



การพัฒนาอุปกรณ์ในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมต  
โดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล



นางสาวรุ่งรวี พรหมจันทร์  
นางสาวโชติกา เขยกลิ้นเทศ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEVELOPMENT OF THE DEVICE FOR CARBAMATE PESTICIDE  
ANALYSIS USING THE LIGHT ABSORPTION PRINCIPLE AND DIGITAL  
IMAGE ANALYSIS

MISS CHOTIKA CHOEIKLINTHET  
MISS RUNRAWI PROMJAN

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาอุปกรณ์ในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตโดย  
ใช้หลักการการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล

โดย นางสาวโชติกา เขยกลิ่นเทศ รหัสนักศึกษา 62010214  
นางสาวรุ่งรวี พรหมจันทร์ รหัสนักศึกษา 62010778

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี  
ปีการศึกษา 2565  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาัญลักษณ์  
ผศ.ดร.มจรดา จิโนรส

ปริญญาานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

 ประธานกรรมการ  
(ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาัญลักษณ์)

 กรรมการ  
(รศ.ดร.ญาณิพร พิชรรวโชติ)

 กรรมการ  
(ผศ.ดร.ธนวรรณ พินรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การพัฒนาอุปกรณ์ในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตโดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล	
โดย	นางสาวโชติกา เชยกลิ่นเทศ	รหัสนักศึกษา 62010214
	นางสาวรุ่งรวี พรหมจันทร์	รหัสนักศึกษา 62010778
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	
ปีการศึกษา	2565	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์	
	ผศ.ดร.มจรดา จิโนรส	

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการประดิษฐ์และพัฒนาอุปกรณ์ในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตโดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล โดยการพัฒนาอุปกรณ์มีต้นแบบจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ร่วมกับการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัมของแสงด้วยโปรแกรม MATLAB ทดลองถ่ายภาพสเปกตรัมของสารละลายต่างที่บิมาตรฐานและสารละลายคาร์โบซิลแพนมาตรฐาน รวมถึงศึกษาวิธีการสกัดสารคาร์โบซิลแพนที่ตกค้างในพืชผัก ผลการทดลองพบว่าเมื่อสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดกับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 568 และ 490 นาโนเมตร พบว่ากราฟมาตรฐานสารละลายต่างที่บิมาตรฐานและสารละลายคาร์โบซิลแพนมาตรฐานมีแนวโน้มของค่าดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร และพบว่าความเข้มข้นของสารละลาย unknown ที่คำนวณด้วยสมการจากกราฟมาตรฐานของสารละลายดังกล่าวข้างต้น มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 22.88% และ 21.88% ตามลำดับ สำหรับการสกัดสารคาร์โบซิลแพนในพืชผักตัวอย่าง (ผักคะน้า) แสดงผลด้วยกราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างสารสกัดผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่สารคาร์โบซิลแพนกับสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารคาร์โบซิลแพน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถตรวจพบสารคาร์โบซิลแพนที่ตกค้างอยู่ในผักคะน้าได้ แต่ทั้งนี้ยังไม่สามารถระบุได้ว่าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถบ่งบอกปริมาณความเข้มข้นของสารตกค้างในผักคะน้าได้ ดังนั้นในการพัฒนาต่อไปควรปรับปรุงเครื่องมือวัดให้มีความแข็งแรง ทนทาน และกระต๊วตมากขึ้น อีกทั้งจึงอยากเสนอให้เปลี่ยนชนิดของอุปกรณ์เก็บภาพสเปกตรัมให้มีความละเอียดมากขึ้น และสามารถติดตั้งกับกล่องควบคุมแสงได้อย่างถาวร ตลอดจนไปถึงการใช้ AI เข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารได้หลากหลายชนิดมากขึ้น

**คำสำคัญ :** สารกำจัดศัตรูพืช, คาร์บาเมต, คาร์โบซิลแพน, สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา || เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thesis Title** Development of the device for carbamate pesticide analysis using the light absorption principle and digital image analysis

**By** Chotika Choeiklinthet Student ID 62010214  
Rungrawi Promjan Student ID 62010778

**Degree** Bachelor of Engineering

**Program** Chemical Engineering

**Academic Year** 2565

**Thesis Advisor** Asst. Prof. Siripan Murathathunyaluk  
Asst. Prof. Dr. Maturada Jinorose

### Abstract

This research studies the invention and development of a device for carbamate pesticide analysis using the light absorption principle and digital image analysis. The device was developed as a prototype from a spectrophotometer combined with an image analysis of the light spectrum using the MATLAB program. Including studying methods for extracting carbosulfan residues in vegetables. The results showed that the calibration curves between the absorbance and the concentrations of potassium permanganate and carbosulfan standard solutions at wavelengths of 568 and 490 nm, it was found that the absorbance value tended to increase with the concentration of the substance. And found that the concentration of the unknown solution calculated by the equation from the standard curve of the solutions had the percentage error of 22.88% and 21.88% respectively. For the extraction of carbosulfan in the sample vegetables (Thai kale), the results were shown by comparing the absorbance values between Thai kale extract that has been and had not been soaked with carbosulfan. This can indicate that the invented portable spectrophotometer can detect carbosulfan residues in Thai kale. However, it is not possible to determine whether the invented portable spectrophotometer can indicate the concentration of residues in Thai kale. Therefore, in the development of equipment and analysis, the measuring equipment should be improved to be more robust, durable and compact. It should also change the type of spectral image capture device to have a higher resolution and can be permanently installed in the light control box. As well as the use of AI to help collect data and analyze the concentration of a variety of substances.

**Keywords :** pesticide, carbamate, carbosulfan, spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาอุปกรณ์ในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตโดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล” สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากการได้รับความกรุณา และความช่วยเหลือจาก ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ และ ผศ.ดร.มธุรดา จิโนรส อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่คอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาในทุกขั้นตอนการทำวิจัย ตลอดจนความรู้ทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยให้สำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณบุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกให้สถานที่ในการศึกษาและค้นคว้าทำการทดลอง ทั้งด้านอุปกรณ์การทดลอง สารเคมีและสาธารณูปโภคและขอขอบคุณแหล่งค้นคว้าข้อมูลสำคัญที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย ทั้งหนังสือ ตัวอย่างงานวิจัยต่างๆ เว็บไซต์ และบทความ วารสารทางวิชาการ ที่คณะผู้วิจัยได้นำมาใช้ประกอบการทำเล่มวิจัยฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ทางคณะผู้จัดทำวิจัย ขอขอบคุณผู้มีพระคุณที่ช่วยเหลือและสนับสนุนทุนการวิจัยอันมีค่าแก่งานวิจัยนี้ และหวังว่างานวิจัยเล่มนี้จะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางให้กับผู้ที่สนใจศึกษาและหากผิดพลาดประการใดทางผู้วิจัยขออภัย มา ณ ที่นี้ด้วยพร้อมน้อมรับคำแก้ไขทุกประการ

โชติกา เขยกลิ่นเทศ  
รุ่งรวี พรหมจันทร์  
ผู้วิจัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ .....	II
Abstract.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป .....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ .....	16
3.1 อุปกรณ์การทดลองและสารเคมี .....	16
3.2 อุปกรณ์การประดิษฐ์.....	17
3.3 การออกแบบอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพสเปกตรัม.....	17
3.4 การออกแบบอุปกรณ์และการประดิษฐ์ .....	18
3.5 หลักการทำงาน .....	19
3.6 แอปพลิเคชันที่ใช้ในการเก็บภาพสเปกตรัม .....	19
3.7 การวิเคราะห์ภาพสเปกตรัมของแสงด้วยโปรแกรม MATLAB.....	20
3.8 การตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บภาพสเปกตรัม.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การเตรียมสารละลายในการวิเคราะห์ปริมาณสารด้วยระบบสี RGB และ HSV บนโปรแกรม MATLAB.....	21
3.10 การสกัดสารคาร์โบซิลแฟนจากตัวอย่างผักคะน้า.....	22
บทที่ 4.....	24
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	24
4.1 ระบบถ่ายภาพสเปกตรัม .....	24
4.2 เก็บภาพสเปกตรัม.....	24
4.3 ผลการตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บภาพสเปกตรัม .....	24
4.4 ผลการทดลองวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายต่างทับทิมกับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) .....	27
4.5 ผลการทดลองวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายคาร์โบซิลแฟนกับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) .....	28
4.6 ผลการทดลองวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างสารสกัดผักคะน้า (Thai kale) ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแฟนกับสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแฟน .....	29
บทที่ 5.....	31
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....	31
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	31
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	31
บรรณานุกรม.....	32
ภาคผนวก ก. การตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บภาพสเปกตรัม .....	35
ภาคผนวก ข. การทดลองวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลายต่างทับทิมมาตรฐาน .....	44
ภาคผนวก ค. การทดลองวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลายคาร์โบซิลแฟนมาตรฐาน .....	52
ภาคผนวก ง. การทดลองวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างสารสกัดผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแฟนกับสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแฟน ...	60

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทั่วไปของคาร์โบซิลแฟน [4] .....	5
ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าความยาวคลื่นของแถบสีน้ำเงิน เขียวและแดง [29] .....	20
ตารางที่ 3.2 ความเข้มข้นสารละลายต่างหัตถิมที่ถูกเจือจางด้วยน้ำ DI .....	22
ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นสารละลายคาร์โบซิลแฟนที่ถูกเจือจางด้วยสารละลาย 1% กรดอะซิติก ในอะซิโตนไตรล์ .....	22
ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นสารละลายตัวอย่าง .....	22
ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงค่า Pixel และค่า V มากที่สุด ของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์ .....	36
ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงค่า V มากที่สุดเฉลี่ยของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์ .....	37
ตารางที่ ก.3 ตารางแสดงค่า Pixel และค่า V มากที่สุด ของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์วอร์มไวท์ .....	38
ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงค่า V มากที่สุดเฉลี่ยของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์วอร์มไวท์ .....	39
ตารางที่ ก.5 ตารางแสดงค่า Pixel และค่า V มากที่สุด ของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์คูไวท์ .....	40
ตารางที่ ก.6 ตารางแสดงค่า V มากที่สุดเฉลี่ยของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์วอร์มไวท์ .....	41
ตารางที่ ก.7 ตารางแสดงค่า Pixel และค่า V มากที่สุด ของหลอดไฟอัลตราไวโอเล็ต .....	42
ตารางที่ ก.8 ตารางแสดงค่า V มากที่สุดเฉลี่ยของหลอดอัลตราไวโอเล็ต .....	43
ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างหัตถิมมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ .....	50
ตารางที่ ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์โบซิลแฟนมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ .....	58
ตารางที่ ง.1 การสกัดสารคาร์โบซิลแฟนจากผักคะน้า .....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ปริมาณการนำเข้าวัตถุดิบทรายทางการเกษตร พ.ศ.2553-2564 [6].....	3
รูปที่ 2.2 สถานการณ์สารพิษตกค้างในผักผลไม้ 58.7% เกินค่ามาตรฐาน [7] .....	4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสารประกอบคาร์บาเมต [2] .....	5
รูปที่ 2.4 โครงสร้างคาร์โบซิลแฟน [4].....	5
รูปที่ 2.5 ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) [16].....	6
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบหลักของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ [18] .....	7
รูปที่ 2.7 สเปกตรัมของแสงทั้ง 3 ชนิด [9] .....	9
รูปที่ 2.8 ระบบสี RGB .....	13
รูปที่ 2.9 ระบบสี HSB หรือ HSV.....	13
รูปที่ 3.1 การออกแบบสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาตัวต้นแบบ .....	17
รูปที่ 3.2 จำลองการออกแบบสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาตัวต้นแบบ 3 มิติ .....	18
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์เก็บภาพสเปกตรัมที่ประดิษฐ์ขึ้น .....	19
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า V สูงสุดเฉลี่ยของหลอดไฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์ .....	24
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า V สูงสุดเฉลี่ยของหลอดไฟลูออเรสเซนต์วอร์มไวท์ .....	25
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า V สูงสุดเฉลี่ยของหลอดไฟลูออเรสเซนต์คูลไวท์ .....	25
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่า V สูงสุดเฉลี่ยของหลอดไฟอัลตราไวโอเล็ต .....	26
รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต่างหับทิมที่ความยาวคลื่น 568 นาโนเมตร (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้น).....	27
รูปที่ 4.6 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต่างหับทิมที่ความยาวคลื่น 568 นาโนเมตร (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์).....	27
รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาร์โบซิลแฟนที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้น) .....	28
รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาร์โบซิลแฟนที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์) .....	28
รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างสารสกัดผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่สารคาร์โบซิลแฟนกับสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารคาร์โบซิลแฟน (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้น).....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับ VIII เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างสารสกัดผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่สารคาร์โบซัลเฟนกับสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารคาร์โบซัลเฟน (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์).....	29
รูปที่ ข.1 สารละลายต่างหทัยมาตรฐาน.....	45
รูปที่ ค.1 สารละลายคาร์โบซัลเฟนมาตรฐาน .....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการใช้งานสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกันอย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้มีคุณภาพ รูปร่างลักษณะสวยงามสมบูรณ์เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเป็นที่รู้จักกันในกลุ่มของสารกำจัดแมลง (Insecticides) สารกำจัดหนูและสัตว์ฟันแทะ (Rodenticides) สารกำจัดเชื้อรา (Fungicides) และสารกำจัดวัชพืช (Herbicides) ในบรรดาสารเหล่านี้สารกำจัดแมลงเป็นสารก่อให้เกิดภาวะพิษ เป็นอันตรายต่อสุขภาพที่พบบ่อยที่สุดเมื่อเทียบกับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มอื่นๆ ซึ่งพบในสารกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต หากได้รับสารเคมีกลุ่มนี้สะสมในปริมาณมากเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น ระบบทางเดินหายใจผิดปกติ ระบบประสาทและสมองถูกทำลาย ระบบกล้ามเนื้อกระดูกและอ่อนแรง ระบบหลอดเลือดหัวใจทำงานผิดปกติ อีกทั้งสารเคมีกลุ่มนี้ยังเป็นสารก่อให้เกิดโรคมะเร็งอีกด้วย

จากผลกระทบดังกล่าวส่งผลที่เป็นอันตรายต่อทุกภาคส่วนทั้งเกษตรกรผู้เพาะปลูก ผู้บริโภค หรือสภาพแวดล้อมที่ได้รับการปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช จึงมีการใช้เทคโนโลยีสำหรับตรวจสอบสารตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น เทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC), เทคนิคการวัดการดูดกลืนแสงหรือรังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล (ultra violet-visible spectrophotometry, UV-Vis), เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (cyclic voltammetry, CV), และเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี (differential pulse voltammetry, DPV) ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณในวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีหลายวิธี แต่อย่างไรก็ตาม เทคนิคเหล่านี้ใช้อุปกรณ์ขนาดใหญ่ ราคาแพงและมีความซับซ้อนในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการตรวจสอบ ซึ่งไม่สะดวกที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ภาคสนามที่ต้องการความรวดเร็วและง่ายต่อการใช้งาน

ในภายหลังจึงมีการคิดค้นอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา (Portable Spectrophotometer) เป็นการพัฒนาการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ต้นทุนในการวิเคราะห์ไม่สูง สะดวก รวดเร็วและใช้งานไม่ซับซ้อน และยังสามารถนำเครื่องมือมาใช้ในการวิเคราะห์สารปนเปื้อนได้อีกด้วย รวมทั้งในปัจจุบันงานเทคนิคการวัดสีภาพดิจิทัล (digital image colorimetry, DIC) ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย ใช้งบประมาณต่ำ สามารถตอบสนองงานที่ต้องการความรวดเร็วในการรับข้อมูล ประมวลผลข้อมูล และนำข้อมูลไปพัฒนาต่อได้ เทคนิคนี้มีความแม่นยำในการอ่านค่าสีของสารเคมีที่มีสีใกล้เคียงกันและยังสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้อีกด้วย ดังนั้นผู้จัดทำจึงเห็นถึงประโยชน์ของเทคนิคดังกล่าวที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานและพัฒนาอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตโดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงร่วมกับการวิเคราะห์สีภาพสปีดิจิทัลเพื่อเป็นประโยชน์และส่งเสริมความปลอดภัยแก่ผู้บริโภค

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการและประดิษฐ์อุปกรณ์ในการวิเคราะห์สารคาร์โบซัลแฟนโดยใช้หลักการของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1.2.2 พัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณสารคาร์โบซัลแฟนที่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาการประดิษฐ์อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณสารคาร์โบซัลแฟนโดยประยุกต์ใช้หลักการการดูดกลืนของแสง และการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัมด้วยโปรแกรม MATLAB

1.3.2 วิเคราะห์ปริมาณสารคาร์โบซัลแฟนโดยไม่เติมสารที่มีสีด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต

1.3.3 พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารคาร์โบซัลแฟนโดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงจากอุปกรณ์วิเคราะห์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

การวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตด้วยอุปกรณ์และวิธีการที่พัฒนาขึ้นนั้นช่วยให้ผู้ใช้งานหรือต้องสัมผัสกับสารสามารถตรวจสอบปริมาณสารได้อย่างรวดเร็วและประหยัด เช่นอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ต้องการตรวจสอบสารตกค้างในสินค้าที่รับซื้อมา ส่งผลให้ผู้คนปลอดภัยจากสารตกค้างที่ปนเปื้อนอยู่ในผัก ผลไม้ หรือวัตถุดิบทำอาหารอื่นๆ

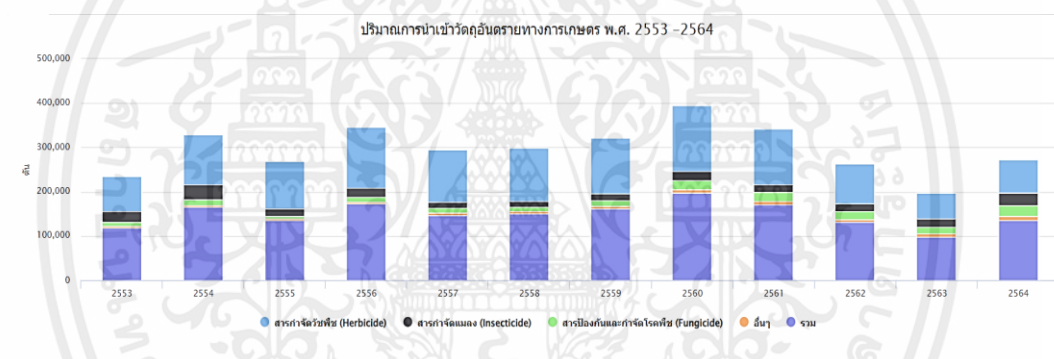
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 สถานการณ์การนำเข้าและตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

จากข้อมูลปริมาณการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร พ.ศ.2553-2564 ของกรมวิชาการเกษตร ประเทศไทยนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร (สารกำจัดวัชพืช, สารกำจัดแมลง และสารป้องกันและกำจัดโรคพืช) มีแนวโน้มปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรของไทยสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อพิจารณาสัดส่วนการนำเข้าปี 2560 พบว่า สารกำจัดวัชพืชมีสัดส่วนสูงสุดประมาณ 3 ใน 4 หรือประมาณร้อยละ 73 รองลงมาคือสารป้องกันและกำจัดโรคพืชคิดเป็นร้อยละ 12 ตามมาด้วยสารกำจัดแมลงคิดเป็นร้อยละ 11 และสารอื่นๆ อีกร้อยละ 4 ดังภาพที่ 2.3

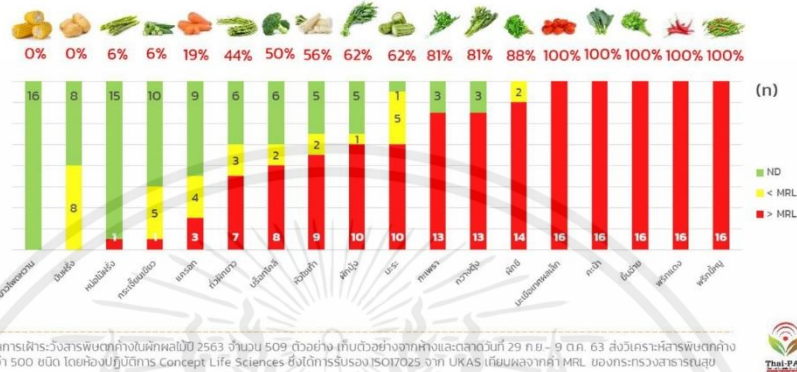


รูปที่ 2.1 ปริมาณการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตร พ.ศ.2553-2564 [6]

ทั้งนี้เครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืชได้มีการตรวจสอบผักและผลไม้ประจำปี 2563 โดยสุ่มตรวจผักผลไม้ทั้งหมด 509 ตัวอย่างจากทั่วประเทศ โดยประกอบไปด้วยผลไม้จำนวน 9 ชนิด ประกอบด้วย ส้มโอ ส้มแมนดารินนำเข้า ลองกอง น้อยหน่า แก้วมังกร ฝรั่ง ส้มสายน้ำผึ้ง พุทราจีน และองุ่นแดงนอก ผักจำนวน 18 ชนิด ประกอบด้วย ข้าวโพดหวาน มันฝรั่ง หน่อไม้ฝรั่ง กระเจี๊ยบเขียว แครอท ถั่วฝักยาว บร็อกโคลี่ หัวไชเท้า ผักบุ้ง มะระ กะเพรา กวางตุ้ง ผักชี มะเขือเทศผลเล็ก คื่นช่าย พริกแดง และพริกชี้หนู และของแห้ง 2 ชนิด ได้แก่ พริกแห้ง และเห็ดหอม โดยส่งตัวอย่างทั้งหมดไปตรวจที่ห้องปฏิบัติการในประเทศสหราชอาณาจักร ซึ่งสามารถตรวจวัดผลได้ครอบคลุมสารเคมีกำจัดแมลงและเชื้อรา ที่ได้รับรองมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO17025) ผลการตรวจวิเคราะห์พบว่า มีผักและผลไม้มากถึง 58.7 % ที่พบสารพิษตกค้างเกินมาตรฐาน โดยผักที่พบการตกค้างเกินมาตรฐานมากที่สุดคือ มะเขือเทศผลเล็ก พริกชี้หนู พริกแดง ขึ้นฉ่าย คื่นช่าย พบตกค้าง

เกินมาตรฐานทั้งหมดทุกตัวอย่าง (100%) จากที่เก็บมาชนิดละ 16 ตัวอย่าง ผักผลไม้ที่พบการตกค้าง รองลงมาได้แก่ กะเพรา (81%) มะระ (62%) ผักบุ้ง (62%) หัวไชเท้า (56%) บร็อกโคลี (50%) ถั่วฝักยาว (44%) แครอท (19%) กระเจี๊ยบเขียว (6%) และหน่อไม้ฝรั่ง (6%) ส่วนมันฝรั่งพบการตกค้างในระดับไม่เกินมาตรฐานและข้าวโพดหวานไม่พบการตกค้าง

**ร้อยละของตัวอย่างผักที่ปลูกบนดินที่พบสารพิษตกค้างเกินค่า MRL**



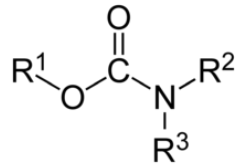
รูปที่ 2.2 สถานการณ์สารพิษตกค้างในผักผลไม้ 58.7% เกินค่ามาตรฐาน [7]

**2.1.2 สารประกอบคาร์บาเมต (Carbamate compound)**

สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ในปัจจุบัน หากแบ่งตามสูตรโครงสร้างทางเคมีจะสามารถแบ่งออกได้หลายกลุ่ม โดยสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมต คือ กลุ่มที่มีคาร์บาริลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในปัจจุบันมีการนิยมใช้และตรวจพบความเป็นอันตรายต่อร่างกายมากที่สุด [1]

**2.1.2.1 ข้อมูลทั่วไปและโครงสร้างของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมต [1]**

โดยทั่วไปนิยมใช้สารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชในผลิตผลทางการเกษตร เช่น ผักผลไม้ และเมล็ดพืชที่เป็นอาหาร นอกจากนี้ยังใช้กับสัตว์ปีก ปศุสัตว์ และสัตว์เลี้ยง เพื่อกำจัดแมลงรบกวน และยังใช้กำจัดหอยทากและหนอนตัวกลม (nematodes) บางชนิดได้ สารกำจัดแมลงกลุ่มนี้เป็นสารอินทรีย์ที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญ มีฤทธิ์ตกค้างนานและมีพิษคล้ายสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต มีกลไกการเกิดพิษและการออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของแอซีทิลโคลีนเอสเตอเรส ทำให้สารสื่อประสาทแอซีทิลโคลีนถูกทำลายลง จึงเกิดอาการเป็นพิษเนื่องจากการทำงานของระบบสื่อประสาททำงานมากเกินไป สารในกลุ่มนี้ เช่น โพรพอกเซอร์ (propoxur) คาร์บาริล (carbaryl) เบนไดโอคาร์บ (bendiocarb) นิยมใช้ในรูปแบบฉีดพ่นผสมกับสารกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ โดยสูตรโครงสร้างทางเคมีทั่วไปของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตแสดงดังรูปที่ 2.1



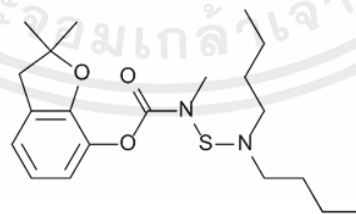
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสารประกอบคาร์บาเมต [2]

### 2.1.2.2 คาร์โบซัลแฟน [3]

คาร์โบซัลแฟนจัดเป็นวัตถุอันตรายทางการเกษตรประเภทสารกำจัดศัตรูพืช กลุ่มคาร์บาเมต (carbamate) ซึ่งเป็นสารพิษตกค้างที่เป็นอันตรายทางเคมี โดยสารกำจัดศัตรูพืชคาร์โบซัลแฟน ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในถั่วต่างๆ ใช้ในการป้องกันแมลงศัตรูพืช (pesticides) ในไร่ เช่น เพลี้ยอ่อน หนอนแมลงวัน หมัดกระโดด เพลี้ยไฟ แมลงหิวข้าว หนอนม้วนใบ มด ปลวก แมงกะซอน ไส้เดือนฝอย โดยข้อมูลทั่วไปของคาร์โบซัลแฟนแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลทั่วไปของคาร์โบซัลแฟน [4]

ชื่อทางเคมี	2,3-dihydro-2,2-dimethyl-7-benzofuryl [(dibutylamino)thio] methylcarbamate
สูตรเคมี:	C <sub>20</sub> H <sub>32</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> S
น้ำหนักโมเลกุล	380.5
ความถ่วงจำเพาะ	1.056g/mL ที่ 20 °C
รูปแบบทางกายภาพ	ของเหลวสีน้ำตาล
ความดันไอ	0.31x10 <sup>-6</sup> Torr ที่ 25 °C
ความสามารถในการละลาย	น้ำ (0.3 ppm), ผสมโดยสมบูรณ์ในไซลีน, เฮกเซน, คลอโรฟอร์ม, เมทิลีนคลอไรด์ เมทานอลอะซิโตน



รูปที่ 2.4 โครงสร้างคาร์โบซัลแฟน [4]

ความเป็นอันตรายของคาร์โบซัลแฟน [5]

- เป็นอันตรายถึงตายได้เมื่อหายใจเข้าไป
- เป็นพิษเมื่อกลืนกินเข้าไป
- อาจทำให้เกิดการแพ้ที่ผิวหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่เป็นทางการและเป็นลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ถือว่าผิดกฎหมาย และจะดำเนินการฟ้องดำเนินคดีตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

### 2.1.2.3 ความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมตเมื่อเข้าสู่ร่างกาย [1]

1. ระบบทางเดินอาหาร : ผลจากการกระตุ้น muscarinic synapses ทำให้เกิดอาการเฉียบพลันกับระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ การมีสารคัดหลั่งทั้งน้ำลายและน้ำตาออกมามาก ผิดปกติ ถ่ายอุจจาระร่วมด้วย และอาจพบการอักเสบของระบบทางเดินอาหาร
2. ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ : พบอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง กล้ามเนื้อสั่น ซึ่งเป็นผลจากการกระตุ้น nicotinic receptor
3. ระบบหลอดเลือดหัวใจ : พบภาวะ bradycardia

### 2.1.3 ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) [16], [17]

ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 nm โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้



รูปที่ 2.5 ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) [16]

ส่วนประกอบหลักของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ มีอยู่ 5 ส่วน ดังนี้

#### 2.1.3.1 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดแสงมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง

### 2.1.3.2 ส่วนเลือกความยาวคลื่น (wavelength selector)

ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นแสงที่มีหลายความยาวคลื่น (polychromatic wavelength) ให้เป็นแถบแสงในช่วงแคบๆ หรือ เป็นความยาวคลื่นเดี่ยว (monochromatic wavelength) เครื่องมือสมัยก่อนจะใช้ปริซึม หรือ ฟิลเตอร์สำหรับแยกความยาวคลื่น แต่ปัจจุบันเปลี่ยนมาใช้โมโนโครเมเตอร์ (monochromator) แบบเกรตติง (grating) สะท้อนแสง ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องเล็กๆขนานกันจำนวนมาก แสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะตกกระทบบนผิวหน้าของร่อง แล้วสะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เฉพาะความยาวคลื่นที่เราเลือกเท่านั้นจึงจะผ่านช่องแสงออก (exit slit) ไปสู่สารตัวอย่างได้

### 2.1.3.3 เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง (cell sample)

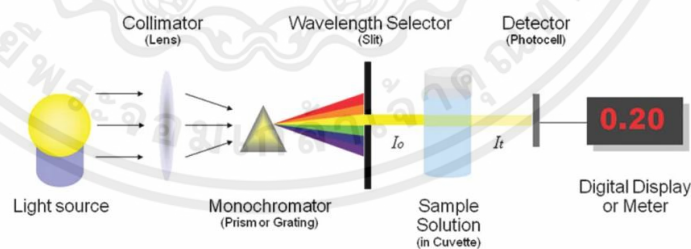
บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวทท์ (cuvettes) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาถูกดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ แต่เซลล์ที่ทำด้วยซิลิกาและควอร์ตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

### 2.1.3.4 ตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector)

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืน โดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube, PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector)

### 2.1.3.5 ส่วนบันทึกและแปรผลสัญญาณ (recorder and processor)

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ และแปรผลสัญญาณให้ออกมาในมาตราส่วนแบบล็อก (log scale)



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบหลักของเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ [18]

## 2.1.4 แหล่งกำเนิดแสง [8]

แหล่งกำเนิดแสงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

**2.1.4.1 แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ** คือ ดวงอาทิตย์ ดาวฤกษ์ดวงอื่น ๆ และปรากฏการณ์ฟ้าแลบฟ้าผ่า โดยแสงจากดวงอาทิตย์ถือเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใหญ่ที่สุดของโลก

**2.1.4.2 แหล่งกำเนิดแสงจากสิ่งมีชีวิต (Bioluminescence)** ได้แก่ การเรืองแสงของสัตว์บางชนิด เช่น การมีแสงสว่างในตัวเองของหิ่งห้อย ปลาน้ำลึกบางชนิด และแพลงก์ตอนในทะเล

**2.1.4.3 แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์** คือ แหล่งกำเนิดแสงที่สร้างจากมนุษย์ ได้แก่ แสงจากหลอดไฟ เทียนไข ตะเกียง และแสงที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ เช่น ถ่าน ฟืน และน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องมี 2 ชนิด ได้แก่

1) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) [12]

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด Discharge lamp ที่กำเนิดแสงที่มองเห็นได้ (400 – 700 นาโนเมตร) ด้วยการที่รังสีอัลตราไวโอเล็ต (253.7 นาโนเมตร) ที่เกิดจากการคายประจุของไอปรอทความดันต่ำ ไปกระตุ้นสารเรืองแสง (Photoluminescence) ซึ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์แบ่งออกเป็น 3 สี ได้แก่ 1.หลอดไฟวอร์มไวท์ (Warm white) มีอุณหภูมิสีอยู่ที่ 2,000 – 3,000 เคลวิน ให้แสงสีเหลืองเข้ม ไปจนถึงสีส้ม 2.หลอดไฟคูลไวท์ (Cool white) มีอุณหภูมิสีอยู่ที่ 4,000 – 5,000 เคลวิน ให้แสงสีขาวในโทนอุ่น 3.หลอดไฟเดย์ไลท์ (Daylight) มีอุณหภูมิสีอยู่ที่ 6,000 เคลวิน ให้แสงสีขาวที่เหมือนแสงในธรรมชาติ ถือเป็นแสงสีที่สว่างมากที่สุด [13]

2) หลอดยูวี (UV Lamp) [14]

หลอด UV สามารถแบ่งประเภทตามการนำไปใช้งานได้ดังนี้

- หลอด UVA มีความยาวคลื่นสูง พลังงานต่ำ สามารถนำไปใช้งานในส่วนของการล่อแมลง, ปลุกพืชบางชนิด, ตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม, ตรวจสอบธนบัตร, อบวงจรร, อบสีเล็บ หรือใน UVA บางชนิดก็สามารถนำไปใช้ในการอบผิวได้

- หลอด UVB มีความยาวคลื่นและพลังงานอยู่ที่ระดับกลาง สามารถนำไปใช้งานในส่วนของการอบผิวแทน, การเลี้ยงสัตว์บางชนิด หรือการรักษาโรคผิวหนังบางชนิด

- หลอด UVC มีความยาวคลื่นต่ำ พลังงานสูง สามารถนำไปใช้งานในส่วนของการฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา เห็บ หรือแบคทีเรียต่างๆ โดยบางชนิดอาจผลิตก๊าซโอโซน ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจได้

**2.1.5 แสงและสเปกตรัมของแสง [8]**

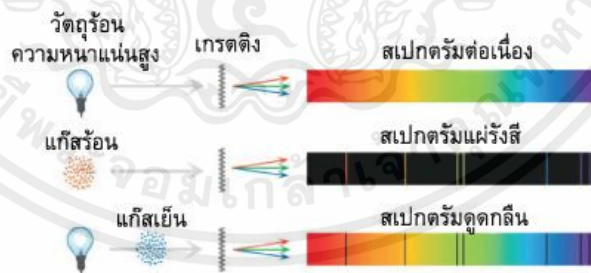
แสง (Light) คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีความยาวคลื่น (Wavelength) อยู่ในช่วงที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ผ่านดวงตาหรือที่เรียกว่า

“แสงที่ตามองเห็น” (Visible Light) โดยนับเป็นส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร

แสงมีคุณสมบัติที่ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากมีลักษณะเป็นเหมือนทั้งคลื่นและอนุภาค ในทางฟิสิกส์ แสง หมายถึง รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) ในทุกช่วงความยาวคลื่น แม้จะอยู่ในช่วงที่สายตาของมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ แสงมีอนุภาคที่เรียกว่า “โฟตอน” (Photon) เป็นอนุภาคที่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งอยู่ที่ราว 300,000,000 เมตรต่อวินาที โดยไม่จำเป็นต้องมีสื่อหรืออาศัยตัวกลาง (Medium) ในการเคลื่อนที่ เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ที่เดินทางผ่านอวกาศหรือภาวะสุญญากาศมายังโลก

แสงจากดวงอาทิตย์เป็นแสงขาว (White Light) ซึ่งในทางวิทยาศาสตร์ สามารถใช้ปริซึม (Prism) หรือเกรตติง (Grating) แยกองค์ประกอบของแสงขาวออกจากกันได้ โดยสามารถแบ่งออกเป็นแถบสีต่าง ๆ ทั้งหมด 7 สี หรือที่เรียกว่า “สเปกตรัม” (Spectrum) ซึ่งสเปกตรัมสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด [9] ได้แก่

1. สเปกตรัมต่อเนื่อง (Continuous spectrum) มีลักษณะเป็นแถบสีรุ้งต่อเนื่องกัน เกิดจากการแผ่รังสีของวัตถุดำ
2. สเปกตรัมแผ่รังสี (Emission spectrum) มีลักษณะเป็นเส้นสีสว่างบนแถบมืด เกิดจากการแผ่รังสีของแก๊สร้อน
3. สเปกตรัมดูดกลืน (Absorption spectrum) มีลักษณะเป็นเส้นมืดบนแถบสีรุ้ง เกิดจากแก๊สเย็นขวางกั้นการแผ่รังสีจากวัตถุดำ



รูปที่ 2.7 สเปกตรัมของแสงทั้ง 3 ชนิด [9]

สมบัติและพฤติกรรมของแสง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) การสะท้อน (Reflection) คือ พฤติกรรมของแสงที่ส่องไปกระทบผิวตัวกลางที่มีลักษณะแตกต่างกันและสะท้อนกลับออกมา เป็นการเคลื่อนที่ของแสงจากตัวกลางต่างชนิด ซึ่งเมื่อแสงตกกระทบกับพื้นผิวสัมผัสของตัวกลางใดๆ ปริมาณและทิศทางของการสะท้อนของแสงจึงขึ้นอยู่กับธรรมชาติของพื้นผิวสัมผัสของตัวกลางนั้นๆ

2) การหักเห (Refraction) คือ พฤติกรรมของแสงที่ส่องผ่านตัวกลางที่มีลักษณะโปร่งใส เช่น อากาศ แก้ว น้ำ และพลาสติกใส ส่งผลให้แสงหักเหออกจากแนวทางการเคลื่อนที่เดิม รวมถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน อย่างเช่น การเคลื่อนที่ของแสงในน้ำ ซึ่งส่งผลต่อทั้งความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่หรือการหักเหของแสง

3) การกระจาย (Dispersion) คือ พฤติกรรมของแสงเมื่อตกกระทบผิวของตัวกลาง ก่อนเกิดการหักเห ซึ่งส่งผลให้แสงที่มีความยาวคลื่นหรือความถี่ต่างๆ กระจายออกเป็นแถบสี เช่น การกระจายของแสงสีขาวเมื่อส่องกระทบปริซึม เกิดเป็นแถบสีหรือสเปกตรัม

4) การดูดกลืน (Absorption) คือ พฤติกรรมของแสงที่ส่องไปกระทบตัวกลางหรือวัตถุ ก่อนที่แสงบางส่วนจะถูกดูดกลืนหายไปในตัวกลาง ซึ่งแสงที่ถูกดูดกลืนเหล่านั้น จะมีพลังงานบางส่วน สูญหายไปในรูปแบบของพลังงานความร้อน ขณะที่แสงในช่วงความยาวคลื่นที่สามารถส่องผ่านวัตถุหรือตัวกลางดังกล่าว จะแสดงเฉพาะความยาวคลื่นของแสงที่ไม่ถูกดูดกลืน กลายเป็นสีของวัตถุที่เรามองเห็น

5) การทะลุผ่าน (Transmission) คือ พฤติกรรมของแสงที่เคลื่อนที่พุ่งชนตัวกลาง ก่อนทะลุผ่านออกไปอีกด้านหนึ่ง โดยที่ความถี่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง วัตถุที่มีคุณสมบัติให้แสงทะลุผ่านได้ เช่น กระจก ผลึกคริสตัล พลาสติกใส น้ำและของเหลวต่างๆ

6) การแทรกสอดของคลื่น (Interference) คือ พฤติกรรมการรวมกันของแสง 2 ลำ หรือ 2 ขบวนเคลื่อนที่เข้าหากัน เมื่อแสงทั้ง 2 ลำ มีแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดคลื่นแสงความถี่เดียวกันและความยาวคลื่นเท่ากัน เมื่อรวมตัวเข้าหากัน สามารถส่งผลให้แสงมีความสว่างมากยิ่งขึ้น ในทางตรงกันข้าม ความสว่างของแสงสามารถถูกลดทอนให้ต่ำลง หากแสงทั้ง 2 ลำ เคลื่อนที่หักล้างกันเอง

7) การเลี้ยวเบน (diffraction) คือพฤติกรรมของแสงที่เมื่อเดินทางผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น ขอบของวัตถุช่องเปิดเล็กเล็ก จะเกิดการเลี้ยวเบนกระจายตัวออกจากทิศการเคลื่อนที่ในแนวเดิม แสงที่เดินทางผ่านสิ่งกีดขวางจะเลี้ยวเบนที่ขอบ คลื่นที่เลี้ยวเบนผ่านส่วนต่างๆของสิ่งกีดขวางนั้นจะเกิดการแทรกสอดกันสามารถสังเกตผลการแทรกสอด (interference pattern) เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบน (diffraction pattern) ของแถบสว่างสลับกับแถบมืดบนฉาก [10]

### 2.1.6 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต [11]

กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) มีใจความว่า

“เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (monochromatic light) ผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”

กฎของเบียร์ (Beer's law) มีใจความว่า

“เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

เมื่อเราวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและระยะทางที่ลำแสงต้องผ่านสารละลาย จึงจำเป็นต้องรวมกฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ต เรียกว่า กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างเราสามารถทำได้โดยให้ลำแสงผ่านเข้าไปในตัวอย่าง (Incident light:  $I_0$ ) แล้ววัดปริมาณแสงที่เหลือผ่านออกมา ( $I$ ) โดยเทียบกับแสงที่ผ่านออกมาเมื่อไม่มีสารตัวอย่าง

#### 2.1.6.1 ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น

ค่าการดูดกลืนแสงของสารมีความสำคัญอย่างยิ่งในเชิงปริมาณวิเคราะห์ เนื่องจากค่าการดูดกลืน (absorbance) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น (concentration) ตามกฎของเบียร์ - แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) ดังสมการ

$$A = \epsilon c l = \log \frac{I_0}{I} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $A$  = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (absorbance)

$\epsilon$  = เป็นสมบัติจำเพาะของสารที่ดูดกลืนและวัดที่ความยาวค่าหนึ่ง เรียกว่า molar absorptivity ( $\text{L mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$ )

$c$  = ความเข้มข้นเป็น โมล/ลิตร หรือโมลาร์ (M)

$l$  = ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่าง (cm)

$I_0$  = ค่าความเข้มแสงก่อนผ่านตัวอย่าง (Lumen)

$I$  = ค่าความเข้มแสงที่ผ่านตัวอย่างออกมา (Luman)

#### 2.1.7 การวิเคราะห์ภาพ

เทคนิคการวัดสีภาพดิจิทัล (Digital Image Colorimetry: DIC) เป็นเทคนิคที่วิเคราะห์สีจากภาพดิจิทัลที่รวบรวมโดยเครื่องมือที่จับภาพได้ เช่น สมาร์ทโฟน กล้องดิจิทัล เว็บแคม หรือ สแกนเนอร์ [19] จากนั้นจะใช้ซอฟต์แวร์เฉพาะในการวัดปริมาณสีและวิเคราะห์สีภายใต้ระบบสีที่เหมาะสม แล้วแสดงผลในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาพเชิงปริมาณและความเข้มข้นของการวิเคราะห์

โดยทั่วไประบบวิเคราะห์สีของการวัดสีภาพดิจิทัลประกอบด้วย แหล่งกำเนิดแสง เครื่องมือสำหรับถ่ายภาพ และซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ [15]

### 2.1.7.1 แหล่งกำเนิดแสง

Ruosha Zeng และคณะ พบว่าการวิเคราะห์สีจากภาพถ่ายที่ถ่ายภายใต้สภาวะแสงต่างกันจะให้ค่าสีที่ต่างกัน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อนำค่าสีที่ได้ไปวิเคราะห์เป็นปริมาณสาร มีวิธีแก้ไขโดยการแปลงค่าแสดงในภาพถ่ายโดยใช้สมการความสัมพันธ์ [20] หรือใช้ค่าความสว่างคงที่ในการถ่ายภาพ โดยการสร้างระบบถ่ายภาพที่ตัดแสงจากภายนอกและใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบประดิษฐ์ช่วยควบคุมสภาวะแสงให้มีความสว่างและสีที่เหมือนกันตลอดเวลา [15]

### 2.1.7.2 อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ

ข้อมูลภาพดิจิทัลโดยส่วนใหญ่ได้มาจากเครื่องสแกน กล้องดิจิทัล เว็บแคม และโทรศัพท์มือถือ ซึ่งอุปกรณ์ที่แตกต่างกันจะนำไปสู่คุณภาพของภาพที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องใช้อุปกรณ์เดียวกันในการรวบรวมภาพในกระบวนการทั้งหมดเพื่อลดข้อผิดพลาดของอุปกรณ์ [15]

### 2.1.7.3 ซอฟต์แวร์วิเคราะห์รูปถ่าย

ส่วนประกอบสุดท้ายของระบบวิเคราะห์สีของการวัดสีภาพดิจิทัล คือซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ภาพ เป็นระเบียบวิธีสำหรับการประมวลผลภาพเบื้องต้น โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ภาพมีหลายแบบ โดยส่วนใหญ่นิยมใช้ Photoshop หรือ MATLAB ในการวิเคราะห์สีของภาพ [21] ซึ่ง MATLAB ถือเป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีเครื่องมือ Image Processing Toolbox [22] ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายสเปกตรัม และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้

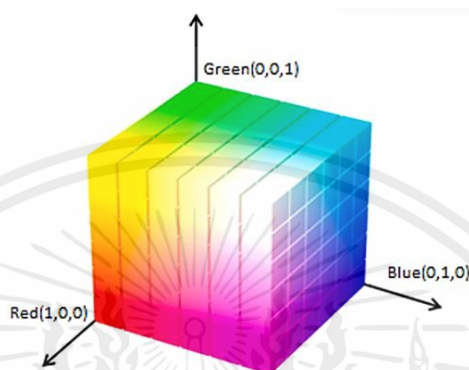
## 2.1.8 ระบบสี [15]

ระบบสี (Color model) คือชุดของสีที่มองเห็นได้โดยมนุษย์หรืออุปกรณ์ ระบบสีมีหลายระบบ ต้องเลือกใช้อย่างถูกต้องและเหมาะสม เพื่อการวิเคราะห์สีที่แม่นยำ โดยระบบสีที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.1.8.1 ระบบสี RGB

ระบบสี RGB (RGB color model) เป็นระบบสีแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ถูกแสดงด้วยหน่วยลูกบาศก์ โดยแต่ละสี (แดง เขียว และน้ำเงิน) ถูกกำหนดลงบนสามแกนพิกัดมุมฉากในพื้นที่ 3 มิติ ตัวอย่างของลูกบาศก์ดังกล่าวแสดงไว้ด้านล่างพร้อมกับสีหลักบางสีและพิกัดของสีนั้นๆ (รูปที่ 2.4) ในแต่ละแกนของลูกบาศก์สีจะมีช่วงสีตั้งแต่ไม่มีสีดังกล่าว ไปจนถึงมีสีที่อิ่มตัวเต็มที่ซึ่งลูกบาศก์สีเป็นสีทึบ และจุดใดๆ (สี) ภายในลูกบาศก์จะถูกระบุด้วยตัวเลขสามตัว ได้แก่ R, G, B โดย

เส้นทแยงมุมของลูกบาศก์จากสีดำ (0, 0, 0) ถึงสีขาว (1, 1, 1) แทนสีเทาทั้งหมด และแกนสามแกน แทนสีแดง เขียว และน้ำเงินตามลำดับ ในทางปฏิบัติ การผสมฮาร์ดแวร์/ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกันจะใช้ช่วงสีที่แตกต่างกัน สีทั่วไปคือ 0–256 และ 0–65536 สำหรับแต่ละส่วนประกอบพื้นที่สี RGB นี้อยู่ภายในพื้นที่การรับรู้ของเรา กล่าวคือ ลูกบาศก์ RGB แสดงสีน้อยกว่าที่เรามองเห็นแบบจำลอง RGB มักใช้ในผลิตภัณฑ์ดิจิทัลและใช้กันอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม

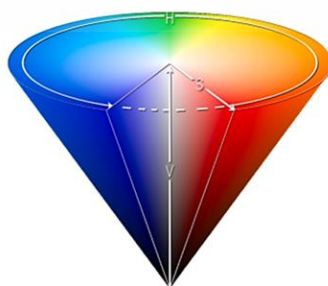


รูปที่ 2.8 ระบบสี RGB

### 2.1.8.2 ระบบสี HSB หรือ HSV (Hue Saturation Value)

โมเดลสี HSB (Hue, Saturation และ Brightness) หรือที่เรียกกันว่าโมเดล HSV (Hue, Saturation และ Value) กำหนดพื้นที่สีในแง่ขององค์ประกอบสามส่วน (สี ความอิ่มตัว และความสว่าง)

- Hue คือประเภทสี (เช่น สีแดง สีนํ้าเงิน หรือสีเหลือง) ตั้งแต่  $0^{\circ}$  ถึง  $360^{\circ}$  (แต่ละค่าสอดคล้องกับหนึ่งสี เช่น 0 คือสีแดง 45 คือสีส้ม และ 55 คือสีเหลือง)
- Saturation คือความเข้มของสีตั้งแต่ 0 ถึง 100% (0 หมายถึงไม่มีสี ซึ่งเป็นเฉดสีเทาระหว่างขาวดำ และ 100 หมายถึงมีสีเข้มข้น) บางครั้งเรียกว่า “ความบริสุทธิ์”
- Brightness (หรือ Value) คือความสว่างของสีตั้งแต่ 0 ถึง 100% (0 เป็นสีดำ และ 100 อาจเป็นสีขาวหรือสีอิ่มตัวมากหรือน้อย)



รูปที่ 2.9 ระบบสี HSB หรือ HSV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jesse R. Vanderveen, Brian Martin และ Kristopher J. Ooms (2013) นำเสนอการออกแบบและการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์แบบ Littrow ซึ่งราคาไม่แพง และมีความละเอียดสูง เครื่องมือนี้สร้างขึ้นจากวัสดุต้นทุนต่ำและเชื่อมต่อกับโปรแกรม RSpec สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมตามเวลาจริง ทำให้มีประโยชน์สำหรับการฝึกหัดในห้องเรียนและห้องปฏิบัติการ การใช้เกรตติงเลี้ยวเบนขนาด 1,200 เส้น/มม. ทำให้สเปกโตรมิเตอร์มีความละเอียด ( $R = \lambda / \Delta\lambda$ ) 7,500 (0.07 นาโนเมตร) ที่ 525 นาโนเมตร ทำให้สามารถดูรายละเอียดการทดลองทางสเปกโทรสโกปี เช่น การวิเคราะห์สเปกตรัมไอโอดีนไอโอบริค หรือ เส้นแบ่งหลายเส้นในสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ การออกแบบที่เรียบง่ายของสเปกโตรมิเตอร์ ทำให้สามารถเปลี่ยนเกรตติงที่มีขนาดเส้น/มม. ต่างกันได้โดยง่าย [23]

Kyung-Pyo Min, Jaehwan Kim, Kyo D. Song และ Gi-Woo Kim (2019) ประดิษฐ์สเปกโตรมิเตอร์ขนาดเล็กจากอุปกรณ์ออปติก G-Fresnel และดำเนินการโดยอัลกอริทึมการประมวลผลภาพ โดยเน้นที่การแปลงปริภูมิสีในช่วงของแสงที่มองเห็นได้ สเปกโตรมิเตอร์เล็กที่คุ้มค่านี้อประกอบด้วยอุปกรณ์ออปติก G-Fresnel ขนาดกะทัดรัดซึ่งกระจายแสงที่มองเห็นได้มาเป็นภาพสเปกตรัมและแพลตฟอร์มตัวประมวลผลแบบไมโครที่ฝังอยู่ในการประมวลผลภาพอัลกอริทึม ปริภูมิสี RGB ที่ใช้กันทั่วไปในสัญญาณภาพจากเซนเซอร์ภาพแบบ Complementary Metal–Oxide–Semiconductor (CMOS) จะถูกแปลงเป็นปริภูมิสี HSV ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะได้ทั้งข้อมูลความยาวคลื่นและความเข้มของแสงที่ตามองเห็นจากภาพสเปกตรัม [24]

Vijay Kumar, Simranjeet Singh, Sukhmanpreet Kaur, Niraj Upadhyay และ Joginder Singh (2019) ได้ศึกษาการวิเคราะห์สารตกค้างโดยใช้เทคนิค UV- spectrophotometric มีการสังเกตพบว่าการโบฟูแรนถูกดูดซึมโดยธัญพืชอาหาร (ข้าวโพด ข้าวพอง ถั่วลิสง ถั่วเหลือง) เนื่องจากช่วงการดูดซึมอยู่ระหว่าง 84% ถึง 98% โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยอยู่ที่ 0.93 ถึง 0.97 และเมื่อความเข้มข้นสูงจะมีช่วงตกค้างที่สูงขึ้น ตรงกันข้ามกัน เมื่อความเข้มข้นต่ำ (3 ถึง 27%) จะมีช่วงตกค้างต่ำ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยอยู่ที่ 0.95 ถึง 0.98 [25]

พันธ์ทิพย์ หินหุ้มเพชร และ วันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ (2018) ศึกษาสารเคมีตกค้างกลุ่มคาร์บาเมต และตรวจประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคเมลอนญี่ปุ่น โดยเก็บรวบรวมเมลอนญี่ปุ่น 9 ตัวอย่าง จากสวนเพาะปลูกเมลอน 3 แห่ง ในจังหวัดพิษณุโลก วิเคราะห์การตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมต 11 ชนิด ด้วยเทคนิค QuEChERS และตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC-QTOF-MS ปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างสูงสุดที่ตรวจพบ คือ สาร carbaryl ( $0.574 \pm 0.020$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม) รองลงมา คือ สาร aldicarb sulfoxide ( $0.310 \pm 0.622$  มิลลิกรัม/

กิโลกรัม) สารเคมีกำจัดศัตรูพืชตกค้างกลุ่มคาร์บาเมตที่ตรวจพบในตัวอย่างเมลอนญี่ปุ่นมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานสินค้าเกษตรของประเทศไทย เมื่อพิจารณาถึงความเสี่ยงจากการบริโภคเมลอนญี่ปุ่นในเบื้องต้นพบว่าสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ตรวจพบมีค่าดัชนีบ่งชี้อันตรายอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ [26]

วันสนันท์ วัฒนสุกุล (2016) พัฒนาแถบสีเพื่อใช้ตรวจวัดระดับของการปนเปื้อนจากสารตกค้างโดยใช้ชุดทดสอบจีทีเป็นเครื่องมือในการตรวจ โดยสีจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในตัวอย่าง จากการพัฒนาแถบสีจากการตกค้างของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต 7 ชนิด วัดค่าสีในระบบ RGB พบว่า สารคลอไพริฟอส, สารคาร์บาริล, สารไดโครวอท และสารเมโทมิล สามารถสร้างเป็นแถบสีให้สีเหลืองถึงสีน้ำตาลแดงโดยแถบสีของสารทั้ง 4 ชนิด สามารถบ่งชี้ความเข้มข้นของสารคลอไพริฟอสที่ 0.5 – 8 ppm, สารคาร์บาริลที่ 0.05 – 17 ppm, สารไดโครวอทที่ 0.005 – 1.0 ppm และสารเมโทมิลที่ 0.5 -11 ppm ในขณะที่สารคาร์โบซัลแฟน, โพรพิโนฟอส และสารมาลาไทออนไม่สามารถสร้างแถบสีได้เนื่องจากความเข้มของสีที่ได้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยจึงไม่สามารถแยกด้วยตาเปล่าได้ [27]

ณภัทร จันพิริกษ์, รุ่งติญากาญจน์ พงษ์สุระ (2018) ศึกษาสารคาร์โบซัลแฟนตกค้างในผักคะน้าและสำรวจ ทักษะคนคิด และพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในพื้นที่ปลูกผักตบชวา โพนยาง อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดศรีสะเกษ รวมทั้งประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคผักคะน้าของกลุ่มประชาชนผู้เลือกซื้อผักคะน้าจากตลาด โดยทำการเก็บตัวอย่างผักคะน้าหลังการฉีดพ่นที่ระยะเวลา 1, 7 และ 10 วัน และเปรียบเทียบปริมาณการตกค้างของสารคาร์โบซัลแฟนในผักคะน้าที่ผ่านการล้างด้วยน้ำเปล่าพบว่าปริมาณสารคาร์โบซัลแฟนตกค้างในผักคะน้ามีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บเกี่ยวหลังการฉีดพ่น ผักคะน้าที่ไม่ผ่านการล้างด้วยน้ำเปล่ามีปริมาณสารคาร์โบซัลแฟนตกค้างเท่ากับ 12.20, 1.74 และ 1.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับและผักคะน้าที่ผ่านการล้างด้วยน้ำเปล่า มีปริมาณสารคาร์โบซัลแฟนตกค้างเท่ากับ 2.70, 1.20 และ 1.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งทุกตัวอย่างผักคะน้าพบปริมาณสารคาร์โบซัลแฟนตกค้างมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุดที่ยอมรับได้ และการล้างผักคะน้าด้วยน้ำเปล่ามีประสิทธิภาพในการลดปริมาณการตกค้างของสารคาร์โบซัลแฟน คิดเป็นร้อยละ 28.30 – 77.87 [28]

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการ

#### 3.1 อุปกรณ์การทดลองและสารเคมี

1. เครื่องยิววี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. เครื่องวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
3. เครื่องหมุนเหวี่ยง
4. เครื่องเขย่าสาร
5. เครื่องชั่งสาร
6. คิวเวทพลาสติก
7. คิวเวทควอตซ์
8. หลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง
9. ขวดรูปชมพู่
10. ปิเปต (10 ml)
11. ไมโครปิเปต (100  $\mu$ l - 1000  $\mu$ l)
12. บีกเกอร์
13. หลอดหยด
14. ขวดวัดปริมาตร (250 ml, 50 ml)
15. กรวยกรองแก้ว
16. แท่งแก้วคนสาร
17. สมาร์ทโฟน (Samsung รุ่น A50)
18. น้ำ DI
19. คาร์โบซัลแฟน (Carbosulfan,  $C_{20}H_{32}N_2O_3S$ ) 20 %w/v
20. ต่างทับทิม (Potassium Permanganate,  $KMnO_4$ )
21. อะซิโตนไนไตรล์ (Acetonitrile,  $CH_3CN$ )
22. กรดอะซิติก (Acetic Acid,  $CH_3COOH$ )
23. แมกนีเซียมซัลเฟต แอนไฮไดรรัส (Magnesium sulfate anhydrous,  $MgSO_4$ )
24. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride,  $NaCl$ )
25. ผักคะน้า (Thai kale)

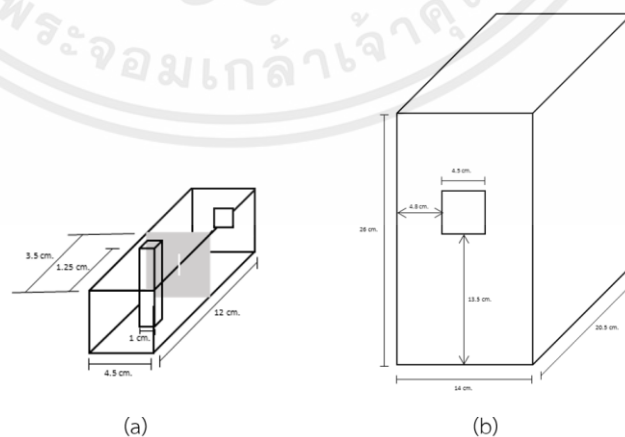
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 อุปกรณ์การประดิษฐ์

1. ก่องโฟม
2. แผ่นโฟมหนา 8 mm
3. หลอดไฟลูออเรสเซนต์ 4 วัตต์ (T5 4W)
4. หลอดไฟอัลตราไวโอเล็ต 4 วัตต์ (T5 4W)
5. สลิตเดี่ยว
6. แผ่นพีวีเจอร์บอร์ดสีดำ
7. เทปกาวสีดำ
8. เทปพันสายไฟ
9. แผ่นเกรตติ้ง
10. แผ่นโฟมยาง EVA

### 3.3 การออกแบบอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพสเปกตรัม

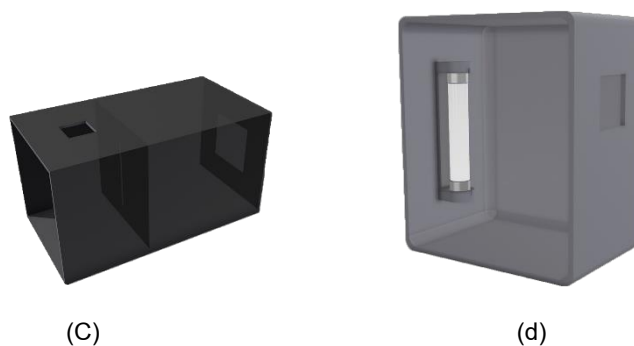
การออกแบบอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพสเปกตรัมใช้หลักการเดียวกับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณของแสงและค่า intensity หรือความเข้มแสงในช่วงรังสียูวีจนถึงช่วงแสงขาวที่เกิดจากทั้งการทะลุผ่าน การส่องผ่าน และการสะท้อนของวัสดุตัวอย่างที่ถูกวางไว้ในตัวเครื่องมือ โดยที่แต่ละความยาวคลื่นตลอดช่วงการวัดจะมีความสัมพันธ์กับทั้งในเชิงปริมาณ และชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ โดยการเปรียบเทียบกับ สารละลายมาตรฐาน (standard solution) ที่ทราบค่าและแสดงผลเป็นกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและช่วงความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงมีการออกแบบอุปกรณ์ให้มีความคล้ายกับเครื่องต้นแบบสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ดังนี้



รูปที่ 3.1 การออกแบบสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาตัวต้นแบบ

(a) ส่วนอุปกรณ์ (b) ส่วนกล่องควบคุมแสงรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 จำลองการออกแบบสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาตัวต้นแบบ 3 มิติ

(c) ส่วนอุปกรณ์ (d) ส่วนกล่องควบคุมแสงรบกวน

### 3.4 การออกแบบอุปกรณ์และการประดิษฐ์

3.4.1 ออกแบบอุปกรณ์ตัวต้นแบบดังรูปที่ 3.1 (a) ตัดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำแบ่งเป็น 2 ส่วน ขนาดกว้าง 4.5 เซนติเมตร ยาว 3.5 เซนติเมตรและ 8.5 เซนติเมตร ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเข้าด้วยกันเป็นทรงสี่เหลี่ยม

3.4.2 เจาะรูสำหรับใส่สารตัวอย่างที่มีช่องขนาดกว้างและยาวเท่ากับ 1 เซนติเมตร บนชิ้นส่วนที่ยาว 3.5 เซนติเมตร โดยวัดจากขอบปลายทรงสี่เหลี่ยมด้านใดด้านหนึ่ง

3.4.3 ตัดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำขนาดกว้างและยาวเท่ากับ 4.5 เซนติเมตร สำหรับแนบแผ่นสลิตเดี่ยวระหว่างรอยต่อของชิ้นส่วนจากข้อ 3.4.1 และ 3.4.2 พร้อมทั้งเจาะรูเพื่อเว้นช่องระยะของสลิตขนาดความกว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร และประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกันทั้งหมด

3.4.4 ตัวอุปกรณ์ป้องกันการรบกวนจากแสงใช้กล่องโฟมสำเร็จรูปขนาดความกว้าง ความยาว ความสูงเท่ากับ 14x20.5x26 เซนติเมตร เจาะรูขนาดความกว้างและยาวเท่ากับ 4.5 ที่ด้านความสูงของกล่อง 1 ด้านเพื่อติดแผ่นเกรตติง ดังรูป 3.1 (b)

3.4.5 ด้านในและฝาของกล่องติดแผ่นโฟมยาง EVA เพื่อป้องกันแสงรบกวน

3.4.6 ด้านตรงข้ามของด้านที่เจาะรูติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงที่ตำแหน่งกึ่งกลางของด้านความสูง

3.4.7 นำส่วนประกอบทั้งหมดประกอบเข้าด้วยกันภายในกล่อง ที่ทำหน้าที่เหมือนกับส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จริง

3.4.8 ทดลองโดยใช้โทรศัพท์มือถือวางในแนวนอนให้กล้องแนบกับช่องถ่ายภาพของควบคุมแสง จากนั้นถ่ายภาพสเปกตรัมของแสง

3.4.9 เมื่อได้ตำแหน่งที่แน่นอนสำหรับการวางกล้องสมาร์ทโฟนแล้ว จัดทำฐานที่วางเพื่อไม่ให้ Smartphone เกิดการขยับตำแหน่งระหว่างการทดลอง



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์เก็บภาพสเปกตรัมที่ประดิษฐ์ขึ้น

- (a) อุปกรณ์รับแสง (b) กล่องควบคุมแสงรบกวนและแหล่งกำเนิดแสง  
(c) ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการใช้งาน (d) ติดตั้งอุปกรณ์และตำแหน่งการถ่ายภาพ

### 3.5 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของเครื่องสเปกตรัมคือ การใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดอัลตราไวโอเลตฉายแสงในช่วงความยาวคลื่น visible เมื่อแสงส่องผ่านไปยังสารตัวอย่างที่บรรจุใน cuvette เกิดการเลี้ยวเบนทำให้เกิดแถบมืดแถบสว่างของแสงที่รัว  $n=0$  ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีความเข้มแสงมากที่สุด จากนั้นเดินแสงผ่านไปยังแผ่นเกรตติ้งที่ทำหน้าที่เกรตแสงออกเป็นสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นต่างๆ จากนั้นใช้กล้องสมาร์ทโฟนเพื่อรับภาพสเปกตรัมที่เกิดขึ้นและนำไปวิเคราะห์ความยาวคลื่นในแต่ละช่วงต่อไป

### 3.6 แอปพลิเคชันที่ใช้ในการเก็บภาพสเปกตรัม

เนื่องจากแอปพลิเคชันกล้องที่ติดมากับตัวเครื่องสมาร์ทโฟน ไม่สามารถปรับค่า ISO, Focus, White Balance และ Speed Shutter ได้ จึงเลือกใช้แอปพลิเคชันเสริมมาช่วยในการเก็บภาพสเปกตรัม โดยแอปพลิเคชันที่เลือกใช้คือ HD Camera 2023 เป็นแอปพลิเคชันที่สามารถปรับค่าต่างๆข้างต้นให้คงที่ตลอดการทดลองได้ อีกทั้งยังมีอีกหลายคุณสมบัติที่สามารถนำมาปรับใช้กับการถ่ายภาพสเปกตรัมได้

### 3.7 การวิเคราะห์ภาพสเปกตรัมของแสงด้วยโปรแกรม MATLAB

นำภาพที่ได้จากการทดลองถ่ายภาพสเปกตรัมของแสงไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB โดยเลือกใช้ฟังก์ชัน Image Processing สำหรับการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล เขียนฟังก์ชันการใช้งานโดยให้นำเข้ารูปภาพให้โปรแกรมอ่านค่าสีตามระบบสี RGB จากนั้นแปลงค่าสีเป็นระบบสี HSV และนำค่า V ที่ได้มาคำนวณค่าการดูดกลืนแสงเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสาร

#### 3.7.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม MATLAB

3.7.1.1 นำไฟล์ภาพถ่ายสเปกตรัมของ Blank solution เข้าโปรแกรม MATLAB ใช้ฟังก์ชัน crop กำหนดขนาดรูปภาพให้คงที่เพื่อนำไปเขียนฟังก์ชันประมวลผลรูปภาพ

3.7.1.2 นำเข้าไฟล์รูปภาพ Blank solution ที่ต้องการวิเคราะห์ลงในโปรแกรม MATLAB ที่ได้เขียนฟังก์ชันการประมวลผลรูปภาพแล้ว

3.7.1.3 รูปภาพผ่านฟังก์ชันลดค่า noise

3.7.1.4 รูปภาพผ่านฟังก์ชันกำหนดขนาดรูปภาพที่ได้จากข้อที่ 3.7.1.1

3.7.1.5 รูปภาพที่ลดค่า noise และกำหนดขนาดรูปภาพแล้ว จะผ่านฟังก์ชัน flip เพื่อเปลี่ยนฝั่งของภาพตามแนวแกน x โดยให้สเปกตรัมของสีน้ำเงินอยู่ฝั่งซ้ายของภาพ

3.7.1.6 รูปภาพจากข้อ 3.7.1.5 ถูกอ่านค่าสีตามระบบสี RGB และกำหนด pixel ของสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน

3.7.1.7 ข้อมูลค่าสีตามระบบสี RGB ถูกแปลงเป็นค่าสีตามระบบสี HSV ด้วยฟังก์ชันสำเร็จรูปจาก Image Processing Tools

3.7.1.8 แปลงค่า pixel เป็นค่าความยาวคลื่น โดยถ้าใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (เดย์ไลท์) จะกำหนดค่าความยาวคลื่นที่แถบสีน้ำเงินและสีแดง และถ้าใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไฟอัลตราไวโอเล็ตจะกำหนดค่าความยาวคลื่นที่แถบสีน้ำเงินและสีเขียว

ตารางที่ 3.1 การกำหนดค่าความยาวคลื่นของแถบสีน้ำเงิน เขียวและแดง [29]

แถบสี	น้ำเงิน	เขียว	แดง
Wavelength (nm)	467.5	542.5	682.5

**3.7.1.9** ปรับค่าความยาวคลื่นให้เป็นจำนวนเต็มและหาค่า  $V$  ใหม่ด้วยการทำ interpolation

**3.7.1.10** ประมวลผลภาพถ่ายสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานด้วยวิธีเดียวกับสารละลายที่ไม่มีตัวอย่างที่ต้องการวัดตามลำดับข้อ 3.7.1.2 ถึง 3.7.1.9

**3.7.1.11** นำค่าความยาวคลื่นที่เป็นจำนวนเต็มของสารละลายที่ไม่มีตัวอย่างที่ต้องการวัดและสารละลายมาตรฐานมาเลือกช่วงที่ซ้ำกัน เพื่อนำค่า  $V$  ที่ความยาวคลื่นนั้นๆมาหาค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) แล้วจัดทำกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ที่ความยาวคลื่นหนึ่งของสารละลาย ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ต่อไป

## 3.8 การตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บภาพสเปกตรัม

### 3.8.1 อุณหภูมิหลอดไฟลูออเรสเซนต์

ถ่ายภาพสเปกตรัมโดยเปลี่ยนหลอดไฟลูออเรสเซนต์ที่มีอุณหภูมิต่างกันทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่หลอดเดย์ไลท์ (6500 K) คูลไวท์ (4500 K) และวอร์มไวท์ (3500 K) แล้วนำภาพถ่ายสเปกตรัมที่ได้มาเข้าโปรแกรมประมวลผลเพื่อหาค่า  $V$  สูงสุด จากนั้นเปรียบเทียบความคงที่ของกราฟค่าเฉลี่ย  $V$  สูงสุดของหลอดไฟทั้ง 3 หลอด แล้วเลือกหลอดไฟที่กราฟค่าเฉลี่ย  $V$  สูงสุดมีความคงที่มากที่สุด

### 3.8.2 เวลาในการวอร์มไฟและระยะเวลาในการเก็บภาพสเปกตรัม

ถ่ายภาพสเปกตรัมตั้งแต่เริ่มเสียบปลั๊กของหลอดไฟ (นาฬิกาที่ 0) โดยถ่ายครั้งละ 10 รูป ทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลา 10 นาที นำภาพถ่ายสเปกตรัมที่ได้มาเข้าโปรแกรมประมวลผลเพื่อหาค่า  $V$  สูงสุด จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ยของค่า  $V$  สูงสุดของทุกนาที แล้วนำมาสร้างกราฟระหว่างค่าเฉลี่ยของค่า  $V$  สูงสุดกับเวลา เพื่อเลือกช่วงเวลาที่ค่าเฉลี่ย  $V$  คงที่มากกำหนดเป็นเวลาในการเก็บภาพสเปกตรัม

### 3.8.3 ตำแหน่งการวาง Smartphone

นำข้อมูล pixel สีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดงของรูปภาพที่ถ่ายไว้ในข้อที่ 3.8.2 มาพิจารณาว่า Pixel มีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ (กำหนดให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าไม่เกิน 10%) โดยหลอดไฟลูออเรสเซนต์จะพิจารณาทั้ง 3 สี แต่หลอดยูวีจะพิจารณาเพียงสีน้ำเงิน และสีเขียว

## 3.9 การเตรียมสารละลายในการวิเคราะห์ปริมาณสารด้วยระบบสี RGB และ HSV บนโปรแกรม MATLAB

การเตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆดังตารางที่ 3.2 และ 3.3 โดยตารางที่ 3.3 กำหนดจากค่าปริมาณสารพิษตกค้างมากที่สุด (Maximum Residual limit for pesticide : MRL) ของสารกำจัดศัตรูพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ความเข้มข้นสารละลายต่างหับทิมที่ถูกเจือจางด้วยน้ำ DI

สารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm)			
KMnO <sub>4</sub>	5	10	15	20

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นสารละลายคาร์โบซิลแพนที่ถูกเจือจางด้วยสารละลาย 1% กรดอะซิติก  
ในอะซิโตไนโตรล์

สารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm)			
C <sub>20</sub> H <sub>32</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> S	1	3	5	7

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นสารละลายตัวอย่าง

สารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลาย (ppm)
KMnO <sub>4</sub>	8
C <sub>20</sub> H <sub>32</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> S	2

3.9.1.1 นำตัวอย่างสารละลายที่เตรียมไว้ในแต่ละความเข้มข้นบรรจุใส่คิวเวท

3.9.1.2 นำคิวเวทใช้ร่วมกับอุปกรณ์เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อเก็บภาพสเปกตรัมของแสงที่ได้จากสารตัวอย่าง

3.9.1.3 เมื่อเก็บภาพแล้วนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB

3.9.1.4 นำผลที่ได้จากโปรแกรม MATLAB ไปทำ calibration curve ระหว่างค่าความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ความยาวคลื่นที่กำหนด

### 3.10 การสกัดสารคาร์โบซิลแพนจากตัวอย่างผักคะน้า

#### 3.10.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

3.10.1.1 ซื้อมตัวอย่างผักคะน้าจากตลาด แบ่งตัวอย่างเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน โดยส่วนแรกเป็นผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแพน และส่วนที่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแพน

3.10.1.2 นำตัวอย่างผักคะน้าทั้งหมดล้างด้วยน้ำเปล่า และแบ่งส่วนที่นำไปแช่คาร์โบซิลแพน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตากให้แห้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง

3.10.1.3 ทำการหั่นตัวอย่างผักคะน้าให้เป็นชิ้นเล็กๆ และนำไปปั่นเครื่องด้วยปั่น

3.10.1.4 นำตัวอย่างฝักค่น้ำที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแฟน และส่วนที่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแฟนไปสกัดเพื่อวิเคราะห์หาสารตกค้างต่อไป

### 3.10.2 ขั้นตอนการสกัด

ในการศึกษานี้ทำการเตรียมตัวอย่าง ณ ห้องปฏิบัติการ อาคารปฏิบัติการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง โดยการสกัดสารจากตัวอย่างฝักค่น้ำเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารคาร์โบซิลแฟน โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.10.2.1 ชั่งตัวอย่าง 4.5 กรัมใส่หลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 15 มิลลิลิตร

3.10.2.2 เติมสารละลาย 1% กรดอะซิติกในอะซิโตไนโตรล ปริมาตร 5.5 มิลลิลิตร ปิดฝาแล้วเขย่าด้วยมือและเครื่องเขย่าสารอย่างละ 1 นาที

3.10.2.3 เติมโซเดียมคลอไรด์ 0.3 กรัม และแมกนีเซียมซัลเฟตแอนไฮดรัส 1.2 กรัม เขย่าด้วยมือและเครื่องเขย่าสารประมาณ 2 นาที

3.10.2.4 นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกชั้นที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง

3.10.2.5 นำเอาสารละลายส่วนที่ใสด้านบนจากหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 1% กรดอะซิติกในอะซิโตไนโตรล ให้ได้สารละลาย 10 มิลลิลิตร

3.10.2.6 เตรียมสารที่สกัดเสร็จแล้วนำไปวิเคราะห์หาสารตกค้างด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้น

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 ระบบถ่ายภาพสเปกตรัม

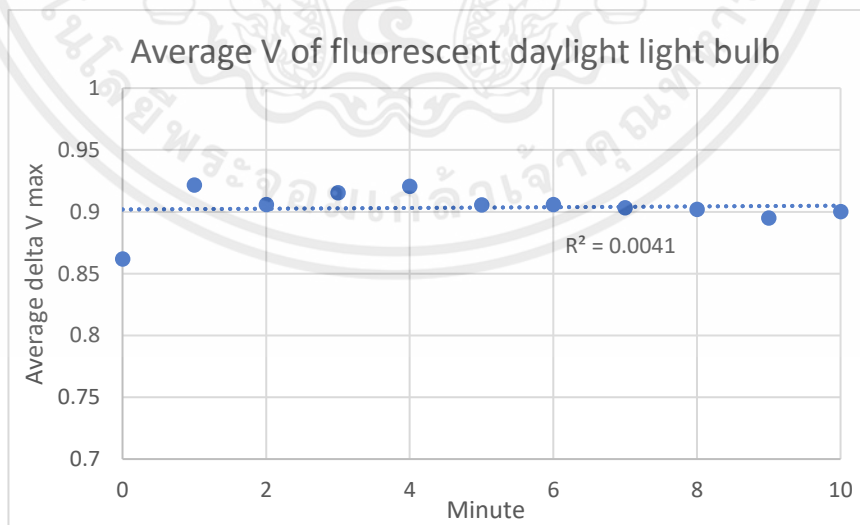
ทางคณะผู้จัดทำได้ประดิษฐ์อุปกรณ์ถ่ายภาพสเปกตรัมตามหลักการของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยมีส่วนประกอบได้แก่ กล้องควบคุมควบคุมแสง แหล่งกำเนิดแสง ช่องใส่สารตัวอย่าง ช่องสลิตเดี่ยว เกรตติง ช่องใส่อุปกรณ์ถ่ายภาพ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถใส่อุปกรณ์รับภาพและถ่ายภาพสเปกตรัมมาวิเคราะห์ได้

#### 4.2 เก็บภาพสเปกตรัม

การเก็บภาพสเปกตรัมด้วยแอปพลิเคชัน HD Camera 2023 โดยตั้งค่าการถ่ายภาพดังนี้ ค่า ISO = 1600, Focus = 0 , White Balance เป็นโหมด Daylight, Speed Shutter เป็น 0.1 วินาที และตั้งค่าให้แอปพลิเคชันถ่ายภาพ 10 ภาพในหนึ่งครั้งที่กดถ่าย เพื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่จะอ่านได้จากโปรแกรม MATLAB มาเลือกข้อมูล เป็นการป้องกันการเกิดข้อมูลที่ผิดพลาดจากภาพที่ถ่ายได้เมื่อหลอดไฟกระพริบ ซึ่งจากการทดลองถ่ายภาพสเปกตรัมด้วยการตั้งค่าดังกล่าวพบว่าสามารถถ่ายภาพสเปกตรัมมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ได้

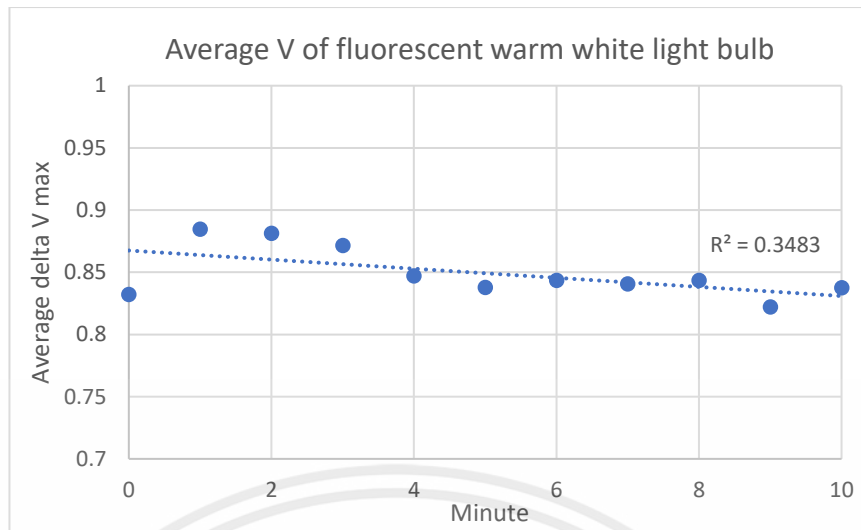
#### 4.3 ผลการตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บภาพสเปกตรัม

##### 4.3.1 อุณหภูมิหลอดไฟลูออเรสเซนต์

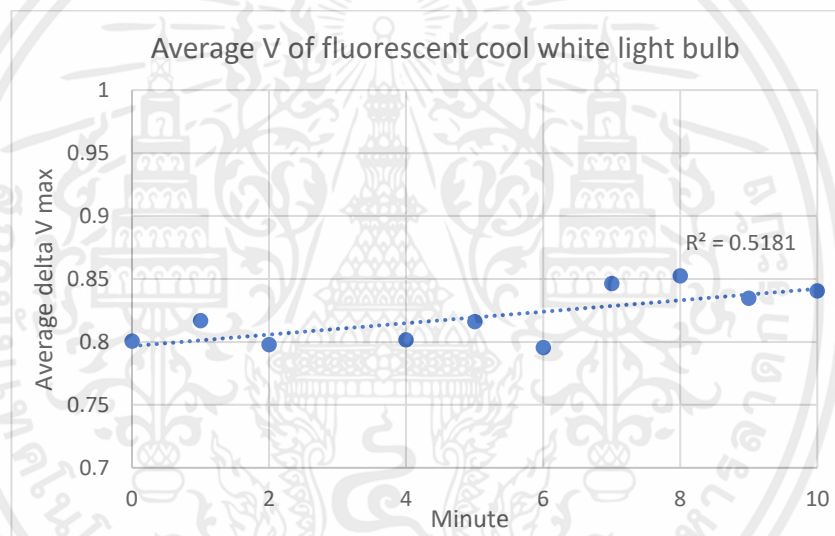


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่า V สูงสุดเฉลี่ยของหลอดไฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า V สูงสุดเฉลี่ยของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์วอร์มไวท์



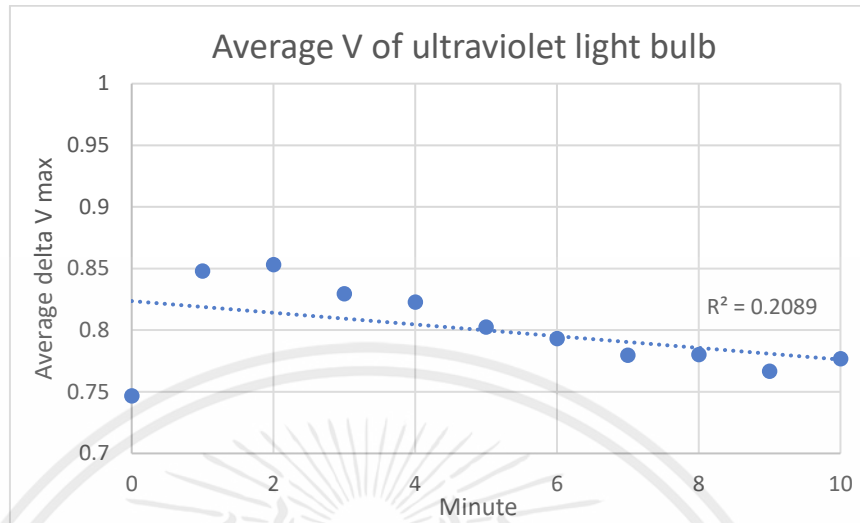
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า V สูงสุดเฉลี่ยของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์คูลไวท์

จากรูปที่ 4.1 สังเกตได้ว่าค่า  $R^2 = 0.004$  ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และเส้นแนวโน้ม (Trendline) มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงตามแนวแกน x สรุปได้ว่าหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์มีความคงที่ของค่าเฉลี่ย V สูงสุดมากที่สุดจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ทั้ง 3 อุณหภูมิ จึงเลือกใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์ในการทดลองถ่ายภาพสเปกตรัมของสารละลายต่างที่บิทิมมาตรฐาน

#### 4.3.2 เวลาในการวอร์มไฟและระยะเวลาในการเก็บภาพสเปกตรัม

จากรูปที่ 4.1 สังเกตได้ว่าค่า V สูงสุดเฉลี่ยของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์เริ่มคงที่ที่นาที่ที่ 2 และเมื่อเวลาผ่านไปถึงนาที่ที่ 8 จนถึงนาที่ที่ 10 หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์เริ่มมีอุณหภูมิสูง ถึงแม้ว่าค่า V สูงสุดเฉลี่ยยังคงมีแนวโน้มคงที่แต่ทางคณะผู้วิจัยเลือกช่วงเวลาในการเก็บภาพ

สเปกตรัมตั้งแต่วันที่ 2 ถึง 8 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเสื่อมสภาพ และยังคงประสิทธิภาพในการเป็นแหล่งกำเนิดแสงได้จนจบการทดลอง



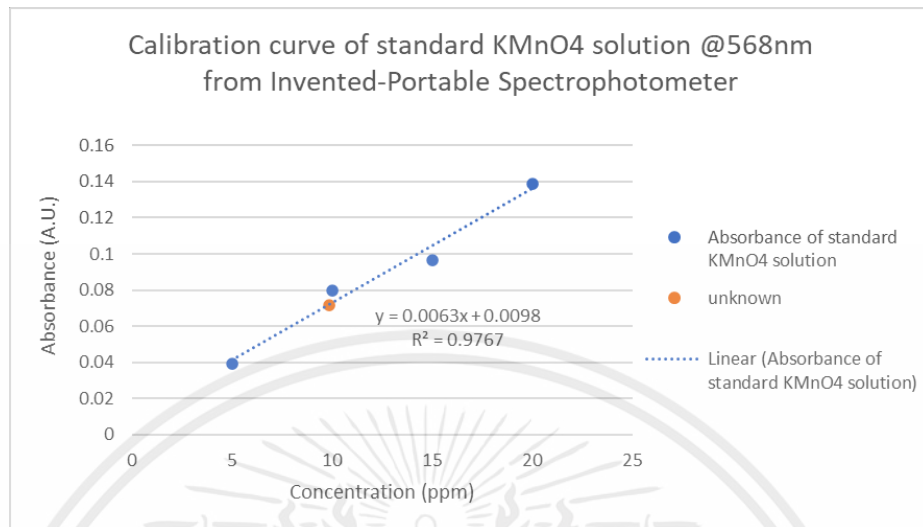
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่า V สูงสุดเฉลี่ยของหลอดไฟอัลตราไวโอเล็ต

จากรูปที่ 4.4 สังเกตได้ว่าค่า V สูงสุดเฉลี่ยของหลอดไฟอัลตราไวโอเล็ตมีค่าสูงที่สุดที่นาทีที่ 2 และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นจึงเลือกช่วงเวลาในการเก็บภาพสเปกตรัมที่นาทีที่ 2 ถึง 8 เช่นเดียวกับหลอดไฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์ เพื่อให้แสงสว่างที่ได้ เพียงพอต่อการถ่ายภาพสเปกตรัม

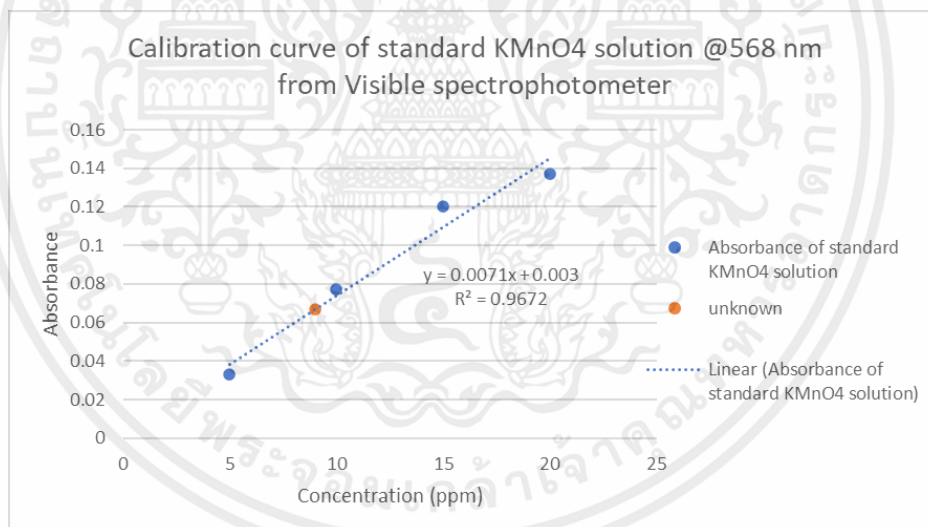
#### 4.3.3 ตำแหน่งการวาง Smartphone

จากการทดลองพบว่า pixel สีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง ของหลอดไฟหลอดไฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์ และ pixel สีน้ำเงิน และสีเขียว ของหลอดอัลตราไวโอเล็ต ตั้งแต่วันที่ 0 ถึง 10 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 10% ของค่าเฉลี่ย จึงสรุปได้ว่าตำแหน่งการวางและฐานที่วางสมาร์ทโฟนมีความคงที่ในการถ่ายภาพสเปกตรัม

#### 4.4 ผลการทดลองวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายต่างทับทิม กับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)



รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต่างทับทิมที่ความยาวคลื่น 568 นาโนเมตร (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้น)

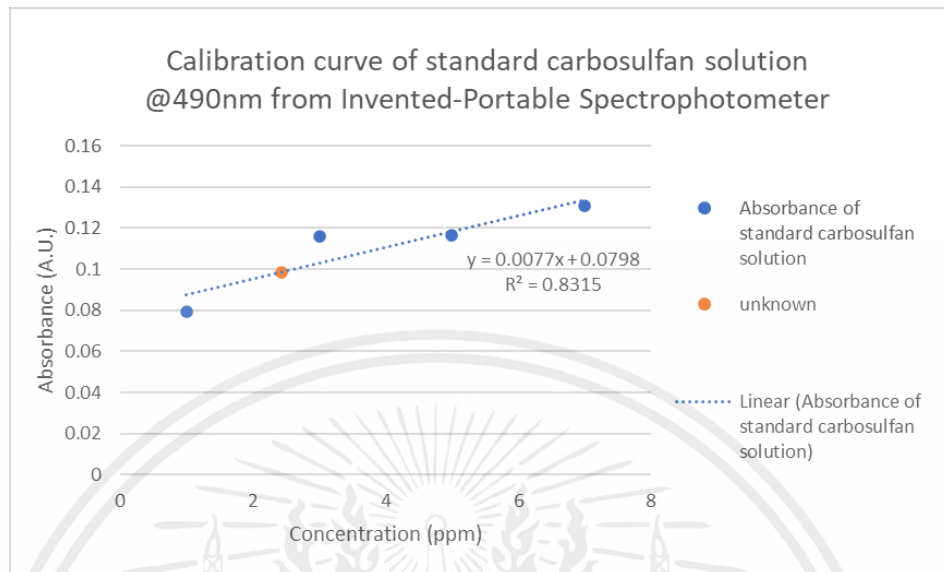


รูปที่ 4.6 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต่างทับทิมที่ความยาวคลื่น 568 นาโนเมตร (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องวิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์)

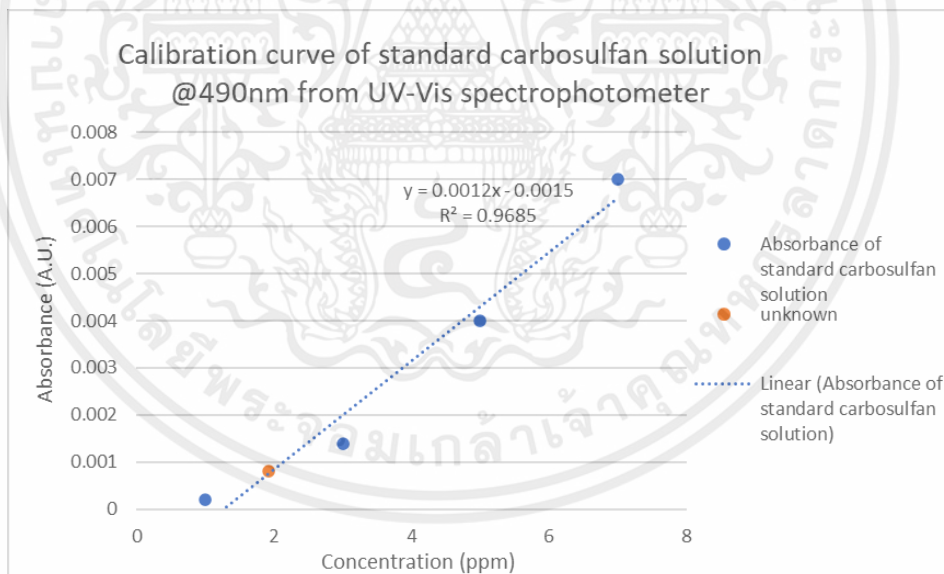
จากการเปรียบเทียบรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่ากราฟมาตรฐานของสารละลายต่างทับทิมมาตรฐานที่ได้จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของสารละลาย unknown เท่ากับ 22.88% และจากเครื่องวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีค่าเท่ากับ 12.68% และกราฟมาตรฐานจากทั้งสองเครื่องมีแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ผลการทดลองวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายคาร์โบซัลแฟนกับค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)



รูปที่ 4.7 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาร์โบซัลแฟนที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้น)

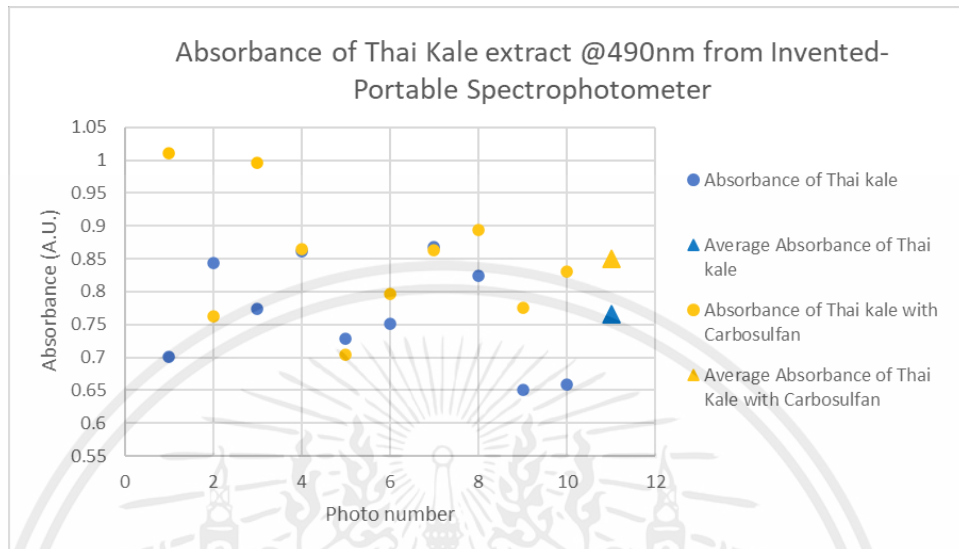


รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาร์โบซัลแฟนที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์)

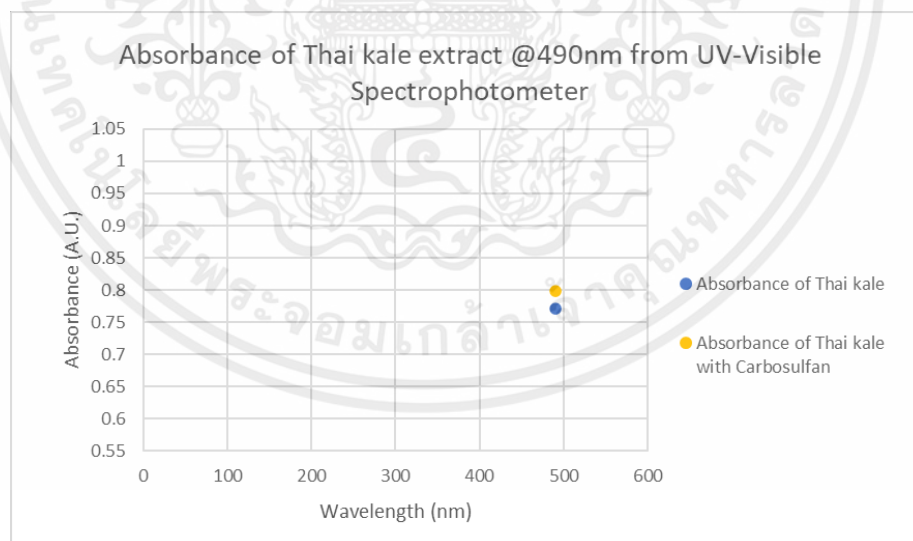
จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่ากราฟมาตรฐานของสารละลายคาร์โบซัลแฟนมาตรฐานที่ได้จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของสารละลาย unknown เท่ากับ 21.88% และจากเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีค่าเท่ากับ 4.17% และกราฟมาตรฐานจากทั้งสองเครื่องมีแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดลองวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างสารสกัดผักคะน้า (Thai kale) ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซัลแฟนกับสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซัลแฟน



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างสารสกัดผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่สารคาร์โบซัลแฟนกับสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารคาร์โบซัลแฟน (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้น)



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างสารสกัดผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่สารคาร์โบซัลแฟนกับสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารคาร์โบซัลแฟน (วัดค่าการดูดกลืนด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่ากราฟเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่างสารสกัดผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่สารคาร์โบซัลแฟนกับสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารคาร์โบซัลแฟนที่ได้จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นและจากเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ มีความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงที่เหมือนกันคือค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารคาร์โบซัลแฟนมีค่ามากกว่าสารสกัดผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่สารคาร์โบซัลแฟน และทั้งสองกราฟยังมีค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดทั้งสอง ที่ใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไฟอัลตราไวโอเล็ตสามารถตรวจหาสารคาร์โบซัลแฟนที่ตกค้างในผักคะน้าได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นและคำสั่งการประมวลผลภาพที่เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB สามารถถ่ายและวิเคราะห์ภาพสเปกตรัมของสารละลายต่างทับทิมมาตรฐาน สารละลายคาร์โบซิลแฟนมาตรฐาน และสารสกัดจากผักคะน้าได้ โดยในการทดลองใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์เป็นแหล่งกำเนิดแสงในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างทับทิมมาตรฐาน และใช้หลอดอัลตราไวโอเล็ตเป็นแหล่งกำเนิดแสงในการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์โบซิลแฟนมาตรฐานและสารสกัดจากผักคะน้า โดยสเปกตรัมของสารละลายต่างทับทิมมาตรฐานพิจารณาที่ความยาวคลื่น 568 นาโนเมตร ในส่วนของสารละลายคาร์โบซิลแฟนมาตรฐานและสารสกัดจากผักคะน้าพิจารณาที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร เมื่อวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวและสร้างเป็นกราฟมาตรฐานพบว่าค่าการดูดกลืนแสงแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแต่การทำนายความเข้มข้นของสารละลาย unknown ยังมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่สูง และพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่คาร์โบซิลแฟนมีค่ามากกว่าตัวอย่างสารสกัดผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่คาร์โบซิลแฟน และการสกัดผักคะน้าด้วยวิธีการดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.10 สามารถสกัดสารคาร์โบซิลแฟนออกมาเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับวัสดุที่ใช้ทำเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาให้มีความแข็งแรง ทนทาน และปรับขนาดของเครื่องให้กระทัดรัดมากขึ้น
2. ในช่วงแรกของการทดลองถ่ายภาพด้วยแอปพลิเคชันกล้องที่ติดตั้งมากับสมาร์ทโฟนพบว่าค่าความสว่าง (Value, V) ของภาพสเปกตรัมมีค่ามากกว่า 1 ทำให้ข้อมูลดังกล่าวไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ จึงเลือกใช้แอปพลิเคชัน HD Camera 2023 มาช่วยในการตั้งค่าการถ่ายภาพให้คงที่ตลอดการทดลอง แต่ภาพของสเปกตรัมที่ได้ยังมีความละเอียดค่อนข้างต่ำ เนื่องด้วยข้อจำกัดความละเอียดของกล้องสมาร์ทโฟน จึงอยากเสนอให้เปลี่ยนชนิดของอุปกรณ์เก็บภาพสเปกตรัมให้มีความละเอียดมากขึ้น และสามารถติดตั้งกับกล่องควบคุมแสงได้อย่างถาวร เช่นกล้องเว็บแคม หรือกล้องดิจิทัล
3. ควรปรับหรือเพิ่มฟังก์ชันในโปรแกรม MATLAB ให้สามารถวิเคราะห์ภาพถ่ายสเปกตรัมได้รูปได้หลายรูปพร้อมกัน
4. พัฒนาให้สามารถใช้ AI มาช่วยในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า หลากหลายชนิดมากขึ้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] “สารกำจัดศัตรูพืช”  
[https://www.pharmaco.vet.ku.ac.th/pdf\\_file/Pesticide\\_20161020.pdf](https://www.pharmaco.vet.ku.ac.th/pdf_file/Pesticide_20161020.pdf) (accessed Dec. 14, 2022).
- [2] “Carbamate - Wikipedia.”  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Carbamate> (accessed Dec. 14, 2022).
- [3] “Carbosulfan / คาร์โบซัลแฟน - Food Wiki | Food Network Solution.”  
<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2175/carbosulfan>
- [4] “Carbosulfan - Wikipedia.”  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Carbosulfan> (accessed Dec. 14, 2022).
- [5] “Carbosulfan.”  
<http://www.chemtrack.org/chem-detail.asp?ID=07643&CAS=&Name=> (accessed Dec. 14, 2022).
- [6] “กรมวิชาการเกษตร.”  
<https://www.doa.go.th/> (accessed May 17, 2023).
- [7] “ข่าวร้ายปลายปี 2563 ไทยแพนพบผักผลไม้ 58.7% พบสารพิษตกค้างเกินมาตรฐาน – ThaiPAN.”  
<https://thaipan.org/highlights/2283> (accessed May 17, 2023).
- [8] “แสงและสมบัติของแสง ก่อให้เกิดปรากฏการณ์อะไรบ้าง และมีความสำคัญอย่างไร.”  
<https://ngthai.com/science/31390/light-and-properties/>
- [9] “สเปกตรัม - LESA: ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์.”  
<http://www.lesa.biz/astromy/light/spectrum>
- [10] “การเลี้ยวเบนและโพลาไรเซชัน”  
<http://science.sut.ac.th/physics/courses/105102/54T3/lecture/sec2/PL%2016.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] จิราพันธ์ ดรชนิเพชร, “สมบัติทางกายภาพและโครงสร้างของแก้วบิสมัทเจือด้วยโครเมียม = Physical properties and structures of chromium doped bismuth glasses,” 2011. <http://cmuir.cmu.ac.th/handle/6653943832/35111>
- [12] “บทที่ 3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Energy Conservation for Lighting System),” คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน) พ.ศ. 2561 [https://image.makewebeasy.net/makeweb/0/mqk9PemK3/Document/Part\\_2\\_Chapter\\_3\\_%E0%B8%9B%E0%B8%B5\\_2561.pdf?v=202012190947](https://image.makewebeasy.net/makeweb/0/mqk9PemK3/Document/Part_2_Chapter_3_%E0%B8%9B%E0%B8%B5_2561.pdf?v=202012190947)
- [13] “Bay 41 Lighting\_Rev1”.
- [14] “หลอดไฟยูวีฆ่าเชื้อ มีประโยชน์มากกว่าที่คุณคิด | YLN Electric.” <https://www.ylne.co.th/%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%94%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%A2%E0%B8%B9%E0%B8%A7%E0%B8%B5/>
- [15] Y. Fan, J. Li, Y. Guo, L. Xie, and G. Zhang, “Digital image colorimetry on smartphone for chemical analysis: A review,” *Measurement (Lond)*, vol. 171, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.measurement.2020.108829.
- [16] “Materials Innovation Center.” [http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id\\_sub=41&id=46](http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=41&id=46)
- [17] “เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์-spectrophotometer.” <https://www.spscience.com/>
- [18] “หลักการและการประยุกต์ใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer).” <https://www.entech.co.th/%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89-spectrophotometer/>
- [19] W. Wongniramaikul, W. Limsakul, and A. Choodum, “A biodegradable colorimetric film for rapid low-cost field determination of formaldehyde contamination by digital image colorimetry,” *Food Chem*, vol. 249, pp. 154–161, May 2018, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.01.021.

- [20] R. Zeng, C. M. Mannaerts, and Z. Shang, “A low-cost digital colorimetry setup to investigate the relationship between water color and its chemical composition,” *Sensors*, vol. 21, no. 20, Oct. 2021, doi: 10.3390/s21206699.
- [21] ศศิภา เต็กอวยพร, “การพัฒนากระบวนการวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายเพื่อตรวจติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขนมปังกรอบ,” 2011.
- [22] “Image Processing Toolbox Documentation.”  
[https://www.mathworks.com/help/images/index.html?s\\_tid=CRUX\\_topnav](https://www.mathworks.com/help/images/index.html?s_tid=CRUX_topnav)
- [23] J. R. Vanderveen, B. Martin, and K. J. Ooms, “Developing tools for undergraduate spectroscopy: An inexpensive visible light spectrometer,” *J Chem Educ*, vol. 90, no. 7, pp. 894–899, Jul. 2013, doi: 10.1021/ed300396x.
- [24] K. P. Min, J. Kim, K. D. Song, and G. W. Kim, “A G-fresnel optical device and image processing based miniature spectrometer for mechanoluminescence sensor applications,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 16, Aug. 2019, doi: 10.3390/s19163528.
- [25] V. Kumar, S. Singh, and S. Kaur, “Spectrophotometric Interaction of Carbofuran on Food Grains Biodegradation of pesticides under the stress of organic matter View project Bioinformatics View project,” 2019.  
<https://www.researchgate.net/publication/339000529>
- [26] พันธุ์ทิพย์ หินหุ้มเพชร และ วันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ, “Evaluation of Carbamate Pesticide Residues in Melons,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(วท.)*, 2018.
- [27] วันสนันท์ วัฒนสุกุล, “การพัฒนาแถบเทียบสีจากชุดจีทีเพื่อตรวจปริมาณสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในผัก GT-test based Visual Color Chart to Detect Pesticide Residues in Vegetables,” 2016.
- [28] “เล่มโปรเจค-คาร์โบซัลแฟน-ผักคะน้า- 2561-สวล. ม.อ”.
- [29] “Visible Light Spectrum Overview and Chart.”  
<https://www.thoughtco.com/the-visible-light-spectrum-2699036> (accessed May 17, 2023).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก ก.**

**การตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บภาพสเปกตรัม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงค่า Pixel และค่า V มากที่สุด ของหลอดไฟลูออเรสเซนต์เดย์ไลท์

DAYLIGHT				
min	Pixel R	Pixel G	Pixel B	Vmax
0	227	163	62	0.8670232
0	227	163	64	0.8606061
0	228	163	62	0.8639929
0	229	164	62	0.8472371
0	228	163	62	0.8757576
0	228	163	62	0.8672014
0	227	163	64	0.8645276
0	227	163	63	0.8590018
0	230	163	62	0.855615
0	229	163	63	0.858467
1	222	160	59	0.9386809
1	224	161	62	0.9222816
1	223	160	60	0.9160428
1	216	154	53	0.915508
1	221	158	58	0.9215686
1	223	158	59	0.9249554
1	223	159	58	0.9347594
1	222	159	58	0.9114082
1	221	159	60	0.8950089
1	224	160	58	0.9360071
2	229	163	62	0.8966132
2	226	163	66	0.8973262
2	225	163	64	0.9090909
2	227	162	62	0.9151515
2	225	163	62	0.8976827
2	228	162	61	0.8946524
2	226	163	62	0.9203209
2	228	163	64	0.9053476
2	226	163	62	0.914795
2	229	163	63	0.9080214
3	225	162	61	0.9090909
3	225	162	62	0.911943
3	226	162	59	0.9110517
3	227	162	62	0.9158645
3	226	163	61	0.9213904

3	228	162	61	0.9130125
3	224	162	61	0.9174688
3	225	162	61	0.9247772
3	225	162	63	0.9106952
3	225	162	61	0.9188948
4	222	160	60	0.9156863
4	223	160	61	0.92959
4	223	160	61	0.912656
4	223	160	59	0.927451
4	224	160	59	0.92959
4	223	160	59	0.9121212
4	223	160	58	0.9076649
4	224	160	60	0.9181818
4	224	160	61	0.9192513
4	224	160	60	0.9331551
5	232	163	62	0.9090909
5	230	163	61	0.913369
5	226	162	62	0.9030303
5	226	163	66	0.9108734
5	228	163	65	0.9
5	225	162	61	0.897861
5	227	163	65	0.9151515
5	231	163	61	0.8975045
5	226	163	65	0.902139
5	227	165	65	0.9076649
6	227	164	62	0.9033868
6	230	164	63	0.9090909
6	227	164	63	0.9099822
6	227	164	65	0.9001783
6	229	164	66	0.9081996
6	226	164	66	0.9076649
6	227	165	67	0.8964349
6	227	165	67	0.9076649
6	227	165	65	0.9037433
6	227	164	66	0.9131907
7	228	165	62	0.9016043
7	227	165	63	0.9048128
7	227	164	64	0.9067736
7	231	165	63	0.8946524
7	228	164	66	0.9064171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	229	165	66	0.8909091
7	228	164	65	0.8950089
7	227	165	64	0.9064171
7	228	165	66	0.9092692
7	223	161	62	0.9176471
8	223	161	62	0.9176471
8	224	162	62	0.8860963
8	225	161	60	0.9035651
8	231	161	62	0.8959002
8	224	162	63	0.9040998
8	224	162	61	0.9017825
8	224	162	61	0.9017825
8	226	161	60	0.9228164
8	225	162	62	0.8946524
8	226	162	60	0.8901961
9	225	162	62	0.8946524
9	226	162	60	0.8901961
9	226	162	62	0.9048128
9	224	162	63	0.8928699
9	226	162	61	0.8860963
9	227	162	60	0.8982175
9	225	162	62	0.873262
9	226	162	65	0.8998217
9	226	162	61	0.9067736
9	225	162	63	0.9039216
10	227	164	62	0.8950089
10	226	163	62	0.9165775
10	227	164	64	0.9092692
10	226	164	63	0.9024955
10	225	164	62	0.8950089
10	231	165	65	0.8944742
10	227	164	62	0.8912656
10	227	164	62	0.9026738
10	227	164	62	0.9026738
10	231	165	63	0.8921569

ตารางที่ ก.2 ตารางแสดงค่า V มากที่สุดเฉลี่ย  
ของหลอดฟลูออโรสเซนต์เดย์ไลท์

DAYLIGHT		
min	AVG Vmax	STD
0	0.861943	0.007703
1	0.921622	0.013179
2	0.9059	0.009077
3	0.915419	0.005153
4	0.920535	0.008821
5	0.905668	0.006422
6	0.905954	0.004998
7	0.903351	0.007994
8	0.901854	0.011394
9	0.895062	0.010152
10	0.90016	0.008159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางแสดงค่า Pixel และค่า V มากที่สุด ของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์วอร์มไวท์

WARM WHITE				
min	Pixel R	Pixel G	Pixel B	Vmax
0	210	164	62	0.828699
0	226	164	63	0.832086
0	210	164	63	0.82246
0	226	165	63	0.840285
0	229	165	63	0.823529
0	226	164	63	0.844563
0	229	164	63	0.837433
0	212	165	63	0.827807
0	226	165	63	0.829768
0	211	165	63	0.834581
1	213	164	63	0.873797
1	227	165	63	0.862745
1	227	165	63	0.910339
1	210	165	63	0.884492
1	213	164	63	0.881283
1	226	165	63	0.894831
1	212	165	62	0.889305
1	226	164	63	0.879857
1	227	164	62	0.886809
1	212	165	63	0.881818
2	212	165	63	0.881818
2	227	165	63	0.862745
2	227	165	63	0.910339
2	210	165	63	0.884492
2	229	168	63	0.890374
2	230	164	64	0.863102
2	207	164	63	0.884314
2	224	165	63	0.882709
2	211	165	63	0.870766
2	225	164	63	0.882531
3	222	160	59	0.864706
3	215	161	59	0.87344
3	223	161	60	0.902496
3	211	161	60	0.875579
3	208	161	59	0.867558

3	210	161	60	0.875223
3	207	160	58	0.877897
3	221	159	57	0.846168
3	221	160	58	0.869875
3	225	159	62	0.862745
4	210	164	64	0.852763
4	231	164	63	0.836898
4	226	165	65	0.840107
4	211	164	63	0.855793
4	225	164	63	0.855437
4	228	163	62	0.852763
4	226	165	63	0.823529
4	228	164	63	0.853476
4	209	164	63	0.851515
4	225	164	63	0.848841
5	225	161	61	0.831907
5	223	161	59	0.844029
5	223	162	60	0.845633
5	224	162	61	0.82656
5	225	162	60	0.846702
5	210	162	61	0.836364
5	212	163	61	0.844385
5	210	162	61	0.836364
5	225	162	61	0.842424
5	204	163	61	0.823886
6	226	165	63	0.840107
6	225	165	63	0.832086
6	225	164	63	0.851159
6	211	164	64	0.822282
6	214	164	63	0.852763
6	212	164	63	0.854367
6	209	164	63	0.83779
6	214	164	65	0.838503
6	226	164	62	0.854724
6	229	165	63	0.850446
7	206	158	58	0.831194
7	220	159	57	0.849554
7	221	158	58	0.83779
7	210	159	58	0.821569
7	222	159	59	0.852585
7	212	159	57	0.828699
7	212	162	58	0.848307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	223	159	57	0.837968
7	212	159	60	0.844563
7	202	159	58	0.853298
8	227	162	59	0.852941
8	205	162	59	0.834046
8	226	162	58	0.859893
8	225	162	58	0.862923
8	226	162	58	0.851337
8	225	162	59	0.829412
8	225	162	59	0.840285
8	212	161	58	0.828699
8	226	162	59	0.822638
8	226	162	59	0.852941
9	201	151	50	0.801961
9	212	151	49	0.813369
9	200	154	51	0.812656
9	195	153	50	0.83262
9	198	152	50	0.827273
9	200	151	50	0.829768
9	200	151	52	0.819073
9	212	151	50	0.835116
9	203	151	49	0.829055
9	214	151	50	0.818538
10	240	177	74	0.842246
10	240	178	73	0.854724
10	241	177	74	0.832264
10	234	177	73	0.831194
10	225	176	73	0.85205
10	243	179	73	0.827094
10	223	177	74	0.836007
10	242	176	74	0.83975
10	238	177	74	0.83066
10	242	177	75	0.82959

ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงค่า V มากที่สุดเฉลี่ย  
ของหลอดฟลูออเรสเซนต์วอร์มไวท์

WARM WHITE		
min	AVG	STD
0	0.832121	0.007139
1	0.884528	0.012604
2	0.881319	0.013885
3	0.871569	0.014215
4	0.847112	0.01044
5	0.837825	0.008185
6	0.843422	0.010986
7	0.840553	0.01089
8	0.843512	0.014291
9	0.821943	0.010576
10	0.837558	0.837037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ตารางแสดงค่า Pixel และค่า V มากที่สุด ของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์คูโลไวท์

COOL WHITE				
min	Pixel R	Pixel G	Pixel B	Vmax
0	211	157	56	0.7791444
0	202	157	56	0.7983957
0	202	157	57	0.8115865
0	205	157	57	0.8124777
0	201	157	56	0.7871658
0	207	156	56	0.8103387
0	204	157	56	0.8153298
0	204	157	56	0.8044563
0	203	157	57	0.7921569
0	204	160	57	0.7948307
1	204	159	58	0.814082
1	203	160	59	0.7951872
1	206	159	58	0.8392157
1	203	159	58	0.8276292
1	206	159	58	0.7951872
1	202	159	58	0.8276292
1	210	160	58	0.7878788
1	210	159	58	0.8449198
1	207	164	58	0.7932264
1	201	159	59	0.8452763
2	202	159	57	0.8042781
2	210	161	58	0.8203209
2	201	157	58	0.7969697
2	201	158	56	0.8213904
2	202	158	57	0.7764706
2	206	158	56	0.7994652
2	205	157	58	0.7939394
2	204	158	58	0.8039216
2	212	157	57	0.773262
2	204	158	57	0.7898396
3	207	160	61	0.2759358
3	211	168	59	0.2463458
3	205	160	60	0.259893
3	208	187	60	0.283779
3	212	191	59	0.2609626
3	207	165	59	0.2680927

3	207	194	59	0.2595365
3	206	162	60	0.2746881
3	211	161	60	0.2513369
3	213	162	60	0.2522282
4	206	162	59	0.8074866
4	204	161	60	0.7955437
4	205	162	60	0.7759358
4	210	161	60	0.8105169
4	207	161	60	0.8017825
4	209	162	59	0.8190731
4	205	161	60	0.8080214
4	210	162	59	0.783066
4	206	160	60	0.8017825
4	212	161	59	0.814795
5	209	159	59	0.8106952
5	204	160	60	0.802139
5	211	165	59	0.8192513
5	204	159	59	0.8073084
5	208	159	59	0.8057041
5	207	162	59	0.8335116
5	211	162	58	0.816221
5	207	160	58	0.8201426
5	210	160	60	0.8347594
5	210	160	59	0.811943
6	206	159	59	0.784492
6	212	162	58	0.7959002
6	202	159	59	0.8024955
6	203	159	58	0.8105169
6	214	159	59	0.7686275
6	203	160	59	0.8149733
6	207	161	59	0.7882353
6	206	161	59	0.8051693
6	206	160	60	0.8010695
6	208	160	59	0.7834225
7	210	163	63	0.8340463
7	212	163	62	0.845098
7	208	163	61	0.8518717
7	210	163	62	0.82959
7	210	162	61	0.844385
7	208	162	61	0.8573975
7	202	162	61	0.8506239

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	210	162	60	0.8365419
7	206	162	61	0.8595365
7	210	163	61	0.8554367
8	207	161	59	0.8532977
8	208	161	60	0.8672014
8	205	164	59	0.8210339
8	209	160	59	0.8705882
8	209	163	60	0.8737968
8	205	160	59	0.8151515
8	207	161	60	0.8524064
8	214	161	59	0.8582888
8	209	160	60	0.8595365
8	204	161	59	0.854902
9	208	162	61	0.8575758
9	208	162	60	0.8402852
9	211	161	62	0.8044563
9	212	163	62	0.8413547
9	210	161	60	0.8515152
9	207	162	60	0.8151515
9	212	164	61	0.8417112
9	211	161	61	0.8315508
9	212	163	62	0.8151515
9	210	165	60	0.8488414
10	205	157	58	0.8322638
10	202	158	57	0.827451
10	201	158	58	0.854902
10	204	157	58	0.8229947
10	206	157	57	0.8529412
10	206	157	58	0.843672
10	203	157	59	0.8467023
10	205	161	58	0.8561497
10	206	160	58	0.8270945
10	203	160	58	0.8409982

ตารางที่ ก.6 ตารางแสดงค่า V มากที่สุดเฉลี่ย  
ของหลอดฟลูออเรสเซนต์วอร์มไวท์

COOL WHITE		
min	AVG	STD
0	0.800588	0.012196
1	0.817023	0.022784
2	0.797986	0.015922
3	0.26328	0.012093
4	0.8018	0.013635
5	0.816168	0.011077
6	0.79549	0.014222
7	0.846453	0.010334
8	0.85262	0.019639
9	0.834759	0.0177
10	0.840517	0.012383

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ตารางแสดงค่า Pixel และค่า V มากที่สุด ของหลอดไฟอัลตราไวโอเล็ต

UV			
min	Pixel R	Pixel G	Vmax
0	164	62	0.75098
0	164	62	0.754902
0	164	63	0.698396
0	164	62	0.752228
0	164	62	0.778253
0	164	62	0.716399
0	164	62	0.739216
0	164	62	0.775223
0	164	62	0.720677
0	164	62	0.779501
1	160	58	0.830481
1	160	59	0.860428
1	160	58	0.82852
1	160	59	0.87041
1	160	59	0.829055
1	160	59	0.844385
1	160	59	0.863458
1	160	59	0.855437
1	160	59	0.843137
1	160	59	0.854724
2	162	60	0.873084
2	162	60	0.848841
2	162	60	0.84795
2	161	60	0.850802
2	162	60	0.868806
2	161	60	0.847594
2	162	61	0.84795
2	161	60	0.848128
2	162	61	0.845455
2	161	60	0.85205
3	157	57	0.820499
3	157	57	0.848841
3	158	57	0.816756
3	157	57	0.828877
3	158	57	0.837611
3	158	57	0.834403
3	158	56	0.845098

3	158	58	0.824421
3	158	58	0.824421
3	158	57	0.813012
4	159	58	0.83066
4	159	58	0.83066
4	159	58	0.820499
4	159	57	0.82656
4	159	58	0.811765
4	159	58	0.833155
4	159	57	0.809447
4	159	57	0.835829
4	159	57	0.812834
4	159	58	0.815865
5	159	58	0.76221
5	159	58	0.791087
5	159	58	0.790553
5	159	58	0.796435
5	159	57	0.807665
5	159	58	0.824599
5	159	58	0.806595
5	159	58	0.823708
5	160	57	0.809091
5	159	57	0.812834
6	160	61	0.787701
6	160	58	0.831907
6	160	58	0.754367
6	160	58	0.813191
6	160	61	0.792692
6	160	60	0.822103
6	160	60	0.779857
6	160	59	0.771301
6	160	59	0.762032
6	160	59	0.814973
7	160	59	0.799643
7	160	58	0.757041
7	160	59	0.775758
7	160	58	0.786631
7	160	59	0.794831
7	160	58	0.794118
7	160	59	0.790374
7	160	58	0.773619
7	160	58	0.784135


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	160	58	0.739929
8	160	59	0.784314
8	160	59	0.78574
8	160	59	0.764884
8	161	59	0.797861
8	160	60	0.805882
8	160	59	0.798396
8	160	59	0.769875
8	160	58	0.775758
8	160	59	0.75205
8	160	59	0.767023
9	160	57	0.739572
9	159	58	0.77344
9	159	58	0.73975
9	159	58	0.789127
9	159	57	0.780749
9	159	57	0.757219
9	159	58	0.769875
9	159	58	0.790909
9	159	58	0.760428
9	159	58	0.765597
10	160	60	0.760428
10	161	60	0.774866
10	161	60	0.808734
10	160	59	0.780749
10	161	59	0.755793
10	161	60	0.794831
10	160	62	0.750089
10	160	60	0.798396
10	161	61	0.759893
10	161	59	0.784135

ตารางที่ ก.8 ตารางแสดงค่า V มากที่สุดเฉลี่ย  
ของหลอดอัลตราไวโอเล็ต

UV		
min	AVG	STD
0	0.746578	0.02786
1	0.848004	0.015195
2	0.853066	0.009644
3	0.829394	0.011899
4	0.822727	0.009817
5	0.802478	0.018454
6	0.793012	0.026614
7	0.779608	0.018749
8	0.780178	0.017247
9	0.766667	0.018057
10	0.776791	0.019981

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การทดลองวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง  
(Absorbance) ของสารละลายต่างที่บิมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 สารละลายต่างทึบทีมมาตรฐาน

การเขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างทึบทีมมาตรฐาน

```

clc
clear
close
%Import standard photo
x = imread('DI 080523-8.jpg');
f = ones(3,3)/9;
i = imfilter(x,f);
icrop = imcrop(i,[262.51,586.51,284.98,21.98]); %photo pixel determination
i2 = flip(icrop ,2); %Horizontal flip
r = mean(i2(:,,1));
g = mean(i2(:,,2));
b = mean(i2(:,,3));
[rgb_r,L_r] = max(r);
[rgb_g,L_g] = max(g);
[rgb_b,L_b] = max(b);
%Convert RGB to HSV
HSV = rgb2hsv(i2);
V = HSV(:,,3);
mV = mean(V);
%Maximum V value
Vmaxb = mV(L_b);
Vmaxg = mV(L_g);
Vmaxr = mV(L_r);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%Wavelength
Wb = 467.5;
Wr = 682.5;
DelW = (Wr-Wb)/(L_r-L_b);
Wlow = (Wb-((L_b-1)*DelW):DelW:Wb);
Whigh = (Wb+DelW:DelW:Wb+((length(mV)-L_b)*DelW));
W = [Wlow,Whigh];
L = (1:length(mV));
if L==L_b
    W == Wb;
    mV == mV(L_b);
else
    if L>L_b
        W == Wb+((L-L_b)*DelW);
        mV == mV(L_b+(L-L_b));
    elseif L<L_b
        W == Wb-((L_b-L)*DelW);
        mV == mV(L_b-(L_b-L));
    end
end
%New wavelength & V
start = floor(W(1)); %round to the nearest integer less or equal to W;
Wnew=zeros(length(W), 1);
Vnew=zeros(length(mV), 1);
for i=1:length(W)
    if i+1 <= length(W) && (W(i)-start <= 1) && (W(i+1)-start > 1)
        Wnew(i) = start+1;
        Vnew(i) = mV(i+1)-(((mV(i+1)-mV(i))/(W(i+1)-W(i)))*(W(i+1)-Wnew(i)));
        start = start+1;
    elseif i+1 <= length(W) && (W(i)-start > 1) && (W(i+1)-start > 1)
        Wnew(i) = start+2;
        Vnew(i) = mV(i+1)-(((mV(i+1)-mV(i))/(W(i+1)-W(i)))*(W(i+1)-Wnew(i)));
        start = start+2;
    elseif i+1 > length(W) && (W(i)-start >= 1)
        Wnew(i)= start+1;
        Vnew(i)= mV(i);
        start = start+1;
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else
    start = start;
end
end
Wy = Wnew(Wnew>0);
Vy = Vnew(Vnew>0);
%Import sample photo
x_s = imread('KMnO4 5ppm-1.jpg');
f = ones(3,3)/9;
i_s = imfilter(x_s,f);
icrop_s = imcrop(i_s,[262.51,586.51,284.98,21.98]); %photo pixel determination
i2_s = flip(icrop_s,2); %horizontal flip
r_s = mean(i2_s(:,:,1));
g_s = mean(i2_s(:,:,2));
b_s = mean(i2_s(:,:,3));
[rgb_rs,L_rs] = max(r_s);
[rgb_gs,L_gs] = max(g_s);
[rgb_bs,L_bs] = max(b_s);
%Convert RGB to HSV
HSV_s = rgb2hsv(i2_s);
V_s = HSV_s(:,:,3);
mV_s = mean(V_s);
%Maximum V value
Vmaxb_s = mV_s(L_bs);
Vmaxg_s = mV_s(L_gs);
Vmaxr_s = mV_s(L_rs);
%wavelength
Wb_s = 467.5;
Wr_s = 682.5;
DelW_s = (Wr_s-Wb_s)/(L_rs-L_bs);
Wlow_s = (Wb_s-((L_bs-1)*DelW_s):DelW_s:Wb_s);
Whigh_s = (Wb_s+DelW_s:DelW_s:Wb_s+((length(mV_s)-L_bs)*DelW_s));
W_s = [Wlow_s,Whigh_s];
L_s = (1:length(mV_s));
if L_s==L_bs
    W_s == Wb_s
    mV_s == mV_s(L_bs);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else
    if L_s>L_bs
        W_s == Wb_s+((L_s-L_bs)*DelW_s)
        mV_s == mV_s(L_bs+(L_s-L_bs));
    elseif L_s<L_bs
        W_s == Wb_s-((L_bs-L_s)*DelW_s)
        mV_s == mV_s(L_bs-(L_bs-L_s));
    end
end
end

%New wavelength & V
start_s = floor(W_s(1)); %round to the nearest integer less or equal to W_s
Wnew_s=zeros(length(W_s), 1);
Vnew_s=zeros(length(mV_s), 1);
for i_s=1:length(W_s)
    if i_s+1 <= length(W_s) && (W_s(i_s)-start_s <= 1) && (W_s(i_s+1)-start_s > 1)
        Wnew_s(i_s) = start_s+1;
        Vnew_s(i_s) = mV_s(i_s+1)-(((mV_s(i_s+1)-mV_s(i_s))/(W_s(i_s+1)-W_s(i_s)))*(W_s(i_s+1)-
Wnew_s(i_s)));
        start_s = start_s+1;
    elseif i_s+1 <= length(W_s) && (W_s(i_s)-start_s > 1) && (W_s(i_s+1)-start_s > 1)
        Wnew_s(i_s) = start_s+2;
        Vnew_s(i_s) = mV_s(i_s+1)-(((mV_s(i_s+1)-mV_s(i_s))/(W_s(i_s+1)-W_s(i_s)))*(W_s(i_s+1)-
Wnew_s(i_s)));
        start_s = start_s+2;
    elseif i_s+1 > length(W_s) && (W_s(i_s)-start_s >= 1)
        Wnew_s(i_s)= start_s+1;
        Vnew_s(i_s)= mV_s(i_s);
        start_s = start_s+1;
    else
        start_s = start_s;
    end
end
end
Wy_s = Wnew_s(Wnew_s>0);
Vy_s = Vnew_s(Vnew_s>0);
%Delta V between Blank & Unknown sample
Wn = ismember(Wy,Wy_s);
Wplot = Wy(Wn);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Wn2 = ismember(Wy_s,Wy);
Wplot2 = Wy_s(Wn2);
u=unique(Wplot);
C=[];
for t1=1:numel(u)
    C=[C find(Wy==u(t1))];
end
u2=unique(Wplot2);
C2=[];
for t2=1:numel(u2)
    C2=[C2 find(Wy_s==u2(t2))];
end
Vplot = Vy(C);
Vplot2 = Vy_s(C2);
delvy = Vplot-Vplot2;
delvy_max = max(delvy);
W_delVmax = Wplot(delvy==delvy_max);
%Absorbance
A = zeros(length(delvy), 1);
for ia = 1:length(delvy);
A(ia) = log10(Vplot(ia)/Vplot2(ia));
end
A_max = max(A);
W_Amax = Wplot(A==A_max);
A_568nm = A(Wplot==568);
%Plot
figure
subplot(4,3,1);
imshow(i2);
subplot(4,3,2:3);
plot(Wplot,Vplot,'Black');
grid on
title('Blank sample'); %graph name
subplot(4,3,4);
imshow(i2_s);
subplot(4,3,5:6);
plot(Wplot2,Vplot2,'Black');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

grid on
title('KMnO4 sample'); %graph name
subplot(4,3,7:9);
plot(Wplot,delvy);
grid on
title('Delta V'); %graph name
subplot(4,3,10:12);
plot(Wplot,A);
grid on
title('Absorbance'); %graph name
out = [L_rs L_gs L_bs A_568nm]
outout = array2table(out)

```

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างที่บิมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

Absorbance of Standard KMnO4 (568 nm)					
Image No.	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm	8 ppm
1	0.037296	-	0.120408	0.173819	0.075974
2	-	0.089687	-	-	-
3	0.049392	0.097328	0.09946	0.133247	-
4	0.045642	0.09028	0.091504	0.161637	0.078588
5	-	0.093348	0.091213	0.13149	0.058443
6	0.045849	0.074832	-	-	0.068796
7	0.067093	0.064357	0.091409	0.104417	0.074345
8	0.047997	0.08982	-	0.133425	0.068359
9	0.031281	0.085483	0.139212	0.122048	0.07761
10	-	0.066531	0.104772	0.149432	-
AVG	0.046364	0.083518	0.105425	0.13869	0.071731
Conc. Calculated from calibration curve equation					9.830285

การคำนวณค่าการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์ความเข้มข้นจากค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างที่บิมาตรฐาน

$V_0$  คือ ค่า V ของน้ำ DI = 0.4376

V คือ ค่า V ของตัวอย่างสารละลายต่างที่บิมาตรฐาน (Unknown) = 0.3735

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของ Beer-Lambert :

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

$$A = \log \frac{V_0}{V}$$

$$A = \log \frac{0.4376}{0.3735}$$

$$A = 0.0688$$

จากการคำนวณ ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.1315 นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นด้วยสมการจากกราฟมาตรฐาน :

$$y = 0.0063x + 0.0098$$

$$x = \frac{(y - 0.0098)}{0.0063}$$

$$x = \frac{(0.0688 - 0.0098)}{0.0063}$$

$$x = 9.3651$$

จากการคำนวณสามารถทำนายค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารละลายต่างที่บิมาตรฐานได้เท่ากับ 9.3651 ppm


คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้ดังสมการต่อไปนี้ :

$$\%error = \frac{|\text{Measured} - \text{Real}|}{\text{Real}} \times 100$$

$$\%error = \frac{|9.3651 - 8|}{8} \times 100$$

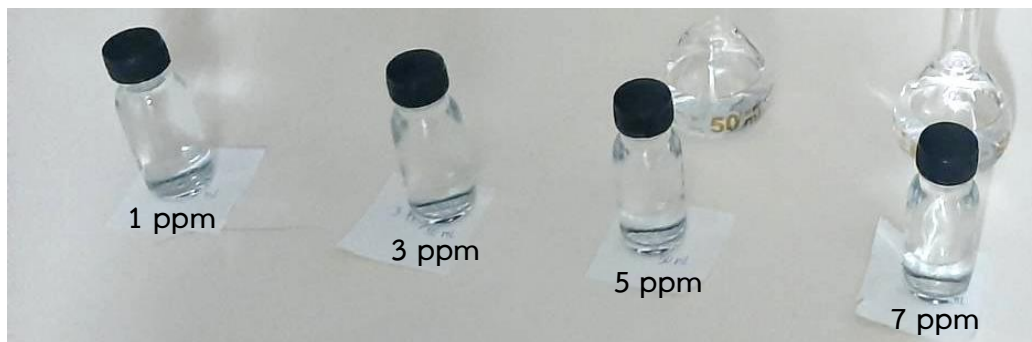
$$\%error = 17.06$$

จากการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 17.06 เปอร์เซ็นต์



ภาคผนวก ค.  
การทดลองวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง  
(Absorbance) ของสารละลายคาร์โบซิลแฟนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 สารละลายคาร์โบซิลแฟนมาตรฐาน

การเขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์โบซิลแฟนมาตรฐาน

```

clc
clear
close
%Import standard photo
x = imread('Blank 120523-7.jpg');
f = ones(3,3)/9;
i = imfilter(x,f);
icrop = imcrop(i,[262.51,586.51,284.98,21.98]); %photo pixel determination
i2 = flip(icrop ,2); %Horizontal flip
r = mean(i2(:,,1));
g = mean(i2(:,,2));
b = mean(i2(:,,3));
[rgb_r,L_r] = max(r);
[rgb_g,L_g] = max(g);
[rgb_b,L_b] = max(b);
%Convert RGB to HSV
HSV = rgb2hsv(i2);
V = HSV(:,,3);
mV = mean(V);
%Maximum V value
Vmaxb = mV(L_b);
Vmaxg = mV(L_g);
Vmaxr = mV(L_r);
%Wavelength
Wb = 467.5;
Wg = 542.5;
DelW = (Wg-Wb)/(L_g-L_b);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Wlow = (Wb-((L_b-1)*DelW):DelW:Wb);
Whigh = (Wb+DelW:DelW:Wb+((length(mV)-L_b)*DelW));
W = [Wlow,Whigh];
L = (1:length(mV));
if L==L_b
    W == Wb;
    mV == mV(L_b);
else
    if L>L_b
        W == Wb+((L-L_b)*DelW);
        mV == mV(L_b+(L-L_b));
    elseif L<L_b
        W == Wb-((L_b-L)*DelW);
        mV == mV(L_b-(L_b-L));
    end
end
%New wavelength & V
start = floor(W(1)); %round to the nearest integer less or equal to W;
Wnew=zeros(length(W), 1);
Vnew=zeros(length(mV), 1);
for i=1:length(W)
    if i+1 <= length(W) && (W(i)-start <= 1) && (W(i+1)-start > 1)
        Wnew(i) = start+1;
        Vnew(i) = mV(i+1)-(((mV(i+1)-mV(i))/(W(i+1)-W(i)))*(W(i+1)-Wnew(i)));
        start = start+1;
    elseif i+1 <= length(W) && (W(i)-start > 1) && (W(i+1)-start > 1)
        Wnew(i) = start+2;
        Vnew(i) = mV(i+1)-(((mV(i+1)-mV(i))/(W(i+1)-W(i)))*(W(i+1)-Wnew(i)));
        start = start+2;
    elseif i+1 > length(W) && (W(i)-start >= 1)
        Wnew(i)= start+1;
        Vnew(i)= mV(i);
        start = start+1;
    else
        start = start;
    end
end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Wy = Wnew(Wnew>0);
Vy = Vnew(Vnew>0);
%Import sample photo
x_s = imread('Carbo 1ppm-1.jpg');
f = ones(3,3)/9;
i_s = imfilter(x_s,f);
icrop_s = imcrop(i_s,[262.51,586.51,284.98,21.98]); %photo pixel determination
i2_s = flip(icrop_s,2); %horizontal flip
r_s = mean(i2_s(:,:,1));
g_s = mean(i2_s(:,:,2));
b_s = mean(i2_s(:,:,3));
[rgb_rs,L_rs] = max(r_s);
[rgb_gs,L_gs] = max(g_s);
[rgb_bs,L_bs] = max(b_s);
%Convert RGB to HSV
HSV_s = rgb2hsv(i2_s);
V_s = HSV_s(:,:,3);
mV_s = mean(V_s);
%Maximum V value
Vmaxb_s = mV_s(L_bs);
Vmaxg_s = mV_s(L_gs);
Vmaxr_s = mV_s(L_rs);
%wavelength
Wb_s = 467.5;
Wg_s = 542.5;
DelW_s = (Wg_s-Wb_s)/(L_gs-L_bs);
Wlow_s = (Wb_s-((L_bs-1)*DelW_s):DelW_s:Wb_s);
Whigh_s = (Wb_s+DelW_s:DelW_s:Wb_s+((length(mV_s)-L_bs)*DelW_s));
W_s = [Wlow_s,Whigh_s];
L_s = (1:length(mV_s));
if L_s==L_bs
    W_s == Wb_s
    mV_s == mV_s(L_bs);
else
    if L_s>L_bs
        W_s == Wb_s+((L_s-L_bs)*DelW_s)
        mV_s == mV_s(L_bs+(L_s-L_bs));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif L_s < L_bs
    W_s == Wb_s - (L_bs - L_s) * DelW_s;
    mV_s == mV_s(L_bs - (L_bs - L_s));
end
end
%New wavelength & V
start_s = floor(W_s(1)); %round to the nearest integer less or equal to W_s
Wnew_s = zeros(length(W_s), 1);
Vnew_s = zeros(length(mV_s), 1);
for i_s = 1:length(W_s)
    if i_s + 1 <= length(W_s) && (W_s(i_s) - start_s <= 1) && (W_s(i_s + 1) - start_s > 1)
        Wnew_s(i_s) = start_s + 1;
        Vnew_s(i_s) = mV_s(i_s + 1) - (((mV_s(i_s + 1) - mV_s(i_s)) / (W_s(i_s + 1) - W_s(i_s))) * (W_s(i_s + 1) -
Wnew_s(i_s)));
        start_s = start_s + 1;
    elseif i_s + 1 <= length(W_s) && (W_s(i_s) - start_s > 1) && (W_s(i_s + 1) - start_s > 1)
        Wnew_s(i_s) = start_s + 2;
        Vnew_s(i_s) = mV_s(i_s + 1) - (((mV_s(i_s + 1) - mV_s(i_s)) / (W_s(i_s + 1) - W_s(i_s))) * (W_s(i_s + 1) -
Wnew_s(i_s)));
        start_s = start_s + 2;
    elseif i_s + 1 > length(W_s) && (W_s(i_s) - start_s >= 1)
        Wnew_s(i_s) = start_s + 1;
        Vnew_s(i_s) = mV_s(i_s);
        start_s = start_s + 1;
    else
        start_s = start_s;
    end
end
end
Wy_s = Wnew_s(Wnew_s > 0);
Vy_s = Vnew_s(Vnew_s > 0);
%Delta V between Blank & Unknown sample
Wn = ismember(Wy, Wy_s);
Wplot = Wy(Wn);
Wn2 = ismember(Wy_s, Wy);
Wplot2 = Wy_s(Wn2);
u = unique(Wplot);
C = [];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for t1=1:numel(u)
    C=[C find(Wy==u(t1))];
end
u2=unique(Wplot2);
C2=[];
for t2=1:numel(u2)
    C2=[C2 find(Wy_s==u2(t2))];
end
Vplot = Vy(C);
Vplot2 = Vy_s(C2);
delvy = Vplot-Vplot2;
delvy_max = max(delvy);
W_delVmax = Wplot(delvy==delvy_max);
%Absorbance
A = zeros(length(delvy), 1);
for ia = 1:length(delvy);
A(ia) = log10(Vplot(ia)/Vplot2(ia));
end
A_max = max(A);
W_Amax = Wplot(A==A_max);
A_490nm = A(Wplot==490);
%Plot
figure
subplot(4,3,1);
imshow(i2);
subplot(4,3,2:3);
plot(Wplot,Vplot,'Black');
grid on
title('Standard sample (Wavelength)'); %graph name
subplot(4,3,4);
imshow(i2_s);
subplot(4,3,5:6);
plot(Wplot2,Vplot2,'Black');
grid on
title('Carbosulfan sample (Wavelength)'); %graph name
subplot(4,3,7:9);
plot(Wplot,delvy);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

grid on
title('Delta V'); %graph name
subplot(4,3,10:12);
plot(Wplot,A);
grid on
title('Absorbance'); %graph name
out = [L_gs L_bs A_490nm]
outout = array2table(out)

```

ตารางที่ ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์โบซัลแฟนมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

Absorbance of standard Carbosulfan (490 nm)					
Image No.	1 ppm	3 ppm	5 ppm	7 ppm	2 ppm
1	0.184963	-	0.048952	0.25629	-
2	0.01479	0.143308	0.192333	0.085552	0.077820
3	-	0.046118	-	0.161407	0.098544
4	0.071799	0.192197	0.131173	0.116152	0.110538
5	0.103685	-	0.011449	0.063356	0.077056
6	0.136538	0.158622	0.252827	0.101633	0.073777
7	0.000877	0.149381	0.083955	-	-
8	0.046703	-	0.060124	-	0.120870
9	0.084753	0.043447	-	-	0.110003
10	0.07185	0.077782	0.153104	-	0.119945
AVG	0.079551	0.115836	0.11674	0.130732	0.077820
Conc. Calculated from calibration curve equation					2.43760

การคำนวณค่าการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์ความเข้มข้นจากค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์โบซัลแฟนมาตรฐาน

$V_0$  คือ ค่า V ของสารละลาย 1% กรดอะซิติกในอะซิโตนไทรล์ = 0.1768

V คือ ค่า V ของตัวอย่างสารละลายคาร์โบซัลแฟนมาตรฐาน (Unknown) = 0.1409

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของ Beer-Lambert :

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

$$A = \log \frac{V_0}{V}$$

$$= \log \frac{0.1768}{0.1409}$$

$$= 0.0986$$

จากการคำนวณ ได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.0986 นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นด้วยสมการจากกราฟมาตรฐาน :

$$y = 0.0077x + 0.0798$$

$$x = \frac{(y - 0.0798)}{0.0077}$$

$$= \frac{(0.0986 - 0.0798)}{0.0077}$$

$$= 2.4416$$

จากการคำนวณสามารถทำนายค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารละลายคาร์โบซิลแฟนมาตรฐานได้เท่ากับ 2.4416 ppm


คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้ดังสมการต่อไปนี้ :

$$\%error = \frac{|\text{Measured} - \text{Real}|}{\text{Real}} \times 100$$

$$\%error = \frac{|2.4416 - 2|}{2} \times 100$$

$$\%error = 22.08$$

จากการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 22.08 เปอร์เซ็นต์



ภาคผนวก ง.

**การทดลองวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงระหว่าง  
สารสกัดผักคะน้าที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแฟนกับ  
สารสกัดผักคะน้าที่ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแฟน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 การสกัดสารคาร์โบซิลแพนจากผักคะน้า

	<p>ล้างผักคะน้าด้วยน้ำเปล่า แล้วแบ่งผักคะน้าที่ผ่านการล้างแล้วออกเป็น 2 ชุด</p>
	<p>นำผักคะน้าที่ผ่านการล้างแล้ว 1 ชุดมาแช่ในสารละลายคาร์โบซิลแพนที่เจือจางกับน้ำ ความเข้มข้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง</p>
	<p>เมื่อครบเวลา นำผักคะน้ามาตากให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง</p>
	<p>นำผักคะน้าทั้ง 2 ชุดมาหั่นซอย โดยแยกหั่นชุดที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแพนก่อน</p>
	<p>เมื่อหั่นผักคะน้าแล้ว ให้นำมาปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่น โดยปั่นผักคะน้าที่ไม่ได้ผ่านการแช่สารละลายคาร์โบซิลแพนก่อน</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>ชั่งผักคะน้า และสารที่นำมาใช้สกัดสารคาร์โบซิลแฟน ใส่ลงในหลอดเซนติพิว นำหลอดเซนติพิวเข้าเครื่องเขย่าสารแล้วนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง</p>
	<p>เมื่อครบเวลาปั่นเหวี่ยง ผักคะน้าจะเกิดการแยกชั้น นำเอาสารสีเขียวใสด้านบนมาปรับปริมาตร</p>
	<p>ปรับปริมาตรสารแล้วนำสารมาเข้าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงต่อไป</p>

การเขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดผักคะน้า

```

clc
clear
close
%Import standard photo
x = imread('Blank 120523-7.jpg');
f = ones(3,3)/9;
i = imfilter(x,f);
icrop = imcrop(i,[262.51,586.51,284.98,21.98]); %photo pixel determination
i2 = flip(icrop ,2); %Horizontal flip
r = mean(i2(:,,1));
g = mean(i2(:,,2));
b = mean(i2(:,,3));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

[rgb_r,L_r] = max(r);
[rgb_g,L_g] = max(g);
[rgb_b,L_b] = max(b);
%Convert RGB to HSV
HSV = rgb2hsv(i2);
V = HSV(:,3);
mV = mean(V);
%Maximum V value
Vmaxb = mV(L_b);
Vmaxg = mV(L_g);
Vmaxr = mV(L_r);
%Wavelength
Wb = 467.5;
Wg = 542.5;
DelW = (Wg-Wb)/(L_g-L_b);
Wlow = (Wb-((L_b-1)*DelW):DelW:Wb);
Whigh = (Wb+DelW:DelW:Wb+((length(mV)-L_b)*DelW));
W = [Wlow,Whigh];
L = (1:length(mV));
if L==L_b
    W == Wb;
    mV == mV(L_b);
else
    if L>L_b
        W == Wb+((L-L_b)*DelW);
        mV == mV(L_b+(L-L_b));
    elseif L<L_b
        W == Wb-((L_b-L)*DelW);
        mV == mV(L_b-(L_b-L));
    end
end
%New wavelength & V
start = floor(W(1)); %round to the nearest integer less or equal to W;
Wnew=zeros(length(W), 1);
Vnew=zeros(length(mV), 1);
for i=1:length(W)
    if i+1 <= length(W) && (W(i)-start <= 1) && (W(i+1)-start > 1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Wnew(i) = start+1;
Vnew(i) = mV(i+1)-(((mV(i+1)-mV(i))/(W(i+1)-W(i)))*(W(i+1)-Wnew(i)));
start = start+1;
elseif i+1 <= length(W) && (W(i)-start > 1) && (W(i+1)-start > 1)
Wnew(i) = start+2;
Vnew(i) = mV(i+1)-(((mV(i+1)-mV(i))/(W(i+1)-W(i)))*(W(i+1)-Wnew(i)));
start = start+2;
elseif i+1 > length(W) && (W(i)-start >= 1)
Wnew(i)= start+1;
Vnew(i)= mV(i);
start = start+1;
else
start = start;
end
end
Wy = Wnew(Wnew>0);
Vy = Vnew(Vnew>0);
%Import sample photo
x_s = imread('Kana-1.jpg');
f = ones(3,3)/9;
i_s = imfilter(x_s,f);
icrop_s = imcrop(i_s,[262.51,586.51,284.98,21.98]); %photo pixel determination
i2_s = flip(icrop_s,2); %horizontal flip
r_s = mean(i2_s(:,1));
g_s = mean(i2_s(:,2));
b_s = mean(i2_s(:,3));
[rgb_rs,L_rs] = max(r_s);
[rgb_gs,L_gs] = max(g_s);
[rgb_bs,L_bs] = max(b_s);
%Convert RGB to HSV
HSV_s = rgb2hsv(i2_s);
V_s = HSV_s(:,3);
mV_s = mean(V_s);
%Maximum V value
Vmaxb_s = mV_s(L_bs);
Vmaxg_s = mV_s(L_gs);
Vmaxr_s = mV_s(L_rs);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%wavelength
Wb_s = 467.5;
Wg_s = 542.5;
DelW_s = (Wg_s-Wb_s)/(L_gs-L_b);
Wlow_s = (Wb_s-((L_b-1)*DelW_s):DelW_s:Wb_s);
Whigh_s = (Wb_s+DelW_s:DelW_s:Wb_s+((length(mV_s)-L_b)*DelW_s));
W_s = [Wlow_s,Whigh_s];
L_s = (1:length(mV_s));
if L_s==L_b
    W_s == Wb_s
    mV_s == mV_s(L_b);
else
    if L_s>L_b
        W_s == Wb_s+((L_s-L_b)*DelW_s)
        mV_s == mV_s(L_b+(L_s-L_b));
    elseif L_s<L_b
        W_s == Wb_s-((L_b-L_s)*DelW_s)
        mV_s == mV_s(L_b-(L_b-L_s));
    end
end
%New wavelength & V
start_s = floor(W_s(1)); %round to the nearest integer less or equal to W_s
Wnew_s=zeros(length(W_s), 1);
Vnew_s=zeros(length(mV_s), 1);
for i_s=1:length(W_s)
    if i_s+1 <= length(W_s) && (W_s(i_s)-start_s <= 1) && (W_s(i_s+1)-start_s > 1)
        Wnew_s(i_s) = start_s+1;
        Vnew_s(i_s) = mV_s(i_s+1)-(((mV_s(i_s+1)-mV_s(i_s))/(W_s(i_s+1)-W_s(i_s)))*(W_s(i_s+1)-
Wnew_s(i_s)));
        start_s = start_s+1;
    elseif i_s+1 <= length(W_s) && (W_s(i_s)-start_s > 1) && (W_s(i_s+1)-start_s > 1)
        Wnew_s(i_s) = start_s+2;
        Vnew_s(i_s) = mV_s(i_s+1)-(((mV_s(i_s+1)-mV_s(i_s))/(W_s(i_s+1)-W_s(i_s)))*(W_s(i_s+1)-
Wnew_s(i_s)));
        start_s = start_s+2;
    elseif i_s+1 > length(W_s) && (W_s(i_s)-start_s >= 1)
        Wnew_s(i_s)= start_s+1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Vnew_s(i_s)= mV_s(i_s);
start_s = start_s+1;
else
start_s = start_s;
end
end
Wy_s = Wnew_s(Wnew_s>0);
Vy_s = Vnew_s(Vnew_s>0);
%Delta V between Blank & Unknown sample
Wn = ismember(Wy,Wy_s);
Wplot = Wy(Wn);
Wn2 = ismember(Wy_s,Wy);
Wplot2 = Wy_s(Wn2);
u=unique(Wplot);
C=[];
for t1=1:numel(u)
C=[C find(Wy==u(t1))];
end
u2=unique(Wplot2);
C2=[];
for t2=1:numel(u2)
C2=[C2 find(Wy_s==u2(t2))];
end
Vplot = Vy(C);
Vplot2 = Vy_s(C2);
delvy = Vplot-Vplot2;
delvy_max = max(delvy);
W_delVmax = Wplot(delvy==delvy_max);
%Absorbance
A = zeros(length(delvy), 1);
for ia = 1:length(delvy);
A(ia) = log10(Vplot(ia)/Vplot2(ia));
end
A_max = max(A);
W_Amax = Wplot(A==A_max);
A_490nm = A(Wplot==490);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%Plot
figure
subplot(4,3,1);
imshow(i2);
subplot(4,3,2:3);
plot(Wplot,Vplot,'Black');
grid on
title('Standard sample (Wavelength)'); %graph name
subplot(4,3,4);
imshow(i2_s);
subplot(4,3,5:6);
plot(Wplot2,Vplot2,'Black');
grid on
title('Carbosulfan sample (Wavelength)'); %graph name
subplot(4,3,7:9);
plot(Wplot,dely);
grid on
title('Delta V'); %graph name
subplot(4,3,10:12);
plot(Wplot,A);
grid on
title('Absorbance'); %graph name
figure
plot(Wy,Vy);
hold on
plot(Wy_s,Vy_s);
hold off
out = [L_gs L_bs A_490nm]
outout = array2table(out)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้