสาร

Emission Spectroscopy (การวิเคราะห์การปล่อยแสง): ศึกษาการปล่อยแสงหรือพลังงานจากอะตอมและโมเลกุลที่ถูกกระตุ้น โดยสเปกตรัมที่ได้จะเป็นการปล่อยแสงในความยาวคลื่นเฉพาะที่เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนในอะตอมหรือโมเลกุลกลับสู่สถานะพลังงานต่ำ ตัวอย่างเช่น Atomic Emission Spectroscopy (AES) ใช้ในการวิเคราะห์แสงที่ปล่อยออกจากอะตอมเมื่อกลับสู่สถานะพื้น

Fluorescence Spectroscopy (การวิเคราะห์การเรืองแสง): สสารบางชนิดสามารถดูดกลืนแสงที่มีพลังงานสูง (เช่น UV) และปล่อยพลังงานในรูปของแสงที่มีพลังงานต่ำกว่าออกมา เช่น แสงที่ตามองเห็น แสงอินฟราเรด เป็นต้น ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์การกระตุ้นและการปล่อยพลังงานของสสารได้ ตัวอย่างเช่น Fluorescence Spectroscopy ใช้ในงานชีววิทยาและเคมีในการวิเคราะห์สารที่มีคุณสมบัติเรืองแสง

Raman Spectroscopy ศึกษาการกระเจิงแสง (scattering) โดยแสงจะกระเจิงออกจากโมเลกุลในลักษณะที่พลังงานแสงเปลี่ยนไป ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นหรือหมุนของโมเลกุล จึงสามารถใช้ในการศึกษาสารประกอบทางเคมีได้ ใช้ในการศึกษาการสั่นของโมเลกุลและคุณสมบัติทางเคมีในสารต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy: ใช้ในการศึกษาพลังงานที่ถูกปล่อยหรือดูดซับโดยนิวเคลียสของอะตอมเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก โดยการวิเคราะห์นี้สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและสภาพแวดล้อมของอะตอมในโมเลกุลได้ สามารถใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล โดยเฉพาะในสารอินทรีย์

สามารถใช้ Spectroscopy ในการระบุชนิดของธาตุหรือสารประกอบในตัวอย่าง เช่น การตรวจสอบองค์ประกอบในตัวอย่างทางอุตสาหกรรมหรือในตัวอย่างทางชีววิทยา ในเทคนิคบางประเภท เช่น NMR และ IR spectroscopy ใช้ในการศึกษาลักษณะโครงสร้างของโมเลกุล ซึ่งมีความสำคัญในงานด้านเคมีและชีววิทยา มีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อวัดคุณภาพและตรวจสอบการเจือปนในผลิตภัณฑ์ ใช้ในการวัดและตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ เช่น ในการวิเคราะห์โลหะ หรือวัสดุพลาสติก นอกจากนี้ยังมีการใช้ในการตรวจสอบสภาวะทางการแพทย์ เช่น การวิเคราะห์ตัวอย่างเลือด การตรวจหามะเร็ง หรือการตรวจสอบเนื้อเยื่อทางชีวภาพ [19]

Spectroscopy เป็นเทคนิคที่สำคัญในการศึกษาคุณสมบัติของสารผ่านการวิเคราะห์สเปกตรัมของแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถประยุกต์ใช้ในหลายสาขา เช่น วิทยาศาสตร์เคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ และการแพทย์ โดยมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับรูปแบบการดูดซับหรือปล่อยพลังงานของสาร

## 2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน หรือที่เรียกย่อๆ ว่า ANOVA (Analysis of Variance) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลหลายกลุ่ม โดย ANOVA จะช่วยให้เราทราบว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มเหล่านั้นเกิดจากผลของปัจจัยที่เราทดสอบจริงๆ หรือเพียงเป็นความบังเอิญทางสถิติ เทคนิคนี้มักถูกใช้ในงานวิจัยที่มีการเปรียบเทียบหลายกลุ่ม เช่น การทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์หลายรูปแบบ หรือการทดสอบผลของปัจจัยต่างๆ ต่อผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษา

ANOVA จะเปรียบเทียบความแปรปรวนของข้อมูลระหว่างกลุ่มตัวอย่าง (Between-group variance) กับความแปรปรวนภายในกลุ่มตัวอย่าง (Within-group variance) โดยความแปรปรวนระหว่างกลุ่มคือความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่ม และความแปรปรวนภายในกลุ่มคือความแตกต่างของข้อมูลภายในกลุ่มเดียวกัน ถ้าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่าสูงกว่าความแปรปรวนภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายความว่าปัจจัยที่ทดสอบมีผลต่อค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่ม

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบ่งออกเป็นสามประเภท ประกอบด้วย One-Way ANOVA (ANOVA ทางเดียว) ใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มมากกว่า 2 กลุ่ม ที่ได้รับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากปัจจัยเดียว เช่น การเปรียบเทียบผลของปุ๋ยชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของพืช ในกรณีนี้ ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามค่าของปัจจัยเดียว (เช่น ปุ๋ยชนิด A, B, C) และทดสอบว่ามีความแตกต่างในค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มเหล่านี้หรือไม่ Two-Way ANOVA (ANOVA สองทาง) ใช้เมื่อเราต้องการทดสอบผลของปัจจัยสองปัจจัยหรือมากกว่านั้นต่อค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ เช่น การเปรียบเทียบผลของปุ๋ยหลายชนิดและระดับแสงต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของพืช Two-Way ANOVA ยังช่วยให้สามารถตรวจสอบว่าปัจจัยทั้งสองมีปฏิสัมพันธ์กันหรือไม่ กล่าวคือ ปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อผลลัพธ์ที่เกิดจากปัจจัยอื่นหรือไม่ และ Repeated Measures ANOVA ใช้ในกรณีที่ข้อมูลถูกวัดหลายครั้งจากตัวอย่างเดียวกัน เช่น การวัดผลของยาในผู้ป่วยกลุ่มเดียวกันในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลา

ANOVA จะคำนวณค่าความแปรปรวนทั้งระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่ม และทำการคำนวณค่า F-statistic ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มต่อความแปรปรวนภายในกลุ่ม หากค่า F มีค่าสูง หมายถึงมีความเป็นไปได้ที่ปัจจัยที่ทดสอบส่งผลต่อความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม หากค่า p-value หรือ Sig. (significant) ที่ได้จากการคำนวณน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ (เช่น 0.05) จะสรุปได้ว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มมีนัยสำคัญทางสถิติ

ANOVA เป็นเครื่องมือทางสถิติที่มีประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างหลายกลุ่ม โดยเฉพาะในกรณีที่มีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ซับซ้อนในเชิงการทดลอง การประยุกต์ใช้ ANOVA ในงานวิจัยนี้มีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบความแตกต่างของปัจจัยที่ส่งผลต่อน้ำผึ้ง และช่วยให้สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและมีนัยสำคัญทางสถิติ

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tosun และ Keles ได้พัฒนาวิธีการตรวจสอบน้ำผึ้งที่ถูกปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมซูโครส (น้ำตาลหัวปีท) [20] โดยใช้อัตราส่วนการผสมที่ 0%, 10%, 20%, 40%, และ 50% ของน้ำเชื่อมซูโครสต่อปริมาณน้ำผึ้งบริสุทธิ์ ผลลัพธ์ที่น้ำผึ้งที่ถูกปลอมปนเหล่านี้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น HPLC (High-Performance Liquid Chromatography) สำหรับการวิเคราะห์น้ำตาล และการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพอื่น ๆ เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณของสารเคมีที่สำคัญในน้ำผึ้ง เช่น ความชื้น, 5-HMF (5-Hydroxymethylfurfural), diastase activity, proline, และน้ำตาลฟรุกโตส/กลูโคส มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปลอมปนซูโครส โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำผึ้งที่ผสมซูโครสในอัตราส่วนที่สูงถึง 50% ซึ่งพบว่าการปลอมปนอาจส่งผลให้ปริมาณสารเหล่านี้เกินขอบเขตปกติ การวิเคราะห์ PCA (Principal Component Analysis) ถูกใช้ในการระบุความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ และผลการวิจัยสรุปว่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์สามารถใช้ในการตรวจจับการปลอมปนของน้ำผึ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้ความร้อนในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลอมปน ซึ่งส่งผลให้ค่า HMF เพิ่มขึ้นและลดกิจกรรมของเอนไซม์ diastase นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณซูโครสยังทำให้ค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณโพสตรินลดลง สรุปได้ว่าการตรวจสอบน้ำผึ้งที่ถูกปลอมปนสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าทางเคมีและกายภาพ ซึ่งเป็นวิธีการที่เชื่อถือได้ในการตรวจจับการปลอมปนของน้ำผึ้งในตลาด

Ploskas และคณะ ใช้วิธีการสเปกโทรสโกปี UV-Vis เพื่อตรวจหาการเจือปนในน้ำผึ้งเมดิเตอร์เรเนียน [21] งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการตรวจจับการปลอมปนน้ำผึ้งด้วยน้ำเชื่อมซูโครสโดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปี UV-Vis (UV-Vis spectroscopy) และการวิเคราะห์ทางเคมี ด้วยการนำตัวอย่างน้ำผึ้งจากภูมิภาคเมดิเตอร์เรเนียน เช่น กรีซ ตุนิเซีย ตุรกี สเปน และมอลตา ซึ่งเป็นน้ำผึ้งจากดอกโรยม์ (thyme), ไพน์ (pine), และน้ำผึ้งหลากดอก (polyfloral) รวมถึงตัวอย่างที่ถูกปลอมปนมาวิเคราะห์ การตรวจสอบนี้ใช้สเปกตรัมในช่วง 190–900 นาโนเมตร โดยพบว่าความแตกต่างในสเปกตรัมของน้ำผึ้งมาจากส่วนประกอบเช่น น้ำตาลและสารประกอบฟีนอลิก เทคนิค UV-Vis นั้นทำได้รวดเร็ว มีต้นทุนต่ำ และมีความแม่นยำสูงเมื่อนำมาผนวกรวมกับการวิเคราะห์ทางสถิติแบบพหุคูณศาสตร์ (multivariate statistical analysis) เช่น RF (Random Forest), PLS-DA (Partial Least Squares Discriminant Analysis) และ DD-SIMCA (Data-Driven Soft Independent Modeling of Class Analogy) การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสเปกโทรสโกปี UV-Vis สามารถระบุการปลอมปนน้ำผึ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเปรียบเทียบข้อมูลเชิงสเปกตรัมและการวิเคราะห์ทางสถิติที่ซับซ้อน นับว่าเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำผึ้งอย่างรวดเร็วและคุ้มค่า โดยแบบจำลอง RF, PLS-DA และ DD-SIMCA สามารถระบุการปนเปื้อนในน้ำผึ้งได้ดี และความแม่นยำในการทำนายมากกว่า 90%

González และคณะ ศึกษาเรื่องการตรวจจับและประเมินการปลอมปนน้ำผึ้งด้วยน้ำเชื่อมข้าวโพดฟรุคโตสสูง (HFCS) [22] โดยใช้น้ำผึ้งจาก Granada P.D.O. ประเทศสเปน ตัวอย่างน้ำผึ้งที่ถูกปลอมปนในอัตราส่วนตั้งแต่ 10% ถึง 90% ถูกนำมาวิเคราะห์โดยเทคนิค Visible-Near Infrared Spectroscopy (Vis-NIRS) ร่วมกับการวิเคราะห์เคมีเชิงสถิติ (chemometrics) โดยใช้เทคนิค PCA (Principal Component Analysis), LDA (Linear Discriminant Analysis) และ PLS (Partial Least Squares Regression) ในการจำแนกและคาดการณ์ระดับการปลอมปน ผลการวิจัยพบว่า LDA สามารถจำแนกตัวอย่างน้ำผึ้งที่ปลอมปนได้อย่างแม่นยำถึง 100% ขณะที่ PLS มีความแม่นยำสูงในการคาดการณ์ระดับการปลอมปน โดยค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการทำนาย (RMSEC) ต่ำเพียง 3.05% แสดงให้เห็นว่าการใช้ Vis-NIRS ร่วมกับการวิเคราะห์เคมีเชิงสถิติเป็นวิธีที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการปลอมปนของน้ำผึ้ง

Valinger และคณะ ศึกษาการตรวจจับการปลอมปนน้ำผึ้งด้วยน้ำเชื่อมข้าวโพดฟรุคโตสสูง (HFCS) [23] โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปี UV-VIS และ NIR ร่วมกับการวิเคราะห์พหุคูณศาสตร์ (multivariate analysis) เพื่อพัฒนาแบบจำลอง PLS (Partial Least Squares) และ ANNs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Artificial Neural Networks) สำหรับการคาดการณ์การปลอมปน รวมถึงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำผึ้งบริสุทธิ์และน้ำผึ้งที่ถูกปลอมปน ตัวอย่างน้ำผึ้งอะคาเซีย 15 ตัวอย่างจากประเทศโครเอเชียถูกผสมกับ HFCS ในอัตราส่วน 10-90% และวิเคราะห์โดย UV-VIS ในช่วงคลื่น 325-900 นาโนเมตร และ NIR ในช่วงคลื่น 904-1699 นาโนเมตร แบบจำลอง PLS มีความแม่นยำสูงในการคาดการณ์ค่าต่างๆ ยกเว้นปริมาณความชื้น ขณะที่ ANNs แสดงความแม่นยำสูงกว่าสำหรับการคาดการณ์ทั้งการปลอมปนและคุณสมบัติเคมี-กายภาพ โดยมีค่า  $R^2$  สูงกว่า 0.86 สำหรับตัวแปรส่วนใหญ่ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิค UV-VIS และ NIR spectroscopy ร่วมกับ PLS และ ANNs ในการตรวจจับการปลอมปนน้ำผึ้งอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องการวิธีที่รวดเร็วและแม่นยำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

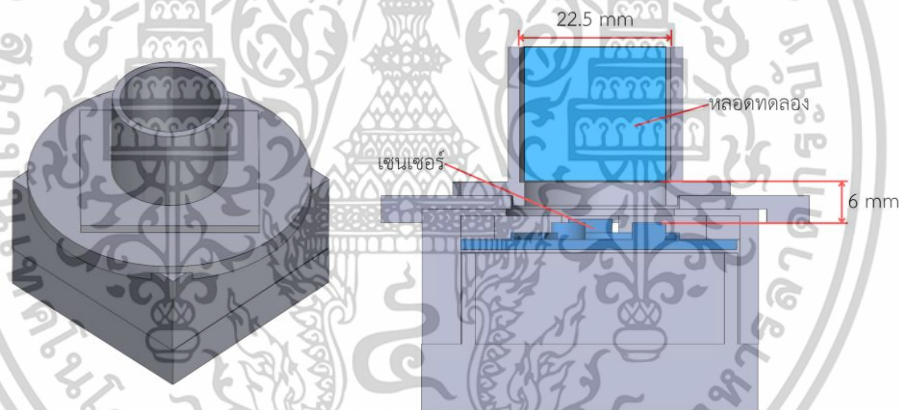
## วิธีการดำเนินงาน

### 3.1 การพัฒนาเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

ปรับปรุงต่อยอดอุปกรณ์จากงานวิจัย การประดิษฐ์ Vis-NIR multispectral แบบต้นทุนต่ำ: กรณีการวัดสิ่งปลอมปนในวัสดุทางการเกษตร [24] เพื่อให้เหมาะสมกับการตรวจสอบการปลอมปนในน้ำผึ้ง ซึ่งมีการปรับปรุงส่วนตรวจวัดและเปลี่ยนเซนเซอร์ที่มีช่วงคลื่นการตรวจวัดที่กว้างยิ่งขึ้น

#### 3.1.1 ส่วนตรวจวัด

ส่วนตรวจใช้ร่วมกับหลอดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 mm ซึ่งเป็นที่ใช้ในเครื่อง FT-NIR spectrometer ที่ใช้ในการตรวจสอบด้วยวิธี Near-Infrared Spectroscopy โดยเฉพาะ จุดวางหลอดทดลองมีขอบกั้นเส้นผ่านศูนย์กลาง 22.5 mm เพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก เซนเซอร์ภายในส่วนตรวจวัดมีระยะห่างจากหลอดทดลอง 6 mm



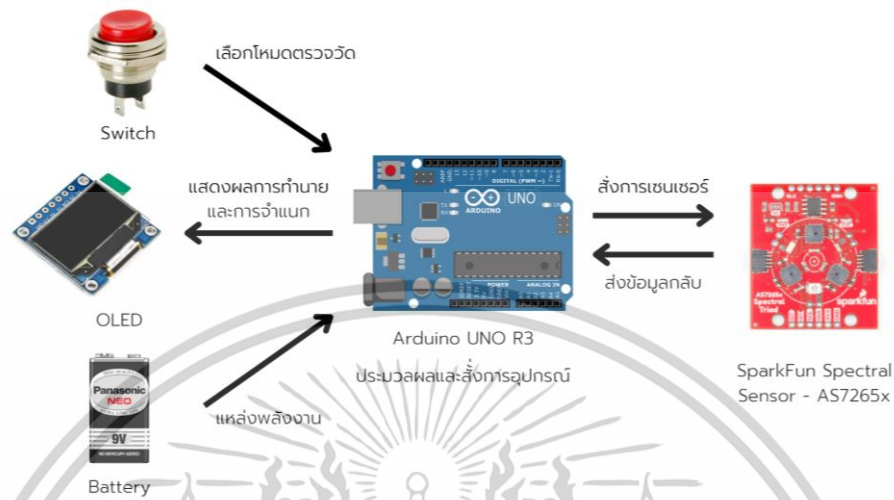
รูปที่ 3.1 ส่วนตรวจวัดและภาพตัดขวางของส่วนตรวจวัด

#### 3.1.2 ส่วนแสดงค่าและประมวลผล

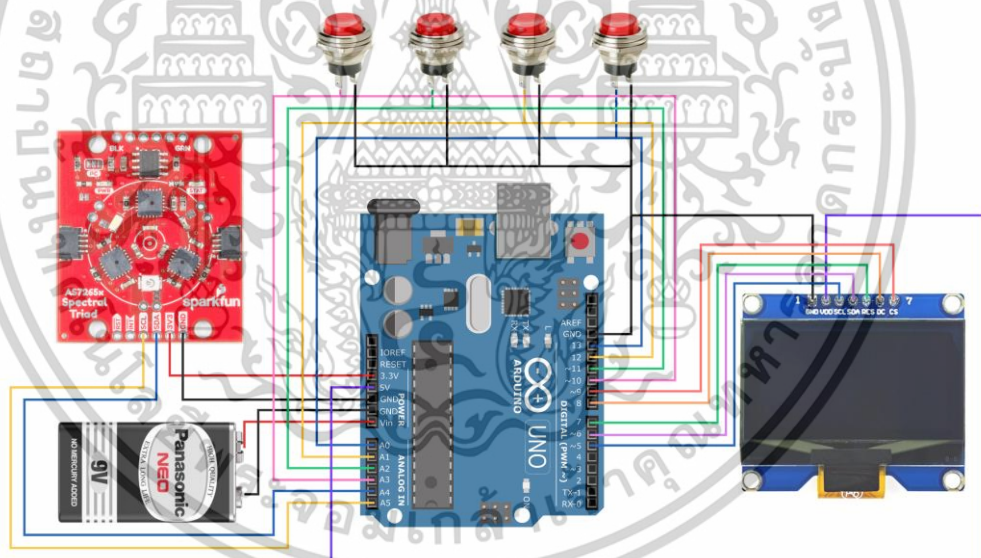
มีระบบการทำงานที่เริ่มต้นโดยการนำค่าการสะท้อนของตัวอย่างน้ำผึ้งที่นำมาทดลองซึ่งได้จากเซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ยี่ห้อ Spark Fun รุ่น AS7265X และส่งค่าเข้ามาประมวลผลที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 และซึ่งมีการโปรแกรมสมการการทำนายความบริสุทธิ์จากแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในค่าที่ทำกรทำนายผลเรียบร้อยแล้วนั้นจะถูกนำไปแสดงผลบนจอแสดงผล OLED 1.54 นิ้ว สามารถตรวจสอบน้ำผึ้งจากสถานที่ต่างๆตามโหมดที่เลือก ชนิดน้ำผึ้งประกอบด้วย ดอยคำ ท็อปส์ บิงกาฬ สุรินทร์ และ ชลบุรี ที่ใช้วิธีการเลือกด้วยสวิตช์แบบกดติดปล่อยดับ สำหรับการปรับเลือกโหมดการตรวจสอบซึ่งจะทำางร่วมกัน 3 สวิตช์ คือ 1) สวิตช์เลือกโหมดต่อไป 2) สวิตช์เลือกย้อนกลับไปโหมดก่อนหน้า 3) สวิตช์เลือกโหมดที่ 1 ซึ่งสวิตช์ทั้งหมดจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานสอดคล้องไปกับจอแสดงผลในการปรับเลือกไปยังโหมดต่างๆ และในระบบการทำงานจะมีแหล่งพลังงานคือถ่านไฟฉายขนาด 9 โวลต์

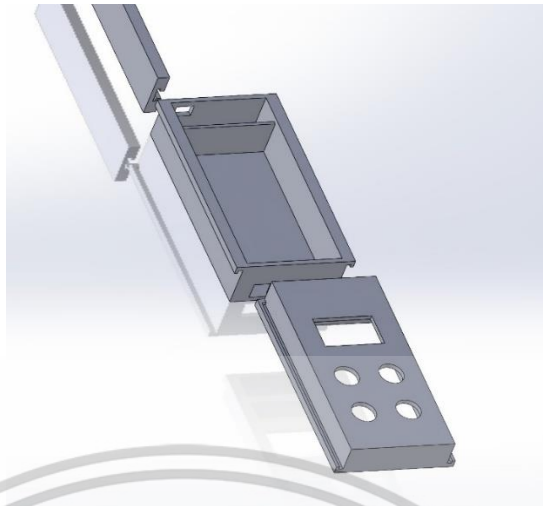


รูปที่ 3.2 ระบบการทำงานของเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อส่วนต่างๆ ของเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เคสเครื่องมือตรวจวัด (แยกส่วน)



รูปที่ 3.5 เคสเครื่องมือตรวจวัด (ประกอบ)



รูปที่ 3.6 เครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ต้นทุนของเครื่อง Vis-NIR multispectral

เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนั้นทางผู้พัฒนาได้มีเลือกใช้อุปกรณ์และวัสดุที่มีต้นทุนต่ำเพื่อให้มีราคาต้นทุนต่อเครื่องนั้นถูกที่สุดเท่าที่สามารถเป็นไปได้ โดยที่ต้นทุนสุทธิของเครื่องมีราคาอยู่ที่ 6,065 บาท และมีราคาของอุปกรณ์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ต้นทุนของเครื่องเครื่องมือตรวจวัดสิ่งปลอมปนในวัสดุการเกษตรด้วยเซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ในรูปแบบต้นทุนต่ำ

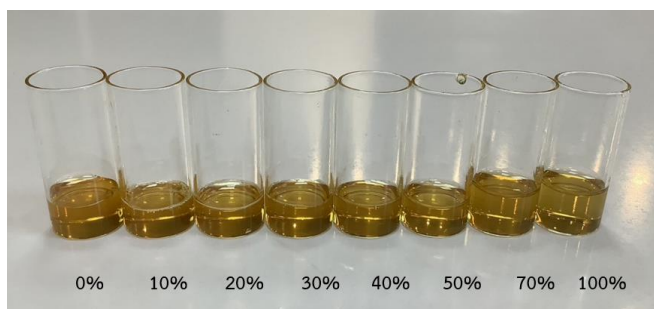
รายการ	ราคา (บาท)
เซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ยี่ห้อ Spark Fun รุ่น AS7265X	3,885.00
บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3	290
จอแสดงผล OLED 1.54 นิ้ว	370
สวิตช์แบบกดติดปล่อยดับ	80
ถ่านไฟฉายขนาด 9 โวลต์	40
สายไฟและอุปกรณ์เบ็ดเตล็ดอื่นๆ	1,400
รวม	6,065

### 3.3 ตัวอย่างทดลอง

ตัวอย่างน้ำผึ้ง 5 แหล่งที่มา ประกอบด้วยน้ำผึ้งจากห้างสรรพสินค้า 2 แหล่งที่มาคือ น้ำผึ้ง (Doikham) และน้ำผึ้งท็อปส์ (Tops) น้ำผึ้งป่า 3 แหล่งที่มาคือ น้ำผึ้งจากจังหวัดบึงกาฬ (Buengkan) น้ำผึ้งจากจังหวัดชลบุรี (Chonburi) และ น้ำผึ้งจากจังหวัดสุรินทร์ (Surin) ปลอมปนด้วยตัวอย่างน้ำเชื่อม 2 ชนิดคือ น้ำเชื่อมจากน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (White) และน้ำเชื่อมจากน้ำตาลสีรำ (Brown) ที่เป็นน้ำเชื่อมที่เกิดจากการละลายน้ำตาลในน้ำเปล่าด้วยอัตราส่วน 1:1 (50% Brix)

ผสมน้ำผึ้งแต่ละแหล่งที่มากับน้ำเชื่อมแต่ละชนิดจะได้ตัวอย่างทดลองน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมทั้งหมด 10 กลุ่มตัวอย่าง ระดับการปลอมปนน้ำหนักน้ำเชื่อมต่อน้ำหนักน้ำผึ้ง (%w/w) คือ 100% (น้ำเชื่อมบริสุทธิ์) 70% 50% 40% 30% 20% 10% และ 0% (น้ำผึ้งบริสุทธิ์) ในแต่ละระดับการปลอมปนแบ่งตัวอย่างใส่ในหลอดทดลอง 10 ตัวอย่าง ใน 1 กลุ่มตัวอย่าง จะมีตัวอย่างพร้อมตรวจสอบ 80 ตัวอย่าง หรือก็คือมีตัวอย่างของน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมทั้งหมด 10 กลุ่มตัวอย่างจำนวน 800 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างน้ำผึ้งดอยคำผสมกับน้ำเชื่อมน้ำตาลสีรำที่ระดับการปลอมปนทั้งหมด

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงแสดงตัวอย่างปลอมปนและจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

กลุ่มตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน	จำนวนตัวอย่างแต่ละระดับการปลอมปน	ตัวอย่างทั้งหมด
Doikham + White	8	10	80
Buengkan + White	8	10	80
Chonburi + White	8	10	80
Surin + White	8	10	80
Tops + White	8	10	80
Doikham + Brown	8	10	80
Buengkan + Brown	8	10	80
Chonburi + Brown	8	10	80
Surin + Brown	8	10	80
Tops + Brown	8	10	80
		รวม	800

### 3.4 การเก็บข้อมูลสเปกตรัมและองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง

การทดลองทั้งหมดดำเนินการในห้องอุณหภูมิตั้งที่ 24 องศาเซลเซียส ผสมตัวอย่างน้ำเชื่อมและน้ำผึ้งที่ระดับการปลอมปนต่างๆ จำนวน 8 ระดับการปลอมปน นำตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมไปแบ่งใส่ในหลอดทดลองจำนวน 10 ตัวอย่างต่อระดับการปลอมปน จะมีตัวอย่างทั้งสิ้น 80 ตัวอย่าง เก็บข้อมูลการสะท้อนแสงด้วยเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นซึ่งครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นแสงตั้งแต่ 410-940 nm โดยบันทึกข้อมูลซ้ำ 10 ครั้งในแต่ละตัวอย่างเพื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลสำหรับการฝึกฝนแบบจำลอง หมายความว่าในแต่ละกลุ่มตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมจะมีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมด 800 ชุดข้อมูล มีตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมทั้งหมด 10 กลุ่มตัวอย่าง จะได้ชุดข้อมูลของตัวอย่างทั้งหมด 8,000 ชุดข้อมูล



รูปที่ 3.8 การเก็บข้อมูลเปกตรัมตัวอย่างจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

บันทึกค่าการสะท้อนแสงตัวอย่างด้วยเครื่อง Bruker MPA FT-NIR Spectrometer ครอบคลุมความยาวคลื่นตั้งแต่ 800-2780 nm ในตัวอย่างเดียวกันกับที่บันทึกในอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น บันทึกข้อมูลหนึ่งครั้งต่อตัวอย่าง จะได้ข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมด 800 ชุดข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นกับวิธีการที่แม่นยำ

ส่งตัวอย่างเพื่อตรวจสอบหาน้ำตาลรวม (total sugars) ประกอบด้วย ฟรุกโทส กลูโคส ซูโครส มอลโทส และ แลคโตส ด้วยวิธีการ Liquid Chromatographic Method (AOAC Official Method 982.14, 2023) ที่สถาบันอาหาร (สอห.) เพื่อหาความแตกต่างระหว่างน้ำผึ้งกับน้ำเชื่อมเบื้องต้น และตรวจสอบหาปริมาณน้ำ (Moisture content) ในตัวอย่างด้วยการอบในตู้อบลมร้อนโดยใช้ตัวอย่าง 5.0 g อบที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง (AOAC Official Method, 1990) ตัวอย่างที่ส่งตรวจสอบน้ำตาลและอบลมร้อนหาปริมาณน้ำประกอบด้วย ตัวอย่างน้ำผึ้งบริสุทธิ์จากจังหวัดบึงกาฬ (Buengkan) 3 ตัวอย่าง น้ำเชื่อมจากน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (White) 3 ตัวอย่าง น้ำเชื่อมจากน้ำตาลสีน้ำตาล (Brown) 3 ตัวอย่าง น้ำผึ้งบริสุทธิ์จากจังหวัดบึงกาฬผสมน้ำเชื่อมจากน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (Buengkan + White) 3 ตัวอย่าง น้ำผึ้งบริสุทธิ์จากจังหวัดบึงกาฬผสมน้ำเชื่อมจากน้ำตาลสีน้ำตาล (Buengkan + Brown) 3 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การหาค่า Repeatability และ Reproducibility

1) การหาความสามารถในการทวนซ้ำ (Repeatability) เป็นการทดลองด้วยการวัดค่าการสะท้อนแสงในตัวอย่างน้ำฝิ่ง เก็บข้อมูลในตัวอย่างเดิมและสภาพแวดล้อมเดิมโดยไม่รบกวนการบันทึกผลการทดลอง บันทึกข้อมูลการทดลอง 10 ข้อมูล รายงานความสามารถในการทวนซ้ำประกอบด้วยค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) เฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรปรวน (Coefficient of Variation: C.V.) หรือ %Error เฉลี่ยของทุกความยาวคลื่น

2) การหาความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ด้วยการทดลองวัดค่าการสะท้อนแสงในตัวอย่าง น้ำฝิ่ง เก็บข้อมูลในตัวอย่างน้ำฝิ่งชนิดเดิมและสภาพแวดล้อมเดิม ในการบันทึกค่าแต่ละครั้งจะทำการคนตัวอย่างใหม่แล้ววัดค่า เก็บข้อมูลน้ำฝิ่ง 10 ข้อมูล รายงานความสามารถในการทำซ้ำประกอบด้วยค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) เฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรปรวน (Coefficient of Variation: C.V.) หรือ %Error เฉลี่ยของทุกความยาวคลื่น

### 3.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลการสะท้อนแสงของตัวอย่างน้ำฝิ่ง

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการสะท้อนแสงน้ำฝิ่งด้วยวิธีการ ANOVA แบบทางเดียว ด้วยข้อมูลที่มีปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อมูลการสะท้อนแสงอยู่ 2 ปัจจัย คือ ความยาวคลื่น และระดับการปลอมปนน้ำฝิ่ง โดยตั้งสมมติฐานในแต่ละปัจจัยดังนี้

- สมมติฐานศูนย์ (Null Hypothesis,  $H_0$ ): ค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงในแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน (ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มน้ำฝิ่งที่มีการปลอมปนต่างกัน)
- สมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis,  $H_A$ ): ค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (กลุ่มน้ำฝิ่งที่มีการปลอมปนต่างกันมีค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน)

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ทางสถิติ IBM SPSS Statistics 2.9 เพื่อทำการคำนวณหาค่า p-value ในแต่ละปัจจัยของค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นและแต่ละระดับการปลอมปน กำหนดระดับนัยสำคัญเป็น 0.05 หากค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด จะสรุปได้ว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างค่าเฉลี่ยของการสะท้อนแสงในแต่ละกลุ่ม

นำเสนอความแตกต่างกันของแต่ละกลุ่มข้อมูลจากทั้งสองปัจจัยด้วยค่าเฉลี่ยของค่าการสะท้อนแสงพร้อมกำกับความแตกต่างด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษเพื่อบ่งบอกว่าข้อมูลแต่ละกลุ่มเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยวิธีการ Multiple Duncan Range test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 การสร้างแบบจำลองการทำนายผลทางคณิตศาสตร์และการทดสอบสมรรถนะ

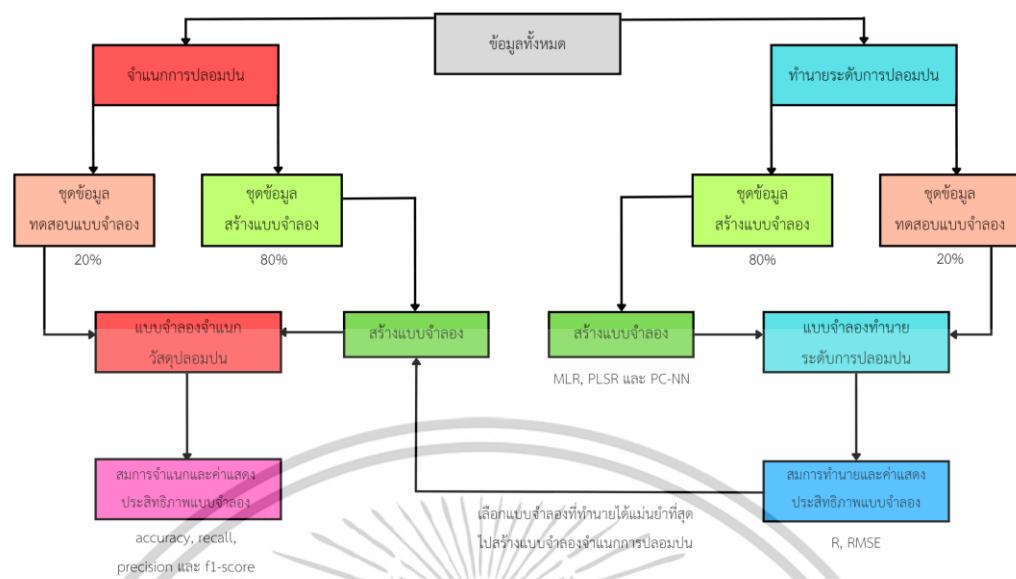
นำค่าสเปกตรัม (ค่าการสะท้อนแสง) ที่ได้จากการทดลองมาสร้างแบบจำลองการทำนายผลทางคณิตศาสตร์ด้วยเทคนิค Multiple linear regression (MLR) Partial least squares regression (PLSR) และ Principal Component Neural Network (PC-NN) ข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองประกอบด้วยข้อมูลจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำเพื่อสร้างแบบจำลองการทำนายความบริสุทธิ์น้ำผึ้ง และจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำนายจากอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นกับวิธีการที่แม่นยำ ใช้อัตราส่วนชุดสร้างแบบจำลองต่อชุดทดสอบแบบจำลองเป็น 80:20 และทดสอบสมรรถนะต่าง ๆ ด้วยค่า Coefficient of determination ( $R^2$ ), Root Mean Square Error (RMSE) ในแบบจำลองทำนายการปลอมปน เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องมือวัดนั้น ๆ มีความสามารถมากพอและน่าเชื่อถือในการตรวจวัดการปลอมปนต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

ใช้แบบจำลองที่มีค่าสมรรถนะการทำนายที่ดีที่สุดมาสร้างแบบจำลองจำแนกกลุ่มตัวอย่าง โดยแบ่งกลุ่มเป็น Criteria ต่างๆ ดังตารางที่ 3.3 ทดสอบสมรรถนะต่าง ๆ ด้วยค่า Accuracy Recall Precision และ F1-score

ตารางที่ 3.3 แสดงกลุ่มจำแนกข้อมูลตาม Criteria ทั้งสาม

Criteria	กลุ่มจำแนก	จำนวนข้อมูลสเปกตรัม จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น	จำนวนข้อมูลสเปกตรัม จาก FT-NIR Spectrometer
A	ตัวอย่างน้ำผึ้งบริสุทธิ์ (Pure)	1,000	100
	ตัวอย่างปลอมปนน้ำเชื่อมทรายขาว (White)	3,500	350
	ตัวอย่างปลอมปนน้ำเชื่อมสีน้ำตาล (Brown)	3,500	350
B	ตัวอย่างน้ำผึ้งบริสุทธิ์ (Pure)	1,000	100
	ตัวอย่างน้ำผึ้งปลอมปน (Adulteration)	7,000	700
C	ตัวอย่างระดับการปลอมปน 0-10%	2,000	200
	ตัวอย่างระดับการปลอมปน 20-30%	2,000	200
	ตัวอย่างระดับการปลอมปน 40-50%	2,000	200
	ตัวอย่างระดับการปลอมปน 70-100%	2,000	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงกระบวนการสร้างแบบจำลองการทำนายผลทางคณิตศาสตร์และการทดสอบ  
สมรรถนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ค่า Repeatability และ Reproducibility ของเซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าความสามารถในการทวนซ้ำและความสามารถในการทำซ้ำของอุปกรณ์ในการตรวจสอบวัสดุทดลองบริสุทธิ์ทั้งหมด ประกอบด้วย น้ำผึ้งดอยคำ น้ำผึ้งบึงกาฬ น้ำผึ้งชลบุรี น้ำผึ้งสุรินทร์ น้ำผึ้งท็อปส์ น้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว และน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ ซึ่งความสามารถในการทวนซ้ำของวัสดุทดลองทั้งหมดมีค่า %Error น้อยกว่า 1% หมายความว่าอุปกรณ์มีความคลาดเคลื่อนต่ำในการตรวจวัดวัสดุเดิมในสภาพแวดล้อมเดิม และความสามารถในการทำซ้ำของวัสดุทดลองทั้งหมด มี %Error น้อยกว่า 10% ซึ่งยังถือว่าเครื่องตรวจวัดที่สร้างขึ้นมีความสามารถในการทำซ้ำ

ตารางที่ 4.1 แสดงความสามารถในการทวนซ้ำและความสามารถในการทำซ้ำของอุปกรณ์

ตัวอย่าง	Repeatability		Reproducibility	
	SD	%Error	SD	%Error
น้ำผึ้งดอยคำ	0.0007	0.0961%	0.0327	5.6412%
น้ำผึ้งบึงกาฬ	0.0005	0.0894%	0.0373	7.4784%
น้ำผึ้งชลบุรี	0.0005	0.0821%	0.0426	6.8612%
น้ำผึ้งสุรินทร์	0.0004	0.0744%	0.0388	7.2598%
น้ำผึ้งท็อปส์	0.0005	0.0741%	0.0317	5.2755%
น้ำเชื่อมน้ำตาล ทรายขาว	0.0003	0.0343%	0.0372	4.8534%
น้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ	0.0006	0.0823%	0.0414	6.0741%

#### 4.2 วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการสะท้อนแสงจากความยาวคลื่นและระดับการปลอมปนต่างๆ ของเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำด้วยวิธี ANOVA

ตารางที่ 1ก (ภาคผนวก) แสดงผลการตรวจสอบความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ตรวจสอบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ที่ปรากฏในตาราง พบว่าทุกตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผสมน้ำเชื่อมแสดงค่า p-value น้อยกว่า 0.001 ซึ่งแปลว่าอย่างน้อยสองกลุ่มของตัวอย่างน้ำผึ้งที่มีระดับการปลอมปนต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยความนัยสำคัญที่ต่ำกว่า 0.001 หมายความว่ามีโอกาสน้อยกว่า 0.1% ที่ความแตกต่างดังกล่าวจะเกิดขึ้นโดยบังเอิญ จากนี้สามารถสรุปได้ว่าความแปรปรวนในข้อมูลสะท้อนแสงที่ได้รับจากน้ำผึ้งและน้ำเชื่อมในระดับการปลอมปนต่าง ๆ นั้นมีความแตกต่างกันจริง ทำให้การวิเคราะห์นี้มีความน่าเชื่อถือ และสามารถใช้เพื่อตรวจสอบความแตกต่างในการสะท้อนแสงของน้ำผึ้งและน้ำเชื่อมในระดับต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าการสะท้อนแสงจากตัวอย่างน้ำผึ้งที่ได้จากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ ในช่วงความยาวคลื่น 730-940 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการแยกแยะระดับการปลอมปนของน้ำผึ้ง การตรวจสอบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวโดยใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษทำให้เราทราบได้ว่ามีค่าการสะท้อนแสงใต้วงที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอักษรเดียวกันในแถวเดียวกันแสดงว่าค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันในเชิงสถิติ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าระดับการปลอมปนบางกลุ่มอาจมีค่าการสะท้อนแสงที่ใกล้เคียงกัน แต่ในขณะเดียวกัน ช่วงความยาวคลื่นในแถบ NIR นี้มีความสามารถในการแยกแยะระดับการปลอมปนที่แตกต่างกันได้อย่างชัดเจน เนื่องจากช่วงความยาวคลื่นในแถบนี้สามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติหลายอย่างของวัสดุอินทรีย์ เช่น การดูดซับน้ำ การสะท้อนแสงจากสารประกอบต่าง ๆ ในเนื้อวัสดุ แม้จะมีระดับการปลอมปนหลายระดับมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ก็สามารถอาศัยความแตกต่างกันในแต่ละความยาวคลื่นจำแนกการปลอมปนได้ จึงสามารถนำข้อมูลนี้ไปพัฒนาแบบจำลองทำนายระดับการปลอมปนและสร้างเครื่องมือที่สามารถแยกแยะกลุ่มน้ำผึ้งที่ผสมกับน้ำเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**ตารางที่ 4.2** ความแตกต่างค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยในระดับการปลอมปนต่างๆ

ความยาวคลื่น (nm)	กลุ่มตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน							
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	70%	100%
730	W+D	0.7099a	0.7310b	0.7167a	0.7741e	0.7427c	0.7589d	0.7495c	0.7859f
	W+Bu	0.6016b	0.5799a	0.6478c	0.6388c	0.7343d	0.7480e	0.7532e	0.7680f
	W+C	0.7440a	0.7506ab	0.7586bc	0.7720d	0.7640cd	0.7563bc	0.8083e	0.8202f
	W+S	0.6531c	0.6129a	0.6244b	0.6538c	0.6851d	0.7086e	0.7357f	0.7680g
	W+T	0.7705d	0.6673a	0.7393b	0.7510c	0.7804e	0.7665d	0.8024f	0.8202g
	B+D	0.7794e	0.6661a	0.7447b	0.7561c	0.7786e	0.7547c	0.7667d	0.8016f
	B+Bu	0.5957b	0.5692a	0.6588c	0.7089d	0.7303e	0.7553f	0.7530f	0.8016g
	B+C	0.7310a	0.7487cd	0.7503cd	0.7569d	0.7373ab	0.7794e	0.7415bc	0.7790e
	B+S	0.7147c	0.6384a	0.7030b	0.7490d	0.7028b	0.7567d	0.7510d	0.7790e
	B+T	0.7469c	0.6878a	0.6895a	0.7293b	0.7323b	0.7436c	0.7808d	0.7790d
760	W+D	0.6719a	0.6922c	0.6831b	0.7268e	0.7348f	0.7281ef	0.7125d	0.7558g
	W+Bu	0.6124b	0.5969a	0.6554c	0.6550c	0.7454d	0.7396d	0.7622e	0.7648e
	W+C	0.7359a	0.7399a	0.7550b	0.7601bc	0.7661c	0.7639c	0.7901d	0.8190e
	W+S	0.6614b	0.6252a	0.6317a	0.6600b	0.6901c	0.7074d	0.7399e	0.7648f
	W+T	0.7576c	0.6831a	0.7329b	0.7546c	0.7774d	0.7608c	0.7988e	0.8190f
	B+D	0.7689d	0.6673a	0.7419b	0.7549c	0.7621cd	0.7607c	0.7576c	0.7896e
	B+Bu	0.6189b	0.5934a	0.6736c	0.7040d	0.7148e	0.7522f	0.7591f	0.7896g
	B+C	0.7192a	0.7432b	0.7510c	0.7573c	0.7414b	0.7837d	0.7551c	0.7834d
	B+S	0.6973b	0.6488a	0.7065c	0.7389e	0.7195d	0.7516f	0.7511f	0.7834g
	B+T	0.7345c	0.6977a	0.6951a	0.7137b	0.7202b	0.7325c	0.7607d	0.7834e
810	W+D	0.6952a	0.7283c	0.7090b	0.7682d	0.7132b	0.7741d	0.7291c	0.7742d
	W+Bu	0.6299b	0.5837a	0.6635c	0.6542c	0.7624d	0.7523d	0.7806e	0.7492d
	W+C	0.7446b	0.7280a	0.7529b	0.7862d	0.7685c	0.7753cd	0.8121f	0.8002e
	W+S	0.6718b	0.6340a	0.6383a	0.6926c	0.7288d	0.7188d	0.7640e	0.7492e
	W+T	0.7898e	0.6634a	0.7355b	0.7539c	0.7744d	0.8002e	0.7942e	0.8002e
	B+D	0.7553c	0.6497a	0.7314b	0.7709d	0.7678d	0.7421b	0.7825e	0.7999f
	B+Bu	0.6078a	0.5978a	0.6755b	0.7162c	0.7551d	0.7705e	0.7649de	0.7999f
	B+C	0.7632b	0.7375a	0.7690b	0.7694b	0.7772b	0.7770b	0.7342a	0.7398a
	B+S	0.7399c	0.6336a	0.7182b	0.7323c	0.7178b	0.7613d	0.7612d	0.7398c
	B+T	0.7332b	0.6897a	0.6896a	0.7337b	0.7281b	0.7001a	0.7317b	0.7398b

\*ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

\*\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งท็อปส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ความแตกต่างค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยในระดับการปลอมปนต่างๆ

ความ ยาว คลื่น (nm)	กลุ่ม ตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน							
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	70%	100%
860	W+D	0.5636a	0.5949b	0.5810ab	0.6537de	0.6207c	0.6762e	0.6424cd	0.6597de
	W+Bu	0.5522b	0.5098a	0.6074c	0.6111c	0.6970e	0.6696d	0.6657d	0.6790de
	W+C	0.6154b	0.5959a	0.6416c	0.7122de	0.6934d	0.7289e	0.7160e	0.7115de
	W+S	0.5733b	0.5490a	0.5743b	0.6342c	0.6861d	0.6446c	0.6945d	0.6790d
	W+T	0.6718cd	0.5454a	0.6101b	0.6547c	0.6837de	0.7364g	0.6961ef	0.7115f
	B+D	0.6053b	0.5430a	0.6217b	0.6890d	0.7051d	0.6686c	0.7268e	0.7400e
	B+Bu	0.5332a	0.5460a	0.6210b	0.6658c	0.7113d	0.7354e	0.7250de	0.7400e
	B+C	0.6571b	0.6121a	0.7033cd	0.7137d	0.7148d	0.6832c	0.7046cd	0.6238a
	B+S	0.6380bc	0.5379a	0.6456c	0.6443c	0.6723d	0.7045e	0.7011e	0.6238b
	B+T	0.5965bc	0.5719a	0.5850ab	0.6505e	0.6550e	0.6092cd	0.6460e	0.6238d
900	W+D	0.7665c	0.7618c	0.7279b	0.7640c	0.7020a	0.8011e	0.8089e	0.7913d
	W+Bu	0.6060b	0.5714a	0.6508c	0.6153b	0.6964d	0.7121e	0.8121f	0.8278g
	W+C	0.7407ab	0.7312a	0.7407ab	0.7759d	0.7534c	0.7418b	0.7939e	0.7902e
	W+S	0.6781c	0.6166a	0.6330b	0.6868c	0.7060d	0.7204e	0.7455f	0.8278g
	W+T	0.7522c	0.7014a	0.7068a	0.7278b	0.7793d	0.8058f	0.7869de	0.7902e
	B+D	0.7375cd	0.6586a	0.6959b	0.7301c	0.7431d	0.7746e	0.8038f	0.7801e
	B+Bu	0.5849b	0.5704a	0.6262c	0.7126d	0.7529f	0.7275e	0.7423f	0.7801g
	B+C	0.7638b	0.7407a	0.7491a	0.7428a	0.8031d	0.7470a	0.7670b	0.7922c
	B+S	0.7267d	0.6368a	0.6937b	0.7067c	0.7048c	0.7221d	0.7635e	0.7922f
	B+T	0.7311b	0.6992a	0.7299b	0.7578c	0.7681d	0.7635cd	0.7546c	0.7922e
940	W+D	0.7212c	0.7251c	0.7116b	0.7358d	0.6808a	0.7640e	0.7959f	0.8152g
	W+Bu	0.6529b	0.6434a	0.6929d	0.6772c	0.7071e	0.7230f	0.7853g	0.8325h
	W+C	0.7233b	0.7128a	0.7284b	0.7495d	0.7372c	0.7444d	0.7655e	0.7743f
	W+S	0.6950c	0.6685a	0.6807b	0.7107d	0.7287e	0.7270e	0.7514f	0.8325g
	W+T	0.7319c	0.7119a	0.7204b	0.7323c	0.7547d	0.7764f	0.7674e	0.7743f
	B+D	0.6822b	0.6708a	0.6811b	0.7031c	0.7167d	0.7305e	0.7499f	0.7502f
	B+Bu	0.6378a	0.6583b	0.6610b	0.7026c	0.7224e	0.7111d	0.7323f	0.7502g
	B+C	0.7526c	0.7249a	0.7473bc	0.7436b	0.7683d	0.7276a	0.7519c	0.7271a
	B+S	0.7175c	0.6655a	0.7048b	0.7029b	0.7097b	0.7225cd	0.7354e	0.7271d
	B+T	0.7235bc	0.7112a	0.7206b	0.7398d	0.7482e	0.7375d	0.7294c	0.7271c

\*ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

\*\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งคอยค้ำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่opsis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการตรวจสอบปริมาณน้ำในตัวอย่างน้ำผึ้ง

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำผึ้งบึงกาฬ น้ำผึ้งบึงกาฬผสมกับน้ำเชื่อม (ทั้งน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวและน้ำเชื่อมน้ำตาลสีรำ) และน้ำเชื่อมบริสุทธิ์ทั้งสองชนิด มีระดับการปลอมปนที่แตกต่างกันประกอบด้วย ระดับการปลอมปน 0% (น้ำผึ้งบริสุทธิ์) 50% (น้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อม) และ 100% (น้ำเชื่อมบริสุทธิ์) ที่ตรวจสอบด้วยตู้อบลมร้อน ผลที่ได้ปรากฏว่าปริมาณน้ำในน้ำผึ้งบริสุทธิ์เป็น  $16.10 \pm 0.29$  % ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณน้ำในน้ำผึ้งทั่วไปที่มีความชื้นน้อยกว่า 21% [12] ปริมาณน้ำในน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวและน้ำเชื่อมน้ำตาลสีรำเป็น  $44.91 \pm 0.39$  % และ  $45.21 \pm 0.44$  % ตามลำดับ ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำ 50% เนื่องจากเราเตรียมตัวอย่างน้ำเชื่อมให้เป็น 50% Brix หมายความว่าในตัวอย่างน้ำเชื่อมมีอัตราส่วนน้ำตาลเป็น 1:1 แต่ค่าที่วัดได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็นเล็กน้อยเนื่องมาจากการระเหยของน้ำในขั้นตอนการต้มน้ำเชื่อม และในตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมทั้งสองชนิดจากน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลสีรำเป็น  $30.35 \pm 0.18$  % และ  $30.19 \pm 0.06$  % ตามลำดับ เห็นได้ว่าปริมาณน้ำในตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมที่ระดับการปลอมปน 50% จะมีปริมาณน้ำในตัวอย่างจากน้ำผึ้งและน้ำเชื่อมอย่างละ 50% รวมกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณน้ำที่อยู่ในตัวอย่างน้ำผึ้งและน้ำเชื่อมที่ตรวจสอบด้วยตู้อบลมร้อนตามมาตรฐาน AOAC, 1990

ตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน (%)	ปริมาณน้ำ (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
น้ำผึ้งบริสุทธิ์	0	16.10	0.29
น้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว	50	30.35	0.18
น้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว	100	44.91	0.39
น้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีรำ	50	30.19	0.06
น้ำเชื่อมน้ำตาลสีรำ	100	45.21	0.44

### 4.4 ผลการตรวจสอบ Total sugar

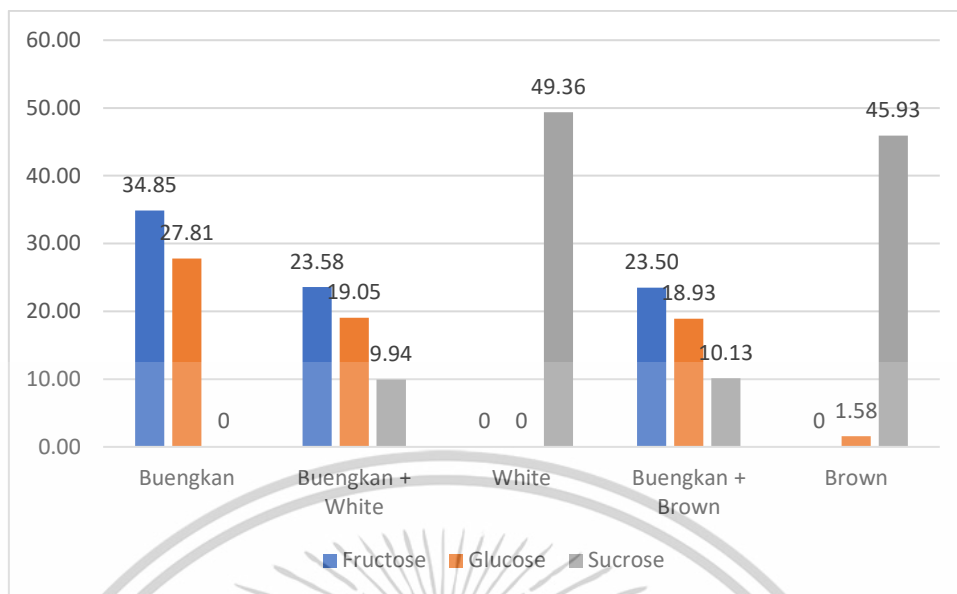
ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1 แสดงข้อมูลน้ำตาลของน้ำผึ้งบึงกาฬ น้ำผึ้งบึงกาฬผสมกับน้ำเชื่อม (ทั้งน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวและน้ำเชื่อมน้ำตาลสีรำ) และน้ำเชื่อมบริสุทธิ์ทั้งสองชนิด โดยมีการระบุเปอร์เซ็นต์ของส่วนประกอบน้ำตาลหลัก ได้แก่ Fructose, Glucose, Sucrose, Maltose, และ Lactose รวมถึง Total ซึ่งคือเปอร์เซ็นต์รวมของน้ำตาลในตัวอย่าง โดยมีระดับการปลอมปนที่แตกต่างกันประกอบด้วย ระดับการปลอมปน 0% (น้ำผึ้งบริสุทธิ์) 50% (น้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อม) และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100% (น้ำเชื่อมบริสุทธ์) ซึ่งผลที่ได้คือ น้ำผึ้งบริสุทธ์มี Fructose และ Glucose เป็นส่วนประกอบหลัก และน้ำเชื่อมบริสุทธ์มี Sucrose ประมาณ 50% เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งค่า Sucrose ในน้ำเชื่อมนี้ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำตาลในขั้นตอนการทำน้ำเชื่อมที่ 50% Brix ในตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมมีน้ำตาล Fructose Glucose และ Sucrose เป็นส่วนประกอบหลัก หมายความว่าเราสามารถวัดความแตกต่างของชนิดน้ำตาลในตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมนี้ไปบ่งบอกการปลอมปนในตัวอย่างได้ ซึ่งเห็นได้ชัดจากตัวอย่างน้ำผึ้งบริสุทธ์ที่มีปริมาณ Sucrose เป็น 0%

ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์น้ำตาลชนิดต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างน้ำผึ้งและน้ำเชื่อมที่ตรวจสอบ ด้วยวิธีการมาตรฐาน Liquid Chromatographic Method (AOAC 982.14, 2023)

ตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน		ระดับน้ำตาล (%)					Total
	ระดับการปลอมปน (%)	Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Lactose		
น้ำผึ้งบริสุทธ์	0	35.00	27.83	0	0.96	0	63.79	
	0	35.06	27.94	0	0.95	0	63.95	
	0	34.50	27.65	0	0.96	0	63.11	
น้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว	50	23.76	18.98	10.13	1.01	0	53.88	
	50	23.41	19.06	9.83	0.98	0	53.28	
	50	23.57	19.10	9.85	1	0	53.52	
น้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว	100	0	0	49.27	0	0	49.27	
	100	0	0	49.05	0	0	49.05	
	100	0	0	49.75	0	0	49.75	
น้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า	50	23.75	19.06	10.07	1.06	0	53.94	
	50	23.63	18.94	10.29	1.02	0	53.88	
	50	23.12	18.78	10.04	1.03	0	52.97	
น้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า	100	0	1.18	46.49	0	0	47.67	
	100	0	1.79	46.05	0	0	47.84	
	100	0	1.78	45.26	0	0	47.04	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



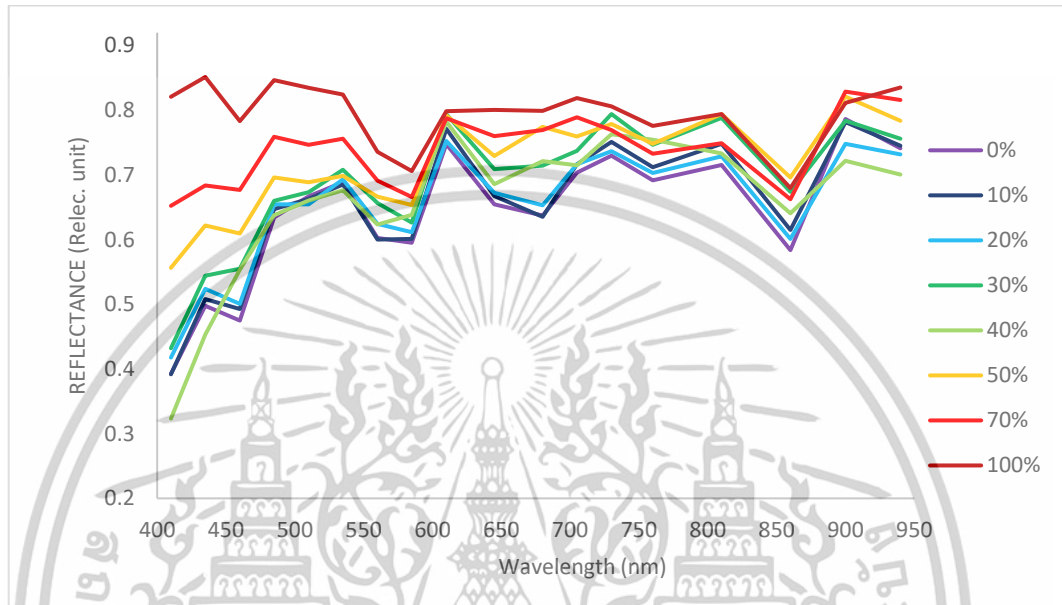
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำตาลชนิดต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างน้ำผึ้งและน้ำเชื่อม

#### 4.5 กราฟแสดงค่าการสะท้อนแสงตัวอย่างน้ำผึ้งจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

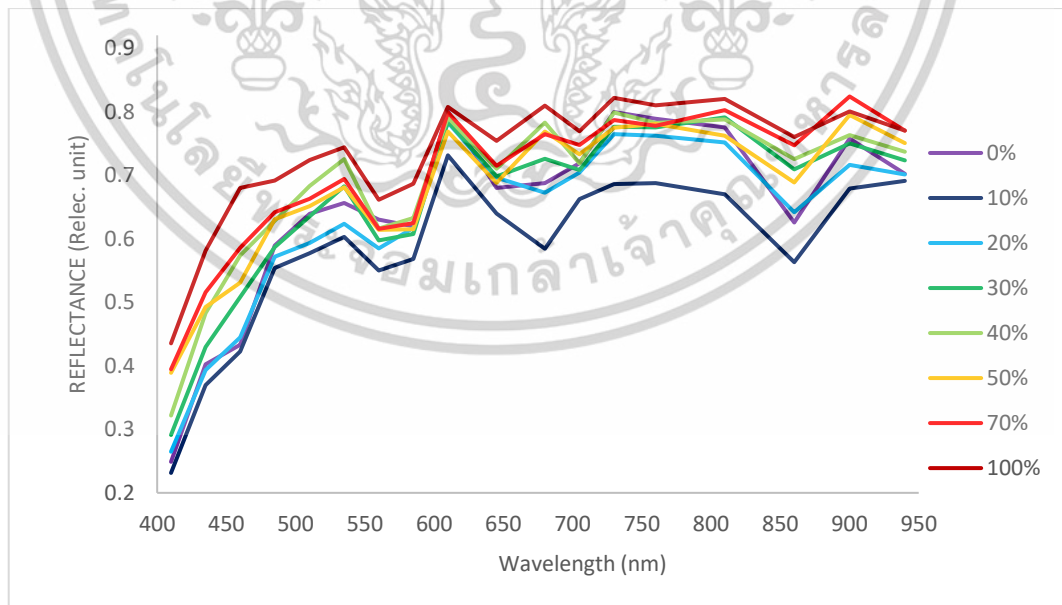
จากรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัมของน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมเก็บข้อมูลด้วย Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำในระดับการปลอมปนต่างๆ ในช่วงความยาวคลื่น 410-940 nm แสง Near-Infrared (NIR) ในช่วง 730-940 nm นั้นตรวจพบสารต่างๆ ประกอบด้วย ที่ความยาวคลื่น 738 nm สัมพันธ์กับการสั่นสะเทือนของ C—H stretch fourth overtone ที่ประกอบอยู่ในสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น กลูโคสและฟรุกโทสในน้ำผึ้ง และซูโครสในน้ำเชื่อม ที่ความยาวคลื่น 740 nm สัมพันธ์กับการสั่นสะเทือนของ C—H stretch fourth overtone พบการประเภท  $\text{CH}_3$  ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวิตามินในน้ำผึ้งเช่น ไโรโบเฟลวิน (บี 2) กรดแพนโทเทนิค (บี 5) เป็นต้น ที่ความยาวคลื่น 760 nm สอดคล้องกับ O—H stretch third overtone ที่เป็นการสั่นสะเทือนของน้ำ ความยาวคลื่น 762 nm คือการสั่นสะเทือน C—H stretch fourth overtone ซึ่งคือกลูโคสและฟรุกโทสในน้ำผึ้ง และซูโครสในน้ำเชื่อม ความยาวคลื่น 806 nm N—H stretch third overtone เป็นสาร  $\text{RNH}_2$  ที่อยู่ในกรดต่างๆและวิตามินเช่น วิตามินบี 1 เป็นต้น ที่ความยาวคลื่น 808 nm สัมพันธ์กับการสั่นสะเทือนของ  $2\text{N—H stretch} + 2\text{N—H deformation} + 2\text{C—N stretch}$  ที่ 900 nm คือการสั่นสะเทือนของ C—H stretch third overtone ของสาร  $\text{CH}_3$  ซึ่งเป็นองค์ประกอบของวิตามินและกรดในน้ำผึ้ง ที่ความยาวคลื่น 938 nm C—H stretch third overtone ของสาร  $\text{CH}_2$  ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำตาลในน้ำผึ้งและน้ำเชื่อม [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

แสงที่ตามองเห็น (Visible) ในช่วง 410-730 nm ยังสามารถใช้แยกความแตกต่างระหว่าง น้ำผึ้งและน้ำเชื่อมได้เช่นกัน โดยเฉพาะน้ำเชื่อมจากน้ำตาลทรายขาวที่มีสีแตกต่างจากน้ำผึ้งนั้นมีการ สะท้อนแสงสีม่วง-เขียว (410-560 nm) ออกมามากกว่าน้ำผึ้งอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งน้ำผึ้งบริสุทธิ์จะดูด ซึบแสงในช่วงสีม่วง-เขียวเอาไว้และสะท้อนแสงสีเหลือง-แดง (560-730 nm) ออกมามากกว่า [7]



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าการดูดซับแสงของตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

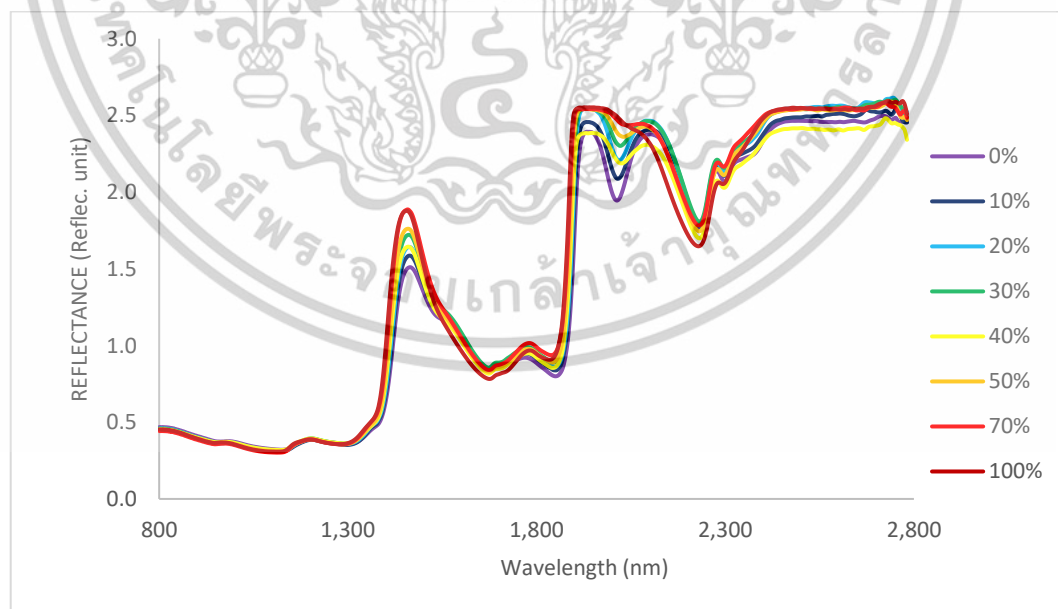


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าการดูดซับแสงของตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่าจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

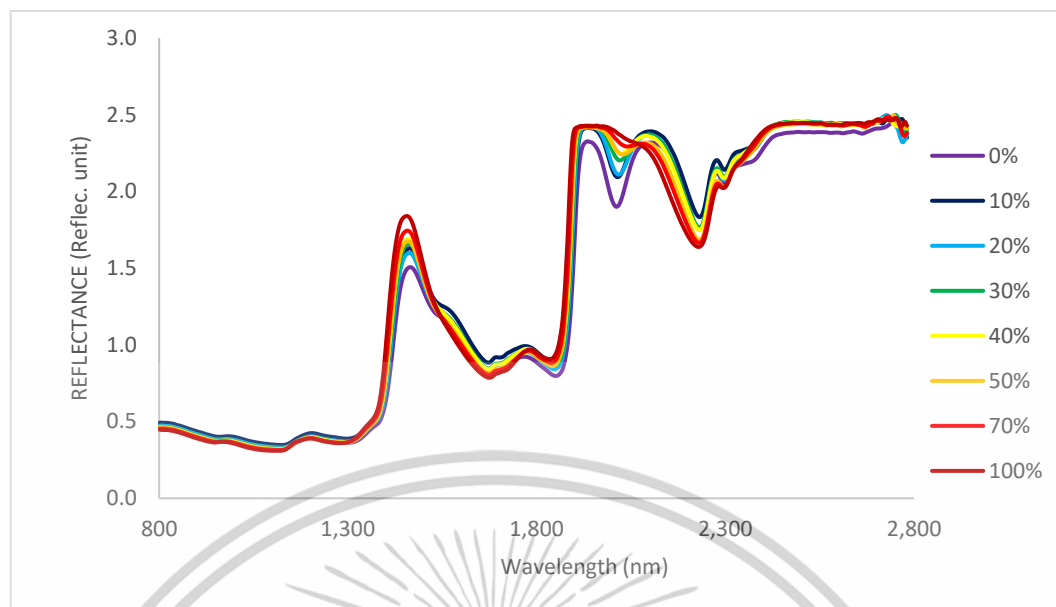
#### 4.6 กราฟแสดงค่าการสะท้อนแสงตัวอย่างน้ำผึ้งจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 แสดงสเปกตรัมของน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมเก็บข้อมูลด้วย FT-NIR spectrometer ในระดับการปลอมปนต่างๆ ในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 nm พบการดูดซับที่ความยาวคลื่น 1205 nm สัมพันธ์กับการสั่นสะเทือนของ C—H stretch second overtone ที่ความยาวคลื่น 1464 nm สอดคล้องกับการสั่นสะเทือนของ O—H stretch first overtone ของน้ำ การสั่นสะเทือนในรูปแบบ O—H stretch + O—H deformation ของน้ำเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่น 1940 nm ที่ความยาวคลื่น 2000 nm เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ N—H symmetric stretch + amide II เป็นสารประเภทกรดต่างๆ ที่อยู่ในน้ำผึ้ง เช่น วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินบี 5 และ วิตามินบี 6 เป็นต้น การดูดกลืนบริเวณ 2100 nm เป็นการสั่นสะเทือนของพันธะ 2×O—H deformation + 2×C—O stretch พบในสารประเภทแป้ง น้ำตาล รวมถึงซูโครสในน้ำผึ้ง ที่ความยาวคลื่น 2242 nm เป็นการสั่นสะเทือน N—H stretch + NH<sub>3</sub> deformation ของกรดอะมิโน และ ที่ความยาวคลื่น 2280 nm เป็นการสั่นสะเทือนของ C—H stretch + C—H deformation ของน้ำตาลในน้ำผึ้งและน้ำเชื่อม [26]



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการดูดซับแสงของตัวอย่างน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าการดูดซับแสงของตัวอย่างน้ำฝิ่งผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่าจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

#### 4.7 ผลทำนายผลการปลอมปนของในน้ำฝิ่งจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

##### 4.7.1 แบบจำลองทำนายระดับการปลอมปน

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง PC-NN (Principal Component Neural Network) มีความสามารถในการทำนายการปลอมปนน้ำฝิ่งได้ดีกว่าแบบจำลอง MLR (Multiple Linear Regression) และ PLSR (Partial Least Squares Regression) ในการทำนายการปลอมปนทั้งหมดของน้ำฝิ่ง โดยแบบจำลอง PC-NN มีค่า  $R^2$  มากกว่า 0.95 ซึ่งสะท้อนถึงความแม่นยำสูงในการทำนาย เนื่องจากค่า  $R^2$  ที่สูงบ่งชี้ว่าแบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้เป็นอย่างดี ซึ่งในที่นี้ PC-NN สามารถจำแนกความซับซ้อนของข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่แบบจำลอง MLR และ PLSR ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบดั้งเดิม ถึงแม้ว่าจะสามารถทำนายได้อย่างน่าเชื่อถือด้วยค่า  $R^2$  ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 0.85 ถึง 0.98 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ดี แต่ยังไม่สามารถเทียบเท่ากับประสิทธิภาพของ PC-NN ได้อย่างสมบูรณ์ แบบจำลอง MLR และ PLSR มักมีข้อจำกัดในการจับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปร ขณะที่ PC-NN ซึ่งเป็นแบบจำลองเชิงเครือข่ายประสาทเทียมสามารถจับความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดีกว่า ทำให้การทำนายการปลอมปนน้ำฝิ่งแม่นยำมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อการปลอมปนมีความซับซ้อนในเชิงองค์ประกอบของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า RMSE (Root Mean Square Error) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้ในการวัดความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่แบบจำลองทำนายได้กับค่าจริง ซึ่งค่า RMSE ที่ต่ำกว่าบ่งชี้ว่าแบบจำลองมีความแม่นยำในการทำนายมากขึ้น ในกรณีของแบบจำลอง MLR และ PLSR มีค่า RMSE อยู่ระหว่าง 5% ถึง 12% ซึ่งสะท้อนถึงความคลาดเคลื่อนในการทำนายค่อนข้างสูง โดยเฉพาะเมื่อค่า RMSE สูงกว่า 10% นั้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีข้อผิดพลาดในการทำนายที่มีนัยสำคัญ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความไม่แม่นยำเท่าที่ควร สิ่งนี้เป็นข้อบ่งชี้ว่าแบบจำลองเหล่านี้อาจไม่สามารถจับความซับซ้อนของข้อมูลได้ดีพอ โดยเฉพาะในกรณีที่ข้อมูลมีความไม่เป็นเชิงเส้นหรือมีตัวแปรที่ซับซ้อน แบบจำลอง PC-NN มีค่า RMSE ต่ำกว่า 5% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและบ่งบอกถึงความแม่นยำสูงในการทำนายการปลอมปนน้ำผึ้ง ค่า RMSE ที่ต่ำในกรณีของ PC-NN ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถลดความคลาดเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถจับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างตัวแปรต่างๆ ได้ดีกว่าแบบจำลองดั้งเดิมเช่น MLR และ PLSR แบบจำลอง PC-NN มีความสามารถพิเศษในการประมวลผลข้อมูลที่มีลักษณะซับซ้อน ไม่เป็นเชิงเส้น และยังสามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับข้อมูลหลายมิติ ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดในการทำนาย ทำให้สามารถคาดการณ์การปลอมปนในน้ำผึ้งได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น

#### 4.7.2 แบบจำลองจำแนกกลุ่มปลอมปนต่างๆ

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองการจำแนกกลุ่มข้อมูล ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 Criteria ได้แก่ Criteria A ประกอบด้วย ตัวอย่างน้ำผึ้งบริสุทธิ์ (Pure) ตัวอย่างปลอมปนน้ำเชื่อมทรายขาว (White) และ ตัวอย่างปลอมปนน้ำเชื่อมสีน้ำตาล (Brown) Criteria B ประกอบด้วย ตัวอย่างน้ำผึ้งบริสุทธิ์ (Pure) และ ตัวอย่างน้ำผึ้งปลอมปน (Adulteration) และ Criteria C ประกอบด้วย ตัวอย่างระดับการปลอมปน 0-10% ตัวอย่างระดับการปลอมปน 20-30% ตัวอย่างระดับการปลอมปน 40-50% และตัวอย่างระดับการปลอมปน 70-100% โดยมีการวัดผลที่สำคัญ 4 ประเภท ได้แก่ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score สำหรับทั้งชุดข้อมูลฝึก (Train set) และชุดข้อมูลทดสอบ (Test set) ค่าเหล่านี้เป็นตัวชี้วัดความสามารถของโมเดลในการจำแนกกลุ่มข้อมูลได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

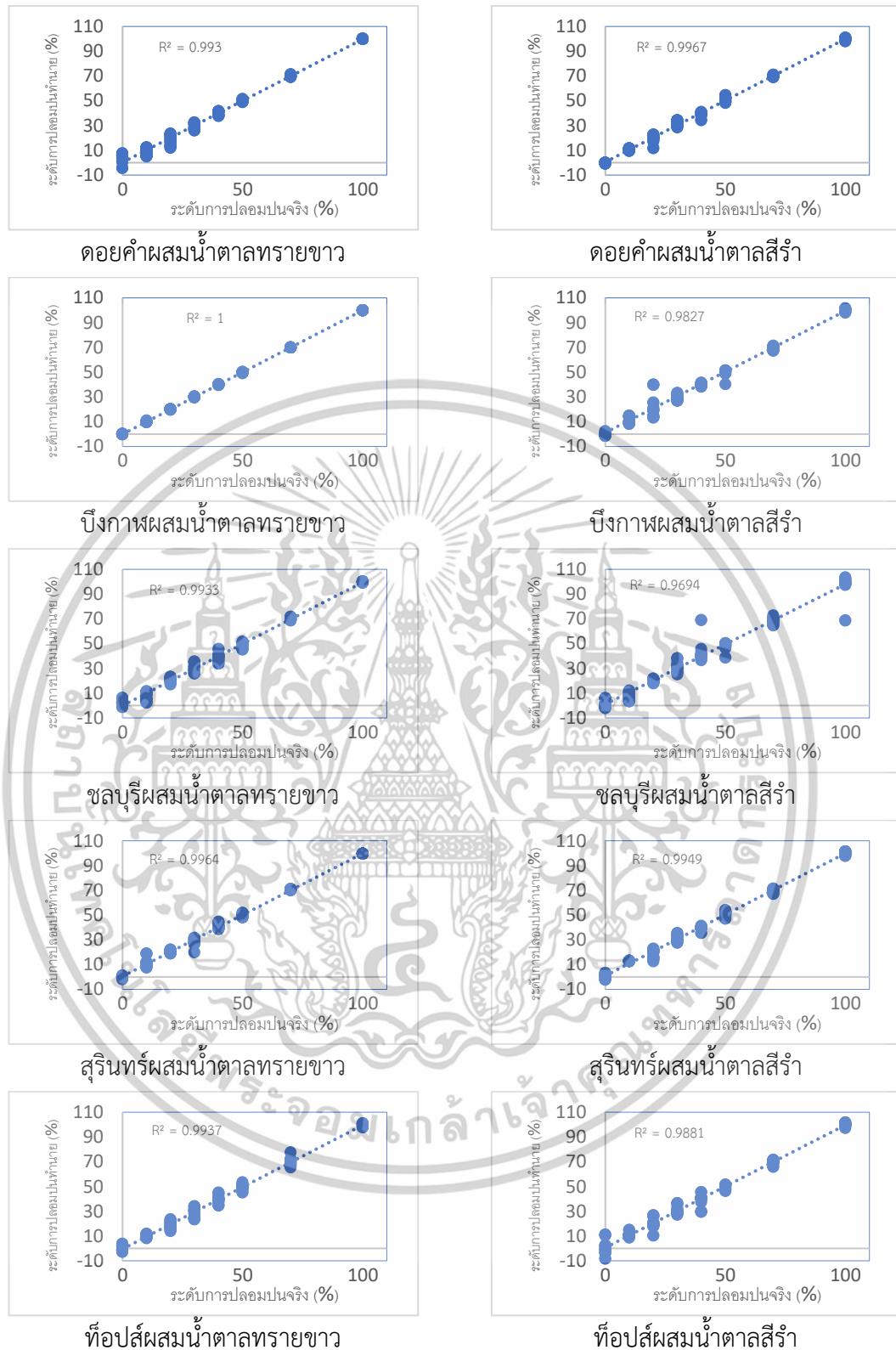
ใน Criteria A (Brown, Pure, White) ค่า Accuracy, Precision, Recall และ F1-score อยู่ในช่วง 0.95 ถึง 1.00 ซึ่งแสดงว่าโมเดลสามารถจำแนกข้อมูลในกลุ่มนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงทั้งในชุดฝึกและทดสอบ ส่วนใน Criteria B (Adulteration, Pure) ผลลัพธ์มีความแม่นยำมากเช่นกัน โดยเฉพาะกลุ่ม Adulteration ที่มีค่า Precision และ Recall เท่ากับ 1.00 ในทั้งชุดฝึกและทดสอบ ซึ่งหมายความว่าโมเดลสามารถทำนายการปลอมปนได้อย่างแม่นยำเกือบสมบูรณ์แบบ อย่างไรก็ตาม ใน Criteria C (0-10%, 20-30%, 40-50%, 70-100%) ผลลัพธ์มีความหลากหลายมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงตั้งแต่ 20-30% ขึ้นไปมีค่า Precision, Recall และ F1-score ต่ำกว่า 0.90 ซึ่งบ่งชี้ว่าการจำแนกข้อมูลในกลุ่มที่มีระดับการปลอมปนสูงกว่า 10% อาจเป็นเรื่องท้าทายสำหรับแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทำนายน้ำผึ้งทั้ง 5 แหล่งที่มาที่ปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลสีร่าจากแบบจำลองทั้งสามที่เก็บข้อมูลจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

น้ำผึ้ง	น้ำเชื่อมปลอมปน	แบบจำลอง	การทำนายชุดสร้างแบบจำลอง		การทำนายชุดทดสอบแบบจำลอง	
			$R^2_{\text{training}}$	RMSE <sub>training</sub> (%w/w)	$R^2_{\text{testing}}$	RMSE <sub>testing</sub> (%w/w)
น้ำผึ้งดอยคำ	น้ำตาลทรายขาว	PLSR	0.9718	5.0872	0.9730	5.3502
		MLR	0.9718	5.0870	0.9731	5.3418
		<b>PC-NN</b>	<b>0.9946</b>	<b>2.2348</b>	<b>0.9967</b>	<b>1.8456</b>
	น้ำตาลสีร่า	PLSR	0.9549	6.4298	0.9515	7.1684
		MLR	0.9550	6.4279	0.9517	7.1551
		<b>PC-NN</b>	<b>0.9954</b>	<b>2.0642</b>	<b>0.9946</b>	<b>2.3616</b>
น้ำผึ้งบึงกาฬ	น้ำตาลทรายขาว	PLSR	0.9837	3.8664	0.9871	3.7032
		MLR	0.9837	3.8660	0.9870	3.7068
		<b>PC-NN</b>	<b>0.9971</b>	<b>1.6504</b>	<b>0.9953</b>	<b>2.2069</b>
	น้ำตาลสีร่า	PLSR	0.9289	8.0784	0.9319	8.4955
		MLR	0.9289	8.0749	0.9329	8.4368
		<b>PC-NN</b>	<b>0.9909</b>	<b>2.9093</b>	<b>0.9888</b>	<b>3.4094</b>
น้ำผึ้งชลบุรี	น้ำตาลทรายขาว	PLSR	0.9405	7.3874	0.9416	7.8681
		MLR	0.9405	7.3869	0.9413	7.8873
		<b>PC-NN</b>	<b>0.9899</b>	<b>3.0619</b>	<b>0.9906</b>	<b>3.1255</b>
	น้ำตาลสีร่า	PLSR	0.8887	10.1045	0.8834	11.1168
		MLR	0.8894	10.0760	0.8856	11.0109
		<b>PC-NN</b>	<b>0.9907</b>	<b>2.9367</b>	<b>0.9896</b>	<b>3.2977</b>
น้ำผึ้งสุรินทร์	น้ำตาลทรายขาว	PLSR	0.9495	6.8067	0.9513	7.1817
		MLR	0.9497	6.7932	0.9509	7.2173
		<b>PC-NN</b>	<b>0.9922</b>	<b>2.6907</b>	<b>0.9923</b>	<b>2.8258</b>
	น้ำตาลสีร่า	PLSR	0.8922	9.9465	0.8837	11.1024
		MLR	0.8922	9.9454	0.8846	11.0618
		<b>PC-NN</b>	<b>0.9943</b>	<b>2.2937</b>	<b>0.9947</b>	<b>2.3523</b>
น้ำผึ้งทีอปลส์	น้ำตาลทรายขาว	PLSR	0.9316	7.9254	0.9261	8.8499
		MLR	0.9316	7.9238	0.9261	8.8490
		<b>PC-NN</b>	<b>0.9969</b>	<b>1.6935</b>	<b>0.9955</b>	<b>2.1604</b>
	น้ำตาลสีร่า	PLSR	0.8768	10.6341	0.8583	12.2571
		MLR	0.8770	10.6259	0.8591	12.2220
		<b>PC-NN</b>	<b>0.9806</b>	<b>4.2423</b>	<b>0.9857</b>	<b>3.8613</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดง Scatter plot ผลการทำนายและค่าจริงของระดับการปลอมปนน้ำผึ้งของแบบจำลอง PC-NN ที่เก็บข้อมูลจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.6** แสดงผลการผลการจำแนกกลุ่มจากแบบจำลอง PC-NN ใน Criteria ต่างๆ ที่เก็บข้อมูลจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุ่นต่ำ

Criteria	กลุ่มจำแนก	Train set				Test set			
		Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
A	Brown		0.95	0.98	0.97		0.97	0.97	0.97
	Pure	0.96	0.91	0.86	0.89	0.96	0.88	0.86	0.87
	White		0.98	0.97	0.98		0.98	0.97	0.98
B	Adulteration		1.00	1.00	1.00		0.99	1.00	1.00
	Pure	1.00	1.00	0.97	0.98	0.99	0.99	0.96	0.98
C	0-10		0.93	0.93	0.93		0.91	0.94	0.92
	20-30		0.83	0.83	0.83		0.85	0.8	0.82
	40-50	0.88	0.82	0.84	0.83	0.87	0.8	0.84	0.82
	70-100		0.94	0.92	0.93		0.93	0.9	0.92

#### 4.8 ผลทำนายผลการปลอมปนน้ำผึ้งจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)

##### 4.8.1 แบบจำลองทำนายระดับการปลอมปน

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความรณณะของแบบจำลอง PC-NN (Principal Component Neural Network), MLR (Multiple Linear Regression), และ PLSR (Partial Least Squares Regression) ที่ถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลการสะท้อนแสงที่วัดจากเครื่อง FT-NIR spectrometer โดยผลการทำนายได้ถูกวัดด้วยค่า  $R^2$  และ RMSE แบบจำลอง PC-NN ให้ค่า  $R^2$  ใกล้เคียง 1.0000 ในทุกกรณีทั้งชุดฝึกและชุดทดสอบ แสดงถึงความแม่นยำสูงในการทำนายและการจับความซับซ้อนของข้อมูลได้ดี แบบจำลอง MLR และ PLSR ก็มีค่า  $R^2$  สูงเช่นกัน แต่ RMSE ซึ่งบ่งบอกถึงความคลาดเคลื่อนในการทำนาย มีค่าสูงกว่าในหลายกรณีเมื่อเทียบกับ PC-NN โดยเฉพาะในชุดทดสอบ แบบจำลอง เช่น การทำนายของน้ำผึ้งดอยคำที่ผสมกับน้ำตาลทรายขาว ค่า RMSE ของ PC-NN ต่ำสุดอยู่ที่ 0.0941% ในขณะที่ PLSR และ MLR มีค่า RMSE อยู่ที่ 0.6086% และ 0.4886% ตามลำดับ ในแบบจำลอง MLR มีค่า RMSE เป็นศูนย์ในชุดข้อมูลสร้างแบบจำลองหลายกรณี แต่ในชุดทดสอบ ค่า RMSE ของ MLR จะสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ PC-NN แบบจำลอง PLSR มีความแม่นยำใกล้เคียงกับ MLR แต่ในบางกรณี เช่น น้ำผึ้งชลบุรีที่ผสมกับน้ำตาลสีร์้า ค่า RMSE ของ PLSR สูงถึง 1.0434% ซึ่งสะท้อนถึงความคลาดเคลื่อนในการทำนายที่มากกว่า PC-NN เช่นกัน แบบจำลอง PC-NN มีประสิทธิภาพในการทำนายที่ดีกว่า MLR และ PLSR เพราะสามารถจัดการกับความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งปรับตัวให้เข้ากับข้อมูลที่หลากหลายได้ดี ขณะที่ MLR และ PLSR ถูกจำกัดด้วยการพึ่งพาความสัมพันธ์เชิงเส้น

แม้ว่า PC-NN จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการทำนายการปลอมปนน้ำผึ้ง เนื่องจากความสามารถเรียนรู้แบบไม่เป็นเชิงเส้นและมีโครงสร้างการสร้างแบบจำลองแบบหลายชั้น ทำให้สามารถจำลองความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนได้ดีกว่าโมเดลเชิงเส้นทั่วไป แต่แบบจำลอง MLR และ PLSR ก็มีความสามารถในการทำนายที่ดี แบบจำลองทั้งสามมีค่า  $R^2$  ใกล้เคียง 1.0000 ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองทั้งหมดสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ครอบคลุม โดยเฉพาะในกรณีของ MLR และ PLSR ที่แม้จะเป็นแบบจำลองดั้งเดิม แต่ก็สามารถทำนายผลลัพธ์ได้อย่างแม่นยำ ค่า  $R^2$  สูงบ่งชี้ว่าแบบจำลองเหล่านี้สามารถจำแนกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ดี และแม้จะมีข้อจำกัดในการจัดการกับความซับซ้อนของข้อมูลเมื่อเทียบกับ PC-NN แต่ผลลัพธ์ที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ในกรณีของ RMSE ที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเหล่านี้ทำนายค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงได้อย่างแม่นยำ แม้ว่า PC-NN จะมีค่า RMSE ต่ำสุดในบางกรณี แต่ MLR และ PLSR ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนในการทำนายต่ำ ซึ่งทำให้แบบจำลองทั้งสามสามารถทำนายการปลอมปนน้ำผึ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 4.8.2 แบบจำลองจำแนกกลุ่มปลอมปนต่างๆ

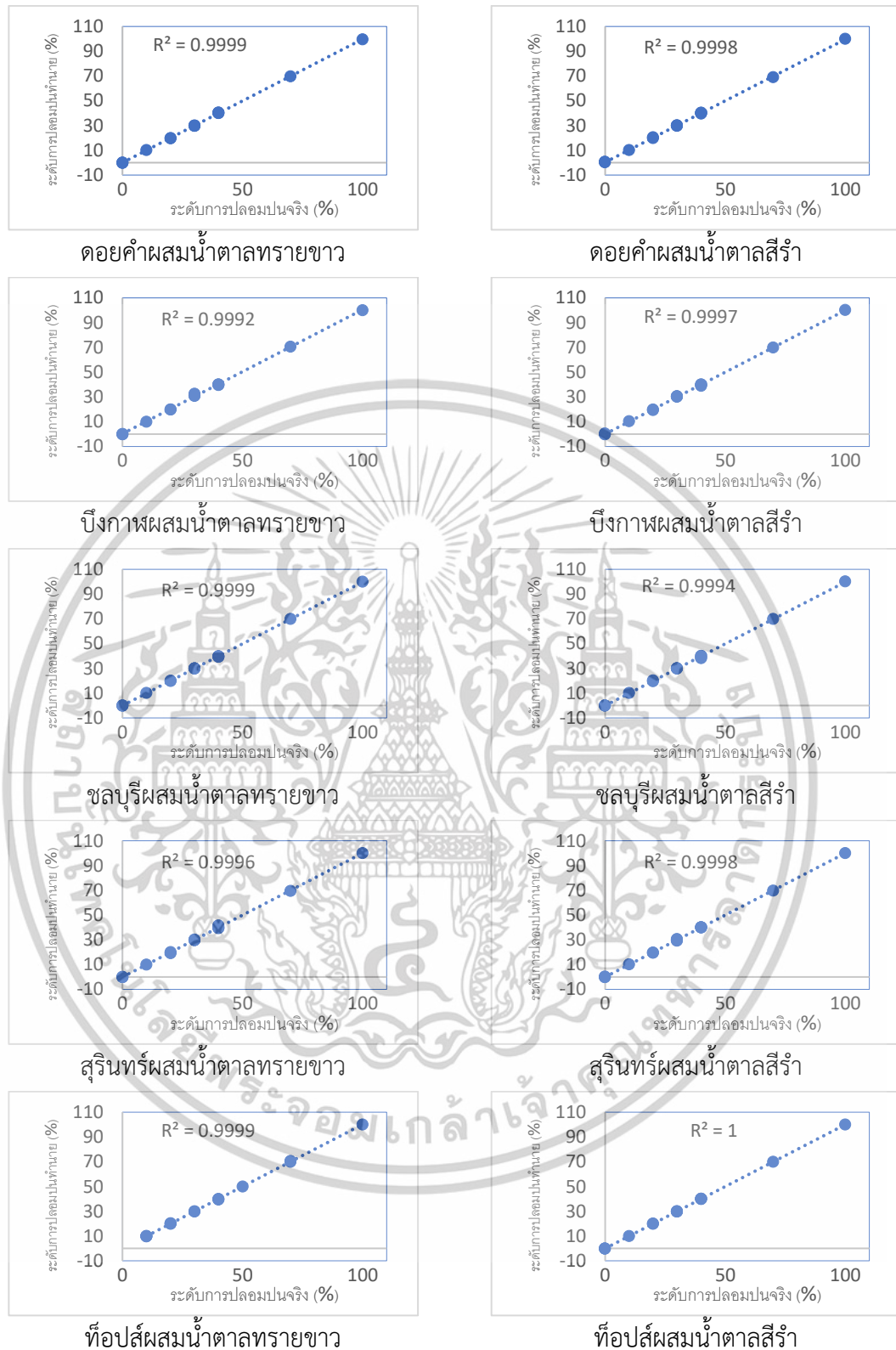
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองการจำแนกกลุ่มข้อมูล ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 Criteria และวัดผลด้วยค่า Accuracy Precision Recall และ F1-score สำหรับ Criteria A แบ่งออกเป็น Brown Pure และ White ในชุดข้อมูลสร้างแบบจำลอง (Train set) แบบจำลองสามารถจำแนกกลุ่มข้อมูลได้อย่างแม่นยำที่สุด ด้วยค่า Accuracy Precision Recall และ F1-score ที่เท่ากับ 1.00 ในทุกกลุ่ม ในชุดข้อมูลทดสอบ (Test set) แม้ว่าจะลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงมีความแม่นยำสูง โดยค่า Accuracy อยู่ที่ 0.97 และค่าอื่น ๆ อยู่ในช่วง 0.95 ถึง 0.99 ในกลุ่ม Criteria B แบ่งออกเป็นกลุ่ม Adulteration และ Pure ในชุดข้อมูลสร้างแบบจำลองทั้งสองกลุ่ม ค่าแสดงมรรณณะอยู่ที่ 1.00 ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถจำแนกข้อมูลเกี่ยวกับการปลอมปนได้อย่างแม่นยำ ขณะที่ชุดทดสอบแลลจำลองมีค่า Accuracy ที่ 0.97 ซึ่งลดลงเล็กน้อยแต่ยังคงแสดงถึงประสิทธิภาพการจำแนกที่ดี ในกลุ่ม Criteria C เป็นการจำแนกข้อมูลการปลอมปนตามระดับการปลอมปนที่แตกต่างกันประกอบด้วย 0-10% 20-30% 40-50% และ 70-100% ในกลุ่ม 0-10% และ 70-100% แบบจำลองทำนายได้อย่างแม่นยำด้วยค่าทั้งหมดเท่ากับ 1.00 ทั้งในชุดฝึกและชุดทดสอบ ในกลุ่ม 20-30% และ 40-50% ค่าต่างๆ ในชุดสร้างแบบจำลอง ลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดี ในชุดข้อมูลทดสอบแบบจำลองมีค่า Precision Recall และ F1-score อยู่ในช่วง 0.91-0.96 ซึ่งน้อยกว่ากลุ่ม 0-10% และ 70-100% พอสมควร แต่อย่างไรก็ตาม กลุ่มข้อมูลที่สำคัญที่สุดคือกลุ่ม 0-10% ที่มีการปลอมปนน้ำผึ้งน้อยที่สุดซึ่งแบบจำลองยังสามารถการปลอมปนกลุ่มข้อมูลนี้ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทำนายน้ำผึ้งทั้ง 5 แหล่งที่มาที่ปลอมปนด้วยน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลสีร่าจากแบบจำลองทั้งสามที่เก็บข้อมูลจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

น้ำผึ้ง	น้ำเชื่อมปลอมปน	แบบจำลอง	การทำนายชุดสร้างแบบจำลอง		การทำนายชุดทดสอบแบบจำลอง	
			$R^2_{\text{training}}$	RMSE <sub>training</sub> (%w/w)	$R^2_{\text{testing}}$	RMSE <sub>testing</sub> (%w/w)
น้ำผึ้งดอยคำ	น้ำตาลทรายขาว	PLSR	1.0000	0.0083	0.9994	0.6086
		MLR	1.0000	0.0000	0.9996	0.4886
		PC-NN	1.0000	0.0474	1.0000	0.0941
	น้ำตาลสีร่า	PLSR	1.0000	0.0310	0.9997	0.4115
		MLR	1.0000	0.0000	0.9999	0.2430
		PC-NN	1.0000	0.0755	0.9999	0.2858
น้ำผึ้งบึงกาฬ	น้ำตาลทรายขาว	PLSR	0.9999	0.2486	0.9999	0.2598
		MLR	1.0000	0.0000	0.9999	0.2644
		PC-NN	1.0000	0.0974	0.9995	0.5623
	น้ำตาลสีร่า	PLSR	0.9999	0.3100	0.9993	0.6533
		MLR	1.0000	0.0000	0.9998	0.3681
		PC-NN	1.0000	0.2113	0.9996	0.5296
น้ำผึ้งชลบุรี	น้ำตาลทรายขาว	PLSR	1.0000	0.0057	0.9996	0.4559
		MLR	1.0000	0.0000	0.9997	0.3861
		PC-NN	1.0000	0.0710	0.9998	0.3233
	น้ำตาลสีร่า	PLSR	1.0000	0.0079	0.9981	1.0434
		MLR	1.0000	0.0000	0.9987	0.8856
		PC-NN	1.0000	0.0787	0.9998	0.3867
น้ำผึ้งสุรินทร์	น้ำตาลทรายขาว	PLSR	1.0000	0.1253	0.9996	0.4731
		MLR	1.0000	0.0000	0.9995	0.5607
		PC-NN	1.0000	0.1923	0.9998	0.3801
	น้ำตาลสีร่า	PLSR	1.0000	0.1377	0.9999	0.2952
		MLR	1.0000	0.0000	0.9998	0.3717
		PC-NN	1.0000	0.0713	0.9999	0.2276
น้ำผึ้งทีอปลส์	น้ำตาลทรายขาว	PLSR	1.0000	0.1300	0.9998	0.3748
		MLR	1.0000	0.0000	0.9999	0.2928
		PC-NN	1.0000	0.0522	0.9999	0.2140
	น้ำตาลสีร่า	PLSR	1.0000	0.0218	0.9995	0.5261
		MLR	1.0000	0.0000	0.9997	0.3919
		PC-NN	1.0000	0.0409	0.9980	1.1301

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดง Scatter plot ผลการทำนายและค่าจริงของระดับการปลอมปนน้ำผึ้งของแบบจำลอง PC-NN ที่เก็บข้อมูลจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการผลการจำแนกกลุ่มจากแบบจำลอง PC-NN ใน Criteria ต่างๆ จากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

Criteria	กลุ่มจำแนก	Train set				Test set			
		Accuracy	Precision	Recall	F1-score	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
A	Brown		1.00	1.00	1.00	0.95	0.97	0.96	
	Pure	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.95	1.00	0.97
	White		1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.97	
B	Adulteration		1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99
	Pure	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.94	0.94	0.94
C	0-10		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	20-30		0.98	0.99	0.98	0.91	0.96	0.93	
	40-50	0.99	0.99	0.98	0.98	0.95	0.90	0.92	0.96
	70-100		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

#### 4.9 เปรียบเทียบผลทำนายผลการปลอมปนน้ำผึ้งจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำกับเครื่อง FT-NIR Spectrometer (MPA, Bruker, Germany)

จากผลการทำนายจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ที่พัฒนาขึ้นแบบต้นทุนต่ำในหัวข้อที่ 4.7 และ ผลการทำนายจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ในหัวข้อ 4.8 ช่วยให้เราเห็นถึงความแตกต่างในการทำนายการปลอมปนน้ำผึ้งในหลายด้าน แม้ว่าเครื่อง FT-NIR จะให้ผลที่แม่นยำกว่าทุกกรณี เครื่อง FT-NIR Spectrometer แบบจำลอง PC-NN มีค่า  $R^2$  ใกล้เคียง 1.0000 ในทุกตัวอย่าง ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำสูงสุด นอกจากนี้ RMSE ยังต่ำกว่า 1% เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งดีกว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นอย่างชัดเจน สำหรับเครื่อง Vis-NIR multispectral แบบต้นทุนต่ำ แม้ว่าจะมีสมรรถนะการทำนายที่ต่ำกว่า FT-NIR แต่แบบจำลอง PC-NN จาก Vis-NIR ยังมีค่า  $R^2$  สูงกว่า 0.95 และ RMSE น้อยกว่า 5% ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำที่เพียงพอในการทำนายความบริสุทธิ์ของน้ำผึ้ง อีกทั้งเครื่อง Vis-NIR multispectral ที่พัฒนาขึ้นยังมีข้อดีหลายอย่าง ตัวอย่างเช่น มีต้นทุนต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับเครื่อง FT-NIR เหมาะสำหรับการใช้งานในสถานที่หรืออุตสาหกรรมที่ต้องการวิธีการทดสอบแบบประหยัดและมีงบจำกัด Vis-NIR มีข้อมูลสเปกตรัมที่น้อยกว่า ทำให้ใช้เวลาในการวิเคราะห์และประมวลผลน้อยกว่า ทำให้การทดสอบการปลอมปนน้ำผึ้งสามารถทำได้รวดเร็วขึ้น เหมาะสำหรับการใช้งานในสถานการณ์ที่ต้องการผลลัพธ์แบบเรียลไทม์ เครื่อง Vis-NIR multispectral มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่า สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในสถานที่ต่าง ๆ ได้ง่ายกว่าการใช้เครื่อง FT-NIR ขนาดใหญ่ ซึ่งมักจะต้องติดตั้งในห้องปฏิบัติการที่มีสภาพแวดล้อมที่ควบคุม แม้ว่าเครื่อง FT-NIR จะให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแม่นยำสูงสุด แต่การใช้ Vis-NIR multispectral ยังเพียงพอสำหรับการทดสอบเบื้องต้นหรือ การทดสอบที่ต้องการความรวดเร็ว ด้วยความแม่นยำที่อยู่ในระดับดี การใช้งาน Vis-NIR ยังสามารถ ทดแทน FT-NIR ได้ในกรณีที่ไม่ต้องความละเอียดสูงที่สุดในการวิเคราะห์

**ตารางที่ 4.9** เปรียบเทียบผลการสร้างแบบจำลองจาก Vis-NIR multispectral แบบต้นทุนต่ำกับ เครื่อง FT-NIR Spectrometer

	Vis-NIR multispectral	FT-NIR Spectrometer
ช่วงคลื่น (Wavelength )	410-940 nm	800-2700 nm
แบบจำลองที่ดีที่สุด	PC-NN	ทำนายได้ดีทุกแบบจำลอง
ผลการทำนาย ( $R^2$ )	0.86-0.99	$\approx 1.00$
ความคาดเคลื่อนการทำนาย (RMSE)	1.85%-12.26%	0.09%-1.13%
ผลการจำแนก (Accuracy)	0.87-0.99	0.96-0.99

ด้วยความที่ Vis-NIR multispectral แบบต้นทุนต่ำที่พัฒนาขึ้นจะมีข้อดีหลายอย่าง แต่ก็มี ข้อจำกัดที่เลี่ยงไม่ได้อันเนื่องมาจากความละเอียดในการตรวจวัดของเซนเซอร์ที่ครอบคลุมความยาว คลื่นเพียง 410-940 nm ทำให้ไม่อาจตรวจสอบวัสดุบางประเภทที่ไม่ตอบสนองแต่แสงในช่วงคลื่น ดังกล่าว และการใช้งานอุปกรณ์นอกสถานที่ก็อาจทำให้ความแม่นยำการตรวจวัดลดลงจากแสง รบกวนจากภายนอกได้

แม้ว่าเครื่อง FT-NIR Spectrometer จะให้ผลการทำนายที่แม่นยำกว่าในหลายกรณี โดยเฉพาะในแง่ของค่า  $R^2$  ที่สูงกว่า และค่า RMSE ที่ต่ำกว่า แต่เครื่อง Vis-NIR multispectral แบบ ราคาถูกก็ยังมีศักยภาพในการทำนายที่ดีและสามารถนำมาใช้ทดแทนได้ในบางกรณี ด้วยข้อได้เปรียบ ด้านต้นทุนที่ต่ำกว่า ใช้เวลาในการทดสอบสั้นกว่า และขนาดที่เล็กและเคลื่อนย้ายได้ง่าย เหมาะ สำหรับการใช้งานเบื้องต้นในสถานการณ์ที่ไม่ต้องการความแม่นยำสูงสุด

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผล

ผู้วิจัยได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดการปลอมปนในน้ำผึ้งโดยใช้เซนเซอร์ Vis-NIR multispectral ที่มีต้นทุนต่ำ สามารถวัดสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 410-940 nm โดยมีการใช้บอร์ด Arduino Uno R3 ในการแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณดิจิทัล และประมวลผลข้อมูลที่ได้ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์น้ำผึ้งที่ผสมกับน้ำเชื่อมในอัตราส่วนต่างๆ และสร้างแบบจำลองทำนายการปลอมปนด้วยเทคนิค Multiple Linear Regression (MLR), Partial Least Squares Regression (PLSR) และ Principal Component Neural Network (PC-NN) เพื่อหาแบบจำลองที่ทำนายการปลอมปนน้ำผึ้งดีที่สุดที่สุด ได้ผลว่าแบบจำลอง PC-NN สามารถทำนายค่าการปลอมปนในน้ำผึ้งได้แม่นยำที่สุด โดยทำนายระดับการปลอมปนของน้ำผึ้งได้มากกว่า 95% โดยมีความคาดเคลื่อนต่ำกว่า 5% และยังสามารถจำแนกการปลอมปนน้ำผึ้งเป็นกลุ่มต่างๆ ได้มากกว่า 90% อีกด้วย เมื่อเทียบกับการทำนายระดับการปลอมปนจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer ที่สามารถทำนายการปลอมปนน้ำผึ้งได้เกือบ 100% โดยมีความคาดเคลื่อนน้อยกว่า 2% และจำแนกการปลอมปนน้ำผึ้งเป็นกลุ่มต่างๆ ได้มากกว่า 95%

แม้ว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นจะมีประสิทธิภาพการทำนายที่ยังไม่เทียบเท่ากับเครื่องมือวิเคราะห์มาตรฐานระดับสูงอย่าง FT-NIR Spectrometer ซึ่งสามารถทำนายระดับการปลอมปนและจำแนกกลุ่มปลอมปนได้อย่างแม่นยำ แต่ด้วยคุณสมบัติและความสามารถของอุปกรณ์นี้ ก็ถือว่าเพียงพอสำหรับการใช้งานในขั้นต้นที่เน้นไปที่การรับรองคุณภาพน้ำผึ้งในตลาดทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์นี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนทั้งสำหรับผู้ขายที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนนำออกสู่ตลาด และผู้ซื้อที่ต้องการมั่นใจในความบริสุทธิ์ของน้ำผึ้งก่อนตัดสินใจซื้อ การใช้อุปกรณ์นี้ช่วยลดความเสี่ยงจากการซื้อสินค้าที่มีการปลอมปน และยังเป็นการสนับสนุนให้เกิดความโปร่งใสในการซื้อขาย อีกทั้งด้วยราคาต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าเครื่องมือมาตรฐาน ทำให้อุปกรณ์นี้เหมาะสมกับผู้ประกอบการรายย่อยหรือเกษตรกรที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

อีกหนึ่งข้อดีที่สำคัญของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นคือความสามารถในการทวนซ้ำ (Repeatability) ซึ่งหมายถึงการที่อุปกรณ์สามารถให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันเมื่อทำการวัดซ้ำในสภาวะเดียวกันหลายครั้ง โดยไม่มีความเบี่ยงเบนจากค่าที่ควรจะเป็น และยังมีความสามารถในการทำซ้ำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Reproducibility) ซึ่งหมายถึงการที่อุปกรณ์สามารถให้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้เมื่อนำไปใช้งานในสภาวะหรือสถานที่ที่ต่างกัน โดยไม่ถูกจำกัดจากปัจจัยภายนอกที่อาจเกิดขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมหรือการใช้งานโดยผู้ปฏิบัติการที่แตกต่างกัน ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ ทำให้อุปกรณ์มีศักยภาพในการนำไปต่อยอดพัฒนาให้สามารถตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีหรือฟิสิกส์ในวัสดุอื่น ๆ ได้อย่างหลากหลาย ไม่จำกัดเฉพาะแค่น้ำผึ้งเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เกษตรอื่น ๆ เช่น น้ำมัน น้ำผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตร ซึ่งจะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของสินค้าต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในกระบวนการผลิตและการค้า

นอกจากนั้นยังควรขยายขอบเขตการเก็บข้อมูลน้ำผึ้งจากชนิดต่าง ๆ ให้หลากหลายมากขึ้น เพื่อเสริมความแม่นยำและความครอบคลุมของแบบจำลองที่พัฒนาอยู่ การเพิ่มข้อมูลจากน้ำผึ้งชนิดอื่นๆ จะช่วยให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ลักษณะเฉพาะของน้ำผึ้งได้ดีขึ้น ครอบคลุมทั้งลักษณะทางเคมีและพฤติกรรมการสะท้อนแสงที่อาจแตกต่างกันตามแหล่งที่มาและพันธุ์ดอกไม้ที่ผึ้งใช้อาหาร ทำให้เมื่ออุปกรณ์นำไปใช้จริง จะสามารถตรวจจับความบริสุทธิ์ของน้ำผึ้งได้แม่นยำยิ่งขึ้นในกรณีที่น้ำผึ้งตัวอย่างมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากชุดข้อมูลเดิม ยิ่งไปกว่านั้น การมีน้ำผึ้งชนิดใหม่ ๆ ในชุดข้อมูล จะช่วยให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้และจำแนกความแตกต่างระหว่างน้ำผึ้งแท้กับน้ำผึ้งปลอมได้แม่นยำยิ่งขึ้นในหลายสถานการณ์ เพราะลักษณะของน้ำผึ้งอาจแตกต่างกันมากในด้านสี ความหนืด และส่วนประกอบ ทำให้แบบจำลองมีโอกาสจำแนกน้ำผึ้งปลอมปนชนิดที่ไม่เคยถูกตรวจจับมาก่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สมิต อินทร์ศิริพงษ์, เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์ และ ขวัญใจ อินทร์ศิริพงษ์, "การศึกษาเทคนิค และวิธีการทำให้น้ำตาลสดเข้มข้นเทียบเคียงน้ำผึ้ง", **สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ**, DDC: 664.1.
- [2] Song X., She S., Xin M., Chen L., Li Y., Heyden Y.V., Rogers K.M. and Chen L., "Detection of adulteration in Chinese monofloral honey using <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance and chemometrics", **Journal of Food Composition and Analysis**, Vol. 86, March 2020, 103390.
- [3] Xu J., Liu X., and Cao Y., "A comprehensive analysis of <sup>13</sup>C isotope ratios data of authentic honey types produced in China using the EA-IRMS and LC-IRMS" **Journal of Food Science and Technology**, vol. 57, 2020, pp. 1216–1232.
- [4] Naila A., Flint S.H., Sulaiman A.Z., Ajit A., and Weeds Z., "Classical and novel approaches to the analysis of honey and detection of adulterants" **Food Control**, vol. 90, August 2018, pp. 152-165.
- [5] Chen L., Xue X., Ye Z., Zhou J., Chen F., and Zhao J., "Determination of Chinese honey adulterated with high fructose corn syrup by near infrared spectroscopy" **Food Chemistry**, vol. 128, 2011, pp. 1110-1114.
- [6] Raypah M.E., Zhi L.J., Loon L.Z., and Omar A.F., "Near-infrared spectroscopy with chemometrics for identification and quantification of adulteration in high-quality stingless bee honey" **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, vol. 224, May 2022.
- [7] Shaikh K., Waqas A., Korai Baloch U. A., Muneer B., Memon A., "Cost-Effective Portable Photonic Sensor for Liquid Adulteration Detection" **2022 IEEE 19th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI (HONET)**, Marietta, GA, USA, 2022, pp. 63-68.
- [8] Zhu M.Z., Wen B., Wu H., Li J., Lin H., Li Q., Li Y., Huang J., and Liu Z., "The Quality Control of Tea by Near-Infrared Reflectance (NIR) Spectroscopy and Chemometrics" **Journal of Spectroscopy**, vol. 2019, 2019, pp. 11.
- [9] Wu T., Chen H., and Lin Z., "Identification and Quantitation of Melamine in Milk by Near-Infrared Spectroscopy and Chemometrics" **Journal of Spectroscopy**, vol. 2016, 2016, 6184987.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Kaufmann K.C., Sampaio K.A., García-Martín J.F., and Barbin D.F., "Identification of coriander oil adulteration using a portable NIR spectrometer" **Food Control**, vol. 132, February 2022, 108536.
- [11] หมอชาวบ้าน. **น้ำผึ้ง เพื่อสุขภาพและความงาม**. [Online]. Available: <https://www.doctor.or.th/article/detail/6413>
- [12] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนานนท์. 2567. **Honey / น้ำผึ้ง**. [Online]. Available: <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1155/honey-%19%E0%B9%89%E0%B8%B3%1C%E0%B8%B6%E0%B9%89%07>
- [13] Bobbitt Z. 2020. **Partial Least Squares in R (Step-by-Step)**. [Online]. Available: <https://www.statology.org/partial-least-squares-in-r/>
- [14] อิตาเตียว มยุรีสุวรรณค์. การวิเคราะห์การถดถอย :Regression Analysis (พิมพ์ครั้งที่ 1).  
ขอนแก่น: บริษัท เพ็ญพรินตึง จำกัด. 2559.
- [15] Karhunen, J., "Principal component neural networks" **Theory and applications. Pattern Analysis & Applic 1**, 1998, pp. 74–75.
- [16] Kulkarni, A., Chong, D., Batarseh F.A., "5 - Foundations of data imbalance and solutions for a data democracy" **Data Democracy**, 2020, pp. 83-106.
- [17] SparkFun. 2024. **SparkFun Triad Spectroscopy Sensor - AS7265x (Qwiic)**. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/15050>
- [18] Arduino. 2024. **UNO R3 Datasheet**. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>
- [19] Chalmers, J. M. and Griffiths, P., 2006. **Handbook of Vibrational Spectroscopy**. New York: Wiley.
- [20] Tosun, M. and Keles, F., "Investigation methods for detecting honey samples adulterated with sucrose syrup" **Journal of Food Composition and Analysis**, vol. 101, August 2021, 103941.
- [21] Dimakopoulou-Papazoglou, D., Ploskas, N., Serrano, S. et al. "Application of UV–Vis spectroscopy for the detection of adulteration in Mediterranean honeys" **European Food Research and Technology**, vol. 249, 2023, pp. 3043-3053.
- [22] Ferreiro-González, M., Espada-Bellido, E. et al. "Rapid quantification of honey adulteration by visible-near infrared spectroscopy combined with chemometrics" **Talanta**, vol. 188, October 2018, pp. 288-292.
- [23] Valinger, D., Longin, L. et al. "Detection of honey adulteration – The potential of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UV-VIS and NIR spectroscopy coupled with multivariate analysis" *LWT-Food Science and Technology*, vol. 145, June 2021, 111316.

- [24] ธยานนท์ ลั่นวงษา, พันฉาย สันติสกุลวงศ์, วุฒิพงษ์ บุตรนนท์ และ รวีภัทร ลาภเจริญสุข. “การประดิษฐ์ Vis-NIR multispectral แบบต้นทุนต่ำ: กรณีการวัดสิ่งปลอมปนในวัสดุทางการเกษตร.” *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. 2565.
- [25] Osborne, B.G., Fearn, T. and Hindle, P. H. "Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis" *Longman Scientific & Technical*, 1993.
- [26] ปานมนัส ศิริสมบุรณ์, “การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของน้ำผึ้งโดยใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี” *สำนักหอสมุดกลาง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*. 2557.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก  
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance,  
ANOVA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
410	W+D	Between Groups	19.523	7	2.789	1434.42	<.001
		Within Groups	1.54	792	0.002		
		Total	21.063	799			
	W+B	Between Groups	20.224	7	2.889	1749.85	<.001
		Within Groups	1.308	792	0.002		
		Total	21.532	799			
	W+C	Between Groups	2.8	7	0.4	319.34	<.001
		Within Groups	0.992	792	0.001		
		Total	3.791	799			
W+S	Between Groups	15.969	7	2.281	996.99	<.001	
	Within Groups	1.812	792	0.002			
	Total	17.781	799				
W+T	Between Groups	3.283	7	0.469	348.64	<.001	
	Within Groups	1.065	792	0.001			
	Total	4.348	799				
B+D	Between Groups	4.035	7	0.576	363.54	<.001	
	Within Groups	1.256	792	0.002			
	Total	5.291	799				
B+B	Between Groups	3.919	7	0.56	353.22	<.001	
	Within Groups	1.255	792	0.002			
	Total	5.175	799				
B+C	Between Groups	0.52	7	0.074	42.29	<.001	
	Within Groups	1.391	792	0.002			
	Total	1.911	799				
B+S	Between Groups	2.105	7	0.301	285.35	<.001	
	Within Groups	0.835	792	0.001			
	Total	2.94	799				
B+T	Between Groups	0.771	7	0.11	77.38	<.001	
	Within Groups	1.128	792	0.001			
	Total	1.899	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 1) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
435	W+D	Between Groups	11.839	7	1.691	607.10	<.001
		Within Groups	2.206	792	0.003		
		Total	14.045	799			
	W+B	Between Groups	16.545	7	2.364	1082.55	<.001
		Within Groups	1.729	792	0.002		
		Total	18.274	799			
	W+C	Between Groups	2.562	7	0.366	232.91	<.001
		Within Groups	1.245	792	0.002		
		Total	3.807	799			
	W+S	Between Groups	11.912	7	1.702	572.42	<.001
		Within Groups	2.355	792	0.003		
		Total	14.267	799			
	W+T	Between Groups	2.711	7	0.387	209.49	<.001
		Within Groups	1.464	792	0.002		
		Total	4.176	799			
	B+D	Between Groups	3.629	7	0.518	340.15	<.001
		Within Groups	1.207	792	0.002		
		Total	4.837	799			
B+B	Between Groups	4.937	7	0.705	304.46	<.001	
	Within Groups	1.835	792	0.002			
	Total	6.772	799				
B+C	Between Groups	0.396	7	0.057	25.58	<.001	
	Within Groups	1.753	792	0.002			
	Total	2.15	799				
B+S	Between Groups	1.512	7	0.216	116.32	<.001	
	Within Groups	1.471	792	0.002			
	Total	2.983	799				
B+T	Between Groups	0.372	7	0.053	34.14	<.001	
	Within Groups	1.231	792	0.002			
	Total	1.603	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 2) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
460	W+D	Between Groups	7.78	7	1.111	301.93	<.001
		Within Groups	2.915	792	0.004		
		Total	10.695	799			
	W+B	Between Groups	15.359	7	2.194	693.90	<.001
		Within Groups	2.504	792	0.003		
		Total	17.863	799			
	W+C	Between Groups	4.015	7	0.574	187.59	<.001
		Within Groups	2.422	792	0.003		
		Total	6.437	799			
W+S	Between Groups	10.692	7	1.527	466.63	<.001	
	Within Groups	2.592	792	0.003			
	Total	13.284	799				
W+T	Between Groups	5.426	7	0.775	264.23	<.001	
	Within Groups	2.324	792	0.003			
	Total	7.75	799				
B+D	Between Groups	5.572	7	0.796	296.10	<.001	
	Within Groups	2.129	792	0.003			
	Total	7.701	799				
B+B	Between Groups	8.613	7	1.23	317.39	<.001	
	Within Groups	3.07	792	0.004			
	Total	11.683	799				
B+C	Between Groups	0.783	7	0.112	36.74	<.001	
	Within Groups	2.411	792	0.003			
	Total	3.194	799				
B+S	Between Groups	3.655	7	0.522	177.40	<.001	
	Within Groups	2.331	792	0.003			
	Total	5.987	799				
B+T	Between Groups	1.055	7	0.151	50.13	<.001	
	Within Groups	2.381	792	0.003			
	Total	3.436	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 3) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
485	W+D	Between Groups	3.912	7	0.559	898.38	<.001
		Within Groups	0.493	792	0.001		
		Total	4.405	799			
	W+B	Between Groups	10.808	7	1.544	1566.80	<.001
		Within Groups	0.78	792	0.001		
		Total	11.589	799			
	W+C	Between Groups	1.035	7	0.148	245.85	<.001
		Within Groups	0.476	792	0.001		
		Total	1.512	799			
W+S	Between Groups	6.814	7	0.973	967.80	<.001	
	Within Groups	0.797	792	0.001			
	Total	7.61	799				
W+T	Between Groups	1.41	7	0.201	175.04	<.001	
	Within Groups	0.912	792	0.001			
	Total	2.322	799				
B+D	Between Groups	1.399	7	0.2	315.18	<.001	
	Within Groups	0.502	792	0.001			
	Total	1.901	799				
B+B	Between Groups	2.6	7	0.371	390.29	<.001	
	Within Groups	0.754	792	0.001			
	Total	3.353	799				
B+C	Between Groups	0.072	7	0.01	12.48	<.001	
	Within Groups	0.651	792	0.001			
	Total	0.722	799				
B+S	Between Groups	0.646	7	0.092	166.67	<.001	
	Within Groups	0.439	792	0.001			
	Total	1.085	799				
B+T	Between Groups	0.174	7	0.025	29.96	<.001	
	Within Groups	0.656	792	0.001			
	Total	0.83	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 4) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
510	W+D	Between Groups	2.726	7	0.389	250.92	<.001
		Within Groups	1.229	792	0.002		
		Total	3.955	799			
	W+B	Between Groups	11.02	7	1.574	944.03	<.001
		Within Groups	1.321	792	0.002		
		Total	12.341	799			
	W+C	Between Groups	1.286	7	0.184	199.46	<.001
		Within Groups	0.73	792	0.001		
		Total	2.016	799			
	W+S	Between Groups	6.667	7	0.952	586.13	<.001
		Within Groups	1.287	792	0.002		
		Total	7.954	799			
	W+T	Between Groups	1.807	7	0.258	129.98	<.001
		Within Groups	1.573	792	0.002		
		Total	3.38	799			
	B+D	Between Groups	1.539	7	0.22	201.67	<.001
		Within Groups	0.864	792	0.001		
		Total	2.403	799			
	B+B	Between Groups	5.166	7	0.738	460.91	<.001
		Within Groups	1.268	792	0.002		
		Total	6.435	799			
B+C	Between Groups	0.322	7	0.046	36.72	<.001	
	Within Groups	0.992	792	0.001			
	Total	1.314	799				
B+S	Between Groups	1.736	7	0.248	202.76	<.001	
	Within Groups	0.969	792	0.001			
	Total	2.704	799				
B+T	Between Groups	0.52	7	0.074	54.45	<.001	
	Within Groups	1.081	792	0.001			
	Total	1.601	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 5) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
535	W+D	Between Groups	1.752	7	0.25	108.72	<.001
		Within Groups	1.823	792	0.002		
		Total	3.574	799			
	W+B	Between Groups	9.827	7	1.404	511.62	<.001
		Within Groups	2.173	792	0.003		
		Total	12	799			
	W+C	Between Groups	2.164	7	0.309	142.71	<.001
		Within Groups	1.716	792	0.002		
		Total	3.88	799			
W+S	Between Groups	6.042	7	0.863	552.26	<.001	
	Within Groups	1.238	792	0.002			
	Total	7.28	799				
W+T	Between Groups	2.364	7	0.338	106.36	<.001	
	Within Groups	2.515	792	0.003			
	Total	4.878	799				
B+D	Between Groups	1.595	7	0.228	102.53	<.001	
	Within Groups	1.76	792	0.002			
	Total	3.355	799				
B+B	Between Groups	6.824	7	0.975	349.60	<.001	
	Within Groups	2.208	792	0.003			
	Total	9.032	799				
B+C	Between Groups	0.606	7	0.087	35.43	<.001	
	Within Groups	1.935	792	0.002			
	Total	2.541	799				
B+S	Between Groups	2.472	7	0.353	120.47	<.001	
	Within Groups	2.322	792	0.003			
	Total	4.794	799				
B+T	Between Groups	0.573	7	0.082	29.08	<.001	
	Within Groups	2.229	792	0.003			
	Total	2.802	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 6) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
560	W+D	Between Groups	1.549	7	0.221	139.13	<.001
		Within Groups	1.26	792	0.002		
		Total	2.809	799			
	W+B	Between Groups	2.406	7	0.344	237.43	<.001
		Within Groups	1.147	792	0.001		
		Total	3.553	799			
	W+C	Between Groups	1.207	7	0.172	189.74	<.001
		Within Groups	0.72	792	0.001		
		Total	1.927	799			
W+S	Between Groups	2.34	7	0.334	275.75	<.001	
	Within Groups	0.96	792	0.001			
	Total	3.3	799				
W+T	Between Groups	1.406	7	0.201	162.58	<.001	
	Within Groups	0.978	792	0.001			
	Total	2.384	799				
B+D	Between Groups	0.752	7	0.107	68.41	<.001	
	Within Groups	1.244	792	0.002			
	Total	1.996	799				
B+B	Between Groups	0.724	7	0.103	62.68	<.001	
	Within Groups	1.306	792	0.002			
	Total	2.03	799				
B+C	Between Groups	0.287	7	0.041	54.87	<.001	
	Within Groups	0.592	792	0.001			
	Total	0.88	799				
B+S	Between Groups	0.429	7	0.061	57.16	<.001	
	Within Groups	0.85	792	0.001			
	Total	1.279	799				
B+T	Between Groups	0.778	7	0.111	38.82	<.001	
	Within Groups	2.268	792	0.003			
	Total	3.046	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 7) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
585	W+D	Between Groups	0.961	7	0.137	147.65	<.001
		Within Groups	0.736	792	0.001		
		Total	1.698	799			
	W+B	Between Groups	3.002	7	0.429	371.27	<.001
		Within Groups	0.915	792	0.001		
		Total	3.917	799			
	W+C	Between Groups	1.006	7	0.144	205.91	<.001
		Within Groups	0.553	792	0.001		
		Total	1.559	799			
	W+S	Between Groups	2.772	7	0.396	408.99	<.001
		Within Groups	0.767	792	0.001		
		Total	3.539	799			
	W+T	Between Groups	1.324	7	0.189	198.38	<.001
		Within Groups	0.755	792	0.001		
		Total	2.079	799			
	B+D	Between Groups	0.75	7	0.107	93.82	<.001
		Within Groups	0.904	792	0.001		
		Total	1.654	799			
B+B	Between Groups	0.828	7	0.118	94.64	<.001	
	Within Groups	0.99	792	0.001			
	Total	1.819	799				
B+C	Between Groups	0.219	7	0.031	45.95	<.001	
	Within Groups	0.54	792	0.001			
	Total	0.759	799				
B+S	Between Groups	0.457	7	0.065	70.02	<.001	
	Within Groups	0.739	792	0.001			
	Total	1.196	799				
B+T	Between Groups	0.521	7	0.074	63.62	<.001	
	Within Groups	0.927	792	0.001			
	Total	1.448	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 8) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
610	W+D	Between Groups	0.261	7	0.037	59.47	<.001
		Within Groups	0.497	792	0.001		
		Total	0.758	799			
	W+B	Between Groups	1.187	7	0.17	277.31	<.001
		Within Groups	0.484	792	0.001		
		Total	1.672	799			
	W+C	Between Groups	0.361	7	0.052	66.75	<.001
		Within Groups	0.611	792	0.001		
		Total	0.972	799			
	W+S	Between Groups	0.474	7	0.068	72.21	<.001
		Within Groups	0.742	792	0.001		
		Total	1.216	799			
	W+T	Between Groups	0.656	7	0.094	94.08	<.001
		Within Groups	0.789	792	0.001		
		Total	1.445	799			
	B+D	Between Groups	0.41	7	0.059	77.62	<.001
		Within Groups	0.598	792	0.001		
		Total	1.008	799			
	B+B	Between Groups	0.561	7	0.08	119.03	<.001
		Within Groups	0.533	792	0.001		
		Total	1.094	799			
B+C	Between Groups	0.121	7	0.017	24.25	<.001	
	Within Groups	0.563	792	0.001			
	Total	0.683	799				
B+S	Between Groups	0.259	7	0.037	40.08	<.001	
	Within Groups	0.731	792	0.001			
	Total	0.991	799				
B+T	Between Groups	0.142	7	0.02	22.34	<.001	
	Within Groups	0.718	792	0.001			
	Total	0.86	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 9) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
645	W+D	Between Groups	1.798	7	0.257	315.95	<.001
		Within Groups	0.644	792	0.001		
		Total	2.442	799			
	W+B	Between Groups	3.902	7	0.557	545.12	<.001
		Within Groups	0.81	792	0.001		
		Total	4.712	799			
	W+C	Between Groups	1.151	7	0.164	348.32	<.001
		Within Groups	0.374	792	0		
		Total	1.525	799			
	W+S	Between Groups	2.81	7	0.401	398.75	<.001
		Within Groups	0.797	792	0.001		
		Total	3.608	799			
	W+T	Between Groups	1.302	7	0.186	223.17	<.001
		Within Groups	0.66	792	0.001		
		Total	1.962	799			
	B+D	Between Groups	0.739	7	0.106	99.70	<.001
		Within Groups	0.839	792	0.001		
		Total	1.579	799			
B+B	Between Groups	0.931	7	0.133	133.05	<.001	
	Within Groups	0.792	792	0.001			
	Total	1.723	799				
B+C	Between Groups	0.317	7	0.045	54.52	<.001	
	Within Groups	0.657	792	0.001			
	Total	0.974	799				
B+S	Between Groups	0.681	7	0.097	105.64	<.001	
	Within Groups	0.729	792	0.001			
	Total	1.41	799				
B+T	Between Groups	0.285	7	0.041	32.81	<.001	
	Within Groups	0.982	792	0.001			
	Total	1.266	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 10) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
680	W+D	Between Groups	2.983	7	0.426	153.20	<.001
		Within Groups	2.203	792	0.003		
		Total	5.187	799			
	W+B	Between Groups	4.896	7	0.699	205.94	<.001
		Within Groups	2.69	792	0.003		
		Total	7.586	799			
	W+C	Between Groups	1.801	7	0.257	111.96	<.001
		Within Groups	1.82	792	0.002		
		Total	3.621	799			
W+S	Between Groups	4.166	7	0.595	201.64	<.001	
	Within Groups	2.337	792	0.003			
	Total	6.503	799				
W+T	Between Groups	2.973	7	0.425	181.34	<.001	
	Within Groups	1.855	792	0.002			
	Total	4.828	799				
B+D	Between Groups	3.791	7	0.542	217.86	<.001	
	Within Groups	1.969	792	0.002			
	Total	5.759	799				
B+B	Between Groups	4.829	7	0.69	233.36	<.001	
	Within Groups	2.341	792	0.003			
	Total	7.17	799				
B+C	Between Groups	3.265	7	0.466	165.10	<.001	
	Within Groups	2.237	792	0.003			
	Total	5.502	799				
B+S	Between Groups	3.209	7	0.458	182.68	<.001	
	Within Groups	1.987	792	0.003			
	Total	5.196	799				
B+T	Between Groups	3.318	7	0.474	162.81	<.001	
	Within Groups	2.306	792	0.003			
	Total	5.623	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 11) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
705	W+D	Between Groups	1.195	7	0.171	688.15	<.001
		Within Groups	0.197	792	0		
		Total	1.392	799			
	W+B	Between Groups	3.133	7	0.448	1014.45	<.001
		Within Groups	0.349	792	0		
		Total	3.483	799			
	W+C	Between Groups	0.628	7	0.09	237.19	<.001
		Within Groups	0.3	792	0		
		Total	0.928	799			
	W+S	Between Groups	2.249	7	0.321	700.48	<.001
		Within Groups	0.363	792	0		
		Total	2.613	799			
	W+T	Between Groups	0.962	7	0.137	518.69	<.001
		Within Groups	0.21	792	0		
		Total	1.172	799			
	B+D	Between Groups	0.706	7	0.101	303.28	<.001
		Within Groups	0.263	792	0		
		Total	0.969	799			
	B+B	Between Groups	1.166	7	0.167	299.41	<.001
		Within Groups	0.441	792	0.001		
		Total	1.607	799			
B+C	Between Groups	0.209	7	0.03	118.60	<.001	
	Within Groups	0.2	792	0			
	Total	0.409	799				
B+S	Between Groups	0.686	7	0.098	299.06	<.001	
	Within Groups	0.26	792	0			
	Total	0.946	799				
B+T	Between Groups	0.482	7	0.069	224.56	<.001	
	Within Groups	0.243	792	0			
	Total	0.725	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 12) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
730	W+D	Between Groups	0.496	7	0.071	78.43	<.001
		Within Groups	0.716	792	0.001		
		Total	1.212	799			
	W+B	Between Groups	3.945	7	0.564	497.25	<.001
		Within Groups	0.898	792	0.001		
		Total	4.842	799			
	W+C	Between Groups	0.537	7	0.077	79.23	<.001
		Within Groups	0.766	792	0.001		
		Total	1.303	799			
W+S	Between Groups	2.07	7	0.296	243.65	<.001	
	Within Groups	0.961	792	0.001			
	Total	3.031	799				
W+T	Between Groups	1.505	7	0.215	192.05	<.001	
	Within Groups	0.886	792	0.001			
	Total	2.391	799				
B+D	Between Groups	1.147	7	0.164	185.06	<.001	
	Within Groups	0.701	792	0.001			
	Total	1.848	799				
B+B	Between Groups	4.68	7	0.669	525.34	<.001	
	Within Groups	1.008	792	0.001			
	Total	5.689	799				
B+C	Between Groups	0.227	7	0.032	31.74	<.001	
	Within Groups	0.81	792	0.001			
	Total	1.037	799				
B+S	Between Groups	1.375	7	0.196	182.91	<.001	
	Within Groups	0.851	792	0.001			
	Total	2.226	799				
B+T	Between Groups	0.857	7	0.122	112.45	<.001	
	Within Groups	0.862	792	0.001			
	Total	1.719	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 13) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
760	W+D	Between Groups	0.574	7	0.082	115.57	<.001
		Within Groups	0.562	792	0.001		
		Total	1.137	799			
	W+B	Between Groups	3.343	7	0.478	498.90	<.001
		Within Groups	0.758	792	0.001		
		Total	4.102	799			
	W+C	Between Groups	0.514	7	0.073	92.52	<.001
		Within Groups	0.629	792	0.001		
		Total	1.143	799			
	W+S	Between Groups	1.751	7	0.25	211.32	<.001
		Within Groups	0.938	792	0.001		
		Total	2.689	799			
	W+T	Between Groups	1.197	7	0.171	200.39	<.001
		Within Groups	0.676	792	0.001		
		Total	1.873	799			
	B+D	Between Groups	0.917	7	0.131	187.47	<.001
		Within Groups	0.554	792	0.001		
		Total	1.471	799			
	B+B	Between Groups	3.312	7	0.473	508.18	<.001
		Within Groups	0.737	792	0.001		
		Total	4.05	799			
B+C	Between Groups	0.325	7	0.046	65.62	<.001	
	Within Groups	0.561	792	0.001			
	Total	0.886	799				
B+S	Between Groups	1.195	7	0.171	205.66	<.001	
	Within Groups	0.658	792	0.001			
	Total	1.853	799				
B+T	Between Groups	0.645	7	0.092	120.97	<.001	
	Within Groups	0.603	792	0.001			
	Total	1.247	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 14) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
810	W+D	Between Groups	0.696	7	0.099	42.61	<.001
		Within Groups	1.848	792	0.002		
		Total	2.543	799			
	W+B	Between Groups	3.735	7	0.534	190.59	<.001
		Within Groups	2.217	792	0.003		
		Total	5.952	799			
	W+C	Between Groups	0.568	7	0.081	47.00	<.001
		Within Groups	1.367	792	0.002		
		Total	1.934	799			
W+S	Between Groups	1.672	7	0.239	78.19	<.001	
	Within Groups	2.419	792	0.003			
	Total	4.091	799				
W+T	Between Groups	1.534	7	0.219	108.20	<.001	
	Within Groups	1.604	792	0.002			
	Total	3.137	799				
B+D	Between Groups	1.479	7	0.211	131.95	<.001	
	Within Groups	1.269	792	0.002			
	Total	2.748	799				
B+B	Between Groups	4.105	7	0.586	228.06	<.001	
	Within Groups	2.037	792	0.003			
	Total	6.142	799				
B+C	Between Groups	0.232	7	0.033	14.83	<.001	
	Within Groups	1.771	792	0.002			
	Total	2.003	799				
B+S	Between Groups	1.157	7	0.165	96.30	<.001	
	Within Groups	1.36	792	0.002			
	Total	2.517	799				
B+T	Between Groups	0.317	7	0.045	20.18	<.001	
	Within Groups	1.779	792	0.002			
	Total	2.096	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 15) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
860	W+D	Between Groups	1.158	7	0.165	25.67	<.001
		Within Groups	5.103	792	0.006		
		Total	6.261	799			
	W+B	Between Groups	3.08	7	0.44	70.29	<.001
		Within Groups	4.959	792	0.006		
		Total	8.039	799			
	W+C	Between Groups	1.853	7	0.265	55.35	<.001
		Within Groups	3.788	792	0.005		
		Total	5.641	799			
W+S	Between Groups	2.28	7	0.326	47.40	<.001	
	Within Groups	5.443	792	0.007			
	Total	7.723	799				
W+T	Between Groups	2.603	7	0.372	80.23	<.001	
	Within Groups	3.671	792	0.005			
	Total	6.274	799				
B+D	Between Groups	3.19	7	0.456	114.01	<.001	
	Within Groups	3.165	792	0.004			
	Total	6.355	799				
B+B	Between Groups	4.956	7	0.708	114.48	<.001	
	Within Groups	4.899	792	0.006			
	Total	9.855	799				
B+C	Between Groups	1.171	7	0.167	27.81	<.001	
	Within Groups	4.764	792	0.006			
	Total	5.935	799				
B+S	Between Groups	1.939	7	0.277	65.03	<.001	
	Within Groups	3.374	792	0.004			
	Total	5.314	799				
B+T	Between Groups	0.699	7	0.1	16.71	<.001	
	Within Groups	4.737	792	0.006			
	Total	5.436	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 16) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
900	W+D	Between Groups	0.927	7	0.132	120.23	<.001
		Within Groups	0.872	792	0.001		
		Total	1.799	799			
	W+B	Between Groups	6.254	7	0.893	409.97	<.001
		Within Groups	1.726	792	0.002		
		Total	7.98	799			
	W+C	Between Groups	0.424	7	0.061	52.35	<.001
		Within Groups	0.917	792	0.001		
		Total	1.341	799			
W+S	Between Groups	3.093	7	0.442	298.91	<.001	
	Within Groups	1.171	792	0.001			
	Total	4.263	799				
W+T	Between Groups	1.135	7	0.162	119.79	<.001	
	Within Groups	1.072	792	0.001			
	Total	2.208	799				
B+D	Between Groups	1.556	7	0.222	178.12	<.001	
	Within Groups	0.988	792	0.001			
	Total	2.544	799				
B+B	Between Groups	4.61	7	0.659	442.28	<.001	
	Within Groups	1.179	792	0.001			
	Total	5.789	799				
B+C	Between Groups	0.383	7	0.055	56.60	<.001	
	Within Groups	0.765	792	0.001			
	Total	1.148	799				
B+S	Between Groups	1.516	7	0.217	152.33	<.001	
	Within Groups	1.126	792	0.001			
	Total	2.641	799				
B+T	Between Groups	0.572	7	0.082	69.88	<.001	
	Within Groups	0.926	792	0.001			
	Total	1.497	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่ำ, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1ก (ต่อ 17) แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

Wavelength	กลุ่มตัวอย่าง		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
940	W+D	Between Groups	1.415	7	0.202	430.84	<.001
		Within Groups	0.371	792	0		
		Total	1.786	799			
	W+B	Between Groups	2.978	7	0.425	542.43	<.001
		Within Groups	0.621	792	0.001		
		Total	3.599	799			
	W+C	Between Groups	0.306	7	0.044	94.30	<.001
		Within Groups	0.367	792	0		
		Total	0.673	799			
W+S	Between Groups	1.853	7	0.265	366.79	<.001	
	Within Groups	0.572	792	0.001			
	Total	2.425	799				
W+T	Between Groups	0.446	7	0.064	121.16	<.001	
	Within Groups	0.416	792	0.001			
	Total	0.862	799				
B+D	Between Groups	0.687	7	0.098	183.16	<.001	
	Within Groups	0.424	792	0.001			
	Total	1.111	799				
B+B	Between Groups	1.125	7	0.161	291.36	<.001	
	Within Groups	0.437	792	0.001			
	Total	1.562	799				
B+C	Between Groups	0.165	7	0.024	58.08	<.001	
	Within Groups	0.321	792	0			
	Total	0.486	799				
B+S	Between Groups	0.32	7	0.046	82.42	<.001	
	Within Groups	0.44	792	0.001			
	Total	0.76	799				
B+T	Between Groups	0.097	7	0.014	31.31	<.001	
	Within Groups	0.352	792	0			
	Total	0.45	799				

\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่อปลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ก แสดงความแตกต่างค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยในระดับการปลอมปนต่างๆ

ความ ยาว คลื่น (nm)	กลุ่ม ตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน							
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	70%	100%
410	W+D	0.3725b	0.3718b	0.3977c	0.4121d	0.3034a	0.5365e	0.6323f	0.8010g
	W+Bu	0.2384a	0.2539b	0.2890c	0.3526d	0.4221e	0.4359f	0.5674g	0.7339h
	W+C	0.2973a	0.3006a	0.3334b	0.3493c	0.3820d	0.4123e	0.4139e	0.4808f
	W+S	0.2761a	0.3139c	0.2900b	0.3538d	0.3703e	0.4172f	0.5021g	0.7339h
	W+T	0.2668a	0.3207b	0.3531c	0.3739d	0.3897e	0.3790d	0.4544f	0.4809g
	B+D	0.2287b	0.2113a	0.2446c	0.2710d	0.3016e	0.3688f	0.3743f	0.4152g
	B+Bu	0.2037a	0.2152b	0.2466c	0.3065d	0.3102d	0.3433e	0.3679f	0.4152g
	B+C	0.3265a	0.3373a	0.3538b	0.3876c	0.3939c	0.3926c	0.3867c	0.3876c
	B+S	0.2655b	0.2511a	0.2636b	0.3119c	0.3505d	0.3623e	0.3729f	0.3876g
	B+T	0.3452b	0.3241a	0.3380b	0.3207a	0.3623c	0.4081e	0.3931d	0.3876d
435	W+D	0.4778b	0.4882b	0.5037c	0.5242d	0.4333a	0.6021e	0.6637f	0.8314g
	W+Bu	0.3733a	0.3610a	0.4076b	0.4560c	0.5363d	0.5618e	0.6231f	0.8188g
	W+C	0.4831a	0.4833a	0.5409b	0.5508b	0.5622c	0.5850d	0.5853d	0.6702e
	W+S	0.4150a	0.4724b	0.4285a	0.5177c	0.5321c	0.5506d	0.6312e	0.8188f
	W+T	0.4822a	0.5054b	0.5393c	0.5725d	0.5972e	0.5697d	0.6291f	0.6702g
	B+D	0.3821b	0.3497a	0.3730b	0.4097c	0.4630d	0.4726d	0.4958e	0.5613f
	B+Bu	0.3402b	0.3133a	0.3674c	0.4125d	0.4089d	0.4756e	0.4952f	0.5613g
	B+C	0.4926b	0.4670a	0.5268c	0.5262c	0.5361d	0.5163c	0.5015b	0.5329d
	B+S	0.4586b	0.3979a	0.4226a	0.4632bc	0.4734c	0.5132d	0.5111d	0.5329e
	B+T	0.5070b	0.4796a	0.4805a	0.4855a	0.5344c	0.5260c	0.5019b	0.5329c
460	W+D	0.4548a	0.4728b	0.4807b	0.5351c	0.5336c	0.5897d	0.6568e	0.7632f
	W+Bu	0.3372a	0.3270a	0.4148b	0.4528c	0.5496d	0.5548d	0.5989e	0.7691f
	W+C	0.5542a	0.5686a	0.6386b	0.6658c	0.6629c	0.7063d	0.6650c	0.7942e
	W+S	0.3940a	0.4190b	0.4154b	0.4835c	0.5299d	0.5192d	0.6008e	0.7691f
	W+T	0.5950b	0.5256a	0.5965b	0.6390c	0.6833d	0.6916d	0.7492e	0.7942f
	B+D	0.4130ab	0.4026a	0.4248b	0.4878c	0.5534e	0.5108d	0.5659e	0.6600f
	B+Bu	0.3441a	0.3538a	0.4051b	0.4614c	0.4937d	0.5431e	0.5761f	0.6600g
	B+C	0.5719b	0.5209a	0.5981cd	0.6273f	0.5976cd	0.6086de	0.5871bc	0.6196ef
	B+S	0.5177c	0.3984a	0.4763b	0.5371d	0.5463d	0.6101f	0.5698e	0.6196f
	B+T	0.5658c	0.5245b	0.5057a	0.5597c	0.5948d	0.5951d	0.5926d	0.6196e

\*ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

\*\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่opsis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ก (ต่อ 1) แสดงความแตกต่างค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยในระดับการปลอมปนต่างๆ

ความ คลื่น (nm)	ยว กลุ่ม ตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน							
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	70%	100%
485	W+D	0.6144a	0.6272b	0.6345c	0.6401c	0.6177a	0.6761d	0.7390e	0.8267f
	W+Bu	0.4929a	0.4903a	0.5393b	0.5746c	0.6228d	0.6602e	0.7161f	0.8560g
	W+C	0.6699a	0.6805b	0.7042d	0.6889c	0.7165e	0.7335f	0.7347f	0.7899g
	W+S	0.5592a	0.5879c	0.5743b	0.5880c	0.6147d	0.6462e	0.7084f	0.8560g
	W+T	0.6549a	0.6741b	0.6924c	0.7170d	0.7362e	0.7076d	0.7622f	0.7899g
	B+D	0.5691c	0.5337a	0.5516b	0.5669c	0.6081d	0.6103d	0.6218e	0.6715f
	B+Bu	0.4992a	0.4971a	0.5257b	0.5552c	0.5522c	0.5859d	0.6239e	0.6715f
	B+C	0.6687a	0.6632a	0.6802c	0.6690a	0.6663a	0.6659a	0.6509b	0.6837c
	B+S	0.6194c	0.5857a	0.5944b	0.6269d	0.6144c	0.6417e	0.6357e	0.6837f
	B+T	0.6927d	0.6543a	0.6570a	0.6533a	0.6849cd	0.6828c	0.6709b	0.6837c
510	W+D	0.6468bc	0.6429acb	0.6347a	0.6535c	0.6405ab	0.6687d	0.7264e	0.8149f
	W+Bu	0.4747b	0.4491a	0.5418c	0.5446c	0.6249d	0.6420e	0.6887f	0.8345g
	W+C	0.6897a	0.6932a	0.7326c	0.7100b	0.7332c	0.7570d	0.7176b	0.8228e
	W+S	0.5541a	0.5569a	0.5484a	0.5810b	0.6124c	0.6294d	0.6967e	0.8345f
	W+T	0.6876b	0.6676a	0.6997b	0.7328d	0.7522e	0.7183c	0.7774f	0.8228g
	B+D	0.6192c	0.5573a	0.5733b	0.6153c	0.6631f	0.6311d	0.6426e	0.7038g
	B+Bu	0.4753b	0.4615a	0.5219c	0.5451d	0.5616e	0.6198f	0.6570g	0.7038h
	B+C	0.6821c	0.6533a	0.6991d	0.6878c	0.6671b	0.6677b	0.6664b	0.7197e
	B+S	0.6483e	0.5539a	0.5889b	0.6359d	0.6229c	0.6680f	0.6444de	0.7197g
	B+T	0.7076c	0.6517a	0.6458a	0.6714b	0.7069c	0.6976c	0.6809b	0.7197d
535	W+D	0.6687ab	0.6652ab	0.6731b	0.6882c	0.6562a	0.6788bc	0.7359d	0.8044e
	W+Bu	0.4625b	0.4287a	0.5409c	0.5280c	0.6179d	0.6269d	0.6669e	0.7950f
	W+C	0.6874a	0.6751a	0.7478cd	0.7126b	0.7390c	0.7535d	0.6850a	0.8463e
	W+S	0.5428c	0.5120a	0.5301b	0.5441c	0.5979d	0.5992d	0.6583e	0.7950f
	W+T	0.7048b	0.6507a	0.6974b	0.7267c	0.7517d	0.7084b	0.7643d	0.8463e
	B+D	0.6359c	0.5828a	0.6033b	0.6623d	0.6610d	0.6741d	0.7052e	0.7238f
	B+Bu	0.4629a	0.4657a	0.5320b	0.5599c	0.5713c	0.6479d	0.6959e	0.7238f
	B+C	0.6929b	0.6494a	0.7020b	0.7046b	0.6615a	0.6638a	0.6955b	0.7402c
	B+S	0.6704d	0.5393a	0.5988b	0.6495c	0.6479c	0.6865e	0.6479c	0.7402f
	B+T	0.7160d	0.6696b	0.6526a	0.6845c	0.7105d	0.7172d	0.6912c	0.7402e

\*ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

\*\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งที่opsis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ก (ต่อ 2) แสดงความแตกต่างค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยในระดับการปลอมปนต่างๆ

ความ ยาว คลื่น (nm)	กลุ่ม ตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน							
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	70%	100%
560	W+D	0.5825a	0.5803a	0.6046b	0.6366c	0.6033b	0.6466c	0.6712d	0.7159e
	W+Bu	0.5807a	0.5839a	0.5782a	0.6127b	0.6385c	0.6396c	0.6709d	0.7513e
	W+C	0.6029a	0.6219b	0.6553c	0.6472c	0.6724d	0.6782de	0.6855e	0.7381f
	W+S	0.5743a	0.5957b	0.5763a	0.6130c	0.6093c	0.6307d	0.6601e	0.7513f
	W+T	0.6061a	0.6274b	0.6328b	0.6642c	0.6932d	0.6612c	0.7097e	0.7381f
	B+D	0.6102e	0.5298a	0.5644b	0.5772c	0.5959d	0.5941d	0.5956d	0.6411f
	B+Bu	0.5735bc	0.5499a	0.5814c	0.5619b	0.5621b	0.6069d	0.6199e	0.6411f
	B+C	0.6065a	0.6208bc	0.6255bc	0.6286c	0.6189b	0.6379d	0.6191b	0.6738e
	B+S	0.6127b	0.5966a	0.5977a	0.6170bc	0.6092b	0.6328d	0.6224c	0.6738e
	B+T	0.6749c	0.6004a	0.5889a	0.5956a	0.6215b	0.6319b	0.6370b	0.6738c
585	W+D	0.5754a	0.5813a	0.5915b	0.6063c	0.6184d	0.6336e	0.6457f	0.6858g
	W+Bu	0.5903a	0.5834a	0.6054b	0.6487c	0.6571c	0.6770d	0.7140e	0.7744f
	W+C	0.6076a	0.6185b	0.6569c	0.6613c	0.6740d	0.6864e	0.7119f	0.7072f
	W+S	0.5772a	0.5928b	0.5823a	0.6288c	0.6318cd	0.6381d	0.6532e	0.7744f
	W+T	0.6119a	0.6149a	0.6252b	0.6537c	0.6926d	0.6874d	0.7211f	0.7072e
	B+D	0.5992c	0.5478a	0.5971bc	0.5875b	0.6126d	0.5951bc	0.6044cd	0.6665e
	B+Bu	0.5816bc	0.5599a	0.5894c	0.5755b	0.5837bc	0.6176d	0.6251d	0.6665e
	B+C	0.6152a	0.6205ab	0.6406c	0.6399c	0.6276b	0.6433c	0.6222ab	0.6703d
	B+S	0.6188c	0.5810a	0.6064b	0.6150bc	0.6125bc	0.6343d	0.6275d	0.6703e
	B+T	0.6054cd	0.5899b	0.5802a	0.5982bc	0.6192e	0.6139de	0.6168e	0.6703f
610	W+D	0.7276a	0.7514b	0.7325a	0.7741de	0.7624c	0.7721de	0.7676cd	0.7787e
	W+Bu	0.7108a	0.7125a	0.7332b	0.7338b	0.7922c	0.8090d	0.7929c	0.7956c
	W+C	0.7786a	0.7836ab	0.7812ab	0.8070d	0.7929c	0.7887bc	0.8430f	0.8211e
	W+S	0.7427ab	0.7373a	0.7510b	0.7654c	0.7794d	0.7862d	0.8093f	0.7956e
	W+T	0.8060c	0.7251a	0.7836b	0.7885b	0.8048c	0.8120cd	0.8129cd	0.8211d
	B+D	0.7802de	0.7111a	0.7629c	0.7641c	0.7707c	0.7485b	0.7787d	0.7874e
	B+Bu	0.7127a	0.7175a	0.7362b	0.7582c	0.7828e	0.7716d	0.7524c	0.7874e
	B+C	0.7794c	0.7739bc	0.7769bc	0.7802c	0.7712b	0.7937d	0.7582a	0.7518a
	B+S	0.7765c	0.7347a	0.7750c	0.7911d	0.7569b	0.7825cd	0.7836cd	0.7518b
	B+T	0.7769e	0.7415a	0.7480ab	0.7623d	0.7600cd	0.7552bcd	0.7835e	0.7518bc

\*ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

\*\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งท็อปส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ก (ต่อ 3) แสดงความแตกต่างค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยในระดับการปลอมปนต่างๆ

ความ ยาว คลื่น (nm)	กลุ่ม ตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน							
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	70%	100%
645	W+D	0.6344a	0.6476b	0.6522b	0.6889d	0.6657c	0.7093e	0.7399f	0.7806g
	W+Bu	0.6434b	0.6303a	0.6660c	0.7088d	0.7629e	0.7647e	0.8096f	0.8225g
	W+C	0.6671a	0.6658a	0.7016b	0.7181c	0.7156c	0.7386d	0.7687e	0.7720e
	W+S	0.6374a	0.6413ab	0.6500b	0.6942c	0.7199d	0.7318e	0.7449f	0.8225g
	W+T	0.6719b	0.6500a	0.6780b	0.7019c	0.7226d	0.7319e	0.7590f	0.7720g
	B+D	0.6598b	0.6196a	0.6762cd	0.6781d	0.6902e	0.6678bc	0.6947e	0.7339f
	B+Bu	0.6364a	0.6442a	0.6597b	0.6617b	0.6831c	0.7071d	0.7216e	0.7339f
	B+C	0.6873a	0.6802a	0.7109b	0.7292d	0.7363d	0.7370d	0.7191c	0.7096b
	B+S	0.6766b	0.6240a	0.6742b	0.6874c	0.6999d	0.7198f	0.7158ef	0.7096e
	B+T	0.6724c	0.6573b	0.6464a	0.6680c	0.6852d	0.6707c	0.6935d	0.7096e
680	W+D	0.6174a	0.6152a	0.6330b	0.6946c	0.7012c	0.7544d	0.7496d	0.7791e
	W+Bu	0.5847a	0.5773a	0.6197b	0.6792c	0.7781e	0.7214d	0.7648e	0.7667e
	W+C	0.6387a	0.6418a	0.6974b	0.7377c	0.7482cde	0.7573de	0.7612e	0.7464cd
	W+S	0.5708a	0.5924b	0.5810ab	0.6738c	0.6804c	0.7220d	0.7461e	0.7667f
	W+T	0.6267ab	0.6140a	0.6325b	0.6912c	0.7506e	0.7323d	0.7816f	0.7464e
	B+D	0.6674c	0.5641a	0.6522b	0.7055d	0.7627f	0.7487e	0.7443e	0.7891g
	B+Bu	0.5898b	0.5633a	0.6629c	0.7004d	0.7276e	0.7729g	0.7482f	0.7891h
	B+C	0.6034a	0.6223b	0.6812c	0.7093d	0.7517e	0.7764f	0.7549e	0.7778f
	B+S	0.6324b	0.6142a	0.6578c	0.7103d	0.7210d	0.7804e	0.7771e	0.7778e
	B+T	0.6084b	0.5883a	0.6124b	0.6478c	0.7009d	0.7179e	0.7342f	0.7778g
705	W+D	0.6835a	0.6963b	0.6967b	0.7173c	0.6950b	0.7395d	0.7694e	0.7989f
	W+Bu	0.6398a	0.6349a	0.6493b	0.6701c	0.7046d	0.7175e	0.7734f	0.8196g
	W+C	0.6967a	0.6999a	0.7195b	0.7231b	0.7357c	0.7361c	0.7670d	0.7822e
	W+S	0.6595b	0.6525a	0.6521a	0.6781c	0.6865d	0.7097e	0.7355f	0.8196g
	W+T	0.6892b	0.6782a	0.7021c	0.7156d	0.7459f	0.7410e	0.7652g	0.7822h
	B+D	0.6984c	0.6425a	0.6839b	0.6881b	0.6985c	0.7127d	0.7275e	0.7492f
	B+Bu	0.6409b	0.6302a	0.6583c	0.6721d	0.6855e	0.7029f	0.7227g	0.7492h
	B+C	0.7131a	0.7129a	0.7222b	0.7371c	0.7341c	0.7436d	0.7446d	0.7633e
	B+S	0.6918c	0.6624a	0.6770b	0.7059d	0.7020d	0.7194e	0.7270f	0.7633g
	B+T	0.7129d	0.6834a	0.6910b	0.7047c	0.7130d	0.7322e	0.7384f	0.7633g

\*ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

\*\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งท็อปส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ก (ต่อ 4) แสดงความแตกต่างค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยในระดับการปลอมปนต่างๆ

ความ ยาว คลื่น (nm)	กลุ่ม ตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน							
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	70%	100%
730	W+D	0.7099a	0.7310b	0.7167a	0.7741e	0.7427c	0.7589d	0.7495c	0.7859f
	W+Bu	0.6016b	0.5799a	0.6478c	0.6388c	0.7343d	0.7480e	0.7532e	0.7680f
	W+C	0.7440a	0.7506ab	0.7586bc	0.7720d	0.7640cd	0.7563bc	0.8083e	0.8202f
	W+S	0.6531c	0.6129a	0.6244b	0.6538c	0.6851d	0.7086e	0.7357f	0.7680g
	W+T	0.7705d	0.6673a	0.7393b	0.7510c	0.7804e	0.7665d	0.8024f	0.8202g
	B+D	0.7794e	0.6661a	0.7447b	0.7561c	0.7786e	0.7547c	0.7667d	0.8016f
	B+Bu	0.5957b	0.5692a	0.6588c	0.7089d	0.7303e	0.7553f	0.7530f	0.8016g
	B+C	0.7310a	0.7487cd	0.7503cd	0.7569d	0.7373ab	0.7794e	0.7415bc	0.7790e
	B+S	0.7147c	0.6384a	0.7030b	0.7490d	0.7028b	0.7567d	0.7510d	0.7790e
	B+T	0.7469c	0.6878a	0.6895a	0.7293b	0.7323b	0.7436c	0.7808d	0.7790d
760	W+D	0.6719a	0.6922c	0.6831b	0.7268e	0.7348f	0.7281ef	0.7125d	0.7558g
	W+Bu	0.6124b	0.5969a	0.6554c	0.6550c	0.7454d	0.7396d	0.7622e	0.7648e
	W+C	0.7359a	0.7399a	0.7550b	0.7601bc	0.7661c	0.7639c	0.7901d	0.8190e
	W+S	0.6614b	0.6252a	0.6317a	0.6600b	0.6901c	0.7074d	0.7399e	0.7648f
	W+T	0.7576c	0.6831a	0.7329b	0.7546c	0.7774d	0.7608c	0.7988e	0.8190f
	B+D	0.7689d	0.6673a	0.7419b	0.7549c	0.7621cd	0.7607c	0.7576c	0.7896e
	B+Bu	0.6189b	0.5934a	0.6736c	0.7040d	0.7148e	0.7522f	0.7591f	0.7896g
	B+C	0.7192a	0.7432b	0.7510c	0.7573c	0.7414b	0.7837d	0.7551c	0.7834d
	B+S	0.6973b	0.6488a	0.7065c	0.7389e	0.7195d	0.7516f	0.7511f	0.7834g
	B+T	0.7345c	0.6977a	0.6951a	0.7137b	0.7202b	0.7325c	0.7607d	0.7834e
810	W+D	0.6952a	0.7283c	0.7090b	0.7682d	0.7132b	0.7741d	0.7291c	0.7742d
	W+Bu	0.6299b	0.5837a	0.6635c	0.6542c	0.7624d	0.7523d	0.7806e	0.7492d
	W+C	0.7446b	0.7280a	0.7529b	0.7862d	0.7685c	0.7753cd	0.8121f	0.8002e
	W+S	0.6718b	0.6340a	0.6383a	0.6926c	0.7288d	0.7188d	0.7640e	0.7492e
	W+T	0.7898e	0.6634a	0.7355b	0.7539c	0.7744d	0.8002e	0.7942e	0.8002e
	B+D	0.7553c	0.6497a	0.7314b	0.7709d	0.7678d	0.7421b	0.7825e	0.7999f
	B+Bu	0.6078a	0.5978a	0.6755b	0.7162c	0.7551d	0.7705e	0.7649de	0.7999f
	B+C	0.7632b	0.7375a	0.7690b	0.7694b	0.7772b	0.7770b	0.7342a	0.7398a
	B+S	0.7399c	0.6336a	0.7182b	0.7323c	0.7178b	0.7613d	0.7612d	0.7398c
	B+T	0.7332b	0.6897a	0.6896a	0.7337b	0.7281b	0.7001a	0.7317b	0.7398b

\*ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

\*\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งท็อปส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2ก (ต่อ 5) แสดงความแตกต่างค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยในระดับการปลอมปนต่างๆ

ความ ยาว คลื่น (nm)	กลุ่ม ตัวอย่าง	ระดับการปลอมปน							
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	70%	100%
860	W+D	0.5636a	0.5949b	0.5810ab	0.6537de	0.6207c	0.6762e	0.6424cd	0.6597de
	W+Bu	0.5522b	0.5098a	0.6074c	0.6111c	0.6970e	0.6696d	0.6657d	0.6790de
	W+C	0.6154b	0.5959a	0.6416c	0.7122de	0.6934d	0.7289e	0.7160e	0.7115de
	W+S	0.5733b	0.5490a	0.5743b	0.6342c	0.6861d	0.6446c	0.6945d	0.6790d
	W+T	0.6718cd	0.5454a	0.6101b	0.6547c	0.6837de	0.7364g	0.6961ef	0.7115f
	B+D	0.6053b	0.5430a	0.6217b	0.6890d	0.7051d	0.6686c	0.7268e	0.7400e
	B+Bu	0.5332a	0.5460a	0.6210b	0.6658c	0.7113d	0.7354e	0.7250de	0.7400e
	B+C	0.6571b	0.6121a	0.7033cd	0.7137d	0.7148d	0.6832c	0.7046cd	0.6238a
	B+S	0.6380bc	0.5379a	0.6456c	0.6443c	0.6723d	0.7045e	0.7011e	0.6238b
	B+T	0.5965bc	0.5719a	0.5850ab	0.6505e	0.6550e	0.6092cd	0.6460e	0.6238d
900	W+D	0.7665c	0.7618c	0.7279b	0.7640c	0.7020a	0.8011e	0.8089e	0.7913d
	W+Bu	0.6060b	0.5714a	0.6508c	0.6153b	0.6964d	0.7121e	0.8121f	0.8278g
	W+C	0.7407ab	0.7312a	0.7407ab	0.7759d	0.7534c	0.7418b	0.7939e	0.7902e
	W+S	0.6781c	0.6166a	0.6330b	0.6868c	0.7060d	0.7204e	0.7455f	0.8278g
	W+T	0.7522c	0.7014a	0.7068a	0.7278b	0.7793d	0.8058f	0.7869de	0.7902e
	B+D	0.7375cd	0.6586a	0.6959b	0.7301c	0.7431d	0.7746e	0.8038f	0.7801e
	B+Bu	0.5849b	0.5704a	0.6262c	0.7126d	0.7529f	0.7275e	0.7423f	0.7801g
	B+C	0.7638b	0.7407a	0.7491a	0.7428a	0.8031d	0.7470a	0.7670b	0.7922c
	B+S	0.7267d	0.6368a	0.6937b	0.7067c	0.7048c	0.7221d	0.7635e	0.7922f
	B+T	0.7311b	0.6992a	0.7299b	0.7578c	0.7681d	0.7635cd	0.7546c	0.7922e
940	W+D	0.7212c	0.7251c	0.7116b	0.7358d	0.6808a	0.7640e	0.7959f	0.8152g
	W+Bu	0.6529b	0.6434a	0.6929d	0.6772c	0.7071e	0.7230f	0.7853g	0.8325h
	W+C	0.7233b	0.7128a	0.7284b	0.7495d	0.7372c	0.7444d	0.7655e	0.7743f
	W+S	0.6950c	0.6685a	0.6807b	0.7107d	0.7287e	0.7270e	0.7514f	0.8325g
	W+T	0.7319c	0.7119a	0.7204b	0.7323c	0.7547d	0.7764f	0.7674e	0.7743f
	B+D	0.6822b	0.6708a	0.6811b	0.7031c	0.7167d	0.7305e	0.7499f	0.7502f
	B+Bu	0.6378a	0.6583b	0.6610b	0.7026c	0.7224e	0.7111d	0.7323f	0.7502g
	B+C	0.7526c	0.7249a	0.7473bc	0.7436b	0.7683d	0.7276a	0.7519c	0.7271a
	B+S	0.7175c	0.6655a	0.7048b	0.7029b	0.7097b	0.7225cd	0.7354e	0.7271d
	B+T	0.7235bc	0.7112a	0.7206b	0.7398d	0.7482e	0.7375d	0.7294c	0.7271c

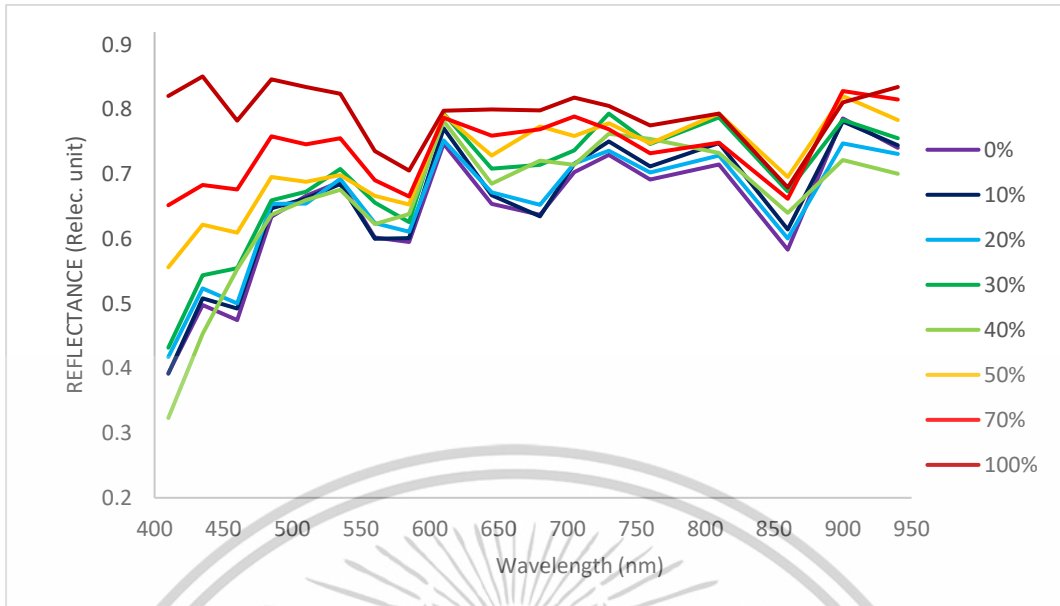
\*ในแถวเดียวกัน ตัวอักษรหลังค่าเฉลี่ยที่เหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

\*\*W คือน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาว, B คือน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่า, D คือน้ำผึ้งดอยคำ, Bu คือน้ำผึ้งจากบึงกาฬ, C คือน้ำผึ้งจากชลบุรี, S คือน้ำผึ้งจากสุรินทร์ และ T คือน้ำผึ้งท็อปส์

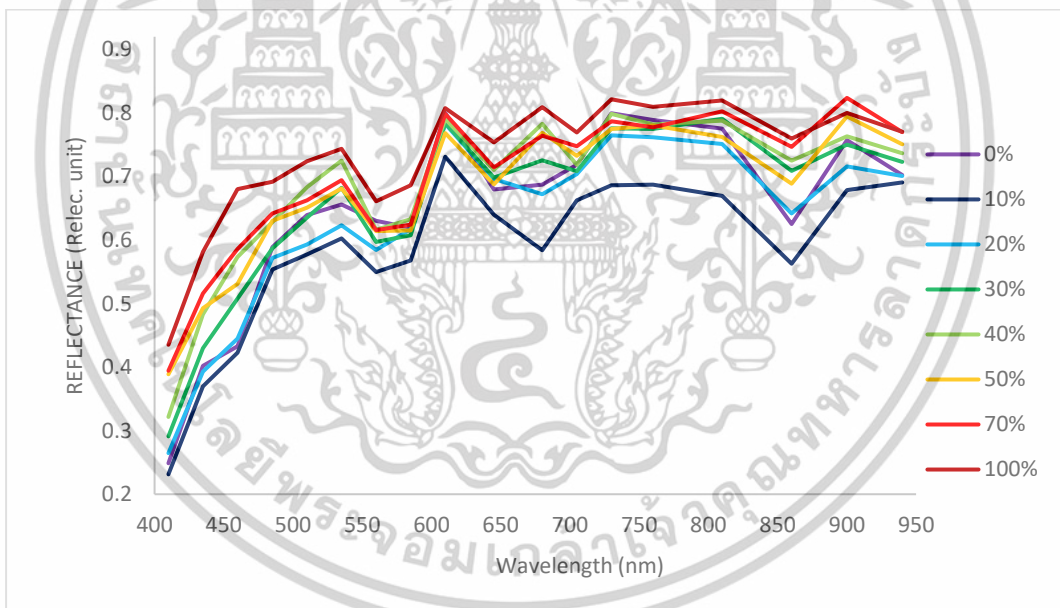
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

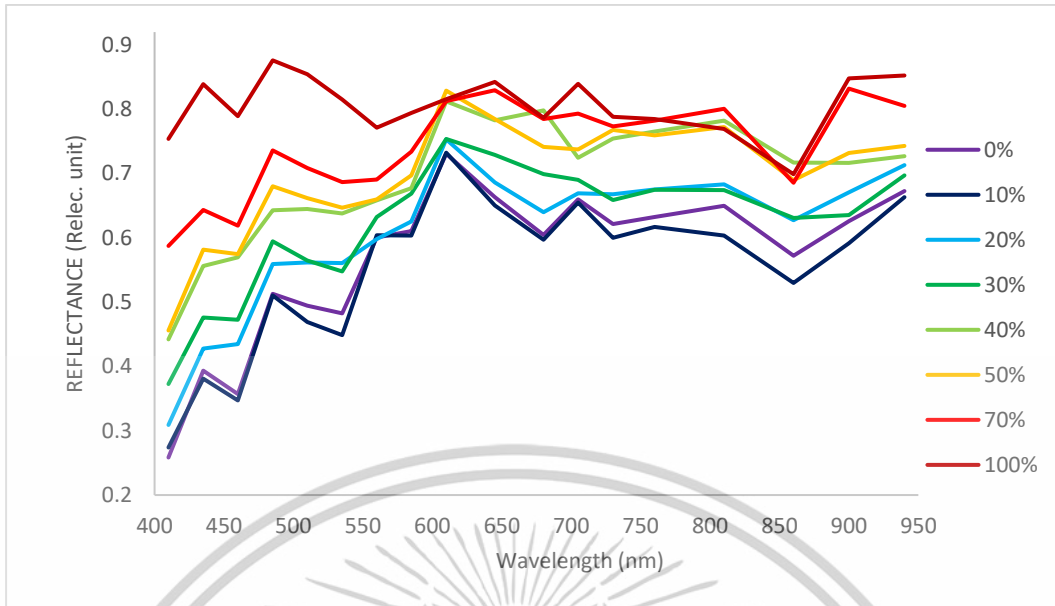


รูปที่ 1 ข กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งดอยคำผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

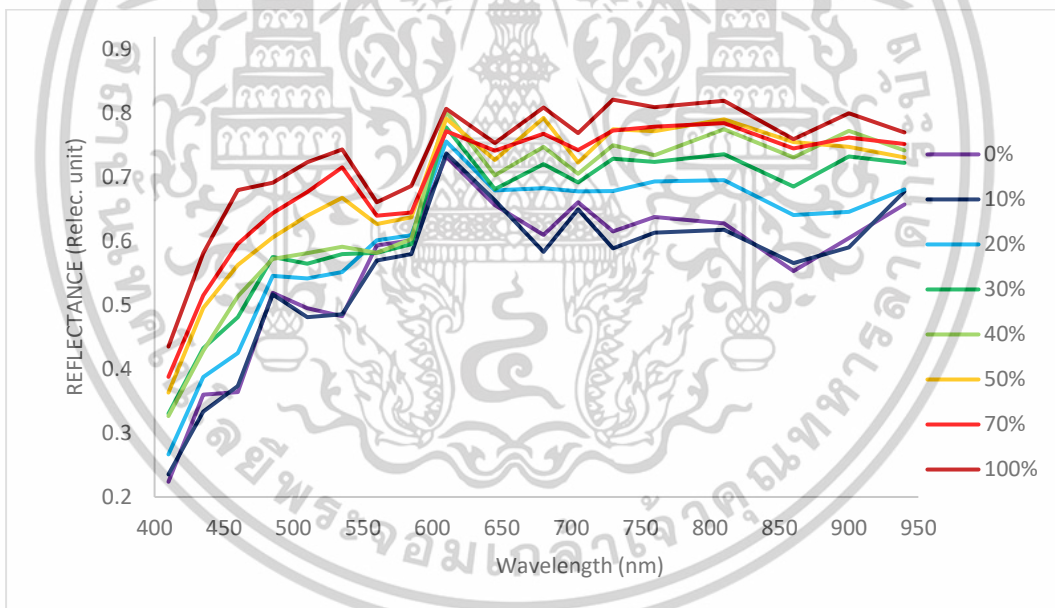


รูปที่ 2 ข กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งดอยคำผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีม่วงจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

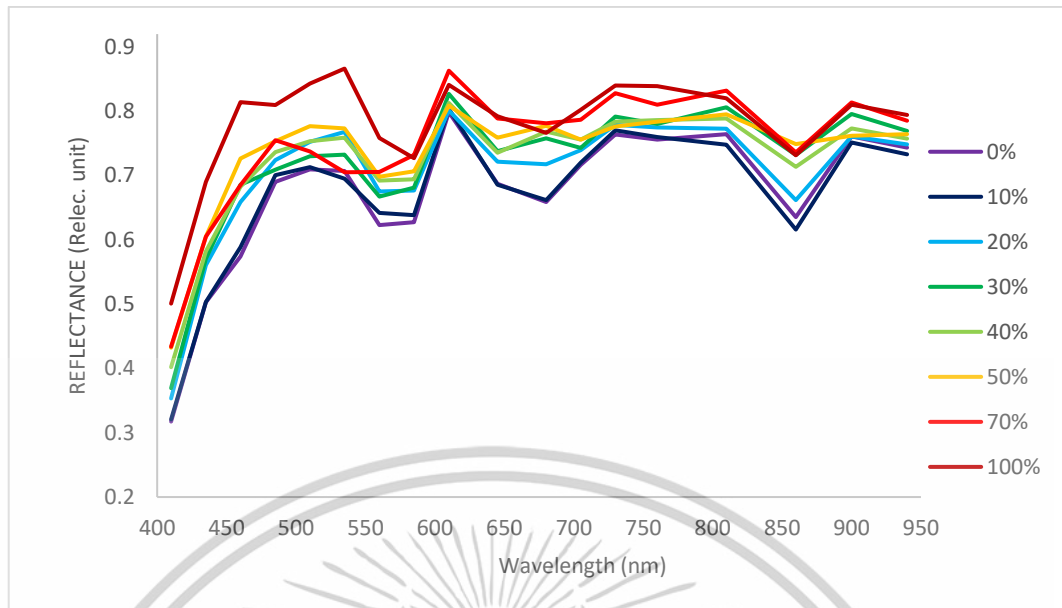


รูปที่ 3 ข กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำฝรั่งบึงกาฬผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

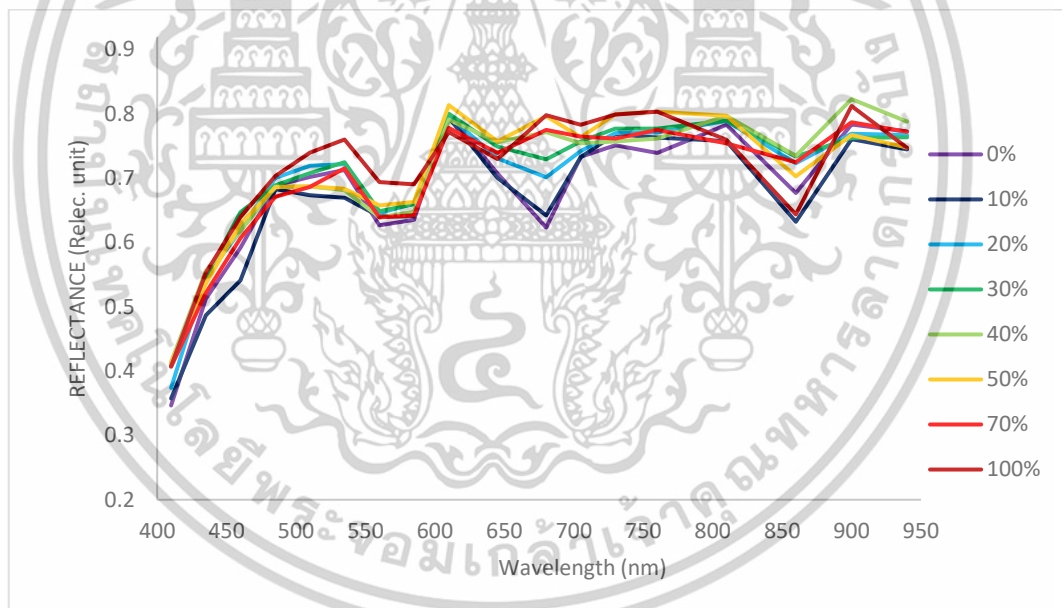


รูปที่ 4 ข กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำฝรั่งบึงกาฬผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

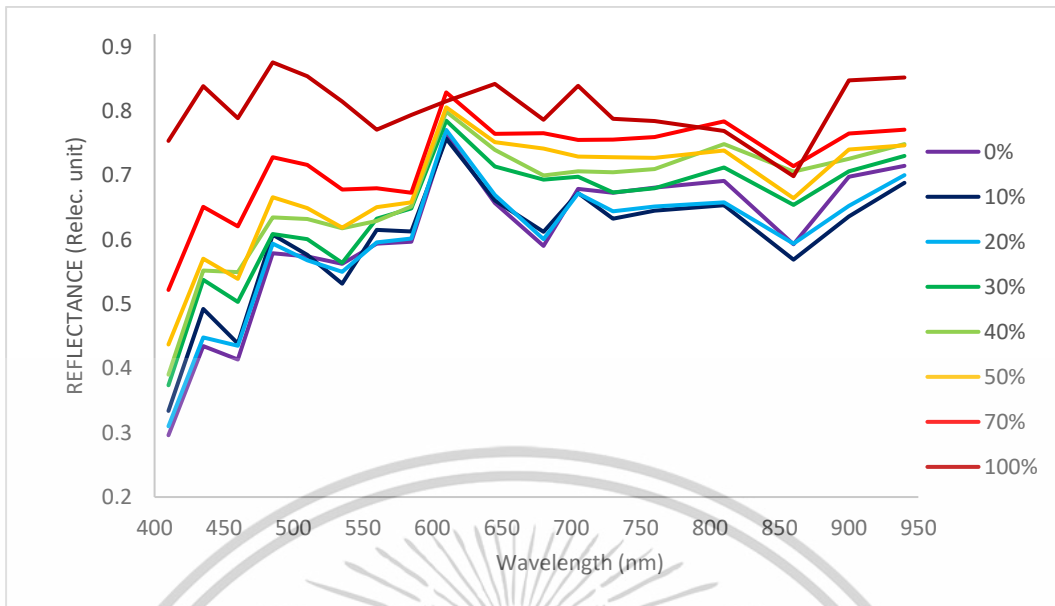


รูปที่ 5 ข กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งชลบุรีค้ำสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุ่นต่ำ

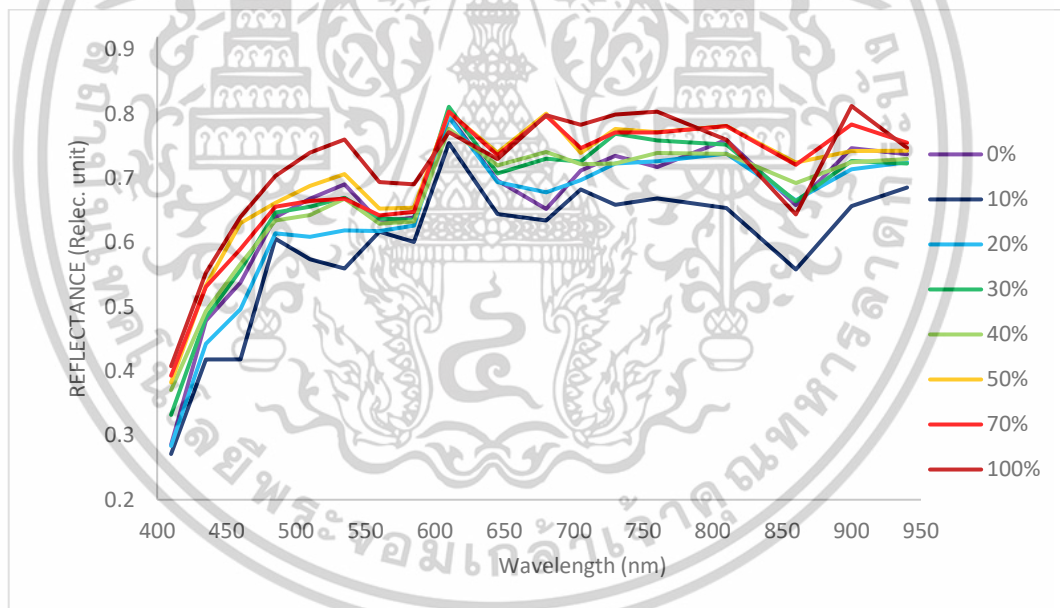


รูปที่ 6 ข กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งชลบุรีผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่าจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุ่นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

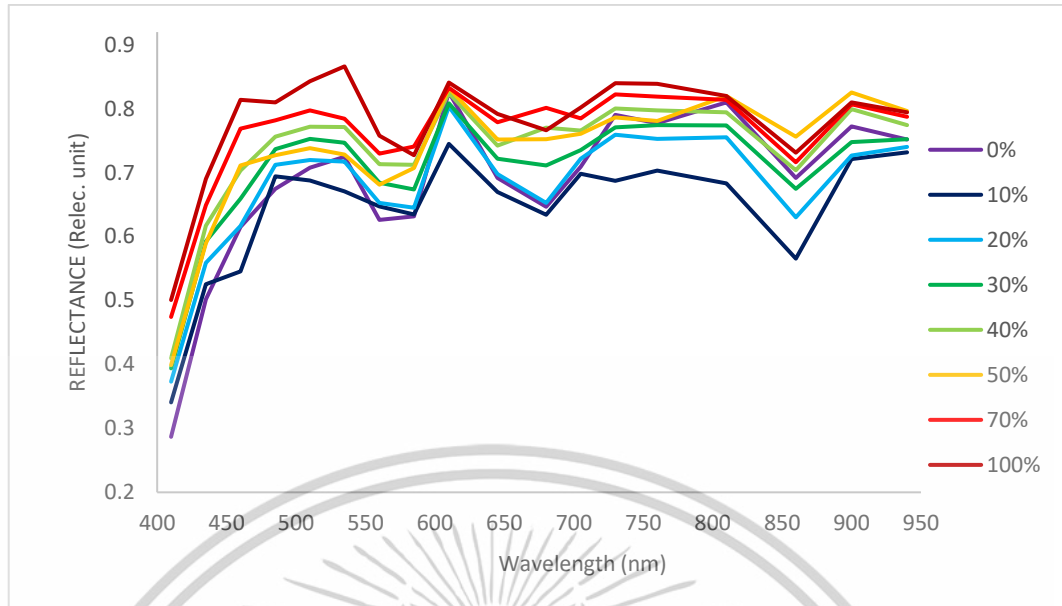


รูปที่ 7 ข กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำฝิ่งสุรินผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุ่นดำ

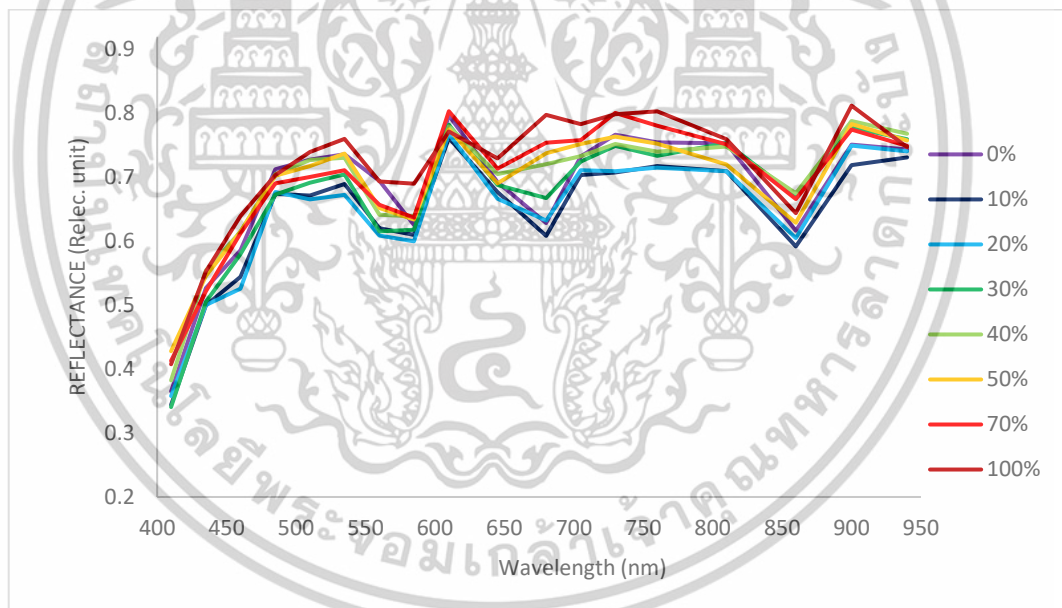


รูปที่ 8 ข กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำฝิ่งสุรินผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่าจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุ่นดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

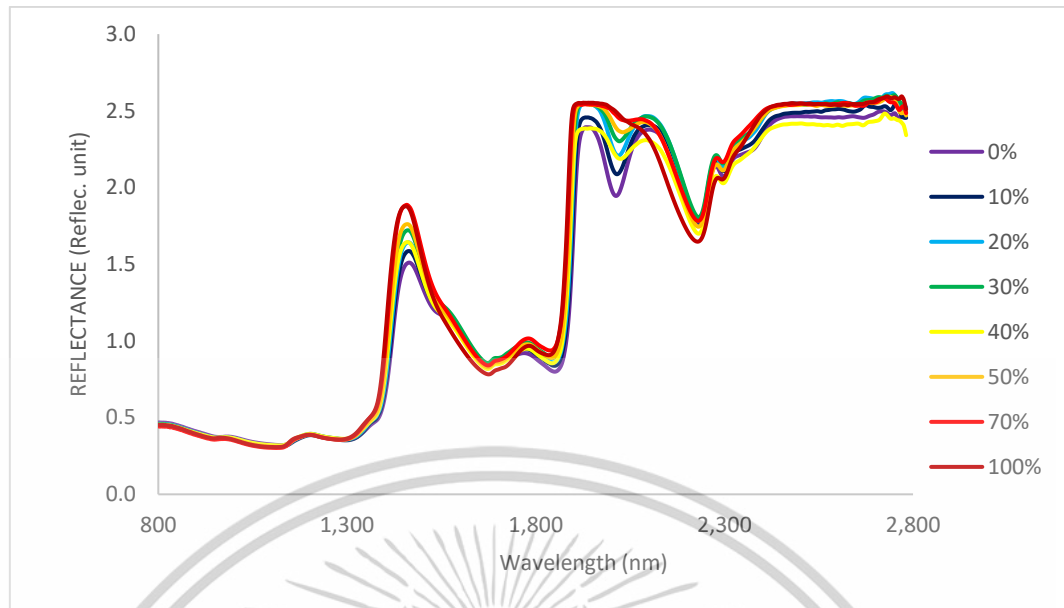


รูปที่ 9x กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งที่อบสัผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

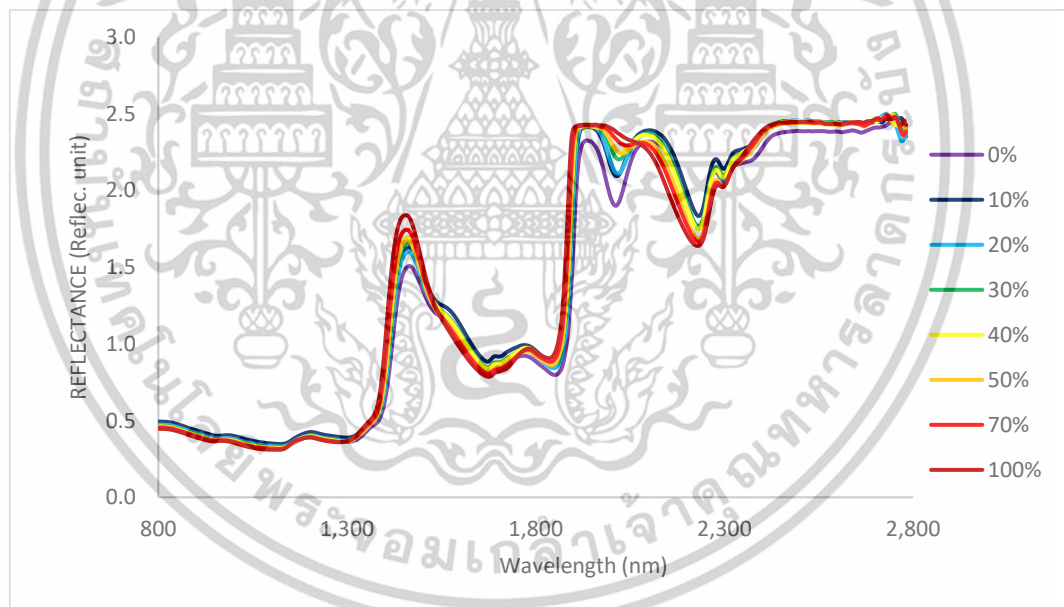


รูปที่ 10x กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งที่อบสัผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร้จากเครื่อง Vis-NIR multispectral ต้นทุนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

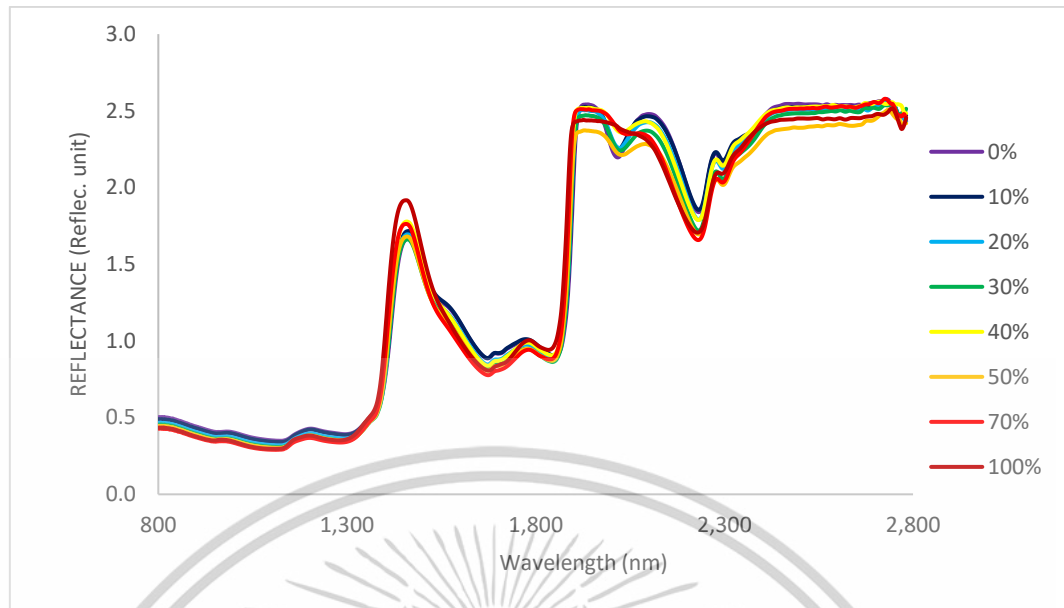


รูปที่ 11 ข กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งดอยคำผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

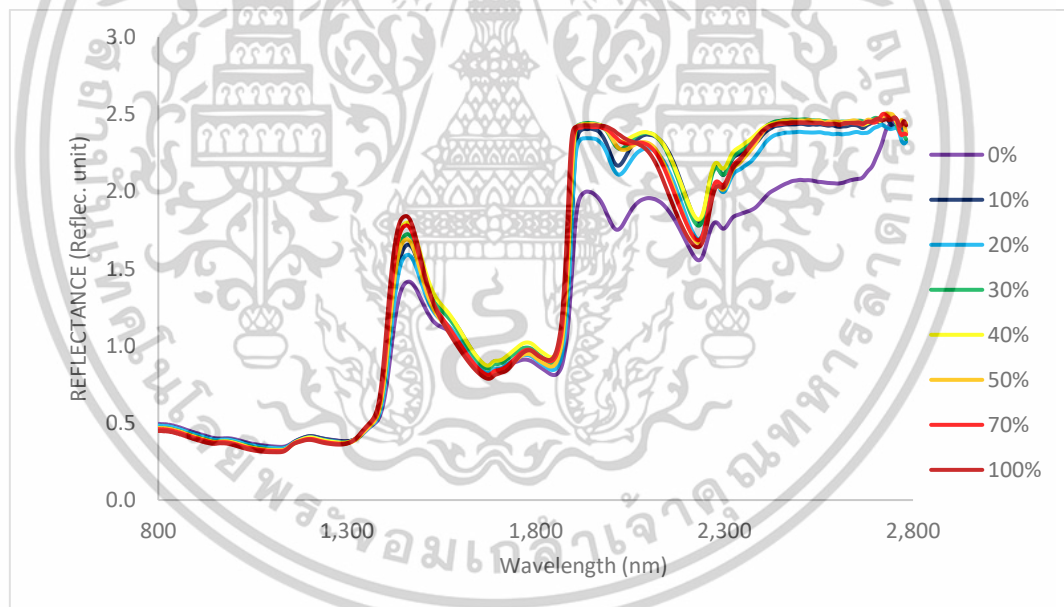


รูปที่ 12 ข กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งดอยคำผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่าจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

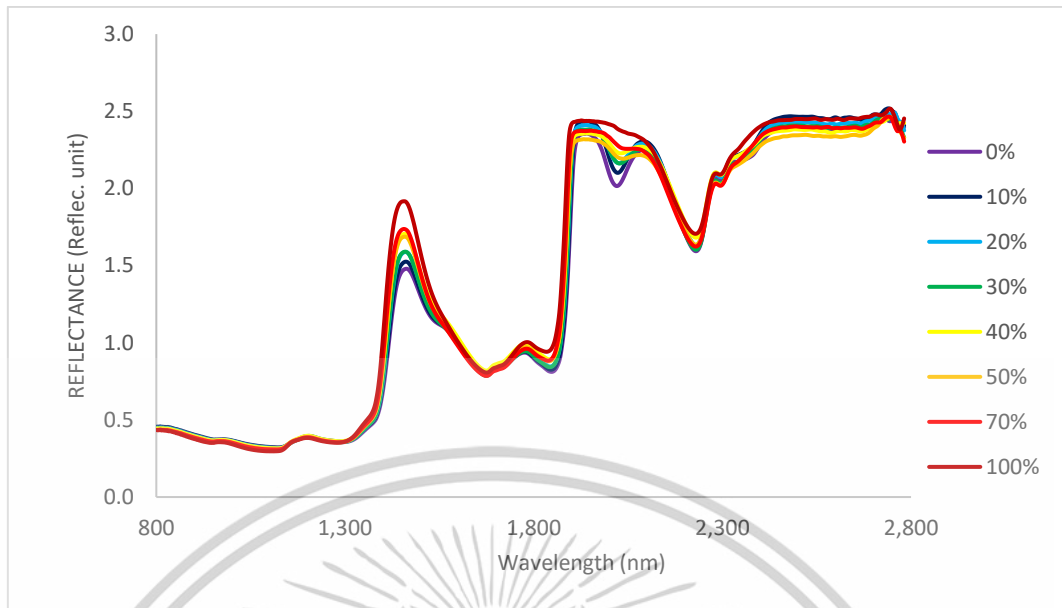


รูปที่ 13x กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งบึงกาฬผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

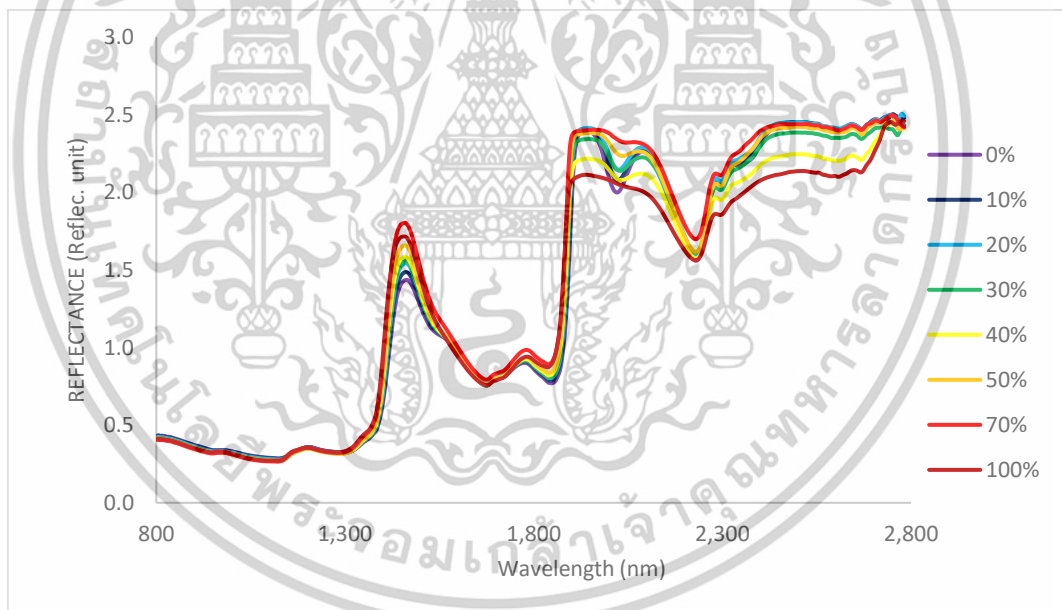


รูปที่ 14x กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งบึงกาฬผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่าจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

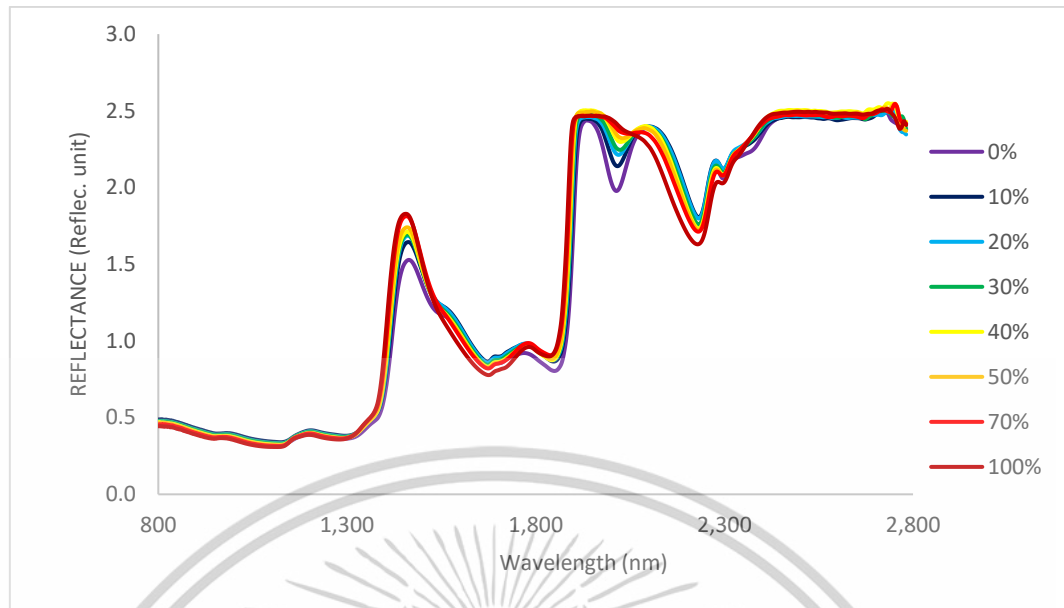


รูปที่ 15x กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งชลูบุรีค้ำผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

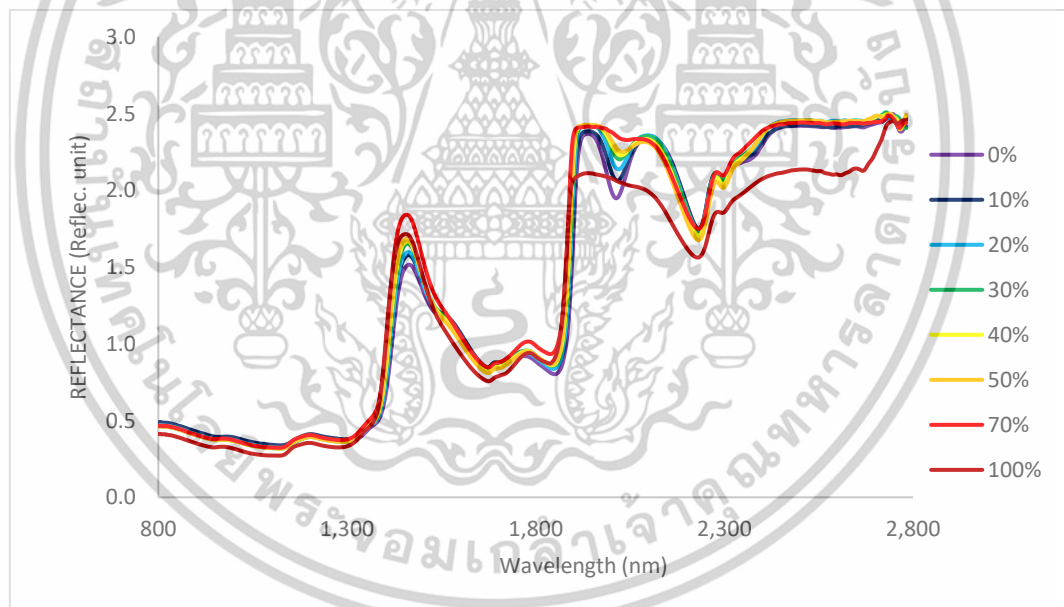


รูปที่ 16x กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งชลูบุรีผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่าจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

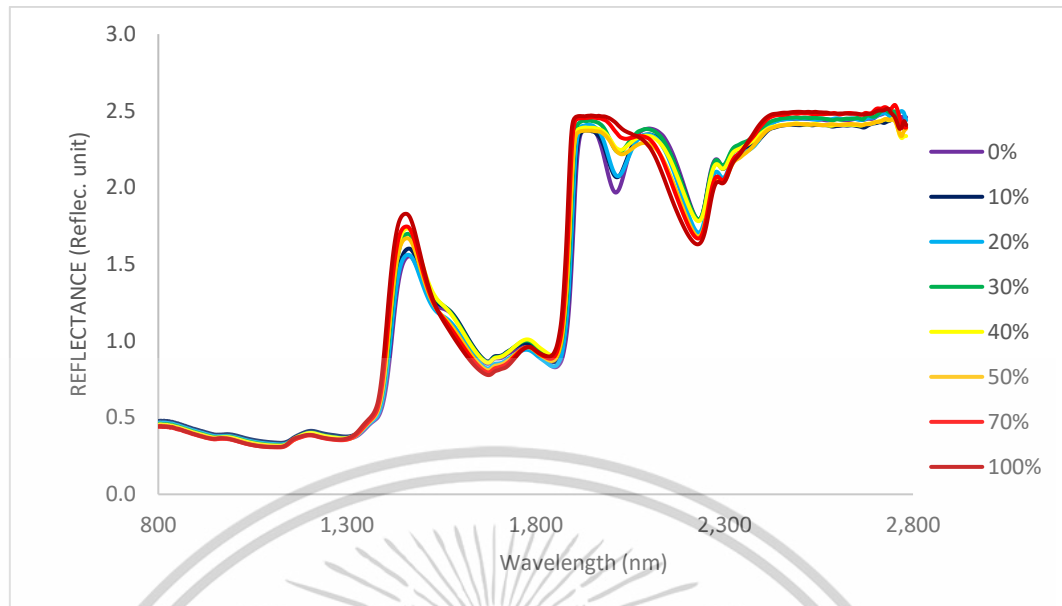


รูปที่ 17x กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งสุรินผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

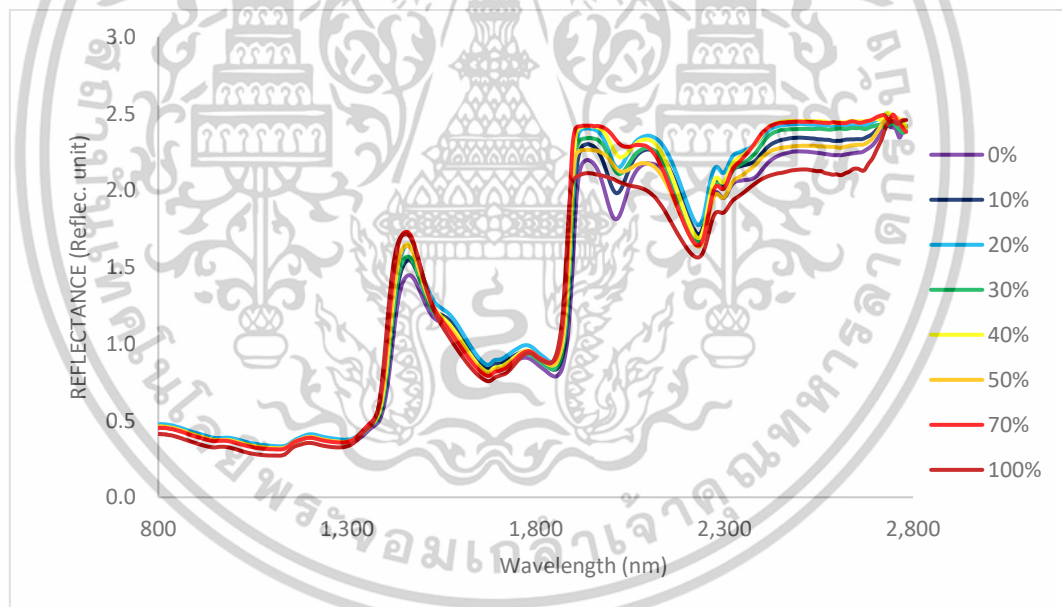


รูปที่ 18x กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งสุรินผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีรำจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19x กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งที่ออสัคผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลทรายขาวจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer



รูปที่ 20x กราฟแสดงค่าการดูดซับของตัวอย่างน้ำผึ้งที่ออสัคผสมน้ำเชื่อมน้ำตาลสีร่าจากเครื่อง FT-NIR Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นาย วุฒิพงษ์ บุตรนนท์  
วัน เดือน ปีเกิด 9 กุมภาพันธ์ 2543 ที่จังหวัดบึงกาฬ  
ที่อยู่ บ้านเลขที่ 48 หมู่ 5 ตำบลโคสี อำเภอเมืองบึงกาฬ จังหวัดบึงกาฬ  
รหัสไปรษณีย์ 38000

ประวัติการศึกษา:  
2565 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร (เกียรตินิยมอันดับ 1)  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้