

การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์สารเคมีตกค้างในอาหารโดยใช้การดูดกลืนแสง  
ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณ/ภาพ

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE TO ANALYZE CHEMICAL RESIDUES IN FOODS  
BASED ON COMBINED LIGHT ABSORPTION AND SIGNAL/IMAGE PROCESSING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE TO ANALYZE CHEMICAL RESIDUES IN FOODS  
BASED ON COMBINED LIGHT ABSORPTION AND SIGNAL/IMAGE PROCESSING



THIS THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2565

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์สารเคมีตกค้างในอาหารโดยใช้การดูดกลืนแสง  
ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณ/ภาพ

Development of a Prototype to Analyze Chemical Residues in Foods Based on  
Combined Light Absorption and Signal/Image Processing

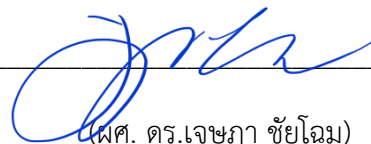
ผู้จัดทำ

1. นางสาวพรณิกา คำก้อนแก้ว รหัสประจำตัว 62010594
2. นางสาวพีรดา สุวรรณนิม รหัสประจำตัว 62010647



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ดร.มธุรดา จิโนรส)



หัวหน้าภาควิชา

(ผศ. ดร.เจษฎา ชัยโถม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์สารเคมีตกค้างในอาหารโดยใช้การดูดกลืนแสง ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณ/ภาพ	
ชื่อนักศึกษา	พรรณนิภา	คำก้องแก้ว
	พีรดา	สุวรรณนิยม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร.มธุรดา จิโนรส	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร	
ปีการศึกษา	2565	

## บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์สารเคมีตกค้างในอาหารโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงร่วมกับการประมวลผลสัญญาณและข้อมูลภาพ โดยทำการพัฒนาอุปกรณ์และศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ส่งผลต่อสเปกตรัมที่อ่านได้ดังนี้ ประเภทของแหล่งกำเนิดแสง ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอด UV รวมถึงขนาดของช่อง Slit และทำการทดสอบกับสารละลายเพื่อศึกษาลักษณะการดูดกลืนแสงของสารละลายและทดสอบประสิทธิภาพการวัดของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ น้ำ DI, สารละลายเกลือ และสารละลายต่างทับทิม ศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นในกสนตรวจวัดสารกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ คาร์บาริล (กลุ่มคาร์บาเมต), ไซเพอร์เมทริน (กลุ่มไพรีทรอยด์) และไดคลอร์วอส (กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต) จากนั้นนำภาพสเปกตรัมที่ได้ไปวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB R2022b ทำการศึกษาประสิทธิภาพการตรวจวัดในตัวอย่างอาหารเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของสารเคมีตกค้างในตัวอย่างอาหาร ได้แก่ น้ำส้มผสมเนื้อส้มและน้ำส้มไม่มีเนื้อส้มผสม จากการทดลองพบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนานั้นสามารถตรวจจับสารที่มีสีและไม่มีสีได้ ทั้งนี้ยังสามารถตรวจจับสารเคมีตกค้างได้เช่นเดียวกันจากการเปรียบเทียบผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนากับเครื่องมาตรฐานโดยใช้วิธีทางสถิติ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างทับทิม, สารละลายเกลือ และสารกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ คาร์บาริล, ไซเพอร์เมทริน และไดคลอร์วอส ที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับค่าที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน บ่งชี้ได้ว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจพบสารกำจัดศัตรูพืชหรือสารเคมีตกค้างในอาหารได้ อธิบายได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มีความแตกต่างกันและมีช่วงค่าการดูดกลืนของแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสาร แต่ไม่สามารถระบุปริมาณของสารเคมีตกค้างได้

**คำสำคัญ :** สารเคมีตกค้าง, การดูดกลืนแสง, การประมวลผลสัญญาณ, การวิเคราะห์ภาพ

<b>Project Title</b>	Development of a Prototype to Analyze Chemical Residues in Foods Based on Combined Light Absorption and Signal/Image Processing.	
<b>Students</b>	Miss Pannika	Khamkonkeaw
	Miss Perada	Suwanniyom
<b>Project Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Maturada Jinorose	
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program</b>	Food Engineering	
<b>Academic Year</b>	2022	

## Abstract

This project aims to study the feasibility of analyzing pesticide residues in food by using the absorbance principle together with signal and image data processing. By developing a prototype and study the effect of setting parameters on spectrum profile of various solutions (i.e., DI water, Salt solution, and Potassium Permanganate solution), including types of light sources (i.e., fluorescent lamps and UV lamps), size of the slit. Study the absorbance characteristics of the solution to determine the performance of the prototype. Study the efficiency of the developed system by measuring pesticides, including, Carbaryl (Carbamate), Cypermethrin (Pyrethroids), and Dichlorvos (Organophosphate). Analyzed the spectral images using the algorithm developed with MATLAB R2022b. Study the measurement performance in food samples to analyze the amount of pesticide residues in food samples, including, orange juice and orange juice mixed with orange pulp. It was found that the prototype can be used with both color and colorless solutions to detect the residues. Comparing the obtained results from the developed system with the standard methods (i.e., spectrophotometer, test kits). Study the absorbance of potassium permanganate solution, salt solution, and pesticides (i.e., carbaryl, cypermethrin, and dichlorvos). The values measured by the prototype were not significantly different from the values obtained by the standard device and indicated that the prototype was able to detect residues in food. This indicates that the prototype can detect pesticides or chemical residues in food. From the different in measured absorbance value and a range that the absorbance value increase with the concentration of the substance. However, it could not determine the amount of chemical residues.

**Keywords:** Chemical Residues, Absorption, Signal Analysis, Image Analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทสำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ. ดร.มธุรดา จิโนรส ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและคอยชี้แนะให้คำปรึกษาแนะนำการปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้ทดลอง

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความกรุณาคอยอบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ผู้ทดลองและคอยสนับสนุนผู้ทดลอง

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาเอก นางสาวปิ่นปิ่นท์ เสถียรกิจอำไพ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการทำโครงการตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมาและเป็นแรงบันดาลใจให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ  
พรณิกา คำก้อนแก้ว  
พีรดา สุวรรณนิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ	IX
สารบัญสัญลักษณ์	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สารเคมีตกค้างในอาหาร	3
2.1.1 สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์	3
2.2 มาตรฐานสารตกค้างในอาหาร	5
2.3 วิธีมาตรฐานในการตรวจสอบสารพิษตกค้างในอาหาร	6
2.3.1 การตรวจวัดเชิงคัดกรอง	6
2.3.2 การตรวจวัดเชิงปริมาณ	6
2.4 สารเคมีที่เกี่ยวข้อง	7
2.4.1 ไดคลอร์วอส (Dichlorvos)	7
2.4.2 คาร์บาริล (Carbaryl)	8
2.4.3 ไซเพอร์เมทริน (Cypermethrin)	8
2.5 สเปกโทรโฟโตมิเตอร์	9
2.6 แสงเชิงคลื่น	10
2.7 สเปกตรัม	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8 การดูดกลืนแสงของสาร	13
2.9 แหล่งกำเนิดแสง	13
2.10 ระบบสี	15
2.11 ภาพดิจิทัล	16
2.12 โปรแกรม MATLAB and Statistics Toolbox R2022b	16
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	18
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	18
3.1.1 การสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ	18
3.1.2 สารที่ใช้สำหรับการทดสอบ	18
3.1.3 โปรแกรมที่ใช้	19
3.1.4 เครื่องมือ Spectrophotometer	19
3.2 วิธีการทดลอง	19
3.2.1 พัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ	19
3.2.3 ทดสอบกับวัสดุทดสอบ	23
3.2.4 การเก็บภาพและวิเคราะห์ภาพ	24
3.2.5 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนากับเครื่องมาตรฐาน	26
3.2.6 ทดสอบกับตัวอย่างอาหาร	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	29
4.1 อุปกรณ์ที่พัฒนา	29
4.2 ผลการศึกษาเบื้องต้น	29
4.2.1 ผลการศึกษาประเภทของแหล่งกำเนิดแสง	29
4.2.2 ผลการศึกษาแถบสเปกตรัมที่ใช้ในการพิจารณาที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัม	30
4.2.3 ผลการศึกษาขนาดความกว้างของช่อง Slit ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัม	31
4.3 ค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance, A) ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัม	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 ผลการทดสอบของวัสดุทดสอบ	33
4.4.1 ผลการทดสอบของสารละลายต่างทับทิม	33
4.4.2 ผลการทดสอบของของสารละลายเกลือ	35
4.4.3 ผลการทดสอบของสารเคมีตกค้าง	36
4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนากับเครื่องมาตรฐาน	43
4.5.1 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายต่างทับทิม	43
4.5.2 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายเกลือ	45
4.5.3 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายคาร์บาริล	47
4.5.4 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของไซเพอร์เมทริน	49
4.5.5 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของไดคลอร์วอส	51
4.5.6 ผลการทดสอบ paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (กำหนดให้ $\alpha=0.05$ )	53
4.6 ผลการทดสอบกับตัวอย่างอาหารของอุปกรณ์ที่พัฒนาในการตรวจจับสารตกค้างในอาหาร	53
4.6.1 ผลการทดลองของอุปกรณ์ที่พัฒนาในการตรวจจับสารเคมีตกค้าง ได้แก่ สารคาร์บาริล สารไซเพอร์เมทริน และสารไดคลอร์วอสในตัวอย่างอาหาร ได้แก่ น้ำส้มผสมเนื้อส้มและน้ำส้มไม่ผสมเนื้อส้ม	53
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการทดลอง	56
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาเพิ่ม	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	63
ภาคผนวก ข ชุดคำสั่งโปรแกรม	146

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด	6
2.2 แสดงสีและสีตรงกันข้ามของสเปกตรัมช่วงคลื่นที่ตามองเห็น	12
3.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการทดสอบ	23
3.2 แสดงความเข้มข้นของสารเคมีตกค้างที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่างอาหาร	28
4.1 แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB ที่ได้จากแถบสเปกตรัมด้านขวาของน้ำ DI	30
4.2 แสดงจากค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB ที่ได้จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายของน้ำ DI	30
4.3 แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB ที่ได้จากการทดสอบด้วยช่อง Slit ขนาดต่าง ๆ ของสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L	31
ก.1 แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม	63
ก.2 แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม	87
ก.3 แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L	112
ก.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี	141
ก.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี	142
ก.6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี	143
ก.7 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี	144
ก.8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไดคลอร์วอสที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี	145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.9 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายด่างทับทิม	146
ก.10 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายเกลือ	146
ก.11 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายคาร์บาริล	147
ก.12 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายไซเพอร์เมทริน	147
ก.13 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายไดคลอร์วอส	148



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า	
2.1	โครงสร้างทางเคมีของไดคลอรัวอส	8
2.2	โครงสร้างทางเคมีของคาร์บาริล	8
2.3	โครงสร้างทางเคมีของไซเพอร์เมทริน	9
2.4	ภาพสเปกตรัมของแสง	13
2.5	ลักษณะและอุณหภูมิของแสงแต่ละชนิด	14
2.6	ระบบสี HSV	15
2.7	ระบบสี RGB Color Mode	16
3.1	การออกแบบอุปกรณ์สำหรับให้แสงส่องผ่านและอุปกรณ์สำหรับให้แสงส่องผ่านที่สร้างขึ้น	19
3.2	การออกแบบที่เสียบ Slit	20
3.3	การออกแบบกล่องป้องกันแสงเข้า ฝาสำหรับป้องกันแสงเข้า ลักษณะการติดหลอดไฟและฝาสำหรับป้องกันแสงเข้าที่สร้างขึ้น	21
3.4	การออกแบบลักษณะช่องสำหรับถ่ายภาพและลักษณะด้านในของช่องสำหรับถ่ายภาพ	21
3.5	การออกแบบช่องสำหรับใส่โทรศัพท์และช่องสำหรับใส่โทรศัพท์ที่สร้างขึ้น	22
3.6	ลักษณะด้านหน้าของอุปกรณ์ต้นแบบ ลักษณะด้านในของอุปกรณ์ต้นแบบ ลักษณะด้านหลังของอุปกรณ์ต้นแบบ ลักษณะด้านหน้าของอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น ลักษณะด้านในของอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น และลักษณะด้านหลังของอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น	23
3.7	สเปกตรัมที่ได้จากหลอดฟลูออเรสเซนต์	24
3.8	สเปกตรัมที่ขนาด 600x100 Pixel	24
3.9	แถบสเปกตรัมด้านซ้ายและขวาที่ได้จากการตัดภาพที่ขนาด 600x100 Pixel	25
3.10	สเปกตรัมที่ขนาดความกว้างของช่อง Slit 50 100 และ 200 $\mu\text{m}$	25
3.11	ไดอะแกรมหลักการทำงานของโปรแกรมการวิเคราะห์รูปภาพ	25
3.12	ไดอะแกรมหลักการทำงานของโปรแกรมการหาค่าการดูดกลืนของแสง	27
4.1	สเปกตรัมที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงชนิด	29
4.2	สเปกตรัมที่ได้จากการทดสอบด้วยช่อง Slit ที่มีความกว้าง 50 100 และ 200 $\mu\text{m}$	31
4.3	สเปกตรัมของน้ำ DI และสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L	32
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างและตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมของน้ำ DI และสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L	33

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมของสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L	33
4.6 สเปกตรัมของน้ำDI และสารละลายต่างหับทิมที่ความเข้มข้น 20 50 และ 100 mg/L	34
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมของสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	34
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	35
4.9 สเปกตรัมของน้ำDI และสารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 20 50 100 mg/L	36
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	36
4.11 กราฟการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริลจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ความเข้มข้น 3.5 7 และ 14 mg/L	38
4.12 กราฟการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริลจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอด UV ที่ความเข้มข้น 3.5 7 และ 14 mg/L	39
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	40
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	41
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไดคลอร์วอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	42
4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	44
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง $\pm 100$ จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	44
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 50% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าสูงที่สุด	44
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	46
4.20 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง $\pm 20$ จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	46

## สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 10% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าสูงสุด	46
4.22 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	48
4.23 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง $\pm 10$ จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	48
4.24 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 25% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าสูงสุด	48
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	50
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง $\pm 20$ จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	50
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 75% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าสูงสุด	50
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไดคลอร์วอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	52
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไดคลอร์วอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง $\pm 10$ จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	52
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไดคลอร์วอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 10% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าสูงสุด	52
4.31 ภาพถ่ายสเปกตรัมของน้ำส้มที่แหล่งกำเนิดแสงชนิด(ก) หลอดUV (ข) หลอดฟลูออเรสเซนต์	53
4.32 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารคาร์บาริลในตัวอย่างอาหารในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	55
4.33 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารไซเพอร์เมทรินในตัวอย่างอาหารในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	55

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารไดคลอโรวอสในตัวอย่างอาหารในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	55
ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน	136
ก.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งPixelของรูปภาพของสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา	136
ก.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน	137
ก.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งPixelของรูปภาพของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา	137
ก.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งPixelของรูปภาพของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา	138
ก.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน	138
ก.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน	139
ก.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งPixelของรูปภาพของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา	139
ก.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลายไดคลอโรวอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน	140
ก.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งPixelของรูปภาพของสารละลายไดคลอโรวอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา	140

## สารบัญสัญลักษณ์

$A$	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
$b$	ระยะทางที่แสงส่องผ่านเป็นเซนติเมตร (Path length)
$C$	ความเข้มข้นของสารที่มีสมบัติดูดกลืนแสง
$d$	ระยะห่างระหว่างช่องของเกรตติง หรือค่าคงที่ของเกรตติง
$I_0$	ความเข้มของแสง หรือค่าความสว่าง (Value, $V$ ) เฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ของสารมาตรฐาน ได้แก่ น้ำ DI
$I$	ความเข้มของแสง หรือค่าความสว่าง (Value, $V$ ) เฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ของสารละลายที่ใช้ในการทดสอบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ
$n$	ลำดับการเลี้ยวเบนมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม
$\%T$	เปอร์เซ็นต์แสงส่องผ่าน (% Transmittance)
$\lambda$	ความยาวคลื่นแสง
$\theta$	มุมเลี้ยวเบนของแถบสว่าง
$\epsilon$	ค่าสภาพดูดกลืนแบบโมลาร์ (Molar absorptivity)

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันสารพิษตกค้างในผักผลไม้เป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากการระบาดของโรคทำให้ผู้คนหันมาให้ความสำคัญกับสุขภาพมีความรอบคอบในการบริโภคมากขึ้นทำให้ผักและผลไม้เป็นที่ต้องการอย่างมากในท้องตลาดสารกำจัดศัตรูพืชจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการผลิตทางการเกษตรเนื่องจากช่วยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ลดปัญหาโรคที่มากับน้ำและแมลงพาหะนำโรค (สมาคมการค้าปุ๋ยและธุรกิจการเกษตรไทย, 2566) และผลผลิตที่ได้มีลักษณะสวยสมบูรณ์น่ารับประทานแม้จะมีข้อดีหลายประการแต่การใช้สารกำจัดศัตรูพืชนั้นก็ก่อให้เกิดปัญหาตามมามากมาย เช่น ปัญหาด้านสุขภาพของผู้ใช้ ปัญหาสิ่งแวดล้อม ปัญหาการตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในผลผลิตเป็นต้น (สุภรดาและคณะ, 2563) สารกำจัดศัตรูพืชที่เกษตรกรนิยมใช้อย่างกว้างขวาง ได้แก่ กลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate) กลุ่มไพรีทรอยด์ (Pyrethroids) และกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate) หากได้รับเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ อาทิเช่น มีอาการระคายเคืองผิวหนัง ทางเดินหายใจ และทางเดินอาหาร ส่งผลต่อระบบประสาททำให้สั่น กระตุก กล้ามเนื้ออ่อนแรง หายใจลำบาก (กรมควบคุมโรค, 2565)

การตรวจสอบสารพิษตกค้างในผักและผลไม้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากโดยวิธีมาตรฐานในการตรวจสอบสารพิษตกค้างในผักและผลไม้ ได้แก่ การใช้ชุดทดสอบ (Test kit) และ การใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ (Codex Alimentarius, 2017) การใช้ชุดทดสอบตรวจสอบสารพิษตกค้างเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญ สะดวก ให้ผลถูกต้องน่าเชื่อถือ แผลผลได้รวดเร็วเหมาะแก่การใช้ภาคสนาม มีต้นทุนต่ำ (กรมวิทยาศาสตร์ การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2560) แต่มีข้อเสียคือ สามารถตรวจพบสารพิษได้เฉพาะกลุ่มไม่สามารถจำแนกและเจาะจงลงไปได้ว่าเป็นสารประเภทใดสามารถบอกได้เฉพาะระดับความปลอดภัย (กอบทอง, 2566) อายุการใช้งานสั้นเนื่องจากน้ำยาทดสอบเป็นเอนไซม์และต้องทำการเก็บรักษาอย่างดีที่อุณหภูมิที่กำหนด เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการที่สามารถตรวจจับสารตกค้างได้โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนแสงของสารในการวิเคราะห์ ซึ่งสารแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนแสงแตกต่างกันตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ตที่กล่าวว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายจะแปรผันตามความเข้มข้นและความกว้างของระยะทางที่แสงเดินทางผ่านสารละลาย มีข้อดีคือ สามารถทำการวิเคราะห์หาสารตกค้างได้หลายประเภทได้ค่าในเชิงปริมาณ สามารถนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานได้ (นุชจรี, 2562) อย่างไรก็ตามเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ถือเป็นเครื่องมือที่มีความซับซ้อนทางเทคโนโลยีเคลื่อนย้ายไม่สะดวกราคาแพงในปัจจุบันจึงได้มีการคิดค้นอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา (Portable Spectrometer) ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาไม่แพง ไม่ต้องใช้ต้นทุนในการวิเคราะห์สูง ง่ายต่อการใช้งาน มีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ สามารถนำไปวิเคราะห์สารปนเปื้อนในภาคสนามและตรวจวัดปริมาณสารเคมีหรือสารชีวภาพได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาความเป็นไปได้และพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบในการตรวจวิเคราะห์สารตกค้างบางชนิดในอาหารอย่างง่ายโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลภาพอย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้อุปกรณ์วิเคราะห์สารตกค้างโดยใช้หลักการดูดกลืนแสง
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์ของอุปกรณ์ที่พัฒนากับอุปกรณ์มาตรฐาน

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการทำต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณสารตัวอย่างโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงร่วมกับการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัม
2. พัฒนาต้นแบบอุปกรณ์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีตกค้างด้วยค่าดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้จากภาพสเปกตรัมที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา
3. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปร ได้แก่ ประเภทของแหล่งกำเนิดแสงและขนาดของช่องSlit

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้อุปกรณ์ต้นแบบอย่างง่ายในการวิเคราะห์สารตกค้างที่สำคัญบางชนิดในอาหารอย่างง่ายในราคาสำหรับผู้บริโภคและผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดเล็กสามารถเข้าถึงได้เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 สารเคมีตกค้างในอาหาร

สารเคมีตกค้างในอาหารสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่การเพาะปลูก เก็บเกี่ยว ขนส่ง หรือกระทั่งติดมากับดิน น้ำ สิ่งแวดล้อม ทั้งยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อรา รวมถึงสารปรุงแต่ง ซึ่งหากร่างกายได้รับอย่างต่อเนื่องอาจเกิดอันตรายรวมถึงขั้นเสียชีวิตได้ โดยสามารถแบ่งสารเคมีปนเปื้อนในอาหารแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ สารเคมีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารพิษจากเชื้อรา สารพิษจากพืช เป็นต้น สารเคมีที่เติมลงไป ในอาหารโดยเจตนา เช่น สารปรุงแต่งอาหาร วัตถุเจือปนในอาหาร เป็นต้น และสารเคมีที่เติมลงในอาหารโดยไม่เจตนาหรือด้วยความบังเอิญ เช่น สารเคมีทำความสะอาด โลหะจากหมักพิมพ์ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนมาจากการเพาะปลูก เป็นต้น (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, 2563)

#### 2.1.1 สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์

หมายถึง สารเคมีที่มีจุดมุ่งหมายใช้เพื่อป้องกัน ทำลาย ดึงดูด ขับไล่ หรือควบคุมศัตรูพืชและสัตว์ หรือพืชและสัตว์ที่ไม่พึงประสงค์ไม่ว่าจะเป็นการใช้ระหว่างการผลิต การเก็บรักษา การขนส่ง การจำหน่าย หรือใช้ในระหว่างกระบวนการผลิตอาหารหรือเป็นสารเคมีที่อาจใช้กับสัตว์เพื่อควบคุมปรสิตนอกและให้ความหมายรวมถึงสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สารทำให้ใบร่วง สารทำให้ผลร่วง สารยับยั้งการแตกอ่อน และสารที่ใช้กับพืชผลก่อนหรือหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง (วนัสนันท์, 2559)

##### 2.1.1.1 ชนิดของสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช

สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชเป็นกลุ่มสารเคมีที่ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีสังเคราะห์นำมาใช้ควบคุม ป้องกัน และกำจัดศัตรูพืชรวมทั้งศัตรูสัตว์ด้วยสารเคมีทางการเกษตรเหล่านี้ที่นิยมใช้ได้แก่ สารเคมีกำจัดวัชพืชหรือยาฆ่าหญ้า สารเคมีกำจัดแมลงหรือสารกำจัดศัตรูพืชสารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืช ได้แก่ สารเคมีกำจัดเชื้อรา สารเคมีกำจัดไร (Acaricides) สารเคมีป้องกันกำจัดปลวก (Termite contro) และสัตว์ชนิดอื่นๆ อีกหลายชนิด นอกจากนี้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชยังสามารถแบ่งกลุ่มตามชนิดของสารเคมี โดยสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีการใช้ในการเกษตรในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ตามชนิดของสารเคมี ดังนี้ (วนัสนันท์, 2559)

#### 1. กลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine)

เป็นกลุ่มของสารเคมีที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ สารเคมีในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่มีพิษไม่เลือกหรือเจาะจงชนิดแมลง (คือเป็นพิษต่อแมลงทุกชนิด) สลายตัวช้า ทำให้พบตกค้างในห่วงโซ่อาหารและสิ่งแวดล้อมได้นานบางชนิดตกค้างได้นานหลายสิบปี ปัจจุบันประเทศส่วนใหญ่ทั่วโลกจะไม่อนุญาตให้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีในกลุ่มนี้หรือมีการควบคุมการใช้ไม่อนุญาตให้ใช้อย่างเสรีเพราะมีผลกระทบต่อด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมอย่างเห็นได้ชัด ตัวอย่างสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้คือ ดีดีที (DDT) ลินเดน (Lindane), คลอเดน (Chlordane) เอ็นโดซัลฟาน (Endosulfan) เป็นต้น และยังมีสารเคมีในกลุ่มไซคลอดีน (Cyclodiene) ได้แก่ ออลดริน (Aldrin) เอนดริน (Endrin) ไดเอลดริน (Diethylamide) และเฮปตาคลอ (Heptachlor) (วันสนันท์, 2559)

### 2. กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate)

สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตคือสารอินทรีย์ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญ สูตรโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีเป็นกลุ่มอนุพันธ์ของเอสเทอร์ เอมีน หรือไทออลของกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) กรดฟอสโฟนิก (Phosphonic acid) สารเคมีในกลุ่มนี้จะมีความเป็นพิษรุนแรงมากกว่ากลุ่มอื่นโดยเป็นพิษทั้งกับแมลงและสัตว์อื่นๆทุกชนิดแต่สารในกลุ่มนี้จะย่อยสลายได้เร็วกว่ากลุ่มออร์กาโนคลอรีน (วันสนันท์, 2559)

สารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรส (AChE) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของสัตว์รวมทั้งพบในอวัยวะที่ทำให้เกิดไฟฟ้าของปลา เม็ดเลือดของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เป็นต้น และผลจากการยับยั้งการทำงานดังกล่าว ทำให้เกิดการคั่งของสารอะซิติลโคลีน (ACh) ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบประสาทอัตโนมัติและในสมองซึ่งส่งผลให้เกิดความผิดปกติของระบบประสาทแต่ความแตกต่างของปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและเอนไซม์กับอะซิติลโคลีน คืออัตราเร็วของการทำปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเกิดขึ้นช้ามากและเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเตอเรสจึงไม่สามารถกลับคืนสภาพเดิมทำให้ไม่สามารถทำหน้าที่ทำลายอะซิติลโคลีนได้ตามปกติ ดังนั้นเมื่อมีอะซิติลโคลีนสะสมมากๆจะทำให้ระบบประสาทถูกกระตุ้นอยู่ตลอดเวลา แมลงจึงแสดงอาการผิดปกติคือ สั่น ชัก หรือเป็นอัมพาตและตายในที่สุด ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ได้แก่ มาลาไทออน (Malathion) เมวินฟอส (Mevinphos) และ ไดคลอรวอส (Dichlorvos) (วันสนันท์, 2559)

### 3. กลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate)

เป็นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ใช้ได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะแมลงชนิดปากดูดและศัตรูพืชที่อยู่ในดิน เช่น ไส้เดือนฝอยและหอยทาก สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นพิษร้ายแรงและพิษปานกลาง มีระยะเวลาในการตกค้างสั้น ถ้ามีการใช้สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องมีความปลอดภัยสูงแก่ผู้บริโภค ความเป็นพิษของสารกลุ่มนี้คล้ายกับสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต แต่ร่างกายของคนที่ได้รับสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชกลุ่มนี้จะกลับคืนสภาวะปกติได้เร็วกว่า ตัวอย่างสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้คือ สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีพิษร้ายแรง ได้แก่ คาร์โบฟูแรน และเมโทมิล ส่วนสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่มีพิษปานกลาง ได้แก่ เมทไทโอคาร์ (Metiocar) และ คาร์บาริล (Carbaryl) (วันสนันท์, 2559)

#### 4. ไพรีทรอยด์ (Pyrethroids)

เป็นสารเคมีกำจัดแมลงที่มีในธรรมชาติ สกัดได้จากดอกไม้ตระกูลเบญจมาศ (*Dendranthemum grandiflora*) บางชนิด มีประสิทธิภาพทำให้แมลงตายร่วงจากพืชได้เร็ว มีพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมต่ำ เนื่องจากคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีการสังเคราะห์สารเลียนแบบไพรีทรอยด์ เรียกว่าไพรีทรอยด์ (Pyrethroids) เช่น แอลเลทริน (Allethrin) และเตตระเมทริน (Tetramethrin) เป็นต้น สารเคมีกลุ่มนี้เป็นสารเคมีที่ใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะมีการสลายตัวได้เร็วสามารถใช้ทดแทนสารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตและคาร์บาเมต (วันสนันท์, 2559)

สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มนี้จะเป็นพิษต่อระบบประสาทของแมลงทำให้แมลงสลบในทันทีและตายในที่สุด แต่มีความเป็นพิษต่อคนและสัตว์เลือดอุ่นต่ำในรายที่ได้รับเข้าไปในปริมาณมากมีการออกฤทธิ์โดยตรงต่อระบบประสาท ทำให้เกิดการชักกระตุกและเป็นอัมพาต ทั้งนี้อันตรายอาจเกิดจากตัวทำลาย เช่น น้ำมันก๊าด ซึ่งมีพิษมากกว่าไพรีทรอยด์ สำหรับสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ (Synthetic-pyrethroids) ซึ่งเป็นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่สังเคราะห์ลอกเลียนแบบสารธรรมชาติไพรีทรอยด์ (Pyrethrum) ได้แก่ ไซเปอร์เมทริน (Cypermethrin), ไชยาโลทริน (Cyhalothrin) และไซฟลูทริน (Cyfluthrin) (วันสนันท์, 2559)

##### 2.1.1.2 พิษที่เกิดจากสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช

กลุ่มอาการ (Syndromic) เป็นกลุ่มของอาการ (Signs) และอาการแสดง (Symptoms) ของการเกิดพิษจากสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่เกิดกับระบบต่าง ๆ ของร่างกาย อาการแสดงการเกิดพิษจากสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช มีทั้งชนิดเฉียบพลันและเรื้อรัง ซึ่งมีทั้งอาการที่สังเกตเห็นได้จากภายนอกและอาการที่ผู้รับสารเคมีรู้สึกจากความผิดปกติภายในของร่างกาย ซึ่งอาจมองไม่เห็นจากภายนอก พิษของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชแบ่งตามกลุ่มสารเคมีเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ตามผลที่มีต่อร่างกายของมนุษย์สรุปโดยย่อได้ดังนี้ (วันสนันท์, 2559)

- 1) กลุ่มออร์กาโนคลอรีนมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลางในระยะยาว
- 2) กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตมีผลต่อระบบประสาทและส่งผลต่อร่างกายในระยะยาว
- 3) กลุ่มคาร์บาเมตมีผลต่อระบบประสาทในระยะสั้น
- 4) กลุ่มไพรีทรอยด์สร้างความระคายเคืองต่อร่างกายภายนอก
- 5) กลุ่มคาร์บาเมตสร้างความระคายเคืองต่อร่างกายภายนอก เช่น ตาและผิวหนัง

#### 2.2 มาตรฐานสารตกค้างในอาหาร

กระทรวงการเกษตรและสหกรณ์ได้กำหนดปริมาณสารตกค้างสูงสุด (Maximum Residue Limit for pesticide, MRL) ตามชนิดวัตถุอันตรายทางการเกษตรตัวอย่างเกณฑ์ (กระทรวงการเกษตรและสหกรณ์, 2559) ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด

วัตถุอันตรายทางการเกษตร	สินค้าเกษตร	ปริมาณสารพิษตกค้างสูงสุด (MRL) (mg/kg)
คาร์บาริล (carbaryl)	ส้ม	7
ไดคลอร์วอส (dichlorvos)	นม	0.05
ไซเพอร์เมทริน (cypermethrin)	ส้ม	0.2
	นม	0.02
	ส้ม	0.3
	นม	0.05

(ที่มา : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559 )

### 2.3 วิธีมาตรฐานในการตรวจสอบสารพิษตกค้างในอาหาร

วิธีการมาตรฐานในการตรวจวัดสารตกค้างเบื้องต้นจะเป็นการตรวจวัดเชิงคัดกรองนิยมใช้ชุดทดสอบมาตรฐาน (Test kit) และ Mass Spectrometry จากนั้นจึงนำไปตรวจวัดเชิงปริมาณด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอีกครั้ง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีเช่น Gas Chromatography Mass Spectrometry, Thin – Layer - Chromatography และ Liquid Chromatography - Mass Spectrometry (Codex Alimentarius, 2017)

#### 2.3.1 การตรวจวัดเชิงคัดกรอง

1. ชุดทดสอบมาตรฐาน (Test kit) เป็นเครื่องมือตรวจสอบคัดกรองสารตกค้างเบื้องต้น ใช้ประเมินความปลอดภัยในอาหารนอกห้องปฏิบัติการ โดยมีหลักการ Colorimetric Cholinesterase Inhibitor Assay และการทำปฏิกิริยากับสารเคมีเพื่อให้เกิดสี (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2562) และสามารถแสดงผลของการพบสารเคมีได้เพียง 2 ระดับเท่านั้นคือระดับปลอดภัยและระดับไม่ปลอดภัย (Codex Alimentarius, 2017)

2. Mass Spectrometry (MS) เป็นเทคนิคการตรวจจับสารตกค้างด้วยการแยกประจุของสารผสม โดยสารผสมจะถูกทำให้เป็นไอออนด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น Time of flight (TOF) และ Magnetic Section Ion-trap ซึ่งจะทำให้เกิดสเปกตรัมของไอออนได้อย่างสมบูรณ์โดยเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์จะตรวจวัดไอออนที่เกิดขึ้นและปรากฏเป็นพีคบนสเปกตรัมตามขนาดมวลต่อประจุของไอออน ทำให้สามารถศึกษาน้ำหนักโมเลกุลและอธิบายโครงสร้างทางเคมีของสารได้ (Codex Alimentarius, 2017)

#### 2.3.2 การตรวจวัดเชิงปริมาณ

1. Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC - MS) เทคนิค GC ใช้สำหรับแยกตัวอย่างที่เป็นสารผสมที่ระเหยได้โดยเปลี่ยนสารผสมให้เป็นไอและอาศัยการพาไปของเฟสเคลื่อนที่พาไปยังคอลัมน์บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่ในการแยกเรียกว่าเฟสคงที่สารผสมจะถูกแยกออกเป็นส่วนๆที่คอลัมน์นี้ด้วยความ

แตกต่างของสมบัติทางเคมีโครงสร้างน้ำหนักโมเลกุลจุดเดือดสารที่แยกได้จะผ่านออกไปสู่ส่วนตรวจวัดทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังระบบประมวลผลซึ่งประมวลผลด้วยวิธี MS ซึ่งสามารถคำนวณและรายงานผลออกมาเป็นแมสโครมาโทแกรมและคลื่นสเปกตรัมทำให้ทราบถึงองค์ประกอบหรือเทียบปริมาณของสารตัวอย่างได้ กล่าวคือสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ (Codex Alimentarius, 2017)

2. Thin - Layer - Chromatography (TLC) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงคุณภาพสำหรับสารประกอบอินทรีย์ที่มีปริมาณน้อยเพื่อหาจำนวนสารที่อยู่ในสารผสมและใช้พิสูจน์ชนิดสารโดยเปรียบเทียบ Rf ของสารกับสารมาตรฐานเพื่อใช้ในการตรวจดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารระหว่างกระบวนการแยกสารในขั้นตอนต่าง ๆ และยังใช้สำหรับหาตัวทำละลายที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการแยกสารผสมที่มีปริมาณมากด้วยวิธีคอลัมน์โครมาโตกราฟี (Codex Alimentarius, 2017)

3. Liquid Chromatography - Mass Spectrometry (LC - MS) เทคนิค LC เป็นการแยกสารที่มีความซับซ้อนในสถานะของเหลวให้มีความบริสุทธิ์ด้วยการกรองผ่านคอลัมน์ที่อยู่ในบรรจุด้วยอนุภาคของแข็งขนาดเล็กทำหน้าที่เป็นวัฏภาคคงที่การแยกเกิดขึ้นได้ในคอลัมน์ เนื่องจากสารแต่ละชนิดเคลื่อนที่ผ่านวัฏภาคคงที่ด้วยความเร็วที่ต่างกันจากนั้นจึงส่งสารที่แยกเฟสแล้วไปต่อที่เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และทำการแยกประจุด้วยวิธี MS ให้ได้ผลออกมาเป็นแมสโครมาโทแกรมและคลื่นสเปกตรัม เพื่อนำไปหาโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้น ๆ ต่อไป (Codex Alimentarius, 2017)

4. High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เทคนิค HPLC มีพื้นฐานการปฏิบัติคล้ายกับวิธี LC แต่จะมีการเพิ่มเครื่องสูบลมความดันสูงเข้าไปในกรรมวิธี เพื่อให้สามารถแยกสารได้ดียิ่งขึ้นเพราะเมื่อเพิ่มความดันในการสูบลมเข้าไปจะทำให้สามารถกรององค์ประกอบได้มากกว่าการให้สารไหลเข้าไปเองโดยไม่มีเครื่องสูบลมความดันสูง (Codex Alimentarius, 2017)

## 2.4 สารเคมีที่เกี่ยวข้อง

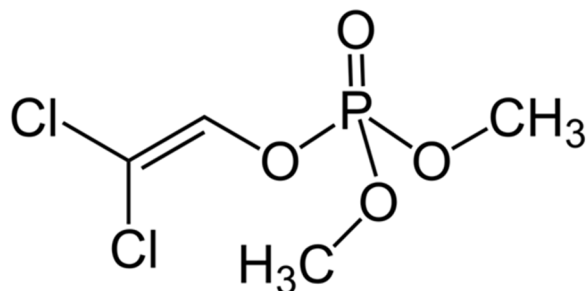
### 2.4.1 ไดคลอรวอส (Dichlorvos)

สูตรโมเลกุล :  $C_4H_7Cl_2O_4P$  ดังรูปที่ 2.1

IUPAC NAME : 2,2-Dichlorovinyl dimethyl phosphate

ไดคลอรวอส เป็นชื่อทางการค้าและเป็นสารกำจัดแมลงในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต นิยมใช้กำจัดแมลงในครัวเรือนและการเกษตรพบได้ใน ส้ม กล้วย พืช นม เนื้อสัตว์ปีก เป็นต้น ไดคลอรวอสสามารถดูดซึมได้ทางผิวหนัง การหายใจ การกิน ออกฤทธิ์โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรส (AChE) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการส่งกระแสประสาท จึงก่อให้เกิดอาการปวดศีรษะ เวียนศีรษะ เหงื่อออกมากผิดปกติ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง สูญเสียการมองเห็น โคม่า ไปจนถึงเสียชีวิตได้ (New Jersey Department of Health and Senior Services, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



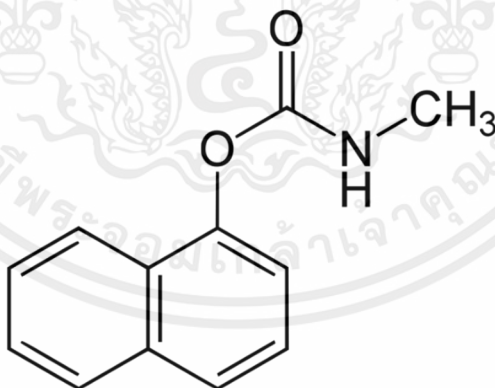
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไดคลออร์วอส (Okoroiwu, 2018)

#### 2.4.2 คาร์บาริล (Carbaryl)

สูตรโมเลกุล :  $C_{12}H_{11}NO_2$  ดังรูปที่ 2.2

IUPAC NAME : 1-Naphthyl methylcarbamate

คาร์บาริล ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารกำจัดแมลงคาร์บาเมต มักใช้งานเป็นยากำจัดแมลงเป็นส่วนมาก พบได้ใน ส้ม ข้าวโพด ถั่วเหลือง เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้กับสัตว์ปีก ปศุสัตว์ และสัตว์เลี้ยง เพื่อกำจัดแมลงรบกวนอีกด้วย โดยคาร์บาริลนั้นจัดเป็นสารมีพิษปานกลาง กลไกการออกฤทธิ์เหมือนคล้ายกับสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตหรือไดคลออร์วอส สามารถดูดซึมผ่านทางผิวหนัง การหายใจ (การสูดดม) และการกินได้ หากได้รับคาร์บาริลเข้าไปจะก่อให้เกิดอาการระคายเคืองตา ปวดศีรษะ กล้ามเนื้ออ่อนแรงจนเป็นตะคริว และภาวะไม่ย่อยอาหารได้ (United states environmental protection agency, 2016)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของคาร์บาริล (Yikrazuul, 2009)

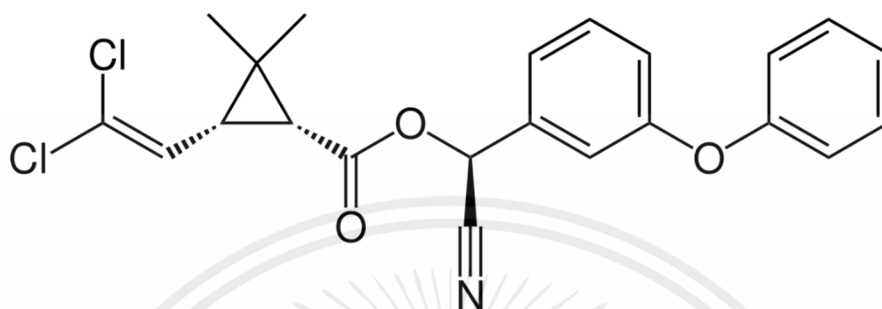
#### 2.4.3 ไซเพอร์เมทริน (Cypermethrin)

สูตรโมเลกุล :  $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$

IUPAC NAME : [Cyano-(3-phenoxyphenyl)methyl]3-(2,2-dichloroethenyl)-2,2-dimethylcyclopropane-1-carboxylate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซเพอร์เมทริน เป็นสารกำจัดแมลงในกลุ่มของไพรีทรอยด์ ถูกสังเคราะห์ขึ้นเพื่อให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้มากกว่าไพรีทรินส์ มักใช้งานในครัวเรือนและการเกษตร เช่น กำจัดยุง แมลงสาบ เ็บ หนัด เป็นต้น สามารถดูดซึมได้การหายใจ และการกินเป็นหลัก ออกฤทธิ์รบกวนระบบประสาททำให้สมองทำงานช้าลง ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน เป็นต้น (Shilpakar, 2021)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของไซเพอร์เมทริน (Derksen, 2007)

## 2.5 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของสารทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณโดยวัดปริมาณแสงที่สารนั้นดูดกลืนไว้ซึ่งทำงานโดยปล่อยลำแสงจากแหล่งกำเนิดไปยังสารที่ต้องการศึกษาแสงส่วนหนึ่งจะถูกสารนั้นดูดกลืนไว้ในขณะที่แสงส่วนที่เหลือจากการดูดกลืนจะผ่านออกมาและผ่านต่อไปยังตัวรับสัญญาณของเครื่องซึ่งจะวัดปริมาณแสงที่ได้รับแล้วรายงานค่าโดยเปรียบเทียบกับปริมาณแสงตั้งต้น (ชูชาติ, 2544) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ 5 องค์ประกอบดังนี้

### 2.5.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light source)

ทำหน้าที่ให้พลังงานแสงความยาวคลื่นต่าง ๆ การวัดการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจะใช้ดวงไฟทังสเตน (tungsten lamp) ซึ่งให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 340-800 นาโนเมตร ส่วนการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ตจะใช้ดวงไฟไฮโดรเจน (hydrogen lamp) หรือดวงไฟดีวเทอเรียม (deuterium lamp) ซึ่งให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 200-340 นาโนเมตร เนื่องจากดวงไฟชนิดนี้มีราคาสูงเมื่อไม่มีการใช้งานในช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเล็ตควรต้องปิดดวงไฟชนิดนี้ในเครื่องมือที่มีการติดตั้งดวงไฟทั้ง 2 ชนิดนี้ไว้ด้วยกัน (ชูชาติ, 2544)

### 2.5.2 อุปกรณ์แยกและเลือกคลื่นแสง (Wavelength selector)

ทำหน้าที่คัดเลือกแสงที่เข้ามาทางช่องแสงเข้ามาทางช่องแสงเข้า (entrance slit) ให้ได้แสงที่มีความยาวคลื่นที่ต้องการผ่านออกมาทางช่องแสงออก (exit slit) ตัวอย่างเช่น แผ่นกรองแสง (filter) และมอนอโครมาเตอร์ (monochromator) แผ่นกรองแสงจะยอมให้เฉพาะแสงความยาวคลื่นหนึ่งผ่านออกมาทางช่องแสงออกและดูดกลืนแสงความยาวคลื่นต่าง ๆ ด้วยปริซึม (prism) หรือเกรตติง (grating) แล้วคัดเลือกให้แสงความ

ยาวคลื่นที่ต้องการผ่านออกมาทางช่องแสงออก เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ใช้แผ่นกรองแสงเป็นตัวแยกแสงและเลือกคลื่นแสงจะเรียกว่าโฟโตมิเตอร์ ถ้าใช้หมอนอโรโครเตอร์จะเรียกว่า สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ชูชาติ, 2544)

### 2.5.3 คิวเวทและช่องใส่คิวเวท (Cuvette and cuvette holder)

คิวเวทหรือเซลล์ คือ ภาชนะที่ใช้บรรจุสารละลายที่จะใช้วัดค่าการดูดกลืนแสงและกำหนดความหนาของสารละลายที่ให้แสงเดินทางผ่านอาจมีรูปทรงกระบอกกลวงปลายด้านหนึ่งตันปลายอีกด้านเปิดเพื่อบรรจุสารละลายหรือทำเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ผนังด้านที่จะให้แสงเดินทางผ่านจะทำให้เรียบและบาง ซึ่งจะใช้ความกว้างของด้านนี้เป็นตัวกำหนดความหนาของสารละลายและเรียกว่า ความกว้างของคิวเวท (cuvette path-length) ส่วนใหญ่จะทำให้มีความกว้าง 1 เซนติเมตร แต่ก็มีมีความกว้างขนาดอื่นๆได้ คิวเวทที่ทำจากแก้วจะใช้วัดการดูดกลืนแสงช่วงความยาวคลื่น 320-950 นาโนเมตร กรณีที่ต้องการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นน้อยกว่า 320 นาโนเมตร จะต้องใช้คิวเวทที่ทำด้วยควอทซ์ (quartz) หรือ ซิลิกา (silica) (ชูชาติ, 2544)

### 2.5.4 อุปกรณ์วัดความเข้มแสง (Photo detector)

ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มของพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้า ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากอุปกรณ์วัดความเข้มแสงถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้บอกความเข้มของพลังงานแสงที่ตกกระทบ โดยถูกป้อนเข้าในวงจรไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนเป็นค่าการดูดกลืนแสงหรือค่าการส่องผ่าน (%T) ที่อุปกรณ์แสดงผล (ชูชาติ, 2544)

### 2.5.5 อุปกรณ์แสดงผล (Readout device)

ทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสงมาแปลงเป็นค่าการดูดกลืนแสงหรือค่าการส่องผ่าน (%T) และแสดงผลการแสดงผลของเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงรุ่นแรก ๆ จะเป็นแบบสเกลของค่าการดูดกลืนแสงและค่าการส่องผ่าน (%T) ตัวชี้ค่าอาจเป็นเข็มชี้หรือรูปเงาสะท้อนจากกระจกในปัจจุบันสัญญาณได้ถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลและแสดงผลเป็นตัวเลขค่าการดูดกลืนแสงหรือค่าการส่องผ่าน (%T) นอกจากนี้ได้ประยุกต์เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาช่วยในการประมวลผลสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสง จึงทำให้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงใช้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลมากขึ้น (ชูชาติ, 2544)

## 2.6 แสงเชิงคลื่น

### 2.6.1 แสง

แสงที่ตาเรามองเห็นได้เป็นช่วงหนึ่งในสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-700 นาโนเมตร มีอัตราเร็วเท่ากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั่วไปคือ  $3 \times 10^8$  เมตร/วินาที เดิมเชื่อกันว่าแสงเป็นอนุภาค จนกระทั่ง ธอมัส ยัง ได้ทำการทดลองให้เห็นว่าแสงมีการแทรกสอดได้จึงยอมรับกันว่าแสงเป็นคลื่น (จอห์นสัน, 2559)

## 2.6.2 การสะท้อน (Reflection)

การสะท้อนของคลื่นเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญประการหนึ่งของคลื่นเกิดเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปพบสิ่งกีดขวางหรือเปลี่ยนตัวกลางในการเคลื่อนที่โดยคลื่นที่เคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางเรียกว่า คลื่นตกกระทบ และคลื่นที่สะท้อนออกมาเรียกว่า คลื่นสะท้อน การสะท้อนของคลื่นต้องเป็นไปตามกฎการสะท้อนของคลื่น ดังนี้ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเสมอและรังสีตกกระทบ เส้นปกติ รังสีสะท้อนอยู่ในระนาบเดียวกัน (จอห์นสัน, 2559)

## 2.6.3 การหักเห (Refraction)

การหักเหเป็นสมบัติของคลื่นเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันซึ่งเป็นต้นเหตุให้อัตราเร็วคลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปทำให้ความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยเนื่องจากการหักเหคลื่นค่าความถี่คลื่นเป็นค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อคลื่นหักเหเข้าไปในตัวกลางที่ 2 การหักเหจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางทั้งสอง (จอห์นสัน, 2559)

## 2.6.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction of Wave)

การเลี้ยวเบนของคลื่นเกิดขึ้นได้ เมื่อคลื่นจากแหล่งกำเนิดเดินทางไปพบสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นขอบหรือช่องทำให้คลื่นเคลื่อนที่เลี้ยวอ้อมผ่านสิ่งกีดขวางไปได้ซึ่งหากคลื่นเคลื่อนที่กระทบกับสิ่งกีดขวางคลื่นส่วนที่กระทบสิ่งกีดขวางจะสะท้อนกลับออกมาคลื่นที่ผ่านช่องเปิดจะสามารถแผ่จากขอบของสิ่งกีดขวางเข้าไปทางด้านหลังของสิ่งกีดขวางเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเลี้ยวเบน (Diffraction) จากการทดลองเมื่อให้คลื่นต่อเนื่องเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นช่องเปิดที่ เรียกว่า ช่องเล็กยาว (Slit) การเลี้ยวเบนจะแตกต่างกันโดยลักษณะคลื่นที่เลี้ยวเบนผ่านไปได้จะขึ้นอยู่กับความกว้างของช่องเล็กยาว (จอห์นสัน, 2559)

## 2.6.5 การแทรกสอดของคลื่น (Interference)

การแทรกสอดเกิดขึ้นจากการที่คลื่นต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (ส่งคลื่นที่มีความถี่และความยาวคลื่นและอัตราเร็วคลื่นคงที่) ตั้งแต่สองแหล่งกำเนิดขึ้นไปเดินทางมาพบกันจะเกิดการแทรกสอดหรือเกิดการรวมกันของคลื่นแบ่งได้ 2 แบบคือ ตำแหน่งที่เกิดการรวมแบบเสริมกันจะมีค่าแอมพลิจูดมากเรียกตำแหน่งนี้ว่า ปฏิบัพ (Antinode, A) ตำแหน่งที่เกิดการรวมแบบหักล้างกันจะมีค่าแอมพลิจูดน้อยเกือบเป็นศูนย์ เรียกตำแหน่งนี้ว่า บัพ (Node, N) เมื่อมีคลื่นต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิดคลื่นสองแหล่งที่มีเฟสตรงกันเคลื่อนที่มาพบกันจะเกิดการซ้อนทับระหว่างคลื่นต่อเนื่องสองขบวนเกิดแนวการแทรกสอดโดยที่แนวกลางระหว่างแหล่งกำเนิดคลื่นเป็นแนวการแทรกสอดแบบเสริม (จอห์นสัน, 2559)

## 2.6.6 เกรตติง (Grating)

เป็นอุปกรณ์ทางแสงที่มีช่องเล็ก ๆ ที่มีจำนวนช่องและระยะห่างแต่ละช่องเท่ากันเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านเกรตติงจะเกิดการเลี้ยวเบนและแทรกสอดทำให้เกิดแถบสว่างเบนไปจากแนวกลางหากแสงขาวผ่านเกรตติง

ตำแหน่งแถบสว่างของแสงแต่ละสีจะต่างกัน เนื่องจากความยาวคลื่นของแสงแต่ละสีมีค่าต่างกันซึ่งระยะห่างของแถบสว่างที่อยู่ห่างจากแถบสว่างกลางสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.1) (จอห์นสัน, 2559)

$$d \sin(\theta) = n\lambda \quad (2.1)$$

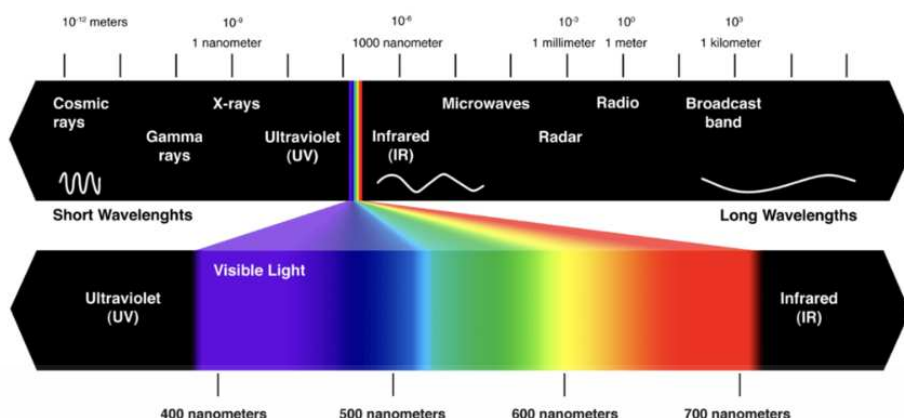
## 2.7 สเปกตรัม

แสงขาวซึ่งเกิดจากแสงสีต่าง ๆ ผสมกันและแยกออกเป็น แสงสีต่าง ๆ หากนำแท่งแก้วปริซึมมาหักเหแสงอาทิตย์ (แสงสีขาว) เราจะเห็นว่าแสงสีขาวจะเกิดการหักเหออกเป็นแสงสีต่าง ๆ 7 สีได้แก่ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง คล้ายกับสีของรุ้งกินน้ำเรียกว่า สเปกตรัม ซึ่งแสงเป็นเพียงส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 - 700 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นช่วงที่ประสาทตาของมนุษย์สามารถสัมผัสได้และแสงแต่ละสีมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันโดยแสงสีแดงมีความยาวคลื่นมากที่สุดแสงสีม่วงมีความยาวคลื่นสั้นที่สุด (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2562) โดยปกติคลื่นแสงที่ตามองเห็นประกอบไปด้วยแถบของแสงสีที่ต่างกัน ซึ่งในสายตาของคนจะมองเห็นเป็นแสงสีขาวเมื่อแสงแม่สีที่เป็นสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงินผสมกันและเมื่อแสงเดินทางมากกระทบสารเหล่านั้นจะมีการดูดกลืนแถบแสงสีที่มีระดับพลังงานที่เหมาะสมไว้ส่วนสีของสารเหล่านั้นที่ตาเรามองเห็นจึงเป็นแสงสีที่ไม่ถูกดูดกลืนแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสีและสีตรงกันข้ามของสเปกตรัมช่วงคลื่นที่ตามองเห็น

ความยาวคลื่น (nm)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีตรงกันข้ามหรือสีของสารที่ตาเรามองเห็น
350 – 430	ม่วง	เหลือง
430 – 475	น้ำเงิน	ส้ม
475 – 495	เขียวแกมน้ำเงิน	ส้มแกมแดง
495 – 505	เขียวแกมน้ำเงิน	แดงแกมส้ม
505 – 555	เขียว	แดง
555 – 575	เขียวแกมเหลือง	ม่วงแดง
575 – 600	เหลือง	ม่วง
600 – 650	ส้ม	น้ำเงิน
670 - 700	แดง	เขียว

(ที่มา : ชัยวัฒน์, 2564)



รูปที่ 2.4 ภาพสเปกตรัมของแสง (Geraets, 2023)

## 2.8 การดูดกลืนแสงของสาร

กฎของเบียร์ (Beer's law) กล่าวว่าถ้าสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นค่าดูดกลืนแสงของสารจะมากขึ้นตามเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นในทางกลับกันถ้าสารละลายมีความเข้มข้นลดลงค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงอย่างเป็นสัดส่วนเช่นกัน

กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) กล่าวว่าหากเพิ่มความกว้างระยะทางที่แสงเดินทางผ่านสารละลายค่าการดูดกลืนแสงจะมากขึ้นตามอย่างเป็นสัดส่วน (นุชจรี, 2563)

ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) หาได้จากสมการที่ (2.2) และ (2.3)

$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (2.2)$$

$$A = \epsilon bc = \log \frac{I_0}{I} = 2 - \log \%T \quad (2.3)$$

## 2.9 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ เช่น แสงจาก ดวงดาว แสงจากสิ่งมีชีวิตและแสงจากดวงอาทิตย์ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใหญ่ที่สุด

แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ คือ แหล่งกำเนิดแสงที่สร้างจากมนุษย์ ได้แก่ แสงจากหลอดไฟฟ้า จากเทียนไข จากตะเกียง เป็นต้น ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ (จักรรินทร์, 2564)

### 2.9.1 หลอดฟลูออเรสเซนต์

เป็นหลอดไฟฟ้าระบบปล่อยประจุที่บรรจุไอปรอทด้วยความดันต่ำแสงภายในหลอดอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ 400 – 700 nm ซึ่งเป็นช่วงแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ (visible light) การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์อาศัยพลังงานจากแสงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งเกิดขึ้นจากการที่ไอปรอทที่บรรจุไว้ในก๊าซเฉื่อย เช่น คริปทอน ก๊าซอาร์กอน นีออน ที่ความดันต่ำภายในหลอดแก้วได้รับการกระตุ้นจากแหล่งปลดปล่อยพลังงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Discharge Source) ให้อิออนที่ปลดปล่อยพลังงานออกมาแสงอัลตราไวโอเล็ตที่เปล่งออกมานี้จะกระทบเข้ากับผิวข้างในหลอดที่เคลือบด้วยสารเรืองแสง Fluorescent material หรือ Phosphor (ฟอสฟอรัส) โดยหน้าที่หลักของสารเรืองแสงนี้จะไปเปลี่ยนแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มนุษย์ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ให้กลายเป็นแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ (ภิเชก, 2564)

## 2.9.2 หลอด UV

มีทั้งสิ้น 3 ประเภทแบ่งตามการนำไปใช้งาน

1. หลอด UVA เป็นหลอดมีพลังงานต่ำและความยาวคลื่นสูงกว่า UV อื่น ๆ ที่เหลือซึ่งอยู่ในช่วง 315 – 400 nm สามารถนำไปใช้งานในการล่อแมลงหรือตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมได้
2. หลอด UVB เป็นหลอดมีพลังงานและความยาวคลื่นระดับกลางอยู่ในช่วง 280 – 315 nm เป็นรังสีที่ส่งผลต่อผิวหนังเรามากที่สุด ใช้ในการทำหลอดไฟ การอบผิวแทน และการรักษาโรค
3. หลอด UVC เป็นหลอดมีพลังงานสูงและความยาวคลื่นต่ำอยู่ในช่วง 100 - 280 nm เป็นรังสีที่มีความอันตรายมากที่สุดเพราะสามารถซึมทะลุร่างกายได้ส่วนใหญ่ใช้ในการทำลายเชื้อโรคแบคทีเรีย (ฐิติทิพย์, 2564)

## 2.9.3 อุณหภูมิของสีหลอดไฟ

สามารถแบ่งอุณหภูมิของสี ได้ 3 ชนิด ได้แก่ วอร์มไวท์ (Warm white) คูลไวท์ (Cool white) และเดย์ไลท์ (Daylight)



รูปที่ 2.5 ลักษณะและอุณหภูมิของแสงแต่ละชนิด (Pongklam, 2020)

1. หลอดไฟวอร์มไวท์ (Warm white)

มีอุณหภูมิสีอยู่ที่ 2,000 – 3,000 เคลวินให้แสงสีเหลืองเข้มไปจนถึงสีส้มช่วยสร้างบรรยากาศอบอุ่น โรแมนติกช่วยให้รู้สึกผ่อนคลายทั้งยังเป็นแสงไฟที่สบายตาที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. หลอดไฟคูลไวท์ (Cool white)

มีอุณหภูมิสีอยู่ที่ 4,000 – 5,000 เคลวินให้แสงสีขาวในโทนอุ่น มีความนวล ความสว่างจะอยู่กึ่งกลางระหว่างหลอดไฟออร์มไวท์กับหลอดไฟเดย์ไลท์ เป็นแสงไฟที่ให้ความสบายตาทั้งยังให้ความรู้สึกมีชีวิตชีวา

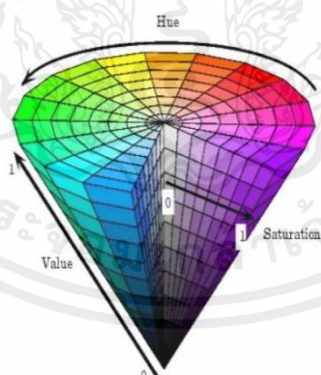
## 3. หลอดไฟเดย์ไลท์ (Daylight)

มีอุณหภูมิสีอยู่ที่ 6,000 เคลวินให้แสงสีขาวที่เหมือนแสงในธรรมชาติ ถือเป็นแสงที่สว่างมากที่สุดช่วยให้มองเห็นได้ชัดทั้งยังให้ความรู้สึกสดใสกระปรี้กระเปร่าช่วยให้กระฉับกระเฉงและรู้สึกตื่นตัว (Pongklam, 2020)

## 2.10 ระบบสี

### 2.10.1. ระบบสี HSV

การรับรู้สีของมนุษย์จะอธิบายสีด้วยค่าสีแท้ (Hue) ความอิ่มตัวของสี (Saturation) และ ความสว่าง (Value) โดยค่าสีแท้เป็นลักษณะที่อธิบายสีที่แท้จริงหรือสีต่าง ๆ ที่สะท้อนออกมาจากวัตถุเข้ามายังตาของเรา ทำให้เราสามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ ได้ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้าค่าสีแท้ มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดงและเมื่อค่าสีแท้มีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้งซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ดังนี้คือ สีแดงเท่ากับ 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา สีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศาในขณะที่ความอิ่มตัวของสีอธิบายถึงระดับความบริสุทธิ์ของสีหรือค่าความสดของสีส่วนความสว่างใช้อธิบายความเข้มแสงคือระดับความสว่างและความมืดของสี (ประภาพร, 2014)



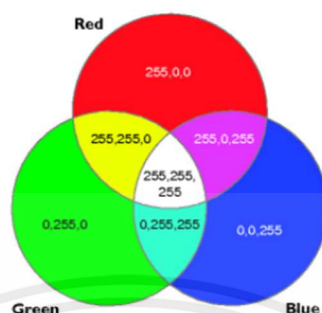
รูปที่ 2.6 ระบบสี HSV (ประภาพร, 2014)

### 2.10.2 ระบบสี RGB

เป็นระบบสีที่อิงอุปกรณ์ (Device Dependent Color) เช่น กล้อง จอภาพ เป็นต้น ประกอบด้วย สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเมื่อนำผสมผสานกันทำให้เกิดสีต่าง ๆ บนจอคอมพิวเตอร์ได้มากถึง 16.7 ล้านสีโดยเก็บข้อมูล 3 สี ๆ ละ 8 Bit ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นปกติสีที่ได้จากการผสมสีขึ้นอยู่กับความเข้มของสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยถ้าสีมีความเข้มมากเมื่อนำมาผสมกันจะทำให้เกิดเป็นสีขาวจึงเรียกระบบสีนี้ว่าแบบ Additive หรือการผสมสีแบบบวก (ไพโรจน์, 2556)



รูปที่ 2.7 ระบบสี RGB Color Mode (ไพโรจน์, 2556)

### 2.11 ภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัลเป็นการแสดงผลภาพในลักษณะสองมิติในหน่วยที่เรียกว่า Pixel โดยภาพหนึ่ง ๆ จะประกอบไปด้วยจุดภาพหรือ Pixel มากมายการสร้างข้อมูลภาพดิจิทัลสามารถสร้างได้จากหรือสแกนเนอร์ เป็นต้น ภาพดิจิทัลทั่วไปนั้นมีลักษณะเป็นภาพสี โดยในข้อมูลของภาพมีการเก็บค่าแม่สีของแสง 3 สี คือ R (สีแดง) G (สีเขียว) B (สีน้ำเงิน) เป็น 3 รูปแบบ โดยที่แต่ละแบบจะเป็นตัวเก็บค่าความสว่างของสีต่าง ๆ ไว้ และเมื่อนำภาพมาแสดงที่หน้าจอภาพก็จะเป็นการนำรายละเอียดที่เก็บค่าสีไว้ในสีต่าง ๆ มาแสดงพร้อมกันบนจุด ๆ เดียวทำให้เกิดการผสมกันของสีทำให้เกิดภาพสีที่มีรายละเอียดต่าง ๆ กันได้ แต่ละจุดของภาพจะมีการจัดเก็บข้อมูลแบบ 8 บิต ดังนั้นภาพสีจะมีการจัดเก็บข้อมูลในแม่สีของแสงแต่ละสีทั้งหมด 3 สี จึงทำให้ต้องใช้การจัดเก็บทั้งหมด 24 บิต ต่อหนึ่งจุดของภาพ แบ่งเป็นระดับสีได้ 256 ระดับ โดยที่สีขาวเกิดจากการผสมกันของสี RGB ที่มีค่าความสว่างของ R (สีแดง) มีค่าเท่ากับ 255 สี G (สีเขียว) ค่าเท่ากับ 255 และ B (สีน้ำเงิน) ส่วนสีดำเกิดจากค่าความสว่างของสี R (สีแดง) G (สีเขียว) B (สีน้ำเงิน) มีค่าเท่ากับ 0 (รณเวท, 2561)

### 2.12 โปรแกรม MATLAB and Statistics Toolbox R2022b

MATLAB เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงและเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในแวดวงของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรเพื่อใช้ในการคำนวณทางเทคนิค ในปัจจุบันชื่อโปรแกรม MATLAB นั้นย่อมาจาก MATrix LABoratory โดย MATLAB ได้รวมการคำนวณ การเขียนโปรแกรมและแสดงผลรวมกันอยู่ในตัวโปรแกรมเดียวได้อย่างมีประสิทธิภาพและอยู่ในลักษณะที่ง่ายต่อการใช้งาน นอกจากนี้ลักษณะของการเขียนสมการในโปรแกรมก็จะเหมือนการเขียนสมการคณิตศาสตร์ งานที่ทั่วไปที่ใช้ MATLAB ก็เช่น การคำนวณทางคณิตศาสตร์ การสร้างแบบจำลองและการทดสอบแบบจำลอง การวิเคราะห์ข้อมูล การแสดงผลใน

รูปภาพทั้งโดยทั่วไปและกราฟทางด้านทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม สามารถสร้างโปรแกรมในลักษณะที่ติดต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิกส์

การทำงานของ MATLAB จะสามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรง (Interactive) คือการเขียนคำสั่งเข้าไปทีละคำสั่งเพื่อให้ MATLAB ประมวลผลไปเรื่อย ๆ หรือสามารถที่จะรวบรวมชุดคำสั่งเรานั้นเป็นโปรแกรมก็ได้ (มนตรี, 2557)

### 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบสเปกโทรมิเตอร์ที่มีต้นทุนต่ำแบบกล่องจากวัสดุ 2 ชนิด ได้แก่ กระดาษแข็งและกล่องไม้ สำหรับการตรวจจับสีย้อม ยาฆ่าแมลงในผักผลไม้ และสารปนเปื้อนในน้ำมัน ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของกราฟสเปกตรัมที่ได้ด้วยโปรแกรม Theremino\_spectrometer-Tool (Likith et al., 2021) การออกแบบสเปกโทรโฟโตมิเตอร์สำหรับมือถือโดยใช้การพิมพ์ 3 มิติและใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์ โดยทำการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนของเครื่องตีผงรสเซอร์รี่ด้วย SpecPhone กับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Grass et al., 2016) ทำการเปรียบเทียบการตรวจวัดปริมาณยาฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัสด้วยวิธี HPLC (High Performance Liquid Chromatography) กับวิธีสเปกโทรโฟโตเมตริก (Harshit et al., 2017) การวิเคราะห์สีของใบชา โดยมีแนวคิดหลัก คือ การเก็บภาพใบชาและพื้นหลังอ้างอิงที่มีสีขาวโดยใช้โทรศัพท์มือถือบนระบบปฏิบัติการ Android ในการถ่ายภาพและนำไปประมวลผลด้วยแอปพลิเคชันใบชาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยการนำค่าสีในระบบสี RGB ที่ได้จากภาพถ่ายไปวิเคราะห์ (Intaravanne et al., 2015) การตรวจสอบความเป็นต้นฉบับของภาพถ่าย โดยทำการเปรียบเทียบค่าสีของแต่ละ Pixel ในรูปที่อยู่ในระบบเมตริกซ์ โดยใช้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นจากโปรแกรม MATLAB (รณเวท และคณะ, 2561)

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

##### 3.1.1 การสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ

1. ฟิวเจอร์บอร์ด (Future Board)
2. โทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการ Android รุ่น Xiaomi 11 Lite 5G NE
3. แหล่งกำเนิดแสง ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด UV
  - 3.1. หลอดฟลูออเรสเซนต์ ประเภทหลอดไฟ T5 กำลังไฟฟ้า 4 วัตต์ ชนิด Daylight อุณหภูมิ 6,500 เคลวิน ความสว่าง 2,500 ลูเมน ความยาว 14.5 เซนติเมตร (ST, Thailand)
  - 3.2. หลอด UV ชนิดหลอด UVC ความยาวคลื่น 100 – 280 นาโนเมตร ประเภทหลอดไฟ T5 กำลังไฟฟ้า 4 วัตต์ ความยาว 14.5 เซนติเมตร (Philips, Thailand)
4. คิวเวทควอตซ์ (Quartz Cuvette) (LABTECH, USA)
5. เกรตติง (Grating) จำนวน 25,400 เส้นต่อตารางนิ้ว ขนาด 1x1 นิ้ว (Suksapan, Thailand)
6. ช่องเล็กยาว (Slit) เดี่ยว โดยมีขนาดช่องดังต่อไปนี้ 50, 100 และ 200  $\mu\text{m}$  (Suksapan, Thailand)
7. ผ้ากำมะหยี่

##### 3.1.2 สารที่ใช้สำหรับการทดสอบ

1. น้ำ DI (Deionized water) (RCI Labscan, Ireland)
2. เกลือ (ปุรงทิพย์, Thailand)
3. ต่างทับทิม ต่างทับทิม (potassium permanganate :  $\text{KMnO}_4$ ) (แสงสว่างตราค้างคาว, ไทย)
4. สารเคมีตกค้าง มีดังนี้
  - 4.1 กลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate) ได้แก่ คาร์บาริล (Carbaryl) 85% WP (Sotus, Thailand)
  - 4.2 กลุ่มออกาโนฟอสเฟต (Organophosphate) ได้แก่ ไดคลอรวออส (Dichlorvos) 50% W/V EC (Extra Agrochemical, Thailand)
  - 4.3 กลุ่มไพรีทรอยด์ (Pyrethroids) ได้แก่ ไซเพอร์เมทริน (Cypermethrin) 10% W/V (Global Crops, Thailand)
5. น้ำส้มแมนดารินผสมเนื้อส้ม 100% (Malee, Thailand)
6. น้ำส้มแมนดาริน 100% (Malee, Thailand)

### 3.1.3 โปรแกรมที่ใช้

1. MATLAB and Statistics Toolbox Release R2022b (The MathWorks, USA)
2. Microsoft Excel 2016 (Microsoft, USA)

### 3.1.4 เครื่องมือ Spectrophotometer

1. เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer)  
(Genesys 10s, Thermo Scientific, USA)

## 3.2 วิธีการทดลอง

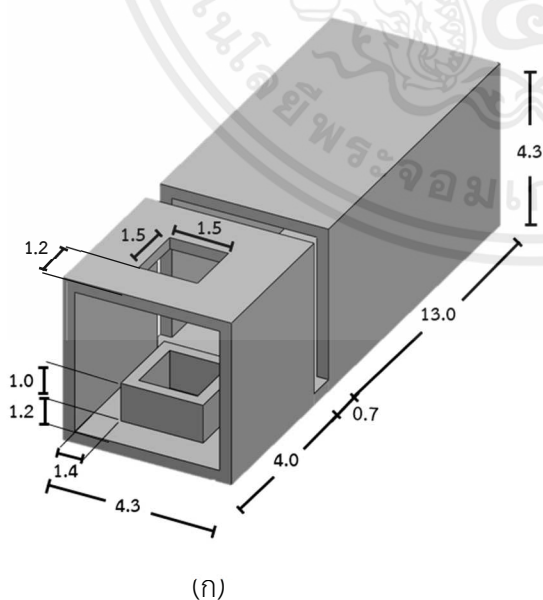
### 3.2.1 พัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ

#### 3.2.1.1. ออกแบบและพัฒนาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์อย่างง่ายด้วยแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด

1. ตัดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำและประกอบให้เป็นทรงปริซึมฐานสี่เหลี่ยมเพื่อทำอุปกรณ์สำหรับให้แสงส่องผ่านโดยกำหนดความยาว 13 เซนติเมตร และมีความกว้างกับความสูง 4.3 เซนติเมตร โดยที่บริเวณผิวด้านในของสี่เหลี่ยมมีการติดผ้ากำมะหยี่ไว้รอบทิศทางเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนของแสงด้านนอก

2. เจาะรูช่องสี่เหลี่ยมสำหรับใส่ควิวเวทด้านละ 1.5 เซนติเมตร ตำแหน่งเจาะวัดจากส่วนหัวเข้าไป 1.2 เซนติเมตร และวัดจากด้านข้าง 1.4 เซนติเมตร จากนั้นทำฐานสำหรับใส่ควิวเวท โดยการตัดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำและประกอบให้เป็นช่องสี่เหลี่ยมโดยกำหนดความกว้างและยาว 1.5 เซนติเมตรและความสูง 1 เซนติเมตร จากนั้นนำมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.1 (ก)

3. ทำช่องสำหรับใส่ที่เสียบ Slit ขนาดความกว้าง 0.7 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1

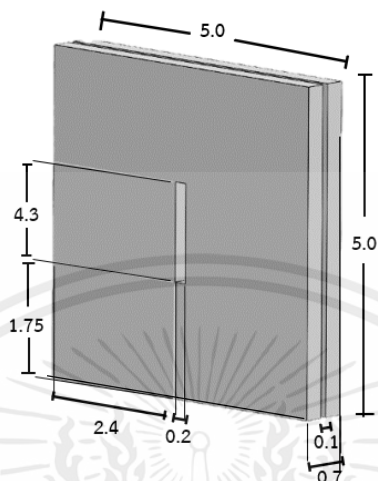


รูปที่ 3.1 การออกแบบ (ก) อุปกรณ์สำหรับให้แสงส่องผ่าน (ข) อุปกรณ์

สำหรับให้แสงส่องผ่านที่สร้างขึ้น

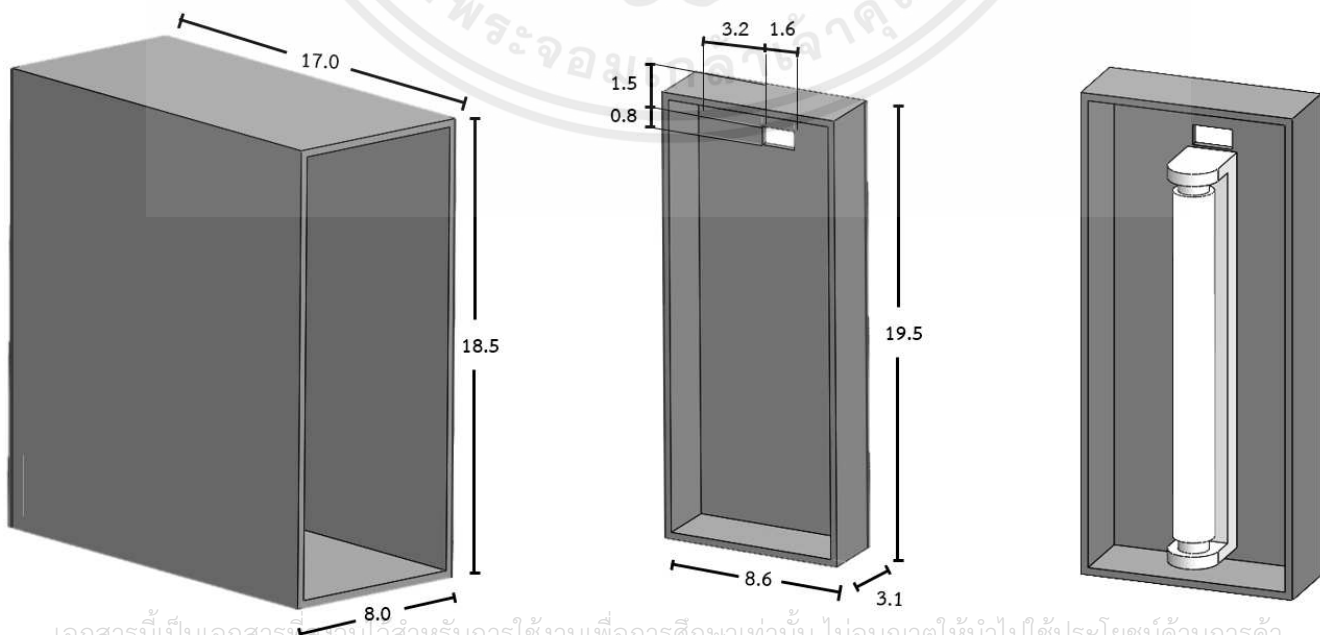
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำที่เสียบ Slit โดยการตัดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำขนาดความกว้างและความยาว 5 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น เจาะรูตรงกลางขนาดความกว้าง 0.2 เซนติเมตร และความยาว 1.5 เซนติเมตร ตำแหน่งเจาะวัดจากฐานขึ้นมา 1.75 เซนติเมตร และจากด้านข้าง 2.4 เซนติเมตร จากนั้นนำมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.2

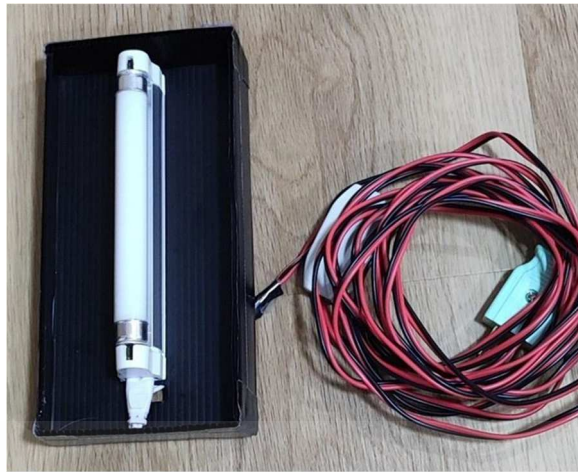


รูปที่ 3.2 การออกแบบที่เสียบ Slit

5. หลังจากได้ตัวอุปกรณ์สำหรับให้แสงส่องผ่าน จากนั้นทำการป้องกันแสงที่อาจเข้ามาบริเวณระหว่างการเก็บภาพ โดยการตัดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำและประกอบให้เป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่มีฝาปิด โดยขนาดกล่องมีความยาว 17 เซนติเมตร ความกว้าง 8 เซนติเมตร และความสูง 18.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3 (ก) และขนาดฝามีความยาว 8.6 เซนติเมตร ความกว้าง 3.1 เซนติเมตร และความสูง 19.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3 (ข) จากนั้นเจาะช่องสี่เหลี่ยมบริเวณฝาสำหรับทางเดินสายไฟที่ความกว้าง 0.8 เซนติเมตร และความยาว 1.6 เซนติเมตร ตำแหน่งเจาะวัดจากด้านบนลงมา 1.5 เซนติเมตร และจากด้านข้าง 3.2 เซนติเมตร ซึ่งบริเวณฝายจะมีการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสง ณ ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของฝากล่อง ดังรูปที่ 3.3 (ค)



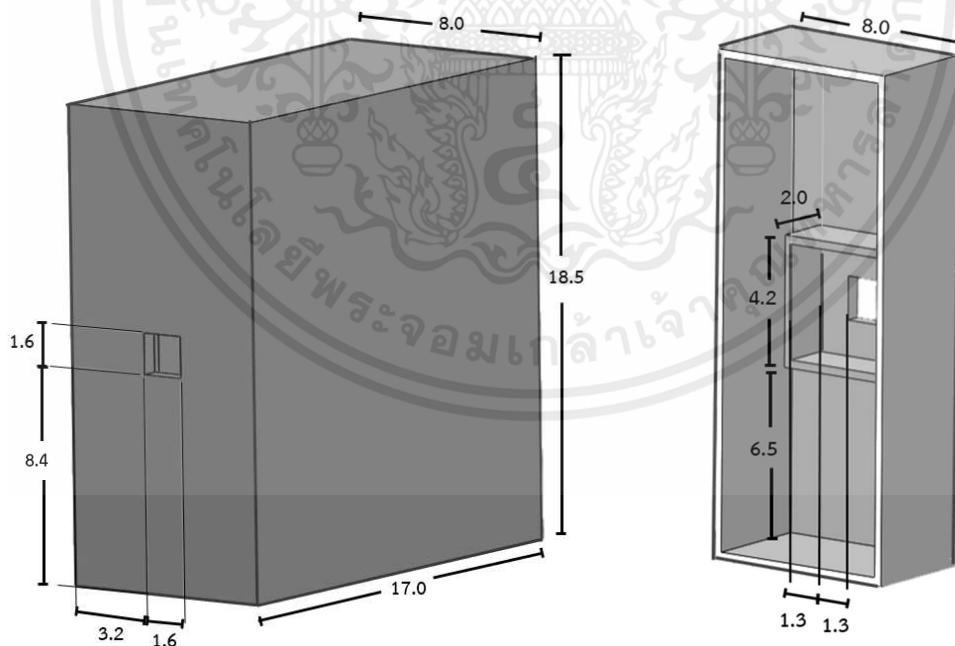
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อี(ก) ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ(ข) ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มิ(ค) ไปใช้



(ง)

**รูปที่ 3.3** การออกแบบ (ก) กล่องป้องกันแสงเข้า (ข) ฝาสำหรับป้องกันแสงเข้า (ค) ลักษณะการติดหลอดไฟ (ง) ฝาสำหรับป้องกันแสงเข้าที่สร้างขึ้น

6. ทำการเจาะช่องสี่เหลี่ยมบริเวณตัวกล่องสำหรับให้แสงส่องผ่านไปยังเกรตติง ด้านละ 1.6 เซนติเมตร ตำแหน่งเจาะวัดจากฐานขึ้นมา 8.4 เซนติเมตร และจากด้านข้าง 3.2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.4 (ก) จากนั้นทำฐานสำหรับใส่อุปกรณ์สำหรับใส่เกรตติงเพื่อให้แสงส่องผ่าน โดยการตัดแผ่นพีวีเจอร์บอร์ดสีดำและประกอบให้เป็นช่องสี่เหลี่ยมโดยกำหนดความกว้างและยาว 4.2 เซนติเมตรและมีความสูง 2 เซนติเมตร จากนั้นนำมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.4 (ข)



(ก)

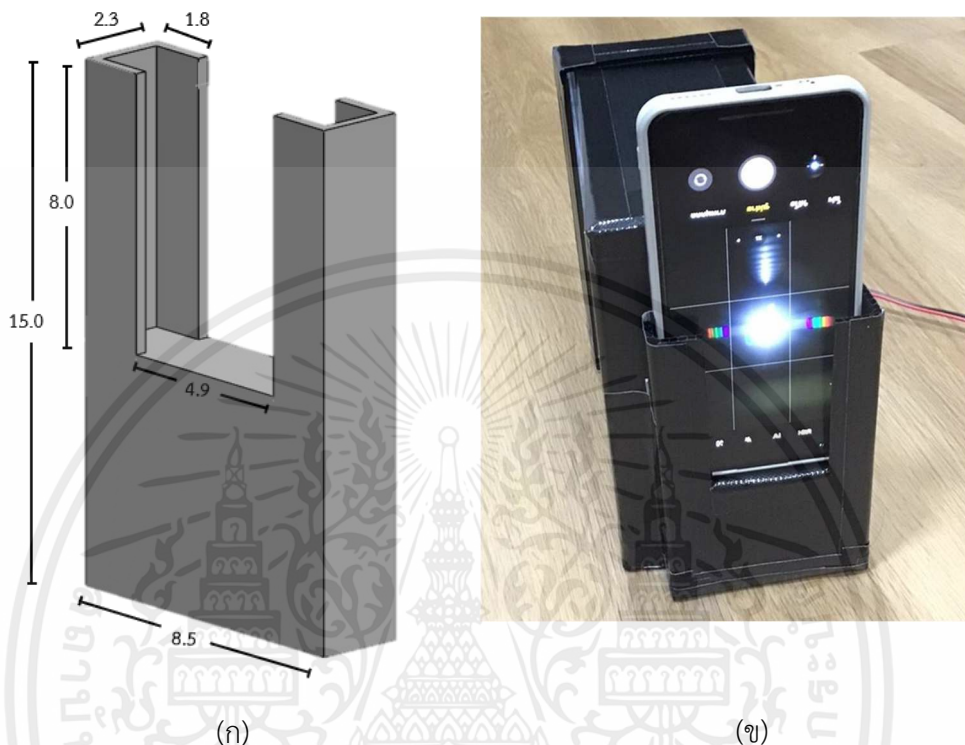
(ข)

**รูปที่ 3.4** การออกแบบ (ก) ลักษณะช่องสำหรับถ่ายภาพ

(ข) ลักษณะด้านในของช่องสำหรับถ่ายภาพ

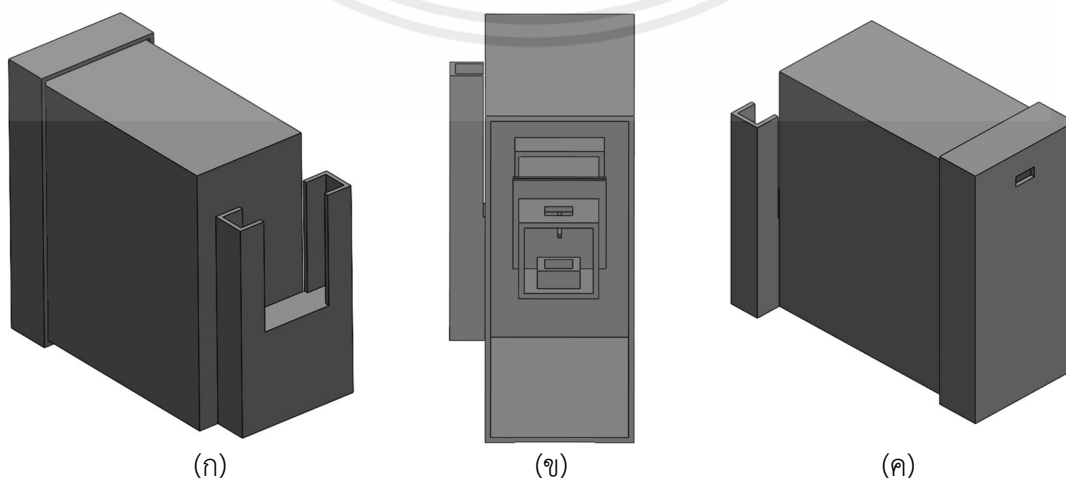
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ทำช่องสำหรับใส่โทรศัพท์โดยการตัดแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีดำขนาดความกว้าง 2.3 เซนติเมตร ความยาว 8.5 เซนติเมตร และความสูง 15 เซนติเมตร จากนั้นนำมาประกอบเข้าด้วยกันโดยการติดที่บริเวณหน้าของตัวกล่อง ดังรูปที่ 3.5

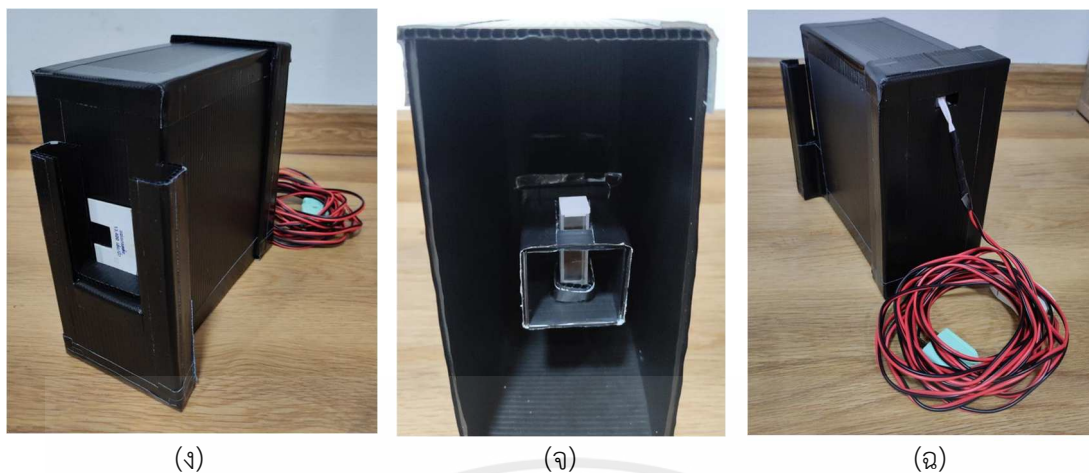


รูปที่ 3.5 (ก) การออกแบบช่องสำหรับใส่โทรศัพท์ (ข) ช่องสำหรับใส่โทรศัพท์ที่สร้างขึ้น

8. นำส่วนต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่เหมือนส่วนประกอบของเครื่องมาตรฐานประกอบเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.6 และทดลองโดยใช้กล้องโทรศัพท์ถ่ายภาพสเปกตรัมของแสงเพื่อทดสอบความสามารถในการถ่ายสเปกตรัมของแสงในการทดลองต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 (ก) ลักษณะด้านหน้าของอุปกรณ์ต้นแบบ (ข) ลักษณะด้านในของอุปกรณ์ต้นแบบ (ค) ลักษณะด้านหลังของอุปกรณ์ต้นแบบ (ง) ลักษณะด้านหน้าของอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น (จ) ลักษณะด้านในของอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น (ฉ) ลักษณะด้านหลังของอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น

### 3.2.2. การศึกษาเบื้องต้น

1. ศึกษาผลของแหล่งกำเนิดแสงที่ผลต่ออุปกรณ์ที่พัฒนา  
ทำการศึกษาแหล่งกำเนิดแสง ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดUV
2. ศึกษาผลของแถบสเปกตรัมที่ใช้ในการพิจารณา  
ได้แก่ แถบสเปกตรัมด้านซ้ายและแถบสเปกตรัมด้านขวา
3. ศึกษาผลของขนาดความกว้างของช่อง Slit  
ทำการศึกษาขนาดความกว้างช่อง Slit ได้แก่ ขนาด 200  $\mu\text{m}$  100  $\mu\text{m}$  และ 50  $\mu\text{m}$

### 3.2.3 ทดสอบกับวัสดุทดสอบ

ได้แก่ สารละลายที่ไม่มีสี ได้แก่ น้ำ DI และสารละลายเกลือ สารละลายที่มีสี ได้แก่ สารละลายต่างทับทิม ทำการทดสอบกับสารกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ คาร์บาริล ไซเพอร์เมทริน และไดคลอร์วอส เพื่อศึกษา ลักษณะการดูดกลืนแสงของสารจากภาพสเปกตรัมที่ได้ที่ ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (จำนวน 2 ซ้ำ) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการทดสอบ

สารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลาย (mg/L)									
ต่างทับทิม	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
เกลือ	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
คาร์บาริล	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

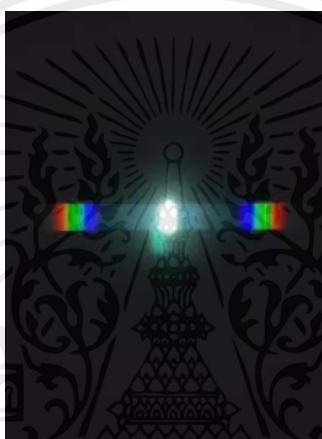
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลาย	ความเข้มข้นของสารละลาย (mg/L)									
ไซเพอร์เมทริน	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
ไดคลออร์วอส	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1

### 3.2.4 การเก็บภาพและวิเคราะห์ภาพ

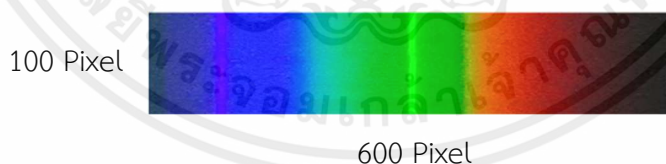
#### 3.2.4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์รูปภาพ

1. ถ่ายภาพสเปกตรัมที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาโดยใช้โทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์เก็บภาพ ดังรูปที่ 3.7 จำนวน 5 ภาพ ต่อ 1 สารที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.7 สเปกตรัมที่ได้จากหลอดฟลูออเรสเซนต์

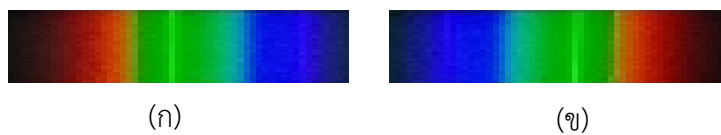
2. นำภาพสเปกตรัมที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ 3.11 โดยทำการตัดภาพที่ขนาดและตำแหน่งเดียวกันให้เหลือเพียงแถบสเปกตรัมที่ใช้ในการพิจารณาที่ขนาดภาพ 600x100 Pixel ดังรูปที่ 3.8



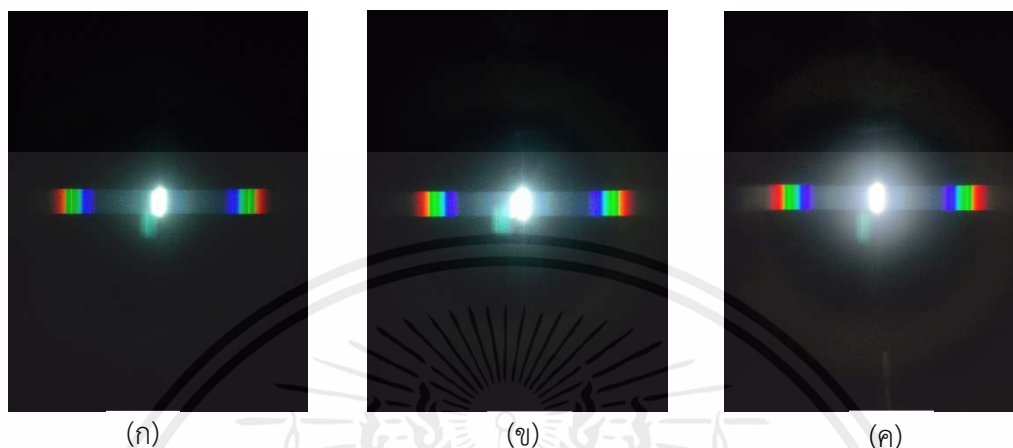
รูปที่ 3.8 สเปกตรัมที่ขนาด 600x100 Pixel

3. นำภาพสเปกตรัมมาวิเคราะห์โดยทำการตัดแถบสเปกตรัมแบ่งออกเป็น 2 แถบดังนี้ แถบสเปกตรัมด้านซ้ายและแถบสเปกตรัมด้านขวา โดยตัดให้มีขนาด ดังรูปที่ 3.9 เพื่อเลือกแถบที่มีความเหมาะสมในการพิจารณา จากนั้นทำการวิเคราะห์หาขนาดความกว้างของช่อง Slit ที่เหมาะสม ได้แก่ ขนาด 50, 100 และ 200  $\mu\text{m}$  ดังรูปที่ 3.10 จากนั้นนำรูปภาพทั้ง 5 ภาพมาวิเคราะห์พร้อมกัน โดยแบ่งพิจารณาที่ละคอลัมน์ที่ขนาด 1x100 Pixel ในแต่ละรูปภาพ โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถพิจารณาความเหมาะสมได้จากค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เปรียบเทียบกันทั้ง 5 ภาพ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ที่กล่าวมาข้างต้นแสดง ดังรูปที่ 3.11

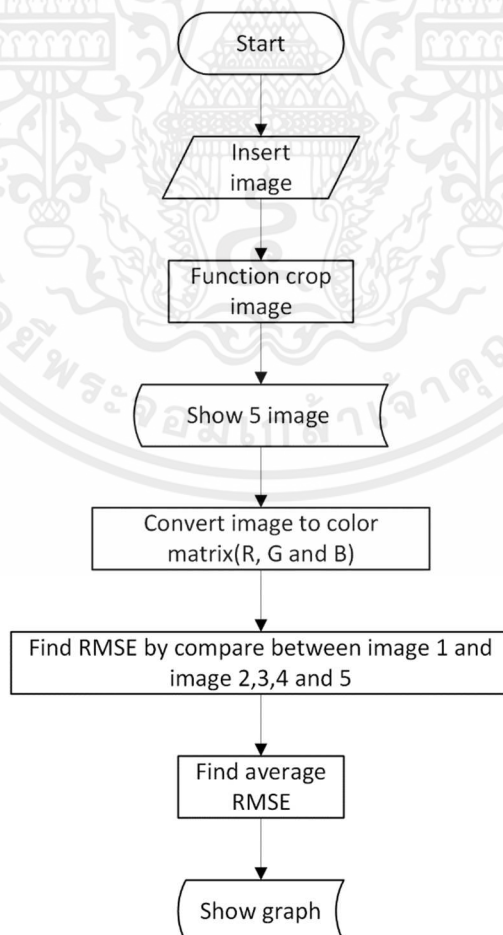
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 สเปกตรัมขนาด 600x100 Pixel (ก) แถบสเปกตรัมด้านซ้าย (ข) แถบสเปกตรัมด้านขวา



รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายสเปกตรัม (ก) ขนาดความกว้างของช่อง Slit 50  $\mu\text{m}$   
(ข) ขนาดความกว้างของช่อง Slit 100  $\mu\text{m}$  (ค) ขนาดความกว้างของช่อง Slit 200  $\mu\text{m}$



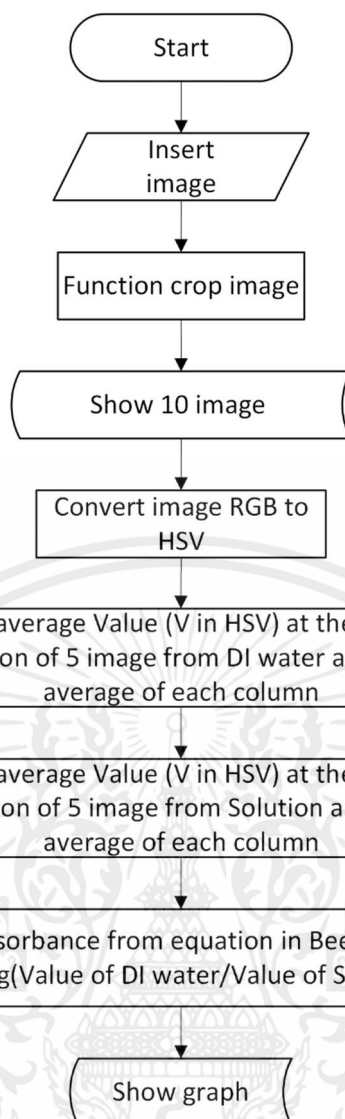
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.11 ไดอะแกรมหลักการทำงานของโปรแกรมการวิเคราะห์รูปภาพประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance, A) จากภาพสเปกตรัม

1. เตรียมสารมาตรฐาน ได้แก่ น้ำ DI และสารละลายที่ใช้ในการทดสอบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ จากความเข้มข้นน้อยไปหามากตามลำดับลงในคิวเวท ดังตารางที่ 3.1
2. ทำการถ่ายภาพสเปกตรัมของ น้ำ DI จำนวน 5 ภาพ และสารละลายที่ใช้ในการทดสอบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ จำนวน 5 ภาพ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาโดยใช้โทรศัพท์มือถือ
3. นำภาพสเปกตรัมที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ดังรูปที่ 3.12 ทำการตัดภาพที่ขนาดและตำแหน่งเดียวกันให้เหลือเพียงแถบสเปกตรัมที่ใช้ในการพิจารณาที่ขนาดภาพ 600x100 Pixel นำแต่ละภาพมาแปลงค่าสีจากระบบสี RGB ให้อยู่ในระบบสี HSV โดยจะพิจารณาเพียงค่าความสว่างหรือค่า V (Value)
4. นำค่า V ที่ตำแหน่งจุด Pixel เดียวกันของทั้ง 5 ภาพมาหาค่าเฉลี่ยกัน จากนั้นนำค่า V เฉลี่ยในแต่ละจุดที่อยู่ในคอลัมน์ขนาด 1x100 Pixel เดียวกันมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์นั้น ๆ ซึ่งจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า V เฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์และตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม
5. นำค่า V เฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์มาคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, A) ได้จากกฎของเบียร์ (Beer's law) ดังสมการที่ (2.3) จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12
6. นำค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุดในแต่ละความเข้มข้นมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น เพื่อทำการวิเคราะห์ว่ากราฟความสัมพันธ์นี้เป็นไปตามกฎของเบียร์ (Beer's law) โดยกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั้นใจ (Coefficient of termination,  $R^2$ ) มีค่า  $\geq 0.95$  ซึ่งสามารถยอมรับได้

### 3.2.5 เปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนากับเครื่องมาตรฐาน

ทำการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมของสารที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา เพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐาน โดยใช้สถิติการทดสอบแบบ paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (กำหนดให้  $\alpha = 0.05$ ) ซึ่งสมมติฐานหลักของการทดลอง (null hypothesis,  $H_0$ ) นี้ คือค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนากับค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องที่พัฒนาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 3.12 ไดอะแกรมหลักการทำงานของโปรแกรมการหาการดูดกลืนของแสง

### 3.2.5.1 ทดสอบกับเครื่องมาตรฐาน ได้แก่ เครื่อง Spectrophotometer Thermo-spectronic รุ่น Genesys 10s UV-Vis

1. เปรียบสารละลายระดับความเข้มข้นต่างๆที่เราต้องการพิจารณา
2. นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer Thermo spectronic รุ่น Genesys 10s UV-Vis โดยเลือกใช้ช่วงความยาวคลื่นสูงสุดที่สารนั้น ๆ สามารถดูดกลืนแสงได้เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.2.5.2 วิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณา

โดยมีวิธีในการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 วิธี ดังนี้

1. เปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนา
2. เปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วง  $\pm$  จำนวน Pixel ณ ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา
3. เปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วงที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุด
4. นำข้อมูลที่ได้ในแต่ละวิธีมาวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, r) ซึ่งเป็นค่าที่นำไปใช้อธิบายความสัมพันธ์ของ 2 ข้อมูล ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง -1 โดยค่า r เป็น 1 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงไปในทิศทางเดียวกัน และค่า r เป็น -1 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงไปในทิศทางตรงข้ามกัน (ณัฐวุฒิ, 2558) โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละวิธีที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา เพื่อนำไปใช้ในการพิจารณาวิธีและช่วงการดูดกลืนแสงที่ใช้พิจารณาได้อย่างเหมาะสม

### 3.2.6 ทดสอบกับตัวอย่างอาหาร

ตัวอย่างอาหาร ได้แก่ น้ำส้มผสมเนื้อส้มและน้ำส้มไม่ผสมเนื้อส้ม โดยทำการเติมสารเคมีตกค้าง ได้แก่ สารคาร์บาริล สารไซเพอร์เมทริน และสารไดคลอร์วอส ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2 ลงไปในตัวอย่างอาหาร เพื่อทดสอบความสามารถในการตรวจจับสารเคมีตกค้างและการวิเคราะห์หาปริมาณสารเคมีตกค้างในตัวอย่างอาหารของอุปกรณ์ที่พัฒนาและสามารถบ่งชี้ได้ว่าปลอดภัยหรือไม่ปลอดภัย

ตารางที่ 3.2 แสดงความเข้มข้นของสารเคมีตกค้างที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่างอาหาร

สารเคมีตกค้าง	ความเข้มข้นของสารละลาย (mg/kg)				
	5	6	7	8	9
คาร์บาริล	5	6	7	8	9
ไซเพอร์เมทริน	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
ไดคลอร์วอส	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

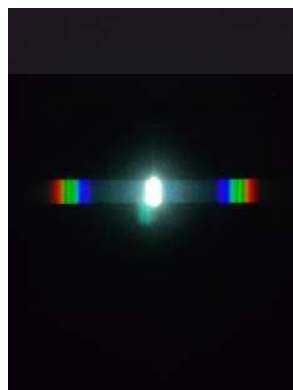
#### 4.1 อุปกรณ์ที่พัฒนา

จากการพัฒนาอุปกรณ์ขึ้นมาโดยมีส่วนประกอบตามหลักการของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์คือแหล่งกำเนิดแสง Slit ช่องใส่ตัวอย่างสาร เกรตติง ช่องรับภาพ และได้มีการควบคุมปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อองค์ประกอบภายในของภาพ จึงได้มีการสร้างกล่องที่มีความมิดชิดซึ่งมีพื้นที่เพียงพอสำหรับส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่เสมือนเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งได้มีการบุผ้ากำมะหยี่ภายในกล่องเพื่อป้องกันการรบกวนจากแสงภายนอก และมีการปรับขนาดกล่องควบคุมแสงให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้มีขนาดกระทัดรัดและสะดวกต่อการใช้งาน อุปกรณ์ที่พัฒนาสามารถสร้างแถบสเปกตรัมที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและมองเห็นผ่านกล้องโทรศัพท์ได้อย่างชัดเจน ทำให้ภาพมีความเหมาะสมและสามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

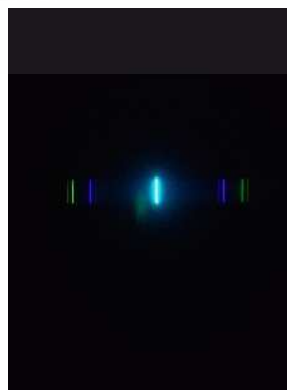
#### 4.2 ผลการศึกษาเบื้องต้น

##### 4.2.1 ผลการศึกษาประเภทของแหล่งกำเนิดแสง

จากการศึกษาผลของแหล่งกำเนิดแสงที่มีผลต่ออุปกรณ์ที่พัฒนา พบว่าเมื่อทำการทดสอบกับน้ำ DI แถบสเปกตรัมที่ได้จากทั้ง 2 แหล่งกำเนิดแสงมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 4.1 แถบสเปกตรัมที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นจะแสดงให้เห็นถึงการกระจายของแสงออกเป็นแถบความสว่างสีต่าง ๆ ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา โดยเรียงจากช่วงความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดไปหาช่วงความยาวคลื่นที่ยาวที่สุด ดังนี้ สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีแสด และสีแดง ดังรูปที่ 4.1 (ก) แถบสเปกตรัมที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอด UV นั้นจะแสดงให้เห็นถึงการกระจายแสงออกเป็นแถบความสว่างเพียง 3 แถบ ดังนี้ แถบสีม่วง แถบสีเขียว แถบสีเหลือง ดังรูปที่ 4.1 (ข) จึงสามารถสรุปได้ว่าแหล่งกำเนิดแสงมีผลต่อภาพสเปกตรัมจากการดูดกลืนแสงของสารที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 สเปกตรัมที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเพศสัมพันธ์และต้องอยู่กันอย่างใจเย็น เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ผลการศึกษาแถบสเปกตรัมที่ใช้ในการพิจารณาที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัม

จากการนำภาพสเปกตรัมของน้ำ DI มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนา โดยทำการแบ่งพิจารณาเป็นแถบสเปกตรัมซ้ายและด้านขวา พบว่าค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมทางด้านขวา ดังตารางที่ 4.1 มีค่าน้อยกว่าแถบสเปกตรัมด้านซ้าย ดังตารางที่ 4.2 โดยสามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลของภาพแถบสเปกตรัมด้านขวาที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนานั้นมีความแปรปรวนน้อยกว่าภาพแถบสเปกตรัมด้านซ้าย ดังนั้นภาพแถบสเปกตรัมด้านขวาจึงมีความเหมาะสมในการใช้พิจารณา ซึ่งความแปรปรวนที่เกิดขึ้น อธิบายได้ว่าเมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดแสงตกกระทบกับสารละลายที่มีความโปร่งใส จะเกิดการส่องผ่านทะลุวัตถุโปร่งใส นั้น เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Regular transmission ซึ่งทำให้เกิดเป็นค่าสีที่ใกล้เคียงกันหลายค่าขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบ (วนัสนันท์, 2559) และอาจเกิดจากโครงสร้างของอุปกรณ์ที่พัฒนาส่งผลทำให้ค่าสี RGB ของภาพสเปกตรัมที่ถ่ายได้เกิดความแปรปรวน ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการกระพริบของหลอดไฟทำให้ภาพมีความสว่างหรือค่า V ในระบบสี HSV ไม่คงที่และการถูกรบกวนจากแสงภายนอก

**ตารางที่ 4.1** แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB ที่ได้จากแถบสเปกตรัมด้านขวาของน้ำ DI

ขนาดความกว้างของช่อง Slit ( $\mu\text{m}$ )	ค่า RMSE ของค่าสี RGB		
	R	G	B
50	7.64	7.90	7.04
100	6.10	6.31	5.02
200	5.01	5.40	4.19

**ตารางที่ 4.2** แสดงจากค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB ที่ได้จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายของน้ำ DI

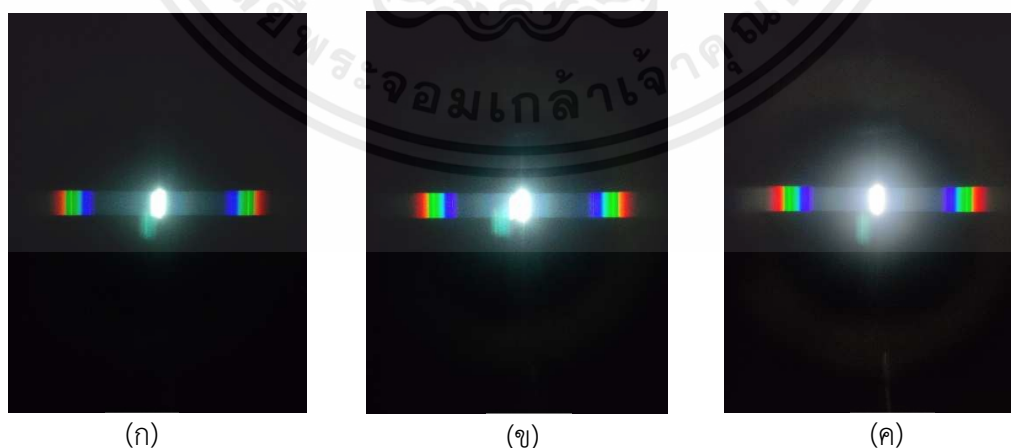
ขนาดความกว้างของช่อง Slit ( $\mu\text{m}$ )	ค่า RMSE ของค่าสี RGB		
	R	G	B
50	8.01	8.17	7.11
100	6.48	6.58	5.44
200	5.06	5.40	4.33

#### 4.2.3 ผลการศึกษาขนาดความกว้างของช่อง Slit ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัม

จากการนำภาพสเปกตรัมด้านขวาของสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L ที่ได้จากการทดสอบด้วยช่อง Slit ที่มีความกว้าง 50  $\mu\text{m}$  100  $\mu\text{m}$  และ 200  $\mu\text{m}$  มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่ พัฒนาพบว่าค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB ที่ทำการทดสอบด้วยช่อง Slit ที่มีความกว้าง 50  $\mu\text{m}$  มีค่าน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับช่อง Slit ที่มีความกว้าง 100  $\mu\text{m}$  และ 200  $\mu\text{m}$  ดังตารางที่ 4.3 โดยสามารถอธิบายได้ว่าภาพสเปกตรัมที่ได้จากช่อง Slit ที่มีความกว้าง 50  $\mu\text{m}$  มีความแปรปรวนของค่า RGB น้อยที่สุด ซึ่งบ่งชี้ได้จากภาพสเปกตรัมที่ขนาดความกว้างของช่อง Slit ขนาดต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.2 พบว่าช่อง Slit ที่มีความกว้าง 200  $\mu\text{m}$  ดังรูปที่ 4.2 (ค) จะมีแสงส่องผ่านออกมามากทำให้บริเวณตรงกลางมีความสว่างมากเมื่อเทียบกับช่องของ Slit ที่มีความกว้าง 50  $\mu\text{m}$  ดังรูปที่ 4.2 (ก) ซึ่งอาจส่งผลให้ภาพสเปกตรัมที่ได้มีความแปรปรวนเนื่องจากถูกแสงบริเวณตรงกลางรบกวนมากเกินไป จึงสรุปได้ว่าขนาดความกว้างของช่อง Slit มีผลต่อภาพสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาและขนาดช่อง Slit ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้พิจารณา คือ ช่อง Slit ที่มีความกว้าง 50  $\mu\text{m}$

**ตารางที่ 4.3** แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB ที่ได้จากการทดสอบด้วยช่อง Slit ขนาดต่าง ๆ ของสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ขนาดความกว้างของช่อง Slit ( $\mu\text{m}$ )	R	G	B
50	4.44	3.53	4.52
100	5.80	4.69	5.20
200	7.08	6.35	5.86



**รูปที่ 4.2** สเปกตรัมที่ได้จากการทดสอบด้วย (ก) ช่อง Slit ที่มีความกว้าง 50  $\mu\text{m}$   
(ข) ช่อง Slit ที่มีความกว้าง 100  $\mu\text{m}$  (ค) ช่อง Slit ที่มีความกว้าง 200  $\mu\text{m}$

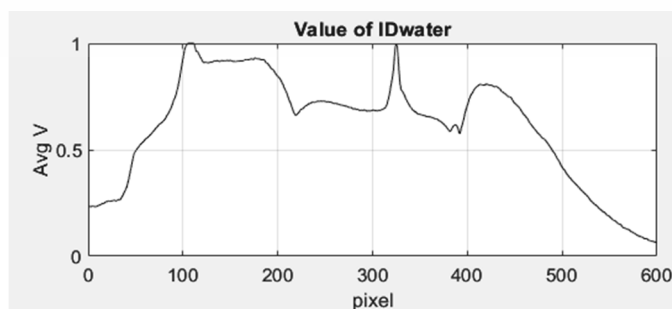
### 4.3 ค่าการดูดกลืนของแสง (Absorbance, A) ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัม

จากการนำภาพสเปกตรัมของสารมาตรฐาน ได้แก่ น้ำ DI ดังรูปที่ 4.3 (ก) จำนวน 5 ภาพ และภาพสเปกตรัมของสารละลายที่ทำการทดสอบ ได้แก่ สารละลายต่างหัทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L ดังรูปที่ 4.3 (ข) จำนวน 5 ภาพ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการถ่ายภาพด้วยโทรศัพท์มือถือ มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยทำการแปลงค่าสีของภาพสเปกตรัมจากระบบสี RGB ให้อยู่ในระบบสี HSV ทั้ง 2 สาร ซึ่งในการทดลองครั้งนี้จะพิจารณา ค่า V (Value) หรือค่าความสว่างเป็นหลัก ทำการหาค่า V เฉลี่ยของน้ำ DI ทั้ง 5 ภาพ และสารละลายต่างหัทิมทั้ง 5 ภาพ โดยแบ่งพิจารณาที่ละคอลัมน์ที่ขนาด 1x100 Pixel ในแต่ละรูปภาพ นำค่า V เฉลี่ยที่ได้ในแต่ละคอลัมน์ของน้ำ DI ดังรูปที่ 4.4 (ก) และค่า V เฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ของสารละลายต่างหัทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L ดังรูปที่ 4.4 (ข) มาคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงได้จากกฎของเบียร์ (Beer's law) ดังสมการที่ (2.3) โดยกำหนดให้ค่า  $I_0$  คือค่าจะค่า V เฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ของน้ำ DI และค่า  $I$  คือค่าจะค่า V เฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ของสารละลายต่างหัทิม จากนั้นจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างหัทิมและตำแหน่ง Pixel ของ ดังรูปที่ 4.5

จากรูปที่ 4.4 (ก) และรูปที่ 4.4 (ข) จะเห็นได้ว่าช่วงตำแหน่ง Pixel ที่ 200 – 400 Pixel น้ำ DI มีค่า V มากกว่าสารละลายต่างหัทิม ซึ่งอธิบายได้ว่าการดูดกลืนแสงในช่วงนั้น เนื่องจากที่ช่วงเดียวกันค่า V ของสารละลายต่างหัทิมมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด จึงทำให้เกิด Peak ของค่าการดูดกลืนแสงเกิดขึ้นในช่วงดังกล่าว ดังรูปที่ 4.5 และมีค่าการดูดกลืนแสงมากกว่าตำแหน่งอื่น ๆ

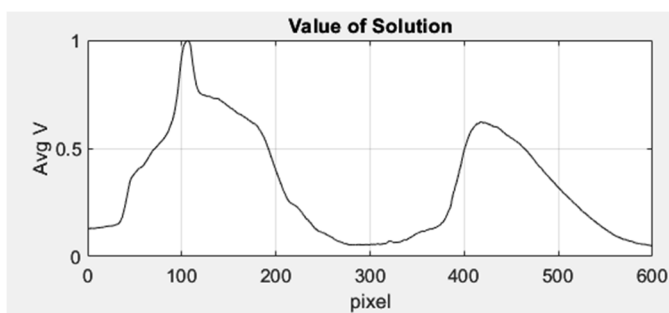


รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของ (ก) น้ำ DI (ข) สารละลายต่างหัทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L



(ก)

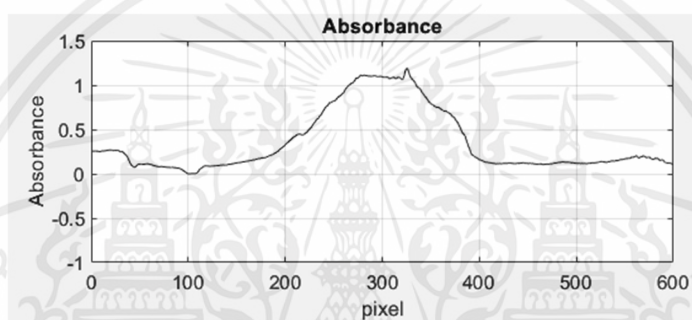
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างและตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมของ

(ก) น้ำ DI (ข) สารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ของสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

#### 4.4 ผลการทดสอบของวัสดุทดสอบ

##### 4.4.1 ผลการทดสอบของสารละลายต่างทับทิม

จากผลการทดสอบของสารละลายต่างทับทิมที่ 10 ระดับความเข้มข้น โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากเป็นสารละลายที่มีสีและเมื่อทดสอบด้วยเครื่องมาตรฐานจะเห็นได้ว่ามีช่วงความยาวคลื่นอยู่ในช่วงเดียวกัน พบว่าช่วงที่มีการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดของสารละลายต่างทับทิม คือช่วงของแถบสเปกตรัมที่มีสีเขียว ซึ่งบ่งชี้ได้จากรูปที่ 4.6 เมื่อสารละลายต่างทับทิมมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นจะเกิดการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้น โดยบ่งชี้ได้จากเมื่อมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นค่าความสว่างหรือค่า V (Value) ในระบบสี HSV ของแถบสเปกตรัมบริเวณช่วงสีเขียวจะยังมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนกลายเป็นพื้นที่สีดำเข้ามาแทนที่ ดังรูปที่ 4.6 (ข) (ค) และ (ง) โดยสีเขียวนี้มีช่วงความยาวคลื่น 475 – 575 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วง Visible light ซึ่งสีเขียวเป็นสีที่ถูกดูดกลืน จึงอธิบายได้ว่าสีเขียวเป็นสีคู่ตรงข้ามของสารละลายต่างทับทิมหรือสีของสารที่เรามองเห็นและจากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าสารละลายต่างทับทิมทั้ง 10 ระดับความเข้มข้น มีช่วงการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดอยู่ในช่วงเดียวกันและมี Peak เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

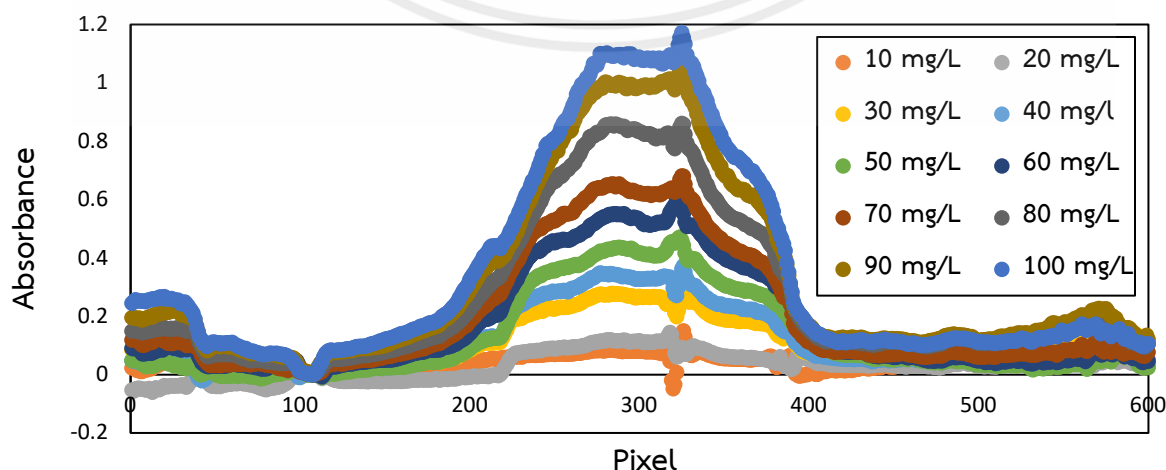
ความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงของสารละลายต่างทึบтим เนื่องจากสารละลายต่างทึบтимเป็นสารละลายที่มีสีและมีช่วงการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง Visible light เช่นเดียวกับกับหลอดฟลูออเรสเซนต์

จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อสารละลายต่างทึบтимมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Beer'law และจากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุดมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น พบว่าสามารถสร้างสมการเส้นตรง  $y = 0.0074x - 0.0101$  เชิงเส้นตรงในทางบวกได้และข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีความเป็นเชิงเส้น โดยซึ่งชี้ได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of termination,  $R^2$ ) ที่มีค่าเท่ากับ 0.982 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.95 สามารถยอมรับได้ โดยมีช่วงปฏิบัติงานตั้งแต่ระดับความเข้มข้นที่ 10 mg/L จนถึง 100 mg/L และแถบ error bar ที่เกิดขึ้นนั้นอาจมีสาเหตุมาจากหลอดไฟเกิดการกระพริบระหว่างถ่ายภาพและแสงรบกวนจากภายนอกซึ่งอาจส่งผลให้องค์ประกอบภายในของภาพสเปกตรัม ได้แก่ ค่าสี RGB มีความแปรปรวนเกิดขึ้นและอาจเกิดจากเมื่อมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นแถบความสว่างของภาพสเปกตรัมก็จะมีค่าความสว่างหรือค่า  $V$  ในระบบสี HSV ลดน้อยลงจึงอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลได้ จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาสามารถตรวจจับสารละลายที่มีสีได้



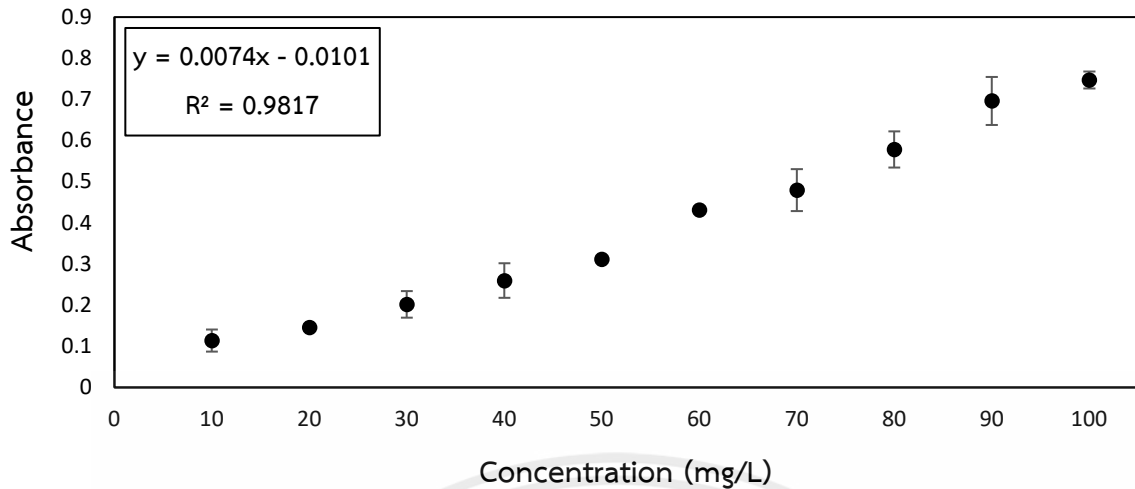
รูปที่ 4.6 สเปกตรัมของ (ก) น้ำDI (ข) สารละลายต่างทึบтимที่ความเข้มข้น 20 mg/L

(ค) สารละลายต่างทึบтимที่ความเข้มข้น 50 mg/L (ง) สารละลายต่างทึบтимที่ความเข้มข้น 100 mg/L



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่ง Pixel ของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สเปกตรัมของสารละลายต่างทึบтимที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างที่บ่มที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

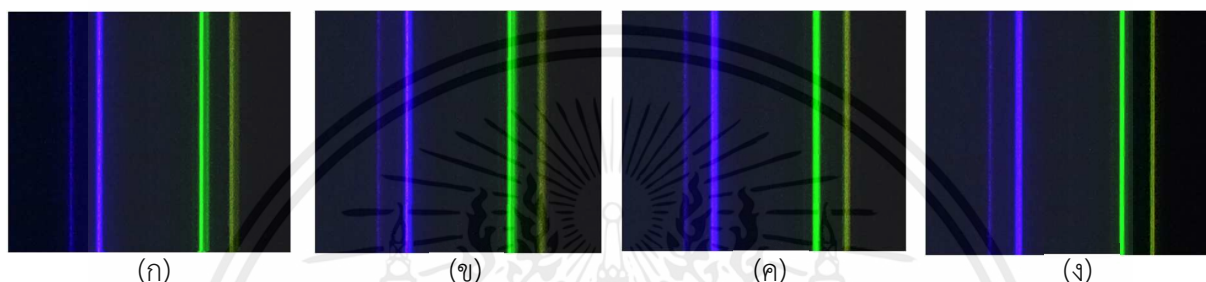
#### 4.4.2 ผลการทดสอบของของสารละลายเกลือ

จากผลการทดสอบของของสารละลายเกลือสารละลายเกลือที่ 10 ระดับความเข้มข้นโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอด UV เนื่องจากเป็นสารละลายสีใสไม่มีสีและเมื่อทดสอบด้วยเครื่องมาตรฐานจะเห็นได้ว่ามีช่วงความยาวคลื่นอยู่ในช่วงเดียวกัน พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสาร ซึ่งพิจารณาได้จากรูปที่ 4.9 ที่แสดงสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานหรือน้ำ DI ดังรูปที่ 4.9 (ก) และสเปกตรัมของสารละลายเกลือที่ 3 ระดับความเข้มข้น ดังรูปที่ 4.9 (ข) (ค) และ (ง) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นแถบความสว่างที่มีสีเขียวและสีเหลืองนั้นจะมีความสว่างหรือค่า V (Value) ในระบบสี HSV ลดลงและมีขนาดความกว้างของแถบความสว่างลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า บ่งชี้ได้จากการเปรียบเทียบรูป 4.9 (ก) กับ รูป 4.9 (ง) เนื่องจากเกิดการดูดกลืนแสงของสารละลายเกลือจึงทำให้แถบความสว่างมีค่า V ลดลงและมีพื้นที่สีดำเข้ามาแทนที่

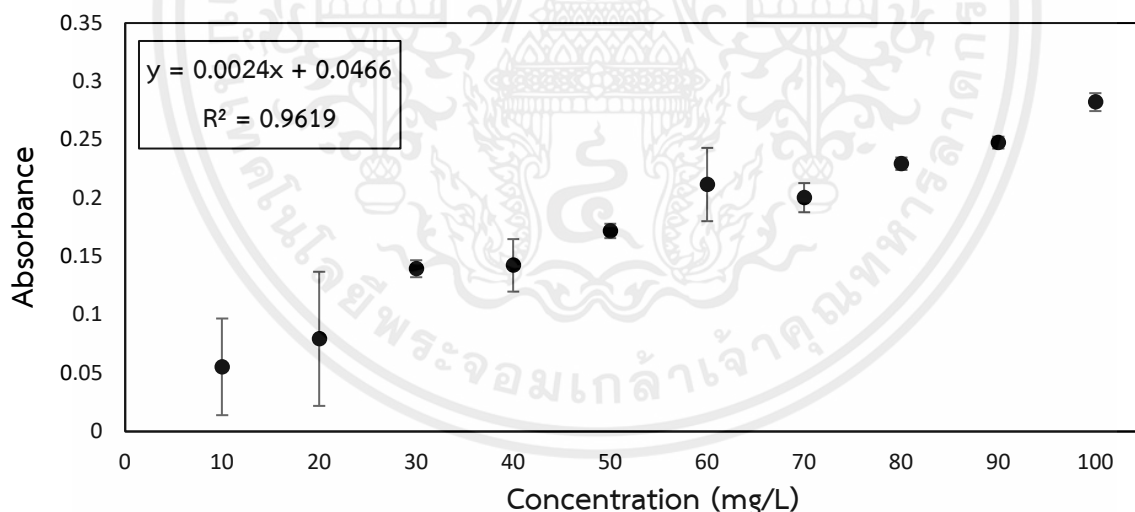
จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าการนำค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุดมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น พบว่าข้อมูลทั้งสองข้อมูลนั้นสามารถนำมาสร้างสมการเส้นตรง  $y = 0.0024x + 0.0466$  เชิงเส้นตรงในทางบวกได้ โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of termination,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.962 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.95 สามารถยอมรับได้ จึงสรุปได้ว่าแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอด UV มีความเหมาะสมในการนำไปใช้วิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเกลือ

โดยมีช่วงในปฏิบัติงาน ได้แก่ ช่วงระดับความเข้มข้นที่ 70 - 100 mg/L เนื่องจากข้อมูลในช่วงนี้มีความเป็นเชิงเส้น อธิบายได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นแปรผันตรงกัน เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันและจากการวิเคราะห์ พบว่าช่วงปฏิบัติงานที่ระดับความเข้มข้น

70 - 100 mg/L พบว่ามีความแปรปรวนของข้อมูลน้อยซึ่งทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือบ่งชี้ได้จากแถบ error bar ที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับช่วงของระดับความเข้มข้นที่ 10 - 60 mg/L โดยแถบ error bar ที่เกิดขึ้นนั้นอาจมีสาเหตุมาจากหลอดไฟเกิดการกระพริบระหว่างถ่ายภาพ ซึ่งอาจส่งผลให้องค์ประกอบภายในของภาพสเปกตรัม ได้แก่ ค่าสี RGB มีความแปรปรวนเกิดขึ้นและอาจเกิดจากทดสอบด้วยปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำ ในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเกลือ นั้นจึงมีความเข้มข้นเจือจางมากซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการตรวจจับของอุปกรณ์ที่พัฒนา จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาสามารถตรวจจับสารที่ไม่มีสีได้



รูปที่ 4.9 สเปกตรัมของ (ก) น้ำDI (ข) สารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 20 mg/L (ค) สารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 50 mg/L (ง) สารละลายเกลือที่ความเข้มข้น 100 mg/L



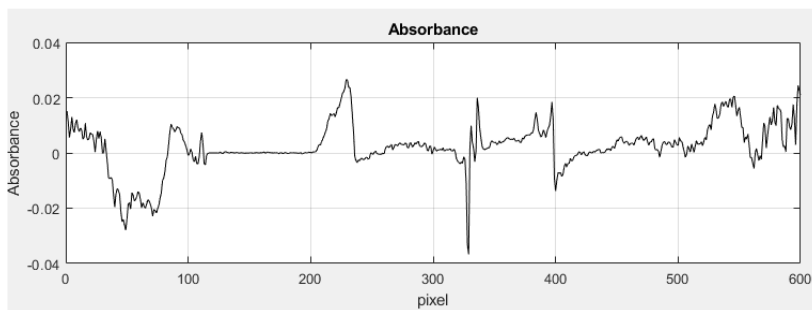
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

#### 4.4.3 ผลการทดสอบของสารเคมีตกค้าง

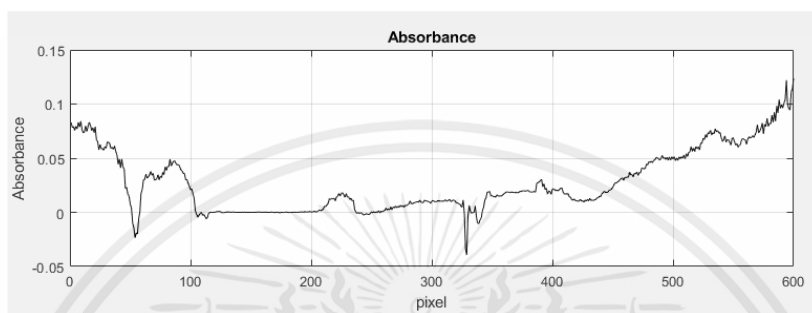
เมื่อทำการหาค่าดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริล สารละลายไซเพอร์เมทริน และสารละลายไดคลอร์วอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยเครื่องมาตรฐาน พบว่าสารคาร์บาริล สารไซเพอร์เมทริน และสารไดคลอร์วอสมีช่วงในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 190 - 350 นาโนเมตร เหมือนกันซึ่งเป็นช่วงของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UV โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนของสารละลายคาร์บาริลมีค่ามากกว่าสารละลายไซเพอร์เมทรินและสารละลายไดคลอร์วอส เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของสารละลายคาร์บาริลที่ใช้ในการทดสอบมีค่ามากกว่าอีก 2 สารละลายที่มีระดับความเข้มข้นที่ใช้ในการทดสอบเท่ากัน

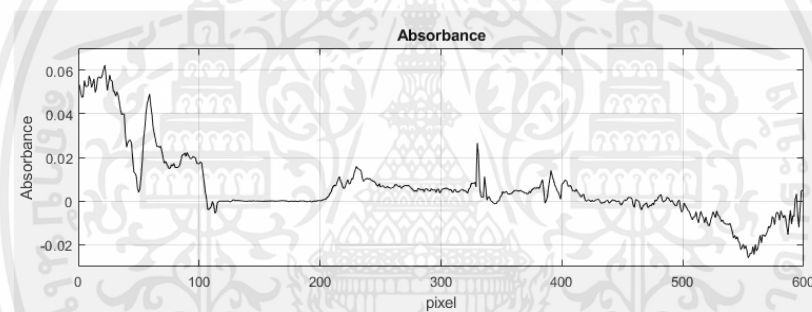
จากการทดสอบกับแหล่งกำเนิดแสง 2 แหล่ง ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์และแหล่งกำเนิดแสง UV พบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ระดับความเข้มข้น 3 ความเข้มข้น ดังรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ไม่มีความคล้ายคลึงกันจึงเกิด peak และมีความแปรปรวนเกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างกัน ซึ่งอาจเกิดจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์และสารคาร์บาริลมีช่วงความยาวคลื่นอยู่คนละช่วงกัน ในทางกลับกันเมื่อทำการทดสอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง UV ที่มีช่วงความยาวคลื่นเดียวกัน พบว่ากราฟความสัมพันธ์ที่ได้ ดังรูปที่ 4.12 มีลักษณะคล้ายคลึงกันจึงมี peak และมีความแปรปรวนเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเดียวกันและจากรูปจะเห็นว่าที่ระดับความเข้มข้นต่างกันมีช่วงในการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงเดียวกันส่งผลให้สารตกค้างคาร์บาริลสามารถตรวจจับได้ที่ช่วงความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง UV ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจักรรินทร์ (2564) รายงานว่า สารกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ สารคาร์โบซิลแฟนซึ่งอยู่ในกลุ่มคาร์บาเมตไม่สามารถทดสอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ เพราะช่วงการดูดกลืนของสารคาร์โบซิลแฟนอยู่ในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นของ UV ดังนั้นจากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่าแหล่งกำเนิดแสง UV มีความเหมาะสมในการทดสอบกับสารเคมีตกค้าง



(ก)

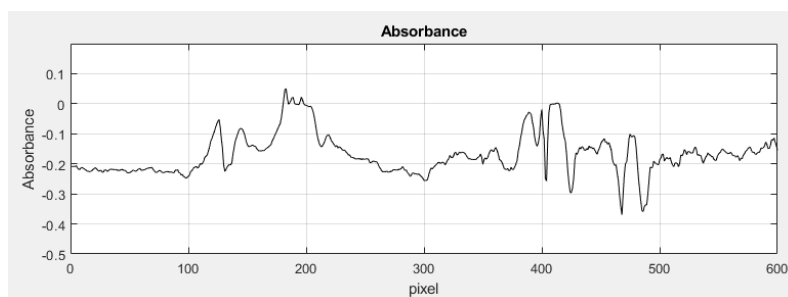


(ข)

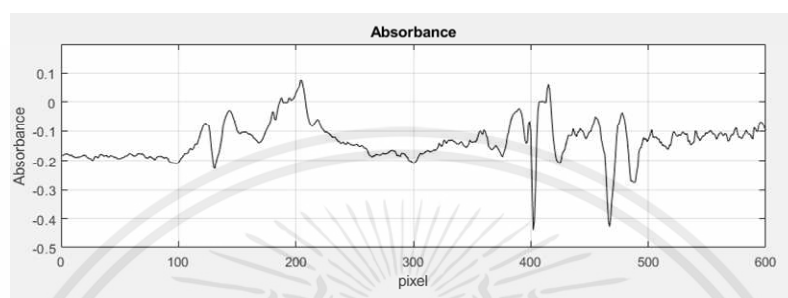


(ค)

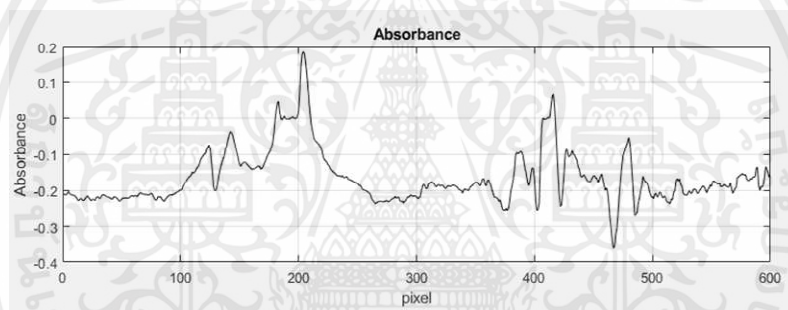
รูปที่ 4.11 กราฟการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริลจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์  
 (ก) ที่ความเข้มข้น 3.5 mg/L (ข) ที่ความเข้มข้น 7 mg/L (ค) ที่ความเข้มข้น 14 mg/L



(ก)



(ข)



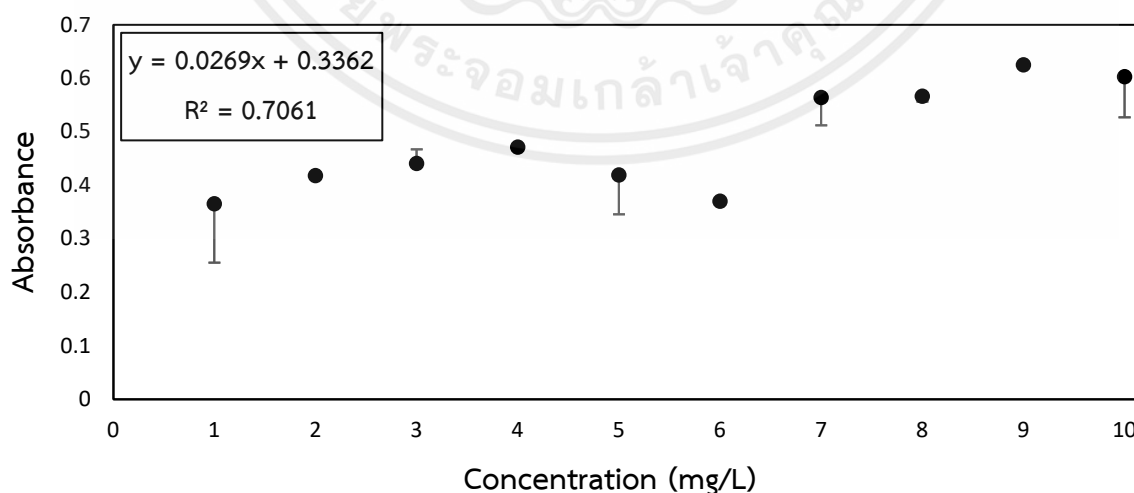
(ค)

รูปที่ 4.12 กราฟการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริลจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอดUV  
(ก) ที่ความเข้มข้น 3.5 mg/L (ข) ที่ความเข้มข้น 7 mg/L (ค) ที่ความเข้มข้น 14 mg/L

#### 4.4.3.1 ผลการทดสอบของสารละลายคาร์บาริล

จากผลการทดสอบของสารละลายคาร์บาริลระดับที่ 10 ระดับความเข้มข้น พบว่าจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริลและความเข้มข้น โดยการนำค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุดมาวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.13 จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.0269x + 0.3362$  โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ (Coefficient of termination,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.706 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.95 จึงไม่สามารถยอมรับได้ บ่งชี้ได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้นั้นไม่เป็นไปตามกฎของ Beer'law โดยอาจมีสาเหตุมาจากขั้นตอนในการเก็บภาพสเปกตรัมที่มีความผิดพลาดหรือในบางครั้งอาจเกิดจากหลอดไฟเกิดการกระพริบระหว่างถ่ายภาพและการถูกแสงจากภายนอกรบกวนภาพสเปกตรัม ซึ่งอาจส่งผลให้องค์ประกอบภายในของภาพสเปกตรัม ได้แก่ ค่าสี RGB ของภาพสเปกตรัมมีความแปรปรวนเกิดขึ้น ซึ่งในบางครั้งอาจเกิดจากการทดสอบในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำจึงทำให้อุปกรณ์ที่พัฒนานั้นสามารถตรวจจับได้ยากนอกจากนี้อาจเกิดจากโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบคาร์บาริล ซึ่งอาจเกิดเป็นสัญญาณรบกวนภาพสเปกตรัมที่ถ่ายได้ (ธรรณิการ์, 2561) ส่งผลให้การวิเคราะห์ภาพถ่ายสเปกตรัมเพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริลนั้นมีความผิดพลาดและมีแถบ error bar เกิดขึ้น

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าสารละลายคาร์บาริลมีช่วงปฏิบัติงานอยู่ 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงระดับความเข้มข้นที่ 2 - 4 mg/L และช่วงระดับความเข้มข้นที่ 6 - 9 mg/L เนื่องจากข้อมูลในช่วงดังกล่าวมีความเป็นเชิงเส้นและมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน บ่งชี้ได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จะเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสาร ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่แถบ error bar จะเห็นได้ว่าข้อมูลในช่วงดังกล่าวมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นอื่น ๆ จึงทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ จึงทำให้สรุปได้ว่าอุปกรณ์ที่พัฒนามีความสามารถในการตรวจจับสารคาร์บาริล

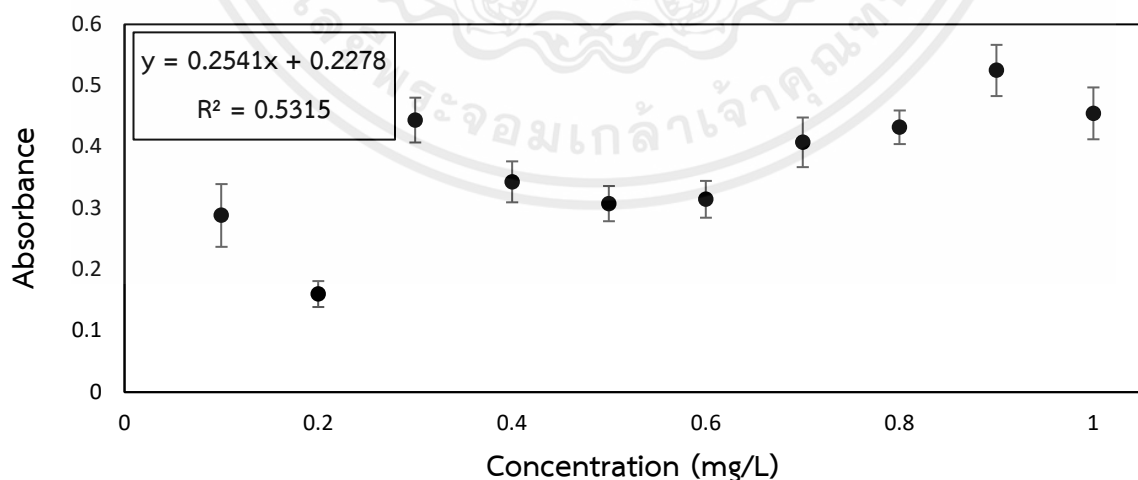


รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

#### 4.4.3.2. ผลการทดสอบของสารละลายไซเพอร์เมทริน

จากผลการทดสอบของสารละลายไซเพอร์เมทรินระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไซเพอร์เมทรินและความเข้มข้น โดยการนำค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุดมาวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.14 จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.2541x + 0.2278$  โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of termination,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.532 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.95 จึงไม่สามารถยอมรับได้ บ่งชี้ได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้นั้นไม่เป็นไปตามกฎของ Beer'law โดยอาจมีสาเหตุมาจากขั้นตอนในการเก็บภาพสเปกตรัมที่มีความผิดพลาดหรือในบางครั้งอาจเกิดจากหลอดไฟเกิดการกระพริบระหว่างถ่ายภาพและการถูกแสงจากภายนอกรบกวนภาพสเปกตรัม ซึ่งอาจส่งผลให้องค์ประกอบภายในของภาพสเปกตรัม ได้แก่ ค่าสี RGB ของภาพสเปกตรัมมีความแปรปรวนเกิดขึ้นและเนื่องจากต้องตรวจจับสารไซเพอร์เมทรินในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำจึงทำให้อุปกรณ์ที่พัฒนาสามารถตรวจจับได้ยากและมีแถบ error bar เกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนในช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นซึ่งข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนมาก บางครั้งอาจเกิดจากโครงสร้างทางเคมีหรือองค์ประกอบภายในของสารประกอบไซเพอร์เมทริน ซึ่งอาจเกิดเป็นสัญญาณรบกวนภาพสเปกตรัมที่ถ่ายได้ ส่งผลให้ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายสเปกตรัมเพื่อหาค่าดูดแสงของสารละลายไซเพอร์เมทรินนั้นมีความคลาดเคลื่อนและมีแถบ error bar เกิดขึ้น

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าสารละลายไซเพอร์เมทรินมีช่วงปฏิบัติงานอยู่ 1 ช่วง ได้แก่ ช่วงระดับความเข้มข้นที่ 0.6 - 0.9 mg/L เนื่องจากข้อมูลในช่วงดังกล่าวมีความเป็นเชิงเส้นและมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน บ่งชี้ได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จะเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสาร จึงทำให้สรุปได้ว่าอุปกรณ์ที่พัฒนามีความสามารถในการตรวจจับสารไซเพอร์เมทริน

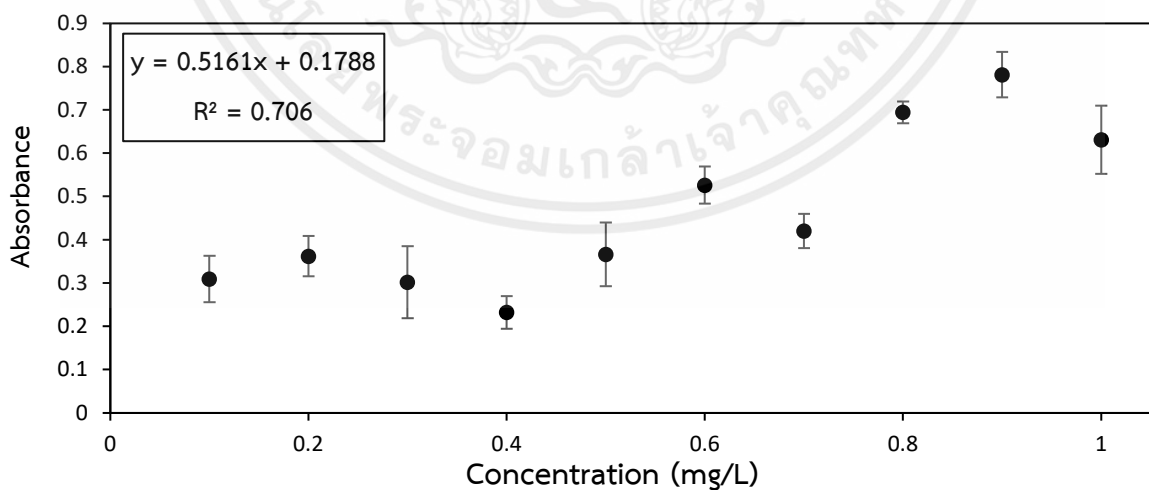


รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

#### 4.4.3.2. ผลการทดสอบของสารละลายไดคลอรวอส

จากผลการทดสอบของสารละลายไดคลอรวอสระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าจากการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไดคลอรวอสและความเข้มข้น โดยการนำค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุดมาวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.15 จะได้สมการเส้นตรง  $y = 0.5161x + 0.1788$  โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ (Coefficient of termination,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.706 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.95 จึงไม่สามารถยอมรับได้ บ่งชี้ได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้นั้นไม่เป็นไปตามกฎของ Beer'law โดยอาจมีสาเหตุมาจากขั้นตอนในการเก็บภาพสเปกตรัมที่มีความผิดพลาดหรือในบางครั้งอาจเกิดจากหลอดไฟเกิดการกระพริบระหว่างถ่ายภาพและการถูกแสงจากภายนอกรบกวนภาพสเปกตรัม ซึ่งอาจส่งผลให้องค์ประกอบภายในของภาพสเปกตรัม ได้แก่ ค่าสี RGB ของภาพสเปกตรัมมีความแปรปรวนเกิดขึ้นและในบางครั้งอาจมีสาเหตุมาจากการตรวจจับสารไดคลอรวอสในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำ จึงทำให้อุปกรณ์ที่พัฒนาสามารถตรวจจับได้ยากและอาจเกิดจากโครงสร้างทางเคมีหรือองค์ประกอบภายในของสารประกอบไดคลอรวอส ซึ่งอาจเกิดเป็นสัญญาณรบกวนภาพสเปกตรัมที่ถ่ายได้ ส่งผลให้ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายสเปกตรัมเพื่อหาค่าดูดแสงของสารของสารละลายไดคลอรวอสนั้นมีความคลาดเคลื่อนและมีแถบ error bar เกิดขึ้น

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าสารละลายไดคลอรวอสมีช่วงปฏิบัติงานอยู่ 1 ช่วง ได้แก่ ช่วงระดับความเข้มข้นที่ 0.7 - 0.9 mg/L เนื่องจากข้อมูลในช่วงดังกล่าวมีความเป็นเชิงเส้นและมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน บ่งชี้ได้จากค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จะเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสาร ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่แถบ error bar จะเห็นได้ว่าข้อมูลในช่วงดังกล่าวมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นอื่น ๆ สรุปได้ว่าอุปกรณ์ที่พัฒนามีความสามารถในการตรวจจับสารไดคลอรวอส



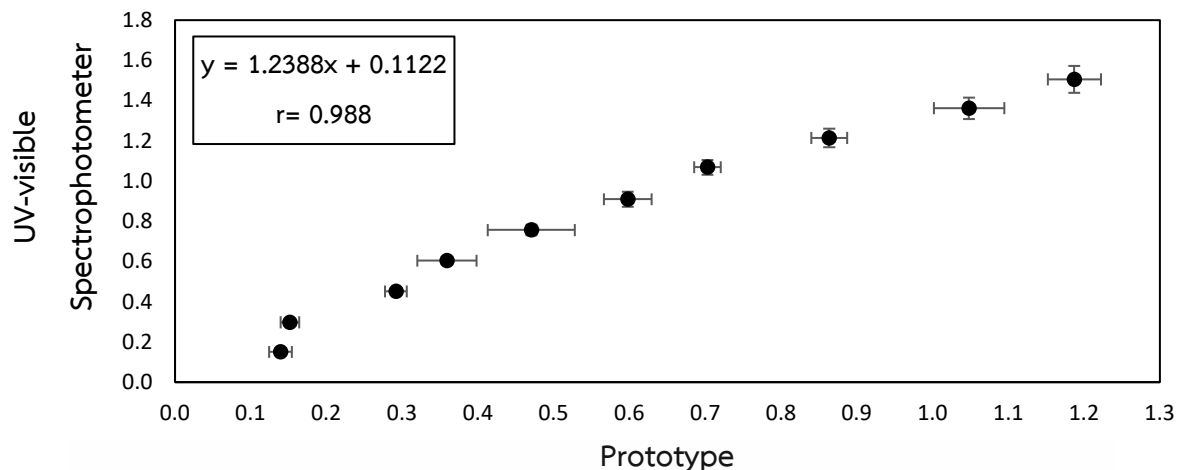
รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไดคลอรวอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

## 4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าการดุดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนากับเครื่องมาตรฐาน

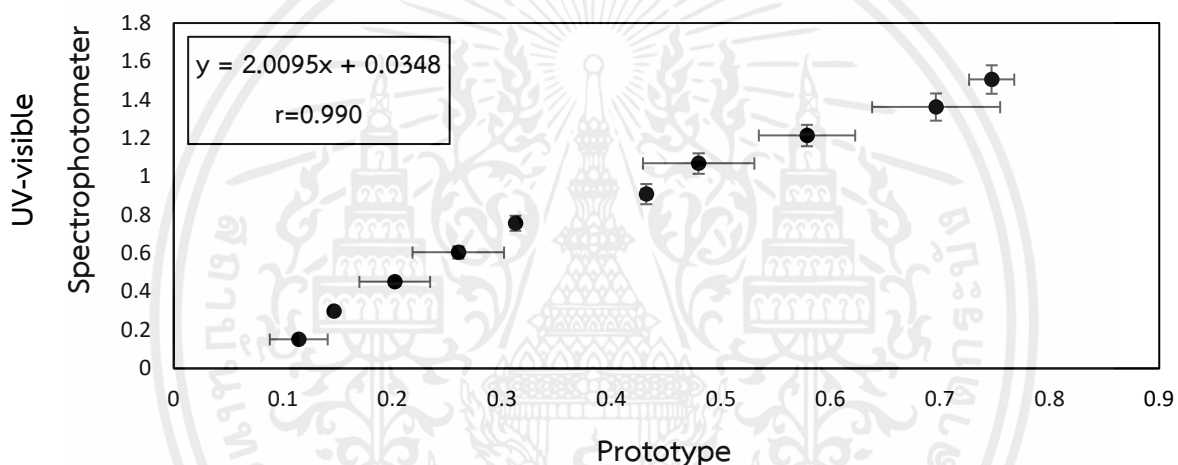
### 4.5.1 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดุดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายต่างทับทิม

จากการวิเคราะห์หาช่วงการดุดกลืนแสงที่เหมาะสมในการนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานของสารละลายต่างทับทิมที่ 10 ระดับความเข้มข้นโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดุดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้จากทั้ง 3 วิธี และค่าการดุดกลืนแสงที่มากที่สุดจากเครื่องมาตรฐาน พบว่าวิธีที่ 1 คือการเปรียบเทียบระหว่างค่าการดุดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนา สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 1.2388x + 0.1122$  และให้ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, r) เท่ากับ 0.988 ดังรูปที่ 4.16 วิธีที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าการดุดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดุดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วง  $\pm$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม ณ ตำแหน่งที่มีค่าการดุดกลืนแสงมากที่สุดที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา โดยช่วงที่เหมาะสมคือ  $\pm 100$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 2.0095x + 0.0348$  และให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.990 ดังรูปที่ 4.17 และวิธีที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าการดุดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดุดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วงที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าการดุดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุด โดยช่วงที่เหมาะสมคือ ช่วง 50% ของค่าการดุดกลืนแสงที่มีค่าการดุดกลืนแสงสูงสุด สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 1.7913x + 0.0907$  และให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.987 ดังรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ที่ได้จากทั้ง 3 วิธี มีความเป็นเชิงเส้น และทั้งสองข้อมูลมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงสรุปได้ว่า วิธีที่ 2 คือการนำค่าการดุดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง  $\pm 100$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม ณ ตำแหน่งที่มีการดุดกลืนแสงมากที่สุดไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งบ่งชี้ได้จากค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3

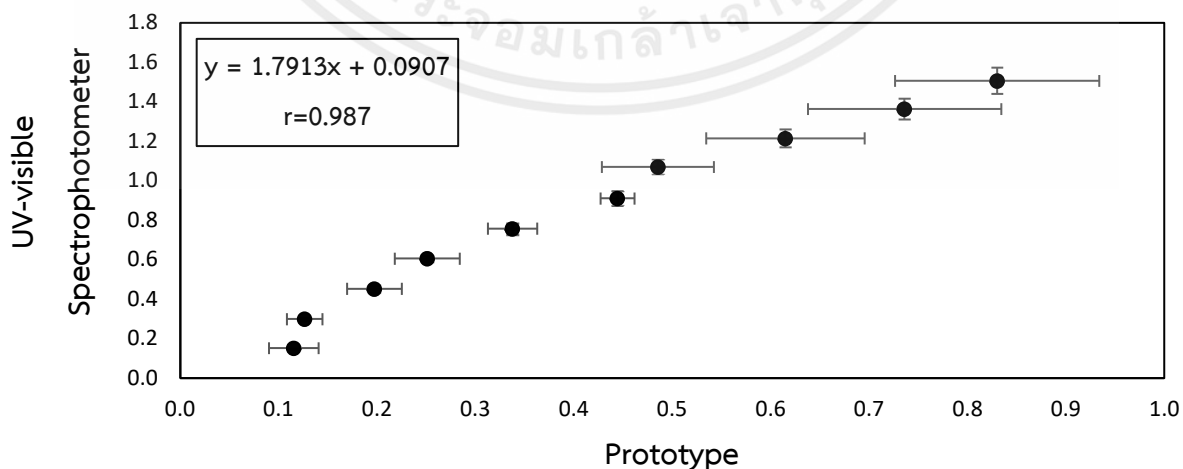
จากกราฟที่ได้ของทั้ง 3 วิธี จะเห็นได้ว่าค่าการดุดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องที่ทำการพัฒนามีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าการดุดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐาน โดยสังเกตได้จากแถบ error bar ที่ปรากฏ อาจมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ที่พัฒนานั้นมีความสามารถและความแม่นยำในการตรวจจับน้อยกว่าเครื่องมาตรฐาน เมื่อนำค่าการดุดกลืนแสงที่ได้จากทั้ง 2 เครื่องมาเปรียบเทียบกัน จึงทำให้ข้อมูลที่ได้นั้นค่อนข้างมีความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเกิดจากขั้นตอนในการเก็บภาพสเปกตรัมที่มีความผิดพลาดจึงอาจทำให้องค์ประกอบภายในของภาพมีความแปรปรวนเกิดขึ้น ได้แก่ ค่าสี RGB เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ค่าการดุดกลืนแสงที่ได้จากภาพสเปกตรัม



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง  $\pm 100$  จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด



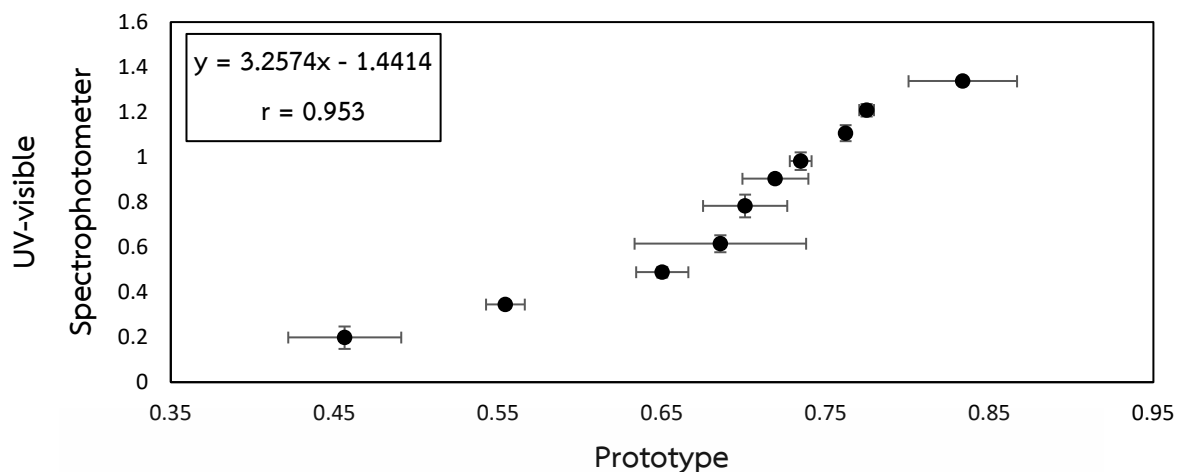
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของ

สารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 50% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าสูงที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

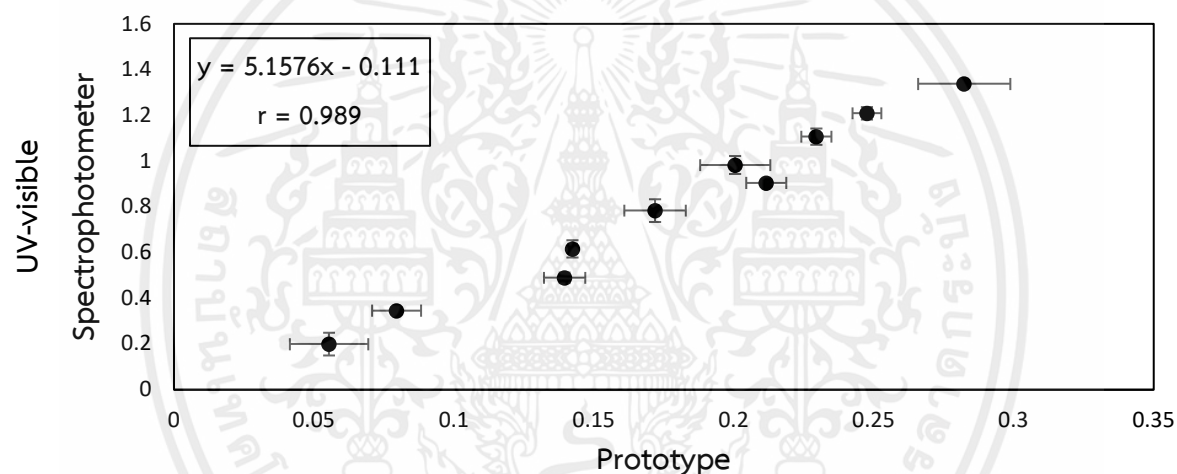
#### 4.5.2 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายเกลือ

จากการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานของสารละลายเกลือที่ 10 ระดับความเข้มข้นโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้จากทั้ง 3 วิธี และค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดจากเครื่องมาตรฐาน พบว่าวิธีที่ 1 คือการเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนา สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 3.2574x - 1.4414$  และให้ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, r) เท่ากับ 0.953 ดังรูปที่ 4.19 วิธีที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วง  $\pm$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม ณ ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา โดยช่วงที่เหมาะสมคือ  $\pm 20$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 5.1576x - 0.111$  และให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.989 ดังรูปที่ 4.20 และวิธีที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วงที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุด โดยช่วงที่เหมาะสมคือ ช่วง 10% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 3.137x - 1.6138$  และให้ค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.972 ดังรูปที่ 4.21 จากกราฟความสัมพันธ์ที่ได้จากทั้ง 3 วิธี จะเห็นได้ว่าทั้งสองข้อมูลมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าวิธีที่ 2 คือการนำค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง  $\pm 20$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม ณ ตำแหน่งที่มีการดูดกลืนแสงมากที่สุดไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งบ่งชี้ได้จากค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 ความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งบ่งชี้ได้จากค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3

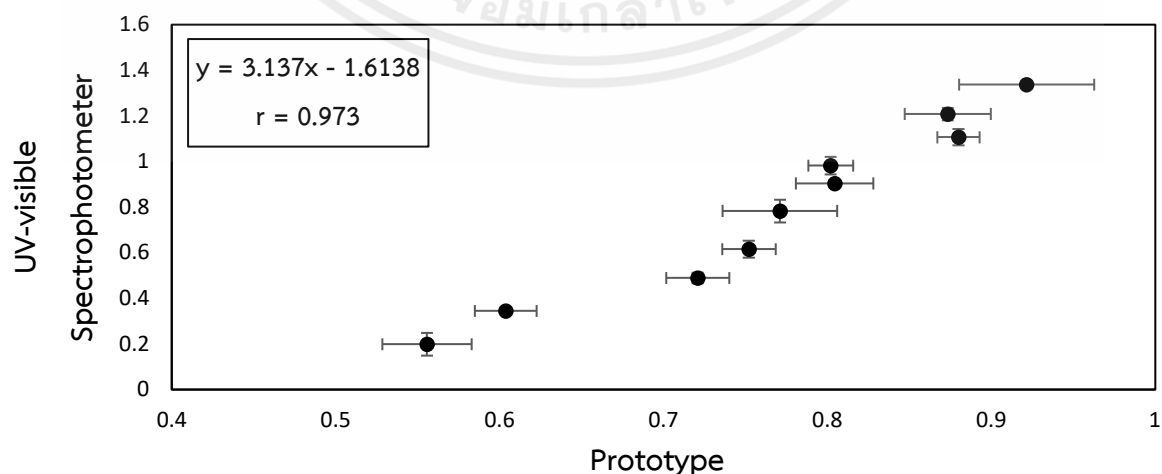
จากกราฟที่ได้ของทั้ง 3 วิธี จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องที่ทำการพัฒนามีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐาน โดยสังเกตได้จากแถบ error bar ที่ปรากฏ อาจมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ที่พัฒนานั้นมีความสามารถและความแม่นยำในการตรวจจับน้อยกว่าเครื่องมาตรฐาน เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากทั้ง 2 เครื่องมาเปรียบเทียบกัน จึงทำให้ข้อมูลที่ได้นั้นค่อนข้างมีความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเกิดจากขั้นตอนในการเก็บภาพสเปกตรัมที่มีความผิดพลาดจึงอาจทำให้องค์ประกอบภายในของภาพมีความแปรปรวนเกิดขึ้น ได้แก่ ค่าสี RGB เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากภาพสเปกตรัม



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง  $\pm 20$  จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด

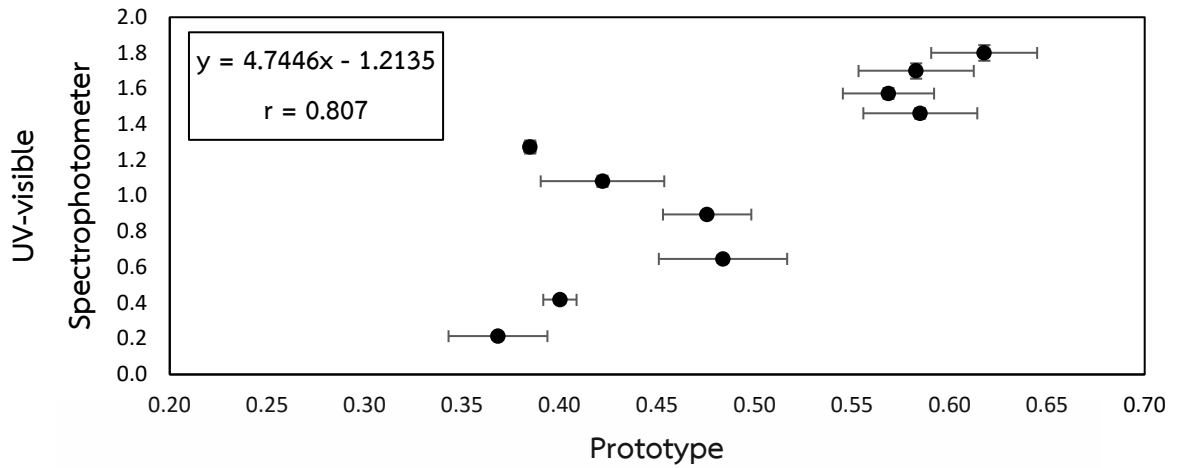


รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของเอกสารนี้ สารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 10% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าสูงที่สุดในการคำนวณค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

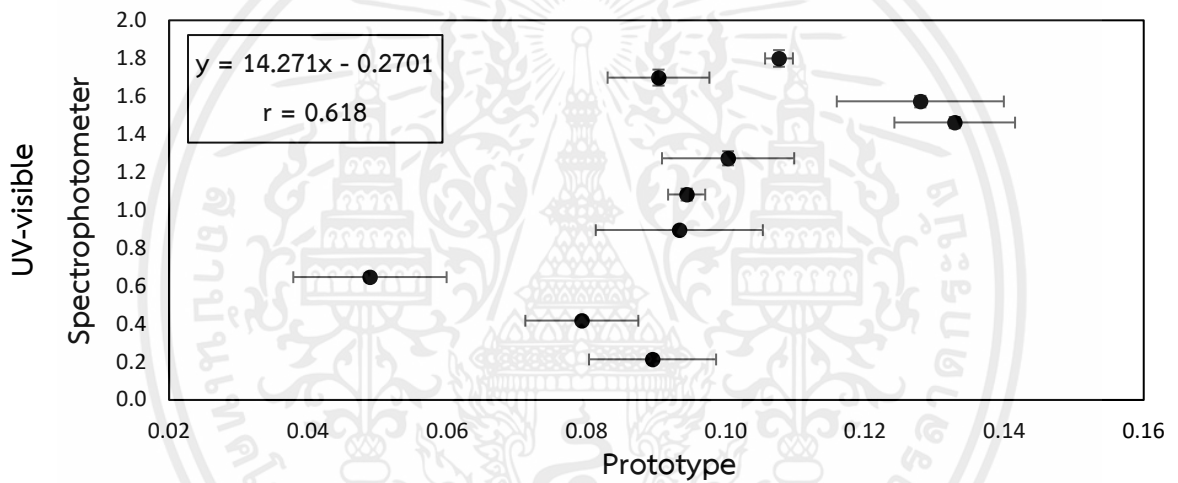
#### 4.5.3 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายคาร์บาริล

จากการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานของสารละลายคาร์บาริลที่ 10 ระดับความเข้มข้นโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้จากทั้ง 3 วิธี และค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดจากเครื่องมาตรฐาน พบว่าวิธีที่ 1 คือการเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนา สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 4.7446x - 1.2135$  และให้ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, r) เท่ากับ 0.807 ดังรูปที่ 4.22 วิธีที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วง  $\pm$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม ณ ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา โดยช่วงที่เหมาะสมคือ  $\pm 10$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 14.271x - 0.2701$  และให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.618 ดังรูปที่ 4.23 และวิธีที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วงที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุด โดยช่วงที่เหมาะสมคือ ช่วง 25% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 4.596x - 1.1196$  และให้ค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.809 ดังรูปที่ 4.24 จึงสรุปได้ว่าวิธีที่ 3 การนำค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง 25% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัม ไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งบ่งชี้ได้จากค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2

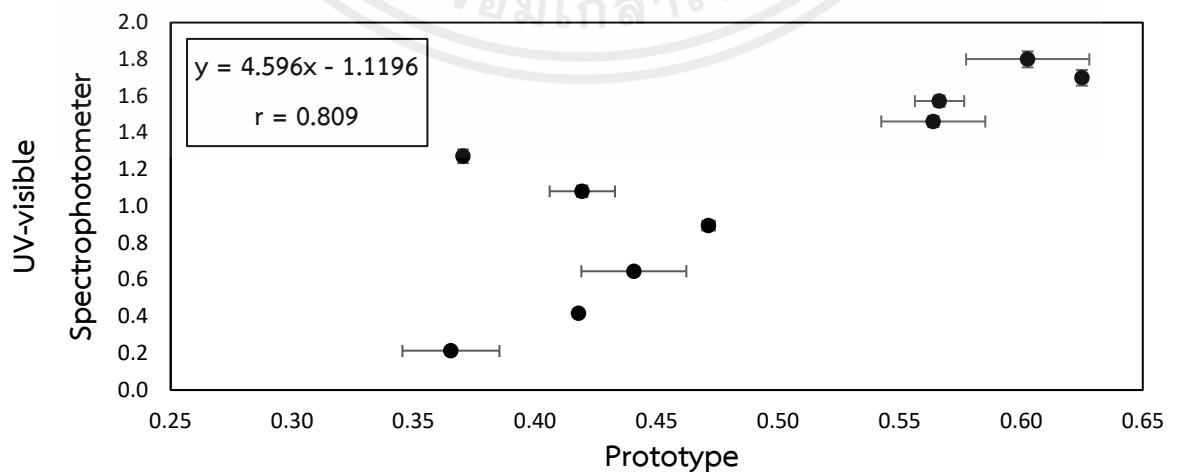
จากกราฟที่ได้ของทั้ง 3 วิธี จะเห็นได้ว่าทั้งสองข้อมูลไม่มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันและค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องที่ทำการพัฒนามีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐาน โดยสังเกตได้จากแถบ error bar ที่ปรากฏอาจมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ที่พัฒนานั้นมีความสามารถและความแม่นยำในการตรวจจับน้อยกว่าเครื่องมาตรฐาน เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากทั้ง 2 เครื่องมาเปรียบเทียบกัน จึงทำให้ข้อมูลที่ได้นั้นค่อนข้างมีความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเกิดจากขั้นตอนในการเก็บภาพสเปกตรัมที่มีความผิดพลาดจึงอาจทำให้องค์ประกอบภายในของภาพมีความแปรปรวนเกิดขึ้น ได้แก่ ค่าสี RGB เป็นต้น ซึ่งในบางครั้งอาจเกิดจากโครงสร้างทางเคมีหรือองค์ประกอบภายในของสารประกอบคาร์บาริล ซึ่งอาจเกิดเป็นสัญญาณรบกวนภาพสเปกตรัมที่ถ่ายได้และอาจส่งผลกระทบต่อการใช้วิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากภาพสเปกตรัมนั้นมีความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง  $\pm 10$  จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด

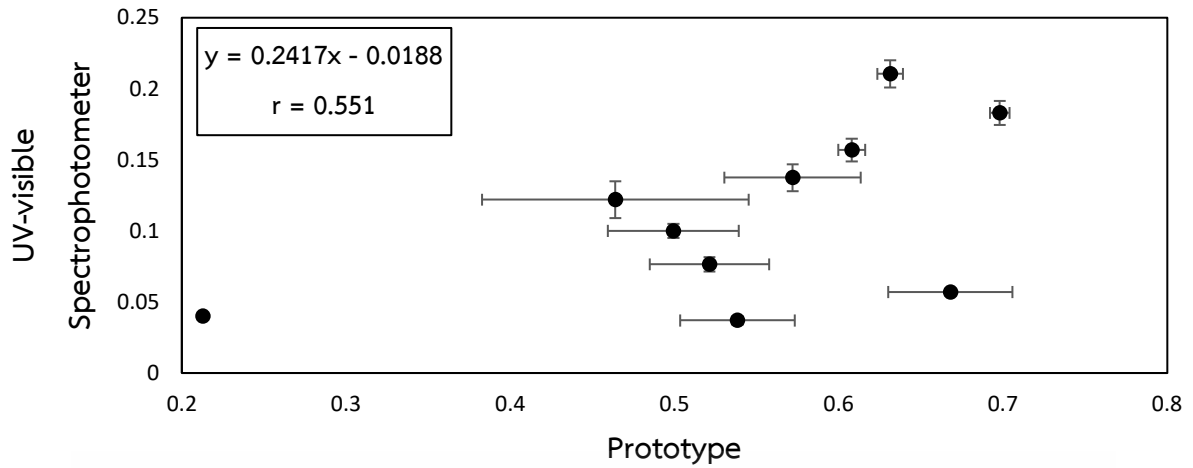


รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของเอกสารสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 25% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าสูงที่สุด การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

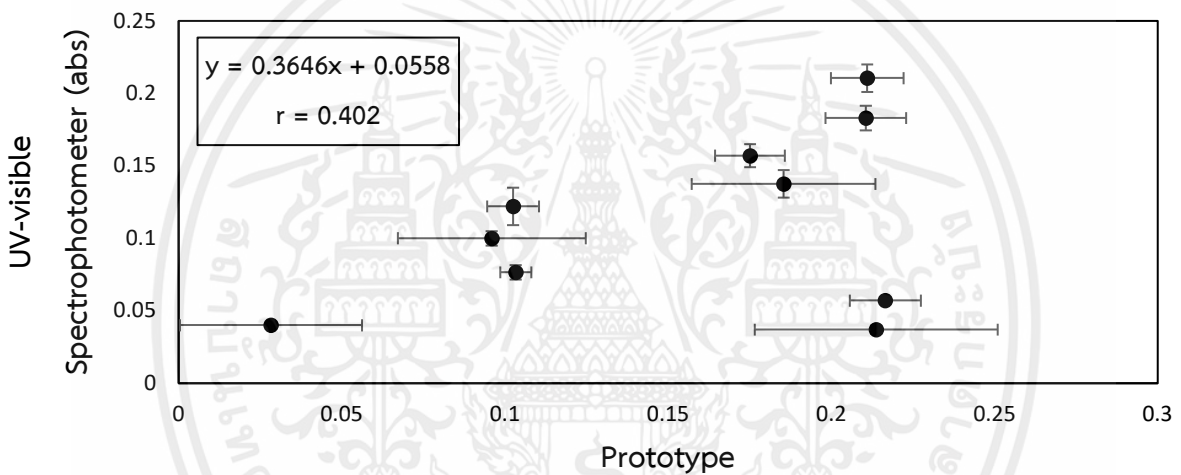
#### 4.5.4 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของไซเฟอร์เมทริน

จากการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานของสารละลายไซเฟอร์เมทรินที่ 10 ระดับความเข้มข้นโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้จากทั้ง 3 วิธี และค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุดจากเครื่องมาตรฐาน พบว่าวิธีที่ 1 คือการเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนา สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 0.2417x - 0.0188$  และให้ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, r) เท่ากับ 0.551 ดังรูปที่ 4.25 วิธีที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วง  $\pm$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม ณ ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา โดยช่วงที่เหมาะสมคือ  $\pm 20$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 0.3646x + 0.0558$  และให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.402 ดังรูปที่ 4.26 และวิธีที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วงที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุด โดยช่วงที่เหมาะสมคือ ช่วง 75% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 0.4133x - 0.0398$  และให้ค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.723 ดังรูปที่ 4.27 จึงสรุปได้ว่าวิธีที่ 3 การนำค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง 75% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัม ไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งบ่งชี้ได้จากค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2

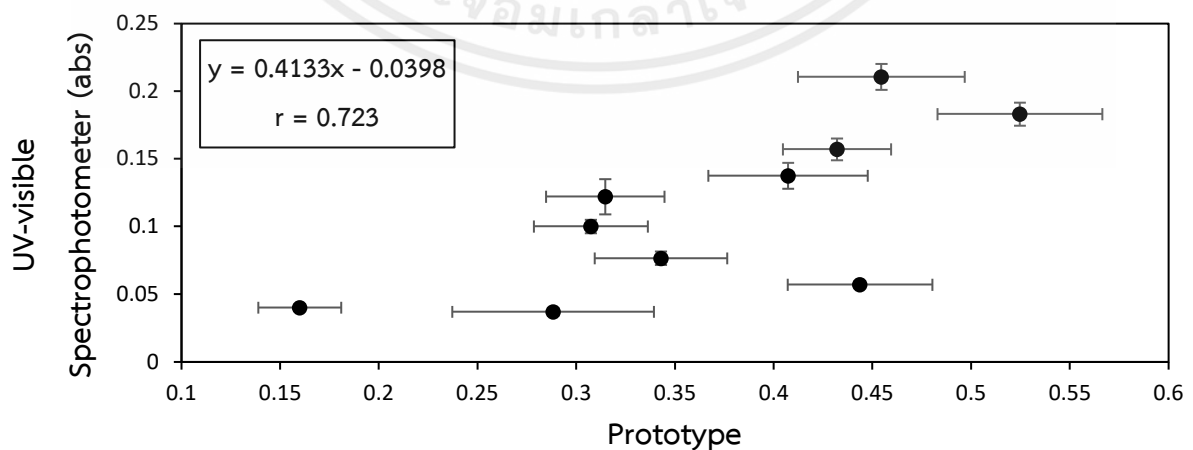
จากกราฟที่ได้ของทั้ง 3 วิธี จะเห็นได้ว่าทั้งสองข้อมูลไม่มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันและค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องที่ทำการพัฒนามีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐาน โดยสังเกตได้จากแถบ error bar ที่ปรากฏอาจมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ที่พัฒนานั้นมีความสามารถและความแม่นยำในการตรวจจับน้อยกว่าเครื่องมาตรฐาน เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากทั้ง 2 เครื่องมาเปรียบเทียบกัน จึงทำให้ข้อมูลที่ได้นั้นค่อนข้างมีความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเกิดจากขั้นตอนในการเก็บภาพสเปกตรัมที่มีความผิดพลาดจึงอาจทำให้องค์ประกอบภายในของภาพมีความแปรปรวนเกิดขึ้น ได้แก่ ค่าสี RGB เป็นต้น ซึ่งในบางครั้งอาจเกิดจากการตรวจจับไซเฟอร์เมทรินในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำจึงอาจทำให้อุปกรณ์ที่พัฒนาตรวจจับได้ยาก นอกจากนี้อาจเกิดจากสารละลายโครงสร้างทางเคมีหรือองค์ประกอบภายในของสารประกอบไซเฟอร์เมทรินซึ่งอาจเกิดเป็นสัญญาณรบกวนภาพสเปกตรัมที่ถ่ายได้และอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์หาค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากภาพสเปกตรัมนั้นมีความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง  $\pm 20$  จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด

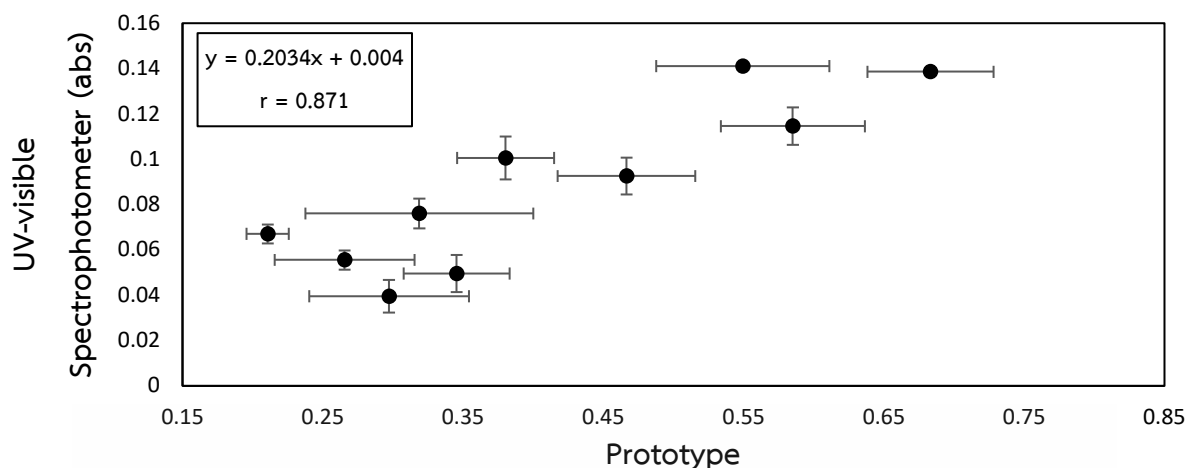


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 75% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าสูงที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปไซประเยชนดานการค้ำไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

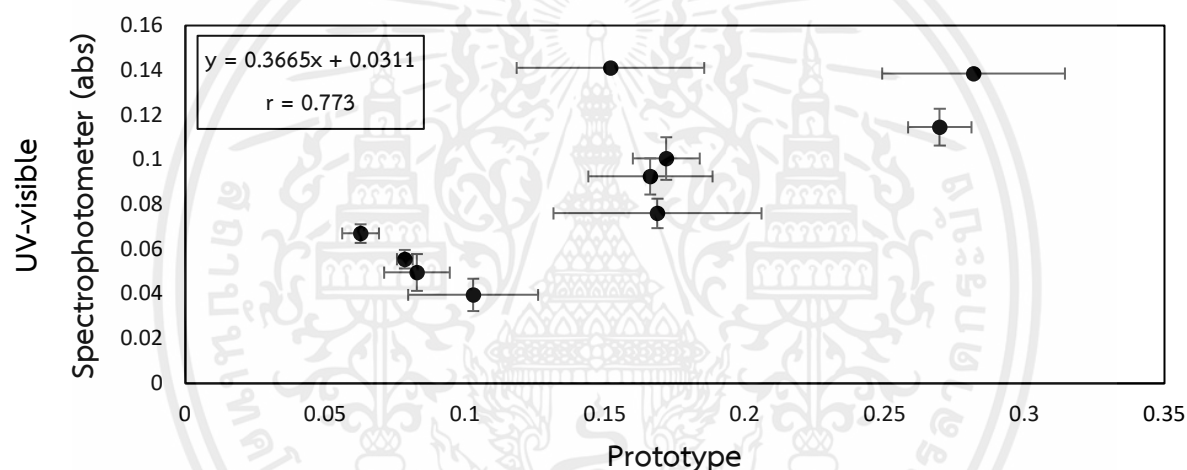
#### 4.5.5 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดุดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของไดคลอรัวอส

จากการวิเคราะห์หาช่วงการดุดกลืนแสงที่เหมาะสมในการนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานของสารละลายไดคลอรัวอสที่ 10 ระดับความเข้มข้นโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดุดกลืนแสงที่วิเคราะห์ได้จากทั้ง 3 วิธี และค่าการดุดกลืนแสงที่มากที่สุดจากเครื่องมาตรฐาน พบว่าวิธีที่ 1 คือการเปรียบเทียบระหว่างค่าการดุดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนา สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 0.2034x + 0.004$  และให้ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation, r) เท่ากับ 0.871 ดังรูปที่ 4.28 วิธีที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าการดุดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดุดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วง  $\pm$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม ณ ตำแหน่งที่มีค่าการดุดกลืนแสงมากที่สุดที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา โดยช่วงที่เหมาะสมคือ  $\pm 10$  จำนวน Pixel ของภาพสเปกตรัม สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 0.3665x + 0.0311$  และให้ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.773 ดังรูปที่ 4.29 และวิธีที่ 3 การเปรียบเทียบระหว่างค่าการดุดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดุดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วงที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าการดุดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุด โดยช่วงที่เหมาะสมคือ ช่วง 10% ของค่าการดุดกลืนแสงที่มีค่าการดุดกลืนแสงสูงสุด สามารถนำข้อมูลสร้างสมการเส้นตรง  $y = 0.1717x + 0.008$  และให้ค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.885 ดังรูปที่ 4.30 จึงสรุปได้ว่าวิธีที่ 3 การนำค่าการดุดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดุดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง 10% ของค่าการดุดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัม ไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งบ่งชี้ได้จากค่าสหสัมพันธ์ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2

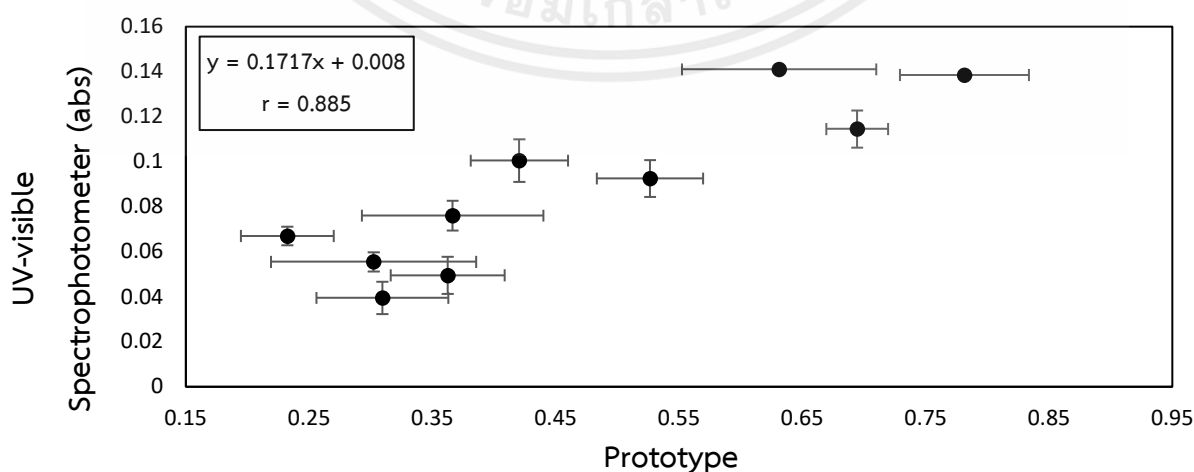
จากกราฟที่ได้ของทั้ง 3 วิธี จะเห็นได้ว่าทั้งสองข้อมูลไม่มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันและค่าการดุดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องที่ทำการพัฒนามีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าการดุดกลืนแสงที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐาน โดยสังเกตได้จากแถบ error bar ที่ปรากฏอาจมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ที่พัฒนานั้นมีความสามารถและความแม่นยำในการตรวจจับน้อยกว่าเครื่องมาตรฐาน เมื่อนำค่าการดุดกลืนแสงที่ได้จากทั้ง 2 เครื่องมาเปรียบเทียบกัน จึงทำให้ข้อมูลที่ได้นั้นค่อนข้างมีความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเกิดจากขั้นตอนในการเก็บภาพสเปกตรัมที่มีความผิดพลาดจึงอาจทำให้องค์ประกอบภายในของภาพมีความแปรปรวนเกิดขึ้น ได้แก่ ค่าสี RGB เป็นต้น ซึ่งในบางครั้งอาจเกิดจากการตรวจจับไดคลอรัวอสในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำจึงอาจทำให้อุปกรณ์ที่พัฒนาตรวจจับได้ยาก นอกจากนี้อาจเกิดจากสารละลายโครงสร้างทางเคมีหรือองค์ประกอบภายในของสารประกอบไดคลอรัวอสซึ่งอาจเกิดเป็นสัญญาณรบกวนภาพสเปกตรัมที่ถ่ายได้และอาจส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์หาค่าการดุดกลืนแสงที่ได้จากภาพสเปกตรัมนั้นมีความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไดคลอรัวอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไดคลอรัวอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง  $\pm 10$  จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด



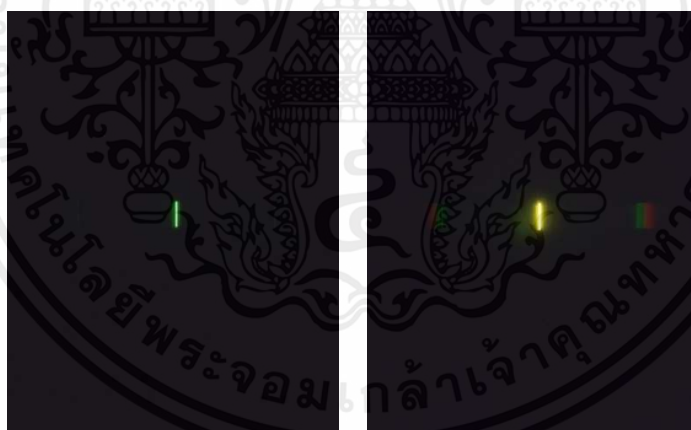
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาของสารละลายไดคลอรัวอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง 10% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่าสูงที่สุด  
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.6 ผลการทดสอบ paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (กำหนดให้ $\alpha=0.05$ )

จากผลการทดสอบ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุทดสอบที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กับค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐาน อธิบายได้จากค่า p-value ที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายต่างพับทิม สารละลายเกลือ สารละลายคาร์บาริล สารละลายไซเพอร์เมทริน และสารละลายไดคลอร์วอล มีค่าดังนี้ 0.997, 0.999, 0.999, 0.997 และ 0.997 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับว่าสมมติฐานหลักเป็นจริง โดยโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ โปรแกรม Microsoft excel

#### 4.6 ผลการทดสอบกับตัวอย่างอาหารของอุปกรณ์ที่พัฒนาในการตรวจจับสารตกค้างในอาหาร

จากการทดสอบ พบว่าภาพสเปกตรัมที่ของน้ำส้มได้จากทั้ง 2 แหล่งกำเนิดมีความแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.31 (ก) จะเห็นได้ว่าเมื่อทดสอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง UV จะไม่มีแถบสเปกตรัมปรากฏให้เห็น เนื่องจากน้ำส้มมีช่วงความยาวคลื่น 600 – 650 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของ Visible light และมีช่วงความยาวคลื่นที่มากกว่าช่วง UV ดังนั้นจึงไม่เกิดการดูดกลืนแสงและปรากฏแถบสเปกตรัมให้เห็นเหมือนการทดสอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ในช่วงของ Visible light เหมือนกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหลอดฟลูออเรสเซนซ์มีความเหมาะสมในการทำการทดลองกับตัวอย่างอาหาร



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.31 ภาพถ่ายสเปกตรัมของน้ำส้มที่แหล่งกำเนิดแสงชนิด

(ก) หลอด UV (ข) หลอดฟลูออเรสเซนซ์

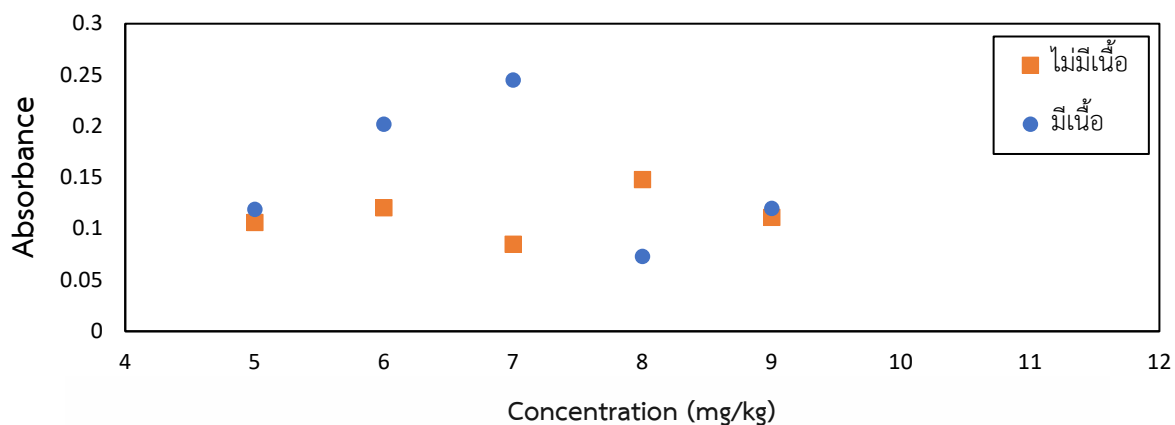
#### 4.6.1 ผลการทดลองของอุปกรณ์ที่พัฒนาในการตรวจจับสารเคมีตกค้าง ได้แก่ สารคาร์บาริล สารไซเพอร์เมทริน และสารไดคลอร์วอลในตัวอย่างอาหาร ได้แก่ น้ำส้มผสมเนื้อส้มและน้ำส้มไม่ผสมเนื้อส้ม

จากผลการทดลอง พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารคาร์บาริล สารไซเพอร์เมทริน และสารไดคลอร์วอลในตัวอย่างอาหาร ได้แก่ น้ำส้มผสมเนื้อส้มและน้ำส้มไม่ผสมเนื้อส้มนั้นไม่เป็นไปตามกฎของ Beer'law ดังรูปที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

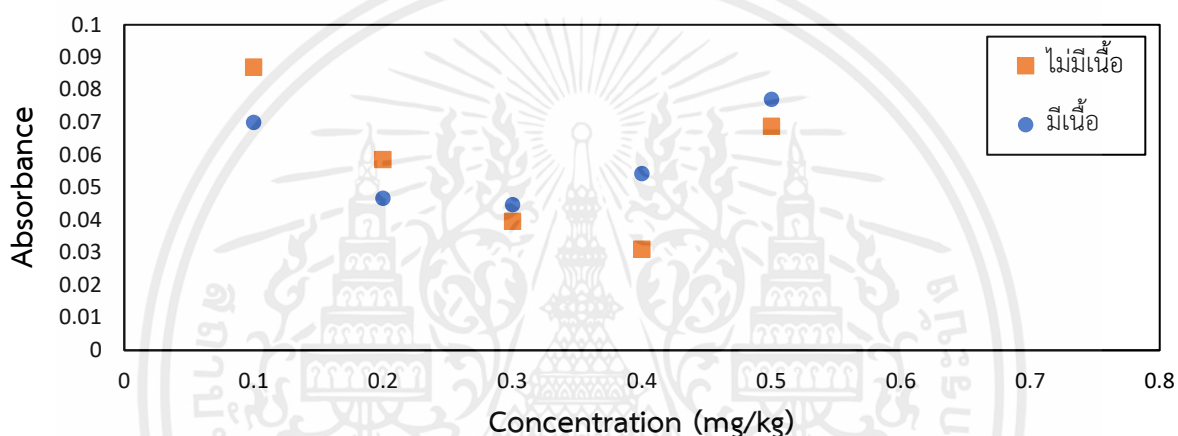
4.32 4.33 และ 4.34 เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงกลับมีค่าลดลง จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารเคมีตกค้างทั้ง 3 สารในตัวอย่างอาหารได้ ซึ่งอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ ได้แก่ น้ำส้มและสารเคมีตกค้างมีช่วงความยาวคลื่นอยู่คนละช่วงกัน โดยน้ำส้มมีสีส้ม ซึ่งมีช่วงการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง Visible light แต่สารเคมีตกค้างมีช่วงการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง UV ซึ่งในบางครั้งอาจเกิดจากโครงสร้างของอุปกรณ์ที่พัฒนาเนื่องจากเกิดการกระปริบของหลอดไฟและอาจมีแสงจากภายนอกเข้ามารบกวนการภาพสเปกตรัม ทั้งนี้อาจเกิดจากการทดสอบในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำจึงอาจทำให้อุปกรณ์ที่พัฒนานั้นตรวจจับได้ยาก นอกจากนี้อาจเกิดจากโครงสร้างทางเคมีและองค์ประกอบภายในของสารเคมีตกค้างและน้ำส้มทำให้เกิดเป็นสัญญาณรบกวนในการตรวจจับสารเคมีตกค้างหรือสารที่สนใจ ดังนั้นเพื่อความแม่นยำในการตรวจวัดปริมาณหรือความเข้มข้นของสารเคมีตกค้างชนิดนั้น ๆ ในอาหารจึงต้องทำการสกัดตัวอย่างอาหารก่อนนำไปวิเคราะห์เพราะจะทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนจากสารอื่น ๆ ได้หรือทำให้สัญญาณรบกวนที่มีอยู่นั้นไปรบกวนสารที่เราสนใจลดน้อยลง (ธรรณิศวรร, 2561) และทำให้อุปกรณ์ที่พัฒนาความสามารถและประสิทธิภาพในการตรวจจับที่ดีมากยิ่งขึ้นแต่เนื่องจากเวลาที่มีอยู่จำกัดจึงไม่ได้ทำการทดลองในส่วนนี้

จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารคาร์บาริล สารไซเพอร์เมทริน และสารไดคลอร์วอสที่ไดจากการทดสอบด้วยน้ำส้มผสมเนื้อส้มส่วนใหญ่มีค่ามากกว่าน้ำส้มไม่ผสมเนื้อส้ม จากการวิเคราะห์พบว่า น้ำส้มผสมเนื้อส้มนั้นมีความขุ่นและมีความหนาแน่นจากเนื้อส้มทำให้มีความเข้มข้นมากกว่า ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดกลืนแสงมากกว่าและจากค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของทั้ง 2 ตัวอย่าง พบว่ามีความแตกต่างกันเมื่อความเข้มข้นมีค่าเพิ่มมากขึ้น จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาสามารถตรวจจับสารเคมีตกค้างในอาหารได้

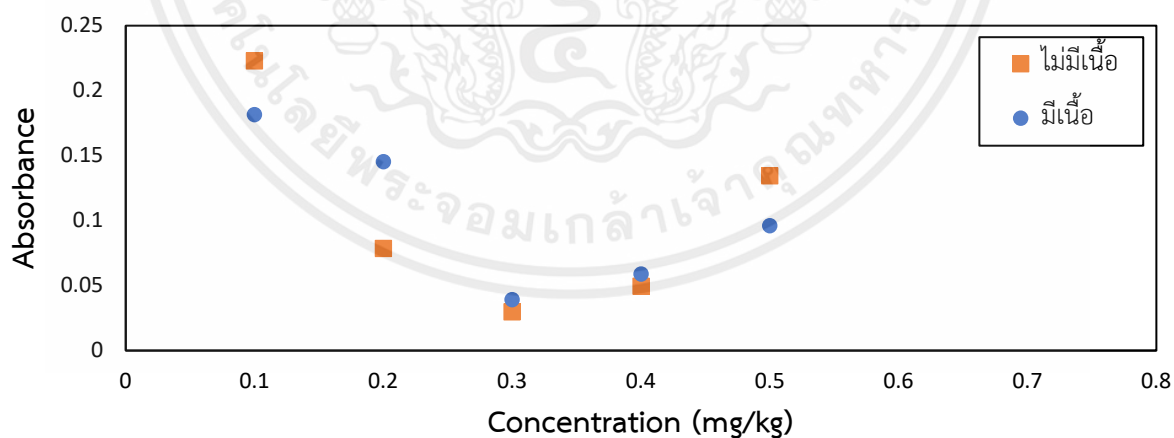
เมื่อทำการทดสอบกับตัวอย่างอาหาร ได้แก่ น้ำส้มไม่มีเนื้อส้มผสมกับสารเคมีตกค้างทั้ง 3 สารที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าไม่สามารถระบุช่วงในการปฏิบัติงานของสารเคมีตกค้างทั้ง 3 สารได้ ในทางกลับกันเมื่อทดสอบกับน้ำส้มที่มีเนื้อส้มผสม พบว่าสามารถระบุช่วงในการปฏิบัติงานของสารเคมีตกค้างทั้ง 3 สารได้ โดยช่วงในการปฏิบัติงานของสารคาร์บาริล คือ ช่วงระดับความเข้มข้นที่ 5-7 mg/kg ดังรูปที่ 4.32 ส่วนช่วงในการปฏิบัติงานของสารไซเพอร์เมทรินและไดคลอร์วอสนั้นอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ 0.3-0.5 mg/kg ดังรูปที่ 4.33 และ 4.34 บ่งชี้ได้จากข้อมูลมีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกันและค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารแปรผันตรงกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาความสามารถในการตรวจสารเคมีตกค้างในน้ำส้มผสมเนื้อส้มได้ตัวน้ำส้มไม่มีเนื้อส้มผสม



รูปที่ 4.32 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารคาร์บาริลในตัวอย่างอาหารในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 4.33 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารไซเพอร์เมทรินในตัวอย่างอาหารในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 4.34 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารไดคลอร์วอสในตัวอย่างอาหารในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์วิเคราะห์สารเคมีตกค้างในอาหารโดยใช้การดูดกลืนแสงร่วมกับการประมวลผลสัญญาณ/ภาพ เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณสารคาร์บาริล สารไซเพอร์เมทริน และสารไดคลอร์วออสในอาหาร พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนานั้นสามารถสร้างแถบสเปกตรัมที่ใช้ในการวิเคราะห์สารต่าง ๆ ได้ จากนั้นทำการเก็บภาพสเปกตรัมที่ได้โดยการใช้โทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ โดยทำการถ่ายภาพทั้งหมดจำนวน 5 ภาพ และนำไปวิเคราะห์ต่อเพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายและสารตกค้างในโปรแกรมที่พัฒนา ทั้งนี้ได้มีการตัดภาพสเปกตรัมที่ได้ให้มีขนาดเท่ากันในทุกๆภาพ เพื่อความสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นในการวิเคราะห์ โดยทำการตัดภาพให้มีขนาดเท่ากับ 600x100 Pixel

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ภาพสเปกตรัมด้านขวาและช่อง Slit ที่มีความกว้าง 50  $\mu\text{m}$  มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการพิจารณาหาค่าการดูดกลืนแสงของสารต่าง ๆ เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB ที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยที่สุด และในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงนั้นควรเลือกใช้ให้มีความเหมาะสมกับช่วงความยาวคลื่นนั้น ๆ ที่สารสามารถดูดกลืนได้ เนื่องจากสารแต่ละชนิดมีช่วงและลักษณะการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น เมื่อทำการทดสอบกับสารละลายต่างทับทิมด้วยเครื่องมาตรฐานพบว่า พบว่าสารละลายต่างทับทิมมีความสามารถในการดูดกลืนแสงได้มากที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 505 - 555 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของ Visible light ในทางกลับกันเมื่อทำการทดสอบกับสารละลายเกลือ พบว่าสารละลายเกลือมีความสามารถในการดูดกลืนแสงได้มากที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 190 - 350 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของ UV เช่นเดียวกับสารเคมีตกค้าง โดยในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการทดลองกับสารเคมีตกค้างด้วยกัน 3 กลุ่ม กลุ่มละ 1 สาร ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางและส่วนใหญ่มักจะตรวจพบเจอในพืชตระกูลส้ม ได้แก่ สารคาร์บาริล (กลุ่มคาร์มาเมต) สารไซเพอร์เมทริน (กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต) และสารไดคลอร์วออส (กลุ่มไพรีทรอยด์)

จากการทำการทดสอบกับสารละลายต่างทับทิม สารละลายเกลือ สารละลายคาร์บาริล สารละลายไซเพอร์เมทริน และสารละลายไดคลอร์วออสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กับอุปกรณ์ที่พัฒนานั้น พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนานั้นมีความสามารถในการตรวจจับสารที่มีสีและไม่มีสีได้ บ่งชี้ได้จากค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างทับทิมและสารละลายเกลือที่แปรผันตรงกันกับความเข้มข้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันซึ่งเป็นไปตามกฎของ Beer' law นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการตรวจจับสารคาร์บาริล สารไซเพอร์เมทริน และสารไดคลอร์วออส แต่มีความสามารถในการตรวจจับน้อยกว่าสารต่างทับทิมและเกลือ เนื่องจากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ในบางช่วงนั้นมีค่าแตกต่างกันเมื่อความเข้มข้นมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่เป็นไปตามกฎของ Beer' law ซึ่งอาจเกิดจากโครงสร้างทางเคมีของสารเนื่องจากสารเคมีตกค้างเป็นสารประกอบไม่ใช่สารบริสุทธิ์ ซึ่งในบางครั้งอาจเกิดจากโครงสร้างของอุปกรณ์ที่พัฒนา เนื่องจากเกิดการกระพริบของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดไฟและอาจมีแสงภายนอกเข้ามารบกวนภาพสเปกตรัม โดยในแต่ละสารนั้นจะมีช่วงในการปฏิบัติงาน และมีวิธีการในการวิเคราะห์หาช่วงของค่าดูดกลืนแสงที่มีความเหมาะสมและนำไปเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานแตกต่างกันออกไป โดยวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาช่วงของค่าดูดกลืนแสงของสารละลายต่างทับทิมและสารละลายเกลือ คือพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วง  $\pm$  จำนวน Pixel ณ ตำแหน่งที่มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา ได้แก่ ช่วง  $\pm 100$  Pixel และ ช่วง  $\pm 20$  ตามลำดับ นอกจากนี้ในส่วนของสารละลายคาร์บาริล สารละลายไซเพอร์เมทริน และสารละลายไดคลอรวูอส มีวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาช่วงของค่าดูดกลืนแสงเหมือนกัน คือพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วงที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุด ได้แก่ ช่วง 25% 75% และ 10% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มากที่สุด บ่งชี้ได้จากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้นั้นมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงด้วยวิธีอื่น ๆ

เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนากับค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน (Spectrophotometer Thermo spectronic รุ่น Genesys 10s UV – vis) โดยใช้เครื่องมือทางสถิติ paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (กำหนดให้  $\alpha = 0.05$ ) พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างทับทิม สารละลายเกลือ สารละลายคาร์บาริล สารไซเพอร์เมทริน และสารละลายไดคลอรวูอส ที่วัดได้จากเครื่องที่พัฒนาและเครื่องมาตรฐาน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และจากการทดสอบกับตัวอย่างอาหาร เพื่อทดสอบความสามารถของอุปกรณ์ที่พัฒนาในการตรวจจับสารเคมีตกค้างในตัวอย่างอาหาร ได้แก่ น้ำส้มผสมเนื้อส้ม และน้ำส้มไม่มีเนื้อส้มผสม พบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาสามารถตรวจจับสารตกค้างในตัวอย่างอาหารได้ เนื่องจากค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มีค่าแตกต่างกัน แต่ไม่สารละลายปริมาณสารตกค้างในอาหารได้ เนื่องจากค่าการดูดกลืนแสงนั้นไม่เป็นไปกฎของ Beer'law เมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงกลับมีค่าลดลง จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารเคมีตกค้างของทั้ง 3 สารในตัวอย่างอาหารที่ระดับปลอดภัยและไม่ปลอดภัยได้ เพื่อความแม่นยำที่เพิ่มมากขึ้นในการตรวจวัดปริมาณหรือความเข้มข้นของสารเคมีตกค้างชนิดนั้น ๆ ในอาหารจึงต้องทำการสกัดตัวอย่างอาหารก่อนนำไปวิเคราะห์ เพราะจะทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนจากสารอื่น ๆ ได้หรือทำให้สัญญาณรบกวนที่มีอยู่นั้นไปรบกวนสารที่เราสนใจลดน้อยลงและทำให้อุปกรณ์ที่พัฒนามีความสามารถและประสิทธิภาพในการตรวจจับที่ดีมากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัดจึงไม่ได้ทำการทดลองในส่วนนี้

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาเพิ่ม

1. เพื่อความแม่นยำที่มากขึ้นในการทดสอบกับตัวอย่างอาหารควรทำการสกัดตัวอย่างอาหารก่อนนำไป

วิเคราะห์

2. เนื่องจากเวลาที่จำกัดสำหรับการพัฒนาโปรแกรมที่พัฒนาในส่วนนี้ยังไม่สามารถแสดงปริมาณความเข้มข้นของสารที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา ซึ่งทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าปริมาณสารตกค้างที่มีอยู่ในอาหารนั้นมีอยู่ในระดับที่ปลอดภัยหรือไม่ปลอดภัย และไม่สามารถทำให้กราฟความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบของช่วงความยาวคลื่นได้ ดังนั้นหากได้มีการศึกษาในส่วนนี้เพิ่มเติมและมีความรู้ด้านการเขียนโค้ดในโปรแกรม MATLAB มากกว่านี้ อาจทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมา มีความสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น

3. สำหรับตัวอุปกรณ์สามารถพัฒนาต่อเพื่อความสมบูรณ์ได้ ดังต่อไปนี้

- ลดขนาดของตัวอุปกรณ์ สามารถทำได้โดยการลดขนาดของหลอดไฟและขนาดของกล่องควบคุมปริมาณแสงรบกวนจากภายนอก

- วัสดุที่ใช้และโครงสร้างสำหรับอุปกรณ์นั้นมีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งอาจมีผลต่อการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ดังนั้นเราสามารถออกแบบอุปกรณ์ตามที่เราต้องการเพื่อส่งปรีนในรูปแบบ 3 มิติ

- มีการใช้สารเคลือบบริเวณผิวของอุปกรณ์ที่พัฒนาเพื่อป้องกันอันตรายจากแหล่งกำเนิดแสงชนิดหลอด UV

## เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมโรค. 2565. ผลกระทบต่อสุขภาพจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช. [Online]. Available :

<http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view>

กอบทอง รูปหอม. 2566. ชุดตรวจหายาฆ่าแมลงจีที. [Online]. Available :

[http://www.gtttestkit.com/bio\\_comment.htm#1](http://www.gtttestkit.com/bio_comment.htm#1)

จอห์นสัน คีท, ฮิวเวตต์ ซิมโมน, โฮลท์ ชู และมิลเลอร์ จอห์น. 2559. **Advanced Physics for you**

**ฟิสิกส์ขั้นสูง**. แปลจาก Advanced Physics for you. โดย เรวัต ตันตยานนท์, ศุภวัณณ์ ตันวรรัชช์ และอรนุช โชคชัยเจริญพร. กรุงเทพฯ : นานามีบุ๊คส์.

จักรรินทร์ จันท์สนธิ และพรชพล จึงจตุพรชัย. 2564. “การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างกลุ่มคาร์บาเมตโดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงร่วมกับการวิเคราะห์ภาพ.” ปริญญาทิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. 2544. **เครื่องมือวิทยาศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 3. ขอนแก่น : โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.

เชียงใหม่นิวส์. 2562. **คุมเข้มสารเคมี เกษตรอึ้ง!!!** ลอบขาย ใช้สารอันตรายเพียบ. [Online]. Available :

<https://www.chiangmainews.co.th>

ชัยวัฒน์ วามวรรธน์. 2564. “**สเปกโทรโฟโตเมตรี**.” กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฐิติทิพย์ ทิพยมนตรี. 2564. **ปลอดภัย ปลอดภัยกับรังสียูวีซี ของต้องมีในวิถี New Normal**. [Online].

Available : <https://www.chula.ac.th/news/44406/>

ณัฐวุฒิ ลีลาภน. 2561. “**สถิติพื้นฐานสำหรับการอ่านงานวิจัย**.” ชลบุรี : คณะเภสัชศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา.

ธณิศวรรค์ ไชยมงคล และวีรวิทย์ วิทยานันท์. 2561. “การพัฒนาวิธีเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์สาร

กำจัดศัตรูพืชตกค้างในอาหารที่ยากต่อการวิเคราะห์.” **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**. 23(3) : 1426-1437.

นัสรีนา เจ๊ะมะ, อามานี สามะ และนุรซีลา ละนะ. 2559. “การสร้างเกรตติงสเปกโตรมิเตอร์ โดยใช้แผ่นซีดี.”

**วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมรย**. 3(1) : 49-56

นุชจรี จันต์ดวง. 2563. “**เคมีคลินิกพื้นฐาน**.” นครศรีธรรมราช : มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ประภาพร กุลลิมรัตน์ชัย. 2014. “การค้นคืนภาพโดยการพิจารณาน้ำหนักการกระจายของสีด้วยการกระจายตัวแบบเกาส์เซียนสำหรับฮิสโตแกรมสี ในแบบจำลองสี HSV”. **EAU Heritage Journal Science and Technology**. 6(2) : 101-109.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พจน์ศิริรินทร์ ลิ้มปิ่นนันทน์, วิรุณ โมนะตระกูล, สาโรช บุญมี, ธเนศ ยืนสุข, ชมภู เหนือศรี, พันธิวา แก้วมาตย์ และ ชวิศร ปุคะภาค. 2564. “การพัฒนาต้นแบบเครื่องฆ่าเชื้อไวรัสและแบคทีเรียด้วยลำแสง UV-C ขนาดเล็ก.” มหาสารคาม : คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- ไพโรจน์ คล้ายเพชร. 2556. “วิธีการวัดสีแผ่นพิมพ์ธนบัตรด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบคุณภาพงานพิมพ์สีพื้น.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- ภัทรีวรรณ อิมสุวรรณ์. 2566. “คู่มือปฏิบัติงานของนักวิทยาศาสตร์.” กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน.
- ภิเชก ทศนระนาคะจิตต์. 2564. **เรื่องสว่างๆ ที่หลายคนอาจยังไม่กระจ่างดี ตอนที่ 2.** [Online]. Available : <https://www.scimath.org/article-physics/item/11640-2-11640>
- มนตรี โปธิโสโนทัย. 2557. **การใช้งานโปรแกรมMATLABสำหรับวิเคราะห์ทางสถิติ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยนานาชาติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รณเวท ศรีพวงวงษ์ และ พงษ์พิชญ์ ภักดีณรงค์. 2561. “การตรวจพิสูจน์หาการปลอมแปลงภาพถ่ายดิจิทัลโดยใช้การเปรียบเทียบค่าสีของพิกเซลในภาพ.” กรุงเทพฯ : คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ.
- วันสนันท์ วัฒนสุกุล. 2559. “การพัฒนาแถบเทียบสีจากชุดจีทีเพื่อตรวจปริมาณสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชในผัก.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร) สาขาวิทยาศาสตรการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมาคมการค้าปุ๋ยและธุรกิจการเกษตรไทย. 2566. **สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชสำคัญและมีประโยชน์อย่างไร.** [Online]. Available : [https://www.thaifert.com/knowledge\\_detail.php?id=8](https://www.thaifert.com/knowledge_detail.php?id=8)
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2562. **คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3.** [Online]. Available : <https://www.scimath.org/ebook-physics/item/10331-5-3-10331>
- สำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2560. **คู่มือการใช้ชุดทดสอบอาหาร.** [Online]. Available : <http://bqsf.dmsc.moph.go.th/bqsfWeb/wp-content/uploads/2017/06/test-kit/2-pesticide.p>
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. 2563. **สารเคมีตกค้างในอาหารสด.** [Online]. Available : <https://resourcecenter.thaihealth.or.th/article>
- สุภรดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง เสาวนิตย์ โพธิ์พูนศักดิ์ ศรีจันทรรจ ศรีจันทรา และพฤทธิชาติ ปุญวัฒน์. 2563. **เอกสารวิชาการ คำแนะนำการป้องกันแมลง-สัตว์ ศัตรูพืชอย่างมีประสิทธิภาพและ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปลอดภัยจากงานวิจัย.** [Online]. Available : <https://www.doa.go.th/psco/wp-content/uploads/2020/06/คู่มือคำแนะนำการป้องกันกำจัด แมลง-สัตว์ศัตรูพืชอย่างปลอดภัย-ปีบอัด.pdf>
- Codex Alimentarius. 2017. **GUIDELINES ON PERFORMANCE CRITERIA FOR METHODS OF ANALYSIS FOR THE DETERMINATION OF PESTICIDE RESIDUES IN FOOD AND FEED.** [Online]. Available : <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/>
- European Food Safety Authority. 2564. **The 2019 European Union report on pesticide residues in food.** [Online]. Available : [https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6491?fbclid=IwAR37OJi8ET8qzRacG4VkfaltaSivc5Kg2jrjiWiN9AHiAn\\_-S79-9yYPCJU](https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6491?fbclid=IwAR37OJi8ET8qzRacG4VkfaltaSivc5Kg2jrjiWiN9AHiAn_-S79-9yYPCJU)
- Grass K. E., Torcasio H. M. and Smith W. A. 2016. Teaching UV-Vis Spectroscopy with a 3D-Printable Smartphone Spectrophotometer. **Journal of Chemical Education.** 93 : 146-151.
- Harshit D., Charmy K., Nrupesh P. 2017. Organophosphorus pesticides determination by novel HPLC and spectrophotometric method. **Food Chemistry.** 230 : 448-453.
- Intaravanne Y., Sumriddetchkajorn S. 2015. Android-based rice leaf color analyzer for estimating the needed amount of nitrogen fertilizer. **Computers and Electronics in Agriculture.** 116 : 228-233.
- Likith G., Jayram D. N., Yaswanth B., Sreekanth D., Deny J., Karuthapandi M. and Vishwa V. S. 2021. Designing of low-cost spectrometer for sensor application. **Journal of Optics.** 50(3) : 489-494.
- New Jersey Department of Health and Senior Services. 2003. **Dichlorvos.** [Online]. Available : <https://www.nj.gov/health/workplacehealthandsafety/right-to-know/hazardous-substances/>
- Pongklam W. 2020. **Warm white / Cool white / Daylight...เลือกใช้หลอดไฟแบบไหนดี?** [Online]. Available : <https://www.ofm.co.th/blog/%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%94%E0%B9%84%E0%B8%9F->
- Shipakar O, Karki B. 2021. Cypermethrin poisoning manifesting with prolonged bradycardia: A case report. **Toxicology Reports.** 8 : 10-12.
- United states environmental protection agency. 2016. **Carbaryl 63-25-2.** [Online]. Available : <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก  
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1 ผลการศึกษาผลของแถบสเปกตรัมที่ใช้ในการพิจารณา

ตารางที่ ก.1 แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	5.41	5.38	5.44	5.00	4.98	4.90	7.38	6.53	6.84
2	5.00	5.05	5.23	5.19	5.18	5.04	7.40	6.19	6.50
3	4.43	4.54	4.82	4.79	4.96	4.67	7.61	5.77	5.88
4	4.70	4.80	4.82	5.16	5.02	4.92	7.31	6.13	6.05
5	4.79	4.72	4.77	5.54	5.36	5.37	7.16	5.53	5.42
6	5.52	5.47	5.49	5.51	5.65	5.52	6.86	5.72	5.84
7	5.52	5.52	5.52	5.40	5.46	5.36	8.38	5.84	5.91
8	4.87	5.07	4.93	5.94	5.65	5.53	7.50	5.38	5.56
9	5.28	5.43	5.33	6.10	5.89	5.70	6.71	6.77	7.10
10	5.02	4.95	4.91	5.85	5.98	5.57	7.16	6.49	6.73
11	5.14	5.10	5.04	5.60	5.69	5.40	7.52	5.76	5.93
12	5.39	5.37	5.24	5.70	5.69	5.48	7.10	5.92	6.20
13	5.30	4.97	4.96	5.32	5.45	5.13	7.40	6.03	6.12
14	6.07	5.41	5.48	5.73	5.13	5.24	6.39	5.45	5.68
15	5.69	5.15	5.20	6.18	5.65	5.73	7.00	5.25	5.93
16	4.60	4.68	4.65	5.30	5.37	5.22	6.87	5.54	6.14
17	4.88	4.96	4.73	5.78	5.66	5.60	6.82	6.09	7.32
18	5.05	4.90	4.87	6.56	6.41	6.54	6.37	5.87	7.02
19	5.94	5.75	5.76	5.96	5.94	5.92	6.91	6.11	7.95
20	5.62	5.45	5.45	5.70	5.78	5.82	7.55	6.49	9.18
21	5.71	5.66	5.62	5.28	5.30	5.45	7.00	7.32	10.60
22	6.29	5.82	5.86	5.33	5.50	5.38	6.79	7.29	11.82
23	5.53	5.06	5.10	5.51	5.80	5.40	7.14	7.63	13.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
24	5.50	5.23	5.33	6.34	6.54	6.39	7.76	6.84	11.96
25	6.25	5.80	6.01	6.30	6.51	6.33	7.18	6.51	10.48
26	5.96	6.01	5.98	6.14	5.99	5.98	6.52	6.33	9.55
27	5.60	5.64	5.63	5.89	5.76	5.76	6.07	5.85	8.15
28	6.39	6.24	6.18	5.87	5.84	5.81	6.39	5.25	7.42
29	6.19	5.94	5.78	6.11	6.24	6.18	5.80	5.36	6.72
30	5.94	6.21	5.84	5.84	6.13	5.65	6.33	5.40	6.07
31	5.67	5.63	5.47	6.36	6.58	6.19	6.45	6.12	6.14
32	5.67	5.32	5.31	6.29	5.93	5.82	6.10	5.84	5.48
33	6.16	5.89	5.85	6.60	6.18	6.10	6.15	5.70	5.47
34	5.45	5.41	5.43	6.36	6.43	6.17	6.21	5.37	5.96
35	6.52	6.40	6.42	5.59	5.64	5.58	6.12	5.20	5.89
36	6.75	6.67	6.64	5.44	5.43	5.46	6.68	5.24	5.51
37	5.75	5.72	5.68	5.77	5.76	5.71	6.50	5.41	5.74
38	5.79	5.48	5.45	6.56	6.62	6.30	6.27	5.30	5.69
39	5.65	5.06	5.17	6.49	6.44	6.25	7.17	5.63	6.00
40	5.66	5.56	5.70	6.85	6.18	6.00	6.77	4.82	5.00
41	5.74	5.62	5.70	6.20	5.67	5.69	6.98	5.25	5.51
42	5.75	5.75	5.73	5.82	5.61	5.65	6.36	5.65	5.91
43	5.89	5.97	5.88	5.76	5.62	5.78	6.39	5.80	6.25
44	5.77	5.70	5.92	6.12	5.65	5.69	6.70	5.39	5.88
45	5.38	5.33	5.49	6.80	6.19	6.22	7.02	5.10	5.56
46	5.73	5.51	5.52	7.10	5.87	5.87	7.07	5.50	6.31
47	5.70	5.46	5.51	6.93	5.70	5.79	7.55	5.96	6.54
48	5.80	5.55	5.73	6.69	6.01	5.91	7.57	5.84	6.27
49	6.81	6.68	6.65	7.04	6.42	6.33	7.40	5.61	6.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
50	5.67	5.67	5.62	6.37	6.22	6.17	6.94	5.15	6.06
51	4.95	5.14	5.01	6.67	6.30	6.31	7.31	5.48	6.47
52	5.11	4.94	4.98	6.78	5.91	6.11	6.71	5.82	5.92
53	5.78	5.70	5.71	6.20	5.49	5.71	7.05	5.64	5.66
54	6.05	5.91	5.87	6.35	5.82	5.82	6.20	5.78	6.05
55	5.16	5.12	5.08	6.71	6.30	6.15	6.64	5.84	5.94
56	5.26	4.62	4.61	6.66	5.84	5.89	7.40	5.72	5.88
57	5.60	5.12	5.22	7.15	6.31	6.36	7.32	5.68	6.22
58	5.86	5.46	5.44	7.49	6.20	6.27	7.64	5.85	6.80
59	6.02	5.61	5.48	7.76	6.50	6.53	8.29	6.11	6.64
60	6.37	6.01	6.13	6.53	5.25	5.24	7.23	5.87	6.46
61	6.67	6.01	6.29	6.79	5.75	5.75	7.02	6.31	6.92
62	6.91	6.18	6.36	6.38	5.58	5.62	7.57	6.19	6.71
63	6.96	6.30	6.29	6.47	5.57	5.56	8.57	6.00	6.61
64	6.67	6.14	5.97	6.53	5.61	5.90	8.37	6.47	6.73
65	6.47	5.96	5.79	6.93	5.92	5.95	7.26	7.01	7.61
66	6.67	6.11	5.98	7.07	6.20	6.03	7.85	6.58	6.82
67	6.30	5.56	5.47	7.28	5.93	5.81	8.74	7.10	6.46
68	5.90	5.52	5.42	7.50	6.13	6.28	6.90	6.77	7.14
69	6.11	5.81	5.87	6.53	4.95	5.41	6.80	6.96	7.47
70	6.14	5.84	5.84	6.17	5.59	5.78	6.62	7.17	7.36
71	6.76	6.27	6.02	7.15	6.50	6.55	6.42	8.06	7.88
72	6.70	6.02	5.97	7.51	6.57	6.74	6.08	7.71	7.39
73	6.66	6.15	6.45	7.21	6.08	6.40	6.75	8.17	6.65
74	6.03	5.50	5.60	6.46	5.52	5.51	6.65	8.74	4.99
75	6.32	5.77	5.81	7.01	5.51	5.33	6.43	9.62	3.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
76	6.73	6.39	6.57	6.94	5.76	5.74	6.26	8.84	2.16
77	6.48	6.38	6.47	6.12	5.20	5.11	6.56	9.57	2.05
78	6.20	6.06	6.10	6.39	5.19	5.04	7.18	9.14	1.26
79	6.94	6.52	6.56	7.17	6.02	5.83	7.44	8.38	0.66
80	6.94	6.37	6.34	6.73	6.17	6.28	7.70	7.02	1.51
81	6.63	6.29	6.13	6.68	6.37	6.46	7.53	4.37	1.60
82	6.81	6.28	6.18	7.20	6.51	6.52	7.24	2.02	1.61
83	7.00	6.28	6.30	7.13	6.31	6.29	7.12	1.93	0.73
84	7.28	6.27	6.19	7.66	6.79	6.79	7.74	2.26	0.00
85	7.73	6.67	6.64	8.48	7.29	7.17	6.53	2.76	0.10
86	7.51	7.02	7.20	8.07	6.77	6.94	6.00	2.50	0.00
87	6.39	5.73	5.79	8.24	7.05	7.39	6.21	2.91	0.00
88	6.64	5.50	5.48	7.73	5.95	6.45	6.59	2.98	0.00
89	7.14	5.92	6.16	7.20	6.12	6.32	5.99	3.21	0.00
90	7.19	6.31	6.31	7.33	7.10	6.94	5.71	3.11	0.00
91	6.07	5.61	5.58	7.76	7.10	6.80	6.44	3.21	0.00
92	6.85	6.71	6.40	8.20	7.56	7.30	6.89	3.23	0.00
93	7.38	6.49	6.56	7.78	7.20	6.96	6.41	3.43	0.00
94	7.34	6.00	6.17	8.19	6.74	6.89	6.84	3.56	0.00
95	6.92	5.94	6.08	8.93	7.22	7.51	6.47	3.18	0.10
96	6.94	6.04	6.02	9.57	7.58	7.75	7.06	3.04	0.00
97	6.62	6.08	6.20	9.95	7.47	7.52	6.45	2.58	0.08
98	7.82	6.91	7.35	9.25	7.13	6.92	7.42	1.60	0.48
99	7.39	6.86	7.09	8.90	7.45	7.47	7.67	2.41	0.77
100	7.71	7.04	7.24	8.39	7.20	7.32	7.42	4.35	0.87
101	6.91	6.10	6.28	8.42	6.84	6.85	6.85	7.06	0.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
102	7.17	6.04	6.04	8.88	7.34	7.62	6.43	7.48	0.28
103	6.45	5.84	6.07	9.08	7.33	7.58	7.28	7.85	1.14
104	6.53	6.22	6.21	10.36	6.78	6.57	8.91	8.22	0.60
105	6.92	6.06	6.22	10.94	7.35	6.94	8.26	8.38	0.00
106	7.30	5.79	6.10	9.60	6.67	6.75	7.48	8.14	0.09
107	7.71	6.66	6.58	8.90	6.74	6.60	7.49	7.48	0.00
108	8.16	7.29	7.23	8.45	6.94	6.75	7.88	7.46	0.00
109	8.39	7.73	7.83	8.30	7.06	6.56	7.95	7.88	0.00
110	7.98	6.92	7.29	8.60	7.38	6.91	7.82	8.18	0.05
111	8.48	7.09	7.25	8.92	8.53	7.82	7.70	8.91	0.05
112	9.71	7.49	7.78	8.81	8.87	8.36	8.09	8.35	0.08
113	9.95	7.74	8.11	8.31	8.36	7.84	7.50	8.09	0.15
114	9.26	8.02	7.95	8.83	8.45	7.82	8.39	8.01	0.10
115	8.29	7.28	7.49	9.49	9.14	8.51	8.04	7.39	0.15
116	9.08	7.74	7.93	8.97	8.44	8.24	9.16	7.27	0.00
117	9.84	7.95	8.23	8.68	8.68	8.72	8.51	8.10	0.22
118	8.94	6.90	7.38	8.73	8.33	8.14	7.97	8.18	0.30
119	9.25	7.30	7.71	8.85	8.61	8.33	7.27	7.51	0.00
120	9.64	7.75	8.14	7.64	7.91	7.40	8.62	7.75	0.03
121	9.90	8.32	8.57	8.25	8.43	7.89	8.86	7.97	0.21
122	9.01	8.11	8.53	9.09	8.98	8.86	8.02	7.48	0.21
123	8.76	7.58	8.01	9.71	9.64	9.71	7.97	8.04	0.13
124	8.88	7.63	8.11	9.58	8.99	8.95	8.23	7.15	0.00
125	9.70	8.54	8.85	9.86	9.61	9.21	7.87	7.36	0.10
126	9.40	8.34	8.57	9.71	9.47	9.21	7.32	7.65	0.00
127	9.43	8.91	8.90	9.23	8.68	8.65	7.84	7.48	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
128	9.30	8.04	7.88	9.57	9.07	8.87	8.51	7.41	0.00
129	10.48	8.60	8.57	8.97	8.58	8.75	8.33	7.33	0.13
130	8.94	8.34	8.50	9.16	8.68	8.62	9.29	6.98	0.12
131	8.87	8.31	8.85	9.56	8.85	8.26	10.14	6.92	0.08
132	9.39	8.89	9.30	10.50	9.13	8.41	11.02	7.03	0.06
133	9.51	9.19	8.96	10.76	9.41	8.59	10.99	7.34	0.06
134	9.82	9.57	9.59	9.79	8.79	8.30	9.90	6.69	0.05
135	9.08	8.33	8.55	9.76	9.37	8.85	8.39	7.24	0.16
136	9.14	8.82	8.17	9.78	9.59	9.22	8.50	7.84	0.36
137	8.88	8.75	8.19	10.28	10.08	9.24	8.02	7.86	0.04
138	8.67	8.72	8.75	9.47	9.27	8.67	8.69	7.60	0.21
139	9.56	9.32	9.16	10.06	9.58	8.88	8.76	7.54	0.09
140	9.36	8.96	8.52	10.09	9.00	8.35	8.45	6.82	0.23
141	9.00	8.92	8.53	10.75	9.91	8.31	7.68	6.80	0.32
142	9.89	9.62	9.29	10.62	10.22	8.70	8.18	6.13	0.31
143	9.46	8.99	8.72	11.24	10.66	9.11	8.55	6.70	0.63
144	9.55	9.26	8.80	11.94	10.76	9.16	8.00	6.44	0.28
145	10.08	10.05	9.52	12.08	10.86	9.14	7.74	6.29	0.25
146	10.22	9.95	9.33	10.62	10.00	8.60	7.22	6.54	0.14
147	10.20	9.77	8.38	10.32	9.29	7.41	7.26	6.55	0.03
148	9.88	9.53	8.35	11.17	9.57	8.13	6.10	7.02	0.13
149	10.99	10.70	9.08	11.47	9.71	8.06	5.97	7.07	0.21
150	10.18	9.74	8.40	11.22	10.19	8.39	6.39	7.36	0.75
151	10.56	10.29	8.77	11.65	11.08	8.61	6.34	8.00	0.85
152	10.40	9.96	8.85	11.41	11.23	8.15	6.74	7.49	0.15
153	10.84	10.47	8.58	11.02	10.66	8.06	6.62	6.68	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
154	10.20	9.95	7.86	11.38	9.52	7.75	6.50	7.21	0.05
155	9.86	9.57	7.32	12.16	10.19	7.24	6.73	7.10	0.00
156	9.89	9.83	8.16	11.07	9.74	7.26	5.84	6.98	0.00
157	10.50	10.66	8.85	10.55	9.42	7.32	5.64	7.15	0.06
158	10.26	10.07	7.28	10.76	9.10	6.99	6.24	7.47	0.00
159	9.76	9.55	6.81	11.44	9.77	6.65	6.37	7.93	0.13
160	9.28	9.15	7.07	11.24	10.11	6.93	6.57	8.17	0.03
161	10.65	10.42	8.05	10.97	9.88	6.82	6.55	9.02	0.53
162	11.46	11.25	8.06	11.33	10.62	7.35	6.12	7.30	0.10
163	10.60	10.75	7.88	11.15	10.24	6.53	6.11	7.64	0.00
164	10.70	10.75	7.69	11.25	10.60	7.30	6.91	8.26	0.10
165	10.47	10.25	7.09	9.73	9.21	6.57	6.25	8.86	0.12
166	10.04	10.08	6.20	9.54	9.03	6.88	5.63	9.88	0.17
167	10.10	10.29	7.52	10.11	9.44	6.45	5.32	9.88	0.69
168	10.16	10.43	7.15	10.03	9.70	6.70	5.54	8.55	0.42
169	9.52	9.87	6.58	10.97	9.85	6.52	5.02	8.77	0.41
170	9.77	10.18	7.02	11.58	10.07	6.73	6.07	9.47	0.15
171	9.00	9.17	6.68	11.49	10.23	6.81	6.02	9.30	0.05
172	9.22	9.85	6.87	11.05	9.70	6.78	4.87	8.71	0.08
173	10.64	11.72	8.53	10.12	8.93	6.50	4.47	10.24	0.10
174	9.96	10.92	7.68	10.64	9.47	6.74	4.68	10.84	0.43
175	9.53	10.65	7.34	10.40	9.72	7.18	4.24	10.99	1.31
176	9.31	10.85	6.81	10.12	9.01	6.19	4.52	10.77	0.59
177	10.05	10.90	7.35	9.64	8.10	5.51	4.52	10.20	0.60
178	9.35	10.39	6.49	9.13	7.93	5.53	4.51	9.66	0.87
179	8.67	10.33	6.11	10.04	8.68	6.47	4.79	10.24	1.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
180	8.50	9.81	6.18	9.72	8.77	6.81	6.16	10.83	0.76
181	9.06	9.55	6.92	9.70	8.54	6.32	5.82	11.66	1.39
182	8.29	11.28	7.07	9.79	8.56	6.45	4.36	10.45	1.03
183	8.83	11.96	7.56	10.16	9.28	7.85	4.45	9.30	0.93
184	7.83	10.21	6.47	10.63	9.46	7.27	4.50	8.37	1.01
185	8.47	9.37	6.13	10.57	9.00	6.76	4.36	8.73	1.02
186	8.49	10.04	6.08	10.13	8.62	5.98	3.41	8.94	2.02
187	9.06	10.81	6.77	10.87	9.27	6.61	3.77	8.41	2.58
188	8.76	10.57	6.77	10.16	9.18	6.26	4.03	7.96	3.37
189	9.77	10.84	7.30	10.47	9.65	7.16	3.32	7.63	4.53
190	9.87	11.14	7.13	10.26	9.42	7.15	3.38	7.34	5.05
191	8.81	10.12	6.34	9.99	9.90	6.78	3.59	7.99	5.24
192	9.50	10.29	6.41	9.09	9.48	6.41	4.09	8.54	4.29
193	9.98	10.72	6.59	9.00	9.77	6.27	4.66	7.89	5.21
194	10.13	10.05	6.31	8.69	8.73	5.54	3.94	8.59	5.02
195	10.84	11.01	6.89	9.77	9.29	6.37	4.60	8.91	5.84
196	10.86	10.13	6.05	9.46	9.51	5.87	3.26	8.58	6.35
197	11.77	10.44	6.78	9.02	9.20	5.91	3.40	7.68	7.68
198	10.84	10.65	6.59	9.12	9.61	5.80	2.87	7.48	7.09
199	10.55	10.75	6.72	8.68	9.43	6.17	3.30	7.79	7.35
200	10.37	11.93	6.95	8.50	9.03	6.00	2.51	7.26	7.16
201	10.93	12.64	6.43	9.74	10.41	6.99	3.00	6.23	7.51
202	10.76	14.29	7.59	11.18	11.34	8.11	2.82	5.94	6.19
203	12.04	14.47	7.58	11.56	12.01	8.87	3.08	5.35	5.97
204	11.57	14.07	6.30	11.69	12.62	8.97	3.03	4.37	4.23
205	12.01	14.95	6.78	12.54	12.25	8.64	3.42	4.06	3.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
206	13.24	14.26	7.15	14.16	12.31	8.77	2.82	3.79	3.43
207	13.52	13.62	7.60	14.89	13.53	10.17	2.95	3.12	3.46
208	14.26	12.77	7.50	17.20	12.49	9.50	3.18	2.71	2.84
209	16.54	10.70	7.44	19.50	11.62	9.75	3.51	2.56	3.20
210	18.90	8.93	7.63	19.93	12.23	8.10	3.00	2.45	2.75
211	19.23	10.40	7.48	20.59	12.77	8.32	3.02	2.44	2.64
212	19.13	9.40	7.27	21.33	13.85	7.10	2.75	2.18	3.27
213	22.10	9.50	8.47	20.82	14.20	6.33	3.05	2.28	2.89
214	21.79	9.07	7.88	14.93	13.01	4.79	3.68	2.28	3.56
215	21.67	10.09	8.76	11.56	11.33	4.61	3.99	2.70	3.60
216	22.10	9.54	7.97	7.79	9.81	3.92	3.35	2.80	3.61
217	22.33	12.00	8.00	5.69	8.22	3.76	3.76	2.38	3.95
218	18.94	12.11	8.36	4.31	6.81	2.72	3.72	2.27	3.99
219	20.01	11.19	7.51	3.42	6.13	2.62	4.80	2.12	3.79
220	23.06	10.85	6.68	3.45	6.83	2.86	5.05	2.37	4.18
221	24.79	12.71	8.25	3.14	6.64	2.87	6.02	2.06	4.58
222	23.30	12.55	7.65	3.12	6.37	2.87	6.11	2.21	4.28
223	20.56	11.88	6.82	3.03	6.68	2.87	6.92	2.15	3.96
224	13.78	10.34	4.88	3.09	6.24	3.26	7.32	2.12	4.63
225	9.08	8.99	3.56	3.55	6.35	3.55	7.63	2.07	4.40
226	6.29	7.74	2.74	2.92	6.66	3.25	8.01	1.89	4.27
227	4.55	6.78	2.68	2.53	6.39	2.91	8.85	1.96	4.54
228	3.95	6.81	2.99	2.79	7.38	3.21	9.92	1.92	4.40
229	2.92	6.28	2.62	2.72	7.13	3.10	10.84	1.68	5.23
230	2.92	5.35	3.23	2.36	6.31	2.64	11.58	1.80	5.79
231	3.10	5.63	3.63	2.53	5.96	2.84	13.08	2.08	4.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
232	3.02	5.28	3.10	2.88	6.14	3.31	15.04	1.93	4.91
233	3.35	5.93	3.54	3.05	6.26	3.37	15.95	1.67	5.47
234	2.97	5.51	3.34	3.20	6.75	3.59	16.59	1.81	5.44
235	2.51	5.15	2.83	3.16	6.28	3.93	17.65	1.79	5.37
236	3.03	5.59	3.67	3.34	7.14	3.62	18.56	1.76	6.08
237	2.93	5.28	3.31	3.34	7.20	3.51	18.63	2.08	5.66
238	3.00	5.54	3.52	3.51	7.12	3.67	17.85	2.10	5.69
239	2.95	4.97	3.52	2.91	6.64	3.32	16.81	1.97	6.32
240	3.14	5.20	3.29	3.20	6.78	3.73	13.37	2.09	5.65
241	3.07	5.24	3.25	3.35	7.12	3.94	12.96	1.93	5.85
242	2.49	5.20	2.62	3.48	7.12	3.85	13.48	2.07	6.78
243	2.73	5.63	2.82	3.39	6.55	3.69	14.73	2.14	6.40
244	3.10	5.27	3.39	3.74	7.06	4.12	18.26	2.34	6.57
245	2.98	5.23	3.39	3.58	6.68	4.04	18.56	2.06	7.20
246	3.69	5.70	3.80	4.00	6.87	4.22	16.78	2.11	6.83
247	3.16	4.51	3.25	3.64	6.41	3.83	15.25	1.92	7.18
248	3.29	4.90	3.60	3.88	6.66	4.19	12.63	1.92	7.49
249	3.82	5.49	4.40	4.32	7.22	4.70	11.58	2.10	7.11
250	4.41	5.99	4.48	3.73	7.65	3.96	8.24	2.40	7.00
251	3.83	5.03	3.95	4.55	7.40	4.71	4.72	2.36	7.91
252	4.07	4.97	3.99	4.48	7.48	4.76	3.23	2.30	7.65
253	4.13	5.81	4.30	4.62	7.48	4.91	2.84	2.14	7.89
254	4.06	6.02	4.22	4.45	7.58	4.75	2.59	2.41	7.58
255	4.16	5.33	4.42	4.53	6.76	4.81	2.37	2.61	7.10
256	3.83	5.15	4.02	4.58	7.42	4.77	2.19	2.31	8.08
257	4.21	5.48	4.60	3.91	7.62	4.28	2.20	2.35	7.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
258	4.01	5.79	4.23	3.68	7.42	4.03	1.63	2.28	9.16
259	3.84	6.26	4.18	2.90	7.41	3.14	1.62	2.13	8.71
260	3.42	5.58	3.63	2.28	7.12	2.74	1.11	2.56	9.05
261	3.31	6.46	3.73	2.45	7.36	3.10	1.21	2.80	9.43
262	3.46	7.37	4.03	2.76	8.96	3.68	1.24	2.83	9.50
263	2.83	6.73	3.36	3.06	8.78	3.57	1.34	2.93	9.19
264	2.56	8.13	2.90	3.46	12.30	4.43	1.11	2.65	9.46
265	2.05	8.37	2.47	4.91	15.08	5.39	1.13	2.85	8.38
266	2.46	10.08	2.78	6.50	11.64	7.23	1.29	2.82	8.18
267	3.08	10.52	3.19	6.79	8.44	6.90	1.32	2.65	7.22
268	4.68	13.18	5.17	6.31	6.03	6.34	1.33	3.14	6.77
269	5.63	14.65	6.03	5.63	6.24	5.75	1.28	3.20	6.85
270	10.32	21.45	10.59	5.48	7.56	5.65	1.62	3.02	5.94
271	9.68	17.78	9.63	4.76	6.21	5.05	1.59	3.01	5.80
272	6.19	7.33	6.44	3.92	7.48	4.31	1.43	3.07	5.81
273	9.14	11.64	9.40	4.04	8.41	4.50	1.39	2.80	6.04
274	10.04	12.63	10.50	3.95	7.79	4.53	1.42	2.43	6.13
275	6.98	9.59	7.30	2.70	7.55	3.71	1.56	2.42	6.15
276	4.32	5.44	4.49	1.83	8.24	2.41	1.38	3.19	5.52
277	4.51	4.97	4.54	1.73	9.56	2.20	1.65	3.02	5.32
278	4.32	4.69	4.71	1.43	8.92	2.12	1.04	2.76	5.31
279	4.38	5.19	4.50	1.78	7.91	2.12	0.79	2.75	5.07
280	4.33	5.20	4.61	1.92	7.29	2.54	0.62	2.60	4.85
281	4.94	5.72	5.07	2.52	7.29	3.24	1.52	2.38	4.68
282	6.51	7.66	6.15	2.93	6.60	3.81	2.46	2.48	3.73
283	5.65	8.57	5.79	2.86	6.59	3.64	2.07	2.46	3.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
284	7.27	12.92	7.44	3.35	5.95	4.57	2.13	2.32	2.97
285	6.78	12.00	7.10	3.01	5.97	4.41	2.27	2.67	3.17
286	4.86	11.00	5.57	2.76	6.44	4.14	2.06	2.26	2.38
287	3.75	10.68	4.63	2.73	6.20	3.98	1.99	2.29	2.57
288	3.15	7.96	4.13	3.46	7.13	5.27	1.80	2.13	2.61
289	2.60	8.21	4.34	3.16	7.88	5.03	1.94	2.06	2.45
290	2.81	7.38	4.16	3.39	7.60	5.22	2.68	2.06	2.54
291	2.42	6.92	4.10	3.25	6.51	4.96	1.97	1.90	2.37
292	2.85	6.79	4.51	2.89	6.36	5.05	2.51	1.76	2.13
293	2.84	7.19	4.63	2.18	6.17	4.47	2.60	1.91	2.11
294	3.35	6.92	6.10	2.45	6.57	4.56	3.10	1.82	2.49
295	3.14	6.02	5.64	2.30	6.40	4.38	3.31	1.84	2.79
296	3.06	5.92	5.80	2.48	6.56	5.04	2.55	2.13	2.15
297	2.48	5.29	5.20	2.73	6.94	5.48	2.63	2.74	2.24
298	2.80	5.69	5.72	3.16	7.87	6.29	2.58	2.54	2.71
299	3.54	6.11	5.98	2.74	7.59	5.62	2.35	3.87	1.93
300	3.10	5.75	6.07	2.24	6.74	5.06	2.63	4.73	2.72
301	3.04	5.67	5.93	2.40	6.57	5.51	2.02	6.42	4.03
302	3.17	6.20	6.63	2.66	7.75	5.93	2.09	6.60	5.16
303	2.49	5.51	5.60	2.98	7.17	6.10	0.91	5.35	4.82
304	2.93	6.03	6.33	2.85	7.64	6.07	1.38	4.22	2.85
305	3.47	6.00	6.75	2.67	7.51	5.48	0.50	3.22	3.04
306	2.67	5.62	5.89	3.22	7.65	6.26	0.81	2.05	2.67
307	2.21	5.25	5.34	3.46	7.49	6.50	0.59	1.55	2.09
308	2.34	5.30	5.71	3.74	7.64	6.66	0.95	1.50	2.31
309	2.48	5.63	6.29	3.63	7.64	6.60	0.92	1.13	2.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
310	2.39	5.93	6.24	3.52	7.54	7.18	0.85	1.66	2.59
311	2.53	5.25	5.58	4.30	7.52	8.19	0.86	2.04	2.71
312	3.31	6.44	6.87	3.80	7.62	7.17	0.91	4.22	3.42
313	2.94	5.60	6.29	4.07	8.34	6.53	0.82	4.00	2.54
314	2.93	5.47	6.07	4.29	8.10	7.56	1.04	4.24	2.96
315	2.90	5.52	6.17	4.41	8.60	8.54	1.46	3.58	2.31
316	3.05	6.34	7.77	5.03	9.42	8.81	0.93	2.73	2.43
317	3.84	6.61	8.01	4.40	8.30	8.64	0.71	2.20	1.60
318	3.99	6.40	6.79	4.35	8.85	9.80	0.70	2.24	1.83
319	3.94	6.37	7.12	5.00	8.73	9.09	1.01	2.13	1.70
320	3.97	6.88	8.03	4.94	8.57	10.38	0.88	2.00	1.88
321	3.80	6.64	7.59	5.12	7.81	10.58	0.98	2.09	1.85
322	4.46	6.88	8.26	4.27	7.53	9.97	1.23	2.09	2.04
323	4.11	6.28	8.00	4.51	8.38	9.68	1.25	1.96	1.81
324	3.90	6.34	8.16	4.31	8.66	10.05	1.49	1.93	1.88
325	4.19	6.47	8.53	4.25	7.77	8.62	1.15	1.96	1.90
326	4.61	6.79	8.83	3.86	7.39	8.09	1.40	2.00	2.28
327	4.28	6.40	9.21	4.27	8.16	9.04	1.59	1.95	1.88
328	4.10	6.16	9.39	4.08	8.80	9.66	1.53	1.97	2.00
329	4.27	6.33	9.91	4.79	8.76	10.48	1.70	1.76	1.78
330	4.67	7.06	10.77	4.45	9.19	10.32	2.07	1.75	1.75
331	4.60	6.46	9.94	4.69	8.64	10.49	2.20	1.77	1.67
332	4.45	6.41	9.63	4.24	7.38	9.51	1.97	1.88	1.47
333	4.53	6.37	9.44	4.54	8.14	9.74	2.07	1.76	1.43
334	4.55	7.16	9.10	4.33	7.68	8.89	1.91	1.67	1.05
335	5.08	7.12	10.50	4.27	7.28	9.19	1.98	1.91	0.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
336	4.19	6.33	9.50	4.20	7.60	9.58	2.05	1.73	0.92
337	4.88	7.03	10.64	4.56	7.69	8.76	2.04	1.64	0.76
338	4.21	6.52	12.23	3.98	7.42	8.70	1.54	1.84	1.19
339	4.88	6.98	12.69	3.72	7.40	8.44	1.74	1.81	0.98
340	4.66	6.47	12.74	4.40	7.91	10.05	1.81	1.63	1.21
341	4.09	6.21	13.04	3.72	7.40	8.54	1.81	1.81	1.15
342	4.15	6.17	12.72	3.90	7.66	8.31	1.62	1.86	1.09
343	3.99	5.53	11.97	4.10	7.77	8.48	1.87	1.88	0.88
344	3.78	6.15	12.81	4.07	7.64	9.02	1.50	2.02	0.86
345	4.42	5.95	13.03	4.33	8.79	9.16	1.56	1.61	0.75
346	4.46	6.63	12.66	4.08	8.03	8.78	1.36	2.08	1.07
347	4.24	6.29	12.24	4.05	7.06	7.48	1.55	2.00	0.91
348	3.87	6.32	13.02	3.75	6.96	6.83	1.32	2.12	1.11
349	4.02	5.96	12.97	3.94	7.93	6.22	1.48	1.99	0.97
350	4.18	6.23	12.76	3.94	7.62	6.38	1.38	2.03	1.00
351	3.57	5.57	12.21	4.26	7.50	6.91	1.49	2.11	0.89
352	3.28	5.60	11.01	4.07	7.32	6.99	1.88	2.38	0.80
353	4.12	6.49	9.93	4.56	7.96	7.13	2.01	2.77	1.14
354	3.63	5.88	10.03	4.23	7.20	7.24	1.82	4.60	2.59
355	3.60	5.51	10.03	4.28	6.99	7.25	1.90	6.70	3.92
356	3.70	5.94	9.92	4.24	7.80	6.44	2.15	6.77	3.72
357	4.12	6.18	9.09	4.18	7.65	7.13	1.80	8.54	4.13
358	4.17	5.81	7.53	4.02	7.08	6.51	1.65	8.32	4.69
359	4.06	5.46	7.22	4.10	6.75	7.23	1.66	9.58	4.99
360	4.11	5.75	7.06	4.58	7.10	7.38	1.89	8.05	5.48
361	4.03	5.63	7.48	4.41	6.79	7.24	1.91	7.61	4.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
362	4.10	6.35	8.21	4.29	6.58	7.46	1.67	6.25	4.65
363	3.91	5.42	7.61	4.35	6.54	7.67	1.81	5.84	3.82
364	3.99	5.62	7.54	4.04	6.73	6.97	2.34	5.37	3.72
365	3.78	5.49	7.89	3.69	7.06	7.47	1.94	5.99	3.37
366	4.30	5.88	8.83	4.29	6.32	7.02	1.79	4.92	4.41
367	4.16	5.38	8.41	4.47	6.51	7.38	1.35	4.57	4.60
368	4.36	6.10	7.22	4.64	6.66	7.66	1.38	4.34	4.46
369	3.93	5.56	7.55	4.59	6.49	7.98	1.49	3.88	4.15
370	4.05	5.48	7.40	4.19	6.48	8.08	1.63	4.19	4.00
371	3.78	5.56	6.84	4.95	7.21	8.64	1.50	3.93	3.81
372	4.18	6.41	6.61	5.09	7.02	8.53	1.67	4.38	3.34
373	4.61	6.39	6.50	5.31	7.58	9.40	1.50	4.65	3.39
374	4.66	6.83	7.09	4.53	7.33	8.71	1.62	5.39	3.25
375	4.43	6.81	7.11	4.53	7.55	9.12	1.55	5.45	3.22
376	4.05	6.87	6.08	4.63	7.24	9.22	1.62	4.81	2.66
377	4.13	7.08	6.46	4.94	8.07	10.19	1.58	5.43	3.00
378	4.63	7.59	7.66	5.48	8.32	10.52	1.61	5.89	3.01
379	4.00	6.95	6.59	5.45	8.84	10.98	1.69	5.69	2.89
380	4.71	7.09	7.63	6.76	10.40	11.85	1.92	6.45	3.44
381	4.14	6.81	7.57	6.44	9.54	10.16	1.81	7.02	3.17
382	4.87	7.61	7.59	5.80	9.16	10.46	1.66	7.06	3.57
383	4.48	7.70	7.14	5.29	8.62	10.99	1.68	6.58	3.11
384	4.52	9.17	8.50	5.86	8.85	10.52	1.75	6.14	3.58
385	4.98	8.92	9.08	6.01	9.22	9.67	1.68	6.04	3.30
386	4.71	7.96	8.85	6.17	10.82	10.79	2.21	6.36	3.47
387	5.11	8.73	9.53	6.36	11.36	10.30	2.12	6.58	3.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
388	5.06	10.31	9.48	6.44	10.73	11.51	1.90	6.32	4.19
389	5.98	10.27	9.69	6.74	11.76	13.28	1.81	6.16	4.08
390	6.94	11.97	10.91	6.19	11.00	10.81	2.19	6.46	3.89
391	5.68	10.80	9.28	5.93	10.42	10.34	1.90	6.42	3.76
392	5.79	11.31	9.15	5.77	11.17	11.41	1.95	6.35	4.16
393	5.62	10.16	9.41	6.94	11.44	11.51	1.40	5.87	3.94
394	6.56	12.14	11.08	5.28	10.22	10.67	1.57	6.20	4.00
395	5.47	12.45	8.50	5.69	10.45	11.09	1.52	6.28	3.85
396	5.54	13.17	10.48	6.43	9.60	9.50	2.09	7.09	4.61
397	5.99	12.59	9.62	5.97	9.00	8.84	1.66	7.17	4.48
398	5.95	10.84	9.17	5.18	8.14	8.91	2.23	7.71	5.06
399	6.03	11.94	9.36	6.59	8.98	10.04	2.49	8.04	4.60
400	5.68	10.58	9.22	7.00	9.93	10.69	2.72	7.55	5.24
401	6.35	11.41	9.80	7.73	10.04	10.23	2.71	7.12	4.72
402	4.92	13.22	9.50	7.85	9.65	10.37	2.48	7.12	5.12
403	5.88	13.44	9.38	8.57	10.10	11.17	2.85	6.31	4.46
404	5.29	12.66	8.42	8.52	10.00	10.42	2.80	6.36	5.08
405	5.53	13.66	8.74	9.19	10.18	10.14	2.75	6.61	5.15
406	5.70	11.56	9.30	9.23	10.71	10.42	2.52	6.66	5.22
407	5.60	11.78	8.80	8.90	9.99	9.39	2.61	6.47	4.82
408	5.93	12.39	9.17	8.67	8.80	9.15	2.57	7.51	6.02
409	7.07	12.23	9.87	9.33	9.62	9.91	3.11	6.93	5.58
410	7.77	13.04	10.83	9.78	10.19	10.41	2.92	6.56	5.56
411	7.25	12.55	9.67	8.96	9.40	9.58	3.20	6.79	5.57
412	7.76	11.96	10.09	9.81	10.39	10.08	3.27	7.22	5.47
413	7.88	10.74	10.21	9.95	10.57	10.31	3.42	7.56	5.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
414	8.63	10.36	9.98	10.12	10.07	10.31	3.61	7.06	5.65
415	7.95	10.32	8.83	10.53	10.19	10.57	4.09	7.20	5.46
416	8.61	10.02	9.58	10.30	10.27	10.53	5.28	8.99	6.47
417	8.81	9.79	9.71	9.76	10.01	10.11	6.93	8.93	5.88
418	8.70	9.54	9.46	9.11	9.16	9.43	8.73	9.91	6.99
419	8.47	9.31	9.13	8.15	7.98	8.51	10.48	9.51	6.58
420	8.53	9.69	9.25	8.24	8.29	8.57	11.78	11.59	7.33
421	10.41	10.75	10.32	7.77	8.04	8.01	13.31	11.62	7.22
422	9.11	9.60	9.14	8.05	8.20	8.31	12.94	10.55	7.40
423	8.88	9.69	9.51	8.28	8.27	8.62	11.95	10.32	7.24
424	8.72	9.17	8.93	8.23	8.36	8.91	11.18	9.94	7.98
425	8.70	8.78	8.65	7.86	7.98	8.49	10.40	10.94	8.24
426	8.78	9.22	8.99	8.24	8.43	8.64	10.37	11.72	8.25
427	8.96	10.16	9.27	8.56	8.62	8.79	9.73	11.21	8.15
428	9.97	11.22	9.89	8.46	8.42	8.60	8.85	10.87	8.62
429	9.41	11.35	10.13	7.93	7.96	8.18	8.90	9.53	8.22
430	9.67	11.97	10.81	8.11	8.53	8.90	8.05	9.51	8.29
431	8.66	10.44	9.45	7.82	8.66	9.07	7.74	9.35	7.64
432	10.16	11.18	10.16	7.34	7.84	7.97	7.66	10.61	8.91
433	10.37	11.75	10.48	8.26	8.56	8.64	7.25	10.43	8.35
434	9.99	11.55	11.12	8.57	9.01	9.25	8.02	10.60	9.01
435	9.37	10.32	9.98	8.48	8.93	9.08	7.83	8.90	8.04
436	9.01	10.02	9.71	8.01	8.53	8.63	7.76	7.92	7.57
437	9.01	9.52	9.55	8.02	8.34	8.53	7.47	8.30	7.98
438	8.86	9.38	9.35	7.97	8.45	8.65	7.64	8.78	8.81
439	8.77	9.69	9.41	7.95	8.43	8.50	7.85	8.65	8.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
440	8.46	9.23	9.00	8.01	8.22	8.30	7.55	9.57	9.47
441	9.31	9.96	9.67	8.52	8.74	8.91	7.60	9.91	9.62
442	9.29	10.30	9.84	8.82	9.01	9.09	7.12	9.41	9.06
443	8.74	9.63	9.15	8.44	8.72	8.74	7.68	8.47	8.06
444	8.40	8.75	8.75	7.71	8.50	8.27	7.04	8.85	7.78
445	7.49	8.17	8.09	8.43	9.05	9.03	6.63	9.57	8.45
446	8.14	8.49	8.55	8.49	8.88	9.01	6.80	9.22	8.32
447	8.44	8.70	8.57	8.84	9.27	9.28	7.00	8.60	7.90
448	8.63	9.03	8.88	8.88	8.60	8.71	6.82	8.22	8.05
449	8.51	9.25	8.97	8.28	8.54	8.48	6.62	7.45	6.87
450	9.69	10.11	9.62	9.11	9.26	9.14	7.15	7.81	7.11
451	8.85	9.61	8.99	8.67	7.98	8.20	7.32	7.46	7.02
452	9.12	9.71	9.21	8.57	9.21	9.10	6.28	7.15	7.20
453	8.97	9.41	9.07	8.30	9.12	8.89	6.05	6.74	6.75
454	9.29	9.03	9.25	8.22	9.52	9.17	6.50	6.78	6.68
455	8.91	8.47	8.79	9.88	10.21	9.88	7.22	6.42	6.35
456	9.64	9.39	9.43	9.25	9.04	8.92	7.25	7.07	7.29
457	10.53	10.59	10.52	9.73	9.48	9.53	8.20	6.86	7.04
458	9.49	9.77	9.65	9.41	8.90	9.06	7.21	6.30	6.57
459	9.04	9.49	9.30	9.19	9.13	9.09	6.75	6.07	6.31
460	8.64	9.40	8.97	9.07	8.89	8.94	7.02	6.18	6.81
461	9.27	9.77	9.54	8.64	8.20	8.33	7.82	6.06	6.51
462	9.22	9.51	9.62	8.33	7.81	7.84	7.03	6.87	7.12
463	8.42	8.82	8.67	8.99	8.15	8.33	7.83	6.45	6.70
464	9.57	9.21	9.49	7.95	7.68	7.90	7.51	6.75	7.13
465	8.86	8.44	8.56	7.93	7.81	8.00	7.69	5.96	6.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
466	8.99	9.46	8.99	8.02	7.71	8.10	6.98	6.76	7.40
467	8.67	9.21	8.90	7.58	6.89	7.27	7.89	6.54	6.90
468	9.31	9.37	9.11	7.60	7.26	7.76	8.19	6.81	7.28
469	9.31	9.02	8.88	8.17	7.64	7.87	8.62	6.63	7.31
470	9.16	9.13	9.24	8.23	7.22	8.07	8.53	7.06	7.92
471	9.10	9.55	9.13	8.21	7.05	8.46	8.33	6.76	7.63
472	10.77	10.85	10.70	8.91	7.63	9.47	8.18	6.83	7.34
473	11.09	10.76	11.05	9.18	8.14	9.86	7.95	5.89	6.22
474	9.53	9.62	9.46	9.20	7.77	9.89	7.21	6.48	6.92
475	9.67	9.39	9.40	8.83	6.43	8.78	8.33	6.57	6.87
476	10.14	8.99	9.32	9.81	6.71	9.47	7.83	6.15	6.30
477	10.89	9.72	9.63	9.55	4.88	8.91	7.78	6.17	6.21
478	11.83	11.01	10.59	7.94	5.31	4.92	7.38	7.18	7.33
479	11.48	10.24	9.60	7.99	5.17	2.56	7.30	7.04	7.10
480	10.71	10.34	9.16	6.70	4.34	1.02	8.05	6.81	6.75
481	9.47	10.10	9.16	6.82	4.07	1.35	8.22	6.70	6.47
482	12.18	10.63	9.42	6.08	4.12	1.03	6.98	7.15	7.10
483	15.53	11.08	10.32	5.78	3.80	0.63	6.71	7.11	7.16
484	12.08	11.27	7.21	6.86	4.05	0.52	7.15	7.44	7.40
485	11.30	8.32	6.41	7.32	4.39	0.55	7.59	7.65	7.38
486	13.02	5.62	5.78	7.80	4.24	1.11	7.37	8.00	7.46
487	11.17	4.87	3.71	7.10	3.72	1.35	7.16	7.91	7.31
488	8.53	4.29	1.91	7.57	3.24	3.14	6.46	7.91	7.25
489	7.61	3.74	1.62	7.65	3.56	4.82	7.08	7.45	6.91
490	7.96	3.09	1.18	8.05	3.96	7.00	8.22	7.88	7.54
491	7.91	2.88	0.81	8.22	4.67	8.55	8.90	7.23	6.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
492	7.13	2.88	0.62	8.67	6.38	8.48	8.62	6.55	6.47
493	6.75	3.40	0.09	8.82	7.90	8.14	8.39	6.64	6.69
494	7.47	5.04	0.08	8.62	7.97	8.74	7.15	7.19	6.95
495	7.28	4.93	0.00	9.03	9.10	8.67	6.84	7.57	7.42
496	7.31	4.94	0.10	8.48	9.19	7.38	8.68	7.56	7.55
497	7.63	4.94	0.10	8.67	8.84	7.88	11.45	7.30	7.21
498	8.26	4.07	0.59	8.93	9.07	8.63	10.23	7.49	7.51
499	7.58	3.63	1.60	7.80	8.11	7.63	8.67	6.54	6.63
500	7.95	3.70	3.18	8.70	8.23	8.70	8.56	7.09	7.46
501	9.39	5.61	6.53	8.72	8.45	8.87	8.95	7.66	7.71
502	10.38	7.75	8.58	7.92	7.98	7.96	8.59	7.27	6.95
503	10.97	10.58	9.84	8.88	9.14	8.96	8.29	6.95	6.57
504	10.67	11.05	11.37	8.50	8.54	8.68	7.17	7.66	7.41
505	10.86	11.17	12.68	8.59	8.62	8.86	6.62	7.28	6.75
506	10.99	10.54	13.67	7.34	7.49	8.35	5.73	7.40	6.97
507	11.07	10.85	13.43	7.28	7.33	8.28	5.85	7.72	6.95
508	12.34	11.81	13.17	7.27	7.37	7.52	6.01	7.67	7.06
509	11.02	10.60	11.37	7.29	7.32	7.83	5.55	6.78	6.83
510	9.65	10.01	10.17	7.28	7.21	8.38	4.54	7.28	7.08
511	9.87	10.18	9.87	7.65	7.46	8.54	4.42	7.15	6.71
512	10.29	10.27	9.82	6.98	6.96	8.11	4.15	7.61	7.34
513	10.98	10.73	10.10	7.55	7.76	8.54	4.31	8.15	7.73
514	11.95	11.59	11.31	7.68	7.88	8.39	5.47	7.91	7.43
515	9.75	9.95	9.84	7.66	7.71	8.21	6.55	7.52	7.23
516	9.46	9.83	9.64	8.34	8.40	8.92	7.32	6.77	7.00
517	9.33	9.57	9.50	8.84	8.81	9.57	8.14	6.94	6.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
518	9.11	9.20	9.07	8.63	8.77	9.70	7.33	7.87	7.28
519	8.68	8.61	8.36	8.14	8.49	8.95	8.74	7.11	6.86
520	9.45	9.26	9.20	8.67	8.95	9.18	9.32	8.00	7.31
521	9.59	9.62	9.97	8.18	8.70	8.18	8.55	7.91	7.15
522	9.41	9.28	9.50	7.46	8.07	7.90	7.73	7.79	7.14
523	9.72	9.52	9.68	7.87	8.00	8.71	6.81	7.15	6.83
524	9.54	9.38	9.54	7.60	7.89	8.39	7.77	6.82	6.86
525	10.26	10.29	9.64	7.46	7.98	8.14	6.77	7.22	7.33
526	8.47	8.68	8.69	7.33	7.43	8.47	6.84	7.71	7.44
527	8.35	8.45	9.13	6.60	6.82	8.57	8.47	8.62	7.80
528	8.30	8.32	8.49	6.59	6.58	7.96	6.91	8.07	7.89
529	8.56	8.30	8.60	8.02	7.90	8.92	6.84	7.98	7.64
530	8.65	8.52	9.00	7.26	7.58	8.59	6.33	8.11	7.73
531	8.69	8.59	10.01	6.75	7.05	8.33	6.71	7.93	7.76
532	8.45	8.27	9.80	7.47	7.31	9.15	6.03	7.39	7.17
533	9.23	9.37	10.57	6.95	6.94	8.34	5.73	7.68	7.41
534	8.95	9.07	10.50	7.73	7.77	8.69	6.12	7.86	7.38
535	8.24	8.07	9.88	7.96	7.96	8.54	6.57	7.69	7.07
536	7.99	7.98	9.40	6.76	6.82	7.40	6.44	7.88	7.38
537	8.60	8.57	9.17	6.83	6.72	7.84	6.61	7.82	7.66
538	8.66	8.54	9.21	7.70	7.59	8.54	5.38	7.71	7.73
539	7.95	8.26	9.55	6.84	7.05	7.51	5.74	7.35	7.19
540	7.80	7.70	9.71	7.10	7.83	7.87	6.03	6.35	6.09
541	8.58	8.17	9.76	7.11	7.18	7.90	6.91	7.23	7.03
542	7.50	7.36	9.04	7.26	7.30	8.37	5.85	6.96	7.06
543	7.79	7.46	8.15	7.22	7.72	8.41	6.19	7.44	7.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
544	7.75	7.25	8.28	6.89	7.81	8.25	5.89	7.26	6.96
545	7.80	7.97	8.42	7.22	7.46	8.21	6.12	7.29	7.30
546	8.52	9.11	9.10	7.14	7.50	8.34	6.46	7.47	7.54
547	7.77	7.96	8.14	6.29	7.23	7.80	6.63	7.07	7.19
548	7.59	7.53	7.94	6.74	6.66	6.98	7.22	6.86	7.18
549	7.96	8.02	8.24	6.99	6.87	7.00	7.36	7.33	7.33
550	7.81	7.71	8.60	6.68	7.24	6.76	6.63	7.81	7.59
551	7.58	7.71	8.78	6.81	7.22	6.79	7.09	7.51	7.55
552	8.42	8.11	9.84	7.82	7.36	7.53	7.10	7.15	7.01
553	8.69	8.22	10.42	7.94	7.31	7.86	7.00	7.60	7.27
554	8.22	8.36	11.33	7.80	7.88	7.95	6.74	8.23	8.05
555	7.12	7.27	10.98	7.23	7.57	7.50	7.02	7.33	7.18
556	7.58	7.40	10.78	6.66	6.91	7.09	6.40	7.44	6.90
557	8.47	8.13	11.84	6.92	7.05	7.35	6.18	8.61	8.08
558	7.81	7.59	10.54	6.32	6.48	6.80	5.78	8.07	7.89
559	8.06	7.87	9.89	6.40	6.90	6.87	5.56	7.48	7.73
560	7.98	7.77	9.02	5.88	6.19	6.80	5.98	7.14	6.91
561	7.72	7.56	8.64	6.84	7.46	7.81	5.81	7.36	7.10
562	7.73	7.61	8.71	6.84	7.30	8.12	5.52	6.56	7.44
563	7.38	7.39	7.64	6.78	7.16	7.89	5.86	6.58	7.47
564	6.93	6.84	6.91	6.89	6.92	7.73	6.13	7.24	7.13
565	6.61	6.74	7.00	6.68	6.28	7.61	5.61	7.20	6.91
566	7.03	7.04	6.91	6.64	6.80	7.62	5.74	6.63	6.52
567	6.30	6.38	6.14	5.87	6.66	6.96	6.17	6.26	6.10
568	6.78	6.43	6.88	6.41	6.66	7.16	5.24	7.24	7.11
569	7.31	6.99	7.30	6.73	6.95	7.24	5.40	5.90	6.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
570	6.91	7.00	7.08	6.28	6.40	6.83	5.08	5.94	6.55
571	6.69	6.79	6.95	6.33	6.33	6.96	6.12	6.63	7.39
572	6.72	6.64	6.73	6.12	6.48	7.09	6.36	6.49	6.91
573	6.49	6.48	6.58	6.51	6.78	7.29	5.70	7.71	7.56
574	6.90	6.86	7.05	7.08	7.66	7.57	5.55	7.04	6.84
575	6.32	6.24	6.46	6.61	7.09	7.05	6.16	7.67	7.69
576	6.26	6.20	6.43	6.70	6.79	6.79	5.84	7.19	7.28
577	6.35	6.39	6.41	5.89	6.14	6.15	6.25	7.84	8.16
578	7.05	7.10	7.18	5.72	5.81	5.90	5.88	7.10	7.33
579	7.62	7.36	7.62	5.66	5.84	5.89	6.47	7.56	7.76
580	7.53	7.28	7.27	5.85	6.16	6.11	6.28	7.85	7.59
581	7.18	6.99	6.96	5.69	5.80	5.91	5.64	8.31	8.38
582	6.43	6.34	6.54	6.17	6.74	6.51	5.80	7.44	7.51
583	6.86	6.54	6.57	6.53	6.93	6.73	6.95	7.88	8.08
584	6.89	6.69	6.41	7.01	7.09	7.24	6.13	6.84	7.36
585	7.13	7.07	6.89	6.54	6.58	6.74	5.84	7.08	7.20
586	6.34	6.18	6.21	6.10	6.21	6.77	5.60	7.56	7.63
587	6.66	6.51	6.41	6.78	6.84	7.29	6.75	7.20	7.36
588	6.59	6.53	6.57	5.86	5.83	6.12	6.48	7.18	7.52
589	7.04	7.33	7.08	6.06	6.18	6.60	6.63	7.10	7.41
590	7.09	7.51	7.27	6.55	6.92	7.22	7.18	7.34	7.32
591	7.11	7.18	7.07	6.09	6.32	6.62	7.69	7.97	7.90
592	7.37	7.29	7.32	6.31	6.33	6.47	6.28	7.73	7.79
593	7.91	7.83	7.78	6.56	6.59	6.55	6.71	7.87	7.77
594	7.54	7.60	7.57	5.95	6.08	6.08	6.73	8.08	8.21
595	6.57	6.78	6.77	5.79	5.95	6.03	7.31	7.72	7.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1(ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านซ้ายในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
596	7.05	7.01	7.19	6.25	6.33	6.57	7.19	6.96	7.00
597	6.69	6.50	6.69	5.84	5.72	6.30	6.39	7.74	7.37
598	7.18	7.24	7.20	6.61	6.87	7.13	6.23	8.01	7.63
599	7.18	7.25	7.18	7.10	7.45	7.54	6.19	7.00	6.79
600	6.78	6.72	6.68	6.57	6.63	6.73	5.89	7.90	8.12
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>8.01</b>	<b>8.17</b>	<b>7.11</b>	<b>6.48</b>	<b>6.58</b>	<b>5.44</b>	<b>5.06</b>	<b>5.40</b>	<b>4.33</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	6.31	6.50	6.47	6.37	6.47	7.04	6.51	6.89	6.95
2	6.08	6.03	6.42	6.48	6.61	7.11	6.37	6.78	6.79
3	6.39	6.09	7.08	6.11	6.20	6.25	5.80	7.00	6.99
4	6.27	5.69	7.66	5.92	5.84	6.24	6.06	7.10	7.06
5	5.84	5.69	7.40	6.16	6.02	6.56	5.55	6.91	6.98
6	5.69	5.96	6.49	6.25	6.20	7.11	5.67	6.55	6.59
7	5.88	6.05	6.92	7.22	7.05	7.96	5.84	7.92	7.83
8	5.72	5.66	7.70	6.78	6.78	7.85	5.35	7.14	7.15
9	6.69	6.36	9.08	6.29	6.41	7.28	6.75	6.37	6.32
10	7.14	6.73	9.96	6.67	6.94	7.47	6.49	7.01	6.93
11	7.25	6.57	10.43	6.60	6.53	8.11	5.81	7.43	7.39
12	7.98	7.42	11.45	6.66	6.62	8.35	5.81	6.97	6.87
13	8.55	8.17	11.35	6.59	6.69	8.50	5.93	6.96	6.93
14	8.91	8.06	11.41	7.08	7.02	9.01	5.42	5.97	6.11
15	9.51	8.31	11.92	7.25	7.19	7.74	5.35	6.73	6.96
16	9.50	8.49	11.01	7.13	6.79	7.72	5.78	6.82	6.80
17	9.21	8.36	10.35	8.23	8.03	8.54	6.21	6.68	6.65
18	7.84	7.61	9.30	8.68	8.37	9.03	5.80	6.09	6.15
19	7.27	7.40	8.70	7.51	7.19	7.59	5.90	6.37	6.59
20	6.99	7.31	8.87	7.05	7.07	7.15	6.93	7.22	7.29
21	7.05	7.37	8.78	7.36	7.63	7.28	8.20	6.79	6.80
22	7.83	7.78	9.58	7.52	7.70	7.81	8.18	6.56	6.49
23	7.56	7.65	9.04	6.40	6.48	7.36	8.88	6.83	6.73
24	7.34	7.04	9.63	6.30	6.07	7.00	7.52	7.67	7.45
25	6.81	6.22	9.42	6.50	6.30	6.90	6.82	7.02	6.94

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
26	6.36	6.07	8.62	6.91	6.64	7.21	6.58	6.03	5.97
27	6.51	6.46	8.52	6.60	6.61	7.77	6.02	5.53	5.55
28	6.94	6.59	8.82	7.27	6.86	8.21	5.69	6.31	6.32
29	7.33	7.19	9.42	7.75	7.36	8.91	5.68	5.61	5.51
30	7.91	7.76	9.60	7.16	6.67	8.59	5.47	6.39	6.28
31	7.57	7.57	9.24	7.11	6.47	8.31	6.01	6.05	6.13
32	7.52	7.32	9.06	7.38	7.07	8.11	5.86	5.72	5.73
33	7.38	7.17	9.06	6.54	6.53	7.38	5.59	5.72	5.93
34	8.47	8.22	8.99	7.08	6.77	7.59	5.70	6.13	6.24
35	8.48	8.31	9.67	7.76	7.31	7.77	5.70	5.95	5.96
36	7.81	8.05	9.60	7.61	7.09	7.61	5.87	6.08	6.07
37	7.05	7.16	9.69	7.22	6.86	7.42	6.01	5.95	6.12
38	7.89	7.92	10.74	7.48	7.38	7.90	5.71	5.64	5.70
39	8.36	8.49	11.31	7.65	7.11	8.05	5.86	6.42	6.47
40	8.70	8.70	11.29	7.10	6.55	7.50	4.97	6.31	6.48
41	8.19	8.10	10.54	7.38	7.11	7.93	5.39	6.11	6.37
42	8.14	8.08	9.96	8.10	7.59	8.83	5.65	5.64	5.64
43	7.77	7.85	9.88	7.20	6.90	8.41	5.87	5.91	5.86
44	7.99	7.50	10.27	7.42	6.97	8.56	5.59	6.44	6.31
45	7.60	7.06	9.74	8.11	7.90	9.30	5.33	6.86	6.89
46	7.15	7.07	9.43	7.99	7.81	8.73	5.74	6.34	6.41
47	7.38	7.13	9.75	8.15	7.95	8.50	6.19	6.75	6.96
48	7.30	7.31	10.02	8.56	7.92	8.35	6.02	7.00	6.84
49	7.67	7.59	11.26	8.41	7.53	8.21	5.69	6.55	6.56
50	6.69	7.05	9.94	8.20	7.34	8.18	5.27	6.08	6.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
51	7.51	7.17	11.10	8.86	8.15	9.03	5.51	6.69	6.68
52	7.88	7.11	10.84	9.14	8.21	9.00	5.55	6.00	6.16
53	9.02	8.13	12.21	8.48	7.46	8.35	5.34	6.40	6.41
54	8.83	8.03	12.07	8.62	7.88	7.90	5.92	5.52	5.40
55	8.28	8.40	11.75	9.25	8.57	8.39	5.89	5.92	5.84
56	8.63	9.12	12.35	8.58	8.12	8.34	5.54	6.37	6.24
57	8.28	9.14	11.91	7.96	7.65	7.78	5.54	6.36	6.25
58	8.53	9.39	12.83	7.68	7.46	7.77	5.93	6.61	6.54
59	9.89	10.58	14.52	8.54	8.12	8.55	6.04	6.59	6.71
60	8.96	10.11	15.23	8.64	8.39	8.70	5.76	6.33	6.12
61	8.21	8.85	16.00	9.39	8.86	9.31	6.44	6.06	6.00
62	8.77	8.76	18.04	9.33	8.61	9.57	6.63	6.11	5.92
63	9.16	8.77	19.05	8.63	8.10	9.47	6.28	6.86	6.61
64	8.84	8.81	18.51	8.31	8.21	9.41	6.83	6.78	6.78
65	8.62	8.58	16.96	8.77	8.65	9.48	7.26	5.89	5.64
66	8.59	7.22	16.07	9.71	9.57	9.53	6.37	5.92	5.83
67	9.56	5.54	16.42	10.03	9.93	9.45	6.18	6.80	6.83
68	9.61	4.39	13.82	9.23	8.63	9.11	6.66	5.90	5.83
69	7.83	3.45	8.63	8.91	7.30	8.93	6.83	6.01	5.87
70	8.38	3.64	5.41	9.06	5.70	8.16	7.21	5.34	5.16
71	9.05	4.02	3.68	9.73	4.66	8.22	8.14	5.51	5.34
72	8.28	4.41	1.55	9.91	4.53	7.01	7.53	5.35	5.32
73	7.90	4.45	0.53	10.03	4.57	6.14	7.63	6.03	5.79
74	7.74	4.28	0.13	9.37	5.04	4.51	7.46	5.54	5.48
75	7.80	4.21	0.14	8.46	5.43	2.56	8.22	5.45	5.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
76	8.09	4.53	0.22	8.75	5.77	1.31	7.36	5.29	5.27
77	8.10	5.11	0.10	8.21	5.37	0.53	7.93	5.13	5.34
78	8.18	5.08	0.33	8.02	5.08	1.09	7.16	5.61	6.01
79	8.87	5.01	0.40	8.71	4.94	1.71	6.68	5.80	6.26
80	9.86	4.56	0.33	8.79	4.53	2.06	7.38	6.11	6.30
81	10.81	4.53	0.58	9.52	4.63	3.17	7.19	5.50	5.85
82	12.77	4.23	3.07	8.65	4.46	4.52	7.34	6.25	6.17
83	11.23	3.81	3.64	8.86	4.05	6.34	5.95	5.86	5.90
84	11.82	3.65	7.01	10.00	5.40	7.86	5.37	6.33	6.86
85	11.42	4.65	7.58	10.20	7.84	7.91	5.75	4.98	5.32
86	9.86	6.37	6.91	9.72	8.33	8.15	5.68	4.69	5.03
87	10.81	7.86	7.49	10.02	8.70	8.04	5.59	5.59	5.78
88	9.74	6.75	7.73	10.23	8.95	8.53	4.41	5.85	5.74
89	9.46	7.24	7.57	8.64	8.32	7.62	3.92	5.32	5.38
90	9.32	6.49	7.47	8.48	8.04	7.65	3.78	5.13	5.18
91	7.70	6.55	6.39	9.24	8.59	8.54	3.85	5.60	5.85
92	8.03	7.09	7.11	8.27	7.89	7.63	4.15	6.26	6.47
93	8.15	7.21	7.24	8.32	7.73	7.52	4.63	5.43	5.79
94	8.29	7.22	7.04	8.47	9.02	9.15	5.37	5.82	5.87
95	8.70	7.91	7.62	7.88	8.20	8.38	5.90	5.72	5.67
96	9.10	8.12	7.81	7.81	7.97	7.81	6.19	6.02	6.02
97	8.49	8.31	7.64	8.14	7.78	8.01	6.27	5.72	5.78
98	7.67	8.06	7.59	9.16	8.71	8.84	7.36	6.39	6.29
99	7.75	7.82	7.29	8.96	9.30	9.24	6.02	6.75	6.66
100	8.20	8.01	7.57	7.90	8.28	8.29	5.55	6.51	6.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
101	7.84	7.98	7.35	9.08	8.50	8.70	7.41	5.63	5.87
102	8.26	7.24	7.01	8.63	8.77	8.90	6.92	5.76	5.89
103	8.85	7.78	7.61	8.48	8.87	8.77	7.48	6.33	6.48
104	9.32	8.37	7.86	8.82	9.26	9.19	7.09	7.06	7.40
105	8.52	7.56	7.24	8.53	8.97	9.02	6.97	6.59	6.69
106	9.45	8.60	8.00	8.66	8.71	8.93	6.93	6.49	6.35
107	9.40	8.69	8.37	8.39	8.28	8.58	6.99	7.57	7.38
108	8.63	8.00	7.62	8.09	8.30	8.56	6.80	6.91	7.19
109	9.00	8.61	7.92	8.56	8.44	8.68	6.67	6.63	6.77
110	8.95	8.36	7.80	8.53	8.39	8.59	7.13	6.92	6.99
111	9.21	8.59	8.12	8.45	8.85	8.87	7.94	6.77	6.98
112	9.50	8.97	8.32	8.28	8.84	8.78	7.46	7.22	7.61
113	9.08	8.87	8.19	8.83	9.13	9.15	7.74	7.05	7.41
114	8.86	8.54	7.45	8.82	9.21	9.09	7.37	7.64	7.92
115	8.79	8.25	7.26	8.34	8.69	8.93	6.79	7.41	7.37
116	9.04	8.36	7.59	8.51	9.06	9.33	6.37	7.53	7.58
117	9.94	9.24	8.06	8.88	9.74	9.97	7.12	7.88	8.01
118	8.96	8.16	7.45	8.93	9.61	9.78	7.23	7.67	7.89
119	8.92	8.13	7.59	8.20	8.90	9.11	6.81	7.29	7.75
120	8.82	8.32	7.40	7.76	8.38	8.57	7.54	8.51	8.56
121	8.36	8.15	7.76	7.86	8.52	8.73	7.66	8.61	8.69
122	8.93	8.96	8.21	7.80	8.21	8.40	7.23	8.00	7.85
123	8.36	8.22	7.57	7.64	8.57	8.77	7.91	7.72	7.43
124	8.47	8.04	7.78	8.38	9.39	9.54	6.85	8.31	7.94
125	8.99	8.59	8.14	7.95	8.97	9.15	7.02	7.45	7.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
126	8.63	8.36	8.09	7.87	8.50	8.82	7.35	7.23	7.29
127	8.23	7.77	7.45	7.83	8.39	8.64	7.18	7.94	8.06
128	8.06	7.96	7.61	7.17	7.70	7.76	6.96	8.34	8.36
129	8.16	7.98	7.64	7.49	8.21	8.24	6.99	7.59	7.69
130	8.51	7.97	7.72	7.68	8.56	8.73	6.59	8.40	8.29
131	8.57	8.18	7.77	7.66	8.71	8.91	6.51	8.69	8.61
132	8.42	8.32	7.69	7.25	8.34	8.70	6.81	9.40	9.02
133	9.12	8.99	8.33	7.38	8.45	9.10	7.27	8.75	8.63
134	8.12	8.34	7.83	7.18	7.90	8.41	6.57	7.92	8.61
135	8.72	8.79	8.14	7.34	7.94	8.19	6.86	7.77	9.53
136	8.30	8.39	7.43	6.99	7.49	7.48	7.41	8.12	9.38
137	7.92	8.02	7.73	7.70	8.15	8.43	7.46	7.84	9.35
138	7.99	7.93	7.50	8.31	8.75	9.27	7.56	8.67	10.29
139	7.85	7.92	7.44	8.03	8.79	9.25	7.36	8.47	9.84
140	7.95	7.98	7.51	7.92	8.60	9.01	6.72	8.65	10.31
141	8.40	8.48	7.46	8.65	9.25	9.49	6.80	7.83	9.21
142	8.89	8.70	7.30	8.52	9.06	9.54	5.99	7.66	8.31
143	8.47	8.48	7.06	8.32	8.86	9.20	6.47	8.19	8.45
144	9.23	9.45	7.85	8.18	8.71	9.10	6.27	8.72	9.12
145	9.67	9.32	7.55	8.68	9.25	9.58	6.30	8.02	8.04
146	9.52	9.51	7.65	7.80	8.49	8.66	6.44	8.27	8.49
147	9.96	10.39	7.48	8.52	8.86	9.38	6.44	8.70	8.72
148	9.39	9.87	7.45	8.46	9.34	9.23	7.00	8.28	8.24
149	10.20	11.09	8.55	8.31	9.12	8.78	7.05	7.67	7.75
150	10.95	12.28	9.23	9.16	10.44	10.05	7.00	8.97	9.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
151	10.50	11.71	8.81	8.63	10.15	10.27	7.46	8.48	8.82
152	11.55	12.17	9.67	8.54	10.80	10.79	6.93	9.62	10.16
153	11.71	13.87	10.52	7.71	10.44	10.15	6.35	9.08	9.54
154	10.33	12.84	9.72	7.81	9.48	9.38	6.92	9.39	9.38
155	9.34	11.43	9.02	9.07	10.18	9.79	6.96	9.04	9.00
156	9.16	12.35	9.49	9.18	11.17	11.00	6.78	8.50	8.59
157	7.78	11.31	8.84	8.96	11.06	10.90	6.80	8.80	8.64
158	8.41	10.37	8.59	8.11	11.04	10.58	6.82	8.74	8.69
159	8.00	11.23	9.41	7.39	9.59	9.43	7.47	8.79	8.53
160	7.32	10.71	8.71	6.55	9.44	9.12	7.30	9.55	9.25
161	6.05	10.37	7.58	6.91	10.41	9.46	7.85	9.47	9.20
162	6.45	11.75	8.85	5.94	10.65	9.71	7.05	9.28	8.98
163	6.03	12.29	8.80	6.25	11.09	10.32	6.83	8.71	8.67
164	6.48	12.83	9.23	6.59	12.61	11.44	6.78	9.79	9.30
165	7.27	14.47	10.55	6.12	12.10	10.81	7.19	8.94	8.52
166	7.05	15.85	9.77	5.73	10.57	10.11	7.64	9.04	8.76
167	6.50	15.29	9.75	5.94	10.04	10.04	7.62	8.47	8.14
168	6.10	12.68	9.32	5.73	9.64	9.62	6.20	9.18	9.00
169	5.23	11.75	9.85	5.49	10.64	10.65	6.67	8.99	8.80
170	5.94	11.55	9.56	5.52	10.37	10.38	7.35	10.40	9.54
171	6.30	11.71	9.50	6.26	10.23	10.30	7.64	10.68	9.65
172	6.99	12.03	10.28	6.33	10.35	9.94	7.52	9.45	8.75
173	5.77	11.61	9.79	5.68	9.76	9.32	8.83	9.07	8.09
174	6.76	12.36	9.36	5.90	9.46	9.27	8.35	9.69	8.00
175	6.45	12.39	8.69	6.48	10.39	9.83	8.87	9.53	7.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
176	6.31	12.76	9.16	6.01	8.86	9.00	8.77	12.06	9.65
177	5.65	11.85	8.57	5.92	8.83	9.15	8.51	11.41	8.85
178	5.92	11.31	8.76	5.69	8.29	9.26	8.42	11.91	10.47
179	5.63	11.58	9.28	5.81	8.42	8.58	7.47	12.36	10.25
180	6.19	11.26	9.72	5.19	7.73	8.43	6.26	11.85	8.63
181	6.55	12.36	10.22	4.41	7.50	8.32	5.58	11.08	7.86
182	5.79	9.87	8.78	4.95	8.66	8.88	4.58	10.53	7.45
183	6.01	10.72	9.26	5.31	9.02	8.96	3.71	10.33	7.43
184	5.59	9.95	9.45	5.15	8.23	8.27	3.96	10.47	7.26
185	5.12	9.11	8.28	5.51	8.83	8.71	3.20	8.99	6.69
186	5.48	9.13	7.56	5.46	8.89	8.82	3.44	8.44	6.66
187	5.08	8.01	6.92	5.07	7.68	8.34	3.26	8.55	6.30
188	5.00	7.70	7.83	4.84	7.71	8.08	2.85	9.91	8.26
189	4.73	7.74	7.16	4.75	8.01	8.07	2.69	8.21	6.91
190	5.10	7.77	7.13	4.84	7.88	8.12	2.66	7.92	6.29
191	4.41	6.98	7.57	4.55	6.93	7.04	2.35	8.00	5.67
192	4.28	6.86	7.99	4.03	7.04	7.19	2.42	8.20	5.44
193	4.14	6.89	7.00	3.87	6.57	6.40	2.31	9.12	5.44
194	4.70	7.10	7.71	4.20	7.01	6.35	2.85	9.12	5.79
195	4.37	6.16	7.49	4.10	6.21	5.78	2.39	9.96	5.16
196	4.69	7.25	8.76	4.12	6.25	5.79	2.67	8.71	5.29
197	4.56	6.81	7.96	4.25	7.51	6.61	2.39	8.58	5.24
198	4.41	6.86	8.48	4.19	7.49	6.66	2.33	7.81	5.42
199	4.44	6.37	9.39	4.38	6.32	6.24	2.25	8.60	5.61
200	3.93	6.12	8.77	4.76	6.97	7.07	2.45	8.22	5.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
201	3.89	6.11	8.61	4.47	6.97	7.20	2.54	7.60	4.38
202	4.18	6.29	8.27	4.40	6.25	6.82	2.65	7.06	4.93
203	3.78	5.62	7.72	4.35	7.05	6.27	2.41	7.03	4.37
204	3.52	5.69	7.90	4.06	7.33	6.50	2.10	7.74	4.14
205	3.98	5.44	7.85	3.96	6.74	6.55	2.06	8.16	3.38
206	4.19	6.04	7.85	4.15	7.36	6.79	2.40	6.77	4.32
207	3.62	5.32	7.41	4.12	7.12	6.79	1.95	6.63	4.84
208	3.82	6.03	7.32	4.14	6.64	7.25	1.77	7.22	5.44
209	3.90	5.45	6.46	4.25	6.71	7.09	1.81	7.13	4.26
210	4.19	6.17	7.54	4.08	7.02	6.45	1.78	7.45	3.99
211	3.76	5.49	7.04	4.42	7.06	7.14	1.76	7.22	3.47
212	3.65	5.00	6.88	4.02	7.19	6.53	1.58	7.12	4.26
213	3.70	5.38	7.75	4.31	6.92	6.83	1.45	7.38	3.78
214	3.50	5.59	8.09	4.36	6.62	7.12	1.36	9.47	4.17
215	3.60	5.51	8.99	4.19	6.11	6.53	1.45	10.22	3.93
216	3.81	5.68	8.58	3.84	6.33	6.55	1.39	10.65	4.50
217	4.05	6.21	10.23	4.10	6.87	7.59	1.49	10.08	4.01
218	4.24	6.61	10.00	4.47	7.24	8.47	1.52	9.08	4.65
219	4.03	6.35	8.93	4.08	7.37	8.27	1.40	8.27	3.69
220	4.13	5.91	8.85	4.49	7.29	8.90	1.24	8.94	3.49
221	3.76	5.80	9.25	4.12	6.26	7.74	1.25	8.93	3.80
222	3.94	5.76	9.38	3.87	6.89	8.21	1.38	8.88	3.66
223	3.41	4.97	8.64	4.02	7.02	8.95	1.33	8.40	3.74
224	3.43	5.39	8.49	4.04	6.66	8.90	1.38	8.20	2.98
225	3.44	5.42	7.96	3.88	6.32	8.34	1.35	7.61	2.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
226	3.99	5.82	7.75	3.87	6.57	8.75	1.17	7.04	2.99
227	3.06	4.78	6.86	4.06	6.91	8.40	1.21	7.12	3.25
228	3.74	5.72	7.79	4.02	7.46	8.83	1.11	6.89	3.03
229	3.96	6.12	8.34	3.84	7.11	8.68	1.07	6.37	2.70
230	3.96	5.88	9.23	4.12	6.83	8.14	1.46	5.86	2.85
231	3.72	6.01	9.67	4.24	6.62	8.48	1.36	5.26	3.44
232	3.69	6.24	10.03	4.55	6.84	8.88	1.80	4.92	3.92
233	3.93	6.33	10.63	4.49	7.20	8.77	1.60	4.49	3.62
234	4.26	6.46	10.47	4.07	7.33	8.99	1.66	4.72	3.97
235	4.19	6.26	10.31	3.94	6.51	8.56	1.38	4.58	4.11
236	4.44	6.30	11.27	4.11	7.23	9.00	1.31	4.72	4.31
237	4.51	6.95	12.29	4.46	8.19	8.68	1.32	4.88	3.85
238	4.75	6.82	12.97	4.88	8.12	9.13	1.29	5.24	4.05
239	4.24	6.50	12.55	4.79	7.32	8.48	1.27	6.10	4.38
240	4.41	6.78	12.85	4.51	7.27	8.03	1.61	6.07	3.69
241	4.84	7.21	12.56	4.54	7.57	8.15	1.63	6.42	3.62
242	5.24	7.45	12.93	5.16	7.04	8.21	1.72	6.52	3.90
243	5.29	7.11	11.05	4.60	7.20	7.52	1.58	7.56	4.68
244	4.94	6.98	10.36	4.46	7.04	7.06	1.73	8.11	5.19
245	4.67	6.79	9.36	4.60	7.14	7.39	1.51	7.79	5.25
246	4.52	6.81	10.15	4.39	7.69	7.29	1.33	8.47	5.33
247	4.67	6.68	9.55	4.52	7.66	7.50	1.17	8.56	5.04
248	4.54	6.51	9.67	4.10	7.39	7.27	1.32	8.19	4.70
249	4.63	7.13	9.14	3.24	6.87	6.73	1.26	8.32	5.50
250	4.56	6.66	8.25	3.51	7.06	7.12	1.36	6.87	4.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
251	4.21	6.54	8.50	3.68	6.93	6.45	1.20	4.47	2.74
252	3.78	6.12	8.23	3.65	7.14	6.47	1.64	3.61	1.06
253	4.08	6.26	7.51	3.66	6.56	6.56	1.47	3.16	0.86
254	3.96	6.20	7.76	3.26	6.86	6.39	1.64	2.57	0.57
255	3.16	5.24	7.19	3.29	7.62	6.47	1.34	2.60	0.65
256	3.00	5.43	6.51	2.66	7.03	5.91	1.61	2.64	0.87
257	2.69	4.89	6.06	2.42	6.47	5.63	1.50	2.58	0.96
258	2.77	5.56	6.38	2.63	6.26	5.57	1.86	2.40	0.87
259	2.60	5.09	5.52	2.27	6.58	5.40	1.42	2.32	0.86
260	2.51	5.40	5.60	2.13	6.51	5.59	1.70	2.18	0.93
261	2.57	5.52	6.05	2.07	6.21	5.56	1.83	2.20	1.01
262	2.42	5.10	5.29	2.65	6.82	6.20	2.01	1.90	0.82
263	2.90	5.49	5.61	2.35	6.32	5.65	1.81	1.88	0.90
264	2.41	5.24	4.85	2.10	5.45	4.47	2.12	2.07	0.88
265	2.36	5.25	5.08	2.44	5.83	4.78	1.82	2.02	0.99
266	2.42	5.46	4.97	2.54	6.12	5.17	2.11	2.13	1.07
267	2.07	4.92	4.61	2.32	5.90	4.91	1.89	2.15	1.09
268	2.04	4.45	4.39	2.28	5.81	4.79	1.97	1.91	1.16
269	2.33	4.84	4.46	2.35	5.76	4.63	1.73	1.96	1.28
270	3.09	4.82	4.63	2.84	6.17	5.16	1.84	2.12	1.35
271	3.10	4.96	4.93	2.69	6.01	4.94	2.00	2.16	1.48
272	2.99	4.75	4.34	2.49	5.97	4.53	1.67	2.14	1.37
273	2.89	4.70	4.32	2.35	5.64	4.25	1.59	2.20	1.48
274	2.75	4.81	4.39	2.64	6.16	4.65	1.31	2.52	1.44
275	2.68	4.85	4.24	2.70	6.40	4.53	1.30	2.30	1.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
276	3.35	5.29	4.39	2.75	6.34	4.32	1.42	2.56	1.79
277	2.97	4.59	4.23	2.66	5.69	4.00	1.14	2.74	1.94
278	2.93	5.05	4.33	2.48	5.86	3.74	0.96	3.22	2.33
279	2.92	5.77	4.45	2.80	6.11	4.08	0.73	4.08	2.42
280	2.70	5.82	3.86	2.21	5.73	3.52	0.94	4.59	1.41
281	2.17	5.50	3.03	2.78	6.61	3.97	0.64	5.37	2.17
282	2.51	7.55	3.58	3.01	6.95	4.09	0.82	6.63	2.10
283	1.52	6.90	2.40	2.40	7.02	3.33	0.58	5.77	1.96
284	1.37	7.96	2.10	2.37	7.46	3.36	1.03	5.38	1.97
285	1.43	8.92	2.13	2.08	6.94	2.83	1.15	4.32	2.13
286	2.03	11.26	2.77	2.04	7.92	2.92	0.79	4.63	1.98
287	2.58	12.67	3.43	1.97	7.45	2.52	0.65	3.69	2.05
288	2.84	14.46	3.60	2.94	7.57	3.56	0.54	3.38	2.10
289	5.69	15.95	6.37	3.85	7.02	4.32	0.43	2.64	2.34
290	5.85	12.58	6.19	4.65	7.17	4.59	0.88	2.97	2.39
291	5.42	11.43	5.82	4.13	6.75	4.35	0.73	2.08	2.08
292	8.24	12.34	8.00	5.21	6.99	5.27	0.47	1.88	2.54
293	7.29	10.10	7.56	5.90	6.85	6.18	0.46	1.78	2.65
294	5.86	4.82	6.08	5.95	6.37	5.99	0.57	1.99	2.59
295	7.66	8.66	7.69	6.09	5.39	6.01	0.58	2.25	2.84
296	10.85	16.61	11.30	7.26	9.02	7.24	0.38	1.90	2.38
297	5.94	14.45	6.67	5.99	8.07	6.14	0.28	2.06	2.47
298	4.33	11.59	5.36	4.55	6.36	4.91	0.17	2.43	3.19
299	3.34	9.15	4.18	3.76	7.09	4.48	0.21	2.56	2.80
300	3.01	6.90	3.33	2.98	7.14	3.63	1.28	2.24	2.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
301	2.94	6.84	3.35	2.28	7.38	2.61	2.12	2.54	2.71
302	2.91	8.77	3.57	2.38	7.69	2.71	4.41	2.98	2.89
303	3.07	8.43	3.71	3.51	6.41	3.89	4.51	2.53	2.99
304	2.56	7.25	3.41	2.90	7.06	3.02	2.94	2.40	2.97
305	3.19	6.58	3.84	3.45	7.52	3.54	3.08	1.97	3.04
306	3.86	6.58	4.14	3.93	6.59	4.30	2.28	2.25	2.52
307	3.82	6.03	4.11	4.07	6.66	4.48	1.67	2.15	2.53
308	4.18	6.29	4.30	4.19	6.94	4.42	1.79	2.58	2.27
309	4.26	6.62	4.59	4.10	6.58	4.58	1.46	2.27	2.13
310	4.32	7.04	4.66	3.89	5.89	4.43	2.23	2.55	2.68
311	3.68	6.22	3.86	3.58	5.06	3.83	2.43	2.44	2.82
312	3.92	6.90	4.05	4.00	5.49	4.36	3.24	3.12	3.75
313	3.96	5.84	4.10	4.02	6.11	4.52	2.46	2.97	3.81
314	4.34	6.28	4.67	4.23	5.99	4.82	2.93	3.37	4.80
315	3.86	6.31	4.20	4.02	6.23	4.52	2.22	2.92	4.90
316	3.57	5.81	4.06	4.56	7.40	4.95	2.37	2.84	4.20
317	3.50	5.92	4.14	4.49	6.38	4.88	1.30	2.43	3.97
318	3.60	5.90	4.17	4.23	6.16	4.70	1.62	2.57	4.32
319	3.13	5.78	3.63	3.67	6.12	4.06	1.35	2.78	4.36
320	3.27	5.55	3.64	3.27	5.49	3.61	1.46	2.54	5.06
321	3.40	5.55	3.71	3.19	5.43	3.63	1.41	2.70	4.82
322	3.52	5.48	3.68	3.19	6.07	3.57	1.75	3.08	5.14
323	3.48	5.05	3.63	3.04	5.77	3.37	1.70	2.96	4.75
324	3.21	5.08	3.51	2.78	5.54	3.17	1.78	3.05	4.37
325	3.01	5.59	3.25	3.52	5.72	3.95	1.79	2.66	4.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
326	2.24	5.20	2.85	3.19	6.04	3.51	1.57	3.01	4.30
327	2.20	5.15	2.81	2.92	5.69	3.22	1.48	3.17	4.57
328	2.81	5.39	2.99	2.82	5.54	3.03	1.51	2.90	4.52
329	2.07	5.00	2.37	2.82	5.99	3.11	1.14	2.86	4.73
330	2.80	5.43	3.01	2.93	5.53	3.16	1.02	3.21	5.18
331	2.53	5.14	2.81	2.96	5.78	2.99	0.95	2.94	4.80
332	2.68	5.52	3.17	3.12	6.13	3.09	0.49	3.24	5.11
333	2.72	5.55	3.18	2.69	5.60	2.88	0.46	2.89	5.13
334	3.51	5.76	3.53	2.70	5.48	3.07	0.35	2.88	5.41
335	2.49	5.16	2.57	3.11	6.34	3.30	0.46	2.46	5.30
336	2.69	5.71	2.82	3.26	6.26	3.30	0.40	2.74	5.49
337	2.46	5.27	2.49	3.29	5.87	3.28	0.33	2.53	5.45
338	2.66	5.30	2.89	3.24	6.00	3.30	0.49	2.60	5.48
339	2.35	5.49	2.58	2.71	5.94	2.84	0.37	2.73	5.85
340	2.46	5.57	2.91	3.06	6.13	3.25	0.66	2.68	5.31
341	2.35	5.50	2.51	3.23	6.23	3.43	0.53	2.46	5.26
342	2.84	5.23	2.85	3.16	6.02	3.11	0.65	2.38	5.33
343	3.09	5.81	2.45	2.75	5.44	2.47	0.42	2.50	5.34
344	3.23	5.23	1.92	2.86	5.12	2.63	0.56	2.35	4.89
345	4.32	5.80	2.41	2.90	5.44	2.78	0.64	2.36	5.69
346	5.62	6.72	2.40	2.91	5.49	2.54	0.78	2.29	5.43
347	6.57	7.42	2.39	3.29	6.00	2.31	0.83	2.29	4.83
348	10.48	8.69	3.79	4.09	7.30	2.36	1.01	2.23	5.88
349	15.76	10.65	4.76	5.16	8.22	2.45	0.84	2.35	5.07
350	20.71	11.98	5.91	7.79	9.52	2.98	1.37	2.27	5.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
351	22.74	13.29	5.96	13.58	11.72	3.81	1.33	1.82	4.99
352	24.12	12.48	6.98	18.46	12.14	4.97	2.37	2.34	4.89
353	24.50	12.33	6.94	21.60	13.44	7.39	3.21	2.49	5.79
354	21.98	11.78	7.70	19.40	12.02	7.18	5.32	2.44	5.75
355	20.85	11.37	7.74	19.43	11.23	7.78	7.57	2.47	4.70
356	17.32	10.68	9.23	19.79	11.02	7.78	10.07	2.37	4.87
357	16.35	11.28	9.15	15.43	10.08	8.16	12.71	2.35	5.09
358	12.68	10.80	9.16	13.35	10.37	8.90	14.31	2.09	5.29
359	13.19	9.02	8.01	12.66	10.62	9.38	15.83	2.04	5.29
360	13.98	9.06	8.38	10.50	9.06	8.00	16.99	1.99	5.49
361	11.40	10.75	8.45	10.05	9.18	8.29	16.90	2.04	5.12
362	9.56	11.33	8.22	9.78	8.97	8.00	16.43	2.08	4.81
363	9.53	10.33	7.60	9.67	8.73	8.01	17.71	1.82	4.89
364	9.69	8.55	6.17	9.26	7.90	6.77	19.15	2.03	4.41
365	9.74	9.50	6.74	8.91	7.38	5.63	19.23	1.72	5.08
366	9.91	8.61	5.80	9.60	8.11	5.87	19.08	1.86	4.79
367	10.68	8.79	5.67	9.71	8.21	5.47	19.60	1.88	4.14
368	10.74	7.52	5.51	10.19	8.96	6.30	18.16	1.88	5.26
369	10.95	8.68	6.43	9.72	7.87	5.95	16.32	1.77	4.41
370	9.42	9.04	6.15	9.59	8.57	5.58	14.75	1.90	4.63
371	8.46	9.03	6.51	9.14	8.30	6.26	13.85	1.93	4.99
372	8.88	9.15	6.72	9.72	8.61	6.68	11.92	1.91	5.08
373	9.15	9.29	6.65	9.98	9.24	6.62	9.83	1.62	3.80
374	7.97	9.34	6.30	9.29	8.71	6.31	9.28	1.80	5.20
375	8.30	9.05	6.68	10.58	10.14	6.10	8.17	1.83	4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
376	8.93	9.57	6.94	9.90	9.28	6.41	8.46	1.87	4.43
377	8.13	8.92	6.04	8.60	7.86	6.07	7.68	1.92	5.28
378	7.65	8.46	6.41	8.54	8.10	6.30	6.01	2.05	5.63
379	7.71	7.65	5.76	8.44	7.80	5.98	6.00	1.71	4.58
380	8.31	8.64	6.93	8.97	8.63	6.15	6.66	1.97	5.82
381	8.26	8.65	6.40	9.51	8.70	6.42	5.68	1.79	4.94
382	7.64	8.09	5.95	9.68	8.22	6.22	4.74	1.81	5.27
383	8.84	9.19	6.67	9.36	8.26	6.28	4.37	2.06	5.28
384	8.44	8.32	6.89	9.23	8.86	6.74	5.23	2.14	5.28
385	8.71	8.76	6.66	9.38	8.76	6.27	4.91	2.14	4.55
386	8.08	8.29	6.60	9.61	8.73	6.28	3.95	2.31	5.72
387	8.48	8.64	6.74	8.70	8.10	5.91	4.29	2.01	4.48
388	8.03	8.31	6.89	9.29	8.51	6.16	3.49	2.19	5.07
389	8.43	9.00	6.77	9.67	8.39	6.36	3.52	2.05	4.51
390	8.33	8.82	6.12	9.85	8.47	6.13	3.62	2.56	4.30
391	8.49	8.50	5.93	10.81	9.25	6.48	3.89	2.49	4.14
392	8.86	9.40	6.56	9.98	8.69	6.16	3.17	2.75	4.89
393	9.21	9.72	6.50	10.28	9.26	6.80	2.93	3.19	4.84
394	9.86	10.54	6.98	9.63	8.70	6.62	2.75	3.00	4.40
395	9.48	10.24	6.98	9.94	8.93	6.69	2.76	3.20	4.42
396	9.73	10.26	7.59	9.92	9.25	7.11	3.25	3.52	4.51
397	10.36	10.59	7.50	9.96	9.03	6.52	3.03	3.39	4.53
398	9.73	9.56	6.88	9.66	8.66	5.93	2.84	4.36	4.04
399	9.36	9.31	7.18	10.92	9.72	7.07	2.88	4.45	4.28
400	9.82	10.15	6.87	9.66	8.73	6.67	3.35	4.89	5.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
401	10.79	10.75	7.33	9.51	9.46	6.85	3.13	5.15	4.27
402	10.16	9.80	6.76	9.97	8.97	6.89	2.51	5.25	5.15
403	9.70	9.45	7.02	10.99	9.50	7.25	2.29	5.46	4.48
404	8.73	8.84	6.89	10.53	8.85	6.85	1.98	5.90	5.19
405	9.91	9.95	6.93	10.51	9.76	6.97	2.50	5.98	4.65
406	10.89	10.98	7.38	10.99	9.79	6.93	2.31	6.64	4.48
407	12.01	12.02	8.02	10.52	9.58	6.90	2.60	7.36	4.62
408	9.84	9.91	7.68	11.64	10.39	6.67	3.00	7.14	4.82
409	10.69	10.73	7.63	11.32	10.43	6.43	2.82	7.65	4.80
410	11.14	10.79	7.84	10.79	10.73	7.84	3.05	8.13	3.45
411	10.84	10.47	7.99	10.67	9.93	7.54	3.10	8.46	3.50
412	10.14	10.01	7.60	10.97	9.89	6.76	3.25	8.44	2.61
413	10.67	11.00	7.90	12.25	10.90	8.17	3.52	8.83	1.98
414	11.48	11.47	9.17	11.72	10.52	7.39	2.45	10.27	1.72
415	11.36	11.20	8.02	11.36	10.38	7.62	3.26	11.13	1.84
416	11.83	12.01	8.29	11.36	9.88	7.88	4.65	10.96	1.68
417	11.74	12.19	8.56	11.70	10.57	7.80	5.04	9.32	1.03
418	11.95	11.51	8.35	11.81	10.55	7.95	4.61	10.27	1.44
419	12.29	11.65	8.39	10.59	9.67	7.18	4.71	9.74	0.73
420	11.45	10.83	8.00	10.26	9.69	7.22	5.63	9.20	1.27
421	11.49	10.89	7.59	10.90	9.56	7.30	5.86	9.55	1.07
422	11.30	10.74	8.18	10.96	9.24	6.92	4.69	10.07	1.09
423	11.39	11.65	9.25	10.22	8.81	6.89	4.79	10.45	0.78
424	10.50	11.21	8.98	9.69	8.45	6.55	4.46	8.98	0.08
425	11.10	11.15	8.63	9.55	8.18	6.75	5.14	8.64	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
426	10.72	10.65	8.43	8.99	8.17	6.92	5.22	8.35	0.00
427	10.21	9.80	8.22	8.95	8.45	6.91	5.46	8.32	0.05
428	10.44	9.34	7.90	8.98	8.77	7.27	5.84	7.30	0.13
429	10.78	9.96	7.90	8.45	7.72	6.39	5.24	8.07	0.61
430	10.18	9.03	8.10	8.86	7.80	6.84	4.19	8.04	0.26
431	10.66	9.36	8.11	9.21	7.92	6.91	4.59	7.90	0.32
432	9.66	8.35	7.11	9.34	7.93	7.28	5.19	7.97	0.08
433	9.57	7.98	6.59	9.21	7.08	6.75	5.16	7.59	0.47
434	9.75	8.65	7.32	9.13	6.96	6.58	5.38	8.12	0.33
435	8.88	8.07	7.05	8.43	7.47	7.07	4.72	8.14	0.26
436	7.69	7.01	6.84	9.00	7.21	6.77	3.91	8.24	0.38
437	8.44	7.52	6.83	10.04	7.67	7.19	4.26	7.38	0.52
438	8.25	7.80	6.96	9.23	6.96	6.53	4.25	7.47	0.13
439	9.04	8.21	7.55	7.56	6.44	6.44	4.39	8.24	0.66
440	8.87	8.22	7.82	8.44	7.03	6.99	4.74	8.25	0.41
441	7.80	7.24	6.95	8.72	6.38	5.99	4.70	8.23	0.40
442	7.59	6.86	6.71	8.79	6.88	6.53	4.94	7.69	0.03
443	7.51	6.34	6.38	8.00	6.39	6.49	4.93	7.73	0.08
444	7.85	6.76	6.80	8.33	6.15	5.87	5.48	7.54	0.03
445	8.30	6.84	6.89	8.38	6.16	5.68	5.87	7.14	0.17
446	7.68	6.34	6.72	8.79	6.08	5.74	5.99	6.46	1.14
447	7.93	7.22	7.31	9.08	6.40	6.08	5.74	6.76	0.75
448	7.12	6.14	6.69	8.92	6.29	5.85	6.14	6.72	0.22
449	6.72	6.35	6.67	7.51	5.71	5.37	5.66	6.55	0.11
450	6.82	6.47	6.41	6.69	5.53	5.15	6.09	6.63	0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
451	7.30	6.62	6.30	6.73	5.90	5.51	6.15	7.03	0.15
452	6.61	5.84	5.84	6.69	6.03	5.70	5.80	6.14	0.00
453	6.71	6.14	6.35	6.24	5.36	5.62	5.83	5.74	0.08
454	5.88	5.40	6.02	6.28	5.10	5.36	6.35	6.02	0.11
455	6.04	5.19	5.52	5.48	4.47	4.58	5.99	7.24	0.43
456	5.95	5.26	6.11	5.44	5.35	5.55	6.40	6.86	0.35
457	6.97	6.16	6.91	6.09	5.67	5.95	6.53	7.13	0.51
458	6.67	6.14	6.71	6.16	5.31	5.40	6.46	7.12	0.22
459	6.71	6.05	6.66	5.77	5.26	5.12	5.91	7.17	0.33
460	5.97	5.66	6.62	5.99	5.19	5.28	6.16	7.21	0.08
461	7.09	6.02	6.79	6.20	5.32	5.22	6.00	7.79	0.03
462	7.28	5.14	6.02	6.61	5.60	5.50	6.85	7.09	0.05
463	7.64	5.50	6.46	6.19	4.95	4.96	6.66	7.65	0.28
464	7.72	5.53	5.97	6.03	4.77	4.88	6.98	7.49	0.03
465	7.28	5.45	5.62	5.81	5.11	5.44	6.42	7.50	0.22
466	7.47	5.09	5.29	5.75	5.19	5.46	7.31	7.07	0.13
467	7.54	5.29	5.36	5.75	4.97	5.39	7.27	7.64	0.34
468	6.71	5.12	5.29	5.74	4.81	5.07	7.02	7.50	0.30
469	7.18	5.24	5.60	6.13	4.71	4.87	7.02	7.56	0.16
470	6.83	5.47	5.73	5.46	4.43	4.59	7.63	6.86	0.00
471	7.67	6.01	6.12	5.82	4.47	4.72	6.98	7.32	0.00
472	8.28	5.55	6.04	5.88	4.86	5.01	6.96	8.08	0.03
473	8.41	5.54	5.97	6.27	4.84	4.92	6.24	7.97	0.13
474	7.93	5.66	5.93	6.61	4.62	4.38	7.27	6.90	0.00
475	8.06	5.48	5.93	6.51	4.64	4.56	7.56	8.23	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
476	7.97	5.17	5.33	6.90	5.13	5.16	6.60	7.70	0.23
477	8.20	4.91	5.08	6.68	4.84	5.07	6.46	7.65	0.00
478	7.64	4.80	4.95	6.65	4.44	4.67	7.45	6.04	0.13
479	6.82	4.98	5.41	6.83	4.62	5.09	6.73	5.98	0.00
480	7.02	4.47	4.95	6.80	4.67	4.90	6.90	6.96	0.03
481	7.30	5.11	5.38	6.56	4.72	5.02	7.32	7.37	0.00
482	7.14	4.92	5.15	6.45	4.92	4.98	7.20	6.68	0.03
483	6.96	5.47	5.78	6.68	5.15	5.07	7.92	6.89	0.05
484	6.63	5.25	5.56	6.56	4.79	4.79	8.51	7.64	0.00
485	6.00	5.35	5.44	6.85	4.25	4.08	7.87	7.11	0.00
486	5.15	4.56	4.51	5.99	4.00	3.84	7.07	7.06	0.64
487	5.45	4.94	5.03	5.47	4.01	3.79	7.02	7.50	0.00
488	5.76	5.14	4.91	5.33	4.07	4.22	7.57	6.99	0.10
489	5.37	4.79	4.56	5.86	4.54	4.61	7.23	6.65	0.50
490	5.47	4.19	4.26	5.62	4.25	4.23	7.44	6.83	0.40
491	5.74	4.30	4.62	5.31	4.19	4.16	7.32	7.74	0.43
492	4.74	3.96	4.03	5.13	4.58	4.55	7.02	7.67	0.10
493	4.37	3.81	3.74	4.93	4.03	4.01	6.83	8.26	0.35
494	4.55	4.25	4.31	4.82	4.30	4.35	7.05	9.66	0.40
495	5.24	4.48	4.59	4.79	4.54	4.63	8.15	8.54	0.75
496	5.48	4.38	4.72	5.37	4.90	4.87	8.27	5.35	0.68
497	5.38	4.59	4.64	5.46	4.85	5.17	6.95	2.00	0.46
498	5.11	4.68	4.65	5.16	4.88	4.90	7.32	1.80	0.00
499	5.24	4.77	4.77	4.92	4.65	4.78	6.56	1.93	0.00
500	5.09	4.45	4.63	5.37	4.97	4.93	7.42	2.24	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
501	5.75	5.01	5.09	4.84	4.61	4.36	7.24	2.71	0.00
502	5.68	4.98	5.11	4.86	4.84	4.60	7.27	2.62	0.00
503	5.55	4.88	4.94	4.74	4.81	4.60	6.95	3.07	0.00
504	5.62	4.64	4.89	4.39	4.64	4.59	7.46	3.15	0.00
505	5.73	4.47	4.85	4.37	4.34	4.53	6.89	3.22	0.00
506	5.40	4.59	4.84	4.61	4.32	4.68	6.69	3.10	0.00
507	5.69	4.77	5.01	5.24	4.89	5.24	6.67	3.23	0.00
508	5.55	4.63	4.74	4.66	4.65	4.57	6.83	3.11	0.00
509	5.58	4.85	4.75	4.88	4.89	4.73	6.82	3.29	0.00
510	4.63	4.26	4.11	4.50	4.41	4.42	7.31	3.18	0.00
511	5.13	4.57	4.45	4.87	4.60	4.67	6.91	3.00	0.00
512	5.48	4.92	4.71	4.85	4.58	4.65	7.11	2.02	0.00
513	5.54	4.97	4.51	4.70	4.67	4.62	7.72	1.70	0.08
514	6.06	5.21	5.25	5.05	5.19	5.21	7.55	2.20	0.68
515	5.84	4.93	5.02	5.00	5.21	5.02	7.39	2.47	1.47
516	5.46	4.48	4.51	4.60	4.43	4.39	7.24	4.59	1.58
517	6.11	4.98	5.02	4.38	4.11	4.09	7.17	8.22	1.80
518	5.23	4.68	4.71	4.72	4.58	4.78	7.24	9.59	1.44
519	5.41	4.49	4.71	5.14	4.99	5.04	7.04	12.43	1.97
520	4.64	4.13	4.14	5.22	4.83	4.58	7.73	11.99	2.69
521	4.50	4.25	4.28	5.39	5.08	5.10	7.38	11.10	2.85
522	4.85	4.22	4.22	5.63	5.57	5.59	7.65	9.15	3.25
523	4.59	4.25	4.13	4.58	4.56	4.58	7.38	7.62	3.72
524	4.21	4.27	4.14	5.04	4.99	4.95	7.87	7.55	4.59
525	4.64	4.46	4.46	4.89	4.75	5.06	7.91	6.64	5.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
526	4.85	4.74	4.84	5.05	4.84	4.99	8.12	6.85	5.69
527	4.96	5.11	4.97	5.64	5.58	5.93	8.20	7.75	7.40
528	4.40	4.39	4.54	5.35	5.36	5.75	8.27	6.48	6.43
529	4.98	4.84	5.11	4.35	4.30	4.78	7.97	6.72	6.60
530	4.93	4.88	4.87	4.68	4.57	4.71	8.18	6.19	6.55
531	4.77	4.87	4.79	4.77	4.36	4.50	8.17	6.35	6.49
532	5.47	5.48	5.45	5.00	4.51	4.55	7.92	6.04	5.73
533	5.49	5.54	5.48	5.60	5.37	5.23	7.87	5.54	5.37
534	5.19	4.92	5.02	5.25	5.16	5.05	7.63	5.40	5.17
535	5.21	5.09	5.28	5.35	5.32	5.76	7.05	5.54	5.07
536	5.27	5.21	5.47	4.80	4.73	5.14	7.62	5.45	5.56
537	4.98	4.90	4.97	4.41	4.40	4.47	8.46	5.87	6.18
538	5.09	4.51	4.63	4.32	4.23	4.18	8.47	5.19	6.26
539	4.56	4.23	4.30	4.36	4.16	4.29	8.02	5.59	6.64
540	4.67	4.33	4.35	4.60	4.37	4.52	7.68	5.38	6.47
541	5.18	5.07	5.07	4.79	4.44	4.44	7.68	5.97	6.66
542	4.75	4.59	4.63	4.84	4.50	4.51	8.13	5.53	6.15
543	5.04	5.04	5.04	4.78	4.59	4.65	8.50	5.78	6.89
544	5.18	5.08	5.24	5.18	5.14	5.14	7.83	5.10	7.17
545	4.93	4.79	5.08	4.99	4.99	5.06	8.15	5.09	6.74
546	5.28	5.28	5.29	5.16	4.81	4.82	8.42	5.07	6.14
547	5.07	5.07	5.22	4.97	4.39	4.32	7.90	5.26	6.22
548	4.66	4.75	4.66	5.23	4.92	4.63	7.84	5.39	6.75
549	4.49	4.54	4.47	4.53	4.24	4.30	8.13	5.71	6.66
550	4.41	4.28	4.31	4.72	4.43	4.41	8.68	5.30	5.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
551	4.24	4.19	4.19	4.57	4.00	4.06	8.11	5.79	6.04
552	4.44	4.31	4.31	4.68	4.09	3.93	7.82	5.62	6.51
553	4.81	4.58	4.61	4.15	4.05	3.55	8.34	5.76	6.41
554	5.02	4.83	4.87	4.26	4.20	3.96	8.93	5.38	6.56
555	4.48	4.34	4.34	4.82	4.08	4.02	8.14	5.52	6.66
556	4.91	4.91	4.83	4.67	3.80	4.22	7.83	5.75	6.52
557	5.13	5.16	5.00	4.31	3.98	4.43	8.63	5.87	6.08
558	4.17	4.27	4.20	4.56	4.25	4.49	8.57	5.60	6.11
559	4.10	4.25	4.13	6.49	6.28	6.30	8.52	5.39	5.96
560	3.88	3.89	3.85	6.62	6.47	6.69	7.84	5.98	6.47
561	3.90	3.90	3.88	4.62	4.39	4.79	8.02	5.57	6.65
562	4.20	4.24	4.14	4.04	3.78	4.04	8.40	5.46	6.87
563	4.09	4.20	4.06	4.24	4.03	4.17	7.86	5.82	7.81
564	4.08	4.14	4.06	3.99	3.88	4.20	7.41	6.67	8.66
565	4.40	4.50	4.42	4.46	3.94	3.87	6.97	6.54	8.66
566	4.39	4.16	4.21	4.95	4.37	4.09	6.66	6.99	9.15
567	3.97	3.87	3.86	4.57	3.94	3.87	6.19	7.46	9.55
568	4.27	4.39	4.23	4.43	3.89	4.12	7.01	6.59	10.39
569	4.15	3.95	3.87	4.11	3.87	3.74	6.51	7.08	10.15
570	3.81	3.62	3.65	3.86	3.69	3.54	7.09	6.70	10.44
571	4.10	3.94	3.96	4.05	3.70	3.73	7.54	7.59	9.90
572	3.92	3.74	3.98	4.14	3.75	3.90	6.94	6.91	9.19
573	3.57	3.49	3.43	4.57	4.17	4.08	7.77	6.07	8.65
574	3.86	3.46	3.43	4.47	3.94	4.01	6.82	5.98	7.72
575	4.33	4.04	4.19	4.36	4.19	4.41	7.59	6.29	7.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
576	4.06	3.87	4.00	4.11	4.13	4.57	7.16	6.05	6.84
577	4.00	3.96	4.13	3.99	3.83	4.09	8.27	6.08	6.73
578	4.44	4.44	4.62	3.95	3.66	3.70	7.31	5.90	5.58
579	3.94	3.75	4.05	3.82	3.44	3.30	7.70	6.31	6.29
580	4.28	3.90	3.97	3.91	3.71	3.68	7.83	6.09	6.32
581	4.54	4.00	4.10	3.69	3.60	3.75	8.26	5.65	5.70
582	4.62	3.58	3.86	3.28	3.27	3.56	7.37	5.84	5.70
583	4.92	3.75	4.09	3.50	3.55	3.54	7.81	6.70	6.85
584	4.69	3.93	4.14	3.64	3.80	3.71	7.32	5.64	5.68
585	4.47	3.67	3.89	3.79	3.88	3.67	7.12	5.84	5.67
586	4.04	4.01	4.01	3.81	3.88	3.95	7.60	5.20	5.31
587	3.88	3.86	3.83	3.63	3.73	4.23	7.32	6.00	6.30
588	3.78	3.58	3.58	3.59	3.76	4.02	7.23	5.58	5.88
589	3.54	3.26	3.28	3.30	3.56	3.60	7.11	5.83	6.09
590	3.99	3.59	3.65	3.55	3.79	3.62	7.21	6.30	6.27
591	4.14	3.86	3.83	3.78	4.06	3.54	7.83	7.12	7.11
592	3.76	3.75	3.74	4.07	4.10	3.92	7.68	5.95	5.90
593	3.76	3.81	3.81	3.22	3.35	3.35	7.66	5.91	5.89
594	3.64	3.68	3.68	3.30	3.27	3.44	8.13	6.19	6.22
595	3.71	3.73	3.73	3.24	3.36	3.15	7.80	6.59	6.57
596	3.28	3.23	3.36	3.52	3.63	3.36	7.10	6.55	6.51
597	3.52	3.44	3.57	3.59	3.72	3.20	7.41	5.75	5.68
598	3.64	3.49	3.51	3.28	3.51	2.93	7.45	5.41	5.39
599	3.59	3.50	3.51	3.51	3.63	3.42	6.75	5.54	5.73
600	3.52	3.43	3.45	3.42	3.42	3.58	8.40	5.28	5.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัม

ตำแหน่ง Pixel	ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของค่าสี RGB								
	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
ค่าเฉลี่ย	6.66	7.12	6.75	6.39	6.91	6.35	5.36	5.93	4.66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2 ผลการศึกษาขนาดความกว้างของช่อง Slit ที่มีต่ออุปกรณ์ที่พัฒนา

### 2.1 พิจารณาแถบสเปกตรัมด้านขวาของสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตารางที่ ก.3 แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	2.74	2.60	2.96	4.05	4.04	4.07	5.98	5.75	6.21
2	2.91	2.60	3.07	3.97	3.88	3.97	6.11	5.95	5.95
3	2.53	2.19	2.49	3.66	3.64	3.72	5.79	5.68	5.72
4	3.02	2.75	3.06	3.45	3.41	3.66	5.35	5.31	5.37
5	2.89	2.62	3.07	4.01	3.92	4.41	6.05	6.07	6.10
6	3.00	2.50	3.05	4.11	4.05	4.59	5.93	5.72	6.30
7	3.27	2.86	3.24	3.89	3.82	4.22	5.67	5.55	5.88
8	3.11	2.76	3.19	3.96	3.86	4.31	5.32	5.21	5.48
9	2.82	2.38	2.88	3.69	3.64	3.84	5.80	5.63	6.01
10	2.80	2.43	2.90	4.15	4.02	4.08	6.20	5.88	6.64
11	2.53	2.23	2.67	4.19	3.98	3.99	5.55	5.25	6.03
12	2.54	2.21	2.62	4.16	3.89	4.28	5.28	5.26	5.54
13	2.90	2.42	3.07	4.49	4.16	4.55	5.25	5.25	5.36
14	3.02	2.63	3.20	4.03	3.72	4.02	6.17	6.15	6.32
15	2.99	2.62	2.90	3.85	3.52	3.98	6.51	6.46	6.60
16	2.83	2.63	2.67	3.90	3.71	4.05	5.94	6.11	6.02
17	2.79	2.46	2.47	3.57	3.46	3.84	5.68	5.80	5.82
18	2.55	2.23	2.43	3.57	3.35	3.83	6.03	6.22	6.02
19	2.87	2.13	2.48	4.03	3.91	4.17	5.93	6.02	5.97
20	2.95	2.26	2.70	4.45	4.05	4.36	6.25	6.30	6.41
21	2.28	2.07	2.45	4.00	3.77	4.14	5.75	5.85	5.94
22	2.61	2.56	2.78	4.16	3.87	4.29	5.88	5.88	5.90

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
23	2.40	2.36	2.57	4.04	3.94	4.47	5.93	5.89	5.95
24	2.39	2.35	2.62	4.28	4.16	4.62	5.59	5.41	5.57
25	2.82	2.77	2.98	4.67	3.98	4.56	5.28	5.25	5.30
26	2.65	2.49	2.77	4.50	4.08	4.57	5.36	5.18	5.41
27	2.83	2.75	2.93	4.33	3.95	4.47	5.75	5.55	5.82
28	2.90	2.72	2.99	4.56	4.12	4.74	5.07	5.19	5.17
29	2.39	2.36	2.71	4.99	4.38	5.04	5.19	5.48	5.24
30	2.46	2.41	2.79	4.47	4.09	4.85	4.92	4.96	4.98
31	2.38	2.23	2.51	4.40	4.17	4.77	5.29	5.21	5.31
32	2.39	2.28	2.57	4.63	4.16	4.65	5.27	5.10	5.50
33	2.56	2.39	2.66	4.60	4.10	4.60	5.53	5.59	5.76
34	2.35	2.22	2.44	4.66	4.20	5.21	5.79	5.89	6.00
35	2.50	2.33	2.58	5.08	3.90	6.15	5.46	5.51	5.86
36	2.50	2.35	2.58	5.22	3.74	6.38	5.10	5.10	5.60
37	2.58	2.53	2.86	5.95	4.37	8.16	5.70	5.63	5.77
38	2.98	2.92	3.16	6.62	5.26	8.52	5.82	5.71	5.94
39	2.88	2.77	3.24	5.65	3.88	8.20	5.78	5.63	6.29
40	2.65	2.57	3.03	5.15	3.52	7.41	5.79	6.05	6.05
41	2.68	2.53	2.98	5.22	3.60	7.96	6.37	6.25	6.59
42	2.60	2.45	2.88	5.11	3.99	6.97	6.47	5.99	6.69
43	2.35	2.24	2.38	5.09	4.14	6.47	6.24	5.40	6.53
44	2.21	2.20	2.41	4.32	2.81	5.57	6.42	5.80	6.72
45	2.29	2.28	2.63	3.99	2.08	5.66	5.88	4.99	6.47
46	2.21	2.19	2.52	4.35	2.11	5.79	5.61	3.98	6.22
47	2.34	2.29	2.56	3.79	1.28	4.32	5.58	3.63	6.21
48	2.44	2.42	2.64	3.57	0.92	4.40	5.59	3.82	6.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
49	2.15	2.13	2.54	4.19	0.98	4.37	5.82	3.82	6.89
50	2.35	2.34	2.55	3.89	0.94	4.50	5.61	3.94	6.44
51	2.04	2.03	2.41	4.05	0.80	4.92	5.40	3.55	6.53
52	2.18	2.17	2.51	4.14	0.79	5.35	5.08	3.41	5.58
53	2.10	2.16	2.19	4.20	0.80	5.20	4.98	3.30	5.42
54	2.16	2.22	2.47	3.89	0.91	5.35	4.75	2.82	4.49
55	2.33	2.32	2.86	3.87	1.19	5.06	4.87	2.33	4.66
56	2.60	2.48	3.15	4.15	1.63	5.40	4.80	2.02	4.50
57	2.77	2.74	3.07	4.06	1.69	4.78	4.79	2.00	4.93
58	2.45	2.46	2.67	3.47	1.27	4.28	4.72	1.62	4.77
59	2.75	2.81	2.86	4.20	1.10	4.77	5.08	2.22	5.13
60	2.63	2.71	2.76	4.23	1.54	5.18	4.88	1.49	4.68
61	2.62	2.59	3.11	4.16	1.98	5.07	5.47	1.06	5.20
62	2.56	2.55	3.13	3.80	1.79	4.78	4.86	0.92	4.63
63	2.35	2.35	2.89	3.70	1.41	4.18	5.21	1.00	4.89
64	2.49	2.50	3.50	3.83	1.71	3.93	4.66	0.81	5.13
65	2.50	2.47	3.15	3.95	1.56	4.47	4.69	0.89	5.27
66	2.58	2.49	3.99	3.94	1.46	4.72	5.18	1.20	4.99
67	2.42	2.14	3.66	3.42	1.17	4.36	5.25	1.35	4.94
68	2.54	2.03	3.93	3.74	1.59	4.05	5.39	1.18	5.15
69	2.72	1.93	4.67	3.91	1.71	4.53	5.95	1.61	5.70
70	2.97	2.05	5.28	3.91	1.94	4.18	5.45	1.40	5.54
71	3.21	1.94	6.32	3.59	1.69	3.99	5.25	1.56	5.20
72	3.28	2.10	7.13	3.79	1.97	4.18	4.82	1.15	4.44
73	3.54	2.64	7.16	3.68	1.77	4.60	4.89	1.25	4.40
74	3.60	2.95	6.70	3.68	1.43	4.73	5.11	1.31	4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
75	3.64	3.32	6.59	3.75	1.47	4.61	4.75	1.34	3.76
76	3.71	2.83	5.69	4.31	1.60	4.21	4.72	1.59	3.03
77	3.64	2.60	5.99	4.74	1.50	4.38	4.81	1.77	2.79
78	3.81	2.52	5.69	4.58	1.48	4.04	4.57	1.56	2.02
79	3.24	1.58	4.78	4.06	1.44	4.02	4.65	2.06	1.86
80	3.23	1.27	4.99	3.95	1.42	3.98	4.41	1.69	1.02
81	3.29	1.17	5.23	4.34	1.57	4.38	4.58	1.94	1.06
82	3.34	1.44	5.20	4.33	1.46	4.33	4.47	1.50	0.62
83	3.78	2.11	5.47	3.81	1.44	3.82	4.74	1.83	0.58
84	3.98	2.13	5.73	3.43	1.32	3.64	5.17	2.21	0.76
85	3.40	1.49	5.90	4.05	1.26	4.17	5.06	1.96	0.83
86	3.60	1.54	6.37	4.41	1.02	4.03	4.42	1.51	0.46
87	3.29	1.50	5.70	5.08	0.79	4.32	4.94	1.67	0.82
88	4.12	2.93	6.03	5.70	0.99	5.58	5.22	1.78	0.54
89	3.80	1.92	6.39	6.68	1.62	5.98	5.56	1.81	0.66
90	3.87	1.81	6.75	6.23	2.41	5.18	4.90	1.37	0.58
91	3.41	1.86	5.57	6.09	2.72	3.90	4.77	1.50	0.50
92	3.13	1.63	5.26	5.77	2.54	2.42	4.77	1.52	0.26
93	3.27	1.48	5.62	5.56	2.67	1.33	5.37	1.82	0.28
94	3.70	1.81	6.55	5.43	2.95	0.39	5.22	1.72	0.28
95	3.54	1.96	6.21	5.37	3.08	0.27	5.34	1.74	0.26
96	3.92	2.21	6.21	5.11	3.20	0.05	5.60	1.28	0.49
97	3.70	1.84	5.31	5.23	2.78	0.04	5.50	1.19	0.72
98	3.56	1.78	5.26	4.76	3.36	0.00	6.47	1.33	0.77
99	3.45	1.48	4.96	4.64	3.14	0.00	6.29	1.44	0.33
100	3.61	1.27	5.57	4.05	2.87	0.00	6.38	1.72	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
101	3.66	1.63	5.91	3.99	3.12	0.00	7.23	1.86	0.74
102	3.85	2.04	6.16	4.19	3.39	0.00	7.88	2.02	0.44
103	3.59	2.11	5.85	4.21	3.09	0.00	8.63	2.78	0.84
104	3.63	2.00	6.12	4.34	3.18	0.00	8.64	3.44	0.10
105	3.66	1.65	6.15	4.38	3.41	0.00	9.42	3.62	0.35
106	3.87	1.58	6.48	4.14	3.29	0.00	9.59	3.26	0.05
107	3.78	1.42	5.92	4.25	2.78	0.00	10.34	4.39	0.65
108	3.67	1.60	5.64	4.80	2.71	0.00	12.09	9.54	0.61
109	3.29	1.80	5.84	4.31	1.50	0.14	16.26	14.98	0.82
110	3.71	2.25	5.93	4.89	1.48	0.29	18.16	17.87	1.18
111	3.47	2.06	4.57	6.04	1.38	0.22	20.21	19.38	1.29
112	3.35	1.84	5.08	6.45	1.59	0.03	19.22	18.99	0.95
113	3.38	1.61	5.69	6.73	1.39	0.00	19.86	19.25	1.65
114	3.55	1.79	6.55	6.66	1.38	0.00	18.20	17.21	1.02
115	3.48	1.53	7.14	5.88	1.42	0.10	14.94	13.13	0.79
116	3.31	1.35	7.12	5.50	1.65	0.05	12.77	8.15	0.50
117	3.41	1.37	7.09	4.70	1.66	0.00	12.33	5.49	0.67
118	3.77	1.42	7.50	4.03	1.34	0.00	10.04	3.29	0.26
119	3.70	1.63	7.52	3.77	0.90	0.00	9.10	2.80	0.13
120	4.13	2.01	7.89	3.52	0.94	0.10	8.19	2.46	0.00
121	4.25	1.70	8.33	4.18	1.30	0.05	8.30	2.54	0.18
122	3.87	1.11	8.00	4.18	1.55	0.00	7.13	1.95	0.21
123	4.82	1.06	9.25	4.09	1.80	0.00	7.29	2.00	0.09
124	4.96	0.94	10.06	3.93	1.46	0.04	6.95	1.22	0.00
125	5.66	1.49	11.22	4.37	1.20	0.48	6.80	1.56	0.00
126	6.46	1.94	11.20	4.15	1.12	0.13	6.22	1.50	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
127	6.26	2.25	9.97	3.56	1.03	0.10	6.18	1.71	0.03
128	5.76	2.27	9.18	3.28	1.30	0.00	6.05	1.72	0.00
129	5.94	2.47	8.96	3.12	1.67	0.43	6.08	2.10	0.00
130	6.27	2.75	8.94	3.55	1.85	0.56	6.59	1.86	0.00
131	5.79	3.30	7.32	3.58	1.59	0.13	6.53	2.33	0.30
132	6.53	3.55	5.93	3.31	1.31	0.31	6.53	2.47	0.00
133	6.75	4.06	5.43	3.18	0.97	0.50	6.09	2.81	0.00
134	6.43	4.23	4.56	3.24	1.19	0.18	5.78	1.91	0.00
135	5.90	4.72	2.31	3.05	1.11	0.30	6.18	1.85	0.05
136	5.73	4.67	2.75	3.28	1.20	0.55	7.00	2.40	0.03
137	6.29	4.30	4.18	3.27	1.49	0.47	7.25	2.48	0.10
138	7.19	4.38	6.19	3.53	1.48	0.44	6.03	1.81	0.08
139	8.52	3.90	9.04	3.21	0.99	0.78	5.76	1.76	0.00
140	8.03	3.84	8.96	3.18	0.96	0.77	6.03	2.68	0.00
141	6.86	2.65	7.52	3.57	1.31	0.79	6.65	2.74	0.00
142	6.62	2.07	7.78	3.59	1.32	0.80	6.26	1.69	0.05
143	5.35	1.44	6.11	3.58	1.53	1.03	6.61	2.13	0.14
144	5.09	1.99	5.81	3.58	1.74	1.26	6.41	1.69	0.24
145	4.16	1.73	4.82	3.51	1.74	1.87	6.30	1.68	0.06
146	4.19	1.78	4.46	3.33	1.62	1.40	5.78	1.09	0.18
147	4.38	1.24	4.51	3.66	1.75	1.96	6.21	1.36	0.39
148	4.17	0.91	4.12	3.23	1.80	2.09	7.24	1.63	0.41
149	3.55	0.74	3.89	3.66	1.82	3.14	7.99	1.83	0.41
150	3.52	0.73	3.64	3.37	1.44	3.09	7.30	1.17	0.36
151	3.28	1.11	3.42	3.09	1.17	3.20	7.77	1.34	0.35
152	3.58	1.22	3.93	3.19	1.28	3.70	7.05	1.37	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
153	3.42	0.99	4.21	3.27	1.38	4.02	6.62	1.50	0.10
154	3.34	1.17	4.34	2.98	1.48	3.60	5.95	1.71	0.03
155	3.60	1.24	4.39	3.00	1.57	3.60	5.85	1.80	0.00
156	3.50	1.15	4.26	2.78	1.58	3.34	5.81	1.74	0.08
157	3.33	1.10	4.79	3.26	1.78	4.27	6.80	2.02	0.37
158	3.57	1.32	5.21	3.19	1.71	3.88	6.62	1.80	0.00
159	3.74	1.45	5.08	3.60	1.80	3.94	6.84	1.86	0.11
160	3.73	1.49	4.96	3.34	1.65	3.61	6.76	1.44	0.13
161	4.08	1.53	5.17	3.34	1.67	3.90	6.90	1.47	0.13
162	4.05	1.48	5.24	3.45	1.68	4.20	6.18	1.72	0.00
163	3.54	1.12	4.85	3.61	1.51	5.16	6.10	1.86	0.03
164	3.41	0.88	4.75	3.64	1.36	4.85	6.45	2.24	0.08
165	3.17	0.66	4.42	3.98	1.28	5.04	6.88	2.59	0.03
166	3.61	0.87	4.83	3.72	1.14	4.64	5.86	2.04	0.00
167	4.06	1.02	5.51	3.72	1.53	4.53	6.53	2.47	0.00
168	4.02	1.05	5.33	3.40	1.25	4.10	6.15	2.55	0.00
169	4.53	1.18	5.28	3.48	1.41	4.52	5.89	2.47	0.05
170	4.21	1.37	4.86	3.64	1.67	4.31	5.40	2.47	0.00
171	3.55	1.09	4.08	3.83	1.88	4.93	5.39	2.52	0.00
172	3.52	1.18	4.23	4.03	1.94	4.80	6.35	2.88	0.00
173	3.33	1.25	4.93	3.82	2.02	4.82	6.35	2.66	0.00
174	3.45	0.94	5.07	3.48	1.71	4.33	5.53	2.34	0.00
175	3.04	0.61	4.80	3.94	1.48	5.04	5.90	2.62	0.00
176	3.33	0.74	4.74	4.16	1.91	4.80	5.84	2.27	0.03
177	3.09	1.21	4.69	4.96	2.87	4.96	6.30	2.53	0.04
178	2.97	1.09	4.64	5.32	3.17	5.76	6.00	2.52	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
179	2.99	1.07	4.29	5.06	3.19	5.42	5.62	2.15	0.00
180	3.48	1.60	4.08	5.04	3.38	5.92	5.88	2.39	0.44
181	3.73	1.44	4.78	5.63	4.12	6.07	6.08	2.65	0.06
182	3.73	1.58	4.59	5.57	5.24	6.77	5.48	2.38	0.00
183	3.55	1.67	4.40	6.07	5.30	6.86	5.88	2.67	0.00
184	3.60	1.69	4.18	6.47	5.76	7.38	5.85	2.68	0.03
185	3.08	1.29	4.44	6.64	5.85	7.75	6.08	2.73	0.08
186	3.47	1.30	4.44	7.25	6.47	8.65	7.09	3.09	0.19
187	3.12	1.17	4.25	6.82	6.95	8.23	7.31	3.39	0.12
188	2.91	0.94	3.91	7.57	8.12	8.79	7.61	3.77	0.55
189	2.89	1.00	4.09	8.28	8.70	9.24	9.41	5.53	1.53
190	3.28	1.29	4.46	7.19	7.60	8.10	10.02	7.93	0.97
191	3.44	1.86	4.23	6.92	7.28	7.92	9.42	8.81	1.29
192	3.42	1.84	4.25	6.85	6.81	7.77	10.21	9.54	1.46
193	3.60	1.40	4.44	7.49	7.65	8.17	11.31	11.15	2.45
194	3.23	1.36	3.89	7.40	7.40	7.77	10.50	11.75	2.32
195	3.09	1.34	3.99	7.00	7.11	8.02	12.19	12.59	3.88
196	3.16	1.32	3.82	7.46	7.01	8.22	13.58	13.84	5.63
197	3.47	1.19	3.97	7.15	6.99	7.73	13.37	13.51	7.10
198	3.51	1.21	3.91	6.66	6.72	7.16	15.88	16.16	9.97
199	3.55	1.20	3.87	6.73	6.87	7.38	13.94	14.95	10.19
200	3.29	1.15	3.63	7.57	7.64	8.16	13.01	13.11	10.85
201	3.02	1.21	3.41	6.77	7.34	7.42	13.12	13.19	12.28
202	2.89	1.22	3.44	6.14	6.96	6.99	11.38	11.67	11.00
203	3.31	1.57	3.62	5.96	6.77	6.70	11.51	11.13	11.46
204	3.44	1.67	3.64	6.11	7.02	7.11	12.10	11.98	12.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
205	3.64	1.90	3.94	5.90	6.44	6.48	11.36	11.82	10.78
206	3.69	1.68	4.19	5.93	6.92	6.97	10.94	11.89	12.26
207	3.21	1.44	3.99	6.39	7.62	7.31	9.21	10.47	11.30
208	3.24	1.50	4.12	5.99	6.64	7.23	8.08	10.74	10.65
209	3.27	1.71	4.23	5.30	6.07	7.34	7.99	10.39	10.48
210	3.37	1.71	3.89	5.31	6.74	8.23	7.47	10.38	9.89
211	3.36	1.74	3.79	5.23	6.12	8.31	5.72	8.51	8.13
212	3.37	2.02	3.76	5.05	6.37	7.72	5.71	8.40	8.34
213	3.49	2.40	4.30	4.79	5.71	6.29	5.57	8.58	8.32
214	3.62	2.54	4.71	4.81	5.44	6.40	5.92	8.61	8.74
215	3.86	3.14	5.14	5.06	5.78	6.86	5.13	7.57	8.06
216	3.73	3.01	4.37	5.34	6.17	7.57	5.48	8.32	8.75
217	4.24	3.67	5.11	5.29	6.22	7.31	4.87	7.88	8.21
218	3.87	3.62	4.88	5.25	6.01	7.03	5.03	7.63	8.26
219	3.94	3.75	5.22	5.48	6.23	7.31	5.16	6.81	6.91
220	4.28	4.41	5.55	5.43	6.42	7.65	5.34	6.87	7.07
221	3.75	4.10	5.55	4.97	6.39	7.62	5.41	6.99	7.22
222	4.16	4.25	6.06	5.16	6.11	7.46	5.02	7.17	7.94
223	4.92	5.22	6.64	5.21	6.07	7.18	5.07	6.83	7.33
224	4.43	4.64	5.97	4.92	6.03	6.93	5.55	7.73	8.13
225	4.66	5.02	6.35	5.04	6.22	7.45	5.33	7.28	7.61
226	4.76	5.04	6.05	4.99	6.34	7.87	6.00	7.36	7.53
227	5.48	5.35	6.64	4.69	6.11	7.48	5.39	6.77	7.21
228	4.68	4.77	6.10	5.02	6.52	7.97	6.16	7.56	8.32
229	4.63	4.79	5.97	5.10	6.15	7.55	6.18	7.23	7.85
230	4.98	5.26	6.26	4.69	5.59	7.24	6.54	8.15	8.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
231	5.24	5.18	6.39	4.88	5.95	7.11	6.32	8.18	8.84
232	5.05	5.09	6.38	4.64	5.38	6.95	5.50	8.21	9.10
233	4.88	5.21	6.67	4.79	5.40	7.03	6.05	9.21	10.31
234	5.23	5.67	6.60	5.51	5.68	6.81	6.41	9.02	9.59
235	5.15	5.58	6.12	5.61	5.73	6.77	6.66	9.25	9.56
236	4.79	4.88	5.32	6.13	5.73	6.82	7.02	10.16	10.39
237	5.15	5.81	6.22	6.36	5.98	6.59	7.12	10.20	10.29
238	5.71	6.34	6.50	6.00	5.08	5.72	6.27	9.13	9.35
239	5.32	5.87	5.88	6.15	5.27	5.99	6.46	9.53	10.03
240	5.22	5.63	5.97	6.51	5.48	6.04	6.37	9.64	10.00
241	4.93	5.27	5.72	7.16	6.29	6.80	6.32	9.45	9.58
242	4.68	5.29	5.45	6.52	5.89	6.20	6.79	9.76	9.86
243	5.28	5.74	5.94	6.68	6.07	6.39	6.14	8.51	8.77
244	5.22	5.98	6.31	6.85	6.05	6.32	6.88	8.85	8.96
245	5.42	5.82	5.97	6.38	5.99	6.38	6.48	8.28	8.48
246	5.31	5.79	5.97	6.11	5.09	5.13	7.18	8.72	9.17
247	5.79	6.00	6.72	6.10	5.63	5.60	6.96	8.71	9.45
248	4.67	5.02	6.17	6.24	5.91	6.14	7.34	8.69	9.34
249	5.15	5.37	5.94	6.38	5.67	5.74	6.56	7.93	8.54
250	5.72	6.11	6.05	6.27	5.83	5.77	6.97	7.97	8.48
251	5.65	6.01	6.16	6.72	6.37	6.39	6.26	7.37	7.72
252	5.47	5.72	6.25	6.18	5.81	5.92	6.79	7.65	8.07
253	5.42	5.77	6.56	6.45	6.40	6.37	7.13	7.59	8.18
254	5.00	5.20	6.06	6.70	6.15	6.30	8.06	8.45	8.91
255	5.67	6.35	6.31	6.66	6.28	6.34	7.42	7.59	8.06
256	5.57	5.93	6.47	6.35	6.03	5.86	7.65	8.09	8.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
257	5.31	5.26	6.14	7.22	6.79	6.62	7.73	8.12	8.63
258	5.59	5.49	6.24	6.86	6.08	6.13	7.27	7.46	7.94
259	5.78	5.89	6.63	7.11	6.23	6.45	7.19	7.22	7.62
260	5.66	5.92	6.32	6.18	5.80	5.58	7.78	7.78	8.49
261	5.83	6.06	6.21	6.48	5.98	5.86	7.55	7.77	8.21
262	5.60	6.25	6.37	6.65	6.34	6.33	7.53	8.25	8.47
263	5.19	5.54	5.57	6.62	6.25	6.30	7.48	8.14	8.53
264	5.29	5.87	5.98	6.17	5.92	5.93	7.90	7.61	7.83
265	5.12	5.34	5.43	6.47	6.21	6.14	8.15	7.56	7.89
266	4.41	4.80	4.81	6.49	6.45	6.49	8.96	8.93	9.27
267	5.21	5.50	5.51	6.19	6.57	6.37	8.14	7.88	8.28
268	4.13	4.25	4.42	5.88	5.77	5.65	7.77	7.86	7.75
269	4.78	5.04	5.10	5.73	5.51	5.65	7.98	8.00	7.94
270	4.88	5.18	5.30	6.20	6.07	6.21	8.71	8.52	8.57
271	4.63	4.98	5.06	5.94	5.95	5.90	8.44	7.87	7.97
272	4.73	5.00	5.07	5.97	6.14	6.14	8.93	8.46	8.46
273	4.21	4.25	4.33	6.19	6.38	6.16	9.40	9.34	9.05
274	4.34	4.49	4.39	6.15	6.13	5.87	8.30	8.16	8.31
275	5.10	5.27	5.28	6.33	6.33	6.07	8.65	8.29	8.58
276	4.43	4.52	4.57	5.74	5.78	5.57	8.60	8.37	8.42
277	4.42	4.48	4.64	4.83	5.23	4.97	8.43	8.38	8.94
278	4.18	4.15	4.13	5.42	5.70	5.49	8.84	8.44	8.64
279	4.90	4.83	5.12	5.27	5.57	5.33	9.00	8.06	8.09
280	5.08	5.17	5.55	5.68	5.72	5.66	8.34	8.43	8.47
281	4.66	4.87	5.04	5.56	5.52	5.42	7.84	7.77	8.14
282	5.08	5.23	5.31	5.85	5.63	5.66	7.09	7.09	7.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
283	4.47	4.37	4.37	5.94	5.67	5.84	6.94	6.77	7.01
284	4.45	4.32	4.55	5.53	5.44	5.61	7.70	7.51	7.77
285	4.21	4.18	4.18	5.80	5.76	5.86	8.49	8.52	8.80
286	4.26	4.15	3.97	5.22	5.28	5.37	7.34	7.73	7.75
287	4.22	4.25	4.50	5.34	5.74	5.49	7.42	7.43	8.04
288	4.80	4.79	5.19	5.36	5.46	5.10	7.55	7.35	7.92
289	4.38	4.57	4.74	5.46	4.97	5.22	8.77	8.40	8.71
290	3.95	4.06	4.24	6.01	5.57	6.04	9.84	9.30	9.48
291	3.94	3.97	4.21	5.83	5.53	5.81	8.25	7.54	7.65
292	3.65	3.64	3.95	5.67	5.49	5.71	8.54	8.19	8.62
293	3.39	3.38	3.52	5.95	5.75	6.15	8.71	8.56	8.99
294	3.80	3.80	3.88	4.93	4.90	5.35	8.18	8.16	8.35
295	3.87	3.84	4.05	5.21	5.33	5.90	8.34	8.09	8.17
296	3.34	3.32	3.43	5.27	5.22	5.71	8.03	7.96	8.21
297	3.52	3.53	3.65	6.04	5.89	6.40	7.88	7.59	7.87
298	3.18	3.25	3.20	5.25	5.21	5.62	8.00	7.80	8.02
299	3.29	3.24	3.34	5.32	5.25	5.61	7.54	7.34	7.53
300	3.38	3.30	3.37	5.83	5.64	5.70	7.91	7.76	8.08
301	3.18	3.20	3.38	5.58	5.62	5.79	8.20	8.16	8.38
302	3.62	3.61	3.84	5.87	5.71	6.36	8.41	8.52	8.75
303	4.35	4.42	4.42	6.50	6.00	6.39	8.59	8.73	8.85
304	4.27	4.33	4.33	6.36	6.05	6.26	8.47	8.21	8.60
305	3.39	3.44	3.45	6.03	5.90	6.18	7.76	7.72	7.65
306	3.28	3.32	3.36	5.44	5.34	5.52	9.17	8.81	9.20
307	3.13	3.13	3.27	5.47	5.25	5.35	8.83	8.40	8.82
308	2.65	2.65	2.71	5.26	5.49	5.39	8.16	7.81	8.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
309	2.64	2.63	2.71	5.86	5.94	6.22	8.53	8.38	8.49
310	2.83	2.83	2.89	4.99	4.88	5.09	8.25	8.08	8.39
311	3.26	3.29	3.30	5.92	5.53	5.57	8.19	8.21	8.40
312	2.95	2.98	3.02	5.84	6.01	5.95	8.03	8.05	8.08
313	3.35	3.35	3.37	5.83	5.85	5.73	8.38	8.21	8.48
314	3.78	3.78	3.80	5.67	5.72	5.57	8.72	8.38	8.94
315	3.21	3.21	3.22	6.53	6.12	6.20	7.58	7.72	7.64
316	2.92	2.92	2.94	6.55	6.37	6.35	8.38	8.26	8.47
317	3.03	3.03	3.04	6.39	6.47	6.49	9.14	8.84	9.18
318	3.18	3.18	3.19	6.41	6.27	6.34	8.69	8.26	8.81
319	3.05	3.05	3.08	5.73	6.14	5.84	8.16	7.96	8.19
320	2.81	2.81	2.83	5.24	5.35	5.37	8.94	8.90	8.99
321	3.14	3.14	3.12	5.80	5.33	5.82	8.89	8.64	9.05
322	3.12	3.12	3.11	6.13	5.68	5.98	9.32	9.19	9.38
323	3.09	3.09	3.12	6.43	5.88	6.11	8.85	8.86	8.97
324	2.84	2.84	2.83	6.26	5.81	5.96	8.50	8.27	8.19
325	3.43	3.43	3.42	6.02	5.92	6.17	8.72	8.67	8.47
326	3.32	3.32	3.33	5.31	5.81	5.70	9.01	8.80	8.93
327	2.87	2.87	2.90	5.35	5.96	5.45	9.17	8.84	9.03
328	3.16	3.16	3.17	5.63	5.93	5.69	9.16	8.92	9.27
329	3.21	3.21	3.23	5.29	5.07	5.79	8.87	8.59	8.99
330	2.94	2.94	2.94	5.56	5.28	5.77	9.10	8.59	8.80
331	3.47	3.47	3.47	4.85	4.97	5.09	9.31	8.94	9.23
332	3.13	3.13	3.13	5.37	5.31	5.61	9.32	9.04	9.00
333	3.01	2.97	3.13	6.13	5.72	6.16	9.13	8.95	8.69
334	3.06	3.01	3.18	6.34	6.18	6.53	8.97	8.68	8.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
335	3.33	3.33	3.39	5.72	5.76	5.92	9.18	8.86	9.11
336	3.63	3.63	3.67	5.97	5.86	6.34	8.48	8.11	8.22
337	3.29	3.29	3.37	6.76	6.60	7.20	8.92	8.66	8.81
338	3.22	3.22	3.22	5.88	5.73	5.95	9.41	8.94	9.05
339	3.19	3.19	3.25	6.48	6.30	6.66	9.40	9.10	8.88
340	2.93	2.84	3.01	7.05	6.79	6.96	9.20	9.11	9.13
341	3.20	3.03	3.33	6.90	6.99	7.12	9.26	9.17	9.14
342	3.54	3.57	3.72	6.83	6.95	6.92	9.39	9.00	9.14
343	3.75	3.48	3.60	5.57	5.76	5.64	10.00	9.83	10.15
344	4.22	3.92	3.98	5.67	6.00	5.92	9.16	9.17	9.41
345	3.50	3.63	3.52	5.81	5.68	5.59	8.89	9.03	9.12
346	3.48	3.70	3.54	6.05	5.70	6.14	9.32	9.79	9.38
347	3.62	3.94	3.75	5.38	5.19	5.31	9.42	10.11	9.93
348	3.99	4.15	4.00	5.31	5.38	5.49	10.40	10.21	12.40
349	4.45	4.35	4.23	5.74	5.88	5.72	11.11	11.23	12.67
350	4.48	4.39	4.33	5.66	6.11	5.60	11.26	11.56	13.66
351	4.48	4.53	4.66	5.85	6.01	6.01	13.03	12.85	15.43
352	4.39	4.40	4.77	5.19	5.12	5.51	14.17	14.07	15.49
353	4.11	4.12	4.70	5.33	5.14	5.66	11.46	12.10	12.30
354	4.63	4.61	5.14	5.61	5.30	5.51	10.59	10.60	12.13
355	4.14	4.17	4.51	5.53	5.29	5.58	10.21	10.19	10.93
356	3.89	3.92	4.22	6.01	5.63	6.20	10.87	10.59	11.67
357	4.10	4.07	4.58	6.12	6.00	6.36	11.00	10.66	11.35
358	3.55	3.71	4.00	5.63	5.39	5.87	10.39	10.37	10.05
359	3.72	4.12	3.95	5.13	5.11	5.53	10.00	9.84	9.92
360	4.07	4.47	4.30	5.23	4.97	5.22	9.51	9.51	9.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
361	3.58	4.21	3.66	5.51	5.56	5.74	11.90	11.89	11.89
362	3.82	4.08	3.90	5.64	5.68	5.83	12.84	12.41	12.77
363	4.06	4.40	4.43	5.55	5.63	5.81	11.30	11.17	11.28
364	4.21	4.56	4.46	5.52	5.84	5.83	11.32	10.99	11.23
365	4.36	4.54	4.28	6.14	6.17	6.52	11.76	11.68	11.73
366	4.01	4.00	4.25	5.90	5.83	6.20	11.36	11.13	11.21
367	4.38	4.31	4.47	6.07	6.02	6.17	11.81	11.48	11.32
368	4.52	4.62	4.50	6.01	5.61	6.03	11.54	11.09	11.02
369	4.14	4.50	4.36	6.68	6.61	6.54	11.03	10.98	11.17
370	4.56	4.96	4.79	6.66	6.51	6.54	11.22	10.89	11.30
371	4.86	5.01	4.96	7.11	6.81	6.97	10.39	10.07	10.31
372	4.75	5.05	4.92	7.63	7.39	7.76	10.28	10.16	10.42
373	5.13	5.54	5.24	7.72	7.81	7.62	11.14	11.10	11.33
374	4.80	5.03	5.10	7.54	7.42	7.20	10.29	10.26	10.37
375	5.29	5.46	5.32	8.67	8.14	8.54	11.42	11.25	11.32
376	4.68	4.95	4.73	9.77	8.89	9.10	12.46	11.75	11.52
377	4.67	4.87	4.79	9.74	9.00	9.05	12.28	11.93	11.44
378	4.55	5.06	4.59	10.76	10.27	9.06	11.24	10.90	10.69
379	5.21	5.47	5.36	11.39	10.31	8.96	12.71	12.55	12.17
380	4.95	5.13	5.04	12.30	11.49	9.68	11.51	11.46	11.27
381	4.32	4.49	4.43	12.54	11.29	9.56	12.47	12.46	11.98
382	5.17	5.37	5.18	11.85	10.61	8.55	13.20	12.97	12.53
383	5.46	5.59	5.61	12.67	10.80	9.86	13.20	12.79	11.64
384	5.02	5.09	5.09	12.49	10.42	9.38	11.99	11.53	10.98
385	5.34	5.73	5.51	13.39	10.62	9.26	12.63	12.28	10.88
386	5.11	5.26	5.12	15.47	12.54	10.32	12.91	10.70	9.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
387	5.91	5.85	5.94	15.36	12.40	9.81	12.35	10.39	9.24
388	4.87	4.95	4.76	12.87	12.26	10.48	12.91	10.36	9.02
389	5.01	5.22	5.03	13.68	11.70	10.29	12.19	9.88	8.42
390	5.09	5.11	5.22	13.36	11.05	8.84	10.77	8.04	7.32
391	4.57	4.74	4.73	12.27	11.44	8.57	11.35	7.77	6.85
392	4.86	4.98	5.04	13.07	11.75	10.07	12.15	9.05	7.21
393	5.19	5.27	5.14	12.04	10.26	9.26	10.83	7.99	6.91
394	5.30	5.59	5.34	10.99	10.14	8.47	11.42	7.66	7.07
395	5.49	5.48	5.57	10.84	9.71	7.81	11.38	7.78	6.81
396	5.22	5.21	5.31	10.68	9.26	8.22	9.79	7.27	6.84
397	5.37	5.51	5.36	10.54	8.71	7.44	9.97	8.29	7.72
398	5.64	5.78	5.86	10.48	9.45	7.68	8.00	6.96	6.54
399	5.84	6.11	6.10	9.48	8.52	7.40	8.36	7.18	6.51
400	6.46	6.63	6.41	9.85	8.58	7.39	9.32	8.21	7.40
401	6.52	6.55	6.33	9.57	8.32	7.81	9.48	8.35	7.29
402	6.06	6.13	5.82	9.02	8.42	7.55	9.52	8.31	7.25
403	7.52	7.68	7.03	8.95	7.63	7.14	9.44	8.69	6.96
404	6.69	6.80	5.94	9.45	8.68	7.68	8.39	7.78	6.65
405	6.23	6.42	4.93	9.64	8.83	7.95	8.51	8.25	7.08
406	7.23	7.40	5.44	8.32	7.38	6.87	8.56	8.59	7.05
407	7.99	8.07	6.02	9.08	8.11	7.25	8.36	8.33	6.11
408	7.77	7.36	5.42	8.99	8.69	7.23	7.65	7.91	6.45
409	9.03	8.72	5.68	8.49	8.36	7.10	8.57	9.45	7.42
410	10.01	9.55	5.55	9.08	8.95	7.18	8.46	9.82	7.49
411	10.66	9.93	7.36	8.12	7.99	6.92	6.52	8.64	7.54
412	10.71	10.07	7.80	8.43	8.66	7.71	6.11	8.85	7.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
413	11.52	10.52	9.06	8.92	8.92	7.49	6.07	9.38	7.74
414	11.45	9.90	8.26	9.05	8.76	7.16	5.35	9.15	7.87
415	9.87	8.62	7.26	8.27	8.54	6.93	4.96	9.03	7.56
416	9.95	8.60	6.67	9.16	9.24	7.29	4.68	8.61	6.90
417	10.04	8.22	6.91	8.04	8.75	6.54	5.04	9.12	6.85
418	9.80	8.20	6.65	8.12	8.53	6.61	5.23	10.74	8.15
419	8.97	8.71	7.43	7.69	8.17	6.32	4.16	9.00	7.04
420	7.99	7.03	5.58	7.87	8.17	6.42	3.67	8.64	7.08
421	8.29	7.39	4.94	8.34	8.36	7.30	4.35	8.54	6.47
422	8.01	7.19	4.72	8.42	8.09	7.39	5.41	9.54	7.46
423	8.55	7.67	5.36	8.83	8.86	7.32	5.87	9.97	7.22
424	9.09	8.03	5.38	8.36	8.27	6.66	4.49	9.74	7.42
425	8.34	7.25	5.24	8.14	7.88	6.60	4.52	8.81	6.52
426	9.73	8.72	6.37	8.79	8.32	7.22	4.34	9.19	6.43
427	9.85	8.57	6.79	8.51	8.53	7.16	4.15	8.55	5.86
428	10.04	8.84	7.02	8.12	8.51	6.77	4.73	10.66	7.64
429	9.33	7.90	6.57	9.71	10.82	7.59	5.38	10.42	7.09
430	9.09	7.97	6.53	9.98	10.30	7.36	5.88	10.37	6.62
431	9.68	8.34	6.47	8.91	9.02	6.88	5.52	9.64	6.20
432	9.39	8.37	6.15	9.88	9.79	7.38	5.92	11.69	7.39
433	8.86	8.01	5.68	10.37	10.97	8.32	6.03	11.70	7.37
434	9.40	9.03	6.39	10.66	10.82	8.21	5.38	10.95	7.73
435	8.80	8.96	7.27	9.89	10.14	7.90	5.03	11.43	8.07
436	9.50	8.64	7.15	9.94	10.36	7.66	5.74	13.16	9.31
437	9.76	8.51	7.23	10.28	10.40	8.09	6.46	12.61	8.25
438	9.80	8.51	7.17	9.95	9.67	7.89	7.80	12.56	6.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
439	9.36	9.02	7.50	9.26	9.14	8.37	7.09	12.58	7.21
440	9.94	9.38	7.46	10.45	10.43	9.05	6.60	13.06	8.92
441	9.22	8.97	7.45	11.10	11.08	9.41	7.64	14.12	9.35
442	9.85	9.88	8.31	11.81	12.10	9.66	6.97	13.54	9.05
443	9.96	9.69	8.21	11.15	12.41	10.12	7.15	14.35	9.12
444	9.09	9.30	8.26	10.99	11.74	9.91	6.70	13.76	9.01
445	8.65	8.42	7.74	11.26	11.12	9.60	6.90	13.08	8.18
446	9.36	8.90	8.06	10.41	9.68	8.36	8.92	15.46	9.18
447	8.26	9.05	7.52	10.60	9.97	9.14	8.66	15.28	9.30
448	8.64	9.37	7.00	10.77	10.52	9.04	8.81	16.36	10.56
449	8.63	8.34	6.79	10.22	9.92	8.80	9.08	16.68	10.69
450	9.61	8.89	7.67	9.06	8.85	8.06	8.87	17.58	11.69
451	9.56	8.55	7.37	10.14	9.78	9.51	8.77	17.52	11.46
452	9.00	7.94	6.61	10.42	9.58	9.28	9.81	18.90	12.03
453	8.00	7.22	6.08	9.14	8.65	8.47	10.12	19.58	12.33
454	8.69	8.22	7.05	8.74	8.19	8.22	10.28	20.41	13.78
455	8.63	7.98	6.69	9.89	8.39	8.52	10.66	21.00	14.65
456	8.63	7.93	6.71	9.44	8.21	8.58	10.41	19.40	13.15
457	8.07	7.95	6.81	9.15	8.17	8.55	9.15	16.29	11.80
458	8.65	8.12	6.63	8.03	7.32	7.67	9.47	17.44	13.36
459	8.68	7.87	6.18	7.88	6.87	7.08	8.85	17.05	13.14
460	8.44	7.84	6.21	7.38	6.63	6.98	8.13	15.33	12.22
461	7.78	7.31	5.88	7.50	6.54	6.79	7.32	13.85	12.06
462	7.85	7.61	6.08	7.40	6.03	6.57	8.05	14.36	13.60
463	7.35	7.32	6.14	7.57	6.00	6.55	7.17	13.52	12.97
464	7.36	7.07	5.83	6.57	5.31	5.90	6.52	12.53	11.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
465	6.97	6.50	6.36	6.04	5.18	5.63	6.11	10.78	10.52
466	6.89	6.55	6.20	5.98	5.17	5.59	6.66	9.11	9.67
467	6.65	6.25	5.97	6.30	5.03	5.44	7.09	9.91	10.28
468	6.90	6.62	6.42	5.99	4.79	5.42	7.14	9.88	9.99
469	6.69	6.77	6.61	5.89	4.41	5.29	7.00	8.99	9.27
470	6.18	6.82	5.81	5.10	4.05	4.91	7.03	7.62	8.11
471	5.65	6.11	5.48	4.69	3.97	4.53	7.13	7.58	7.77
472	6.05	5.72	5.63	4.33	3.20	4.61	6.33	6.43	6.89
473	5.92	4.99	5.40	4.44	3.31	4.72	6.64	5.87	6.90
474	6.21	5.31	5.30	4.39	3.26	4.56	6.04	5.15	6.05
475	5.96	5.01	5.06	4.72	3.45	5.36	5.86	5.03	5.87
476	5.93	5.16	5.28	4.80	3.19	5.95	6.21	4.59	5.76
477	5.08	4.31	4.40	4.12	2.89	5.04	5.45	3.77	5.35
478	5.09	4.30	4.42	4.36	2.93	5.54	5.03	3.39	5.09
479	5.08	4.25	4.44	3.67	2.56	4.03	5.07	3.61	5.64
480	4.61	3.52	3.72	4.11	2.49	4.40	4.86	2.48	4.54
481	3.78	3.18	3.45	3.99	2.84	3.76	5.59	2.58	4.40
482	3.80	3.41	3.96	4.06	2.69	3.78	5.05	2.82	4.72
483	4.11	3.26	3.62	4.10	2.66	3.55	4.84	2.41	4.44
484	3.96	3.39	3.78	4.71	2.48	3.88	4.72	2.00	4.03
485	4.32	3.10	3.51	4.64	2.39	3.59	5.02	1.96	4.22
486	4.86	3.05	3.73	4.33	2.17	3.34	4.79	2.33	4.27
487	4.57	2.91	3.64	4.72	2.30	4.05	4.72	2.39	4.54
488	4.85	2.96	3.81	5.12	2.52	4.61	4.86	1.62	4.39
489	4.29	2.41	3.22	4.49	2.21	4.03	4.83	1.81	4.48
490	4.17	2.31	3.38	4.94	2.09	3.90	4.56	1.65	4.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
491	4.35	2.34	3.32	4.99	1.83	3.55	4.03	1.84	4.30
492	4.18	2.50	3.31	5.26	2.34	3.65	3.89	1.47	3.87
493	3.64	2.16	2.93	4.86	1.80	3.27	4.55	1.61	4.28
494	3.91	1.79	2.84	4.85	1.90	3.48	4.66	1.54	3.88
495	3.68	1.87	2.96	4.75	1.53	3.03	4.59	1.82	3.72
496	3.89	2.05	3.11	5.36	2.20	3.47	4.51	1.23	3.80
497	4.06	1.77	3.19	5.46	2.07	3.34	4.91	1.75	4.21
498	4.62	1.99	3.34	5.79	2.37	3.53	4.77	1.68	4.23
499	4.51	2.32	3.05	5.39	2.02	3.20	5.14	1.79	4.21
500	4.75	2.30	3.13	5.54	1.99	3.37	5.03	1.31	3.52
501	4.38	1.84	2.90	5.09	1.72	3.03	5.11	1.60	3.88
502	4.78	1.91	3.17	4.65	1.79	3.07	4.98	1.53	4.17
503	4.88	1.29	2.96	4.22	2.19	3.16	4.95	1.87	4.18
504	5.44	2.01	3.26	3.94	2.14	3.27	5.09	1.66	3.84
505	4.73	1.65	2.76	3.98	2.33	3.21	4.92	1.88	4.08
506	4.99	1.80	2.91	4.01	2.21	3.10	5.21	1.82	3.98
507	4.51	1.73	3.03	4.67	2.45	3.81	5.44	2.00	4.32
508	4.53	1.76	3.08	4.46	2.82	3.61	5.17	2.22	4.15
509	4.91	1.75	3.00	4.42	3.00	3.76	5.54	2.58	4.56
510	5.21	2.32	3.40	4.10	2.32	3.40	4.70	2.13	3.62
511	4.43	2.06	3.35	4.22	2.18	3.49	4.91	2.16	3.32
512	4.85	1.84	3.07	4.26	2.44	3.73	4.28	2.05	3.45
513	5.42	1.46	3.21	4.11	2.76	3.81	4.99	2.74	4.12
514	4.95	1.72	3.52	4.22	2.32	3.62	5.28	1.99	3.51
515	5.11	1.67	3.31	4.21	2.10	3.76	5.12	2.21	3.62
516	4.71	1.91	3.28	4.05	2.14	3.63	4.47	1.93	3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างหับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
517	4.39	1.92	3.04	3.88	2.12	3.34	5.00	2.42	3.53
518	4.16	2.23	3.14	3.61	2.01	3.29	5.81	2.16	4.06
519	3.73	1.83	2.83	3.81	2.42	3.35	6.01	2.76	4.36
520	3.57	1.91	2.96	3.75	2.49	3.52	5.66	2.60	4.22
521	4.00	1.86	2.86	3.83	2.51	3.20	5.54	2.58	4.36
522	4.60	1.77	3.05	3.70	2.37	3.37	5.79	2.01	4.67
523	3.92	1.89	3.08	3.91	2.66	3.53	5.04	2.36	4.43
524	3.56	1.88	3.03	3.93	2.62	3.60	5.05	1.90	4.20
525	3.45	1.55	2.88	4.15	2.14	3.07	4.35	1.96	4.04
526	3.39	1.98	3.14	3.64	2.00	2.88	4.18	1.80	3.80
527	3.30	1.90	2.78	3.73	1.99	2.95	4.01	2.11	3.92
528	3.73	2.09	3.24	3.77	2.30	3.16	4.01	2.10	4.11
529	3.54	2.18	2.97	4.29	2.40	3.40	3.97	2.36	4.25
530	3.72	2.22	3.23	4.55	2.39	3.59	4.26	2.29	3.93
531	3.56	1.64	2.68	3.90	2.03	3.11	4.35	2.52	4.14
532	3.75	1.68	2.88	3.93	2.10	3.16	4.30	2.33	3.93
533	3.57	1.61	2.83	3.96	2.32	3.24	5.01	2.81	4.50
534	3.92	1.67	3.14	4.38	2.39	3.26	3.97	2.03	3.49
535	3.61	1.84	2.80	4.69	2.55	3.25	4.62	2.32	3.55
536	3.52	1.80	2.90	4.30	2.48	3.31	4.86	2.01	3.82
537	3.39	1.91	2.89	4.71	2.59	3.35	5.28	2.66	4.02
538	3.86	1.98	3.50	4.72	2.46	3.37	5.20	2.61	3.97
539	3.66	2.01	3.01	4.58	2.46	3.20	6.33	2.53	3.93
540	3.49	1.65	2.84	4.13	2.76	3.38	6.50	1.80	3.22
541	3.60	2.08	3.06	4.79	2.82	3.60	7.06	2.42	3.69
542	4.04	2.32	3.50	4.21	2.34	3.31	6.88	2.57	3.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
543	3.19	1.93	2.76	4.80	2.16	3.64	6.61	2.80	3.48
544	3.16	1.94	2.66	4.61	2.37	3.81	6.38	2.81	3.67
545	3.33	2.02	3.05	4.77	2.42	3.35	6.23	3.35	3.99
546	3.82	2.14	3.31	4.45	2.35	3.21	6.49	3.28	4.04
547	3.67	2.03	2.97	4.43	2.25	2.99	5.77	3.06	4.08
548	4.12	2.23	3.19	3.68	2.28	3.00	5.61	2.95	3.78
549	3.52	2.16	2.74	3.66	2.43	3.22	5.98	3.55	4.43
550	3.71	2.25	2.96	3.20	2.25	2.89	5.19	3.03	3.89
551	3.16	2.14	2.66	3.86	2.44	3.03	5.93	3.38	4.43
552	3.20	2.18	2.74	4.39	2.66	3.37	5.64	3.42	4.29
553	3.11	1.84	2.93	4.27	2.28	2.88	5.71	3.40	4.15
554	3.20	1.74	2.72	3.53	2.22	2.87	5.25	3.12	4.10
555	3.04	2.01	2.56	4.22	2.49	2.88	5.17	3.30	4.27
556	3.13	1.87	2.58	4.19	2.80	3.21	4.90	2.77	3.62
557	3.41	1.97	2.70	4.59	3.08	3.35	4.82	2.82	3.47
558	3.72	2.23	3.04	4.30	3.08	3.72	4.75	2.60	3.25
559	3.55	2.31	2.77	3.92	3.10	3.44	4.61	3.02	3.87
560	3.67	2.44	2.99	3.73	2.82	3.53	4.90	3.19	4.35
561	4.01	2.12	3.16	4.42	2.70	3.35	5.11	3.58	4.55
562	3.91	2.13	3.24	4.20	2.94	3.54	4.46	3.13	3.67
563	4.29	2.28	3.34	3.61	2.78	3.24	4.42	3.41	4.27
564	4.18	2.45	3.32	3.21	3.00	3.17	4.24	3.16	3.91
565	3.57	2.42	3.03	3.03	3.12	3.06	3.95	3.36	3.91
566	3.67	2.66	3.33	2.93	2.71	2.84	3.84	3.30	3.67
567	3.33	2.64	3.19	3.26	2.64	2.73	3.84	2.86	3.61
568	3.56	2.41	3.36	2.88	2.60	2.68	3.28	2.58	3.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทับทิมที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
569	3.58	2.62	3.23	2.97	2.77	2.77	4.14	3.17	3.72
570	3.51	2.39	3.07	2.91	2.92	2.88	4.17	3.12	3.77
571	3.84	2.64	3.25	3.16	2.90	2.89	4.20	3.31	3.66
572	4.13	2.71	3.56	3.25	2.97	3.19	3.94	3.12	3.34
573	4.35	2.94	3.54	3.39	2.91	3.31	4.23	3.57	3.92
574	4.26	2.79	3.50	3.19	2.80	3.20	4.26	3.38	3.90
575	3.67	2.41	2.91	3.58	2.42	2.82	4.75	3.74	4.40
576	3.72	2.32	2.90	2.95	2.46	2.77	4.63	3.46	4.03
577	3.45	2.33	2.89	2.70	2.45	2.44	4.75	4.19	4.62
578	4.04	2.65	3.35	2.71	2.58	2.62	4.64	4.24	4.51
579	3.64	2.74	3.18	3.34	3.02	3.03	4.52	3.70	4.33
580	3.53	2.41	3.01	3.39	2.95	3.00	4.44	3.44	3.73
581	3.27	2.26	2.50	2.93	2.43	2.51	4.37	3.88	4.06
582	3.70	2.71	3.04	2.65	2.52	2.59	4.29	3.57	4.26
583	3.86	2.49	2.84	2.98	2.82	3.19	4.54	3.67	4.38
584	3.92	2.60	3.03	3.36	2.99	3.54	4.49	3.62	3.87
585	3.71	2.72	3.25	3.18	2.87	3.36	4.66	3.78	4.13
586	3.93	2.72	3.10	2.89	2.70	3.25	4.35	3.55	3.91
587	3.81	2.69	2.98	3.47	2.95	3.63	3.98	3.37	3.72
588	4.02	2.74	3.06	3.37	2.99	3.60	3.79	3.18	3.65
589	3.78	2.62	2.91	3.33	3.14	3.46	4.59	4.12	4.68
590	3.93	2.79	3.04	3.12	3.09	3.21	4.46	4.09	4.52
591	3.26	2.45	2.69	3.64	3.27	3.59	4.30	3.87	4.38
592	3.45	2.83	3.04	3.44	3.15	3.41	4.10	3.92	4.34
593	2.85	2.54	2.59	3.32	3.17	3.28	3.90	3.44	3.98
594	2.98	2.67	2.77	3.68	3.49	3.44	3.94	3.85	3.90

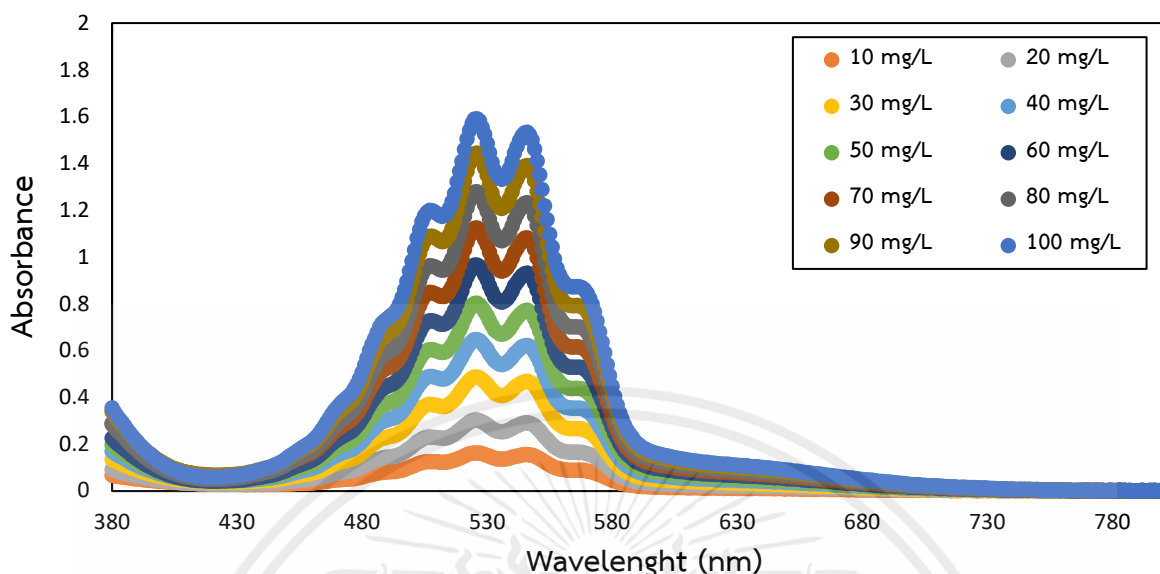
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) แสดงค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของค่าสี RGB จากแถบสเปกตรัมด้านขวาในแต่ละตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมที่ได้จากสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/L

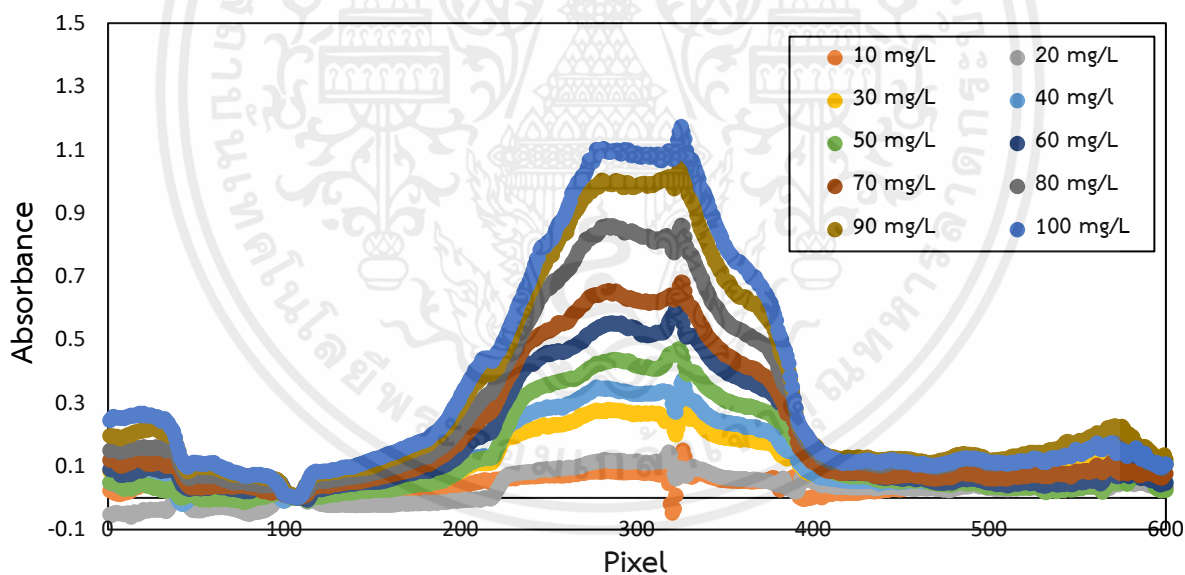
ตำแหน่ง Pixel	ช่อง Slit ขนาด 50 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 100 $\mu\text{m}$			ช่อง Slit ขนาด 200 $\mu\text{m}$		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
595	2.82	2.47	2.52	3.01	2.97	3.10	3.79	3.23	3.81
596	2.57	2.39	2.36	2.98	2.83	3.20	3.95	3.22	4.01
597	2.91	2.14	2.01	2.96	2.79	3.02	4.05	3.50	4.05
598	2.82	2.29	2.18	3.15	3.01	3.18	3.93	3.59	3.77
599	2.83	2.20	2.25	2.90	2.68	2.84	4.30	3.84	4.20
600	2.79	2.38	2.45	2.71	2.57	2.73	3.84	3.42	3.67
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>4.48</b>	<b>3.57</b>	<b>4.57</b>	<b>5.60</b>	<b>4.62</b>	<b>5.07</b>	<b>7.11</b>	<b>6.39</b>	<b>5.88</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนา

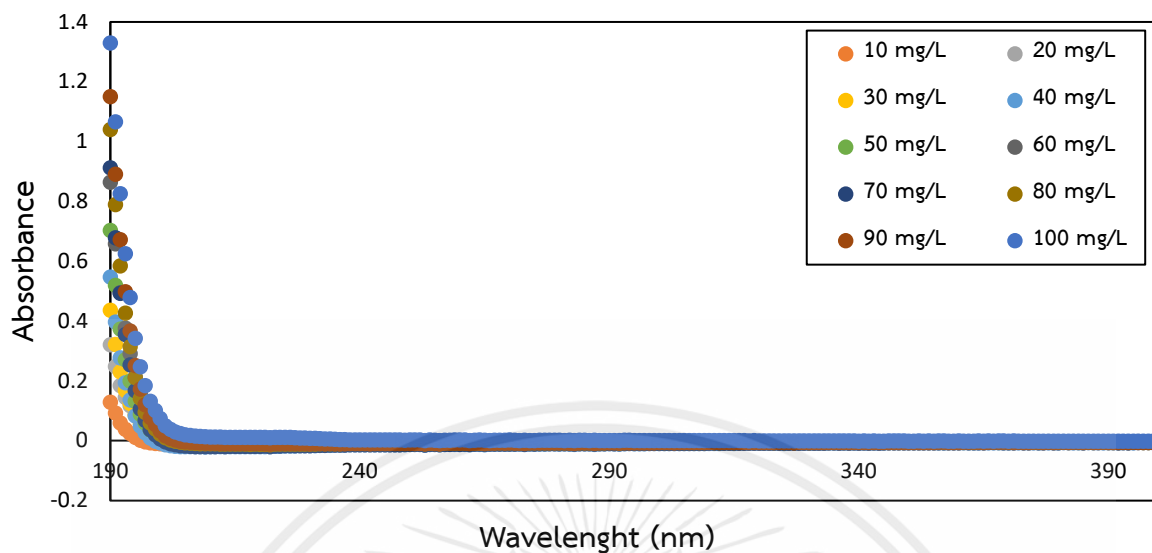


รูปที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน

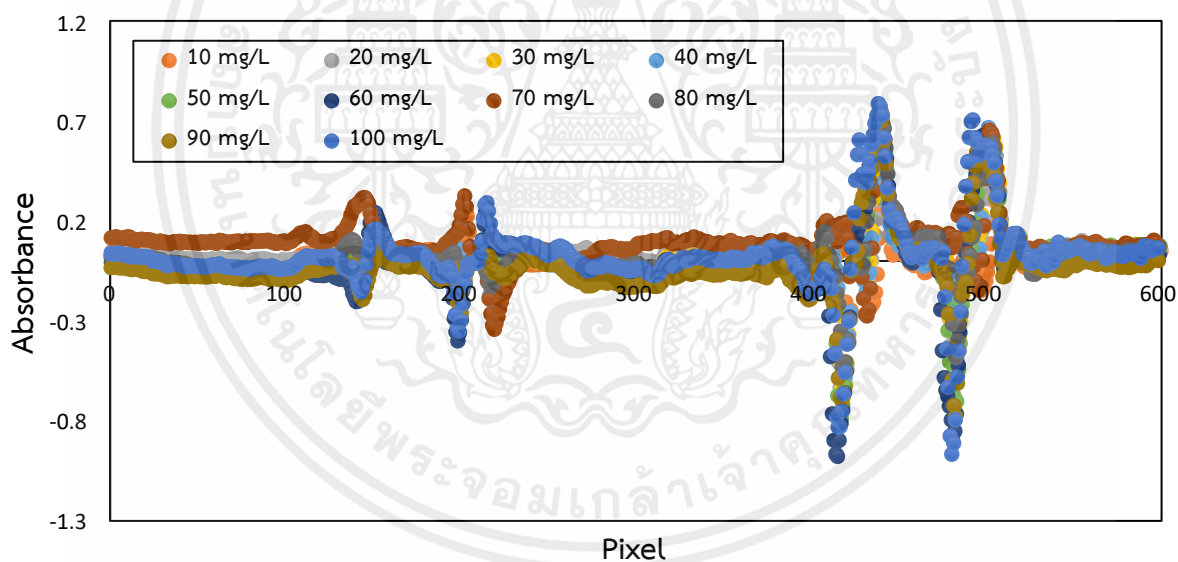


รูปที่ ก.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมของสารละลายต่างทึบที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา

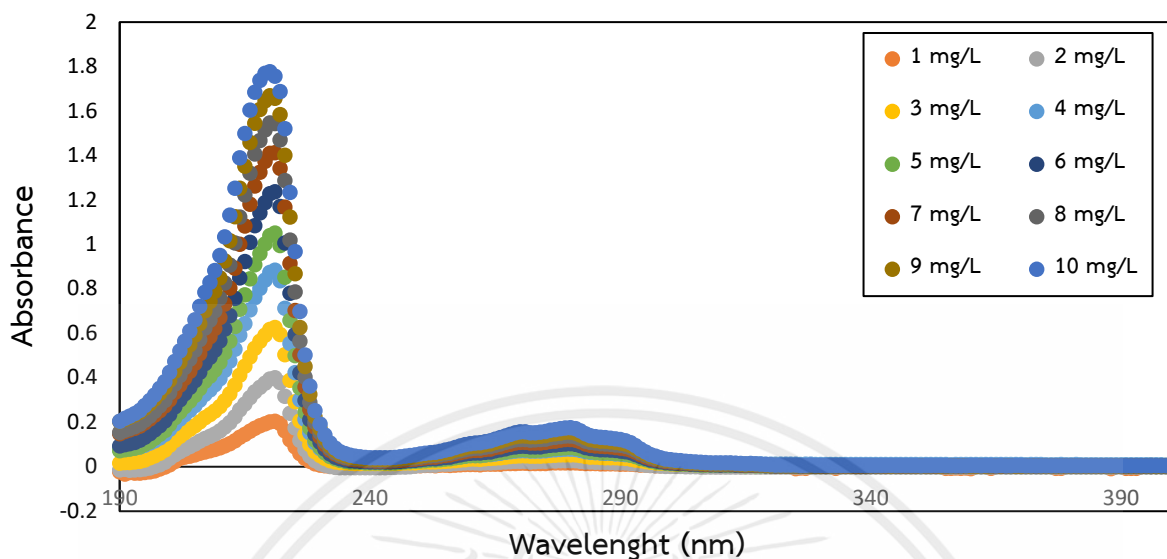
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



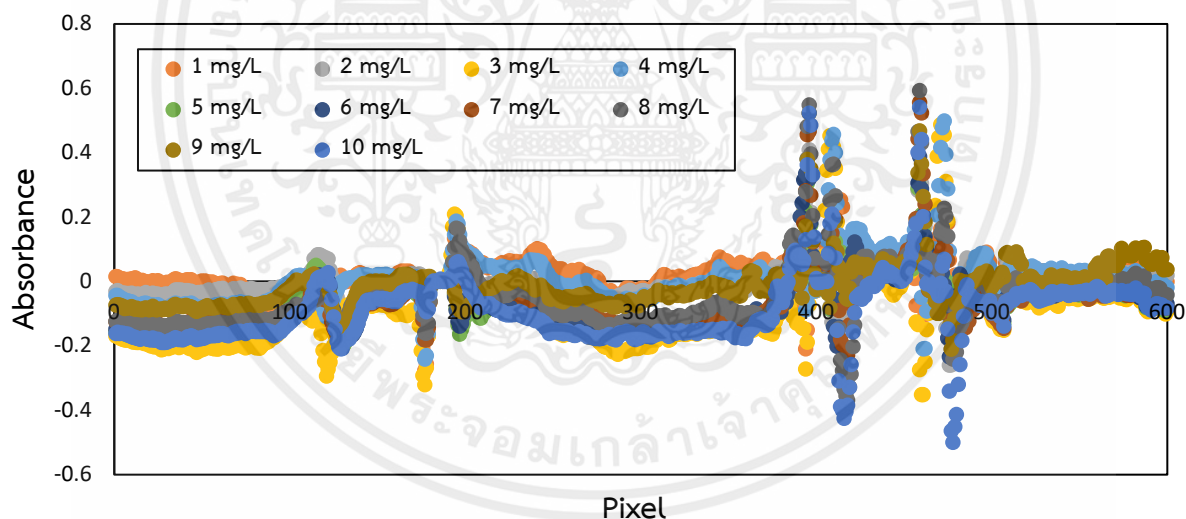
รูปที่ ก.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน



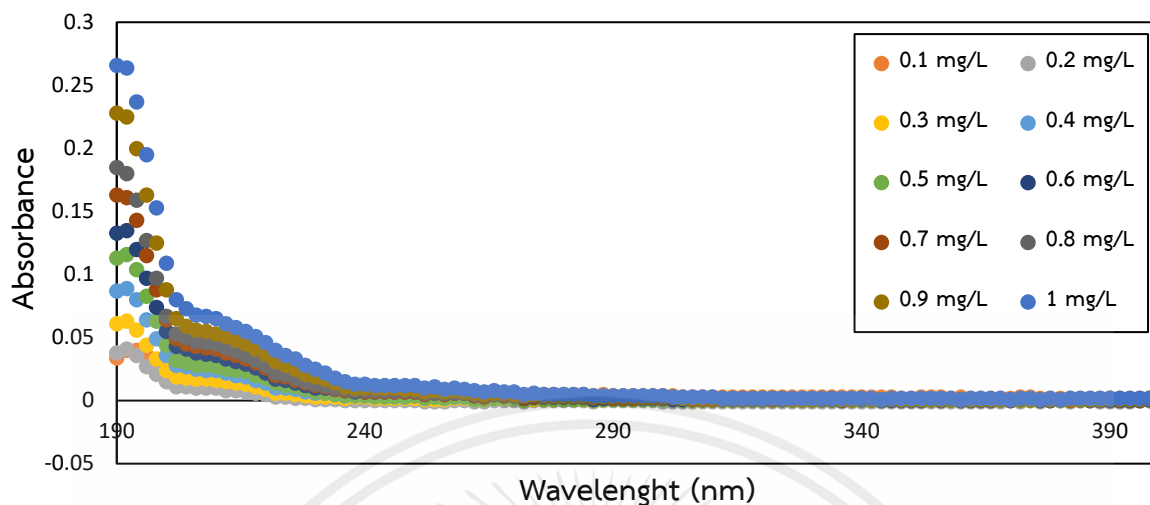
รูปที่ ก.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่ง Pixel ของภาพสเปกตรัมขอสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา



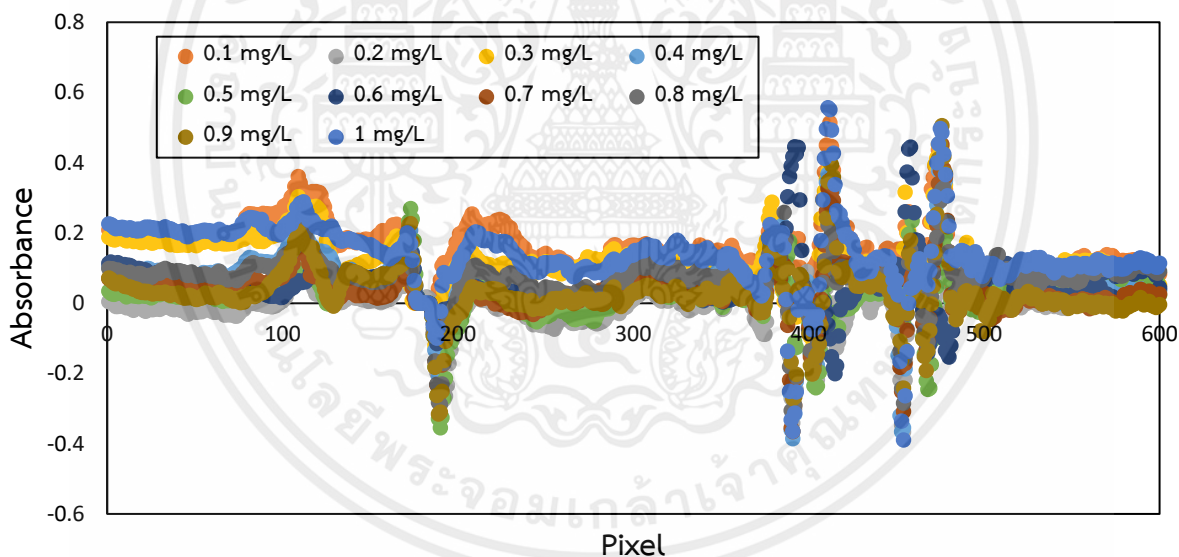
รูปที่ ก.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลายคาร์บอนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน



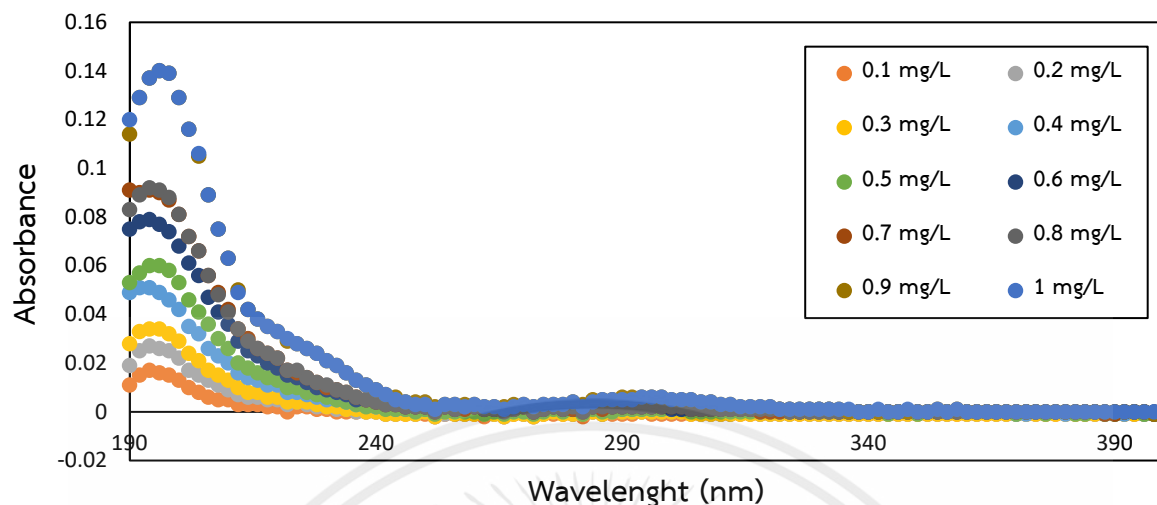
รูปที่ ก.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งPixelของภาพสเปกตรัมของสารละลายคาร์บอนที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา



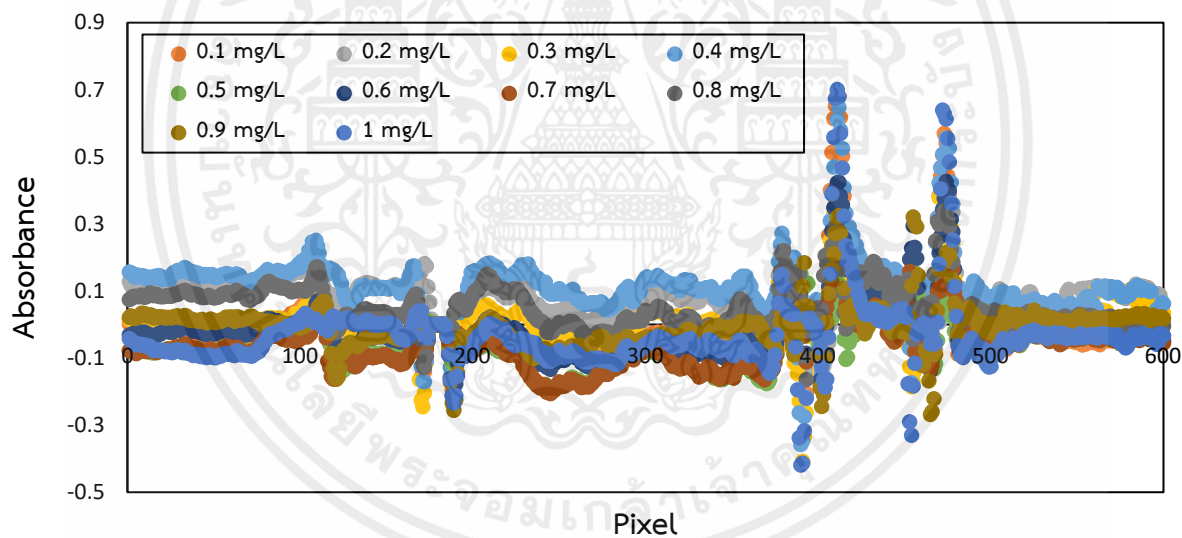
รูปที่ ก.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน



รูปที่ ก.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งPixelของภาพสเปกตรัมของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา



รูปที่ ก.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลายไคคลอโรฟอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน



รูปที่ ก.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งPixelของภาพสเปกตรัมของสารละลายไคคลอโรฟอสที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา

#### 4 ผลการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนากับเครื่องมาตรฐาน

##### 4.1 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายต่างหัตถิม

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายต่างหัตถิมที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ ได้จากเครื่อง มาตรฐาน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา		
		1. ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	2. ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง ±100จำนวน Pixel ที่ตำแหน่งที่มี ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	3. ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง 50% ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่า การดูดกลืนแสงสูงสุด
10	0.151	0.139	0.061	0.115
20	0.298	0.152	0.079	0.126
30	0.452	0.292	0.201	0.197
40	0.605	0.359	0.248	0.251
50	0.757	0.470	0.312	0.338
60	0.910	0.598	0.397	0.444
70	1.069	0.703	0.451	0.485
80	1.214	0.864	0.573	0.615
90	1.362	1.048	0.679	0.736
100	1.506	1.187	0.749	0.830
ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation: r)		0.988	0.990	0.987

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายเกลือ

ตารางที่ ก.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเกลือที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ ได้จากเครื่อง มาตรฐาน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา		
		1. ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	2. ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง ±20จำนวนPixelที่ตำแหน่งที่มีค่า การดูดกลืนแสงสูงสุด	3. ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง 10 %ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่า การดูดกลืนแสงสูงสุด
10	0.199	0.456	0.055	0.556
20	0.345	0.554	0.080	0.604
30	0.489	0.650	0.140	0.721
40	0.616	0.686	0.142	0.752
50	0.783	0.701	0.172	0.771
60	0.904	0.719	0.212	0.804
70	0.982	0.735	0.201	0.802
80	1.107	0.762	0.230	0.880
90	1.209	0.775	0.248	0.873
100	1.337	0.834	0.282	0.922
ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation: r)		0.953	0.989	0.973

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายคาร์บาริล

ตารางที่ ก.6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ ได้จากเครื่อง มาตรฐาน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา		
		1. ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	2. ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง ±10จำนวนPixelที่ตำแหน่งที่มีค่า การดูดกลืนแสงสูงสุด	3. ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง 25 %ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่า การดูดกลืนแสงสูงสุด
1	0.214	0.368	0.089	0.365
2	0.418	0.400	0.079	0.418
3	0.647	0.484	0.049	0.441
4	0.895	0.476	0.093	0.472
5	1.082	0.422	0.094	0.419
6	1.273	0.385	0.100	0.37
7	1.462	0.585	0.133	0.564
8	1.573	0.569	0.128	0.566
9	1.699	0.583	0.090	0.625
10	1.800	0.618	0.108	0.603
ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation: r)		0.807	0.618	0.809

#### 4.4 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายไซเพอร์เมทริน

ตารางที่ ก.7 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไซเพอร์เมทรินที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ ได้จากเครื่อง มาตรฐาน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา		
		1. ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	2. ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง $\pm 20$ จำนวนPixelที่ตำแหน่งที่มีค่า การดูดกลืนแสงสูงสุด	3. ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง 75 %ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่า การดูดกลืนแสงสูงสุด
0.1	0.037	0.538	0.214	0.288
0.2	0.040	0.213	0.028	0.160
0.3	0.057	0.668	0.217	0.444
0.4	0.077	0.521	0.103	0.343
0.5	0.100	0.499	0.096	0.307
0.6	0.122	0.464	0.102	0.315
0.7	0.138	0.572	0.185	0.407
0.8	0.157	0.608	0.175	0.432
0.9	0.183	0.698	0.211	0.525
1	0.211	0.631	0.211	0.455
ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation: r)		0.551	0.402	0.723

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์หาช่วงการดูดกลืนแสงที่เหมาะสมในการพิจารณาของสารละลายไดคลอรัวอส

ตารางที่ ก.8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไดคลอรัวอสที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับที่ได้จากเครื่องมาตรฐานและอุปกรณ์ที่พัฒนาจากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ ได้จากเครื่อง มาตรฐาน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา		
		1. ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด	2. ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง ±10จำนวนPixelที่ตำแหน่งที่มีค่า การดูดกลืนแสงสูงสุด	3. ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วง 10%ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่า การดูดกลืนแสงสูงสุด
0.1	0.040	0.297	0.103	0.309
0.2	0.050	0.345	0.083	0.362
0.3	0.056	0.266	0.078	0.302
0.4	0.067	0.211	0.063	0.232
0.5	0.076	0.319	0.169	0.366
0.6	0.093	0.466	0.166	0.526
0.7	0.101	0.380	0.172	0.420
0.8	0.115	0.585	0.270	0.694
0.9	0.139	0.683	0.282	0.782
1	0.141	0.549	0.152	0.631
ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation: r)		0.871	0.773	0.885

## 5 ผลการทดสอบ paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (กำหนดให้ $\alpha=0.05$ )

ตารางที่ ก.9 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายค่าทับทิม

	เครื่องมาตรฐาน	ค่าจากสมการ
Mean	0.8363	0.836244188
Variance	0.211076456	0.208235682
Observations	10	10
Pearson Correlation	0.993256428	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	9	
t Stat	0.003313455	
P(T<=t) one-tail	0.498714266	
t Critical one-tail	1.833112933	
P(T<=t) two-tail	0.997428533	
t Critical two-tail	2.262157163	

ตารางที่ ก.10 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายเกลือ

	เครื่องมาตรฐาน	ค่าจากสมการ
Mean	0.7969	0.796892328
Variance	0.1436561	0.14038656
Observations	10	10
Pearson Correlation	0.988545313	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	9	
t Stat	0.000424118	
P(T<=t) one-tail	0.499835427	
t Critical one-tail	1.833112933	
P(T<=t) two-tail	0.999670854	
t Critical two-tail	2.262157163	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายคาร์บาริล

	เครื่องหมายมาตรฐาน	ค่าจากสมการ
Mean	1.1059	1.10594406
Variance	0.303415544	0.198760228
Observations	10	10
Pearson Correlation	0.809365036	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	9	
t Stat	-0.000430686	
P(T<=t) one-tail	0.499832879	
t Critical one-tail	1.833112933	
P(T<=t) two-tail	0.999665757	
t Critical two-tail	2.262157163	

ตารางที่ ก.12 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายไซเพอร์เมทริน

	เครื่องหมายมาตรฐาน	ค่าจากสมการ
Mean	0.11205	0.112100149
Variance	0.003639636	0.001902401
Observations	10	10
Pearson Correlation	0.722937461	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	9	
t Stat	-0.003804606	
P(T<=t) one-tail	0.498523684	
t Critical one-tail	1.833112933	
P(T<=t) two-tail	0.997047368	
t Critical two-tail	2.262157163	

ตารางที่ ก.13 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ paired t-test ของสารละลายไดคลอร์วอส

	เครื่องมาตรฐาน	สร้างสมการ
Mean	0.08745	0.087435288
Variance	0.001301192	0.001019619
Observations	10	10
Pearson Correlation	0.885079147	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	9	
t Stat	0.002771002	
P(T<=t) one-tail	0.498924756	
t Critical one-tail	1.833112933	
P(T<=t) two-tail	0.997849512	
t Critical two-tail	2.262157163	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1 Function การตัดรูปภาพให้มีขนาด 100x600 Pixel

```
function [image] = loop1(pic)
```

```
pic=imrotate(pic,0.1)
```

```
r1=pic(:,,1);
```

```
r2=pic(:,,2);
```

```
r3=pic(:,,3);
```

```
M1 = max(r1,[],1);
```

```
M2 = max(r2,[],1);
```

```
M3 = max(r3,[],1);
```

```
[a1,b1]=max(M1);
```

```
[a2,b2]=max(M2);
```

```
[a3,b3]=max(M3);
```

```
if b1>=b2 && b1>=b3
```

```
    B=b1;
```

```
elseif b2>=b1 && b2>=b3
```

```
    B=b2;
```

```
elseif b3>=b1 && b3>=b2
```

```
    B=b3;
```

```
end
```

```
M11 = max(r1,[],2);
```

```
M22 = max(r2,[],2);
```

```
M33 = max(r3,[],2);
```

```
[a11,b11]=max(M11);
```

```
[a21,b21]=max(M22);
```

```
[a31,b31]=max(M33);
```

```
if b11>=b21 && b11>=b31
```

```
    A=b11;
```

```
elseif b21>=b11 && b21>=b31
```

```
    A=b21;
```

```
elseif b31>=b11 && b31>=b21
    A=b31;
End
crop=imcrop(pic,[B A+100 1736 100]);
image=imcrop(crop,[670 0 600 100]);
end
```

คำสั่งนี้จะเป็นการสร้างฟังก์ชันในการตัดรูปโดยจะทำการนำเข้ารูปภาพ 1 รูปจากนั้นจะทำการปรับมุมมองของภาพแล้วทำการแยก matrix สีของรูปภาพเป็น 3 matrix เป็น R G B เพื่อใช้หาตำแหน่งของค่าสีที่มีค่าใกล้เคียงสีขาวมากที่สุด โดยสีขาวจะมีค่าสี RGB อยู่ที่ 255 255 255 ตามลำดับ เพื่อหาจุดที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง จากนั้นเว้นระยะจากแหล่งกำเนิดแสงไปทางขวา 670 Pixel แล้วจึงทำการเริ่มตัดรูปขนาด 600x100 Pixel

## 2 การวิเคราะห์รูปภาพ

```
% image1
s1=imread('final/50/100/1.jpg');
pic1=imcrop(s1,[1736 1200 1736 1900]);%
image1=loop1(pic1);
imshow(image1)
R1=image1(:,:,1);
R1=double(R1);
G1=image1(:,:,2);
G1=double(G1);
B1=image1(:,:,3);
B1=double(B1);

% image2
s2=imread('final/50/100/2.jpg');%นำเข้ารูป
pic2=imcrop(s2,[1736 1200 1736 1900]);%ตัดรูปด้านขวา
image2=loop1(pic2);
R2=image2(:,:,1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
G2=image2(:,:,2);
B2=image2(:,:,3);
R2=double(R2);
G2=double(G2);
B2=double(B2);
```

```
% image3
```

```
s3=imread('final/50/100/3.jpg');%นำเข้ารูป
pic3=imcrop(s3,[1736 1200 1736 1900]);%ตัดรูปด้านขวา
image3=loop1(pic3);
R3=image3(:,:,1);
G3=image3(:,:,2);
B3=image3(:,:,3);
R3=double(R3);
G3=double(G3);
B3=double(B3);
```

```
% image4
```

```
s4=imread('final/50/100/4.jpg');%นำเข้ารูป
pic4=imcrop(s4,[1736 1200 1736 1900]);%ตัดรูปด้านขวา
image4=loop1(pic4);
R4=image4(:,:,1);
G4=image4(:,:,2);
B4=image4(:,:,3);
R4=double(R4);
G4=double(G4);
B4=double(B4);
```

```

% image5
s5=imread('final/50/100/5.jpg');%นำเข้ารูป
pic5=imcrop(s5,[1736 1200 1736 1900]);%ตัดรูปด้านขวา
image5=loop1(pic5);
R5=image5(:,:,1);
G5=image5(:,:,2);
B5=image5(:,:,3);
R5=double(R5);
G5=double(G5);
B5=double(B5);

```

```

% แสดงรูปภาพ
C1 = cat(1,image1,image2,image3,image4,image5);
figure, imshow(C1)
% หาค่าRMSE
sdNr2=rmse(R2,R1);
sdNg2=rmse(G2,G1);
sdNb2=rmse(B2,B1);
rmseNr2=mean(sdNr2);
rmseNg2=mean(sdNg2);
rmseNb2=mean(sdNb2);

sdNr3=rmse(R3,R1);
sdNg3=rmse(G3,G1);
sdNb3=rmse(B3,B1);
rmseNr3=mean(sdNr3);
rmseNg3=mean(sdNg3);
rmseNb3=mean(sdNb3);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sdNr4=rmse(R4,R1);
sdNg4=rmse(G4,G1);
sdNb4=rmse(B4,B1);
rmseNr4=mean(sdNr4);
rmseNg4=mean(sdNg4);
rmseNb4=mean(sdNb4);

sdNr5=rmse(R5,R1);
sdNg5=rmse(G5,G1);
sdNb5=rmse(B5,B1);
rmseNr5=mean(sdNr5);
rmseNg5=mean(sdNg5);
rmseNb5=mean(sdNb5);

mr=[sdNr2 ;sdNr3 ;sdNr4 ;sdNr5];
meanr=mean(mr);
mer=mean(meanr)
mg=[sdNg2 ;sdNg3 ;sdNg4 ;sdNg5];
meang=mean(mg);
meg=mean(meang)
mb=[sdNb2 ;sdNb3 ;sdNb4 ;sdNb5];
meanb=mean(mb);
meb=mean(meanb)

%นำค่าออกมาในexcel
t1=transpose(meanr);
t2=transpose(meang);
t3=transpose(meanb);
a = cell(600,1);
a(:,1) = mat2cell((1:600).',ones(600,1),1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
d = ["Pixel","R","G","B"];
xlswrite('C:\Users\User\Desktop\project\RGB.xlsx',d,'Sheet1','A1');
xlswrite('C:\Users\User\Desktop\project\RGB.xlsx',a,'Sheet1','A2');
xlswrite('C:\Users\User\Desktop\project\RGB.xlsx',t1,'Sheet1','B2');
xlswrite('C:\Users\User\Desktop\project\RGB.xlsx',t2,'Sheet1','C2');
xlswrite('C:\Users\User\Desktop\project\RGB.xlsx',t3,'Sheet1','D2');
```

คำสั่งนี้จะเป็นการวิเคราะห์รูปภาพโดยในส่วนแรกจะทำการนำเข้าภาพถ่ายสเปกตรัมจำนวน 5 ภาพ จากนั้นจะทำการนำเข้าฟังก์ชันการตัดรูปภาพ แล้วทำการแยก matrix สีของรูปภาพเป็น 3 matrix คือ R G B แล้วทำการเปลี่ยนลักษณะของข้อมูลจาก unit8 เป็น double แล้วทำการแสดงภาพที่ทำการตัดเป็นขนาด 600x100 Pixel แล้วเรียงกันในแนวตั้ง

ในส่วนต่อมาจะทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) โดยทำการนำค่าสี R G B ของรูปที่ 2 3 4 และ 5 เทียบกันโดยใช้สูตร rmse เทียบกับของรูปที่ 1 เพื่อหาความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของรูปที่ 2 3 4 และ 5 กับรูปที่ 1 ในแต่ละตำแหน่งของรูปภาพ จากนั้นทำการเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของรูป 2 3 4 และ 5 ในแต่ละตำแหน่ง เพื่อให้ได้ค่า ความคลาดเคลื่อนของค่าสีทั้งรูปภาพ ทั้งนี้เพื่อต้องการทราบว่าที่ตำแหน่ง Pixel ไหนมีความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมากที่สุดจึงทำการเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในคอลัมน์ (1x100) จากนั้นทำการเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในแถว (600x1) อีกครั้งเพื่อที่ต้องการทราบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในแต่ละค่า R G B ของทั้ง 5 รูปภาพ

จากนั้นจะเป็นในส่วนของการนำข้อมูลค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในแต่ละตำแหน่งที่เฉลี่ยภายในคอลัมน์เดียวกัน (1x100) ออกมาในไฟล์ excel

### 3 การหาช่วงในการวิเคราะห์และการหาค่าการดูดกลืนแสง

%น้ำกลั่น 1

```
d1=imread('sai1/0/uv/11.jpg');
pic1=imcrop(d1,[1736 1200 1736 1900])
image1=loop1(pic1);
HSV501=rgb2hsv(image1);
V501=HSV501(:,:,3);
```

%น้ำกลั่น 2

```
d2=imread('sai1/0/uv/12.jpg');
pic2=imcrop(d2,[1736 1200 1736 1900]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
image2=loop1(pic2);
HSV502=rgb2hsv(image2);
V502=HSV502(:,:,3);
```

%น้ำกลั่น 3

```
d3=imread('sai1/0/uv/13.jpg');
pic3=imcrop(d3,[1736 1200 1736 1900]);
image3=imcrop(pic3,[685 950 600 100]);
%image3=loop1(pic3);
HSV503=rgb2hsv(image3);
V503=HSV503(:,:,3);
```

%น้ำกลั่น 4

```
d4=imread('sai1/0/uv/14.jpg');
pic4=imcrop(d4,[1736 1200 1736 1900]);
image4=loop1(pic4);
HSV504=rgb2hsv(image4);
V504=HSV504(:,:,3);
```

%น้ำกลั่น 5

```
d5=imread('sai1/0/uv/15.jpg');
pic5=imcrop(d5,[1736 1200 1736 1900]);
image5=loop1(pic5);
HSV505=rgb2hsv(image5);
V505=HSV505(:,:,3);
```

%สารละลาย 1

```
s1=imread('sai1/10/uv/1.jpg');
pic6=imcrop(s1,[1736 1200 1736 1900]);
image6=loop1(pic6);
cHSV501=rgb2hsv(image6);
cV501=cHSV501(:,:,3);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%สารละลาย 2

```
s2=imread('sai1/10/uv/2.jpg');
pic7=imcrop(s2,[1736 1200 1736 1900]);
image7=loop1(pic7);
cHSV502=rgb2hsv(image7);
cV502=cHSV502(:,:,3);
```

%สารละลาย 3

```
s3=imread('sai1/10/uv/3.jpg');
pic8=imcrop(s3,[1736 1200 1736 1900]);
image8=loop1(pic8);
cHSV503=rgb2hsv(image8);
cV503=cHSV503(:,:,3);
```

%สารละลาย 4

```
s4=imread('sai1/10/uv/4.jpg');
pic9=imcrop(s4,[1736 1200 1736 1900]);
image9=loop1(pic9);
cHSV504=rgb2hsv(image9);
cV504=cHSV504(:,:,3);
```

%สารละลาย 5

```
s5=imread('sai1/10/uv/5.jpg');
pic10=imcrop(s5,[1736 1200 1736 1900]);
image10=loop1(pic10);
cHSV505=rgb2hsv(image10);
cV505=cHSV505(:,:,3);
```

%แสดงรูปภาพ

```
C1 = cat(1,image1,image2,image3,image4,image5,image6,image7,image8,image9,image10);
figure, imshow(C1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% mean V IDwayer 1 Pixel
Nv0={100,600};
for y=1:600
    for x=1:100
        matrixV0=[V501(x,y) V502(x,y) V503(x,y) V504(x,y) V505(x,y)];
        Nv0{x,y}= mean(matrixV0);
    end
end
Nv0=cell2mat(Nv0);
avgNv0=mean(Nv0);
% mean V Solution 1 pixel
Nv={100,600};
for y=1:600
    for x=1:100
        matrixV=[cV501(x,y) cV502(x,y) cV503(x,y) cV504(x,y) cV505(x,y)];
        Nv{x,y}= mean(matrixV);
    end
end
Nv=cell2mat(Nv);
avgNv= mean(Nv);

% Absorbance 1 pixel
A={1,600};
for y=1:600
    A{1,y}= log10(avgNv0(1,y)/avgNv(1,y));
end
Ay=cell2mat(A);
maxAb=max(Ay)
[xAb,yAb]=max(Ay);

```

```
%mean of max absorbance 50 pixel
```

```
total=0;
```

```
if (yAb-50 > 0)
```

```
    start = yAb-50;
```

```
else
```

```
    start = 1;
```

```
end
```

```
if (yAb+50 <= 600)
```

```
    stop = yAb+50;
```

```
else
```

```
    stop = 600;
```

```
end
```

```
for z=start:stop
```

```
    total=total+Ay(z);
```

```
end
```

```
avgAb50=total/(stop-start)
```

```
%mean of max absorbance 50%
```

```
total1=0;
```

```
total2=0;
```

```
maxab10=max(Ay)*0.5;
```

```
dif=maxAb-maxab10;
```

```
%{
```

```
for x=yAb-13:yAb+22
```

```
    total1=total1+Ay(x);
```

```
end
```

```
avgAb10p=total1/(35)
```

```
%}
```

```
for c=1:600
```

```
    if xAb<dif
```

```
        xAb;
```

```
        yAb;
```

```
        B{1,c}=[yAb];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    B1=cell2mat(B);
    B2=max(B1);
else B2=1;
end
yAb=yAb-1;
if yAb<1
    yAb=1;
end
xAb=Ay(yAb);
end
[xAb,yAb]=max(Ay);
minus=yAb-B2;
for c=1:300
    if xAb<dif
        xAb;
        yAb;
        C{1,c}=[yAb];
        C1=cell2mat(C);
        C2=min(C1);
    else C2=300;
    end
    yAb=yAb+1;
    if yAb>600
        yAb=600;
    end
    xAb=Ay(yAb);
end
[xAb,yAb]=max(Ay);
plus=C2-yAb;
for x=yAb-minus:yAb+plus
    totel2=totel2+Ay(x);
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
avgAb10P=totel2/(plus+minus)
```

```
%แสดงกราฟ
```

```
figure
```

```
subplot(3,1,1);
```

```
plot(avgNv0,'black');
```

```
[a0,b0]=max(avgNv0);
```

```
b0;
```

```
title('Value of IDwater');
```

```
xlabel('pixel');
```

```
ylabel('Avg V');
```

```
grid on
```

```
subplot(3,1,2);
```

```
plot(avgNv,'black');
```

```
[a1,b1]=max(avgNv);
```

```
b1;
```

```
title('Value of Solution');
```

```
xlabel('pixel');
```

```
ylabel('Avg V');
```

```
grid on
```

```
subplot(3,1,3);
```

```
plot(Ay,'black');
```

```
title('Absorbance');
```

```
xlabel('pixel');
```

```
ylabel('Absorbance');
```

```
ylim([-0.4,0.4])
```

```
grid on
```

```
%นำค่าabsorbance ออกมาในexcel
```

```
t1=transpose(Ay);
```

```
a = cell(600,1);
```

```
a(:,1) = mat2cell((1:600).',ones(600,1),1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
d = ["Pixel","Absorbance"];
xlswrite('C:\Users\User\Desktop\project\ค่าabsorbance0.xlsx',a,'Sheet1','A2');
xlswrite('C:\Users\User\Desktop\project\ค่าabsorbance0.xlsx',d,'Sheet1','A1');
xlswrite('C:\Users\User\Desktop\project\ค่าabsorbance0.xlsx',t1,'Sheet1','B2');
```

คำสั่งนี้จะเป็นการวิเคราะห์รูปภาพโดยในส่วนแรกจะทำการนำเข้าภาพถ่าย 10 ภาพโดย 5 ภาพแรกจะเป็นภาพ blank ส่วนอีก 5 ภาพจะเป็นภาพของสารละลาย จากนั้นจะทำการนำเข้าฟังก์ชันการตัดรูปภาพ แล้วนำภาพมาแปลงค่าสีจากระบบสี RGB ให้อยู่ในระบบสี HSV โดยจะพิจารณาเพียงค่าความสว่าง หรือ ค่า V (Value) แล้วทำการแสดงภาพที่ทำการตัดเป็นขนาด 600x100 Pixel แล้วเรียงต่อกันในแนวตั้ง

ในส่วนต่อมาจะทำการหาค่า V (Value) เฉลี่ยของภาพ blank โดยจะนำค่า V ที่ตำแหน่งจุด Pixel เดียวกันของทั้ง 5 ภาพ มาหาค่าเฉลี่ยกันจากนั้นนำค่า V เฉลี่ยในแต่ละจุด ที่อยู่ในคอลัมน์ขนาด 1x100 Pixel เดียวกันมาหาค่าเฉลี่ยในคอลัมน์นั้นๆ ซึ่งจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า V เฉลี่ยของ blank ในแต่ละคอลัมน์ และตำแหน่งของ Pixel จากนั้นทำในแบบเดียวกันแต่จะเป็นในส่วนของ 5 ภาพที่เป็นสารละลาย

ต่อมาจะเป็นการหาค่าการดูดกลืนแสงจากสูตร  $A = \log(V \text{ blank} / V \text{ สารละลาย})$  โดยจะนำเอาค่า V ที่ตำแหน่งเดียวกันที่ได้จากในส่วนของ blank และ สารละลาย มาเข้าสูตร และได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งของ Pixel และทำการหาค่าการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุดในกราฟ

ต่อมาจะเป็นการหาช่วงที่ใช้ในการพิจารณาโดยจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วง  $\pm$  จำนวน Pixel ณ ตำแหน่งที่มีการดูดกลืนแสงมากที่สุดที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนา โดยจะเป็นการหาตำแหน่งของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดแล้วทำการเพิ่มและลดตำแหน่งตามที่ต้องการ และสร้างเงื่อนไขว่าถ้าตำแหน่งที่ลดไปอยู่น้อยกว่า 1 ให้หาค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 1 และเงื่อนไขว่าถ้าตำแหน่งที่เพิ่มไปอยู่มากกว่า 600 ให้หาค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงสุดท้ายที่ตำแหน่ง 600 แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงตั้งแต่ตำแหน่งที่เราได้ทำการลดไว้ถึงตำแหน่งที่เราทำการเพิ่ม

ส่วนต่อมาจะเป็นการหาช่วงที่ใช้ในการพิจารณาโดยจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่วัดได้จากเครื่องมาตรฐานและค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยจากช่วงที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าการดูดกลืนแสงที่มีค่ามากที่สุด โดยจะเป็นการนำค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมาคูณกับค่าเปอร์เซ็นต์ที่เราต้องการทราบ แล้วจะทำการหาตำแหน่งของค่าที่ทำการไล่เช็คค่าในตำแหน่งลดลงจากค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดและเพิ่มขึ้นจากค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด และสร้างเงื่อนไขว่าถ้าตำแหน่งที่ลดลงไปอยู่น้อยกว่า 1 ให้หาค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 1 และเงื่อนไขว่าถ้าตำแหน่งที่เพิ่มไปอยู่มากกว่า 600 ให้หา

ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงสุดท้ายที่ตำแหน่ง 600 เมื่อได้ตำแหน่งที่มีค่าเท่ากับค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมา คูณกับค่าเปอร์เซ็นต์และก็ทำการหาค่าเฉลี่ยระหว่างสองตำแหน่งนั้น

จากนั้นจะเป็นส่วนของการแสดงกราฟที่ได้จากการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $V$  เฉลี่ยของ blank ในแต่ละคอลัมน์และตำแหน่งของ Pixel, ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $V$  เฉลี่ยของสารละลายในแต่ละคอลัมน์ และตำแหน่งของ Pixel, และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งของ Pixel

จากนั้นจะเป็นในส่วนของการนำข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงในแต่ละตำแหน่ง Pixel ในกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและตำแหน่งของ Pixel ออกมาในไฟล์ excel