



## โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

**ชื่อโครงการ** การประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลหลายมิติด้วยเทคนิคทางเคโมเมตริก  
Analysis of Multi-dimensional digital images using chemometric approach

**ชื่อนิสิต** นายนลรัช ศรีเจริญ

**ภาควิชา** เคมี

**ปีการศึกษา** 2559

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประมวลผลภาพดิจิทัลหลายมิติด้วยเทคนิคเคโมเมตริก

Analysis of Multi-dimensional digital images using chemometric  
approaches.

โดย

นายนรวัช

ศรีเจริญ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

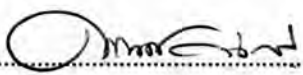
เรื่อง การประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลหลายมิติด้วยเทคนิคเคโมเมตริก

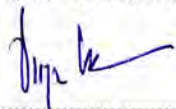
โดย นายนลธวัช ศรีเจริญ

ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วชิรวงศ์กวิน)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนุญ หนูจักร)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)  
หัวหน้าภาควิชาเคมี  
วันที่ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ

ดีมาก

ดี

พอใช้

ชื่อโครงการ การประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลหลายมิติด้วยเทคนิคเคโมเมตริก  
ชื่อนิติในโครงการ นายนลรัช ศรีเจริญ เลขประจำตัว 5633092123  
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2559

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุปกรณ์ถ่ายภาพได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีความละเอียดและความคมชัดในระดับสูงและถ่ายโอนข้อมูลได้ง่าย จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานการวิเคราะห์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านอาหาร ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพโดยติดตั้งหลอด LED สีต่าง ๆ ได้แก่ สีขาว น้ำเงิน เขียว ส้มและแดง เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงให้กับวัตถุสำหรับการถ่ายภาพ และพัฒนาโปรแกรมทางเคโมเมตริกสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายที่ได้จากการใช้แหล่งกำเนิดแสง LED ที่ต่างกัน ความแม่นยำและความแปรปรวนของภาพถ่ายที่ได้ถูกวิเคราะห์โดยการแปลงภาพถ่ายให้อยู่ในรูปของค่าสี RGB พบว่ารูปถ่ายที่ได้มีความแปรปรวนน้อย (<math><5\%</math>) จากนั้นทำการทดสอบโปรแกรมทางเคโมเมตริกโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบของกระดาศที่ประกอบด้วยสีต่าง ๆ (9 สี) พบว่าจากเทคนิคแยกองค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) สามารถจำแนกสีบนกระดาศได้อย่างชัดเจนมากกว่าการวิเคราะห์จากค่าสี RGB โดยตรง จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์กับตัวอย่างใบไม้ พบว่าสามารถระบุบริเวณที่มีคลอโรฟิลบนใบไม้ได้อย่างแม่นยำ และวิเคราะห์ปลาแซลมอนดิบพบว่าสามารถระบุบริเวณที่เป็นชั้นไขมันและเนื้อปลาได้อย่างชัดเจน และยังสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีการให้ความร้อนโดยไม่โครเวฟ นอกจากนี้การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากการใช้ LED สีน้ำเงิน เขียว ส้ม และแดงร่วมกันจะให้ผลที่ถูกต้องมากกว่าภาพถ่ายที่ได้จากหลอด LED สีขาวเพียงสีเดียว

คำสำคัญ: LED, เคโมเมตริก, การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก, ค่าสี RGB

**Title** Analysis of Multi-dimensional digital images using chemometric approaches.

**Name** Mr.Nontawat Sricharoen ID 5633092123

**Advisor** Assist. Prof. Dr. Kanet Wongravee

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University

### Abstract

Nowaday, photographic equipment was continuously developed to reach the high standard, good resolution and possibly access to internet for uploading captured pictures. These developed camera was applied for many application especially food analysis. In this work a photographic equipment was developed by using several LED (white, blue, green, orange and red) as the light source to generate the different light to the captured objects. A chemometric program was also developed to analyte the images. The precision and variation of image that was monitored by transform the image to RGB values. It was found that the variation of the image is acceptable (<5 %) for further uses. To validate the chemometric program, an image captured from an object containing 9 different colors was used. It was found that 9 colors can be differentiated by using the principal component analysis, while these colors cannot be completely differentiated by using RGB values. These procedure was further applied to leaf and salmon. It was found that chrolophyll in the leaf can easily be determined. In case of salmon, it was found that the lipid layer can be determined and monitored when salmon was heated by microwave. From several tests, it can be concluded that the image captured using light source from LED (blue green orange and red) contains more information comparing with the image captured by using only LED white light.

Keyword : LED, Chemometric, Principal component analysis, RGB

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและรายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยดีเนื่องจากการได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณศ วงษ์ระวี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และแนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัย อีกทั้งเสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เพื่อให้งานวิจัยครั้งนี้ผ่านไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วชิรวงศ์กวิน และ รองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมบุญ หนูจักร ที่กรุณาสละเวลาในการตรวจทาน แก้ไขให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และให้เกียรติมาเป็นประธาน และกรรมการในการสอบงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ดร.สุพีระ นุชนารถ รวมถึงสมาชิกหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ (Sensor Research Unit) ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะ และให้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคต่างๆในงานวิจัย การใช้และการดูแลเครื่องมือ อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็น รวมไปถึงการให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ทางผลจากเทคนิคต่างๆ

ขอขอบคุณโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนทั้งด้านความรู้และทักษะต่างๆจนทำให้สามารถนำทักษะที่ได้รับมาใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ(ไทย)	ค
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	4
1.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
1.5 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย	15
บทที่ 2 การทดลอง	16
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	16
2.2 วิธีการทดลอง	16
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	23
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	34
เอกสารอ้างอิง	36
ประวัติผู้วิจัย	38

## สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของค่าสี RGB ที่อ่านได้จากการถ่ายภาพสีขาวโดยใช้หลอด LED สีต่าง ๆ เป็นแหล่งกำเนิดแสง

24





## สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	หน้า
รูปที่ 1.1 ภาพจำลองของช่วงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดต่างๆตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นวิทยุ (radio) ถึงความยาวคลื่นจากรังสี (Gamma ray)	1
รูปที่ 1.2 ภาพจำลองเทคนิคการถ่ายภาพ (a) วิธีการทั่วไปซึ่งใช้แผ่นกรองแสง (b) วิธีการที่ใช้หลอด LED แทนแผ่นกรองแสง	3
รูปที่ 1.3 a) ผลการละลายของ PC1, poloxamer PC2, magnesium stearate, PC3, active ingredient PC4, avicel b) ผลของการปนเปื้อน (ดำ) ยาที่ตรวจวัด (แดง) ด้วยอ้างอิง	5
รูปที่ 1.4 ผลของการตรวจสอบยาด้วยเทคนิค Raman hyperspectral a) แสดง a) แสดงถึงสเปกตรัมของแต่ละสัญญาณ b) ผลของอุณหภูมิต่อสัญญาณแต่ละชนิด c) ปริมาณของแต่ละสัญญาณที่อุณหภูมิต่างๆกัน	6
รูปที่ 1.5 a) ชนิดของแอปเปิ้ล และการปนเปื้อน b) ผลการวิเคราะห์ของแอปเปิ้ลแต่ละชนิดตามลำดับ Red Delicious, Golden Delicious, Gala, และ Fuji	7
รูปที่ 1.6 ภาพถ่ายองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อแกะประกอบด้วยน้ำ และไขมัน เลขข้างใต้ข้างใต้ภาพแสดงถึงค่าเฉลี่ยของน้ำ และไขมัน ของตัวอย่าง	8
รูปที่ 1.7 ภาพถ่ายองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อแกะ แสดงถึงโปรตีนในตัวอย่างเนื้อแกะที่มีโปรตีนปริมาณน้อยและมาก	8
รูปที่ 1.8 ภาพตัวอย่างไดโอดเปล่งแสงที่มีในปัจจุบัน (b) ยูวีสเปกตรัมของหลอด LED	9
รูปที่ 1.9 ภาพจำลองจากเทคนิคจากเครื่องกวาดภาพช่วงคลื่นละเอียดสูง	11

รูปภาพที่	หน้า
รูปที่ 1.10 รูปตัวอย่างการทำ PCA	13
รูปที่ 1.11 ช่วงความยาวคลื่นของแสงแต่ละสี ในช่วงแสงที่ตามองเห็น	13
รูปที่ 1.12 แผนภาพระบบสีของแสง	14
รูปที่ 1.13 a) แผนภาพของระบบสี HSV b) แผนภาพของระบบ HSL	15
รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายของเครื่อง UV-visible spectroscopy	17
รูปที่ 2.2 ภาพจำลองการทดลองตรวจวัดช่วงการดูดกลืนแสง	17
รูปที่ 2.3 ภาพจำลองการจัดวางเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์โดยการ set up นี้จะทำการถ่ายภาพในห้องมืดสนิทเพื่อป้องกันการรบกวนของแสงจากภายนอก โดยตัวอย่างเป็นกระดาษสีขาว	18
รูปที่ 2.4 แผนภาพวิธีการทดสอบความแม่นยำในการแปลผลของโปรแกรมทางเคโมเมตริกที่พัฒนาขึ้น	20
รูปที่ 2.5 แผนภาพวิธีการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลในตัวอย่างใบไม้จริง	21
รูปที่ 2.6 แผนภาพวิธีการวิเคราะห์ในตัวอย่างเนื้อปลาแชลมอนดิบ	22
รูปที่ 3.1 ค่าความยาวคลื่นของที่เปล่งออกมาจาก LED ที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง UV-Visible spectroscopy	23
รูปที่ 3.2 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสี RGB ที่วัดได้จากหลอด LED สีต่าง ๆ รูปกราฟ (inset figure) แสดงค่าสี RGB ในแต่ละ pixels ของภาพถ่ายขนาด 20 x 20 pixels	25
รูปที่ 3.3 ผลค่าสี RGB และค่า score จากเทคนิค PCA ของรูปถ่ายกระดาษที่ระบายสีโดยเปรียบเทียบรูปถ่ายที่ใช้ LED สีขาว น้ำเงิน เขียว ส้ม และแดง	27
รูปที่ 3.4 ผลของสกออร์เมตริกซ์จากเทคนิค PCA บนตัวอย่างภาพถ่ายใบไม้เมื่อใช้ LED สีต่างๆ	29
รูปที่ 3.5 ผลค่าสี RGB จากรูปถ่ายปลาแชลมอน โดยใช้หลอด LED สีขาว	31

## รูปภาพที่

## หน้า

รูปที่ 3.6 ค่าสกอ์จากเทคนิค PCA โดยแสดงการเปรียบเทียบของ PC1 และ PC2 เปรียบเทียบ

32

ระหว่างภาพถ่ายจากการใช้หลอด LED สีขาวและการใช้หลอด LED ทุกสีร่วมกัน บนเนื้อปลา

แช่ลมอนดิบที่ผ่านการให้ความร้อนโดยไม่โคเวฟที่กำลังไฟ 440 วัตต์ เป็นเวลา a) 0 วินาที b) 5 วินาที

c) 10 วินาที และ d) 15 วินาที

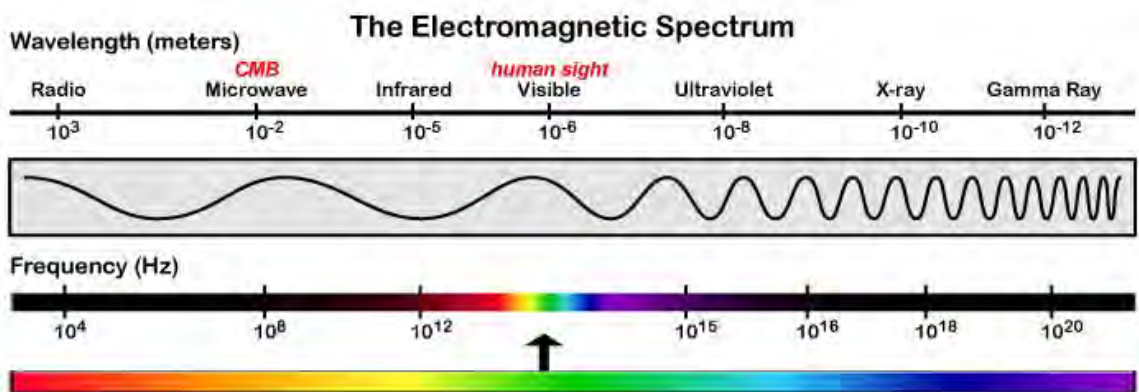


# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจ

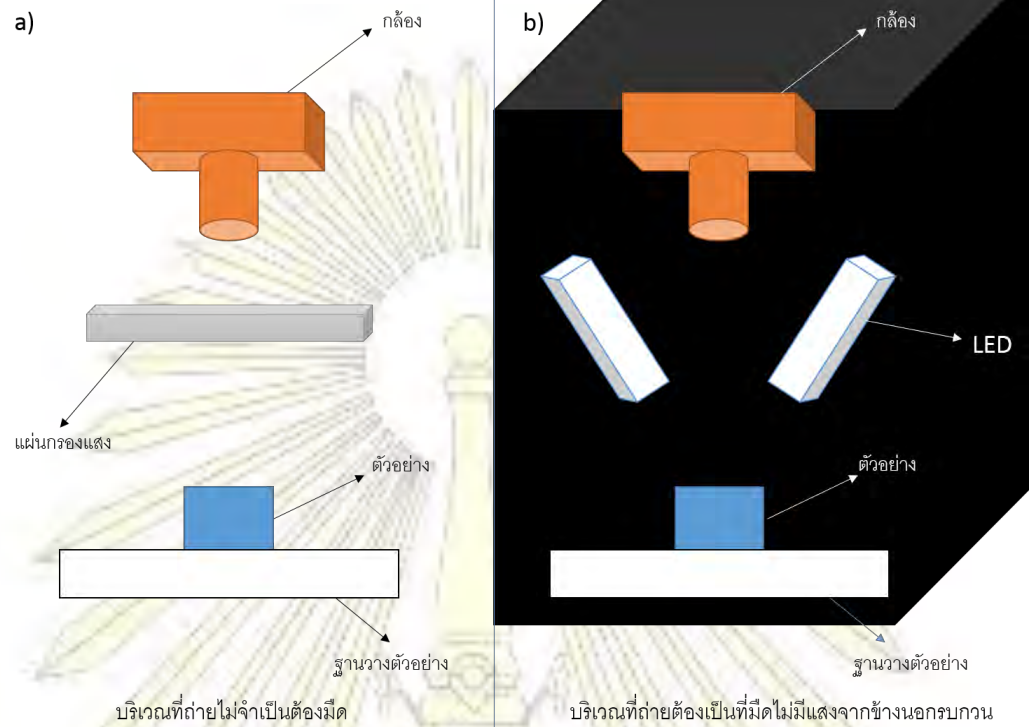
การวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโคปี (spectroscopy) เป็นวิธีการหนึ่งและได้รับความนิยมสำหรับการใช้ระบุเอกลักษณ์ของโมเลกุลทางเคมีของสารประกอบที่เกิดจากพันธะเคมีที่แตกต่างกันไป การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโทรสโคปีนั้นจะเป็นการศึกษาอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโมเลกุลของสารประกอบกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (electronic state) ระดับพลังงานการหมุน (rotation) และการสั่น (vibration) ของโมเลกุล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ภาพจำลองของช่วงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นวิทยุ (radio) ถึงความยาวคลื่นจากรังสี (Gamma ray) [1]

เมื่อวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของความยาวคลื่นจะได้ข้อมูลออกมาเป็นสเปกตรัม จะทำให้ทราบข้อมูลหลายอย่างเกี่ยวกับโครงสร้างของโมเลกุลของสารประกอบ เช่น สมมาตร ความยาวพันธะ ชนิดของพันธะ มุมพันธะ เป็นต้น ปัจจุบันมีเทคนิคทางสเปกโทรสโกปีอยู่เป็นจำนวนมากเช่น ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-visible spectroscopy) [2] จะใช้ในการตรวจวัดโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสงได้ในช่วงที่ตามองเห็นได้ เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared spectroscopy, NIR) [3] หรืออินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared spectroscopy, IR) [4] ใช้ในการทดสอบหรือตรวจวัดหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วของสารประกอบ อย่างไรก็ตามเทคนิคที่กล่าวมาข้างต้นมีข้อจำกัดในการตรวจวัด ซึ่งตรวจวัด 1 ครั้งจะให้ข้อมูลเพียง 1 จุดบนตัวอย่างเท่านั้น ถ้าต้องการตรวจวัดทั่วบริเวณตัวอย่าง จำเป็นต้องใช้การตรวจวัดหลายครั้ง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการตรวจวัดตัวอย่างที่มีขนาด  $20 \times 20$  จุด จะต้องทำการตรวจวัดถึง 400 ครั้ง เป็นต้น

ในปัจจุบันเทคนิคทางภาพถ่ายและอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกภาพถ่ายได้ถูกพัฒนาเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นกล้องดิจิทัลหรือสมาร์ทโฟนที่มีความละเอียดสูง สามารถถ่ายโอนข้อมูล และสามารถเชื่อมต่อเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ง่าย เพราะฉะนั้นสามารถประยุกต์กล้องดิจิทัลให้สามารถเป็นเครื่องตรวจวัดทางสเปกโทรสโกปี ได้ จะทำให้การวิเคราะห์โมเลกุลทางเคมีของตัวอย่างเป็นไปได้โดยง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น โดยทั่วไปการประยุกต์ใช้กล้องดิจิทัลสำหรับวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างจำเป็นที่จะต้องใส่แผ่นกรองแสง (filter) ดังรูปที่ 1.2 (a) เพื่อทำการเลือกบันทึกแสงในช่วงความยาวคลื่นแคบๆ ในการเก็บข้อมูลของลักษณะจำเพาะของตัวอย่าง โดยถ้าทำการใช้แผ่นกรองแสงหลายแผ่นเพื่อบันทึกข้อมูลในหลายช่วงความยาวคลื่นเกิดเป็นภาพถ่ายหลายมิติ (hyperspectral image) จะทำให้การวิเคราะห์จะได้ผลที่แม่นยำ และสามารถแยกองค์ประกอบออกจากกันได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามแผ่นกรองแสงที่มีความละเอียดสูงนั้นมีราคาสูง ในปัจจุบันจึงได้มีผู้ริเริ่มที่จะไม่ใช้แผ่นกรองแสง แต่เปลี่ยนมาใช้หลอด LED [5] ที่เปล่งแสงในความยาวคลื่นจำเพาะมาใช้แทนที่แผ่นกรองแสง ดังรูปที่ 1.2 (b) ด้วยวิธีการดังกล่าวจะทำให้วิเคราะห์ข้อมูลของตัวอย่างได้โดยไม่ต้องใช้แผ่นกรองแสง อีกทั้งการพัฒนาหลอด LED นั้นมีความก้าวหน้าไปมาก จึงสามารถเลือกหาหลอด LED ได้ในทุกช่วงความยาวคลื่นและมีราคาถูกกว่าเทียบกับแผ่นกรองแสง วิธีการนี้จึงมีความเหมาะสมกับกลุ่มคนทั่วไปที่จะประยุกต์ใช้งานมากกว่า



รูปที่ 1.2 ภาพจำลองเทคนิคการถ่ายภาพ (a) วิธีการทั่วไปซึ่งใช้แผ่นกรองแสง (b) วิธีการที่ใช้หลอด LED แทนแผ่นกรองแสง

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายนั้นจะประกอบไปด้วยตัวแปรและขนาดของข้อมูลขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคทางสถิติและคณิตศาสตร์เข้าช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบที่แปลผลได้ง่าย เทคนิคทางเคโมเมตริก (chemometrics) เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทางเคมีมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อการจำแนก การศึกษาองค์ประกอบ การแปลความหมายและแปลผลการทดลอง เคโมเมตริกใช้หลักการนำข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับหลายตัวแปรมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์แล้วทำการแปลงข้อมูลที่มีหลายตัวแปรนั้นให้อยู่ในรูปแบบของตัวแปรแฝง (latent variables) ซึ่งถือเป็นการลดจำนวนตัวแปรเพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ผล ทั้งในเชิงของคุณภาพวิเคราะห์ (qualitative analysis) ได้ เช่น การทำ Principal component analysis (PCA) [6] และ ปริมาณวิเคราะห์ (quantitative analysis) เช่น การทำ Partial least squares (PLS) [6] ทั้งนี้เคโมเมตริกเป็นส่วนสำคัญที่จะต้องควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ภาพถ่ายอย่างถูกต้องและมีความแม่นยำ

ในโครงการวิจัยนี้จะออกแบบเครื่องทดสอบโดยนำไดโอดเปล่งแสง (LED) สีขาว น้ำเงิน เขียว ส้ม และแดง เป็นแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจาก LED แต่ละสีจะมีการให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นเป็นช่วงแคบๆ เพื่อทดแทนการใช้แผ่นกรองแสงที่มีราคาแพง เพื่อบันทึกภาพในช่วงความยาวคลื่นที่ต่างกัน เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพจึงทำการทดสอบระยะระหว่างกล้อง หลอด LED และการติดตั้งเพื่อให้ภาพที่ได้มีความแปรปรวนน้อยที่สุด ทดสอบโดยการถ่ายภาพกระดาษสีขาว จากนั้นพัฒนาเทคนิคทางเคโมเมตริกที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพ ทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ตัวอย่างที่ทำขึ้นซึ่งมีความแตกต่างของสีทั้งสิ้น 9 สี เปรียบเทียบกันระหว่างระบบที่ใช้แสงขาวและระบบที่ใช้หลอด LED เป็นแหล่งกำเนิดแสง หลังจากการทดสอบโปรแกรมนำอุปกรณ์และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งของคลอโรฟิลล์ในใบไม้ และชั้นไขมันในเนื้อปลาแซลมอน

## 1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

1. เครื่องมือที่เชื่อมต่อกับกล้องดิจิทัลบนโทรศัพท์มือถือสำหรับการบันทึกภาพในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ
2. พัฒนาโปรแกรมทางเคโมเมตริกที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากกล้องดิจิทัลที่มีหลายมิติ

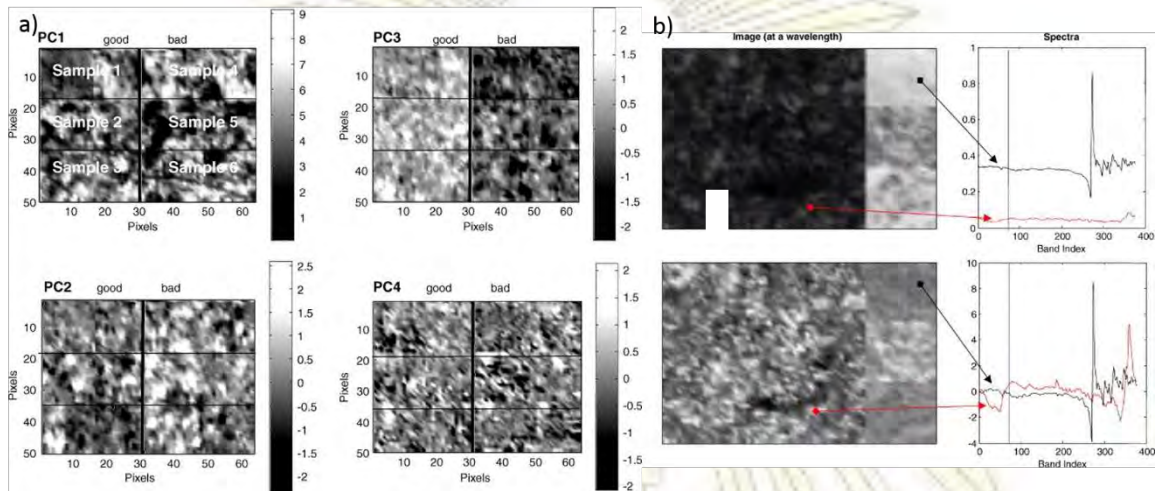
## 1.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคนิคทางสเปกโทรสโกปีร่วมกับกล้องดิจิทัล เพื่อให้ได้ภาพถ่ายในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้เป็นที่น่าสนใจในปัจจุบัน และมีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายหลายมิติเหล่านี้ในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเภสัชกรรม ด้านอาหาร หรืออื่น ๆ อย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น

### ด้านเภสัชกรรม

ในปี 2005 ได้มีงานวิจัยเรื่อง Infrared hyperspectral imaging for qualitative analysis of pharmaceutical solid forms โดย Y. Roggo และคณะ [7] ได้กล่าวถึงการตรวจคุณภาพวิเคราะห์ของตัวยาในรูปของแข็ง เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อน และศึกษาพฤติกรรมและการละลายของตัวยา โดยผู้วิจัยได้ใช้ยา Avicel ที่มีสิ่งปนเปื้อนบนเม็ดยาเทียบกับตัวยาที่บริสุทธิ์เป็นตัวอย่าง เพื่อใช้ทดสอบในการตรวจหา

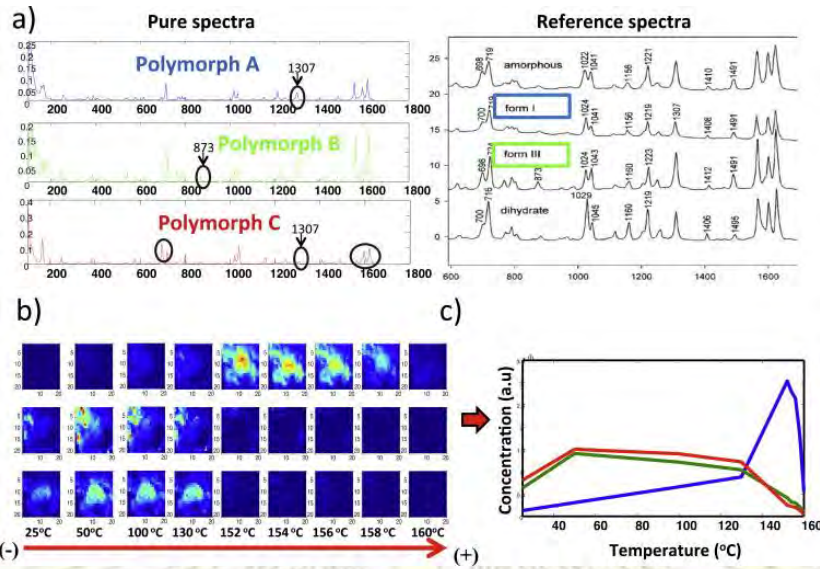
สารปนเปื้อนบนยา โดยแยกตรวจสอบในส่วนของตัวออกฤทธิ์ สีแต่งยา และส่วนประกอบอื่นๆที่ทำให้ยาเป็นเม็ดได้ และใช้ยาที่มีความสามารถในการละลายได้ดี 3 ตัวอย่าง และละลายได้ไม่ดี 3 ตัวอย่าง ในการตรวจสอบปัญหาด้านการละลายของเม็ดยา โดยใช้เทคนิค Infrared hyperspectral ร่วมกับเทคนิค PCA ตรวจสอบ พบว่าสามารถตรวจสอบและระบุตำแหน่งของสิ่งปนเปื้อนได้และผลการตรวจสอบเรื่องการละลายของตัวยา สามารถตรวจสอบได้ว่ายาตัวอย่างไหนละลายได้ดีหรือไม่



รูปที่ 1.3 a) ผลการละลายของ PC1, poloxamer PC2, magnesium stearate, PC3, active ingredient PC4, avicel b) ผลของการปนเปื้อน (ดำ) ยาที่ตรวจวัด (แดง) ด้วยอ้างอิง

ในปี 2014 ได้มีงานวิจัยเรื่อง Monitoring polymorphic transformations by using *in situ* Raman hyperspectral imaging and image multiset analysis โดย S. Piqueras และ คณะ [8] ได้กล่าวถึงการตรวจสอบความเป็นพหุสัณฐานของยา carbamazepine ซึ่งในทางเภสัชกรรม พหุสัณฐานถือเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างมากเนื่องจากพหุสัณฐานมีผลต่อการดูดซึมยาและการมีฤทธิ์ทางยา โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อตัวยาโดยใช้เครื่อง Raman spectroscopy ประยุกต์กับเทคนิคทางเคโมเมตริก เพื่อแปลผลข้อมูลจากรามานสเปกตรัม สำหรับการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของยาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าสามารถจำแนกสัณฐานของยา carbamazepine ได้ทั้งหมด 3 สัณฐาน เรียกว่า A, B และ C โดยที่สัณฐาน B เป็นสัณฐานที่มีฤทธิ์ทางยา สามารถตรวจพบได้ที่อุณหภูมิ 25-130 °C

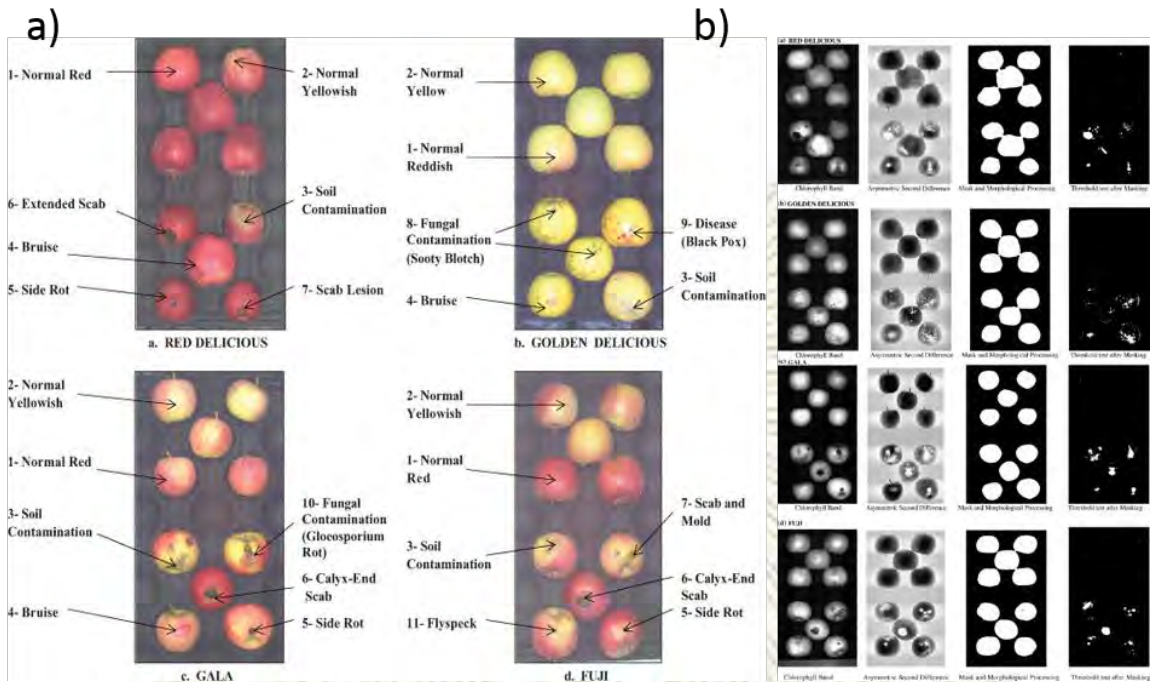




รูปที่ 1.4 ผลของการตรวจสอบยาด้วยเทคนิค Raman hyperspectral a) ถึงสเปกตรัมของแต่ละสัณฐาน b) ผลของอุณหภูมิต่อสัณฐานแต่ละชนิด c) ปริมาณของแต่ละสัณฐานที่อุณหภูมิต่างๆกัน

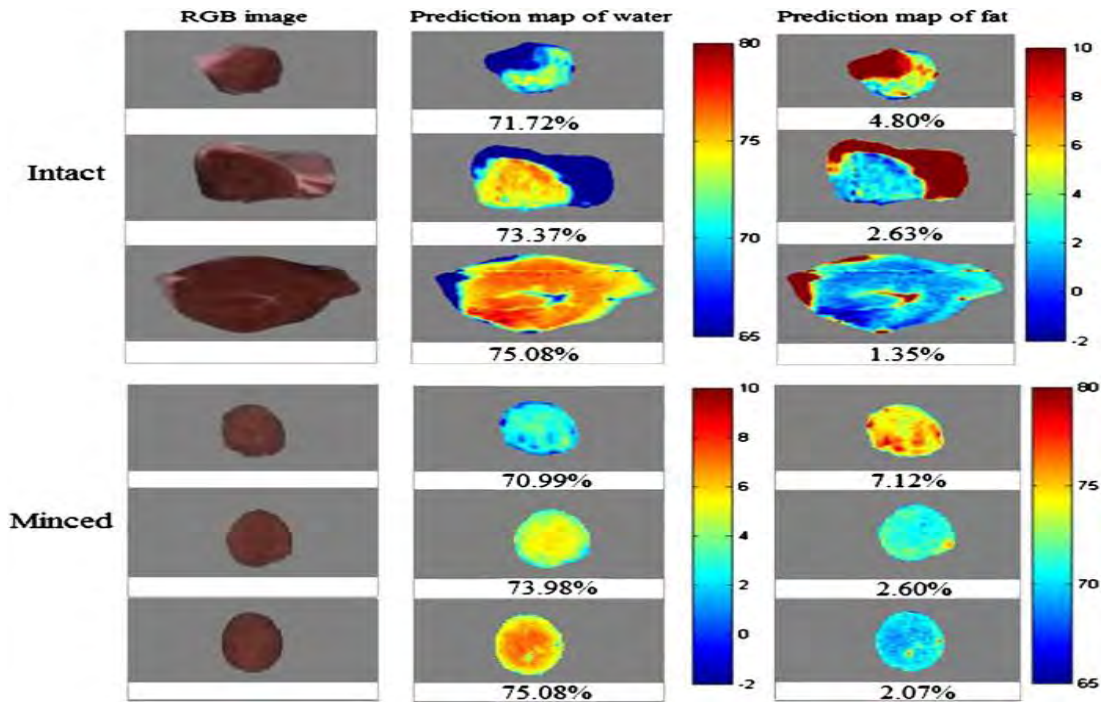
## ด้านอาหาร

ในปี 2004 ได้มีงานวิจัยเรื่อง Development of hyperspectral imaging technique for the detection of apple surface defects and contaminations โดย Mehl P. M. และคณะ [9] ได้ทำการออกแบบเครื่องมือทางภาพถ่ายโดยใช้คลื่นตรวจวัดในช่วงแสงที่ตามองเห็น และในช่วง NIR และใช้เทคนิคทางเคโมเมตริกในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบโดยการตรวจตำหนิและการปนเปื้อนบนผลแอปเปิ้ล 4 ชนิด คือ Red Delicious, Golden Delicious, Gala และ Fuji ผู้วิจัยพบว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นและเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้ผลในการตรวจสอบตำหนิและการปนเปื้อนได้ดี และเทคนิคการวิเคราะห์ที่ผู้วิจัยพัฒนาให้ผลดีกว่าเทคนิคดั้งเดิมเนื่องจากใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยลงและให้ผลลัพธ์อย่างแม่นยำ

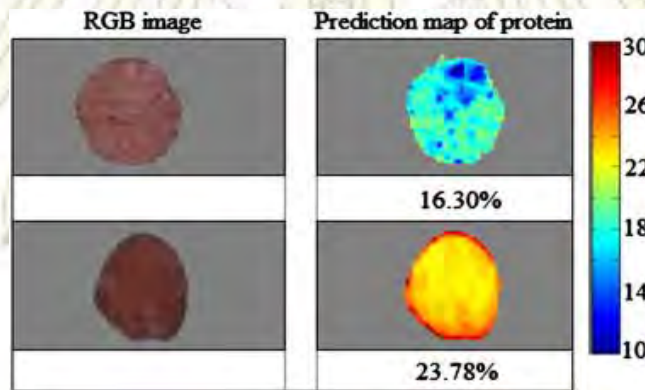


รูปที่ 1.5 a) ชนิดของแอปเปิ้ล และการปนเปื้อน b) ผลการวิเคราะห์ของแอปเปิ้ลแต่ละชนิดตามลำดับ Red Delicious, Golden Delicious, Gala, และ Fuji

ในปี 2012 ได้มีงานวิจัยเรื่อง Non-destructive prediction and visualization of chemical composition in lamb meat using NIR hyperspectral imaging and multivariate regression โดย Kamruzzaman M. และคณะ [10] ได้ทำการตรวจวัดเนื้อแกะ โดยใช้เทคนิคจากเครื่องกวาดภาพช่วงคลื่นละเอียดสูง (Hyperspectral image) ในการตรวจวัด ใช้แสงในช่วง NIR เพื่อทำการทำนายองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อแกะอย่างรวดเร็วโดยที่ไม่มีการทำลายตัวอย่างเนื้อแกะโดยผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยเทคนิค Partial Least Square regression เพื่อใช้ในการสอบเทียบของการทำนายองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในเนื้อแกะ ได้แก่ น้ำ ไขมัน และโปรตีน ในเนื้อแกะ ผู้วิจัยพบว่าแบบจำลอง ที่สร้างขึ้นมาใช้ได้อย่างดีในการตรวจวัดตัวแปรตั้งที่กล่าวมา โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.88, 0.88 และ 0.63 สำหรับน้ำ ไขมัน และโปรตีน ตามลำดับ



รูปที่ 1.6 ภาพถ่ายองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อแกะประกอบด้วยน้ำ และไขมัน เลขข้างใต้ภาพแสดงถึงค่าเฉลี่ยของน้ำ และไขมัน ของตัวอย่าง [10]

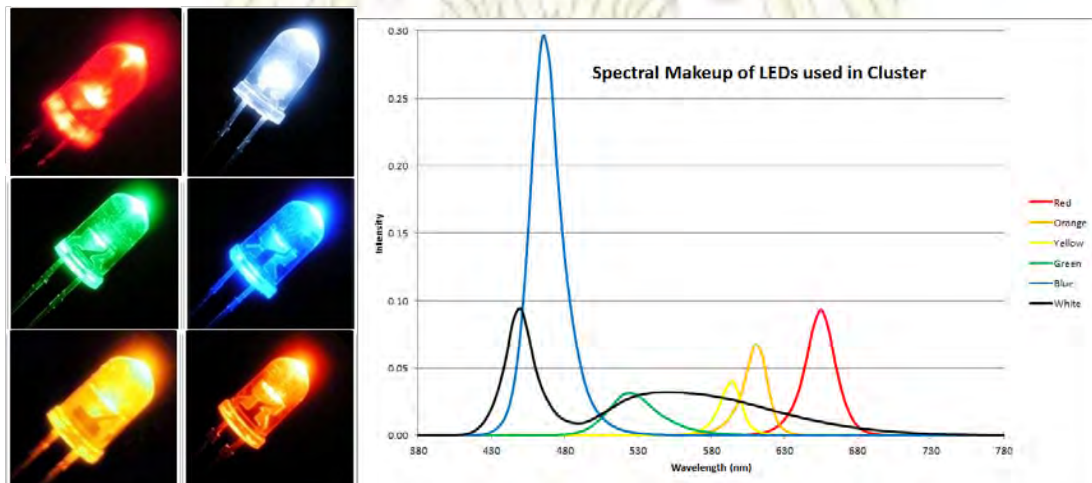


รูปที่ 1.7 ภาพถ่ายองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อแกะ แสดงถึงโปรตีนในตัวอย่างเนื้อแกะที่มีโปรตีนปริมาณน้อย และมาก [10]

## 1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1.4.1 หลักการพื้นฐานของหลอดไดโอดเปล่งแสง

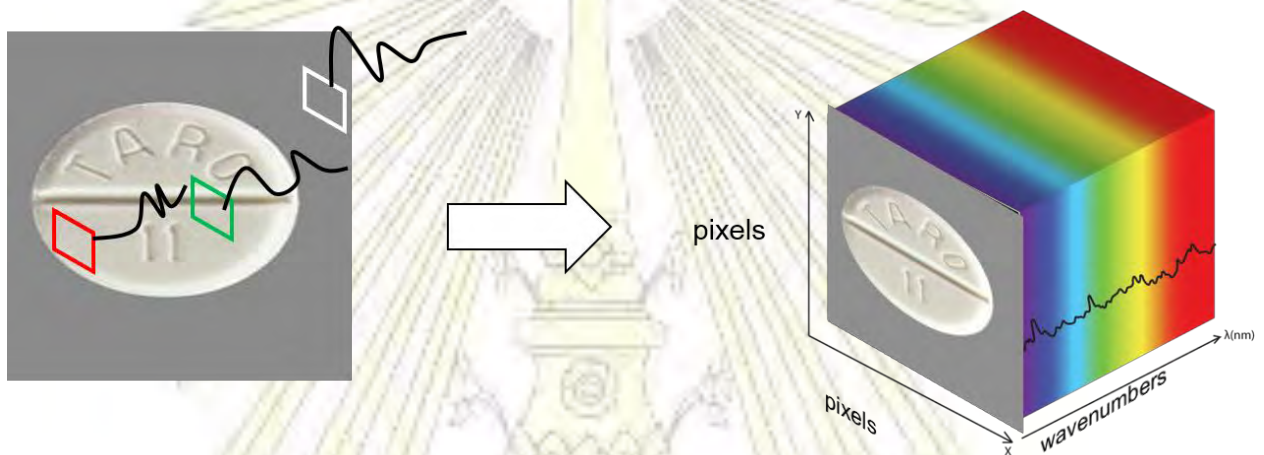
ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode) หรือ LED คืออุปกรณ์ให้แสงสว่างได้เช่นเดียวกับหลอดไฟแบบไส้ โดยหลักการทำงานของไดโอดเปล่งแสง จะนำหลักการการถ่ายโอนอิเล็กตรอนบนสารกึ่งตัวนำสองชนิด ได้แก่ชนิด N และ ชนิด P โดยที่สารชนิด N จะเป็นสารที่ให้อิเล็กตรอนแก่โปรตอนของสารชนิด P โดยทั่วไป หากไม่มีการทำอะไรกับไดโอดเปล่งแสง อิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิด N จะไหลไปยังสารกึ่งตัวนำชนิด P ได้ยาก ทำให้ต้องมีการให้กระแสไฟฟ้าเพื่อให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น โดยเมื่ออิเล็กตรอนไหลจากสารกึ่งตัวนำชนิด N ไปยังโปรตอนของสารกึ่งตัวนำชนิด P จะทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานลดลงและปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง โดยจะให้ทั้งแสงที่ตามองเห็นได้ และมองไม่เห็นไม่ได้ โดยแสงที่ออกมาจะมีลักษณะที่กระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ ทำให้ไดโอดเปล่งแสงจำเป็นต้องมีพลาสติกหุ้มเพื่อให้สามารถควบคุมแสงได้ การใช้ประโยชน์ในของไดโอดเปล่งแสงในปัจจุบันมีได้หลากหลาย เช่น อินฟราเรดในรีโมท ป้ายโฆษณา หลอดไฟ เป็นต้น [11] ปัจจุบันไดโอดเปล่งแสงมีหลากหลายสี โดยแต่ละสีมีช่วงความยาวคลื่นที่ต่างกัน ได้แก่ สีแดง ให้ความยาวคลื่นในช่วง 600-625 นาโนเมตร สีน้ำเงิน ให้แสงความยาวคลื่นในช่วง 460-463 นาโนเมตร สีเขียว ให้แสงความยาวคลื่นในช่วง 500-525 นาโนเมตร สีเหลือง ให้ความยาวคลื่นในช่วง 588-590 นาโนเมตร สีขาว สีส้ม ให้ความยาวคลื่นแสงในช่วง 600-605 นาโนเมตร สีชมพู ให้ความยาวคลื่นแสงในช่วง 649-652 นาโนเมตร



รูปที่ 1.8 ภาพตัวอย่างไดโอดเปล่งแสงที่มีในปัจจุบัน [12] (b) ยูวีสเปกตรัมของหลอด LED [13]

### 1.4.2 เทคนิคจากเครื่องกวาดภาพช่วงคลื่นละเอียดสูง (Hyperspectral image)

เทคนิคจากเครื่องกวาดภาพช่วงคลื่นละเอียดสูงเป็นหนึ่งในเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างเฉพาะของสาร โดยเทคนิคนี้จะเก็บข้อมูลของภาพในหลายๆ ช่วงความยาวคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยภาพถ่ายที่เกิดขึ้นนั้นแต่ละ pixel จะประกอบด้วยข้อมูลสัญญาณที่ได้ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ซึ่งถ้านำมารวมกันจะได้เป็นสเปกตรัม นั้นหมายถึง 1 pixel ในภาพนั้นจะประกอบด้วย 1 สเปกตรัม เมื่อพิจารณาจากภาพถ่าย 1 ภาพนั้นข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปลูกบาศก์สามมิติ (Data cube) โดยแกน x และ y แสดงถึงข้อมูลเชิงตำแหน่งของรูปภาพ (pixel) และแกน z จะแสดงข้อมูลเชิงสเปกตรัม ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 ภาพจำลองจากเทคนิคจากเครื่องกวาดภาพช่วงคลื่นละเอียดสูง

โดยเทคนิคนี้นิยมใช้อย่างมากในทางธรณีวิทยาใช้การรับสัญญาณการสะท้อนกลับของแสงอาทิตย์ ผ่านตัวกรองแสงในความยาวคลื่นที่ต้องการ โดยติดตั้งรับสัญญาณไว้บนดาวเทียมนอกโลก หรือบนเครื่องบินสำรวจ จากนั้นนำสัญญาณที่รับได้ ไปวิเคราะห์โดยจะเลือกช่วงของสเปกตรัมที่สนใจนำมา plot เป็นกราฟเทียบกับฐานข้อมูลที่มีอยู่แล้ว โดยมีสถาบันที่ทำฐานข้อมูลไว้ เช่น Aster spectral library หรือ USGS spectral library [14] ตัวอย่างการใช้เทคนิคจากเครื่องกวาดภาพช่วงคลื่นละเอียดสูงในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบที่เป็นที่นิยมกัน เช่น การทำแผนที่โลก หรือการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบเฉพาะของวัตถุ เช่น องค์ประกอบของตัวยา [9] ตำนินบนผลแอปเปิ้ล [10]

### 1.4.3 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis)

การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก หรือ Principal component analysis หรือ PCA เป็นหลักการนำข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับหลายตัวแปรมาแปลงให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์แล้วทำการแปลงข้อมูลที่มี

หลายตัวแปรนั้นให้อยู่ในรูปของตัวแปรแฝง (latent variables) ซึ่งถือเป็นการลดจำนวนตัวแปรเพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ผล ทั้งในเชิงของคุณภาพวิเคราะห์ (qualitative analysis) ได้ โดยสมการการทำ PCA จะมีรูปทั่วไปคือ

$$X = TP + E \quad \text{--- (1)}$$

โดย  $X$  คือ ข้อมูลของตัวอย่าง มีมิติขนาด  $(I \times J)$

$T$  คือ สกอร์เมทริกซ์ (Score matrix) มีมิติขนาด  $(I \times A)$

$P$  คือ โหลดดิ่ง (Loading) มีมิติขนาด  $(A \times J)$

$E$  คือ เมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน

เทคนิค PCA เป็นการศึกษาความแปรผันของข้อมูลแต่ละชุดเทียบกับจุดกำเนิด โดยที่ PC แรกจะมีค่าความน่าเชื่อถือมากที่สุด และลดลงตามลำดับของ PC ในขั้นตอนการคำนวณ PCA นั้น จะมีการสร้างแกนของกราฟขึ้นมาใหม่ แกนที่สร้างขึ้นมาจะมีความสัมพันธ์กับชุดข้อมูลโดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลและแกนที่สร้างขึ้นมาจะมีค่าน้อยที่สุด จะเรียกแกนนี้ว่า PC1 ในขั้นตอนการสร้างแกนใหม่ถัดไปนั้น จะต้องตั้งฉากกับแกน PC1 และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด โดยแต่ละแกน PC ที่สร้างขึ้นมาจะคือโหลดดิ่ง ของเทคนิค PCA สำหรับค่าสกอร์เมทริกซ์นั้น หาได้จากการทำโปรเจกชัน (Projection) จุดข้อมูลแต่ละจุดลงบนแกน PC แต่ละแกน โดยจุดที่โปรเจกชันลงบนเส้นจะมีความหมายถึงสกอร์เมทริกซ์ โดยที่ข้อมูลแต่ละจุดจะมีค่าสกอร์เมทริกซ์ที่ต่างกัน และเมื่อโปรเจกชันลงบนแกนที่ต่างกัน จะทำให้ค่าสกอร์เมทริกซ์แตกต่างกันด้วย จากสมการ (1) สามารถหาค่าสกอร์ได้จากหลักการทางเมตริกซ์ ดังนี้

$$X = TP$$

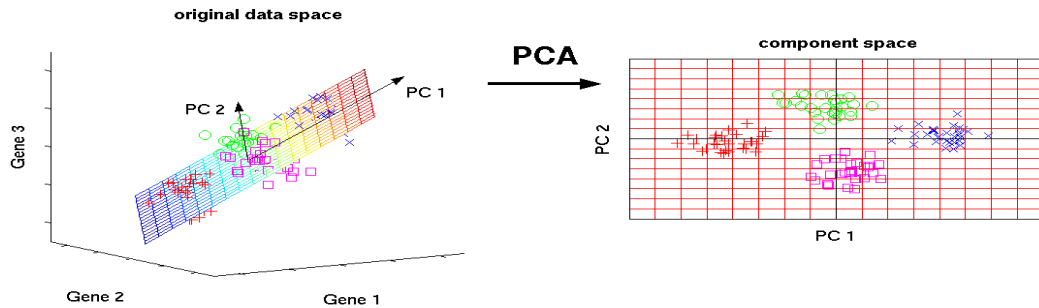
เนื่องจาก  $P$  ไม่ใช่เมทริกซ์จัตุรัส ทำให้ไม่มี  $P^{-1}$  จึงต้องจัดรูปให้  $P$  เป็นเมทริกซ์จัตุรัส โดยการคูณด้วยทรานสโพสเมทริกซ์

$$XP^T = T P P^T$$

$$X P^T (P P^T)^{-1} = T P P^T (P P^T)^{-1}$$

$$P P^T (P P^T)^{-1} = 1$$

$$X P^T (P P^T)^{-1} = T$$

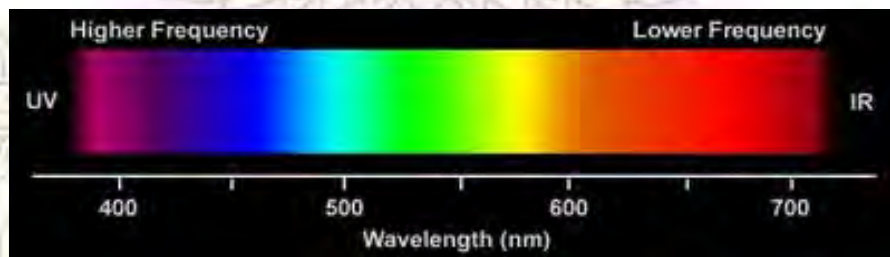


รูปที่ 1.10 รูปตัวอย่างการทำ PCA [15]

จากรูปที่ 1.10 จะเห็นได้ว่าข้อมูลจะมีการจัดกลุ่มกันหลังทำ PCA ทำให้ข้อมูลแต่ละชุดมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน และสามารถแบ่งกลุ่มได้ง่ายกว่าก่อนทำ PCA จากเทคนิค PCA จะได้ PC แรกที่มีค่าความสำคัญที่มากที่สุด แสดงถึงอิทธิพลขององค์ประกอบหลักในข้อมูลปกติ และ PC ต่อไป จะมีความสำคัญที่น้อยลงเรื่อยๆ ซึ่งสามารถแสดงได้ถึงข้อมูลอิสระ (noise) ของเครื่องมือ

#### 1.4.4 แสง ระบบสี และการมองเห็น

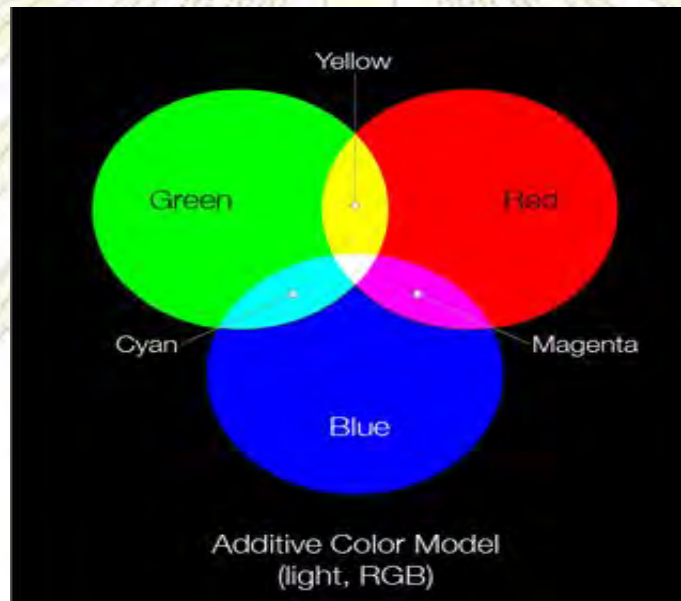
แสงที่ตามองเห็นจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร โดยแสงสีม่วงจะเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยที่สุด และแสงสีแดงจะเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นสูงสุด



รูปที่ 1.11 ช่วงความยาวคลื่นของแสงแต่ละสี ในช่วงแสงที่ตามองเห็น [16]

การมองเห็นวัตถุเป็นสีต่างๆเกิดจากการผสมของสีของแสง เช่น แสงขาว เกิดจากการผสมกันของแสง 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยจะเรียกแสงสีเหล่านี้ว่า สีปฐมภูมิ ถ้านำสีปฐมภูมิสองสีมารวมกันจะเกิดเป็นสีทุติยภูมิ โดยการมองเห็นสีของวัตถุเกิดได้จากการสะท้อนสีของแสงออกมาเข้าสู่สายตา ถ้าหากว่าวัตถุมีสีน้ำเงิน จะสะท้อนแสงสีน้ำเงินออกมามากที่สุด สะท้อนสีข้างเคียงออกมาเล็กน้อย และดูดกลืนแสงในช่วงสีอื่นทั้งหมด

ระบบสี RGB จะสามารถอ่านค่าเป็นเมทริกซ์ของสีแดง เขียว น้ำเงิน โดยแสดงออกมาเป็นค่าตัวเลข 0-255 โดยเมทริกซ์จะแสดงออกมาขนาด  $N \times 3$  โดยที่  $N$  คือจำนวน pixels ของภาพถ่าย ส่วนหลักของเมทริกซ์จะแทนเป็นสีแดง เขียว และน้ำเงิน ตามลำดับ โดยถ้าหากใน pixel นั้นเป็นสีแดง จะเห็นค่าเมทริกซ์ในหลักที่ 1 ที่มีค่าสูงกว่าหลักที่ 2 และหลักที่ 3 ถ้าหากสีเป็นสีดำ จะสามารถอ่านค่า pixel ได้เป็น  $[0,0,0]$  ถ้าหากเป็นสีขาวจะอ่านค่า pixel ได้เป็น  $[255,255,255]$



รูปที่ 1.12 แผนภาพแสดงระบบสีของแสง[17]

ระบบ HSV, HSL หรือ HSB เป็นระบบสีในการมองเห็นของสายตามนุษย์ โดยระบบนี้จะประกอบด้วยลักษณะของสี 3 ลักษณะ คือ

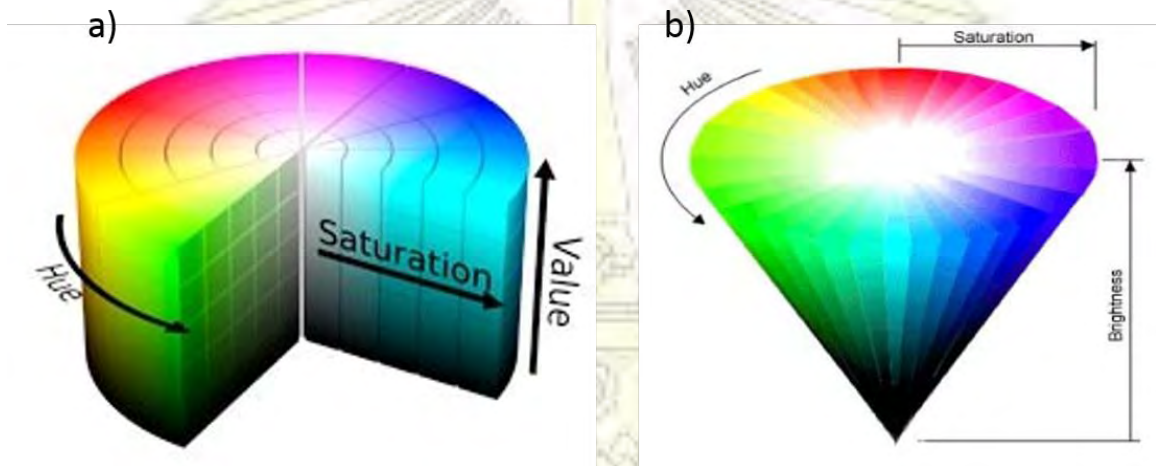
Hue (H) คือ ค่าสีที่สะท้อนจากวัตถุเข้ามาสู่ตาของมนุษย์ ทำให้เห็นวัตถุเป็นสีต่างๆ โดยสีที่เห็นจะแตกต่างกันตามความยาวคลื่นแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุ โดย Hue จะมีค่าตั้งแต่ 0-360 โดยที่ 0 จะ



แทนด้วยสีแดง แล้วเมื่อค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สีก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ จนที่ 361 จะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง

Saturation (S) จะเป็นค่าความสดของสี ถ้าค่า saturation มีค่าเป็น 0 จะมีความหมายว่าสีที่มองเห็นจะไม่มี Hue แต่ถ้ามีค่าเป็น 360 จะเห็นสีเป็นสีของ Hue ที่แท้จริง

Value (V) เป็นค่าความสว่าง โดยที่ H หรือ S ใดๆ มีค่า Value เป็น 0 จะเห็นเป็นสีดำ ถ้าค่าเป็น 360 จะเห็นเป็นสีขาว โดยที่ V สามารถแทนเป็น Lightness (L) หรือ Brightness (B) ได้



รูปที่ 1.13 a) แผนภาพของระบบสี HSV [18] b) แผนภาพของระบบ HSL [19]

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

1. สามารถนำเครื่องมือที่พัฒนามาใช้งานได้จริง
2. โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ สามารถนำมาตรวจสอบผลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

## บทที่ 2

### การทดลอง

#### 2.1 วัสดุและอุปกรณ์

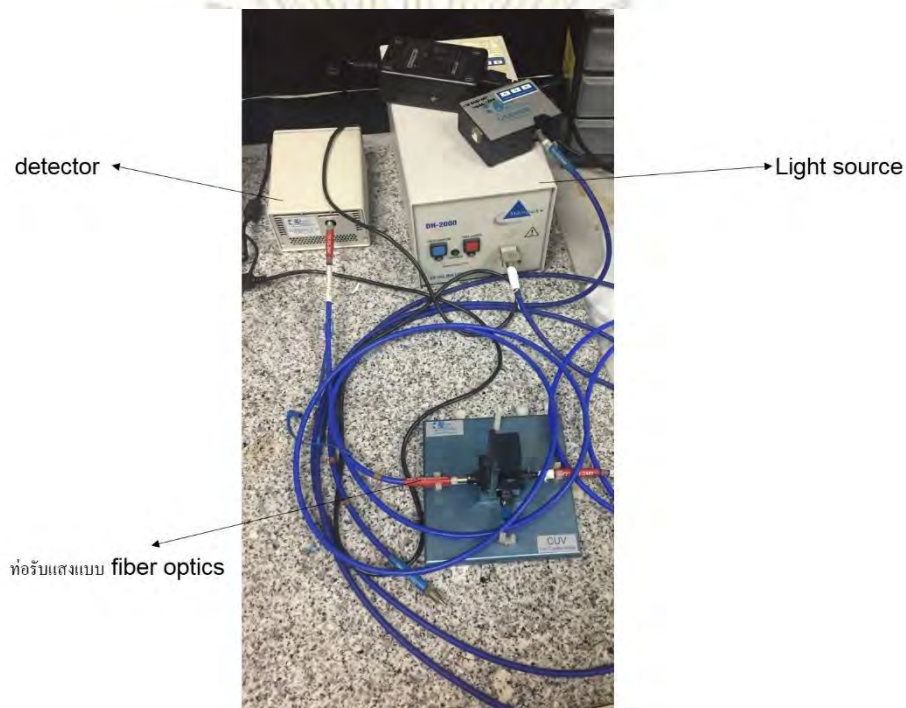
1. เครื่องฉายแสง LED สีขาว น้ำเงิน เขียว ส้ม และ แดง โดยมีระยะระหว่างวัตถุที่ตรวจวัดถึงหลอด LED 18.5 cm
2. สมาร์ทโฟน ยี่ห้อ Apple รุ่น iPhone 6
3. อุปกรณ์ตั้งกล้อง รวมทั้งที่หนีบ ขาตั้ง และผ้าคลุมสีดำ
4. เครื่อง UV-Visible spectroscopy ยี่ห้อ Mikopack รุ่น DH-2000 ใช้ detector ยี่ห้อ Ocean Optics รุ่น USB2000
5. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ Ocean Optics SpectraSuite, MatlabR2013a, Paint,
6. ปากกาสี
7. ไขไม้
8. เนื้อปลาแซลมอนดิบ
9. ไมโครเวฟยี่ห้อ ELECTROLUX รุ่น EMM2301 กำลังไฟ 800 W

#### 2.2 วิธีการทดลอง

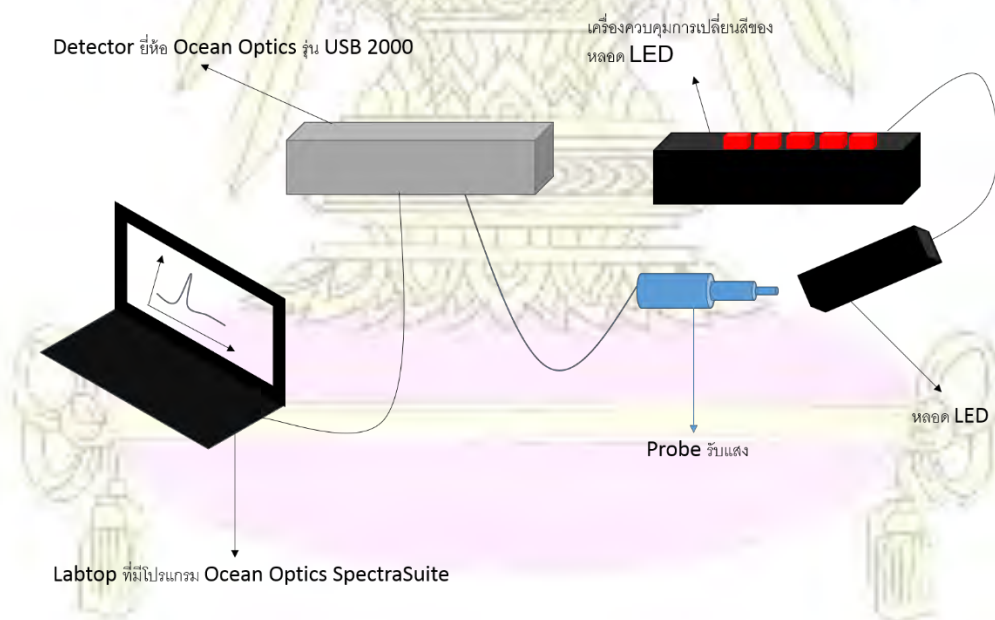
##### 2.2.1 วิเคราะห์ช่วงการดูดกลืนแสงของหลอด LED

1. ติดตั้งหลอด LED สีขาว แดง เขียว น้ำเงิน และส้ม เข้ากับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อควบคุมการปิด-เปิด ด้วยสวิตช์สำหรับการฉายแสงสีต่าง ๆ เข้ากับวัตถุ

2. ฉายแสงหลอด LED สีสีขาว แดง เขียว น้ำเงิน และส้ม เข้ากับเครื่องมือ UV-Visible spectroscopy ยี่ห้อ Mikopack รุ่น DH-2000 พร้อมกับ Detector ยี่ห้อ Ocean Optics รุ่น USB2000 ดังรูปที่ 2.2 เพื่อทำการวัดช่วงการดูดกลืนแสงของหลอด LED สีต่าง ๆ



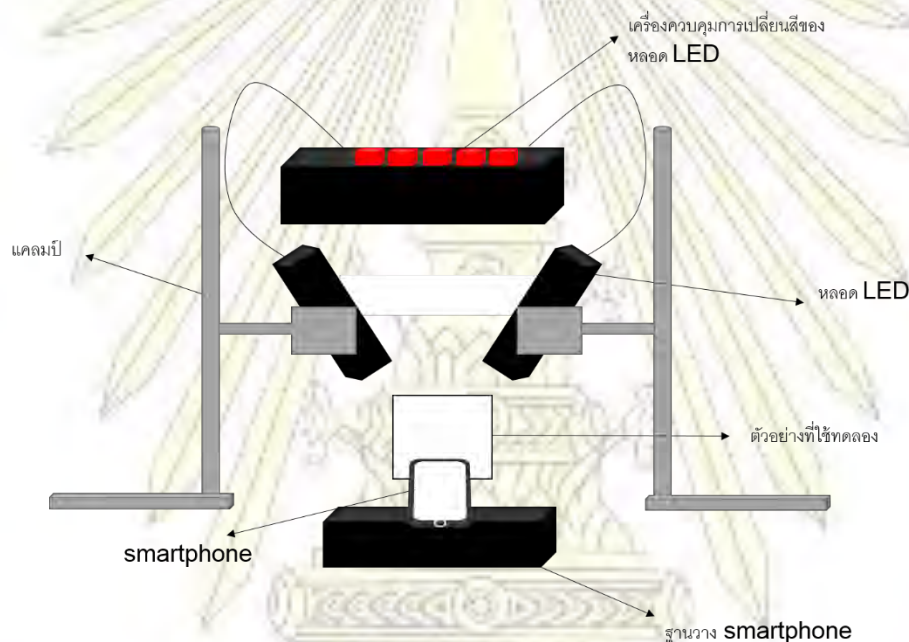
รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายของเครื่อง UV-visible spectroscopy



รูปที่ 2.2 ภาพจำลองการทดลองตรวจวัดช่วงการดูดกลืนแสง

## 2.2.2 วัดความเสถียรของสัญญาณสีจากการสะท้อนแสง LED

1. ติดตั้งเครื่องฉายแสง LED วัดระยะที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพโดยดูจากความแปรปรวนของสีที่ได้จากการฉายแสงบนกระดาษสีขาวดังรูปที่ 2.3
2. ถ่ายภาพดิจิทัลของวัตถุสีขาวสมบูรณ์จากการใช้แสงจากหลอด LED สีต่าง ๆ โดยกล้องสมาร์ทโฟน Apple รุ่น iPhone 6
3. นำภาพที่ได้มาแปลงเป็นสัญญาณสี RGB ด้วยโปรแกรม MATLAB R2013a พล็อตกราฟเส้นเพื่อดูค่าการสะท้อนแสง และพล็อตกราฟของค่าเฉลี่ยของ RGB ที่ได้ในแต่ละ pixel ของรูป และหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 2.3 ภาพจำลองการจัดวางเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ที่โดยการ set up นี้จะทำการถ่ายภาพในห้องมืดสนิทเพื่อป้องกันการรบกวนของแสงจากภายนอก โดยตัวอย่างเป็นกระดาษสีขาว

## 2.2.3 ทดสอบความแม่นยำในการแปลผลของโปรแกรมทางเคโมเมตริกที่พัฒนาขึ้น

1. เตรียมตัวอย่างมาตรฐานเพื่อการตรวจวัดความแม่นยำของการวิเคราะห์ผลโดย โดยทำการระบายสี 9 สี ที่แตกต่างกันจากสามโทนสีคือ แดง เขียวและน้ำเงิน ลงบนกระดาษสีดำ

2. ปรับขนาดภาพถ่ายให้มีขนาด 20x20 pixels (รวมทั้งสิ้นเป็น 400 pixels) โดยโปรแกรม Paint
3. ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์สีโดยใช้เทคนิคการแยกตัวประกอบ PCA โดยโปรแกรม MATLAB R2013a ที่พัฒนาโปรแกรมในการวิเคราะห์ขึ้นมา โดยมี pseudo code ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ถ่ายภาพตัวอย่างขนาด 20x20 พิกเซล ( $X_{im}$ )

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่า RGB และ HSV แต่ละของละพิกเซล และทำการจัดค่าดังกล่าวให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ โดยที่แถว (row) เป็นค่าของพิกเซล และหลัก (column) เป็นค่า RGBHSV

$$X_{im} = [R \ G \ B \ H \ S \ V]$$

โดย  $X_j = [R_j \ G_j \ B_j \ H_j \ S_j \ V_j]$

เมื่อ  $j = 1 \dots 400$  pixels

ขั้นตอนที่ 3 ทำเทคนิค PCA บน  $X_{im}$  เพื่อหาค่า สกอร์ ( $T$ ) และ โหลดตั้ง ( $P$ ) สำหรับ  $k$  pcs

(1) เลือก *initial*  $t$  (เลือกจากคอลัมน์ของ  $X_{im}$  ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด)

(2) คำนวณโหลดตั้ง  $P_i = (\text{initial } t^T \cdot X_{im}) / \sum t^2$

เมื่อ  $i = 1 \dots k$  pcs

(3) นอมอลไลซ์โหลดตั้ง  $\hat{P}_i = P_i / \sqrt{\sum P^2}$

เมื่อ  $i = 1 \dots k$  pcs

(4) คำนวณสกอร์ใหม่  $\text{new } t = X_{im} \cdot \hat{P}_i$

(5) กำหนดค่าลู่อเข้า (convergence) จากค่าความผิดพลาด ( $e$ ) จาก *initial*  $t$  กับ *new*  $t$

$$e = (\sum (\text{initial } t - \text{new } t)^2 / \sum (\text{initial } t^2)) \times 100$$

ถ้า  $e < 0.1$  ไปขั้น (6), นอกจกนั้น ไปเริ่มขั้น (2)

โดยกำหนดให้  $\text{initial } t = \text{new } t$

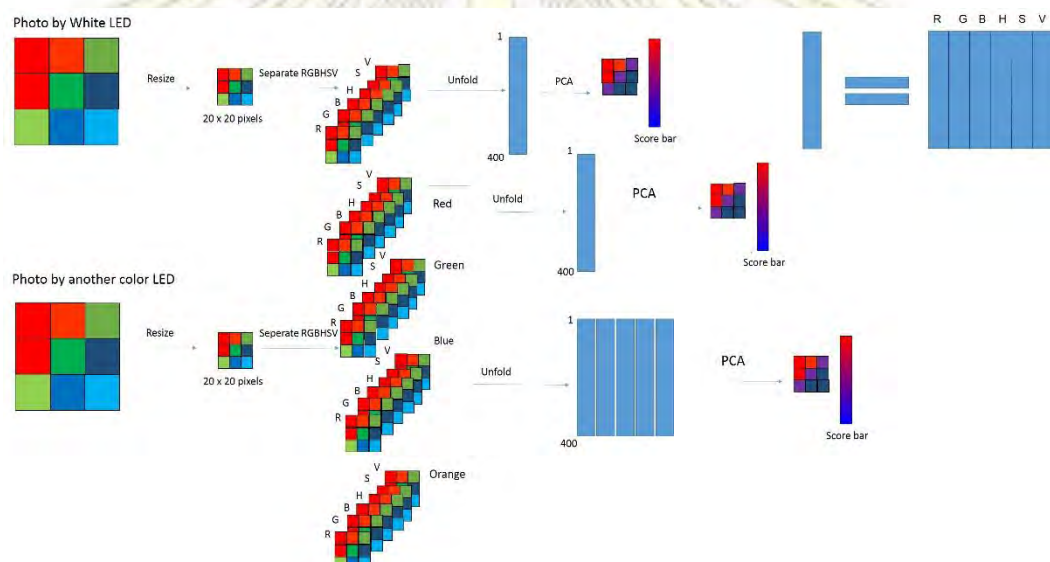
(6) คำนวณ residual matrix

$$\text{res } X_{\text{im}} = X_{\text{im}} - \text{initial } t \cdot \hat{P}$$

สำหรับ 1 PC ถ้าหากต้องการ PC อื่นๆ ให้เริ่มขั้น (2)

โดยกำหนดให้  $X_{\text{im}} = \text{res } X_{\text{im}}$

4. เปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ของรูปที่ได้จากแสงขาว กับรูปถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพโดยอาศัยแสงจาก LED สีแดง เขียว น้ำเงิน และส้ม

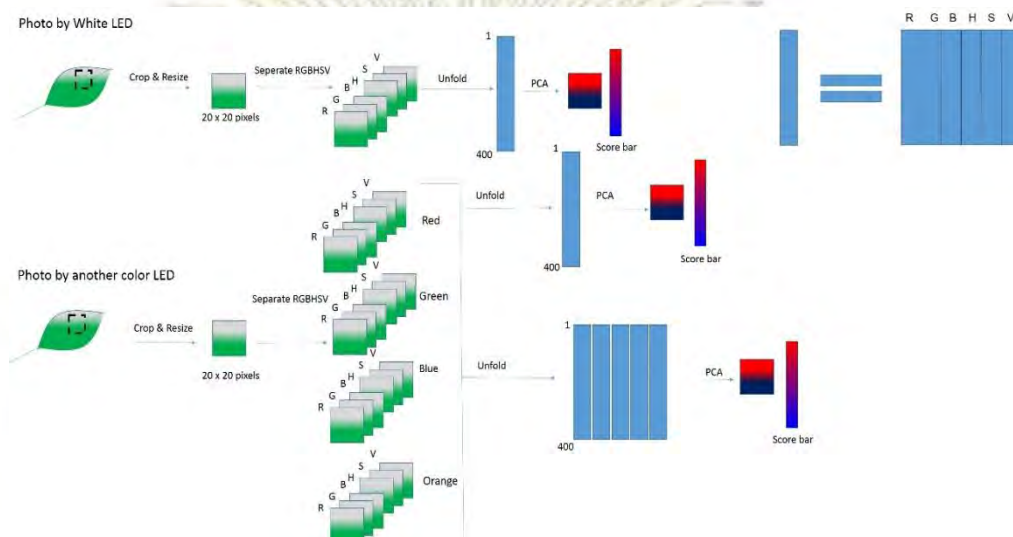


รูปที่ 2.4 แผนภาพวิธีการทดสอบความแม่นยำในการแปลผลของโปรแกรมทางเคโมเมตริกที่พัฒนาขึ้น

### 2.2.4 วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในตัวอย่างใบไม้จริง

1. เลือกตัวอย่างใบไม้ ที่มีทั้งส่วนที่เป็นสีเขียว (คลอโรฟิลล์) และส่วนที่ไม่มีคลอโรฟิลล์
2. ถ่ายภาพตัวอย่างใบไม้โดยให้แสงจากหลอด LED ทั้ง 5 สี
3. ปรับขนาดภาพถ่ายให้มีขนาด 20x20 pixels (รวมทั้งสิ้นเป็น 400 pixels) โดยโปรแกรม Paint

4. ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์สีโดยใช้เทคนิคการแยกตัวประกอบ PCA และเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ของรูปที่ได้จากแสงขาว กับรูปถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพโดยอาศัยแสงจาก LED สีแดง เขียว น้ำเงิน และส้ม
5. พัฒนาหลักการการวิเคราะห์เพื่อหาสัดส่วนของคลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ของใบไม้ที่ใช้ถ่ายภาพ

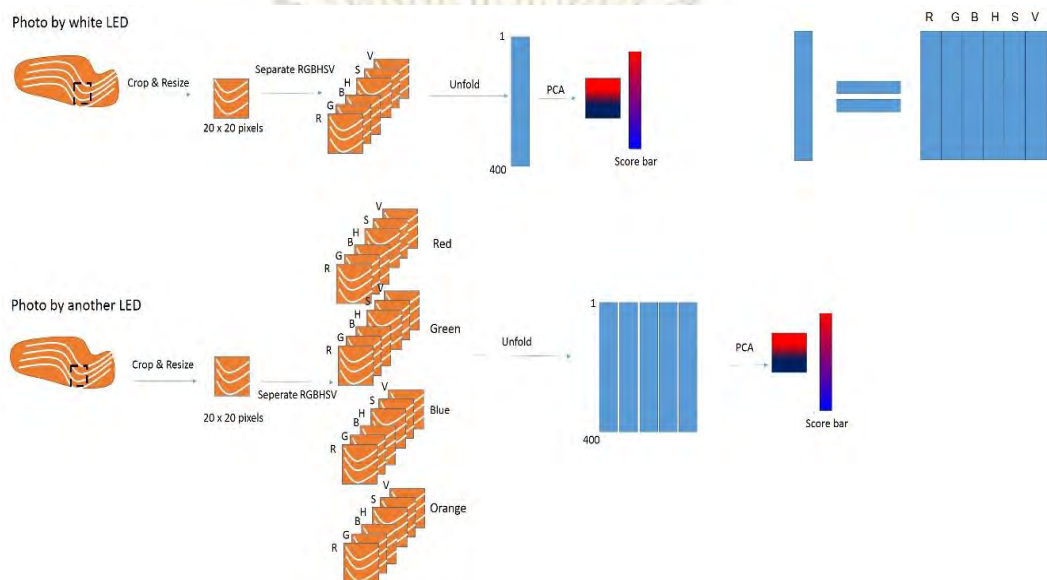


รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงวิธีการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในตัวอย่างใบไม้จริง

### 2.2.6 วิเคราะห์ปริมาณไขมันในตัวอย่างปลาแซลมอนดิบ

1. เลือกตัวอย่างปลาแซลมอนดิบที่มีส่วนของไขมันแทรกตัวอยู่ในเนื้อ
2. ถ่ายภาพตัวอย่างปลาแซลมอนจากหลอด LED ทั้ง 5 สี
3. ปรับขนาดภาพถ่ายให้มีขนาด 20x20 pixels (รวมทั้งสิ้นเป็น 400 pixels) โดยโปรแกรม Paint
4. ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์สีโดยใช้เทคนิคการแยกตัวประกอบ PCA และเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ของรูปที่ได้จากแสงขาว กับรูปถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพโดยอาศัยแสงจาก LED สีแดง เขียว น้ำเงิน และส้ม
5. นำตัวอย่างปลาแซลมอนดิบไปให้ความร้อนเป็นเวลา 5, 10, และ 15

6. นำตัวอย่างปลาแซลมอนดิบที่ผ่านการให้ความร้อนไปถ่ายภาพโดยใช้หลอด LED ทั้ง 5 สี และใช้เทคนิค PCA และเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ของรูปที่ได้จากแสงขาว กับรูปถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพโดยอาศัยแสงจาก LED สีแดง เขียว น้ำเงิน และส้ม



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงวิธีการวิเคราะห์ในตัวอย่างเนื้อปลาแซลมอนดิบ

## 2.2.7 เขียนอภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง

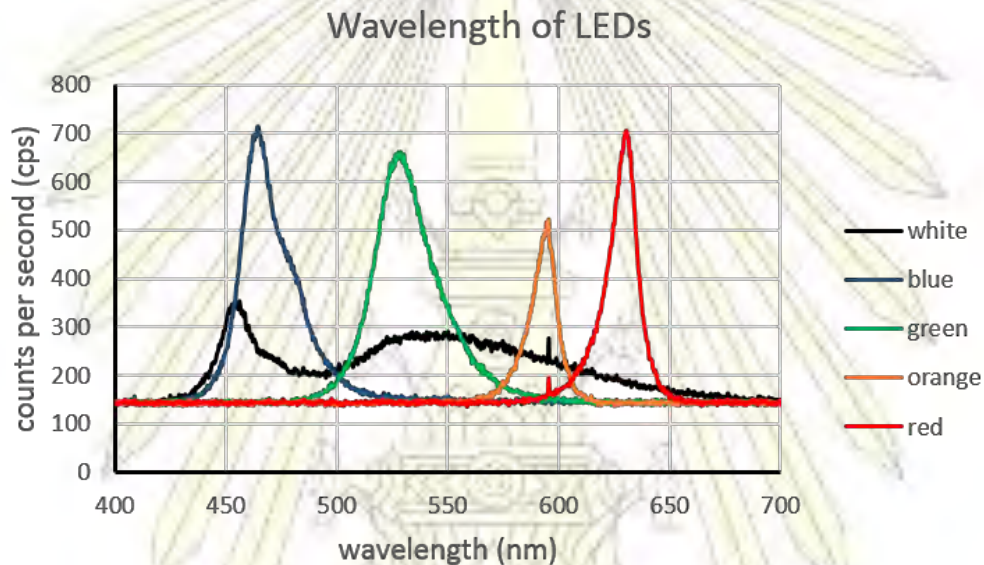


## บทที่ 3

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

#### 3.1 ช่วงความยาวคลื่นของหลอด LED

การทดลองนี้เป็นการตรวจวัดช่วงความยาวคลื่นแสงที่เปล่งมาจากหลอด LED แสงขาว และหลอด LED สีแดง ส้ม เขียว และน้ำเงิน โดยทำการตรวจวัดปริมาณโฟตอนที่เปล่งมาจากหลอดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ในหน่วยของจำนวนโฟตอนต่อวินาที ได้ภาพดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ค่าความยาวคลื่นของที่เปล่งออกมาจาก LED ที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง UV-Visible spectroscopy

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าแสงขาวของหลอด LED นั้นจะมีช่วงการเปล่งแสงที่ครอบคลุมช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นทั้งหมด (ระหว่าง 420 – 650 นาโนเมตร) ในขณะที่ LED แต่ละสีจะมีการให้ความยาวคลื่นของในช่วงแสงที่ตามองเห็นช่วงแคบ ๆ แตกต่างกันไป โดย LED สีน้ำเงิน จะเปล่งแสงออกมาในช่วงประมาณ 450-500 nm LED สีเขียว มีการเปล่งแสงออกมาในช่วง 500-550 nm LED สีส้ม มีการเปล่งแสงออกมาในช่วง 560-610 nm และ LED สีแดงอยู่ในช่วงประมาณ 600-650 nm ซึ่งช่วงความยาวคลื่นที่ตรวจวัดได้นั้นกับสีของแสงจากหลอด LED สอดคล้องกับทางทฤษฎีของที่ได้จากการเปล่งแสง (emission light) เมื่อดูจากความยาวคลื่นที่ได้จากหลอด LED สีน้ำเงิน เขียว ส้มและแดงนั้น พบว่าครอบคลุมย่านความยาวคลื่นที่ตามองเห็นทั้งหมดเหมือนหลอด LED ของแสงขาว นอกจากนั้นค่าการให้โฟตอนของ LED

สีต่าง ๆ นั้นมีค่าสูงกว่า LED แสงขาว ประมาณ 2-3 เท่า แสดงถึงความเข้มของแสงที่มากกว่า แปลว่าภาพที่ถ่ายได้จากหลอด LED สีต่าง ๆ นั้นจะมีความแตกต่าง (contrast) ในแต่ละส่วนของรูปได้ชัดเจนกว่า ในการทดลองต่อจากนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะดูข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายและประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ได้จากการใช้แสงขาวเพียงอย่างเดียวเปรียบเทียบกับภาพถ่ายที่ได้จากการใช้หลอด LED คนละสีแยกกัน

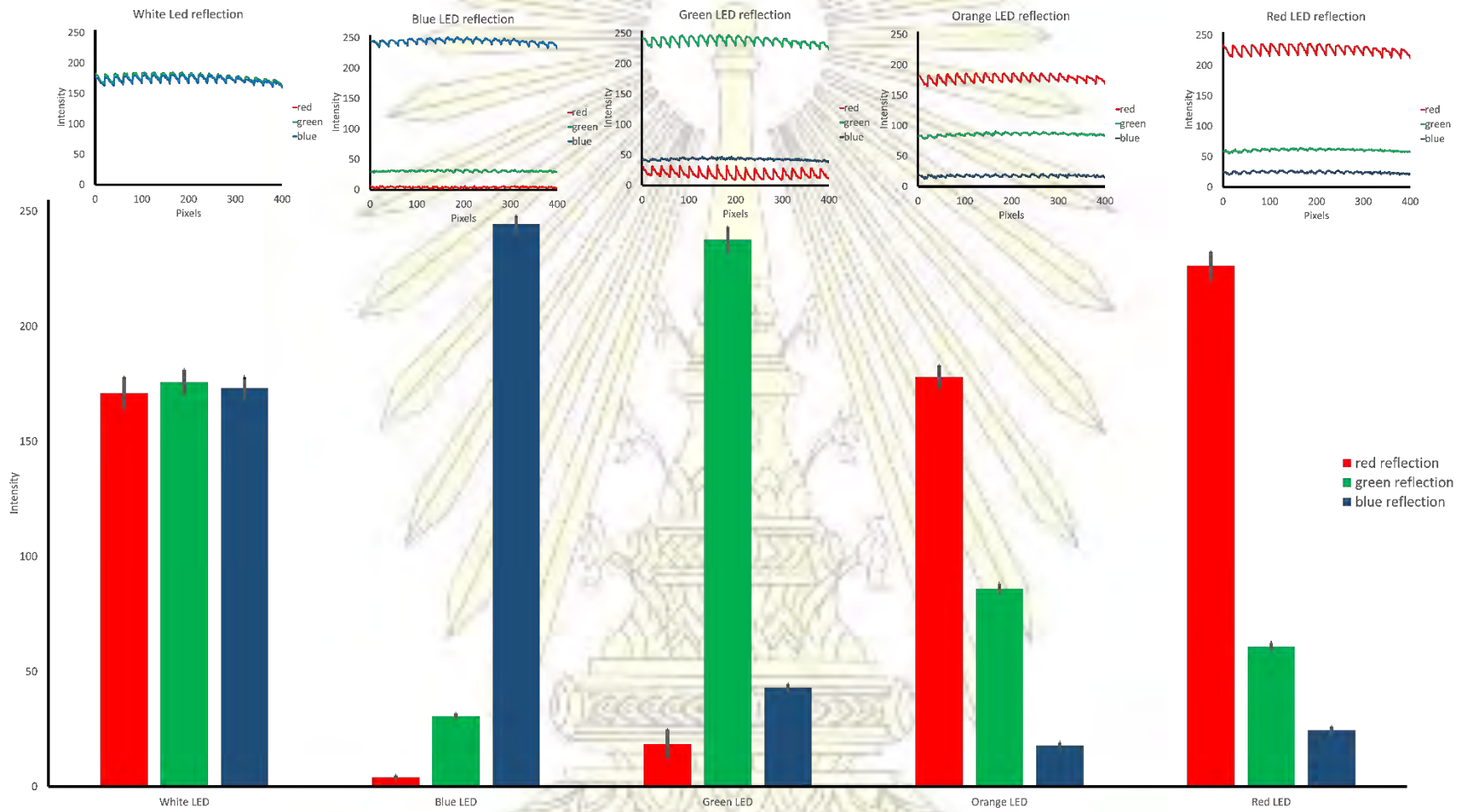
### 3.2 ผลของการวัดการสะท้อนแสงของเครื่องฉาย LED โดยถ่ายภาพบนกระดาษสีขาว

การทดลองส่วนนี้เป็นการดูความแปรปรวนของรูปถ่ายที่เกิดขึ้นจากการถ่ายภาพโดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น โดยวัดจากภาพถ่ายของกระดาษสีขาวบริสุทธิ์ซึ่งถ้าได้ความแปรปรวนของการแสดงผลในแต่ละ pixel ของภาพถ่ายสูงนั้น แสดงถึงเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นยังไม่เหมาะสมและการวิเคราะห์ความแตกต่างกันของภาพถ่ายนั้นอาจเกิดจากความแปรปรวนแทนที่จะเป็นข้อมูลพื้นฐานของภาพถ่ายเอง ผู้วิจัยได้ทำการวัดบริเวณ  $20 \times 20$  pixels ของภาพถ่ายที่ได้จากการถ่ายภาพกระดาษสีขาวโดยใช้ LED แสงขาว และ LED สีแดง ส้ม เขียว และน้ำเงิน โดยผู้วิจัยจะทำการวัดค่าแสงสีแดง (R) เขียว (G) และน้ำเงิน (B) ในแต่ละ pixel จากรูปถ่ายที่ถ่ายได้เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าสี RGB ที่อ่านได้ ได้ผลดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.2

แสงจาก LED	ค่าเฉลี่ยการสะท้อนสีแดง	ความแปรปรวน (%)	ค่าเฉลี่ยการสะท้อนสีเขียว	ความแปรปรวน (%)	ค่าเฉลี่ยการสะท้อนสีน้ำเงิน	ความแปรปรวน (%)
สีขาว	171.1±6.8	4.0	175.8±5.4	3.1	173.2±4.9	2.8
สีน้ำเงิน	4.0±0.9	22.5	30.6±1.2	3.9	244.4±3.5	1.4
สีเขียว	18.5±6.3	34.0	237.7±5.6	2.4	42.9±1.7	4.0
สีส้ม	178.1±5.0	2.8	86.1±2.2	2.6	17.7±1.5	8.5
สีแดง	226.2±6.1	2.7	60.9±1.6	2.6	24.4±1.6	6.5

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของค่าสี RGB ที่อ่านได้จากการถ่ายภาพสีขาวโดยใช้

หลอด LED สีต่าง ๆ เป็นแหล่งกำเนิดแสง



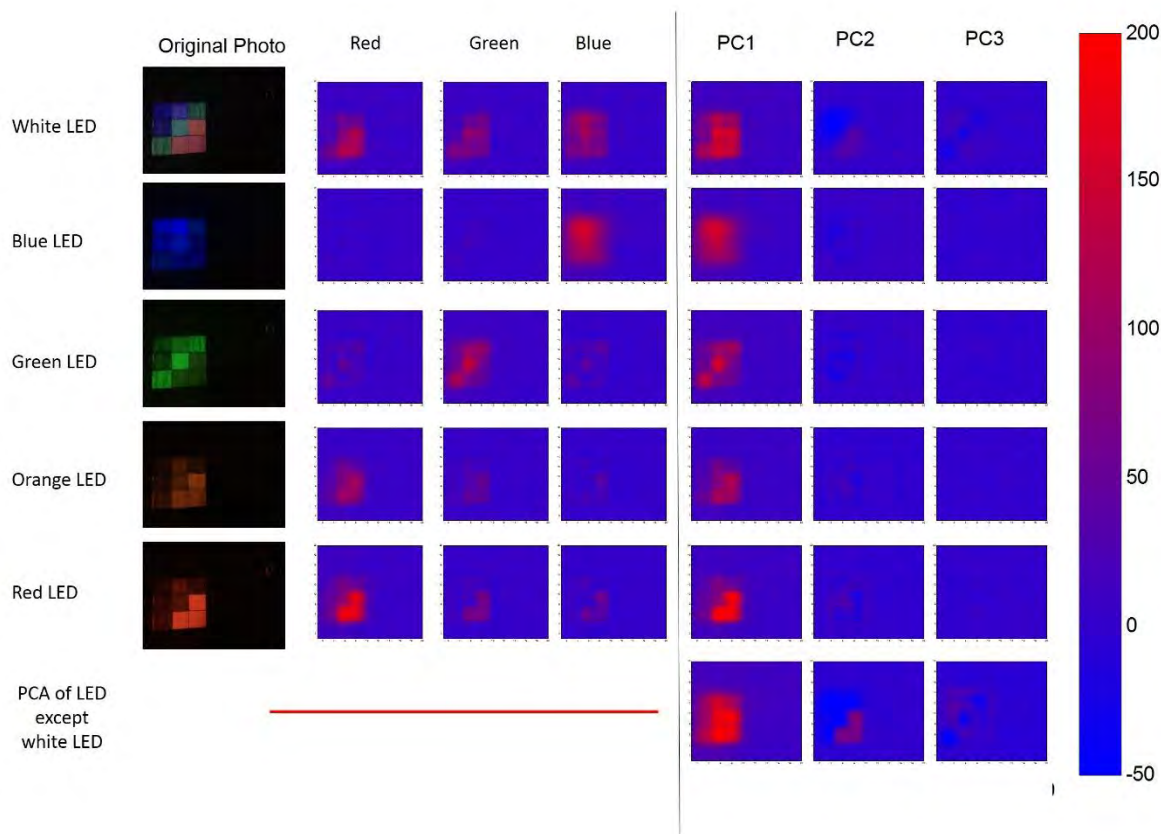
รูปที่ 3.2 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสี RGB ที่วัดได้จากหลอด LED สีต่าง ๆ รูปกราฟ (inset figure) แสดงค่าสี RGB ในแต่ละ pixels ของภาพถ่าย ขนาด 20 x 20 pixels

จากรูปที่ 3.2 จะสังเกตเห็นได้ว่า LED สีขาว มีค่าสี RGB อ่านได้ในสเกลเดียวกันทั้งนี้เนื่องมาจากแสงจาก LED แสงขาวนั้นให้ช่วงความยาวคลื่นแสงกว้างและครอบคลุมในย่านที่ตามองเห็นในความเข้มที่เท่า ๆ กัน (ดังรูปที่ 3.1) เพราะฉะนั้นแสงในทุกช่วงความยาวคลื่นนั้นจะสะท้อนกลับจากกระดาษสีขาว (ที่ไม่มีการดูดกลืนความยาวคลื่นแสงใด ๆ) ในความเข้มที่เท่า ๆ กัน ทำให้อ่านค่าสี RGB ได้ในสเกลเดียวกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่าสี RGB ที่ได้จากหลอด LED แต่ละสีนั้นจะพบว่าจะมีค่าสี RGB ที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่นภาพถ่ายที่ได้จากการใช้หลอด LED สีน้ำเงินจะได้ค่าสี B สูงที่สุดอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับค่าสี RG ซึ่งได้ข้อสรุปอย่างเดียวกันกับการใช้หลอด LED สีเขียวและสีแดงที่ค่าสี G และ R สูงที่สุด ตามลำดับ ผลของค่าสี RGB ที่ได้นั้นสอดคล้องกับช่วงความยาวคลื่นของหลอด LED เนื่องจาก LED สีต่าง ๆ ก็จะทำให้ความยาวคลื่นที่จำเพาะกับสีนั้น ๆ ซึ่งเมื่อฉายลงไปบนกระดาษสีขาวก็จะเกิดการสะท้อนกลับเป็นภาพถ่ายที่ได้ค่าสี RGB ตามหลอดของ LED ที่ใช้ และเมื่อดูค่าสีที่ได้นั้นพบว่าค่าสีเฉพาะของหลอด LED จะมีค่าสีที่สูงกว่าค่าสีที่ได้จากการใช้หลอด LED สีขาวทั้งสิ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับจำนวนโฟตอนที่บันทึกได้ในรูปที่ 3.1

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.1 นั้นจะพบว่าผลความแปรปรวนของค่าสี RGB ที่ได้จากการพิจารณาจำนวน 400 pixels ของรูปที่ได้มานั้นคิดเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า 5% เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของค่าสี RGB ที่ได้ มีเพียงค่าสี R ที่ได้จากแสงสีน้ำเงินและเขียวเท่านั้นที่มีค่าสูง (>20%) อาจเป็นเพราะค่าสี R มีค่าต่ำมากจึงมีความแปรปรวนสูง จากค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้ผลที่มีความแม่นยำ ภาพถ่ายที่ได้นั้นมีค่าสี RGB ในบริเวณที่กำหนดคงที่ มีความแปรปรวนน้อย

### 3.3 วิเคราะห์ภาพถ่ายจำลองด้วยโปรแกรมทางเคโมเมตริก

จากการทดลองในรูปที่ 3.2 พบว่า อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมานั้นมีความเหมาะสมและสามารถถ่ายภาพของกระดาษสีขาวโดยที่ค่าสี RGB ที่อ่านได้นั้นมีความแปรปรวนน้อยกว่า 5% ในขั้นนี้จะเป็นการนำเอาอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้วิเคราะห์ระบบที่จำลองขึ้นมาโดยนำกระดาษสีขาวมาระบายสีในโทนแดง เขียว และน้ำเงินทั้งหมด 9 ช่องสี แล้ววางบนพื้นสีดำ จากนั้นทำการถ่ายภาพและนำภาพถ่ายที่ได้วิเคราะห์ด้วยเทคนิค PCA โดยเปรียบเทียบกันระหว่างการวิเคราะห์บนรูปถ่ายโดยใช้ค่า RGB ที่ได้โดยตรงในการวิเคราะห์กับค่า socre ที่ได้จากเทคนิค PCA ได้ผลดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ผลค่าสี RGB และค่า score จากเทคนิค PCA ของรูปถ่ายกระดาษที่ระบายสี โดยเปรียบเทียบรูปถ่ายที่ใช้ LED สีขาว น้ำเงิน เขียว ส้ม และแดง

จะสังเกตเห็นได้ว่าการทำการวิเคราะห์ผ่านค่าสี R, G และ B ของภาพถ่าย เมื่อพิจารณาจากภาพที่ถ่ายที่ใช้หลอด LED สีขาวเป็นแหล่งกำเนิดแสง จะพบว่าค่าสี R, G และ B สามารถบอกความแตกต่างระหว่างช่องสีทั้ง 9 สีกับพื้นสีดำได้ อย่างไรก็ตามค่าสี R, G และ B ไม่สามารถแยกบริเวณสีแต่ละสีออกจากกันได้ชัดเจน เนื่องจากว่าแสงจาก LED สีขาวนั้น มีค่าความเข้มแสงในทุกความยาวคลื่นเท่า ๆ กัน ทำให้การฉายแสงสีขาวลงไปบนภาพถ่ายนั้นช่องสีแต่ละช่องจะสะท้อนแสงกลับมาในความเข้มที่เท่า ๆ กัน ทำให้รูปที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยตัวแปร R, G และ B นั้นไม่เห็นความแตกต่างกันมากนัก

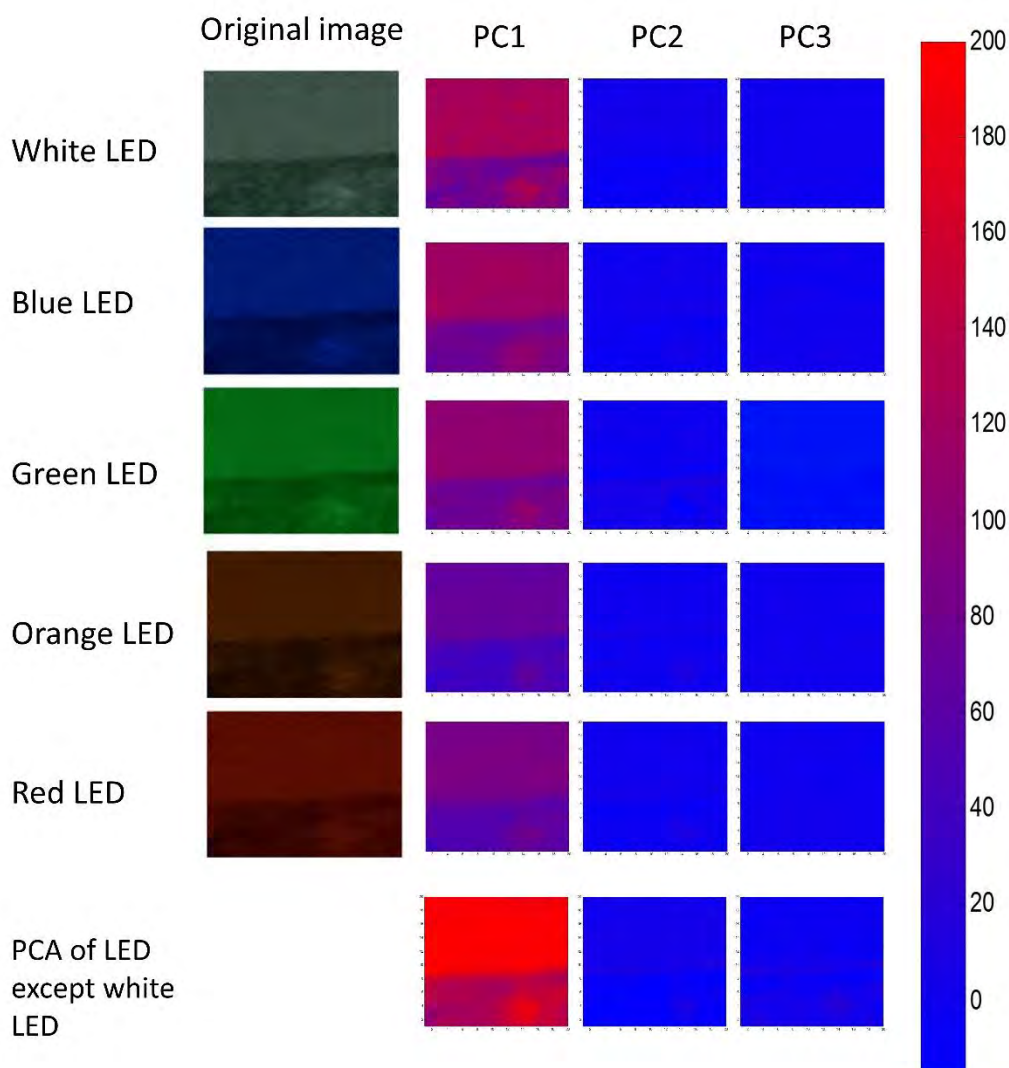
เมื่อพิจารณาคุณภาพถ่ายที่ได้จากการใช้แสงจากหลอด LED แต่ละสีนั้น พบว่าความเด่นชัดของช่องสีนั้นจะเริ่มมีรูปแบบที่เฉพาะเจาะจงกับสีของหลอด LED เอง เนื่องจากการที่ฉายแสงสีใด ๆ ลงไปในวัตถุที่มีสีเดียวกันกับแสงที่ฉายนั้น จะทำให้วัตถุนั้นมีการสะท้อนของแสงที่มากที่สุด (เกิดความสว่างมากที่สุด) เช่น

ภาพถ่ายที่ได้จากการใช้แสงของหลอด LED สีแดง จะเห็นภาพบริเวณสีแดงจากค่าสี R อย่างชัดเจน ภาพถ่ายที่ได้จากการใช้แสงของหลอด LED สีเขียว จะเห็นภาพบริเวณสีแดงจากค่าสี G อย่างชัดเจน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังมีการปรากฏขึ้นมาของข้อมูลบนค่าสีอื่น ๆ เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ค่าสี G และ B ยังบ่งบอกความแตกต่างได้จากภาพถ่ายที่ได้จากหลอด LED สีแดง ความแตกต่างของภาพจากการพิจารณาค่าสี G เมื่อใช้ LED สีส้ม เป็นต้น เหตุการณ์นี้อาจเกิดจากการที่สีที่ใช้ขึ้นนั้นเกิดจากการผสมสีต่างๆกัน เมื่อพิจารณาค่าสี RGB โดยตรงนั้น ค่าสีดังกล่าวอาจจะเกิดการสะท้อนของสีและการดูดกลืนของสีที่เป็นส่วนผสมด้วยในเวลาเดียวกัน ทำให้การใช้ค่าสี R หรือ G หรือ B เพียงค่าเดียวในการวิเคราะห์ภาพนั้นอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะใช้วิเคราะห์ค่าสี R G และ B ที่ได้จากภาพถ่ายพร้อม ๆ กันด้วยเทคนิค PCA เมื่อพิจารณาผลจากการทำ PCA บนภาพถ่าย ได้ออกมาเป็นค่าสกออร์เมทริกซ์ โดยถ้ามีค่าสกออร์เมทริกซ์มากในบริเวณนั้นจะแสดงออกเป็นพื้นที่สีแดง ในขณะที่ถ้าสกออร์เมทริกซ์น้อยจะแสดงออกเป็นพื้นที่สีน้ำเงิน พบว่าสกออร์ของภาพจาก PC1 นั้นให้ความแตกต่างที่ชัดเจนที่สุด ในขณะที่ PC2 และ PC3 นั้นไม่เห็นความแตกต่างของช่องสี โดยเมื่อพิจารณาค่าสกออร์ที่ได้จากการใช้แสงจากหลอด LED แต่ละสี จะแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของบริเวณที่มีโทนสีนั้นๆ อยู่ใน PC1 อย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น จะสามารถเห็น 3 ช่องสีแดงได้อย่างเด่นชัดใน PC1 เมื่อใช้หลอด LED สีแดงเป็นแหล่งกำเนิดแสง และ 3 ช่องสีเขียวได้อย่างเด่นชัดใน PC1 เมื่อใช้หลอด LED สีเขียวเป็นแหล่งกำเนิดแสง

เมื่อพิจารณาค่าสกออร์ที่ได้จาก PC ต่าง ๆ ของภาพถ่ายเปรียบเทียบกันระหว่างภาพถ่ายที่ใช้ LED แสงขาว กับการใช้ LED สีอื่น ๆ ร่วมกันโดยไม่ใช้ LED สีขาว เป็นแหล่งกำเนิดแสง พบว่าค่าสกออร์จากการใช้ LED สีอื่น ๆ ร่วมกันให้ผลที่ชัดเจนกว่าค่าสกออร์จากการใช้หลอด LED แสงขาวเพียงสีเดียว เช่นบริเวณที่เป็นช่องสีแดงในภาพมีค่าสกออร์ที่สูงมากเมื่อเทียบกับการใช้เพียงแค่ LED สีขาวเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากการที่ LED แต่ละสีมีค่าความเข้มของแสงที่สูงมากเมื่อเทียบกับ LED สีขาว จึงทำให้เกิดการสะท้อนแสงของสีบนกระดาษ ในความเข้มของสัญญาณแสงที่สูง จึงทำให้สกออร์ของสีแดงมีค่าสูง และการใช้ LED สีอื่น ๆ ร่วมกันโดยไม่ใช้แสงสีขาวยังให้ภาพบน PC2 ที่แสดงให้เห็นบริเวณที่ระบายสีแดงได้อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับแสงขาวอีกด้วย เมื่อเปรียบเทียบผลจากการใช้เทคนิค PCA กับการใช้ค่าสี RGB โดยตรง พบว่าการทำ PCA ให้ผลที่ดีกว่าเนื่องจากการพิจารณาตัวแปรค่าสี RGB พร้อม ๆ กัน (ไม่แยกพิจารณาทีละค่าสี) ไม่จำเป็นต้องเลือกค่าสี R, G หรือ B เพื่อพิจารณา ซึ่งการเลือกค่าสีที่ไม่เหมือนกันนั้นอาจให้ผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน จากการที่พิจารณาค่าสีทั้ง RGB พร้อมกันทำให้มีความแม่นยำและให้ผลที่แปลผลได้ง่ายเนื่องจากพิจารณาจากค่าสกออร์ที่ได้

### 3.4 ผลการทดสอบกับตัวอย่างใบไม้



รูปที่ 3.4 ผลของสกออร์เมทริกซ์จากเทคนิค PCA บนตัวอย่างภาพถ่ายใบไม้เมื่อใช้ LED สีต่างๆ

ผู้วิจัยได้ทดลองใช้อุปกรณ์และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างใบไม้ สำหรับการระบุบริเวณที่มีคลอโรฟิลล์ (สีเขียว) และไม่มีคลอโรฟิลล์ (สีขาว) ของใบไม้ จากรูปที่ 3.4 เป็นผลของการทำ PCA บนภาพถ่ายใบไม้ พบว่าค่าสกออร์ของ PC1 สามารถแยกบริเวณของใบไม้ที่มีคลอโรฟิลล์และไม่มีคลอโรฟิลล์ออกจากกันอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามค่าสกออร์ที่ได้จากหลอด LED เพียงสีใดสีหนึ่ง (สีน้ำเงิน เขียว ส้ม และแดง) นั้น มีค่าสกออร์ในช่วงสเกลที่ต่ำ ซึ่งทำให้การแยกบริเวณที่มีคลอโรฟิลล์และไม่มีคลอโรฟิลล์ยังไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการใช้รวมข้อมูลภาพถ่ายจากการใช้หลอด LED ทุกสีร่วมกัน พบว่าค่าสกออร์ของ

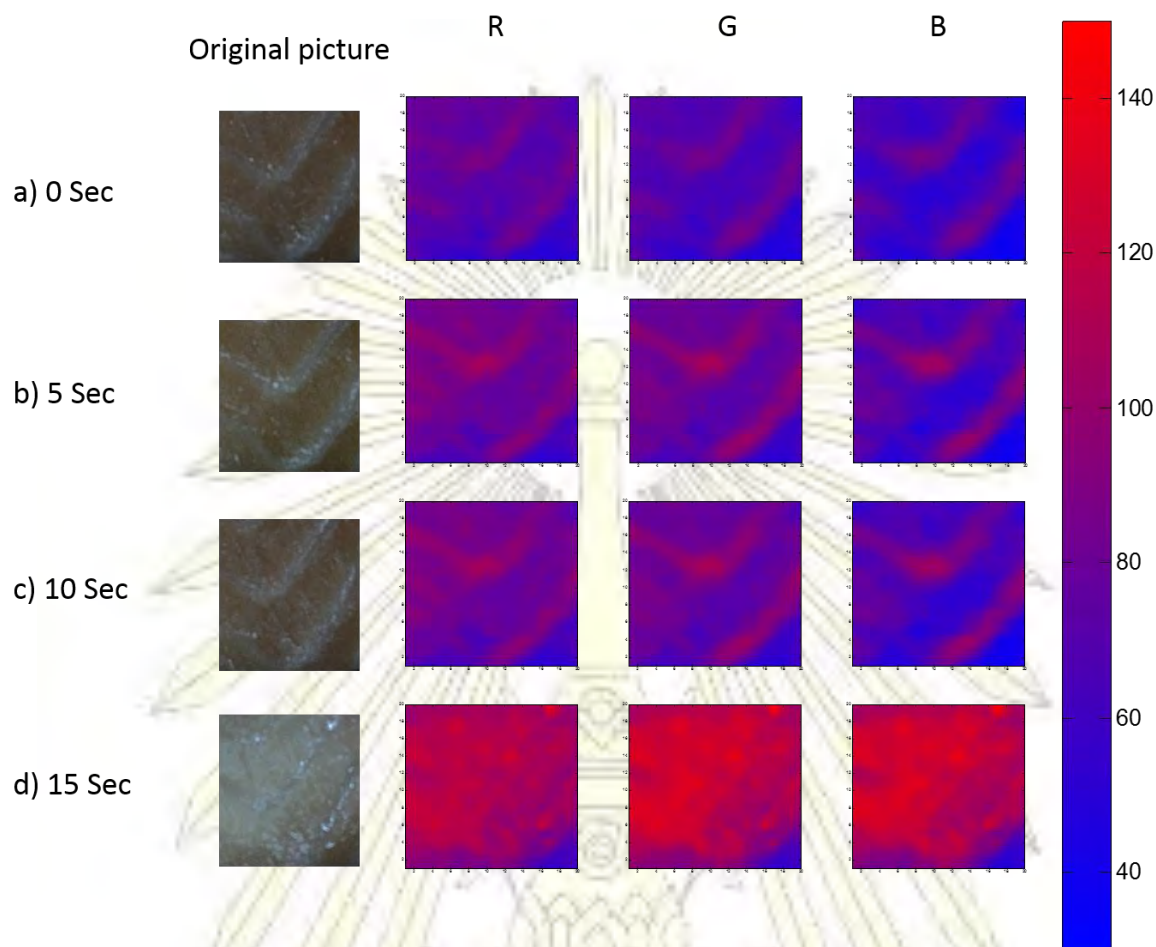
บริเวณที่มีคลอโรฟิลล์และไม่มีคลอโรฟิลล์สูงมากเมื่อเทียบกับการใช้แสง LED สีขาว เนื่องจาก LED แต่ละสีมีความเข้มของสัญญาณแสงที่สูง จึงทำให้สัญญาณจากการรวม LED หลายๆ สีเข้าด้วยกันจะมีความเข้มของสัญญาณแสงที่สูง

### 3.5 ผลการทดสอบกับตัวอย่างเนื้อปลาแซลมอนดิบ

ผู้วิจัยได้ทดลองใช้อุปกรณ์และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างของเนื้อปลาแซลมอนดิบซึ่งจะมีชั้นไขมันปะปนอยู่กับเนื้อปลาอย่างชัดเจน โดยทั่วไปชั้นไขมันจะสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า แต่เมื่อทำการให้ความร้อนแล้วนั้น โปรตีนในเนื้อของปลาแซลมอนจะมีการเปลี่ยนสภาพทำให้การสังเคราะห์ชั้นไขมันด้วยตา นั้นทำได้ยาก ผู้วิจัยจึงคิดที่จะใช้อุปกรณ์และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงไปของเนื้อปลาแซลมอน เมื่อมีการให้ความร้อนโดยไม่โครเวฟยี่ห้อ electrolux รุ่น EMM 2301 ที่มีกำลังไฟ 440 วัตต์ ที่เวลา 0 วินาที (ไม่ให้ความร้อน), 5 วินาที, 10 วินาที, และ 15 วินาที จากรูปที่ 3.5 แสดงถึงค่าสกอ์จากเทคนิค PCA บนภาพถ่ายปลาแซลมอนที่ได้จากการใช้หลอด LED สีขาว เทียบกับภาพถ่ายจากหลอด LED สีอื่น ๆ ร่วมกัน จากภาพถ่ายจริงจะเห็นได้ว่าชั้นไขมันบนปลาแซลมอนดิบจะมีลักษณะเป็นเส้นสีขาว เมื่อผ่านการให้ความร้อนจะทำให้เนื้อปลาและไขมันในเนื้อปลามีลักษณะที่เปลี่ยนไป คือเนื้อปลาจะเริ่มสุกเกิดการเปลี่ยนสีของเนื้อปลาเป็นสีขาว (รูปที่ 3.5d และ 3.6d)

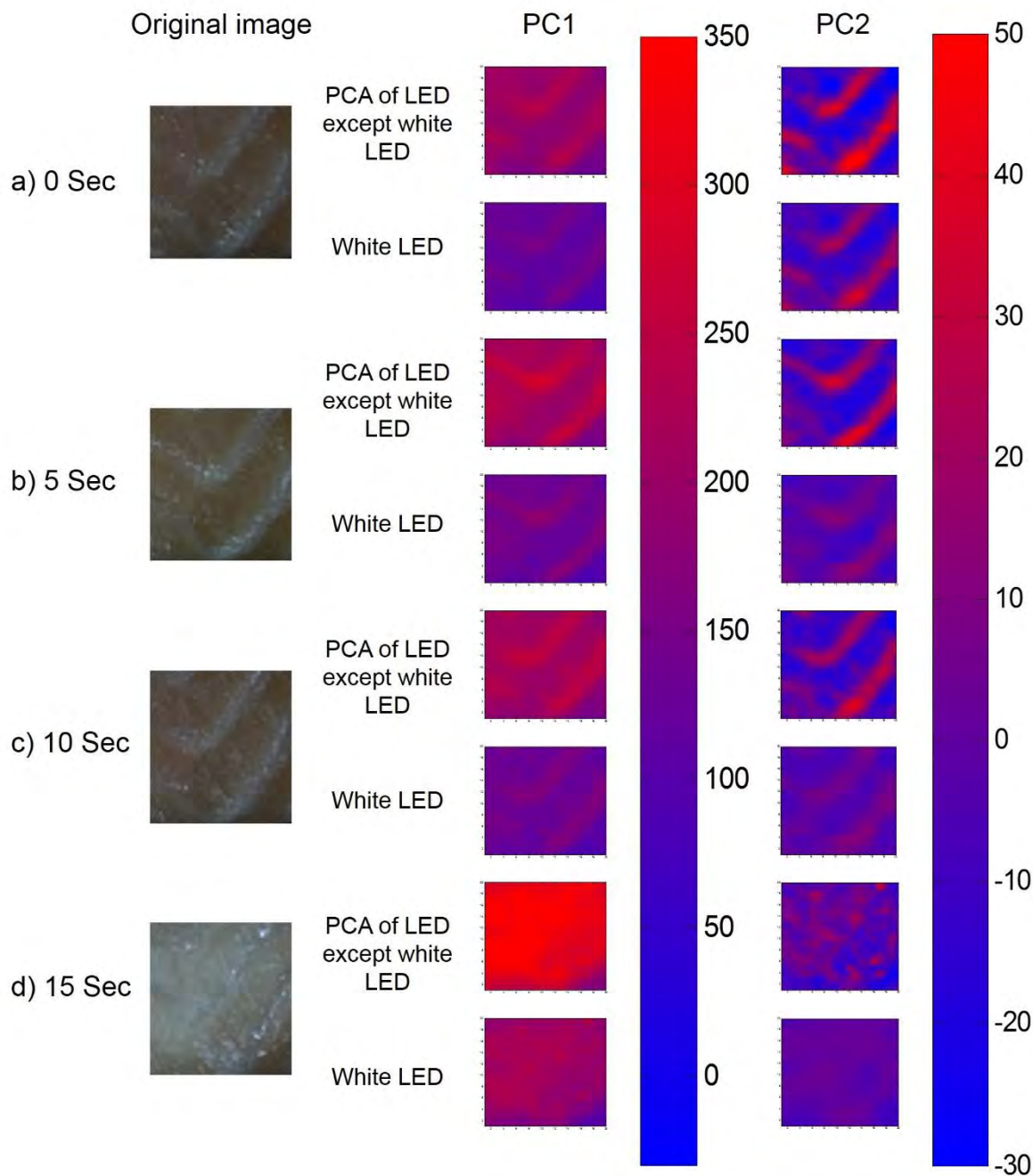
เพื่อที่จะหาวิธีการวิเคราะห์บริเวณที่มีไขมันแทรกอยู่ในเนื้อของปลาดิบ ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์ค่าสี R G และ B พบว่าผลที่ได้ในแต่ละค่าสี สามารถเห็นบริเวณที่มีไขมันได้โดยเทียบตำแหน่งของภาพดั้งเดิมแต่ยังขาดความชัดเจนตรงรอยต่อระหว่างชั้นไขมันและเนื้อของปลาแซลมอน เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 15 วินาที (รูปที่ 3.6d) พบว่าเมื่อเนื้อปลาสุก เนื้อปลาจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีขาว ซึ่งเป็นสีที่คล้ายกันกับสีของไขมันในเนื้อปลา ทำให้การแยกบริเวณของไขมันด้วยการวิเคราะห์ผ่านค่าสี R, G และ B ให้ผลที่ไม่ชัดเจนนัก อีกทั้งการพิจารณาค่าสีที่แตกต่างกันก็จะให้ข้อสรุปที่ไม่เหมือนกันเนื่องจากภาพที่ได้จากค่าสี R G หรือ B นั้นไม่เหมือนกัน





รูปที่ 3.5 ผลค่าสี RGB จากรูปถ่ายปลาแช่หลอด LED สีขาว

ด้วยปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ผลจากสกอด้วยเทคนิค PCA โดยพิจารณาทั้ง PC1 และ PC2 ได้ดังรูปที่ 3.6 พบว่าทั้ง PC1 และ PC2 แสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนบริเวณที่มีไขมันและบริเวณของเนื้อปลาโดยการเทียบกับตำแหน่งภาพถ่ายดั้งเดิม ลักษณะของบริเวณที่เป็นไขมันจะเป็นบริเวณที่มีค่าสกอสูงในทั้ง PC1 และ PC2 ในขณะที่ชั้นเนื้อปลาจะให้ค่าสกอใน PC1 และ PC2 ที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้จาก PC2 นั้นมีความชัดเจนของชั้นไขมันมากกว่า อาจเนื่องมาจาก PC1 นั้นวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของค่าสีที่ได้จากบริเวณชั้นไขมันและเนื้อปลาเป็นหลักทำให้มีขอบของบริเวณรอยต่อที่ไม่ชัดเจน แต่ PC2 นั้นวิเคราะห์ variation ที่เกิดขึ้นของบริเวณทำให้ยังคงมีความแตกต่างของชั้นไขมันและเนื้อปลาชัดเจนแม้ผ่านการให้ความร้อนแล้วก็ตาม สาเหตุที่บริเวณเนื้อปลาจะมี variation มากกว่าเนื่องจากประกอบด้วยโปรตีนซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ (denatured protein) ในขณะที่ไขมันจะไม่เกิดเหตุการณ์นี้ ทำให้ variation ที่ได้ของชั้นไขมันและโปรตีนแตกต่างกันมากขึ้น



รูปที่ 3.6 ค่าสกอ์จากเทคนิค PCA โดยแสดงการเปรียบเทียบของ PC1 และ PC2 เปรียบเทียบระหว่างภาพถ่ายจากการใช้หลอด LED สีขาวและการใช้หลอด LED ทุกสีร่วมกัน บนเนื้อปลาแซลมอนดิบที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นเวลาโดยไมโครเวฟที่กำลังไฟ 440 วัตต์ เป็นเวลา a) 0 วินาที b) 5 วินาที c) 10 วินาที และ d) 15 วินาทีและ

เมื่อพิจารณาถึงค่าสกออร์ที่ได้พบว่าการวิเคราะห์จากภาพถ่ายที่ใช้ LED สีอื่น ๆ รวมกัน มีค่าสูงกว่า และมีความแตกต่างระหว่างชั้นเนื้อและชั้นไขมันของปลาแซลมอนอย่างชัดเจนกว่าการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากหลอด LED สีขาว เนื่องจากการที่หลอด LED แต่ละสีจะให้สัญญาณที่สูงกว่าการใช้หลอด LED สีขาว ทำให้มีความเข้มของสีรวมทั้ง variation ของบริเวณที่เป็นไขมันและบริเวณที่เป็นเนื้อปลาออกจากกันได้ชัดเจนกว่า โดยบริเวณที่เป็นไขมันจะแสดงด้วยสีแดงเข้มและบริเวณที่เป็นเนื้อปลาจะแสดงด้วยบริเวณสีน้ำเงิน และเมื่อทำให้เนื้อปลาสุก (รูปที่ 3.6d) จะเห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนโดยจะไม่สามารถสังเกตเห็นบริเวณที่เป็นไขมันที่แทรกอยู่ในเนื้อปลาได้แล้วจากค่าสกออร์ใน PC1 เนื่องจากเนื้อปลามีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างทำให้ลักษณะการแสดงออกทางสีของเนื้อปลาเปลี่ยนจากสีส้มแดงเป็นสีขาว ทำให้สังเกตเห็นว่าค่าสกออร์ใน PC1 นั้นไม่สามารถแยกบริเวณใดที่เป็นไขมันได้เลย เมื่อพิจารณาที่แกน PC2 พบว่าที่เวลา 0, 5 และ 10 วินาที สามารถสังเกตเห็นบริเวณที่เป็นไขมันได้ทั้งหมด โดยบริเวณที่เป็นสีแดงจะเป็นบริเวณที่พบไขมัน และเมื่อพิจารณาที่เวลาผ่านไป 15 วินาที จะพบว่าบริเวณที่เป็นโทนสีแดงมีการกระจายตัวออกเป็นจุดๆ ซึ่งการใช้ LED สีอื่น ๆ รวมกันให้ผลในการแยกไขมันออกจากกันได้ดีกว่าการใช้ LED สีขาวเพียงสีเดียว

## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเครื่องมือถ่ายภาพที่สามารถบังคับการให้แสงจาก LED ที่มีหลากหลายสี ได้แก่ สีขาว น้ำเงิน เขียว ส้ม และแดง จากการตรวจวัดค่าความยาวคลื่นแสงที่ได้จากหลอด LED แต่ละสีพบว่าหลอด LED สีขาวนั้นให้ช่วงความยาวคลื่นที่ครอบคลุมช่วงที่ตามองเห็น (400 – 700 nm) ในขณะที่ LED สีน้ำเงิน เขียว ส้ม และแดง จะให้ช่วงความยาวคลื่นที่แคบกว่า แต่เมื่อพิจารณาหลอด LED สีรวมกันพบว่าจะให้ช่วงความยาวคลื่นที่ครอบคลุมช่วงที่ตามองเห็น แต่มีความเข้มมากกว่า 2 เท่า

ตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือโดยการถ่ายภาพ และทำการเปลี่ยน pixel ของภาพถ่ายให้อยู่ในรูปของค่าสี RGB จากนั้นพิจารณาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าสี RGB ที่ได้จาก pixel พบว่า ค่าสีของภาพถ่ายมีความแปรปรวนน้อย (< 5 %) ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

โปรแกรมทางเคโมเมตริกที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากเทคนิค PCA เพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ภาพถ่าย พบว่าการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยเทคนิค PCA ให้ผลที่ดีกว่าการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้ค่าสี RGB โดยตรง ทดสอบกับตัวอย่างกระดาษที่ระบายสี (9 สี) พบว่าเทคนิค PCA สามารถแยกบริเวณที่เป็นกระดาษกับพื้นหลังได้ และยังสามารถระบุบริเวณของแต่ละสีที่ทำการระบายไว้ได้จากค่าสกออร์ที่ปรากฏออกมา

นำเครื่องมือและโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไปทำการทดสอบกับตัวอย่างจริง คือการทดสอบกับใบไม้เพื่อทำการตรวจสอบบริเวณที่มีคลอโรฟิลล์ พบว่าเทคนิค PCA ร่วมกับรูปถ่ายจากหลอด LED สีรวมกันนั้นสามารถระบุบริเวณที่มีคลอโรฟิลล์บนใบไม้ได้อย่างชัดเจนและให้ผลดีกว่าการใช้ภาพถ่ายที่ได้จาก LED สีขาวเพียงสีเดียว นอกจากนี้ใบไม้แล้วยังได้ทำการทดสอบกับตัวอย่างเนื้อปลาแชลมอนดิบที่มีส่วนของเนื้อปลาและชั้นไขมันแทรกอยู่ เพื่อตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของเนื้อและไขมันบนเนื้อปลาเมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ พบว่าเทคนิคนี้สามารถตรวจสอบพบความเปลี่ยนแปลงของเนื้อและไขมันบนเนื้อปลาแชลมอนดิบได้เมื่อถูกให้ความร้อน

### ข้อเสนอแนะ

ในขั้นต่อไปต้องการที่จะลดการแกว่งของสัญญาณความเข้มแสงของหลอด LED พร้อมทั้งเทคนิคการถ่ายภาพเพื่อให้มีความแปรปรวนจากรูปถ่ายน้อยที่สุด และพัฒนาโปรแกรมการตรวจนับและคำนวณปริมาณบริเวณที่สนใจศึกษา รวมถึงการทำปริมาณวิเคราะห์ร่วมด้วยโดยใช้เทคนิคขั้นสูงทางเคโมเมตริก และศึกษาตัวอย่างทางด้านอาหารต่าง ๆ เพื่อเพิ่มบทประยุกต์

### ประโยชน์ของงานวิจัยนี้

มีอุปกรณ์พร้อมกับโปรแกรมในการตรวจสอบคุณภาพของอาหาร



## เอกสารอ้างอิง

1. <http://www.gcestudybuddy.com/using-word-documents/electromagnetic-spectrum>. (accessed May 24, 2017)
2. Perkampus, H.-H., H.-C. Grinter, and T. Threlfall, *UV-VIS Spectroscopy and its Applications*. 1992: Springer.
3. Siesler, H.W., et al., *Near-infrared spectroscopy: principles, instruments, applications*. 2008: John Wiley & Sons.
4. Larkin, P., *Infrared and Raman spectroscopy: principles and spectral interpretation*. 2011: Elsevier.
5. August, I., et al., *Miniature compressive ultra-spectral imaging system utilizing a single liquid crystal phase retarder*. Scientific reports, 2016. **6**.
6. Gemperline, P., *Practical guide to chemometrics*. 2006: CRC press.
7. Roggo, Y., et al., *Infrared hyperspectral imaging for qualitative analysis of pharmaceutical solid forms*. Analytica Chimica Acta, 2005. **535**(1): p. 79-87.
8. Piqueras, S., et al., *Monitoring polymorphic transformations by using in situ Raman hyperspectral imaging and image multiset analysis*. Analytica chimica acta, 2014. **819**: p. 15-25.
9. Mehl, P.M., et al., *Development of hyperspectral imaging technique for the detection of apple surface defects and contaminations*. Journal of Food Engineering, 2004. **61**(1): p. 67-81.
10. Kamruzzaman, M., et al., *Non-destructive prediction and visualization of chemical composition in lamb meat using NIR hyperspectral imaging and multivariate regression*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012. **16**: p. 218-226.
11. Schubert, E.F., T. Gessmann, and J.K. Kim, *Light emitting diodes*. 2005: Wiley Online Library.
12. <http://ledsales.lnwshop.com/category/1/led-super-bright>. (accessed April 20, 2017)
13. <http://edge.rit.edu/edge/P11543/public/LED%20Specifications>. (accessed April 20, 2017)

14. <https://www.gotoknow.org/posts/492650>. (accessed April 20, 2017)
15. [http://www.nlpc.org/pca\\_principal\\_component\\_analysis.html](http://www.nlpc.org/pca_principal_component_analysis.html). (accessed April 20, 2017)
16. <http://www.dreamviews.com/philosophy/114565-outside-visible-audible-light-sound-spectrum.html>. (accessed April 20, 2017)
17. <http://learn.leighcotnoir.com/artsspeak/elements-color/primary-colors/>.(accessed April 20, 2017)
18. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HSV\\_color\\_solid\\_cylinder.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HSV_color_solid_cylinder.png). (accessed April 20, 2017)
19. [http://support.robotis.com/en/product/darwinop/operating/color\\_and\\_white\\_balance\\_calibration.htm](http://support.robotis.com/en/product/darwinop/operating/color_and_white_balance_calibration.htm). (accessed April 20, 2017)



## ประวัติผู้วิจัย

นายนลธวัช ศรีเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 21 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2538 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสายสามัญ แผนการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช เมื่อปีการศึกษา 2555 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2556 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้หลังจากจบการศึกษาปริญญาตรี บ้านเลขที่ 6 ม.5 ตำบลเชียรใหญ่ อำเภอเชียรใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช

