



การพัฒนาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาราคาประหยัดสำหรับ
การวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชประเภทคาร์บาเมต

นายวลิชฐ์พล สมบัติศรี

นายอริคุณ วงศ์ศรีชา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Development of a low-cost portable spectrophotometer
for carbamate pesticides analysis

Mister Wasithapol Sombatsri

Mister Athikun Wongsricha

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาราคาประหยัด สำหรับการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชประเภทคาร์บาเมต		
โดย	นายวชิษฐ์พล สมบัติศรี	รหัสนักศึกษา	63010865
	นายอธิคุณ วงศ์ศรีชา	รหัสนักศึกษา	63011033
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ปีการศึกษา	2566		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์		
	รศ.ดร.อมตะ อนันต์พิณีจวัฒนา		

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

(ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.อมตะ อนันต์พิณีจวัฒนา)

กรรมการ

(ผศ.ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)

กรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่อก้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาราคาประหยัด สำหรับการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชประเภทคาร์บาเมต		
โดย	นายวชิษฐ์พล สมบัติศรี	รหัสนักศึกษา	63010865
	นายอริคุณ วงศ์ศรีชา	รหัสนักศึกษา	63011033
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ปีการศึกษา	2566		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์		
	รศ.ดร.อมตะ อนันต์พิณีจวัฒนา		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อพัฒนาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่สามารถวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทคาร์บาเมต ได้สะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ ในราคาประหยัด โดยศึกษาข้อมูลจำเพาะที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา ได้แก่ เกรตติ้ง สลิท การตั้งค่าการถ่ายภาพของกล้อง และระยะห่างระหว่างเกรตติ้งและสลิท นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องให้สามารถนำภาพมาเข้ากับโปรแกรมแปลงภาพเป็นค่าความสว่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารได้ ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบซิลแฟนในสารละลายเอทานอล โดยใช้สารละลายที่ความเข้มข้น 25, 200, 300, และ 400 ppm เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน พบว่า เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพามีค่า R^2 เท่ากับ 0.9237 และ 0.4897 ตามลำดับ และเมื่อนำมาทำนายปริมาณของคาร์โบซิลแฟนให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 5.08% และ 304.55% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่อข้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of a low-cost portable spectrophotometer for carbamate pesticides analysis		
By	Wasithapol Sombatsri	Student ID	63010865
	Athikun Wongsricha	Student ID	63011033
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Chemical Engineering		
Academic Year	2566		
Thesis Advisor	Asst. Prof. Siripan Murathathunyaluk		
	Assoc. Prof. Dr. Amata Anantpinijwatna		

Abstract

This research aims to develop a portable spectrophotometer capable of conveniently, quickly, and accurately analyzing carbamate pesticides for plant pest control at an economical price. Specific data affecting the performance of the portable spectrophotometer were studied, including camera settings, distance between slit and grating, and installation of grating and slit. Additionally, the researchers have developed the device to enable image conversion to brightness values for further analysis to determine the concentration of substances. The results from analyzing the quantity of carbosulfan in ethanol solutions with concentrations of 25, 200, 300, and 400 ppm were graphed to create calibration curve. It was found that the UV-visible spectrophotometer and the portable spectrophotometer had R^2 values of 0.9237 and 0.4897, respectively. When used to predict carbosulfan quantities, the corresponding errors were 5.08% and 304.55%, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณา และความช่วยเหลือ จาก ผศ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ และ รศ.ดร.อมตะ อนันต์พินิจวัฒนา ที่ปรึกษางานวิจัยที่คอยให้ คำแนะนำและคำปรึกษาในทุกขั้นตอนของงานวิจัย ตลอดจนความรู้ทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อ งานวิจัยให้สำเร็จบรรลุตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณบุคลากร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อำนวยความสะดวกให้สถานที่ในการศึกษาและค้นคว้าทำการทดลอง ทั้งด้านอุปกรณ์การทดลอง สารเคมีและสาธารณูปโภค และขอขอบคุณแหล่งค้นคว้าข้อมูลสำคัญที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย หนังสือ ตัวอย่างงานวิจัย เว็บไซต์ และบทความวารสารทางวิชาการ ที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้ประกอบการทำเล่มวิจัยฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ทางผู้วิจัย ขอขอบคุณผู้มีพระคุณที่ช่วยเหลือ และสนับสนุนทุนการวิจัยอันมีค่าแก่งานวิจัยนี้ และหวังว่างานวิจัยเล่มนี้จะเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางให้กับผู้ที่สนใจศึกษา และหากผิดพลาดประการใดทางผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วยพร้อมน้อมรับคำแก้ไขทุกประการ

วสิษฐ์พล สมบัติศรี
อธิคุณ วงศ์ศรีชา
ผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องแจ้งอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สารกำจัดศัตรูพืช.....	3
2.2 เครื่องยู่วี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	8
2.3 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา.....	9
2.4 ระบบสี.....	10
2.5 การตั้งค่ากล้องถ่ายภาพ.....	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....	17
3.1 การศึกษาข้อมูลจำเพาะที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบ พกพา.....	17
3.2 การพัฒนาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา.....	18
3.3 การทดสอบการละลายของสารกำจัดศัตรูพืชตามท้องตลาด.....	19
3.4 การวิเคราะห์คาร์โบซิลแพนในสารละลายเอทานอล.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่อจ้งอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	21
4.1 ผลการศึกษาข้อมูลจำเพาะที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา.....	21
4.2 ผลการพัฒนาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา.....	26
4.3 ผลการทดลองการละลายของสารกำจัดศัตรูพืชตามท้องตลาดในตัวทำละลายต่างชนิด.....	32
4.4 ผลการวิเคราะห์คาร์โบซิลแพนในสารละลายเอทานอล.....	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	36
5.1 สรุป.....	36
5.2 วิจารณ์ผล.....	37
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	37
บรรณานุกรม.....	38
ภาคผนวก ก แบบการทำเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา.....	41
ภาคผนวก ข ความสามารถในการละลายของตัวทำละลาย.....	43

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลทั่วไปของคาร์โบซิลแฟน	4
ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลทั่วไปของคาร์เบนดาซิม	5
ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลทั่วไปของอะซีโตไนไตรล์.....	6
ตารางที่ 2.4 แสดงข้อมูลทั่วไปของอะซีโตไนไตรล์.....	7
ตารางที่ 2.5 ค่าความสมดุลของแสงสีขาวกับแหล่งกำเนิดแสง.....	15
ตารางผนวก ข.1 ค่าความสามารถในการละลายฮิลเดอแบรนต์, ฮันเซน และค่าคงตัวไดอิเล็กตริก สำหรับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ 298.15 เคลวิน.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต่อสู้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพแผนภูมิเปรียบเทียบสารพิษตกค้างในผักผลไม้ที่นำเข้ามา และ ผลิตในประเทศ	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลคาร์โบซิลแฟน	4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลคาร์เบนดาซิม	5
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลเอทานอล.....	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลอะซิโตนไตรอล	7
รูปที่ 2.6 ลำดับเครื่องยิวี-วีสีเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	8
รูปที่ 2.7 รูปตัวอย่างเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา.....	9
รูปที่ 2.8 ลำดับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา.....	9
รูปที่ 2.9 ระบบสี RGB	10
รูปที่ 2.10 ระบบสี HSV	10
รูปที่ 2.11 ระบบสี CIELAB	11
รูปที่ 2.12 ภาพหน้าจอโหมดการถ่ายภาพแบบมืออาชีพ	12
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ 3 ปัจจัยในการรับแสง	12
รูปที่ 2.14 ค่าของขนาดรูรับแสงที่ขนาดต่างกัน.....	13
รูปที่ 2.15 การปรับค่าความไวต่อแสงของเซนเซอร์ในระดับต่างๆ	13
รูปที่ 2.16 ผลของการปรับค่าความไวต่อแสงของเซนเซอร์มากเกินไป	13
รูปที่ 2.17 การปรับความเร็วของชัตเตอร์ในระดับต่างๆ	14
รูปที่ 2.18 การปรับความเร็วชัตเตอร์ที่ไม่สัมพันธ์กับค่าความไวแสง	14
รูปที่ 2.19 ภาพอธิบายหลักการทางยาวโฟกัส.....	15
รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโฟกัสกับมุมรับภาพ.....	16
รูปที่ 2.21 ภาพการชดเชยแสงที่ตำแหน่งต่างกัน	16
รูปที่ 4.1 ภาพสเปกตรัมที่มีค่าความไวแสง 1600 และค่าความเร็วชัตเตอร์ 1/10 วินาที	21
รูปที่ 4.2 ภาพเกรตติ้งขนาด 13,400 เส้น/นิ้ว.....	21
รูปที่ 4.3 ภาพสเปกตรัมที่มีเกรตติ้งต่างกัน	22
รูปที่ 4.4 ภาพสลิทเดี่ยวความกว้างต่างกัน	22
รูปที่ 4.5 ภาพสเปกตรัมที่สลิทเดี่ยวความกว้างต่างกัน.....	22
รูปที่ 4.6 ภาพสเปกตรัมที่มีค่าความเร็วชัตเตอร์ที่เท่ากัน และค่าความไวแสงต่างกัน	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต่อสู้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.7 ภาพสเปกตรัมที่มีค่าความไวแสงเท่ากัน และค่าความเร็วชัดเตอร์ต่างกัน.....	23
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง และจำนวนรูปตัวอย่าง.....	24
รูปที่ 4.9 ภาพสเปกตรัมที่ค่าความไวแสงเท่ากับ 100 และค่าความเร็วชัดเตอร์ 1/50 วินาที.....	24
รูปที่ 4.10 การปรับระยะระหว่างอุปกรณ์แผ่นสลิตและเกรตติ้ง	25
รูปที่ 4.11 ต้นแบบเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาประเภทแสงเดี่ยวและแสงคู่.....	26
รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายสเปกตรัมของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาประเภทแสงเดี่ยว	26
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายสเปกตรัมของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาประเภทแสงคู่.....	26
รูปที่ 4.14 สลิตแสงคู่ที่แตกต่างกัน.....	27
รูปที่ 4.15 ภาพสเปกตรัมการปรับระนาบแผ่นสลิตแสงคู่	27
รูปที่ 4.16 ภาพสเปกตรัมที่แทรกสอดกันของแผ่นสลิตแสงคู่.....	28
รูปที่ 4.17 การปรับความกว้างและระยะห่างของรูสลิตสองรู.....	28
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายสเปกตรัมจากการปรับความกว้างและระยะห่างของรูสลิตสองรู	28
รูปที่ 4.19 ภาพการปรับองศาเกรตติ้ง	29
รูปที่ 4.20 ภาพสเปกตรัมการปรับองศาเกรตติ้ง	29
รูปที่ 4.21 ภาพสเปกตรัมการปรับองศาแผ่นเกรตติ้ง	30
รูปที่ 4.22 ภาพเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา.....	30
รูปที่ 4.23 ภาพสเปกตรัมจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา	31
รูปที่ 4.24 ภาพการละลายของยาฆ่าเชื้อราคาร์เบนดาซิมในตัวทำละลายต่างชนิด	32
รูปที่ 4.25 ภาพการละลายของยาฆ่าแมลงคาร์โบซัลแฟนในตัวทำละลายต่างชนิด	32
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสงของคาร์โบซัลแฟน ในเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	33
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลาย คาร์โบซัลแฟนในเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	34
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลาย คาร์โบซัลแฟนในเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา.....	35
รูปที่ ก.1 ภาพคลี่ของชิ้นส่วนเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ 1-2	42
รูปที่ ก.2 ภาพคลี่ของชิ้นส่วนเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ 3-5	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต่อ ฆ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชกันอย่างแพร่หลาย เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้มีคุณภาพ ปริมาณ และรูปร่างลักษณะสวยงามสมบูรณ์เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ในปีพ.ศ. 2563 ได้มีการตรวจพบสารตกค้างในผักผลไม้ ทั้งที่ได้จากการผลิตในประเทศ และการนำเข้า พบว่าทั้งสองแหล่งมีปริมาณสารตกค้างเกินมาตรฐาน[1] โดยสารกำจัดศัตรูพืชประเภทคาร์บาเมตที่องค์กรเครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืชให้ความกังวลมากที่สุด คือ สารคาร์เบนดาซิม (carbendazim) อยู่ในกลุ่มสารคาร์บาเมต (carbamate fungicide) สารกำจัดศัตรูพืชชนิดดังกล่าวจัดเป็นสารก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ เป็นพิษกับระบบสืบพันธุ์ อีกทั้งเป็นสารก่อให้เกิดโรคมะเร็งอีกด้วย[2]

โดยเทคโนโลยีสำหรับตรวจสอบปริมาณสารตกค้างในผลผลิตทางการเกษตร มีวิธีและหลักการวิเคราะห์ที่หลากหลาย เช่น เทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC) และเทคนิคการวัดการดูดกลืนแสงหรือรังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล (ultraviolet-visible spectrophotometry, UV-VIS) เทคนิคดังกล่าวเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ อย่างไรก็ตาม เทคนิคดังกล่าวเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ ราคาแพงและความซับซ้อนในการเตรียมอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบ และไม่ทรอดคล้องที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ทางภาคสนามที่ต้องการความรวดเร็วและง่ายต่อการใช้งาน

ถัดมามีการคิดค้นเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา (portable spectrophotometer)[3] เป็นการพัฒนาการออกแบบเครื่องที่ใช้ต้นทุนในการวิเคราะห์ต่ำ สะดวก รวดเร็วและใช้งานไม่ซับซ้อน รวมทั้งเทคนิคการวัดสีภาพดิจิทัล (digital image colorimetry, DIC)[4] ยังได้รับความสนใจ ความสนใจอย่างแพร่หลาย ใช้งบประมาณต่ำ สามารถตอบสนองงานที่ต้องการความรวดเร็วในการรับข้อมูล ประมวลผลข้อมูล และนำข้อมูลไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสาร ดังนั้นทางผู้วิจัยเห็นถึงประโยชน์ของเทคนิคดังกล่าวจะนำมาประยุกต์ใช้งาน และการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มคาร์บาเมตโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงร่วมกับการวิเคราะห์สีของภาพดิจิทัลเพื่อเป็นประโยชน์และส่งเสริมความปลอดภัยแก่ผู้เพาะปลูกและผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์

พัฒนาอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่สามารถวิเคราะห์สารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทคาร์บาเมต ได้สะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ ในราคาประหยัด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลจำเพาะและการตั้งค่าของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา
2. ทดลองการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บาเมต 2 ชนิด ได้แก่ คาร์เบนดาซิม (carbendazim) และคาร์โบซัลแฟน (carbosulfan) ที่ความเข้มข้นต่างกัน โดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา และเปรียบเทียบความแม่นยำกับเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

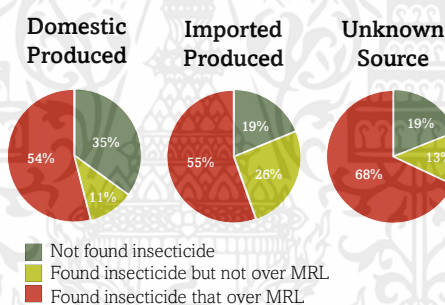
พัฒนาเครื่องต้นแบบสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่สามารถวิเคราะห์ได้สะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ ในราคาประหยัด สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดศัตรูพืชประเภทคาร์บาเมต ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสังเกตได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำกับอุปกรณ์วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารละลายในห้องแล็บทั่วไป เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการสร้างเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาด้วยการพิมพ์สามมิติ

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารกำจัดศัตรูพืช

องค์กรเครือข่ายเตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืช (ThaiPAN) ได้มีการตรวจสอบผักและผลไม้ประจำปีพ.ศ. 2563 โดยสุ่มตรวจผักผลไม้ทั้งหมด 509 ตัวอย่างจากทั่วประเทศ โดยประกอบไปด้วยผลไม้จำนวน 9 ชนิด ประกอบด้วย ส้มโอ ส้มแมนดารินนำเข้า ลองกอง น้อยหน่า แก้วมังกร ฝรั่ง ส้มสายน้ำผึ้ง พุทราจีน และองุ่นแดงนอก ผักจำนวน 18 ชนิด ประกอบด้วย ข้าวโพดหวาน มันฝรั่ง หน่อไม้ฝรั่ง กระเจี๊ยบเขียว แครอท ถั่วฝักยาว บร็อกโคลี่ หัวไชเท้า ผักบุ้ง มะระกะเพรา กวางตุ้ง ผักชี มะเขือเทศผลเล็ก คะน้า ขึ้นฉ่าย พริกแดง และพริกชี้หู และของแห้ง 2 ชนิด ได้แก่ พริกแห้ง และเห็ดหอม โดยส่งตัวอย่างทั้งหมดไปตรวจที่ห้องปฏิบัติการในประเทศสหราชอาณาจักร ซึ่งสามารถตรวจวัดผลได้ครอบคลุมสารเคมีกำจัดแมลงและเชื้อรา (ไม่รวมสารเคมีกำจัดวัชพืช) และได้รับรองมาตรฐานระหว่างประเทศ (ISO17025) ผลการตรวจวิเคราะห์พบว่า พบสารพิษตกค้างในผักผลไม้เกินมาตรฐานถึง 58.7%[1]



รูปที่ 2.1 ภาพแผนภูมิเปรียบเทียบสารพิษตกค้างในผักผลไม้ที่นำเข้า และ ผลิตในประเทศ[1]

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลของการตกค้างโดยละเอียด และทำการจำแนกตามแหล่งที่มาของผักและผลไม้พบว่า มีปริมาณสารตกค้างเกินมาตรฐานในผักและผลไม้ที่ผลิตในประเทศ 54.01% จากจำนวนผักที่ส่งตรวจทั้งหมด 274 ตัวอย่าง ส่วนผักและผลไม้ที่นำเข้าจากต่างประเทศพบตกค้างเกินมาตรฐาน 56.1% จากจำนวนตัวอย่างที่ทราบว่ามีนำเข้าทั้งหมด 82 ตัวอย่าง[1]

2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของสารกำจัดศัตรูพืช

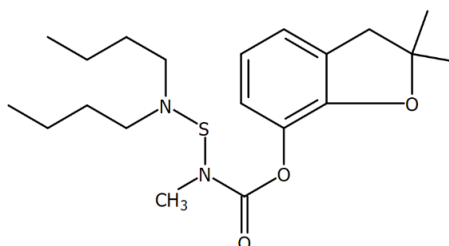
สารกำจัดศัตรูพืชประเภทคาร์บาเมตที่พบมากที่สุดในตลาด ได้แก่ คาร์โบซัลแฟน และคาร์เบนดาซิม

2.1.1.1 คาร์โบซัลแฟน(Carbosulfan)

คาร์โบซัลแฟนจัดเป็นวัตถุอันตรายทางการเกษตรประเภทสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมต (carbamate) ซึ่งเป็นสารพิษตกค้างที่เป็นอันตรายทางเคมี โดยสารกำจัดศัตรูพืช คาร์โบซัลแฟน ใช้ป้องกันและกำจัดศัตรูพืชในถั่วต่างๆ ใช้ในการป้องกันแมลงศัตรูพืช (pesticides) ในไร่ เช่น เพลี้ยอ่อน หนอนแมลงวัน หมัดกระโดด เพลี้ยไฟ แมลงหวี่ขาว หนอนม้วนใบ มด ปลวก แมลงกะซอน ไล่เดือนฝอย โดยข้อมูลทั่วไปของคาร์โบซัลแฟนแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลทั่วไปของคาร์โบซัลแฟน[5]

ชื่อทางเคมี	2,2-Dimethyl-2,3-dihydro-1-benzofuran-7-yl[(dibutylamino)sulfanyl] methylcarbamate
CAS No.	55285-14-8
สูตรเคมี	C ₂₀ H ₃₂ N ₂ O ₃ S
น้ำหนักโมเลกุล	380.51 g/mol
ความถ่วงจำเพาะ	1.056 g/mL ที่ 25 °C
รูปแบบทางกายภาพ	ของเหลวหนืดสีน้ำตาล
ความดันไอ	0.41x10 ⁻⁶ hPa ที่ 20 °C
ความสามารถในการละลาย	0.3 g/L ในน้ำ ที่ 25 °C
Maximum Residue Limits (MRL)	5 mg/kg ในพริกแห้ง 0.1 mg/kg ในองุ่น 0.2 mg/kg ในข้าวสาร
ข้อมูลด้านพิษวิทยา	LD50 ทางปาก(หนู) 51 mg/kg LD50 ผิวหนัง(หนู) 4,012 mg/kg LD50 หายใจเข้าไป(หนู) 0.31 mg/L ใน 4 ชั่วโมง (ไอ)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลคาร์โบซัลแฟน [6]

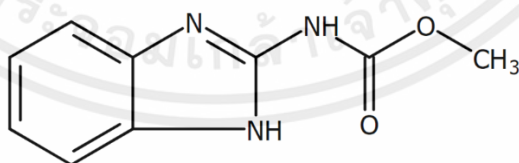
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 คาร์เบนดาซิม(Carbendazim)

คาร์เบนดาซิม จัดเป็นวัตถุอันตรายทางการเกษตรประเภทสารกำจัดศัตรูพืช กลุ่มคาร์บาเมต (carbamate) มีคุณสมบัติเป็นสารดูดซึม กลไกออกฤทธิ์รบกวนการขยายพันธุ์ แบบไม่อาศัยเพศ และการแบ่งเซลล์ของเชื้อรา ยับยั้งการสร้าง และการเจริญของเส้นใยเชื้อรา เป็นสารที่มีฤทธิ์ป้องกันและกำจัดโรคอย่างกว้างขวาง สามารถใช้กับพืชได้หลากหลายชนิด ซึ่งข้อมูลโดยทั่วไปเป็นดังที่แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลทั่วไปของคาร์เบนดาซิม[7]

ชื่อทางเคมี	Methyl benzimidazol-2-yl-carbamate
CAS No.	10605-21-7
สูตรเคมี	C ₉ H ₉ N ₃ O ₂
น้ำหนักโมเลกุล	191.19 g/mol
ความถ่วงจำเพาะ	1.45 g/mL ที่ 20 °C
รูปแบบทางกายภาพ	ของแข็งไม่มีสี
ความดันไอ	0.1×10 ⁻⁶ hPa ที่ 25 °C
ความสามารถในการละลาย	0.1 g/L ในน้ำ ที่ 25 °C
Maximum Residue Limits (MRL)	15 mg/kg ในพริกแห้ง 3 mg/kg ในองุ่น 2 mg/kg ในข้าวสาร
ข้อมูลด้านพิษวิทยา	LD ₅₀ ทางปาก(หนู) 6,400 mg/kg LD ₅₀ ผิวหนัง(กระต่าย) 8,500 mg/kg



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลคาร์เบนดาซิม[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การสกัดสารกำจัดศัตรูพืช

การวิเคราะห์หาปริมาณสารตกค้างของสารกำจัดศัตรูพืชในผักสดทำโดยใช้วิธี QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว มีความแม่นยำ ที่ใช้การสกัดด้วยอะซิโตนไนไตรล์ (MeCN) แบบบัพเฟอร์ในขั้นตอนเดียว และแยกเกลือออกจากน้ำด้วย magnesium sulphate (MgSO₄) จากนั้นล้างกรดอินทรีย์, น้ำส่วนที่เหลือจากขั้นตอนก่อนหน้า และองค์ประกอบอื่นๆ ด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็งที่กระจาย (Dispersive solid phase extraction, d-SPE) โดยเติมตัวดูดซับไพรมารีเซคันดารีเอมีน (Primary secondary amine, PSA) และ MgSO₄ จากนั้นสารสกัดจะถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแมสสเปกโตรเมทรี (Mass spectrometry) [9]

จากการสกัดด้วยวิธี QuEChERS ที่นิยมใช้ตัวทำละลายคืออะซิโตนไนไตรล์ แต่เนื่องจากมีความเป็นพิษสูงจึงได้เลือกตัวทำละลายมีอีกชนิดคือเอทานอล ซึ่งจากตารางผนวก ข.1 นั้นเอทานอลมีสมบัติการละลายที่ใกล้เคียงกับอะซิโตนไนไตรล์ แต่มีความเป็นพิษน้อยกว่า หาได้ง่ายและมีราคาถูก

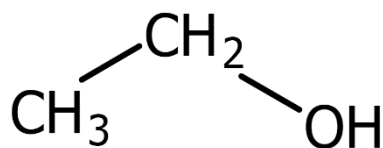
2.1.2.1 เอทานอล(Ethanol)

เอทานอล(Ethanol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นของเหลวไม่มีสี ระเหยได้ ไวไฟสูง สามารถละลายน้ำได้ เป็นแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมักพืชผลทางการเกษตร เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด แอลกอฮอล์ชนิดนี้กินได้ นิยมนำมาใช้ทำเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ได้แก่ เหล้า ไวน์ และเบียร์ ยาสำหรับเช็ดทำความสะอาดแผล ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง ใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น โดยข้อมูลทั่วไปของเอทานอลแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลทั่วไปของอะซิโตนไนไตรล์[10]

ชื่อทางเคมี	Ethanol
CAS No.	45-17-5
สูตรเคมี	C ₂ H ₅ OH
น้ำหนักโมเลกุล	46.07 g/mol
ความถ่วงจำเพาะ	0.789 g/mL ที่ 20 °C
รูปแบบทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี
ความดันไอ	59.5 hPa ที่ 20 °C
ความสามารถในการละลาย	ผสมกันกับน้ำได้(Water miscible)
Maximum Residue Limits (MRL)	-
ข้อมูลด้านพิษวิทยา	LD ₅₀ 5-8 g/kg ในผู้ใหญ่ LD ₅₀ 3 g/kg ในเด็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



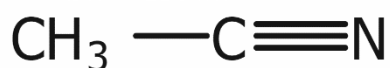
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลเอทานอล[11]

2.1.2.2 อะซิโตไนไตรล์ (Acetonitrile)

อะซิโตไนไตรล์ มีชื่อย่อว่า เมทิลไซยาไนด์ (MeCN) เป็นของเหลวไม่มีสีที่เป็นไนไตรล์อินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ส่วนใหญ่ผลิตเป็นผลพลอยได้จากการผลิตอะคริโลไนไตรล์ ปกติใช้เป็นตัวทำละลายอะพอร์ทิกซ์ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์และในการทำให้บิวทาไดอีนบริสุทธิ์ โดยข้อมูลทั่วไปของอะซิโตไนไตรล์แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงข้อมูลทั่วไปของอะซิโตไนไตรล์[12]

ชื่อทางเคมี	Acetonitrile
CAS No.	75-05-8
สูตรเคมี	CH ₃ CN
น้ำหนักโมเลกุล	41.05 g/mol
ความถ่วงจำเพาะ	0.786 g/mL ที่ 20 °C
รูปแบบทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี
ความดันไอ	97.1 hPa ที่ 20 °C
ความสามารถในการละลาย	ผสมกันกับน้ำได้(Water miscible)
Maximum Residue Limits (MRL)	-
ข้อมูลด้านพิษวิทยา	LD ₅₀ ทางปาก(หนู) 469 mg/kg LD ₅₀ ผิวหนัง(กระต่าย) > 2000 mg/kg



รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลอะซิโตไนไตรล์[13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

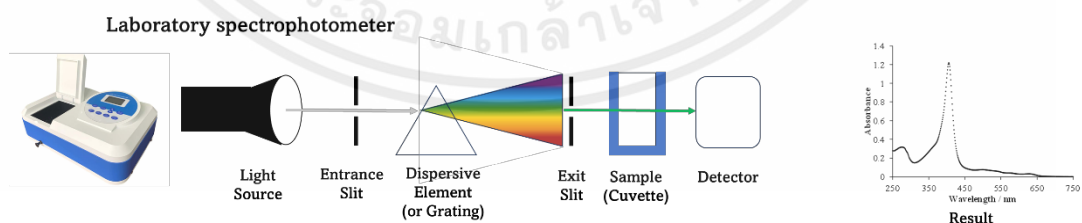
เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วงอัลตรา ไวโอเล็ต (ultra violet, UV) และวิสิเบิล (visible, VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

ความสัมพันธ์ของค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารมีความสำคัญอย่างยิ่งในเชิงปริมาณวิเคราะห์ เนื่องจากค่าการดูดกลืนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) ดังสมการที่ (2.1)

$$A = \epsilon cl = \log_{10}(I_0/I) \quad (2.1)$$

โดย A	คือ	ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (absorbance)
ϵ	คือ	สมบัติจำเพาะของสารที่ดูดกลืนและวัดที่ความยาวค่าหนึ่งในหน่วยลิตรต่อโมลเซนติเมตร ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)
l	คือ	ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่าง หรือความกว้างของเซลล์ในหน่วยเซนติเมตร (cm)
c	คือ	ความเข้มข้นเป็น โมล/ลิตร หรือโมลาร์ (M)
I	คือ	ปริมาณแสงหลังจากผ่านสารตัวอย่าง
I_0	คือ	ปริมาณแสงก่อนผ่านสารตัวอย่าง

เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังแสดงใน 2.6



รูปที่ 2.6 ลำดับเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

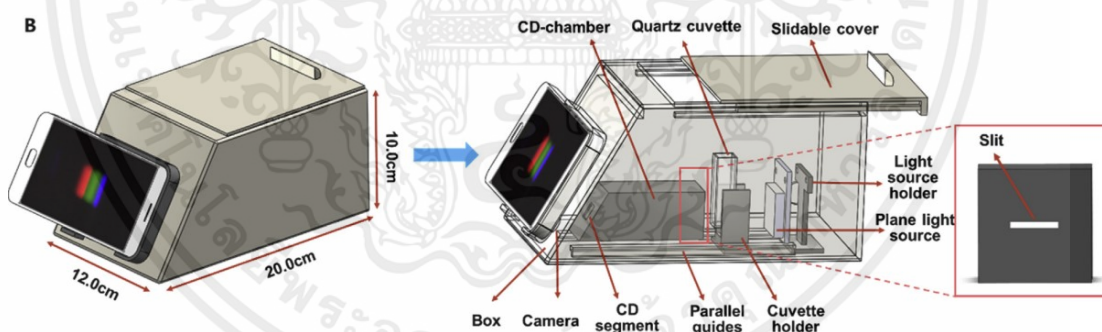
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นสาร โดยการถ่ายภาพสเปกตรัมของสารที่ไม่ทราบความเข้มข้นมาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสารที่ทราบความเข้มข้น นำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแปลงภาพสเปกตรัมเป็นค่าความสว่างซึ่งเป็นค่าที่เทียบได้กับปริมาณแสงของสารตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต

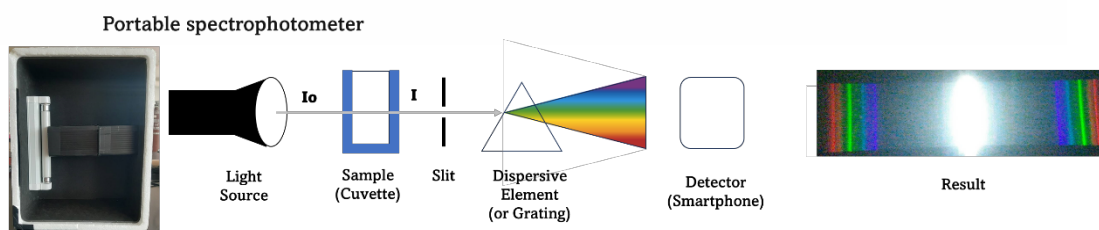
โดยหลักการทำงานของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา การใช้แสงจากแหล่งกำเนิดแสง ฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นวิสิเบิล เมื่อแสงส่องผ่านไปยังสารตัวอย่างที่บรรจุในคิวเวท (cuvette) ความยาวคลื่นของแสงบางจะถูกดูดซับไป แสงส่วนนี้จะผ่านสลิตซึ่งจะโฟลาริเซชันแสงจากที่มีคลื่นหลายทิศทางทั้งคลื่นตามยาวและคลื่นตามขวางจะเหลืออยู่เพียงหนึ่งแนว ที่เรียกว่า ความยาวคลื่นเดี่ยว (monochromatic light) จากนั้นเดินแสงผ่านไปยังแผ่นเกรตติงที่ทำหน้าที่เกรตแสงออกเป็นสเปกตรัมที่มีความยาวคลื่นต่างๆ จากนั้นใช้กล้องสมาร์ทโฟนเพื่อรับภาพสเปกตรัมที่เกิดขึ้นและนำไปวิเคราะห์ความยาวคลื่นในแต่ละช่วงต่อไป[3]

ซึ่งสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพานั้นมีการนำไปใช้ที่หลากหลายตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์กรดแอสคอบิก [14], การวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำดื่ม [15], นำมาใช้เป็นสื่อการสอนในห้องเรียนโดยทำจากเครื่องพิมพ์สามมิติ [16], ทั้งยังสามารถสร้างโดยงานกระดาษกราฟเพื่อให้มีความง่ายและประหยัด [17]



รูปที่ 2.7 รูปตัวอย่างเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา [14]

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาประกอบด้วยอุปกรณ์ดังแสดงใน 2.8



รูปที่ 2.8 ลำดับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

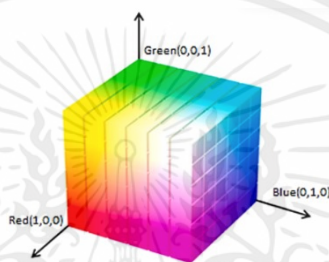
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ระบบสี

ในการวิเคราะห์ภาพสเปกตรัมนั้นจำเป็นต้องแปลงภาพเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสว่าง หรือ ปริมาณแสงได้ โดยการเปลี่ยนระบบสีต่างๆ ซึ่งมีวิธีการคำนวณแตกต่างกันไป

2.4.1 RGB

เป็นระบบสีแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ถูกแสดงด้วยหน่วยลูกบาศก์ โดยแต่ละสี Red, Green, Blue ถูกกำหนดลงบนสามแกนพิกัดมุมฉากในพื้นที่ 3 มิติ (2.9) ในซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่ค่าของสีจะอยู่ในช่วง 0–256 สำหรับแต่ละสี พื้นที่สี RGB นี้อยู่ภายในพื้นที่การรับรู้ของมนุษย์ กล่าวคือ ลูกบาศก์ RGB แสดงสีน้อยกว่าที่มนุษย์มองเห็นได้แบบจำลอง RGB โดยปกติใช้ในผลิตภัณฑ์ดิจิทัลและใช้กันอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.9 ระบบสี RGB [14]

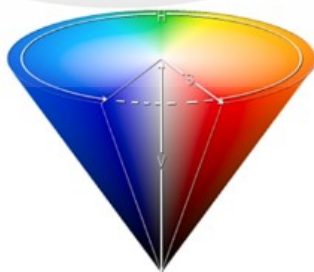
2.4.2 HSV

HSV (Hue, Saturation และ Value) คือกำหนดพื้นที่สีในแง่ขององค์ประกอบสามส่วนคือ สี ความอิ่มตัว และความสว่าง

Hue คือประเภทสี (เช่น สีแดง สีนํ้าเงิน หรือสีเหลือง) ตั้งแต่ 0° ถึง 360° (แต่ละค่าสอดคล้องกับหนึ่งสี เช่น 0 คือสีแดง 45 คือสีส้ม และ 55 คือสีเหลือง)

Saturation คือความเข้มของสีตั้งแต่ 0 ถึง 100% (0% หมายถึงไม่มีสี ซึ่งเป็นเฉดสีเทา ระหว่างขาวดำ และ 100% หมายถึงมีสีเข้มข้น) บางครั้งเรียกว่า “ความบริสุทธิ์”

Brightness (หรือ Value) คือความสว่างของสีตั้งแต่ 0 ถึง 100% (0% เป็นสีดำ และ 100% อาจเป็นสีขาว หรือสีอิ่มตัว)



รูปที่ 2.10 ระบบสี HSV [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

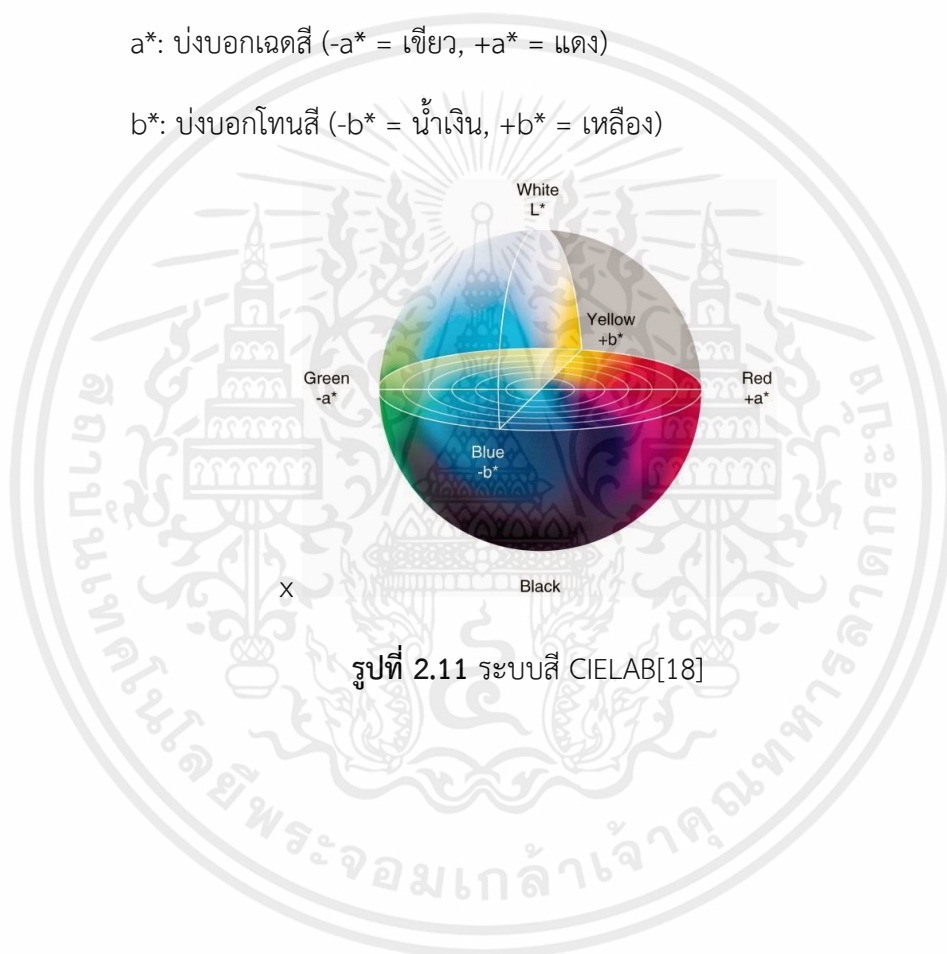
2.4.3 CIELAB

CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) พัฒนาโมเดลสี Lab* ขึ้นมาเพื่อสร้างมาตรฐานสากลและลดความยุ่งยากในการสื่อสารเรื่องสี ไม่ว่าจะใช้อุปกรณ์วัดสีแบบไหนก็ตาม CIELAB เหนือกว่าด้วยความสะดวก ระยะเวลาห่างระหว่างจุดสีบนระบบนี้สอดคล้องกับภาพที่เรามองเห็นได้ดีกว่ามาก โดยใช้วัดค่าสี เครื่องมือวัดสี เช่น สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ จะวัดค่าสะท้อนแสงของวัตถุ จากนั้นจะถูกแปลงเป็นค่าไตรสติมูลัส (X,Y,Z) และถูกแปลงเป็นค่า Lab*[18] โดย

L*: บ่งบอกความสว่าง (0 = ดำ, 100 = ขาว)

a*: บ่งบอกเฉดสี (-a* = เขียว, +a* = แดง)

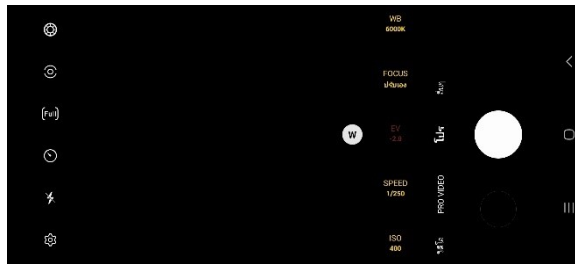
b*: บ่งบอกโทนสี (-b* = น้ำเงิน, +b* = เหลือง)



รูปที่ 2.11 ระบบสี CIELAB[18]

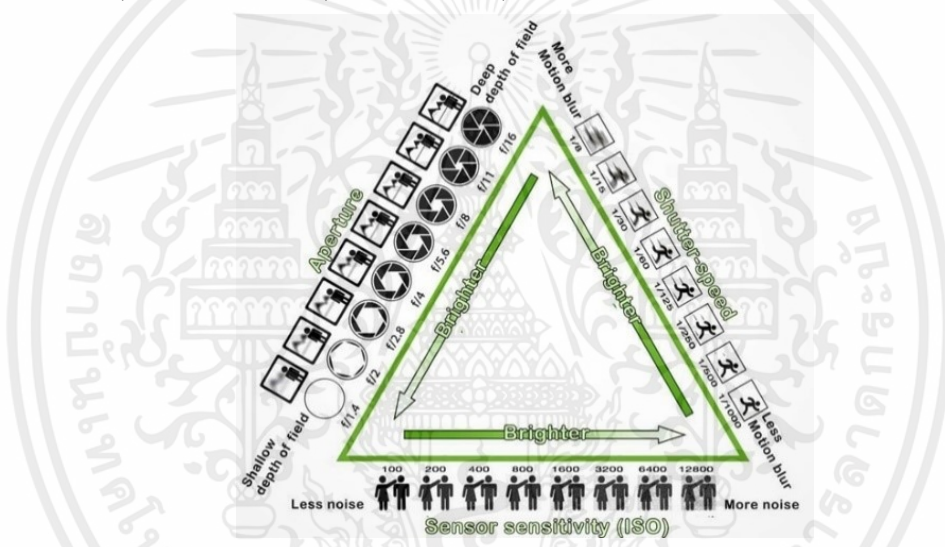
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การตั้งค่ากล้องถ่ายภาพ



รูปที่ 2.12 ภาพหน้าจอโหมดการถ่ายภาพแบบมือถืออาชีพ

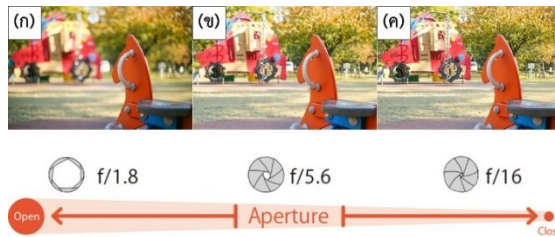
สมาร์ทโฟน เกือบทุกรุ่นในปัจจุบันส่วนมากจะมีโหมดการถ่ายภาพแบบมือถือติดตั้งมาให้ โดยมีชื่อเรียกที่ต่างกันออกไป เช่น pro, expert หรือ professional เป็นต้น ซึ่งโหมดการถ่ายภาพแบบดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถตั้งค่าเกี่ยวกับกล้องถ่ายภาพได้แทบทั้งหมด ได้แก่ ค่าความสมดุลของแสงสีขาว, ความเร็วชัตเตอร์, ค่าความไวแสง, ความยาวโฟกัสของกล้อง และการชดเชยแสง[19]



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ 3 ปัจจัยในการรับแสง [20]

ความสัมพันธ์ 3 ปัจจัยในการรับแสง (the exposure triangle) ซึ่งถือเป็นหลักสำคัญในการตั้งค่ากล้องมี 3 ส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ ขนาดของรูรับแสง (aperture), ค่าความไวแสง (ISO), และความเร็วชัตเตอร์ (shutter speed) เหล่านี้ส่งผลต่อปริมาณแสงที่กล้องถ่ายภาพได้รับ ซึ่งการปรับค่าทั้งสามอย่างนี้ควรจะถูกปรับให้มีความสมดุลกัน เพื่อให้ภาพที่ออกมาอยู่ในสภาพแสงที่เหมาะสม[19]

2.5.1 ขนาดของรูรับแสง (aperture)

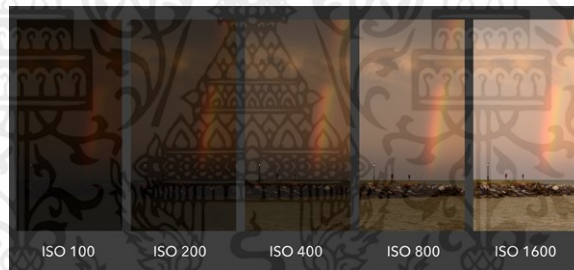


รูปที่ 2.14 ค่าของขนาดรูรับแสงที่ขนาดต่างกัน

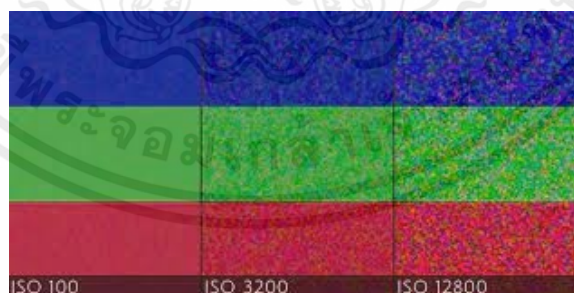
(ก) f/1.8, (ข) f/5.6 และ (ค) f/16[21]

ค่าของขนาดรูรับแสงหรือค่า f ของตัวเลนส์ ขนาดของรูรับแสงที่ยอมให้แสงลอดผ่านมากระทบยังเซ็นเซอร์ ยิ่งค่ารูรับแสงมีขนาดที่กว้างขึ้น ก็จะช่วยทำให้สมาร์ทโฟนรับแสงได้มากขึ้น ค่า f มากขึ้น พื้นที่ภาพในระยะโฟกัสจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และจะมีความคมชัดจนถึงส่วนแบ็คกราวด์มากขึ้นตาม แต่เนื่องจากค่ารูรับแสงบนสมาร์ทโฟนโดยปกติแล้วจะเป็นรูรับแสงแบบคงที่ หรือมีค่ารูรับแสงเพียงขนาดเดียว เป็นเหตุจำเป็นต้องเน้นปรับค่าความไวแสง และความเร็วชัตเตอร์ให้สมดุลกับค่ารูรับแสงแทน[19]

2.5.2 ค่าความไวแสง (ISO)



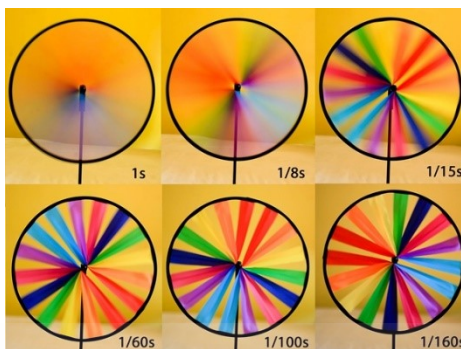
รูปที่ 2.15 การปรับค่าความไวต่อแสงของเซ็นเซอร์ในระดับต่างๆ[21]



รูปที่ 2.16 ผลของการปรับค่าความไวต่อแสงของเซ็นเซอร์มากเกินไป[22]

ค่าความไวแสง (ISO) ยิ่งปรับค่าความไวแสงสูง ก็จะช่วยทำให้ภาพสว่าง กลับกันเมื่อทำการปรับค่าความไวแสงต่ำก็จะทำให้ภาพมืดลง แต่ความคมชัดของภาพสูงขึ้น ในทางกลับกัน การปรับค่าความไวแสงที่สูงจนเกินไปส่งผลให้ภาพเกิดสิ่งรบกวน[19]

2.5.3 ความเร็วชัตเตอร์ (shutter speed)



รูปที่ 2.17 การปรับความเร็วของชัตเตอร์ในระดับต่างๆ[19]

ความเร็วของชัตเตอร์(shutter speed) เป็นค่าที่ใช้ในการควบคุมปริมาณแสงที่เข้ามาในกล้องมีหน่วยการนับเป็นวินาที เมื่อปรับค่าชัตเตอร์เพิ่มขึ้นหรือเวลาในการรับแสงสั้นลง เช่น 1/1000 วินาที จะทำให้เกิดการลั่นชัตเตอร์ที่รวดเร็ว สามารถหยุดวัตถุที่เคลื่อนไหวให้นิ่งอยู่กับที่ได้ หรือหากปรับค่าชัตเตอร์ให้ช้าลงเป็น 10 วินาที จะทำให้กล้องเปิดรับแสงนานขึ้น ใช้เวลาในการถ่ายภาพนานขึ้น ปริมาณแสงที่เข้าสู่กล้องจะเพิ่มมากขึ้น แต่วัตถุที่เคลื่อนไหวภายในภาพ จะเกิดการเบลอ[19]



รูปที่ 2.18 การปรับความเร็วชัตเตอร์ที่ไม่สัมพันธ์กับค่าความไวแสง[19]

อย่างไรก็ตามค่าความไวแสง และค่าความเร็วชัตเตอร์ เป็นค่าที่อยู่ความสัมพันธ์ 3 ปัจจัยในการรับแสง ดังนั้นหากปรับค่าใดค่าหนึ่งสูงเกินไปก็จะส่งผลให้ภาพที่ออกมาที่มีความมืดสว่าง หรือเบลอ[19]

2.5.4 ค่าความสมดุลของแสงสีขาว (white balance)

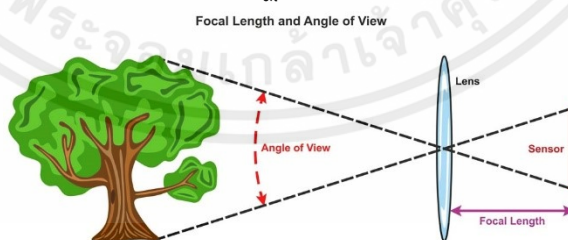
ค่าความสมดุลของแสงสีขาว คือ คุณสมบัติที่ช่วยให้มั่นใจว่าสีขาวในภาพถ่าย จะได้รับการถ่ายอย่างแม่นยำ ไม่ว่าจะถ่ายภาพภายใต้สภาพแสงแบบใดก็ตาม ในการถ่ายภาพขั้น พื้นฐานจะเลือกใช้การตั้งค่าสมดุลแสงขาวอัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม การตั้งค่านี้ไม่ใช่วิธีแก้ปัญหาที่ เหมาะสมกับทุกสถานการณ์ หากต้องการตั้งค่าสมดุลแสงขาวให้เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดแสงมาก ที่สุด ควรเลือกการตั้งค่าสมดุลแสงขาวจากกล้อง[21]

ตารางที่ 2.5 ค่าความสมดุลของแสงสีขาวกับแหล่งกำเนิดแสง[23]

อุณหภูมิสี	แหล่งกำเนิดแสง
10000 - 15000 K	ท้องฟ้าเปิด
6500 - 8000 K	ท้องฟ้าที่มีเมฆ - เมฆมาก
6000 - 7000 K	แสงอาทิตย์ตอนกลางวัน
5500 - 6500 K	แสงระดับกลางระหว่างวัน
5000 - 5500 K	แฟลชอิเล็กทรอนิกส์
4000 - 5000 K	ไฟฟลูออเรสเซนต์
3000 - 4000 K	ช่วงเช้าตรู่/ช่วงดึก
2500 - 3000 K	แสงไฟในที่ร่ม
1000 - 2000 K	แสงจากเทียน

2.5.5 ความยาวโฟกัสของกล้อง (focal length)

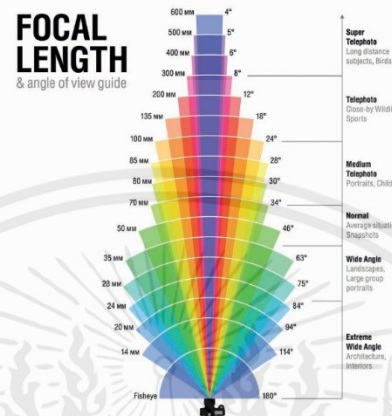
ความยาวโฟกัสส่วนมากแสดงค่าเป็นตัวเลขที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) เป็นการ คำนวณระยะที่เกิดขึ้นจากการเกิดภาพบนเซ็นเซอร์จากระยะทางของวัตถุที่ระยะหนึ่งหรือที่ระยะ อนันต์ที่ผ่านจุดศูนย์กลางเลนส์และให้ภาพปรากฏอย่างพอดีบนระนาบเซ็นเซอร์ในกล้อง [24]



รูปที่ 2.19 ภาพอธิบายหลักการทางยาวโฟกัส [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

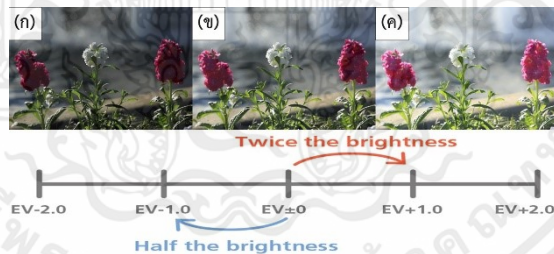
ซึ่งระยะเลนส์จะบอกได้ถึงมุมรับภาพ ความกว้างหรือแคบของมุมมองภาพที่จะปรากฏ ระยะเลนส์ที่มีตัวเลขมาก เป็นเลนส์ที่มีทางยาวโฟกัสโฟกัส ยาวมุมมองภาพก็จะแคบลงและกำลังขยายก็จะสูงขึ้น และเลนส์ที่มีระยะเลนส์ที่มีตัวเลขน้อย ความยาวโฟกัสโฟกัสสั้นมุมรับภาพจะกว้างขึ้นและกำลังขยายจะลดลง หลักการจำง่าย ๆ คือ เลนส์เลขน้อย มิลลิเมตร = มุมรับภาพกว้างและเลนส์ที่มีเลขมาก มิลลิเมตร = มุมรับภาพแคบ[24]



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโฟกัสกับมุมรับภาพ [24]

2.5.6 การชดเชยแสง (exposure value, EV)

การชดเชยแสง คือการปรับให้ภาพที่ถ่ายออกมา มีความสว่างขึ้นหรือมืดลงกว่าที่ระบบกล้องจะวัดแสงได้ ซึ่งค่าการชดเชยแสง จะมีค่าตั้งแต่ -3 ไปจนถึง +3 หากต้องการจะลดแสงให้มืดลง ต้องปรับค่าการชดเชยแสง ลงหากต้องการเพิ่มแสงให้ภาพสว่างขึ้น ต้องปรับค่า EV ขึ้น[21]



รูปที่ 2.21 ภาพการชดเชยแสงที่ตำแหน่งต่างกันที่

(ก) การชดเชยแสง เท่ากับ -1.0, (ข)การชดเชยแสง เท่ากับ ±0

และ (ค) การชดเชยแสง เท่ากับ +1. 0 [21]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

3.1 การศึกษาข้อมูลจำเพาะที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

3.1.1 การตั้งค่าการถ่ายภาพของกล้อง

ในขั้นตอนแรกจะทำการลดสิ่งรบกวนของภาพที่ถ่ายได้ซึ่งจากที่กล่าวไปข้างต้น สิ่งรบกวนเกิดจากการเพิ่มความไวแสง โดยเครื่องงานวิจัยก่อนหน้านี้ปรับค่าความไวแสงไว้ที่ 1600 ซึ่งส่งผลให้เกิดสิ่งรบกวนบนแถบสเปกตรัมที่จะส่งผลต่อการวิเคราะห์ความเข้มข้น ดังนั้นจึงทดลองถ่ายภาพสเปกตรัมโดยปรับลดค่าความไวแสง ลงจนต่ำที่สุดที่กล้องสามารถปรับได้ที่ค่าความไวแสง เท่ากับ 100 เพื่อสังเกตสิ่งรบกวน และหาค่าความไวแสงที่เหมาะสม

ทั้งนี้แหล่งกำเนิดแสงนั้นใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 โวลต์ ความถี่ 50 ถึง 60 เฮิรซ์ ดังนั้นความถี่ในการกระพริบของแหล่งกำเนิดแสงจะเท่ากับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ได้ป้อนให้แก่แหล่งกำเนิดนั้น ในการถ่ายภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์นั้นจำเป็นต้องถ่ายให้ครอบคลุมช่วงเวลาที่กระพริบหลายๆช่วง เพื่อให้ปริมาณแสงที่ถ่ายได้นั้นเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์ ซึ่งจะทดลองถ่ายภาพโดยปรับค่าความเร็วชัตเตอร์ตั้งแต่ 1/250 , 1/125 , 1/50 , 1/10 วินาทีตามลำดับ

3.1.2 ระยะห่างระหว่างเกรตติงและสลิต

เพื่อที่จะสามารถถ่ายรูปสเปกตรัมได้อย่างชัดเจน จำเป็นต้องหาระยะที่เหมาะสมของเกรตติงกับสลิต โดยจะต้องทดสอบสมมุติฐานว่ากล้องจับโฟกัสที่แหล่งกำเนิดแสง หรือฉากสลิตโดยการทดลองปรับระยะห่างระหว่างเกรตติงกับสลิต จนกว่าจะได้ภาพที่ชัดเจน มีความสว่างของสเปกตรัมที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ และนำมาเป็นระยะในการออกแบบเครื่อง

3.2 การพัฒนาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

3.2.1 การทดลองเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาประเภทแสงเดี่ยวและแสงคู่

เนื่องจากการตัดภาพสเปกตรัมของอุปกรณ์มาวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง ต้องการภาพสเปกตรัมที่มีองค์ประกอบและตำแหน่งเดิมอยู่ตลอดการทดลอง แต่ในการทดลองไม่สามารถจัดกล้องสมาร์ทโฟนให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกันได้ในทุกชุดการทดลอง รวมไปถึงไม่สามารถระบุตำแหน่งของแถบสีสเปกตรัมที่หายไปได้จากการถูกดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง จึงได้ออกแบบเครื่องที่สามารถตรวจสอบระบุตำแหน่งของแถบสีสเปกตรัมที่หายไปได้จากการถูกดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง โดยออกแบบให้มีสลิตสองช่อง

3.2.2 การทดลองเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาประเภทแสงคู่

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาประเภทแสงคู่ซึ่งออกแบบให้มีสลิตสองช่อง โดยสลิตช่องหนึ่งจะให้ภาพสเปกตรัมสำหรับอ้างอิง ให้โปรแกรมแปลงภาพเป็นค่าความสว่าง ตัดภาพสเปกตรัมที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งสเปกตรัมอ้างอิงต้องไม่เกิดการแทรกสอดกับภาพสเปกตรัมที่ต้องการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองปรับระยะห่างระหว่างรูสลิตและความกว้างของรูสลิตทั้งสอง จนไม่พบการแทรกสอดกับพื้นที่ภาพสเปกตรัมที่ต้องการวิเคราะห์

ในการติดตั้งเกรตติงจะเป็นต้องกำหนดระยะของสเปกตรัมให้มีระยะเดียวกันตลอดช่วงสเปกตรัม ซึ่งองศาของเกรตติงที่เปลี่ยนไปเล็กน้อยก็ทำให้ภาพสเปกตรัมเอียง และทำให้การตัดภาพสเปกตรัมของโปรแกรมเกิดความคาดเคลื่อนได้

3.2.3 การประกอบเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

1. ออกแบบอุปกรณ์ตัวต้นแบบ ในโปรแกรม AutoCAD ตาม ก.1 และ ก.2
2. พิมพ์แบบออกมา และนำไปติดลงบนแผ่นพลาสติกลูกฟูก
3. ตัดแผ่นพลาสติกลูกฟูกตามเส้นที่บ
4. ติดผ้าสักหลาดเพื่อป้องกันแสงที่สะท้อนภาพในเครื่อง
5. นำส่วนประกอบทั้งหมดประกอบเข้าด้วยกัน
6. ทดลองใช้สมาร์ทโฟน วางในแนวนอนให้กล้องแนบกับช่องถ่ายภาพ จากนั้นถ่ายภาพสเปกตรัม โดยเลื่อนตำแหน่งสมาร์ทโฟน ให้ได้ภาพสเปกตรัมที่สมบูรณ์
7. เมื่อได้ตำแหน่งที่แน่นอนสำหรับการวางกล้องสมาร์ทโฟนแล้ว จัดทำฐานวางเพื่อไม่ให้สมาร์ทโฟนเคลื่อนตำแหน่งระหว่างการทดลอง

3.3 การทดสอบการละลายของสารกำจัดศัตรูพืชตามท้องตลาด

1. ตวง คาร์เบนดาซิม 50%w/v 0.1 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ 3 บีกเกอร์
2. เติมน้ำปราศจากไอออน, เอทานอล และอะซิโตนไทรเอทรีล ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ใช้แท่งแก้วกวนสารละลาย และสังเกตลักษณะของสารละลาย
3. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-2 โดยเปลี่ยน คาร์เบนดาซิม 50%w/v เป็น คาร์โบซัลแฟน 20%w/v

3.4 การวิเคราะห์คาร์โบซัลแฟนในสารละลายเอทานอล

3.4.1 เตรียมสารละลายคาร์โบซัลแฟนในเอทานอล

1. ตวง คาร์โบซัลแฟน 20%w/v 0.25 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมเอทานอล จนถึงปริมาตรที่กำหนด นำจุกปิด และเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำสารละลายจากขั้นตอนที่ 2 มาปิเปตต์โดยใช้ไมโครปิเปตต์ 8, 6, 4, และ 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมเอทานอล จนถึงปริมาตรที่กำหนด นำจุกปิด และเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน (400, 300, 200, และ 100 ppm)
4. นำสารละลายจากขั้นตอนที่ 2 มาปิเปตต์โดยใช้ไมโครปิเปตต์ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมเอทานอล จนถึงปริมาตรที่กำหนด นำจุกปิด และเขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน (25 ppm)

3.4.2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1. เปิดเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Thermo Scientific Evolution 201 UV-Visible Spectrophotometers) และโปรแกรม Thermo INSIGHT
2. ไปที่ Home เลือก Scan จากนั้นไปที่ Options ตั้งค่า Data Mode เป็น Absorbance จากนั้นตั้งค่า Start wavelength เริ่มที่ 700 นาโนเมตร จนถึง 200 นาโนเมตร สุดท้ายตั้งค่า Integration time 0.05 วินาที, data Interval 1 นาโนเมตร และ Scan speed 1200 นาโนเมตรต่อนาที
3. ไปที่ Options เลือกเมนูว่า Samples จากนั้นทำการใส่จำนวน Sample ที่จะทดลองพร้อมทั้งตั้งข้อมูลที่ทดลอง
4. นำตัวทำละลายตั้งต้นใส่ในช่อง Sample และช่อง Reference จากนั้นกดปุ่ม Zero/base
5. เปลี่ยนช่อง Sample เป็นสารละลายที่เตรียมไว้ตามลำดับ และกด Run
6. เมื่อเครื่อง Scan เสร็จหนึ่งตัวอย่างสารละลาย ก็ทำการเปลี่ยนตัวสารละลายใหม่ลงช่อง Sample และกด Continuous ในโปรแกรม จนกว่าจะครบทุกความเข้มข้น
7. ไปที่ Reports กด Export โดยที่ต่อบันทึกไฟล์เป็นนามสกุล spectrum (.csv)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

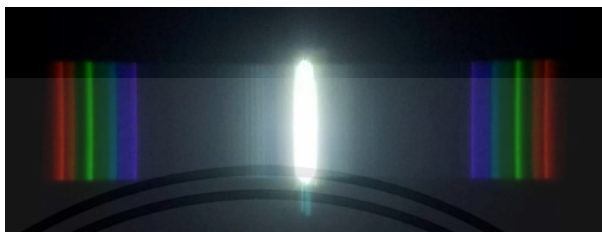
3.4.3 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

1. เลือกโหมดการถ่ายภาพกล้องโทรศัพท์เป็นปรับค่ากล้องได้ โดยตั้งค่ากล้องดังต่อไปนี้ ค่าความไวแสงเท่ากับ 400 ค่าความเร็วชัตเตอร์เท่ากับ 1/50 ค่าโฟกัสเท่ากับ 0 และค่าสมดุลของแสงสีขาวเท่ากับ 6000 เคลวิน
2. สอดโทรศัพท์มือถือในช่องถ่ายภาพ
3. เปิดสวิตซ์แหล่งกำเนิดแสง
4. นำคิวเวทท์ที่มีสารละลายตัวอย่างใส่ในช่องใส่สารตัวอย่าง
5. กดถ่ายภาพเป็นจำนวน 10 ภาพ
6. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 4 ถึง 5 จนครบการทดลอง
7. รวมไฟล์ภาพถ่ายโดยแยกไฟล์เป็น ปีเดือนวัน → แหล่งกำเนิดแสง → ตัวถูกละลาย → ตัวทำละลาย → ความเข้มข้นของสารละลาย โดยชื่อของไฟล์ภาพจะต้องตั้งชื่อว่า “ปีเดือนวัน_แหล่งกำเนิดแสง_ตัวทำละลาย_ตัวถูกละลายตัวที่1_ความเข้มข้น1_ตัวถูกละลายตัวที่2_ความเข้มข้น2_”
8. จากนั้นส่งข้อมูลไปให้โปรแกรมแปลงค่าสีของภาพเป็นค่าความสว่าง

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการศึกษาข้อมูลจำเพาะที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

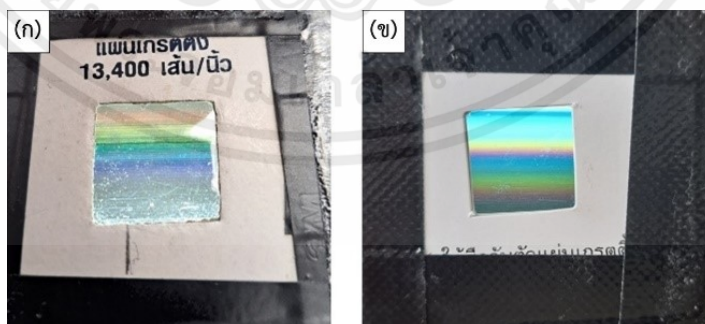


รูปที่ 4.1 ภาพสเปกตรัมที่มีค่าความไวแสง 1600 และค่าความเร็วชัตเตอร์ 1/10 วินาที

จากการศึกษาวิจัยของการพัฒนาอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาเพื่อการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมต โดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล[3] ทางผู้วิจัยสังเกตเห็นถึงปัจจัยที่มีผลต่อภาพสเปกตรัม จากกล้องสมาร์ทโฟนที่มีการตั้งค่าการถ่ายภาพที่ต่างกัน พบว่ามีการเกิดสิ่งรบกวน สังเกตได้จากรูปที่ 4.1

ในการทดลองอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาของงานวิจัยของการพัฒนาอุปกรณ์ในการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มคาร์บาเมต[3] โดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงและการวิเคราะห์ภาพดิจิทัล ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นการชำรุดของอุปกรณ์และได้ตั้งสมมุติฐานว่าจะส่งผลกระทบต่อเกิดภาพสเปกตรัมด้วยหรือไม่ โดยจะตั้งค่าการถ่ายภาพดังนี้ ค่าความไวแสง(ISO) เท่ากับ 1600, ค่าความเร็วชัตเตอร์(shutter speed) เท่ากับ 1/10 วินาที, ค่าสมดุลของแสงสีขาว(white balance) เท่ากับ 6000 เคลวิน

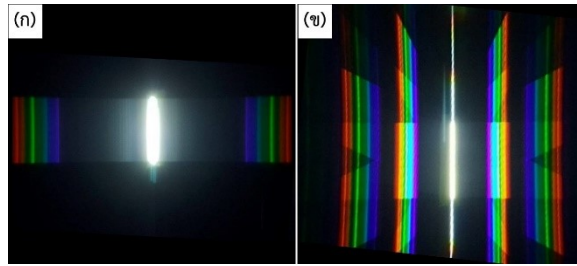
4.1.1 ผลการศึกษาเกรตติ้ง



รูปที่ 4.2 ภาพเกรตติงขนาด 13,400 เส้น/นิ้ว (ก) เกรตติงเก่า และ (ข) เกรตติงใหม่

จากการสังเกตรูปที่ 4.2(ก) จะเห็นว่าเกรตติงตัวเก่าเกิดรอยขีดข่วน และได้รับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นเวลานานทำให้ตัวฟิล์มเกิดความเสียหาย เมื่อเทียบกับเกรตติงตัวใหม่ ดังรูปที่ 4.2(ข) ซึ่งเกรตติงทั้งสองได้ภาพสเปกตรัมดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

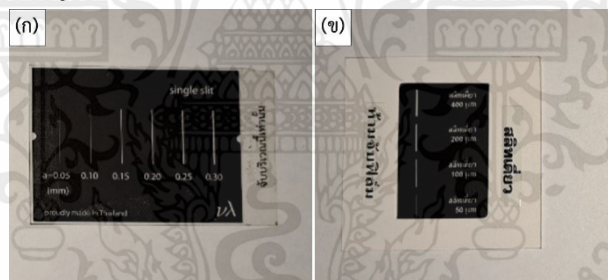


รูปที่ 4.3 ภาพสเปกตรัมที่มีค่าความไวแสง 1600, ค่าความเร็วชัตเตอร์ 1/10 วินาที และเกรตติ้งต่างกัน (ก) เกรตติ้งเก่า และ (ข) เกรตติ้งใหม่

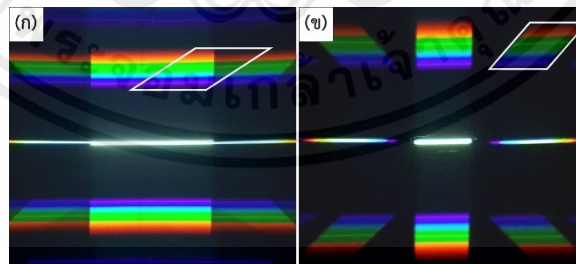
จากทั้งสองภาพที่ถ่ายหลังที่ทำการเปลี่ยนเกรตติ้ง จะสังเกตได้ว่า 4.3(ก) เกิดภาพสเปกตรัมที่ไม่ชัดเจน ซึ่งจะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาด ส่วน 4.3(ข) เป็นเกรตติ้งที่ทำให้สังเกตสเปกตรัมได้อย่างชัดเจน แต่ก็เกิดภาพสเปกตรัมมาแทรกสอดกับภาพสเปกตรัมส่วนที่จะนำมาวิเคราะห์

4.1.2 ผลการศึกษาแผ่นสลิต

จากทดลองในตอนี่ 4.1.1 สังเกตว่าเกิดการแทรกสอดของภาพสเปกตรัม ผู้วิจัยได้ทำการลดความกว้างของสลิตลงจาก 2 เซนติเมตรเป็น 0.7 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.4 เพื่อไม่ให้ภาพสเปกตรัมแทรกสอดกัน ดังรูปที่ 4.5



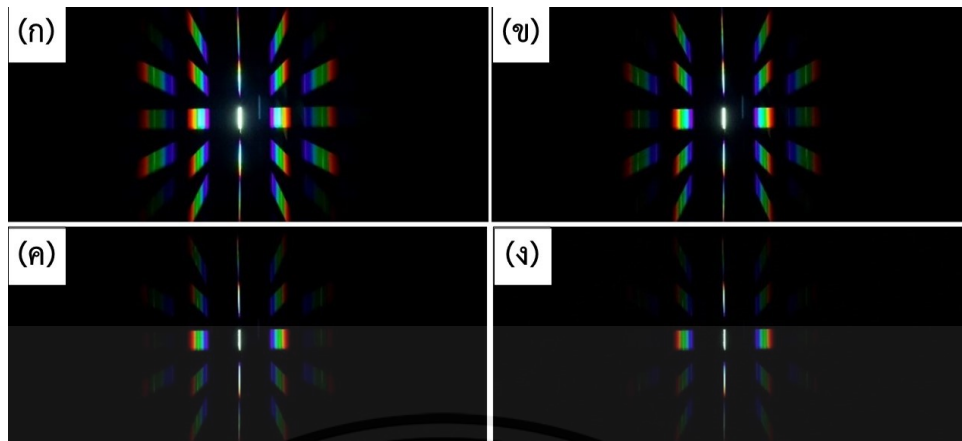
รูปที่ 4.4 ภาพสลิตเดี่ยว (ก) สลิตความกว้าง 2 เซนติเมตร และ (ข) สลิตความกว้าง 0.7 เซนติเมตร



รูปที่ 4.5 ภาพสเปกตรัมที่สลิตเดี่ยว (ก) ความกว้าง 2 เซนติเมตร และ (ข) ความกว้าง 0.7 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการปรับเปลี่ยนค่าความไวแสง

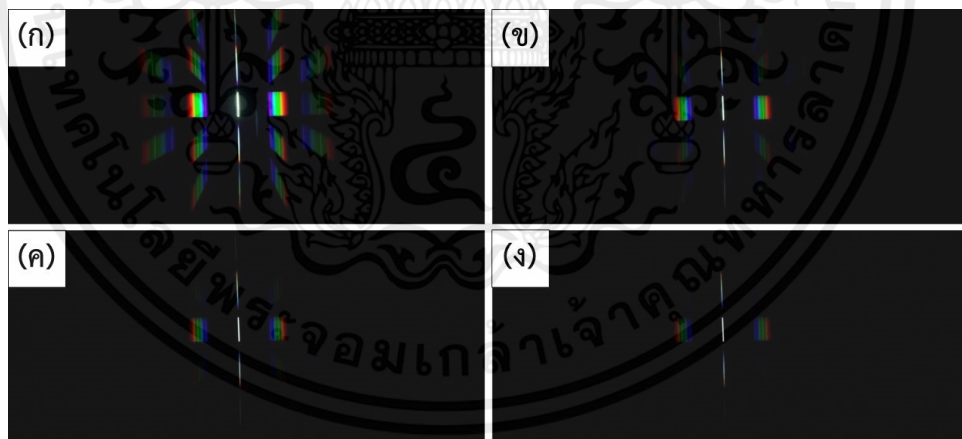


รูปที่ 4.6 ภาพสเปกตรัมที่มีค่าความเร็วชัตเตอร์ที่เท่ากันที่ 1/10 วินาที และค่าความไวแสงเท่ากับ

(ก) 1600, (ข) 800, (ค) 200 และ (ง) 100

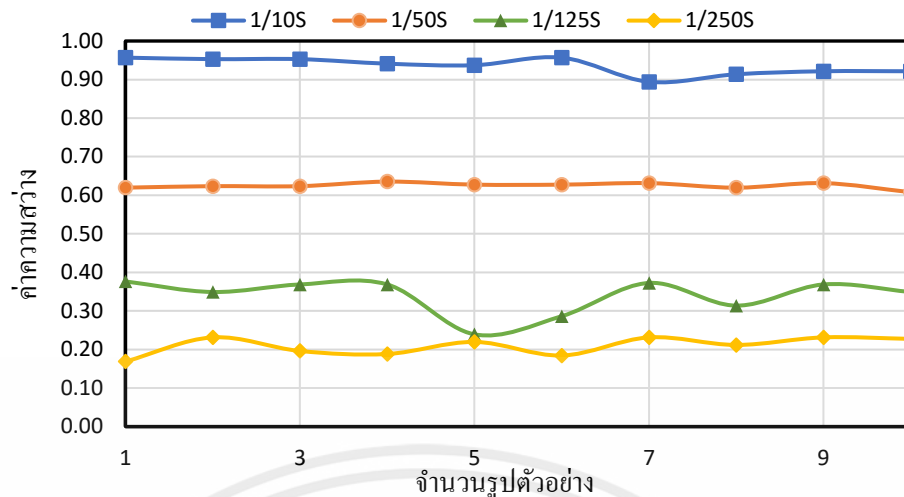
จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการปรับค่าความไวแสง (ISO) ของกล้องถ่ายภาพที่ค่าความไวแสงเท่ากับ 1600, 800, 200 และ 100 ซึ่งจากรูปที่ 4.6(ก) จะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการปรับค่าความไวแสง ไปที่ 1600 พบว่ามีค่าความเข้มของแสงมากที่สุด แต่เกิดสิ่งรบกวนบริเวณภาพสเปกตรัมมากที่สุดเช่นกัน และเมื่อสังเกตจากรูปที่ 4.6(ง) ที่ทำการปรับค่าความไวแสงลงไป 100 พบว่าไม่เกิดสิ่งรบกวนบริเวณภาพสเปกตรัม แต่มีค่าความเข้มของแสงน้อยลงเช่นกัน

4.1.4 ผลการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วชัตเตอร์



รูปที่ 4.7 ภาพสเปกตรัมที่มีค่าความไวแสงเท่ากัน 400 และค่าความเร็วชัตเตอร์เท่ากับ

(ก) 1/10 วินาที, (ข) 1/50 วินาที, (ค) 1/125 วินาที และ (ง) 1/250 วินาที



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง และจำนวนรูปตัวอย่าง

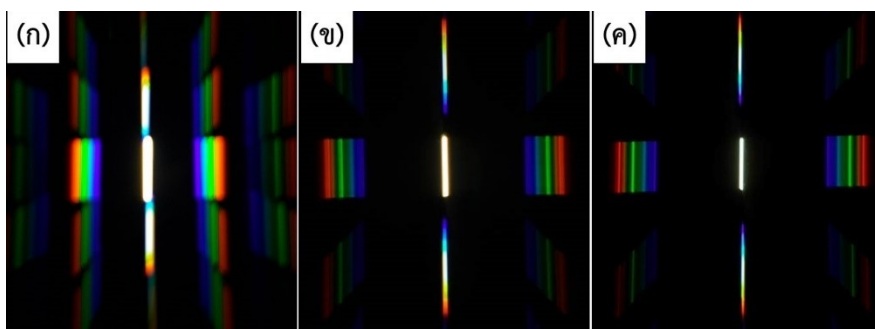
จากรูปที่ 4.7 ภาพสเปกตรัมที่มีค่าความไวแสงที่ 400 เมื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างและ จำนวนรูปตัวอย่าง ตามรูปที่ 4.8 พบว่าค่าความเร็วชัตเตอร์ที่ 1/50 วินาที มีความเสถียรมากกว่า ค่าความเร็วชัตเตอร์อื่น ๆ เนื่องจากความถี่ของแหล่งกำเนิดแสงมีค่าเท่ากับค่าความเร็วชัตเตอร์

จากการทดลองการศึกษาค้นคว้าการตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บภาพสเปกตรัม ผู้วิจัยได้ตั้งค่ากล้องให้เป็นมาตรฐานในการถ่ายภาพสเปกตรัมที่ค่าความไวแสง 100 และค่าความเร็วชัตเตอร์ 1/50 วินาที ได้ภาพตามรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ภาพสเปกตรัมที่ค่าความไวแสงเท่ากับ 100 และค่าความเร็วชัตเตอร์ 1/50 วินาที

4.1.5 ผลการศึกษาการปรับระยะระหว่างแผ่นสลิตและเกรตติง



รูปที่ 4.10 การปรับระยะระหว่างอุปกรณ์แผ่นสลิตและเกรตติง

(ก) ภาพสเปกตรัมที่แผ่นสลิตห่างจากเกรตติง 5 เซนติเมตร,

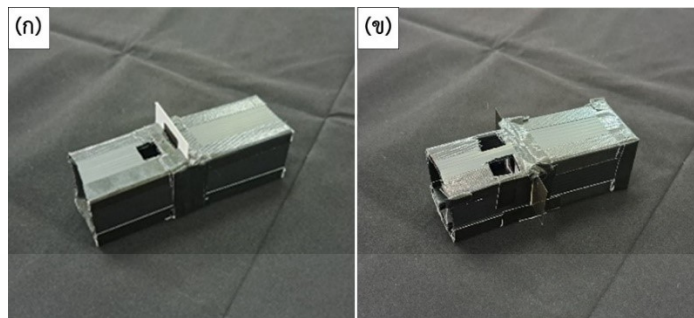
(ข) ภาพสเปกตรัมที่แผ่นสลิตห่างจากเกรตติง 7.7 เซนติเมตร

และ (ค) ภาพสเปกตรัมที่แผ่นสลิตห่างจากเกรตติง 10 เซนติเมตร

จากการทดลองในการปรับระยะห่างสลิตเพื่อหาระยะห่างที่เหมาะสมโดยปรับระยะตั้งแต่ 5 ถึง 10 เซนติเมตร โดยจากรูปที่ 4.10(ก) ภาพสเปกตรัมไม่สามารถแยกสีได้อย่างชัดเจน เมื่อเลื่อนระยะห่างออกมาสีของภาพสเปกตรัมจะเริ่มแยกแยะได้ชัดเจนที่ 7.7 เซนติเมตร จากนั้นเมื่อเลื่อนออกมาจำถึงระยะ 10 เซนติเมตร ความสว่างของแถบสเปกตรัมนั้นลดลงจากระยะ 7.7 เซนติเมตร สาเหตุเกิดจากกล้องที่ใช้ทำการทดลองมีระยะโฟกัสที่ 24 มิลลิเมตร และตั้งค่ากล้องส่วนของโฟกัสเป็น 0 ซึ่งกล้องจับแผ่นสลิตเป็นวัตถุหนึ่งในการที่จะถ่ายให้ได้ชัดเจนนั้นจะต้องให้แผ่นสลิตอยู่ห่างมากกว่าระยะ 3 เท่าของค่าโฟกัสของเลนส์กล้องหรือระยะอนันต์ แต่เมื่อระยะห่างมีมากเกินไปจะทำให้ความเข้มแสงที่ถ่ายได้ลดลง

4.2 ผลการพัฒนาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

4.2.1 ผลการศึกษาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาชนิดประเภทแสงเดี่ยวและแสงคู่



รูปที่ 4.11 ต้นแบบเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

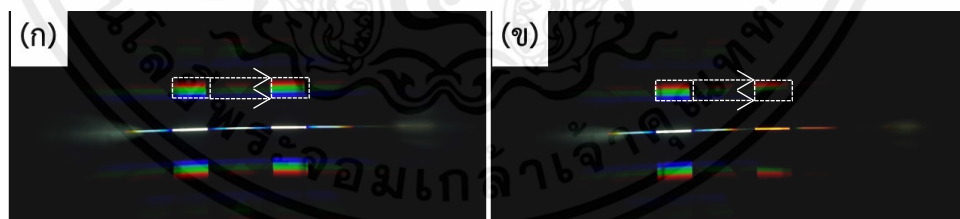
(ก) ประเภทแสงเดี่ยว และ (ข) ประเภทแสงคู่

เนื่องจากการตัดภาพสเปกตรัมของอุปกรณ์มาวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง ต้องการภาพสเปกตรัมที่มีองค์ตรงและตำแหน่งเดิมอยู่ตลอดการทดลอง แต่ในการทดลองของเครื่อง 4.11(ก) กล้องสมาร์ทโฟนสามารถเคลื่อนจากตำแหน่งเดิมได้ รวมไปถึงไม่สามารถระบุตำแหน่งของแถบสีสเปกตรัมที่หายไปได้จากการถูกดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่างดังรูปที่ 4.12(ข) ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบเครื่องที่สามารถตรวจสอบการดูดกลืนแสงเป็นเครื่องรูปที่ 4.11(ข)



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายสเปกตรัมของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาประเภทแสงเดี่ยว

(ก) ภาพสเปกตรัมอ้างอิง และ (ข) ภาพสเปกตรัมสารละลายตัวอย่าง



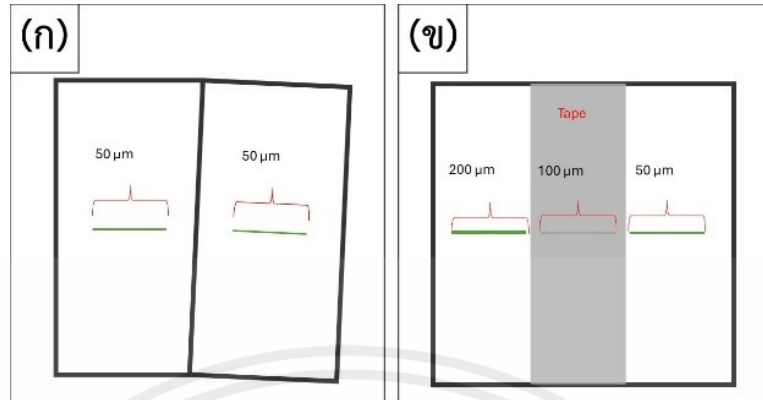
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายสเปกตรัมของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาประเภทแสงคู่

(ก) ภาพสเปกตรัมอ้างอิง และ (ข) ภาพสเปกตรัมสารละลายตัวอย่าง

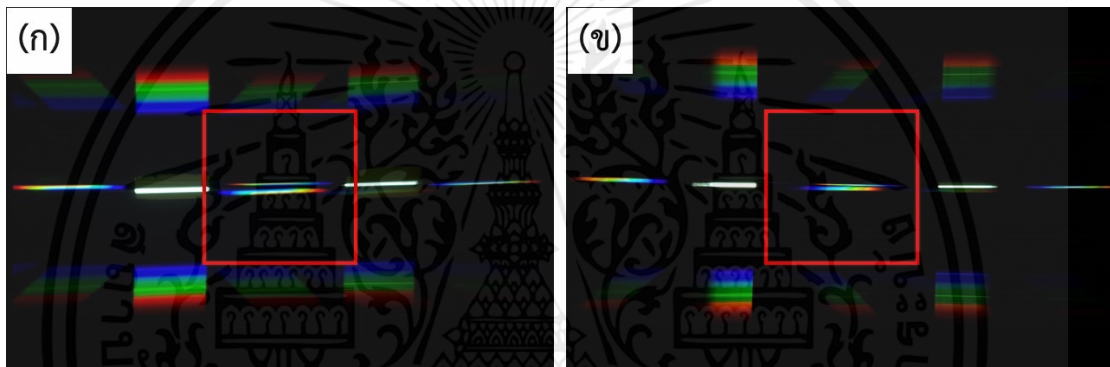
จากภาพจะสังเกตพบว่าภาพสเปกตรัมของรูปที่ 4.13(ข) จะเกิดภาพสเปกตรัมสองภาพคือสเปกตรัมที่ถูกสารละลายดูดกลืน และสเปกตรัมสำหรับอ้างอิง โดยสเปกตรัมสำหรับอ้างอิงทำให้การตัดภาพสเปกตรัมด้วยโปรแกรมสามารถตัดภาพสเปกตรัมมาได้ครบถ้วนและสะดวกรวดเร็ว

4.2.2 ผลการศึกษาเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาประเภทแสงคู่

4.2.2.1 ผลการศึกษาการปรับแถบเส้นสเปกตรัมให้ได้ระนาบเดียวกันด้วยแผ่นสลิต



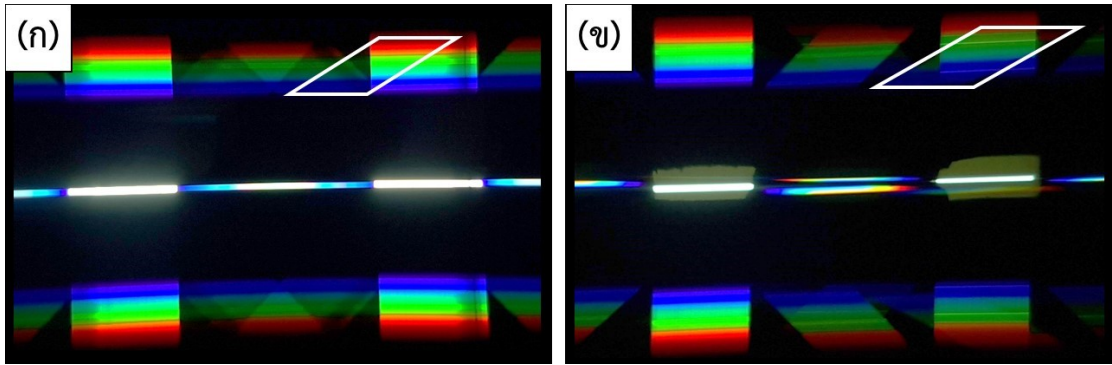
รูปที่ 4.14 สลิตแสงคู่ (ก) สลิตสองแผ่นขนาดรูสลิตเท่ากัน และ (ข) สลิตแผ่นเดียวรูสลิตไม่เท่ากัน



รูปที่ 4.15 ภาพสเปกตรัมการปรับระนาบแผ่นสลิต

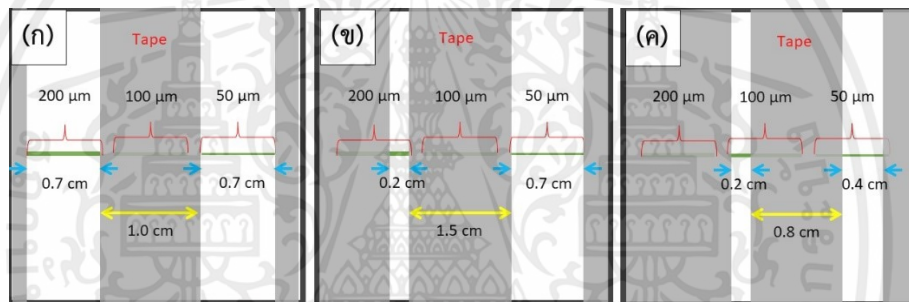
(ก) สลิตสองแผ่นขนาดรูสลิตเท่ากัน และ(ข) สลิตแผ่นเดียวรูสลิตไม่เท่ากัน

จากการทดลองพบว่ารูปที่ 4.15(ก) ผู้วิจัยได้พยายามปรับให้สลิตทั้งสองที่มีความกว้างสลิตเท่ากันประกอบให้มีระนาบเดียวสเปกตรัมกันดังรูปที่ 4.14(ก) แต่เมื่อถ่ายภาพสเปกตรัมจะไม่อยู่ระนาบเดียวกันอยู่ ทางผู้วิจัยได้ทำการเลือกใช้เป็นแผ่นสลิตแผ่นเดียวที่มีความกว้างสลิตไม่เท่ากันดังรูปที่ 4.14(ข) แต่อยู่ระนาบเดียวกันดังรูปที่ 4.15(ข) ซึ่งสังเกตพบว่าช่วยให้ภาพสเปกตรัมอยู่ในระนาบเดียวกัน



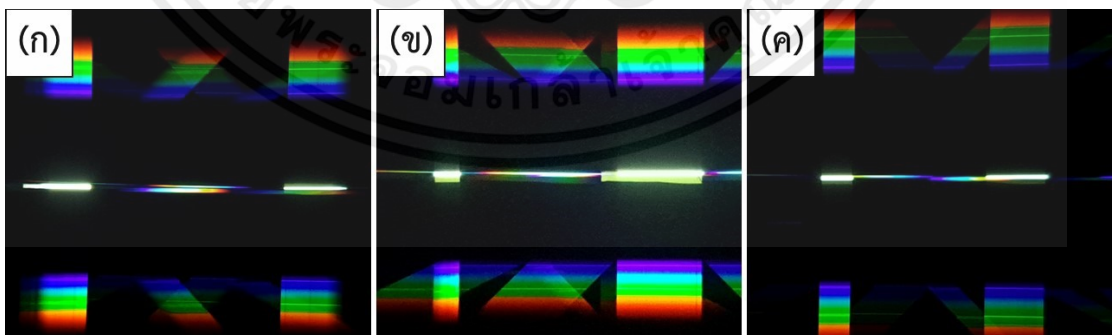
รูปที่ 4.16 ภาพสเปกตรัมที่แทรกสอดกัน(ก) สลิตสองแผ่นขนาดรูสลิตเท่ากัน
และ (ข) สลิตแผ่นเดี่ยวรูสลิตไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 4.16(ข) เมื่อเปลี่ยนสลิตเป็นแบบแผ่นเดี่ยวกัน แต่มีขนาดรูสลิตไม่เท่ากันส่งผลให้สเปกตรัมของสลิตที่มีขนาดใหญ่กว่าแทรกสอดไปที่อีกสเปกตรัมหนึ่ง ดังนั้นจึงทดลองปรับความกว้างของสลิตและระยะห่างของรูสลิตทั้งสองดังรูปที่ 4.17 เพื่อให้เกิดการแทรกสอดน้อยที่สุด



รูปที่ 4.17 การปรับความกว้างของรูสลิตสองรู

- (ก) สลิตกว้าง 0.7 เซนติเมตร ห่างกัน 1.0 เซนติเมตร,
(ข) สลิตกว้าง 1.0 เซนติเมตร และ 0.2 เซนติเมตร ห่างกัน 1.5 เซนติเมตร,
(ค) สลิตกว้าง 0.4 เซนติเมตร และ 0.2 เซนติเมตร ห่างกัน 0.8 เซนติเมตร



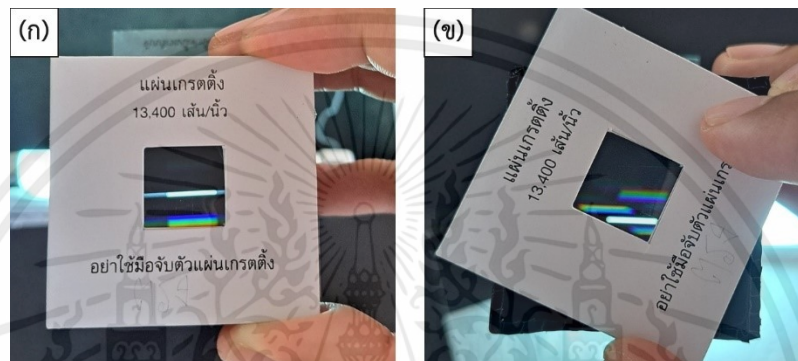
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายสเปกตรัมจากการปรับความกว้างของรูสลิตสองรู

- (ก) สลิตกว้าง 0.7 เซนติเมตร ห่างกัน 1.5 เซนติเมตร,
(ข) สลิตกว้าง 0.7 และ 0.2 เซนติเมตร ห่างกัน 1.0 เซนติเมตร,
(ค) สลิตกว้าง 0.4 และ 0.2 เซนติเมตร ห่างกัน 0.8 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

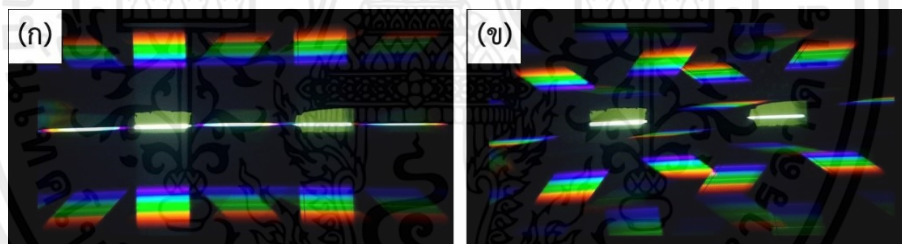
จากรูปที่ 4.18(ก) ภาพของสเปกตรัมที่ด้านซ้ายมือเป็นช่องอากาศสำหรับอ้างอิง และด้านขวามือเป็นสเปกตรัมสำหรับวิเคราะห์ สังเกตได้ว่าที่ความกว้างรูสลิตสำหรับวิเคราะห์ที่สลิตกว้าง 0.7 เซนติเมตร ห่างกัน 1.5 เซนติเมตรพบว่ามีสเปกตรัมบางส่วนที่แทรกสอดช่องสำหรับวิเคราะห์ แต่เมื่อใช้ความกว้างและระยะห่างของรูสลิตตามรูปที่ 4.17(ค) พบว่าไม่มีสเปกตรัมที่แทรกสอดบนสเปกตรัมอากาศ และมีสเปกตรัมจากช่องอากาศแทรกสอดที่สเปกตรัมสำหรับวิเคราะห์บางส่วน แต่มีพื้นที่เพียงพอสำหรับวิเคราะห์ จึงใช้ที่สลิตกว้าง 0.4 และ 0.2 เซนติเมตร ห่างกัน 0.8 เซนติเมตร สำหรับออกแบบอุปกรณ์

4.2.2.2 ผลการศึกษาการปรับแถบเส้นสเปกตรัมให้ได้ระนาบเดียวกันด้วยเกรตติ้ง



รูปที่ 4.19 ภาพการปรับองศาเกรตติ้ง

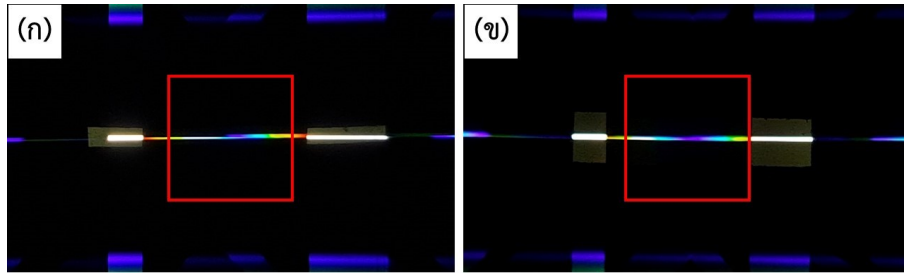
(ก) วางแผ่นเกรตติ้งให้ภาพสเปกตรัมตรง และ (ข) วางแผ่นเกรตติ้งให้ภาพสเปกตรัมเอียง



รูปที่ 4.20 ภาพสเปกตรัมการปรับองศาเกรตติ้ง

(ก) ภาพสเปกตรัมที่วางแผ่นเกรตติ้งให้ตรง และ (ข) ภาพสเปกตรัมที่วางแผ่นเกรตติ้งให้เอียง

อีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลในการถ่ายภาพสเปกตรัม คือองศาในการติดตั้งเกรตติ้ง จากรูปที่ 4.20 เมื่อทำการหมุนเกรตติ้งรูปร่างของสเปกตรัมจะเปลี่ยนไปตามการหมุน ซึ่งจำเป็นต้องหาตำแหน่งและองศาของเกรตติ้งที่เหมาะสม เพื่อที่จะสามารถถ่ายภาพสเปกตรัมได้ตรงและมีระนาบเดียวกัน



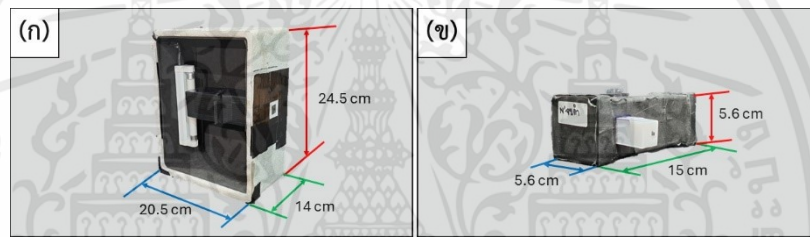
รูปที่ 4.21 ภาพสเปกตรัมการป้องกันเสาแผ่นเกรตติ้ง

(ก) ภาพสเปกตรัมที่ใช้แผ่นเกรตติ้งที่ไม่ได้ป้องกันและตำแหน่ง

(ข) ภาพสเปกตรัมที่ใช้แผ่นเกรตติ้งที่ได้ป้องกันและตำแหน่งให้อยู่ในระนาบเดียวกัน

จากการทดลองสังเกตพบว่ารูปที่ 4.21(ก) มีแถบระนาบสเปกตรัมที่ไม่ตรงกัน ซึ่งมีอีกปัจจัยหนึ่งคือองศาของเกรตติ้ง ผู้จัดทำได้ทำการป้องกันเกรตติ้งจนมีภาพสเปกตรัมที่มีระนาบเท่ากันได้ดังรูปที่ 4.21(ข)

4.2.3 ผลการศึกษาลดขนาดเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

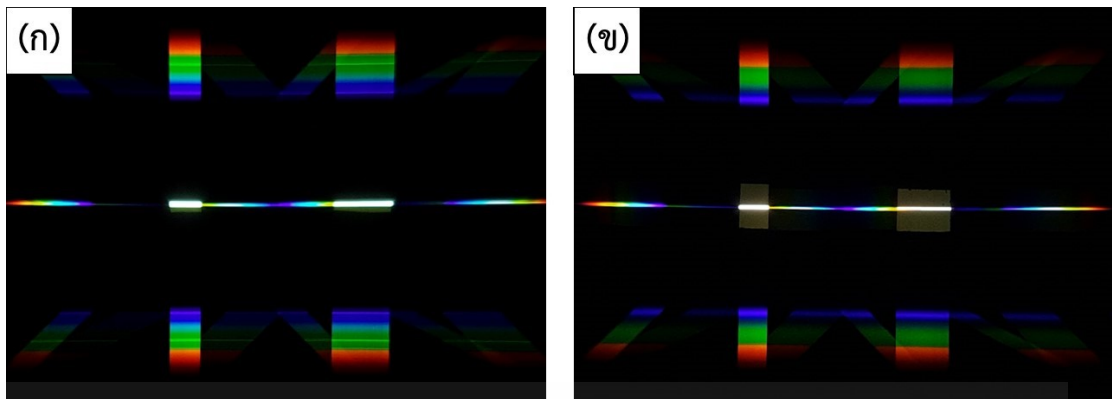


รูปที่ 4.22 ภาพเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

(ก) เครื่องประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์

และ(ข) เครื่องประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดี

จากการทดลองผู้จัดทำมีความประสงค์ที่จะให้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพามีขนาดเล็กลงจากเดิม ผู้วิจัยมีความเห็นว่าหากนำแหล่งกำเนิดแสงมาติดเข้ากับอุปกรณ์เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา จะสามารถลดขนาดของเครื่องลงได้เหลือหนึ่งในสิบของปริมาตรเครื่องเดิม จึงทำการเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ดังรูปที่ 4.22(ก) เป็นหลอดแอลอีดีแทนดังรูปที่ 4.22(ข) ซึ่งให้ภาพสเปกตรัมที่เปลี่ยนไปดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ภาพสเปกตรัมจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

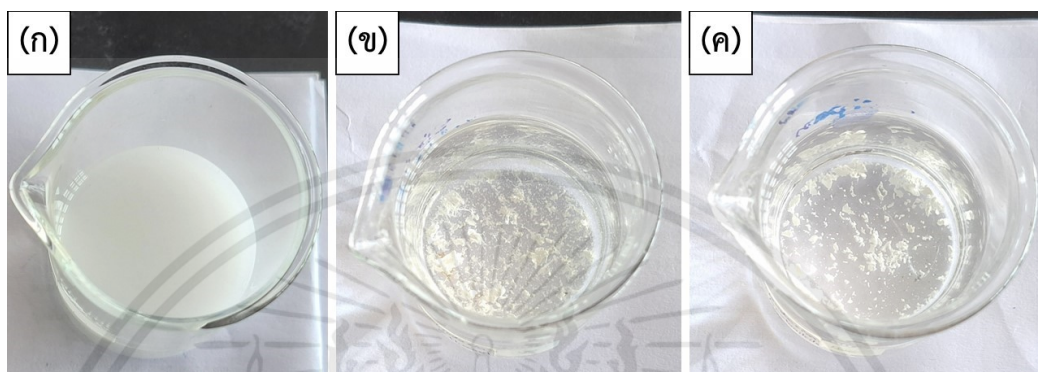
(ก) ภาพสเปกตรัมจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์

และ(ข) ภาพสเปกตรัมจากแหล่งกำเนิดแสงแอลอีดี

จากการทดลองรูปที่ 4.23(ก) ภาพของสเปกตรัมโดยแหล่งกำเนิดแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ มีแถบแสงของสเปกตรัมมีการเรียงตัวต่อเนื่องกันแต่รูปที่ 4.23(ข) ภาพของสเปกตรัมโดยแหล่งกำเนิดแสงหลอดแอลอีดี มีแถบแสงของสเปกตรัมมีการเรียงตัวไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งจะขาดหายไปในช่วงแถบสีคราม

4.3 ผลการทดลองการละลายของสารกำจัดศัตรูพืชตามท้องตลาดในตัวทำละลายต่างชนิด

จากการทดลองนำสารกำจัดศัตรูพืชตามท้องตลาดประเภทคาร์บาเมทได้แก่ คาร์เบนดาซิม และคาร์โบซัลแฟนมาทดลองละลายในตัวทำละลายน้ำปราศจากไอออน, เอทานอล และอะซิโตนไนไตรล์ ดังรูปที่ 4.24 และ 4.25



รูปที่ 4.24 ภาพการละลายของยาฆ่าเชื้อราคาร์เบนดาซิมในตัวทำละลายต่างชนิด

(ก) คาร์เบนดาซิมละลายในน้ำ, (ข) คาร์เบนดาซิมละลายในเอทานอล และ (ค) คาร์เบนดาซิมละลายในอะซิโตนไนไตรล์

จากรูปที่ 4.24 พบว่าคาร์เบนดาซิมจากท้องตลาดละลายในน้ำได้เล็กน้อย เมื่อละลายแล้วได้สารละลายที่มีลักษณะขาวขุ่น ส่วนที่คาร์เบนดาซิมที่หยดในเอทานอล และอะซิโตนไนไตรล์ เมื่อหยดลงในตัวทำละลายคาร์เบนดาซิมจะจับตัวกันเป็นก้อน



รูปที่ 4.25 ภาพการละลายของยาฆ่าแมลงคาร์โบซัลแฟนในตัวทำละลายต่างชนิด

(ก) คาร์โบซัลแฟนละลายในน้ำ, (ข) คาร์โบซัลแฟนละลายในเอทานอล, และ (ค) คาร์โบซัลแฟนละลายในอะซิโตนไนไตรล์

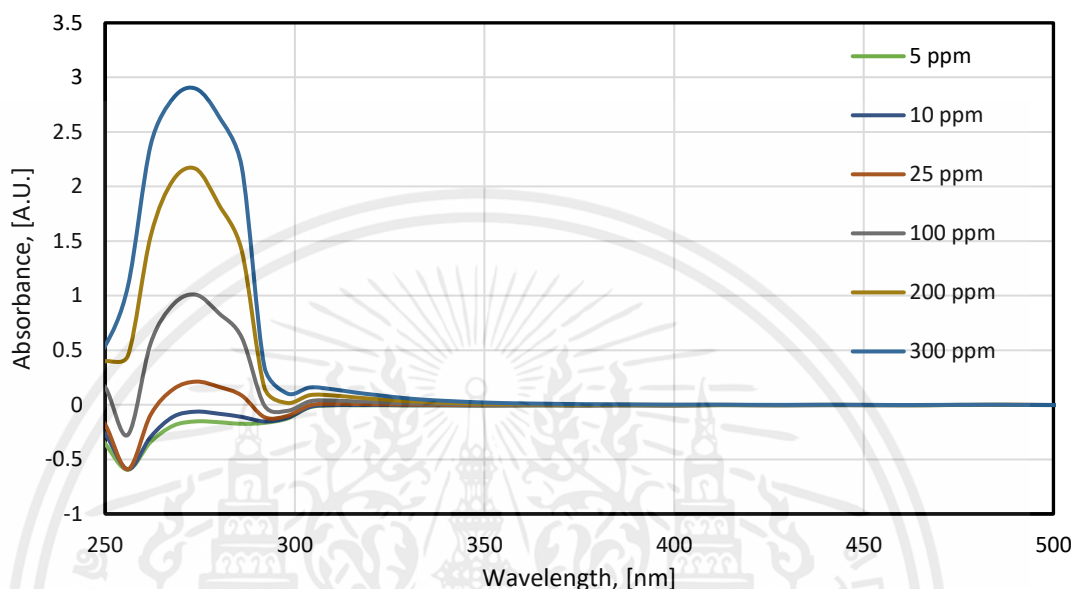
จากรูปที่ 4.25 พบว่าคาร์โบซัลแฟนจากท้องตลาดละลายในน้ำแล้วเกิดอิมัลชันที่มีลักษณะขาวขุ่น ส่วนที่คาร์โบซัลแฟนที่หยดในเอทานอล และอะซิโตนไนไตรล์ สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ทุกความเข้มข้น จึงเลือกคาร์โบซัลแฟนมาทดลองวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวิเคราะห์คาร์โบซิลแพนในสารละลายเอทานอล

4.4.1 ผลการทดลองยาคำจัดศัตรูพืชโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เมื่อนำสารกำจัดศัตรูพืชคาร์โบซิลแพน ที่ทราบความเข้มข้น มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อสังเกตแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงได้ดังรูปที่ 4.26

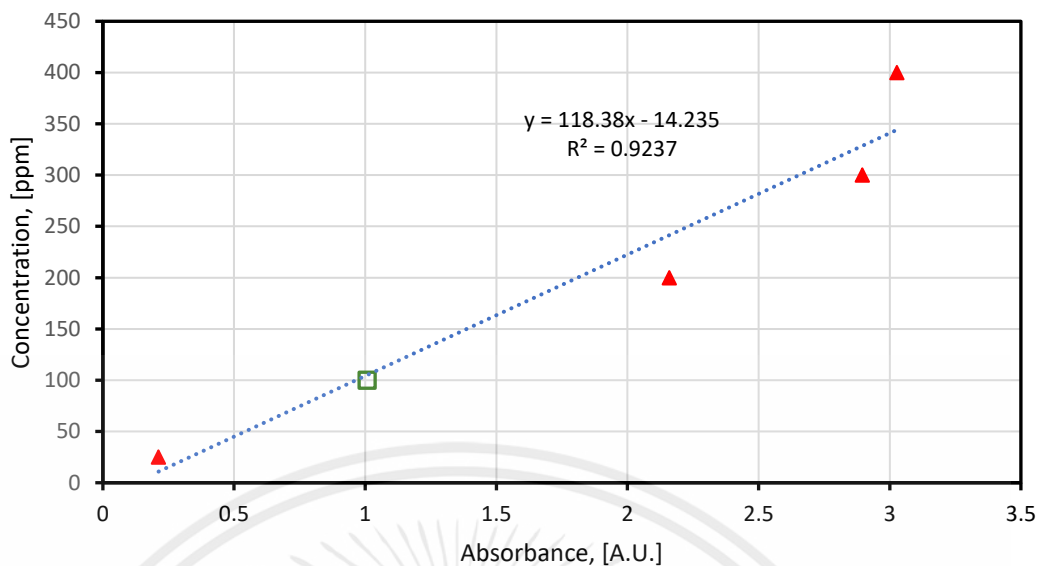


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสง

ของคาร์โบซิลแพนในเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

จากรูปที่ 4.26 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่น 274 นาโนเมตร ในส่วนของความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 25 ppm นั้นมีค่าการดูดกลืนแสงต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงของตัวทำละลาย ทั้งนี้ยังมีค่าการดูดกลืนแสงบางส่วนที่อยู่ในช่วงแสงมองเห็น (380 ถึง 700 นาโนเมตร) แต่มีค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละความเข้มข้นแตกต่างกันน้อย

เมื่อนำคาร์โบซิลแพนที่ความเข้มข้น 25, 200, 300 และ 400 ppm มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของคาร์โบซิลแพน ที่ความยาวคลื่น 274 นาโนเมตร ได้ดังรูปที่ 4.27



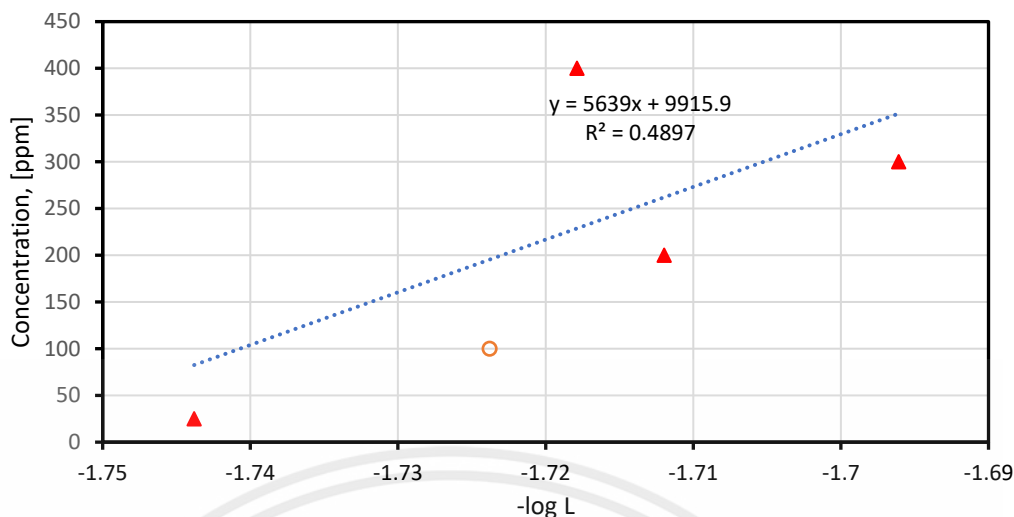
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบซิลแฟนที่ความเข้มข้น 25, 200, 300 และ 400 ppm

ในเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เมื่อนำสารละลายคาร์โบซิลแฟนที่ทราบความเข้มข้นมาสร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้ค่าการดูดกลืนจากเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ดังรูปที่ 4.27 ได้เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบซิลแฟนว่า $y = 118.38x - 14.235$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9237 ซึ่งเมื่อนำสมการความสัมพันธ์นี้มาใช้คาดเดาความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมไว้ที่ 100 ppm ได้ค่าความเข้มข้นคาดเดาออกมาที่ 105.08 ppm ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน 5.08 %

4.4.2 ผลการทดลองสารกำจัดศัตรูพืชโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

เมื่อนำสารกำจัดศัตรูพืชคาร์โบซิลแฟน ที่ทราบความเข้มข้นทดลองถ่ายภาพด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา โดยใช้โปรแกรมแปลงค่าสีของภาพเป็นค่าความสว่าง และนำมาวิเคราะห์เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลของภาพสเปกตรัม และค่าความสว่าง เพื่อสังเกตแนวโน้มของค่าความสว่าง และเมื่อนำค่าความสว่างที่อยู่ในช่วงแสงสีม่วงที่มีค่าความสว่างมากที่สุดนี้มาสร้างกราฟมาตรฐานได้ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบซิลแฟนที่ความเข้มข้น 25, 200, 300 และ 400 ppm ในเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา

เมื่อนำสารละลายคาร์โบซิลแฟนที่ทราบความเข้มข้นมาสร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้ค่าความสว่างจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาดังรูปที่ 4.28 ได้เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายคาร์โบซิลแฟนว่า $y = 5639x + 9915.9$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.4897 ซึ่งเมื่อนำสมการความสัมพันธ์นี้มาใช้คาดเดาความเข้มข้นของสารละลายที่เตรียมไว้ที่ 100 ppm ได้ค่าความเข้มข้นคาดเดาออกมาที่ -204 ppm ซึ่งมีความคลาดเคลื่อน 304.55 %

สาเหตุที่ค่าความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากการวิเคราะห์โปรแกรมแปลงค่าสีของภาพเป็นค่าความสว่าง มีค่าถึง 304.55% เนื่องจากเป็นการนำมาวิเคราะห์เพียงแค่พิกเซลหนึ่งเท่านั้น และอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงปริมาณไฟที่หลงเหลือในแบตเตอรี่

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษาพบว่าเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาใหม่ เมื่อทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายภาพสเปกตรัม ทั้งค่ากล้องที่มีที่เหมาะสม ใช้สลิทสองช่องเพื่อให้มีจุดอ้างอิงการถ่ายภาพ และหาความกว้างรูสลิทที่เหมาะสม และองศาของเกรตติงที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าการถ่ายภาพที่เหมาะสม เปลี่ยนชนิดของแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงขนาดเล็กทำให้ขนาดของอุปกรณ์เล็กลง

โดยผลจากการทดลองการตั้งค่าการถ่ายภาพของกล้องที่เหมาะสม ได้แก่ ค่าความไวต่อแสงเท่ากับ 400, ค่าความเร็วชัตเตอร์ เท่ากับ $1/50$ วินาที, โฟกัสที่ เท่ากับ 0 ค่าสมมูลของแสงสีขาว เท่ากับ 6000 เคลวิน ผลจากการศึกษาและทดลองการติดตั้งสลิทและเกรตติงโดยมีระยะห่างระหว่างสลิทและเกรตติงที่เหมาะสมเท่ากับ 7.7 เซนติเมตร และผลจากการออกแบบเครื่องให้มีสลิทสองช่องเพื่อที่จะให้มีจุดอ้างอิงที่เหมาะสมในการนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแปลงค่าสีของภาพเป็นค่าความสว่าง โดยความกว้างรูสลิทช่องตัวอย่าง และความกว้างรูสลิทช่องอ้างอิงที่เหมาะสมที่ 0.4 และ 0.2 เซนติเมตร โดยระยะห่างของรูสลิททั้งสองเท่ากับ 0.8 เซนติเมตร

เมื่อนำสารกำจัดศัตรูพืชตามท้องตลาดมาทดลองทำลายกับตัวทำลายชนิดต่างๆ พบว่าสารกำจัดศัตรูพืชที่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวตัวทำลาย มีเพียงสารกำจัดศัตรูพืช คาร์โบซัลแฟน เอทานอล และอะซิโตนไครล์ และเมื่อนำมาเตรียมความเข้มข้นที่ 25, 200, 300 และ 400 ppm จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของคาร์โบซัลแฟนในทุกความเข้มข้นอยู่ที่ 274 นาโนเมตร และเมื่อนำผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา นำมาสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ทำนายความเข้มข้นของสารละลาย พบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.9237 และ 0.4897 ตามลำดับ โดยทำนายความเข้มข้นของสารละลายที่ 100 ppm มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 5.08 % และ 304.55 % ตามลำดับ

ซึ่งมีบางส่วนที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นแสงมองเห็น (380-700 นาโนเมตร) แต่ไม่สามารถสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากมีการดูดกลืนแสงห่างกันไม่มาก และกล้องสมาร์ตโฟนนั้นมีตัวกรองแสงเหนียว ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

5.2 วิจารณ์ผล

จากการศึกษาและทดลองทำให้ได้รับข้อมูลจำเพาะที่เหมาะสมในการถ่ายภาพสเปกตรัม โดยการตั้งค่าที่เหมาะสมมีดังนี้ค่าความไวต่อแสงเท่ากับ 400, ค่าความเร็วชัตเตอร์ เท่ากับ 1/50 วินาที, โฟกัสที่ เท่ากับ 0 ค่าสมดุลของแสงสีขาวเท่ากับ 6000 เคลวิน และออกแบบเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพา เช่นการติดตั้งสลิตและเกรตติงโดยมีระยะห่างระหว่างสลิตและเกรตติงที่เหมาะสมเท่ากับ 7.7 เซนติเมตร ซึ่งเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพานี้มีสลิตสองช่อง เพื่อที่จะให้มีจุดอ้างอิงที่เหมาะสมในการนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแปลงค่าสีของภาพเป็นค่าความสว่าง ซึ่งความกว้างรูสลิตช่องตัวอย่าง และความกว้างรูสลิตช่องอ้างอิงที่เหมาะสมที่ 0.4 และ 0.2 เซนติเมตร โดยระยะห่างของรูสลิตทั้งสองเท่ากับ 0.8 เซนติเมตร ทั้งนี้ยังเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง ทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กพกพาได้สะดวก ง่ายต่อการประกอบ และราคาถูก โดยงานวิจัยนี้สามารถประกอบเครื่องภายราคาประมาณ 300 บาท เมื่อเทียบกับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีราคาสูง แต่อย่างไรก็ตามเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพานี้ ไม่สามารถตอบโจทย์ในส่วนของคุณภาพและความแม่นยำในการวิเคราะห์

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1.) แนะนำให้ทำอุปกรณ์โดยวิธีพิมพ์สามมิติ เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ เมื่อพิมพ์โดยใช้เครื่องพิมพ์สามมิติอุปกรณ์ที่ได้จะแข็งแรงมากกว่าอุปกรณ์ที่ทำโดยแผ่นพลาสติก ลูกฟูก
- 2.) แนะนำให้เปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจับภาพจากโทรศัพท์เป็นอุปกรณ์ตัวจับภาพตัวอื่นที่ราคาถูกกว่า และแม่นยำมากขึ้น โดยรับความยาวคลื่นในช่วงแสงเหนือม่วงได้
- 3.) แนะนำการเก็บข้อมูลภาพให้สามารถถ่ายภาพออกมาแล้วสามารถแปลงชื่อไฟล์ที่กำหนดได้ทันทีเพื่อง่ายต่อการเก็บรวบรวมไฟล์ภาพทำไปเข้าโปรแกรม
- 4.) แนะนำให้ใช้คิวเวทท์แบบควอทในการทดลอง เนื่องจากคิวเวทท์พลาสติกสามารถถูกละลายโดยตัวทำละลายบางตัวได้
- 5.) ในการเลือกสลิตและเกรตติงควรจะมีการทดสอบ และตรวจสอบจากร้านก่อนซื้อเพื่อลดการเสียเวลา และได้สลิตและเกรตติงที่ตรงกับความต้องการ

บรรณานุกรม

- [1] ThaiPAN, “เปรียบเทียบสารพิษตกค้างในผักผลไม้ นำเข้า และ ผลิตในประเทศ ย้ำแย้มไม่แพ้กัน.” Accessed: Nov. 10, 2023. [Online]. Available: <https://thaipan.org/data/2333>
- [2] ThaiPAN, “คาร์เบนดาซิม: ผลต่อระบบสืบพันธุ์ การตกค้างในผักผลไม้ และการจัดการในต่างประเทศ.” Accessed: Nov. 10, 2023. [Online]. Available: <https://thaipan.org/document/2661>
- [3] C. Choeiklinthet and R. Promjan, “DEVELOPMENT OF THE DEVICE FOR CARBAMATE PESTICIDE ANALYSIS USING THE LIGHT ABSORPTION PRINCIPLE AND DIGITAL IMAGE ANALYSIS,” 2022.
- [4] Y. Fan, J. Li, Y. Guo, L. Xie, and G. Zhang, “Digital image colorimetry on smartphone for chemical analysis: A review,” *Measurement*, vol. 171, p. 108829, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.measurement.2020.108829.
- [5] PubChem, “PubChem Compound Summary for CID 41384, Carbosulfan,” National Center for Biotechnology Information. Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Carbosulfan>
- [6] CAS Common Chemistry, “Carbosulfan,” CAS, a division of the American Chemical Society, n.d. Accessed: Apr. 16, 2024. [Online]. Available: https://commonchemistry.cas.org/detail?cas_rn=55285-14-8&search=Carbosulfan
- [7] PubChem, “PubChem Compound Summary for CID 25429, Carbendazim,” National Center for Biotechnology Information. Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Carbendazim>
- [8] CAS Common Chemistry, “Carbendazim,” CAS, a division of the American Chemical Society, n.d. Accessed: Apr. 16, 2024. [Online]. Available: https://commonchemistry.cas.org/detail?cas_rn=10605-21-7&search=Carbendazim

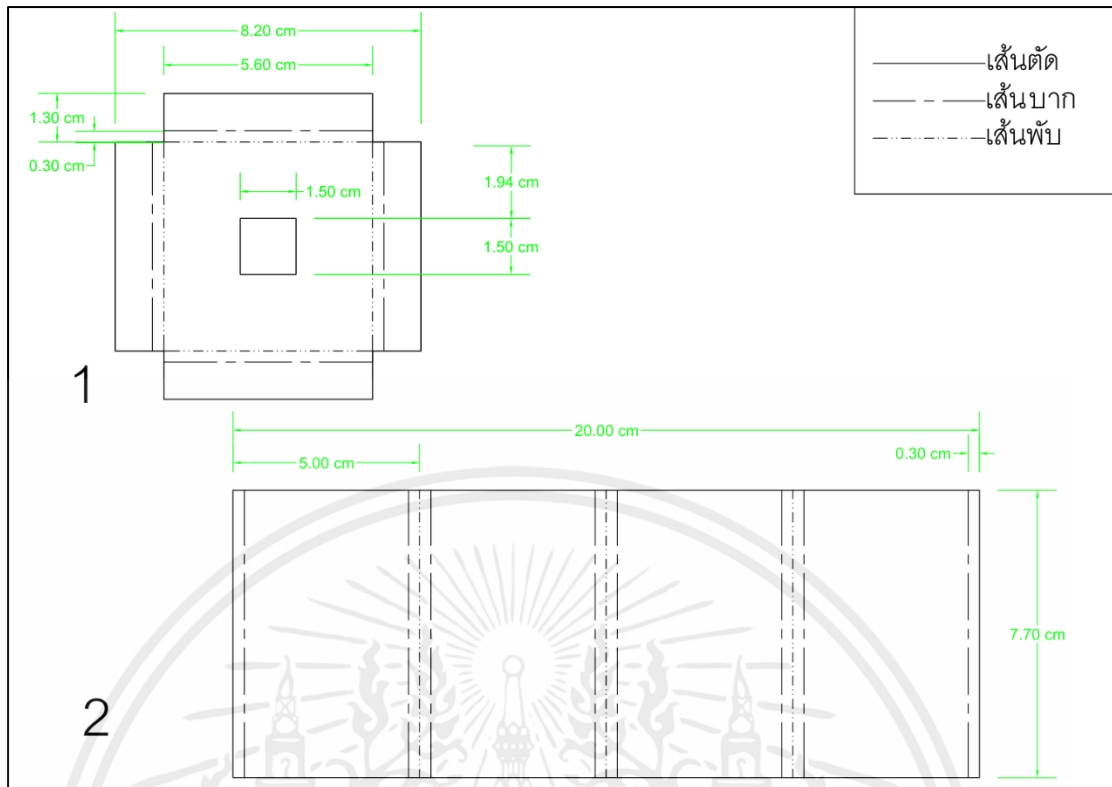
- [9] S. J. Lehotay et al., “Determination of Pesticide Residues in Foods by Acetonitrile Extraction and Partitioning with Magnesium Sulfate: Collaborative Study,” *J AOAC Int*, vol. 90, no. 2, pp. 485–520, Mar. 2007, doi: 10.1093/jaoac/90.2.485.
- [10] PubChem, “PubChem Compound Summary for CID 702, Ethanol,” National Center for Biotechnology Information. Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethanol>
- [11] CAS Common Chemistry, “Ethanol,” CAS, a division of the American Chemical Society, n.d. Accessed: Apr. 16, 2024. [Online]. Available: https://commonchemistry.cas.org/detail?cas_rn=64-17-5&search=Ethanol
- [12] PubChem, “PubChem Compound Summary for CID 6342, Acetonitrile,” National Center for Biotechnology Information. Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Acetonitrile>
- [13] CAS Common Chemistry, “Acetonitrile,” CAS, a division of the American Chemical Society, n.d. Accessed: Apr. 16, 2024. [Online]. Available: https://commonchemistry.cas.org/detail?cas_rn=75-05-8&search=Acetonitrile
- [14] L. Kong et al., “A novel smartphone-based CD-spectrometer for high sensitive and cost-effective colorimetric detection of ascorbic acid,” *Anal Chim Acta*, vol. 1093, pp. 150–159, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.aca.2019.09.071.
- [15] S. Srivastava and V. Sharma, “Ultra-portable, smartphone-based spectrometer for heavy metal concentration measurement in drinking water samples,” *Appl Water Sci*, vol. 11, no. 11, p. 177, Nov. 2021, doi: 10.1007/s13201-021-01519-w.
- [16] E. K. Grasse, M. H. Torcasio, and A. W. Smith, “Teaching UV–Vis Spectroscopy with a 3D-Printable Smartphone Spectrophotometer,” *J Chem Educ*, vol. 93, no. 1, pp. 146–151, Jan. 2016, doi: 10.1021/acs.jchemed.5b00654.
- [17] Y.-G. Ju, “Fabrication of a low-cost and high-resolution papercraft smartphone spectrometer,” *Phys Educ*, vol. 55, no. 3, p. 035005, May 2020, doi: 10.1088/1361-6552/ab6c3e.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

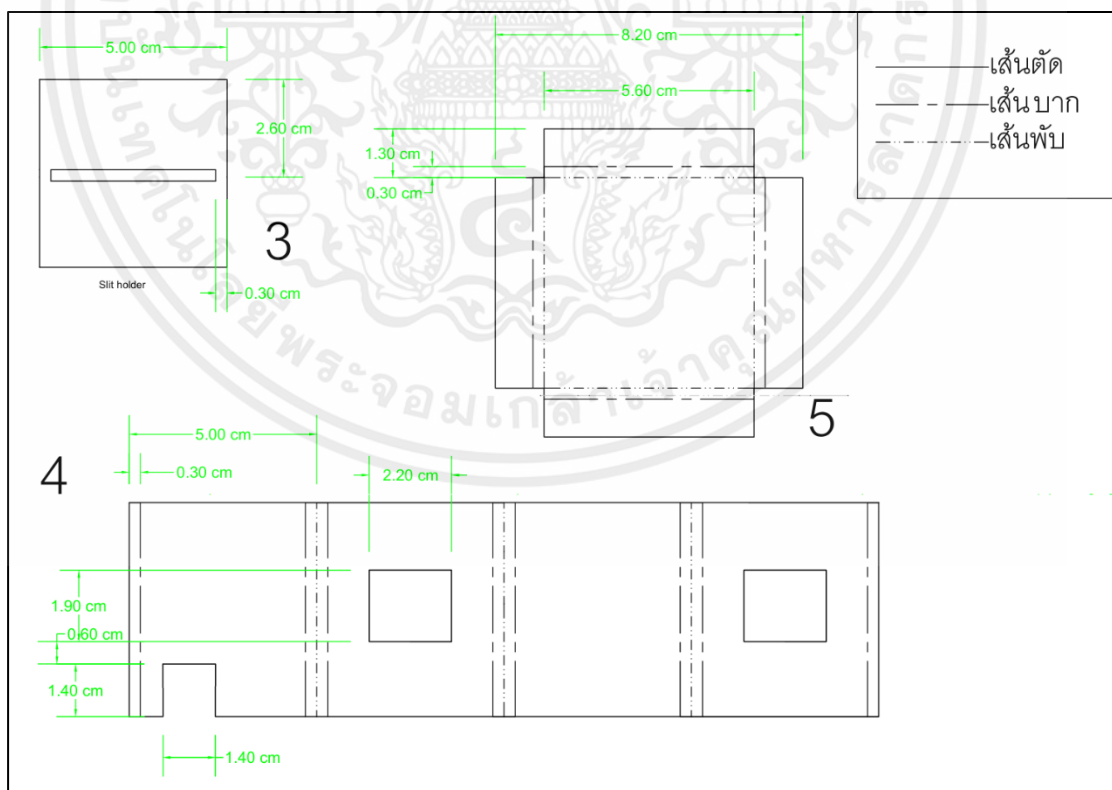
- [18] BEE POOSANISA, “มาตรฐาน CIELAB คืออะไร?” Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://advancedphotosystems.com/cielab-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/>
- [19] thaimobilecenter, “โหมดถ่ายภาพแบบ Pro บนมือถือ ใช้อย่างไร? ค่าต่างๆ หมายถึงอะไร? ควรปรับค่าไหนบ้าง? ที่นี้มีคำตอบ.” Accessed: Nov. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.thaimobilecenter.com/content/how-to-shoot-with-pro-mode-on-smartphones.asp>
- [20] thaimobilecenter, “โหมดถ่ายภาพแบบ Pro บนมือถือ ใช้อย่างไร? ค่าต่างๆ หมายถึงอะไร? ควรปรับค่าไหนบ้าง? ที่นี้มีคำตอบ.” Accessed: Nov. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.thaimobilecenter.com/content/how-to-shoot-with-pro-mode-on-smartphones.asp>
- [21] T. Suzuki, “พื้นฐานของการถ่ายภาพ.” Accessed: Nov. 10, 2023. [Online]. Available: <https://snapshot.canon-asia.com/th/search/thai/Tomoko%20Suzuki>
- [22] FOTOVOYAGE, “ISO.” Accessed: Nov. 10, 2023. [Online]. Available: <http://www.fotovoyage.com/iso/>
- [23] BIG camera, “วิธีตั้งค่า White Balance สำหรับมือใหม่.” Accessed: Nov. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.bigcamera.co.th/blog/white-balance-guide-for-beginner-2021-4.html>
- [24] Y. Samarom, “ระยะเลนส์คืออะไร มีผลกับภาพที่ได้อย่างไร พื้นฐานง่าย ๆ ที่มือใหม่ควรรู้.” Accessed: Nov. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.photoschoolthailand.com/what-is-focal-length/#:~:text=%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%A2%E0%B8%B0%E0%B9%80%E>
- [25] H. Saba, X. Zhu, Y. Chen, and Y. Zhang, “Determination of physical properties for the mixtures of [BMIM]Cl with different organic solvents,” *Chin J Chem Eng*, vol. 23, no. 5, pp. 804–811, May 2015, doi: 10.1016/j.cjche.2014.06.039.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ภาพคลี่ของชิ้นส่วนเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ 1-2



รูปที่ ก.2 ภาพคลี่ของชิ้นส่วนเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบพกพาที่ 3-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวก ข.1 ค่าความสามารถในการละลายฮิลเดอแบรนต์, ฮันเซน และค่าคงตัวไดอิเล็กตริก
สำหรับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ 298.15 เคลวิน[25]

ตัวทำละลาย	โครงสร้าง โมเลกุล	ค่าความสามารถ	ค่าความสามารถ			ค่าคงตัว
		ในการละลาย ฮิลเดอแบรนต์ $/\text{kJ}^{1/2} \cdot \text{cm}^{-3/2}$	ในการละลาย ฮันเซน $/\text{MPa}^{1/2}$			ไดอิเล็ก ตริก
		δ	δ_d	δ_p	δ_h	ϵ
DMSO	$\text{C}_2\text{H}_6\text{OS}$	60.70	18.4	16.40	10.20	46.7
Acetonitrile	$\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$	49.90	15.3	7.40	4.10	35.8
Ethanol	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	54.04	15.8	8.80	19.40	24.2
Acetone	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	40.90	15.5	10.40	7.00	19.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้