

ประสิทธิภาพการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝงด้วยโรดามีน 6จี
ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม
EFFICIENCY OF VERIFICATION OF LATENT FINGERPRINT
BY RHODAMINE 6G WITH GOLD-PALLADIUM
NANORODS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EFFICIENCY OF VERIFICATION OF LATENT FINGERPRINT
BY RHODAMINE 6G WITH GOLD-PALLADIUM
NANORODS**



**KAMONTHIP PUTAEN
KITTITUSPONG WICHACHANG
SUWANAN WANGCHANG**

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2018**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ประสิทธิภาพของการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝงด้วยโรดามีน 6จี ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม

Efficiency of verification of latent fingerprint by Rhodamine 6G with Gold-Palladium nanorods

ชื่อนักศึกษา นางสาวกมลทิพย์ บูเตน รหัสนักศึกษา 58051019
นายกิตติรัชพงษ์ วิชาช่าง รหัสนักศึกษา 58051030
นางสาวสุวนันท์ วังซัง รหัสนักศึกษา 58051166

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2561

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. กฤษกร โล้เจริญรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. ภัทรียา ดำรงค์ศักดิ์ ประธานกรรมการ	
ดร. กางปัญญา สุวรรณสุข กรรมการ	
รศ.ดร. กฤษกร โล้เจริญรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ประสิทธิภาพของการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝงด้วยโรดามีน 6จี ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม	
	Efficiency of verification of latent fingerprint by Rhodamine 6G with Gold-Palladium nanorods	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกมลทิพย์ ปูแดน	รหัสนักศึกษา 58051019
	นายกิตติธัชพงษ์ วิชาช่าง	รหัสนักศึกษา 58051030
	นางสาวสุนันท์ วังซัง	รหัสนักศึกษา 58051166
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2561	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. กฤษกร โฉ่เจริญรัตน์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝง โดยอาศัยหลักการทางแสงของสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี (R6G) และอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม (Au@Pd) โดยการเตรียมสารตัวอย่างสามารถเตรียมได้จาก R6G ที่มีความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M และ Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเงื่อนไขของเวลา ความแตกต่างของการล้างน้ำปลอดประจุ (DI) ศึกษาสมบัติทางแสงของสารตัวอย่างในรูปแบบของสารละลาย ศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลายบนตัวอย่างลายนิ้วมือ และการศึกษาจากการถ่ายภาพลายนิ้วมือแฝงโดยกล้องจุลทรรศน์โดยการกระตุ้นด้วยแสงขาวและแสงจากไดโอดเปล่งแสงสีเขียว เพื่อนำมาวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพความชัดของภาพจากคุณสมบัติของสารตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างลายนิ้วมือที่ถูกแช่ R6G ที่มีความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ต่อ Au@Pd ที่ความเข้มข้น 0.1409×10^{-4} M เป็นเวลา 30 นาที ไม่ล้างน้ำ DI ให้ค่าความแตกต่างของค่า Gray value สูงที่สุด นั่นหมายถึงให้ภาพที่มีความชัดจนมากที่สุด จึงเป็นเงื่อนไขที่มีความเหมาะสมที่สุดของการวิเคราะห์ภาพลายนิ้วมือแฝง เนื่องจากพิจารณาตามตำแหน่งของสี การกระตุ้นด้วยแสงสีขาวยังมีความแตกต่างมากกว่าการกระตุ้นด้วยแสงจากไดโอดเปล่งแสงสีเขียว

คำสำคัญ : โรดามีน 6จี อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม ลายนิ้วมือแฝง สมบัติทางแสง
ปรากฏการณ์เซอร์เฟจพลาสมอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Efficiency of verification of latent fingerprint by Rhodamine 6G with Gold-Palladium nanorods	
Students	Miss Kamonthip Putaen	Student ID 58051019
	Mr. Kittituspong Wichachang	Student ID 58051030
	Miss Suwanan Wangchang	Student ID 58051166
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2018	
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kitsakorn Locharoenrat	

Abstract

This special project was aimed to study efficiency of verification of latent fingerprint from Rhodamine 6G (R6G) and Gold-Palladium nanorods (Au@Pd). The samples were prepared from solution Rhodamine 6G at concentration of 1.5×10^{-6} M and Gold-Palladium nanorods at different concentrations (0.0470×10^{-4} - 1.6643×10^{-4} M). This work was divided into two different parts. First was to study the contact time condition of rinsing sample with and without deionized water (DI). Second was to study the optical properties of prepared sample using spectrometer and microscopy observations. It was found that image of sample with Rhodamine 6G at concentration of 1.5×10^{-6} M and Gold-Palladium nanorods at concentration of 0.1409×10^{-4} M at 30 minutes without rinsing DI, offered maximum the contrast of gray value. Therefore, there were appropriate condition for analysis of image contrast of latent fingerprints. Finally, considering the image from microscope emitted by white light, it offered the better contrast than green LED.

Keyword : Rhodamine 6G , Gold-Palladium nanorods , Latent fingerprint , Fluorescence Surface plasmon resonance

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาช่วยเหลือ สนับสนุนและได้รับความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน ซึ่งสละเวลามาให้คำแนะนำที่ดีในการทำการ ทดลอง และเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร. กฤษกร โส้เจริญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือและ คำปรึกษา แนวทางการแก้ไขปัญหาตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ซึ่งทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ภัทรียา ดำรงค์ศักดิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการทดลอง อุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนได้ให้คำแนะนำระหว่างการทำทดลองและให้เกียรติเป็นประธานใน การสอบโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. กางปัญญา สุวรรณสุขุ ที่ให้คำแนะนำและให้เกียรติเป็นกรรมใน การสอบโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ นายเอกชัย รัมมะรัตน์ นักศึกษาระดับปริญญาเอก ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำตลอดการทำทดลอง

ขอขอบพระคุณ นายกิตติพิศ ส่งเกียรติวงศ์ นักศึกษาระดับปริญญาเอก ที่ให้ความ ช่วยเหลือและคำแนะนำในการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนคณะวิทยาศาสตร์ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำ วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวที่ให้ความรัก ความ เอาใจใส่อบรมเลี้ยงดูเสมอมา และกรุณาให้ความช่วยเหลือแนะนำรวมถึงคณาจารย์ สาขาฟิสิกส์ ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้อบรมสั่ง สอนและให้ความรู้ตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในโครงการพิเศษนี้จน สำเร็จ คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กมลทิพย์ ปูแตน
กิตติชัยพงษ์ วิชาช่าง
สุวนันท์ วังซัง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำย่อและสัญลักษณ์	ตม
คำนำ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลายนนิ้วมือ	5
2.1.1 การเกิดลายนนิ้วมือ	5
2.1.2 ส่วนประกอบของลายนนิ้วมือ	5
2.1.3 ประเภทลายนนิ้วมือ	7
2.1.4 วิธีตรวจสอบลายนนิ้วมือ	10
2.1.5 การตรวจเก็บลายนนิ้วมือ	11
2.2 สารเรืองแสงและกลไกการเรืองแสง	17
2.2.1 สารเรืองแสงโรดามีน 6จี	17
2.2.2 กลไกการเรืองแสง	18
1) การดูดกลืนแสงและกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต	18
2) การเปล่งแสง	20
3) การกระเจิงแสง	21
2.3 อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียมเดียม (Gold-Palladium nanorods)	22
2.3.1 ทองคำ (Gold)	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 แพลเลเดียม (Palladium)	24
2.4 สมบัติทางแสงของวัสดุนาโน	24
2.5 สเปกโทรมิเตอร์ (spectrometer)	25
2.5.1 สเปกโทรมิเตอร์	25
2.5.2 หลักการทำงานของสเปกโทรมิเตอร์	25
2.5.3 ส่วนประกอบของสเปกโทรมิเตอร์	26
2.6 แรงภายในโมเลกุล	26
1. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	26
2. แรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุล	27
2.7 ระบบสี RGB	28
2.8 ระดับพลังงานของอะตอม	29
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	33
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์	33
3.1.2 สารเคมีที่ใช้	44
3.2 การเตรียมลายนิ้วมือ	48
3.3 การเตรียม R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย	51
3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง	51
3.3.2 ขั้นตอนในการเตรียมสารละลาย	51
3.4 การนำตัวอย่างแช่สารละลาย	52
3.5 การทดลองและระบบการทดลองที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	52
3.5.1 การศึกษาระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สาร R6G และความแตกต่างในการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI	52
3.5.2 การศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปแบบต่าง ๆ	53
1. การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2) ผลการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	89
3) การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	99
4) การวิเคราะห์ความแตกต่างของสี	99
5) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของลายนิ้วมือกับสารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd	100
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	103
5.2 ข้อเสนอแนะ	104
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ก	
1. การคำนวณการเตรียมลายนิ้วมือ	
2. การเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี และอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม	
3. การวิเคราะห์สี	
ภาคผนวก ข	
1. คู่มือการใช้สเปกโตรมิเตอร์รุ่น AvaSpec-EDU สำหรับโปรแกรม Avasoft 7.4 USB 2	
2. คู่มือการโปรแกรม Image J	
3. คู่มือการล้างอุปกรณ์	
ภาคผนวก ค	
ข้อมูลส่วนที่ 1 การศึกษาเงื่อนไขเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลาย	
ข้อมูลส่วนที่ 2 การศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลาย	
ข้อมูลส่วนที่ 3 การศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างที่แช่สารละลาย	
ข้อมูลส่วนที่ 4 การศึกษาสมบัติทางแสงโดยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์โดยการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจาก LED	
ข้อมูลส่วนที่ 5 การศึกษาสมบัติทางแสงโดยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์โดยการกระตุ้นด้วยแสงขาว	
ภาคผนวก ง ตารางแสดงข้อมูลดิบ	
ภาคผนวก จ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ภาคผนวก ฉ ประวัติส่วนตัวผู้วิจัย	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1	3
ตารางที่ 3.1	45
ตารางที่ 3.2	45
ตารางที่ 3.3	47
ตารางที่ 3.4	47
ตารางที่ 3.5	51
ตารางที่ 3.6	53
ตารางที่ 4.1	60
ตารางที่ 4.2	70
ตารางที่ 4.3	72
ตารางที่ 4.4	74
ตารางที่ 4.5	76
ตารางที่ 4.6	79
ตารางที่ 4.7	89

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1	2
รูปที่ 2.1	5
รูปที่ 2.2	6
รูปที่ 2.3	7
รูปที่ 2.4	7
รูปที่ 2.5	8
รูปที่ 2.6	8
รูปที่ 2.7	8
รูปที่ 2.8	9
รูปที่ 2.9	9
รูปที่ 2.10	10
รูปที่ 2.11	10
รูปที่ 2.12	11
รูปที่ 2.13	12
รูปที่ 2.14	12
รูปที่ 2.15	13
รูปที่ 2.16	13
รูปที่ 2.17	14
รูปที่ 2.18	15
รูปที่ 2.19	15
รูปที่ 2.20	16
รูปที่ 2.21	16
รูปที่ 2.22	17
รูปที่ 2.23	17
รูปที่ 2.24	18
รูปที่ 2.25	19
รูปที่ 2.26	20
รูปที่ 2.27	21
รูปที่ 2.28	22
รูปที่ 2.29	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.30 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของอนุภาคนาโนทองคำ	23
รูปที่ 2.31 แพลเลเดียม	24
รูปที่ 2.32 ปฏิกิริยาการเกิดเซอร์เฟสพลาสมอน	25
รูปที่ 2.33 แผนภาพแสดงการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์	26
รูปที่ 2.34 แสดงตำแหน่งแต่ละสีและการเกิดสีต่าง ๆ	28
รูปที่ 2.35 แสดงรหัสสีของระบบ RGB	28
รูปที่ 2.36 แสดงระดับพลังงานของอะตอม	29
รูปที่ 3.1 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ AvaSpec-EDU ยี่ห้อ Avantes	33
รูปที่ 3.2 สายเชื่อมต่อ USB	34
รูปที่ 3.3 เส้นใยแก้วนำแสงขนาด 0.8 มิลลิเมตร	34
รูปที่ 3.4 เส้นใยแก้วนำแสงขนาด 600 ไมโครเมตร	34
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ยึดจับควเวท	35
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์เชื่อมต่อไดโอดเปล่งแสง	35
รูปที่ 3.7 ไดโอดเปล่งแสง (LED) สีเขียว ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร	36
รูปที่ 3.8 สเปกตรัมการเรืองแสงของไดโอดเปล่งแสง (LED) สีเขียว	36
รูปที่ 3.9 แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทั้งสแตนด์ยี่ห้อ SCHOTT	36
รูปที่ 3.10 สเปกตรัมช่วงการเรืองแสงของแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทั้งสแตนด์	37
รูปที่ 3.11 แท่นวางแผ่นกระจกสไลด์สำหรับวัด	37
รูปที่ 3.12 อุปกรณ์จับยึดคอนเดนเซอร์	37
รูปที่ 3.13 ซ้อนตักสาร	38
รูปที่ 3.14 เครื่องชั่งสาร	38
รูปที่ 3.15 ขวดแก้วขนาด 10 มิลลิลิตร	39
รูปที่ 3.16 ไมโครปิเปตต์ขนาดความจุ 1 มิลลิลิตรและ 100 ไมโครลิตร	39
รูปที่ 3.17 ไมโครปิเปตต์ที่ปรับสำหรับความจุ 1 มิลลิลิตรและ 100 ไมโครลิตร	40
รูปที่ 3.18 ควเวท	41
รูปที่ 3.19 กระจกสไลด์	41
รูปที่ 3.20 บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร และ 250 มิลลิลิตร	41
รูปที่ 3.21 เครื่องอัลตราโซนิก	42
รูปที่ 3.22 กระจาดเซตเลนส์	43
รูปที่ 3.23 เทปกาวยี่ห้อ 3M	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.24 ลูกตุ้มมวล 1 กิโลกรัม	43
รูปที่ 3.25 กล้องจุลทรรศน์ Niko ECLIPSE E200 ที่ต่อกับกล้องถ่ายภาพ Cannon DS126491	44
รูปที่ 3.26 โรตารมีน 6จี และโครงสร้างทางเคมีของโรตารมีน 6จี	44
รูปที่ 3.27 อนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียมและภาพถ่ายของอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม	45
รูปที่ 3.28 น้ำ DI (Deionize water)	46
รูปที่ 3.29 อะซิโตนและโครงสร้างทางเคมีของอะซิโตน	46
รูปที่ 3.30 เอทานอลและโครงสร้างทางเคมีของเอทานอล	47
รูปที่ 3.31 น้ำยาล้างจานยี่ห้อ TEEPOL PUAE	48
รูปที่ 3.32 การแช่แผ่นสไลด์ในเครื่องอัลตราโซนิก	48
รูปที่ 3.33 แผ่นสไลด์ที่พร้อมนำมาใช้งาน	49
รูปที่ 3.34 เทปกาวที่เตรียมพิมพ์ลายนิ้วมือแฝง	49
รูปที่ 3.35 แสดงเทปกาวที่ถูกพิมพ์ลายนิ้วมือแล้ว	50
รูปที่ 3.36 แสดงการแบ่งเทปกาวที่ถูกพิมพ์ลายนิ้วมือแล้วออกเป็นสองส่วน	50
รูปที่ 3.37 การหยุดสารและการแช่สารละลายของตัวอย่างลงบนลายนิ้วมือ	52
รูปที่ 3.38 การจัดระบบวัดการดูดกลืนแสง	54
รูปที่ 3.39 การจัดระบบวัดการเปล่งแสง	55
รูปที่ 3.40 การจัดระบบวัดการดูดกลืนแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย	56
รูปที่ 3.41 การจัดระบบวัดการเปล่งแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย	57
รูปที่ 3.42 การจัดระบบการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์โดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้น	58
รูปที่ 3.43 การจัดระบบการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์โดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	59
รูปที่ 4.1 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรตารมีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 15 นาที ไม่ล้างน้ำ DI	
(ก) รูปถ่ายลายนิ้วมือ	61
(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Image J	61
(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel	62
รูปที่ 4.2 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรตารมีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 15 นาที ล้างน้ำ DI	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
(ก) รูปถ่ายลายนิ้วมือ	62
(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Image J	63
(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel	63
รูปที่ 4.3 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 30 นาที ไม่ล้างน้ำ DI	
(ก) รูปถ่ายลายนิ้วมือ	64
(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Image J	64
(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel	65
รูปที่ 4.4 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 30 นาที ล้างน้ำ DI	
(ก) รูปถ่ายลายนิ้วมือ	65
(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Image J	66
(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel	66
รูปที่ 4.5 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 60 นาที ไม่ล้างน้ำ DI	
(ก) รูปถ่ายลายนิ้วมือ	67
(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Image J	67
(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel	68
รูปที่ 4.6 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 60 นาที ล้างน้ำ DI	
(ก) รูปถ่ายลายนิ้วมือ	68
(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Image J	69
(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel	69
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลาย R6G และ R6G ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	71
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปล่งแสงและความยาวคลื่นของสารละลาย R6G และ R6G ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	72
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงของการเปล่งแสงของสารละลาย R6G และ R6G ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd	74
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปล่งแสงและความยาวคลื่นแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd	75
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงของการเปล่งแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	76
รูปที่ 4.13 แผนภาพแสดงระดับพลังงานของ R6G และ R6G + Au@Pd	77
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงของการเปล่งแสงของสารละลายและตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ สารละลาย R6G และ R6G ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	78
รูปที่ 4.15 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G	80
รูปที่ 4.16 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย A และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย A	81
รูปที่ 4.17 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย B และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย B	82
รูปที่ 4.18 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย C และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย C	83
รูปที่ 4.19 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย D และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย D	84
รูปที่ 4.20 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย E และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย E	85
รูปที่ 4.21 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย F และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย F	86
รูปที่ 4.22 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย G และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย G	87
รูปที่ 4.23 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย H และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย H	88
รูปที่ 4.24 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	90

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.25 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย A โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย A ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	91
รูปที่ 4.26 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย B โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย B ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	92
รูปที่ 4.27 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย C โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย C ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	93
รูปที่ 4.28 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย D โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย D ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	94
รูปที่ 4.29 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย E โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย E ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	95
รูปที่ 4.30 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย F โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย F ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	96
รูปที่ 4.31 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย G โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย G ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	97
รูปที่ 4.32 รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย H โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น และกราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลาย H ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น	98
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงค่าความแตกต่างของภาพระหว่างการกระตุ้นด้วยแสงขาวจากกล้องจุลทรรศน์และการกระตุ้นจากไดโอดเปล่งแสง	99
รูปที่ 4.34 โครงสร้างไตรกรีเซอรอล	101
รูปที่ 4.35 แสดงตำแหน่งที่มีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาของโครงสร้างของโรตามีน 6จี	101
รูปที่ 4.36 สมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง R6G กับ Triglyceride	102
รูปที่ 4.37 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ Ethan	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
A	Absorbance
amu	Atomics mass unit
Au	Gold
Au@Pd	Gold-palladium nanorods
c	Concentration of solution
cm	Centimeter
DI	Deionized water
g	Gram
I	Intensity of output light
IR	Infrared
I_0	Intensity of input light
l	Length of cuvette
LED	Light emitting diode
M	Molar
ml	Milliliter
mol	Mole
nm	Nanometer
R6G	Rhodamine 6G
RGB	Red Green Blue
T	Transmittance
UV	Ultra violet
VIS	Visible
λ	Wavelength
ϵ	Molar extinction coefficient
μm	Micrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงการงานพิเศษ ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เรื่องประสิทธิภาพของการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝงโดยโรดามีน 6จี ร่วมกับ อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม (Efficiency of verification of latent fingerprint by Rhodamine 6G with Gold-Palladium nanorods) ซึ่งเป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝง โดยอาศัยคุณสมบัติทางแสงของสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี และคุณสมบัติทางโลหะของอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในเนื้อหาของงานวิจัยนี้ได้อธิบายหลักการทางเคมีฟิสิกส์ การเตรียมลายนิ้วมือ การเตรียมสารละลายสีย้อมและการเตรียมอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม ตลอดจนขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์เชิงแสง ซึ่งมีการใช้เครื่องมือ UV-VIS Spectrometer และกล้องจุลทรรศน์ในการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Avasoft 7.4 ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสง และโปรแกรม Image J ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของสีของภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในการศึกษา หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ลายนิ้วมือคือส่วนที่เป็นสันนูนขึ้นมาจากผิวหนังนอกสุดของคนหรือสัตว์ ซึ่งจะเริ่มแสดงเมื่อตอนเป็นทารกตลอดจนชั่วชีวิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้หรืออาจจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยที่สามารถยอมรับได้ ยกเว้นในกรณีประสบอุบัติเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อลายนิ้วมือซึ่งอาจจะเกิดในรูปแบบของแผลเป็นหรือการจางใจให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ลายนิ้วมือจึงถือเป็นสิ่งหนึ่งที่มีความจำเพาะเจาะจง และมีความสำคัญต่อบุคคลแต่ละบุคคล ซึ่งแต่ละบุคคลจะมีรูปแบบของลายนิ้วมือที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นลายนิ้วมือจึงเป็นสิ่งที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างบุคคลได้ จากความสำคัญของลายนิ้วมือทำให้ลายนิ้วมือเป็นส่วนหนึ่งในวัตถุพยานที่สำคัญที่สุดในการสืบสวนงานอาชญากรรมและเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลก ตัวอย่างการตรวจสอบลายนิ้วมือมักถูกใช้ในการไขคดีร่วมกันกับการเปรียบเทียบสารพันธุกรรม (DNA) การวิจัยก่อนหน้านี้เกี่ยวกับการตรวจสอบองค์ประกอบของลายนิ้วมือซึ่งมีอยู่ 3 ประการหลักที่น่าสนใจคือ ประการที่หนึ่ง ความก้าวหน้าล่าสุดของการพัฒนาภาพลายนิ้วมือ ได้มุ่งเน้นการพัฒนาวิธีการใหม่ที่ใช้ทดสอบและการเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำยาที่มีอยู่ ประการที่สอง งานวิจัยถูกตรวจสอบโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากองค์ประกอบภายใน เช่น เลือด คราบเลือด รากผม เซลล์ กระพุ้งแก้ม สารคัดหลั่งภายในร่างกายและลายนิ้วมือของแต่ละบุคคล ซึ่งความก้าวหน้าล่าสุดนั้นคือ องค์ประกอบภายในจากลายนิ้วมือสามารถที่จะวินิจฉัย เพศ อายุ เชื้อชาติ ในด้านองค์ประกอบภายนอกถูกตรวจสอบได้จากยา เครื่องสำอางและสิ่งปนเปื้อนจากสารอาหาร ผู้ศึกษาได้มุ่งเน้นความสนใจไปที่ข้อมูลเกี่ยวกับสารประกอบ ประการที่สาม ความสามารถในการตรวจสอบหาอายุของลายนิ้วมือเมื่อเวลาผ่านไป ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือในการระบุอายุลายนิ้วมือเนื่องจากความไม่น่าเชื่อถือของวิธีการดังกล่าว นักวิจัยจึงไม่นิยมในการศึกษาการกำหนดอายุจากลายนิ้วมือ เนื่องจากการคาดเดาอาจมีการเกิดข้อผิดพลาดค่อนข้างมาก อาจเป็นผลเสียต่อชื่อเสียงของผู้ตรวจสอบเป็นอย่างยิ่ง ศักยภาพในการกำหนดระยะเวลาช่วงที่มีการทิ้งรอยลายนิ้วมือเป็นปัจจัยที่สำคัญในการสืบสวนคดีอาชญากรรม การตัดสินใจว่าการกระทำคามผิดนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการพิสูจน์ของข้อกล่าวหาในเรื่องของรอยลายนิ้วมือถูกพบในสถานที่เกิดเหตุ หากมีการกระทำคามผิดทางอาญาหรือกฎหมาย เนื่องจากพบในที่จุดเกิดเหตุ ซึ่งถูกอ้างอิงจากฝ่ายจำเลย

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงข้อค้นพบล่าสุดเกี่ยวกับการปรับปรุงภาพลายนิ้วมือด้วยการใช้อุณหภูมิและสีย้อมอินทรีย์ร่วมกันโดยมุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่จะมองความชัดเจนของลายนิ้วมือโดยต้องใช้ปริมาณที่ไม่มาก

เกินไปไม่น้อยเกินไปตลอดช่วงการทดลอง นอกจากนี้เรายังเสนอวิธีการที่เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงเชิงแสงเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการตรวจสอบลายนิ้วมือให้ดีที่สุด



รูปที่ 1 ภาพลายนิ้วมือ [1]

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อเตรียมสารอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพลายนิ้วมือ
2. ศึกษาผลของความเข้มข้นหลังจากการเตรียมสารและเวลาในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างลายนิ้วมือ ซึ่งจะมีผลต่อการดูดกลืน และการเปล่งแสง
3. เพื่อเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพลายนิ้วมือ ระหว่างการใช้และการไม่ใช้สารอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม จากการส่องกล้องจุลทรรศน์

1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี และสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี ที่ผสมกับสารอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม
2. ทำการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขเวลาที่เหมาะสมในการสร้างภาพลายนิ้วมือแฉงโดยสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี
3. เตรียมสารอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม และสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพลายนิ้วมือในการสร้างภาพลายนิ้วมือ
4. ศึกษาผลของความเข้มข้นหลังจากเตรียมสารและเวลาในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างภาพลายนิ้วมือ ซึ่งจะมีผลต่อ การดูดกลืน และการเปล่งแสง

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบและการเกิดภาพลายนิ้วมือ

ขั้นตอนที่ 2 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์และออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนที่ 3 เตรียมสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี เพื่อใช้ในการ ตรวจสอบภาพลายนิ้วมือ และศึกษาความเข้มข้นสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี ที่มีผลต่อภาพลายนิ้วมือ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาระยะเวลาในการจุ่มลายนิ้วมือลงบนสาร (ความเข้มข้นเดียวกันแต่เวลาที่ใช้แตกต่างกัน) และศึกษาความแตกต่างของการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI ที่ความเข้มข้นเดียวกัน และที่เวลาเดียว

ขั้นตอนที่ 5 เตรียมสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี ที่ผสมสารอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วย แพลเลเดียม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อใช้ในการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือ และศึกษาความเข้มข้นของ สารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี ที่ผสมกับสารอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม

ขั้นตอนที่ 6 ศึกษาคุณสมบัติการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง ระหว่างสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี กับ สารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี ที่ผสมกับสารอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วย แพลเลเดียม ที่ความเข้มข้นที่ต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 7 สร้างภาพลายนิ้วมือจากสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี กับ สารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี ที่ผสมกับสารอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม และตรวจสอบภาพลายนิ้วมือ ด้วยกล้องจุลทรรศน์

ขั้นตอนที่ 8 เก็บผลการทดลอง วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 9 เขียนรายงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา								
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
ขั้นตอนที่ 1									
ขั้นตอนที่ 2									
ขั้นตอนที่ 3									
ขั้นตอนที่ 4									
ขั้นตอนที่ 5									
ขั้นตอนที่ 6									
ขั้นตอนที่ 7									
ขั้นตอนที่ 8									
ขั้นตอนที่ 9									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจหลักการเตรียมสารอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ในการเพิ่มประสิทธิภาพปลายนิ้วมือ
2. มีความรู้ความเข้าใจหลักการเตรียมสารและเวลาในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างปลายนิ้วมือ ซึ่งจะมีผลต่อการดูดกลืน และการเปล่งแสง
3. สามารถเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพปลายนิ้วมือ ระหว่างการใช้และการไม่ใช้สารอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม จากการส่องกล้องจุลทรรศน์

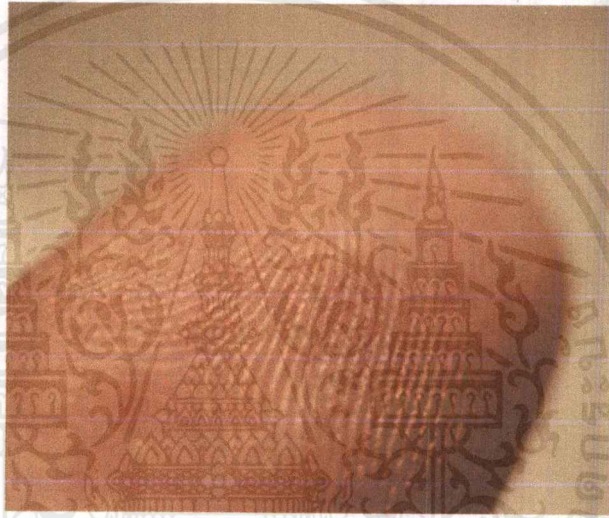


บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลายนิ้วมือ

ลายนิ้วมือคือ ส่วนที่เป็นสันนูนขึ้นมาจากผิวหนังนอกสุดของคนหรือสัตว์โดยจะเชื่อมต่อกันเป็นแนวยาวมองเห็นเป็นลายเส้นและมีขนาด รูปแบบที่แตกต่างกันไป ทำให้แต่ละบุคคลมีลายนิ้วมือเฉพาะไม่เหมือนกัน โดยมีตัวอย่างลายนิ้วมือ ดังรูปที่ 2.1 [2]



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างลายนิ้วมือ

2.1.1 การเกิดลายนิ้วมือ [2,3]

ลายนิ้วมือจะเริ่มแสดงเมื่อตอนเป็นทารกในครรภ์มารดาและจะคงอยู่ชั่วชีวิต ยกเว้นแต่ถูกลบโดยตั้งใจ อุบัติเหตุหรือแผลเป็นและอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยแต่สามารถยอมรับได้ โดยเส้นลายนิ้วมือสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

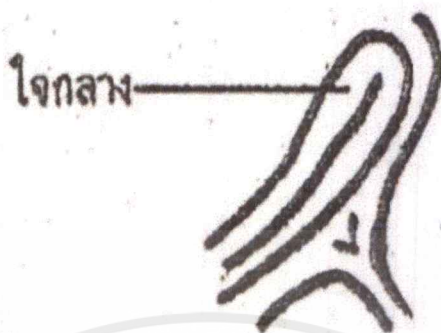
- 1) เส้นนูน หรือสันลายนิ้วมือ (Ridge) คือ รอยนูนที่ยกสูงกว่าผิวหนังที่มีลักษณะเป็นเส้นนูนโค้งและยาวตามรูปแบบลายนิ้วมือ
- 2) ร่องลายนิ้วมือ (Furrow) คือ รอยลึกที่อยู่ต่ำกว่าระดับและสลับระหว่างเส้นนูน ซึ่งจะมองเห็นเป็นร่องระหว่างเส้นนูน

2.1.2 ส่วนประกอบของลายนิ้วมือ

1. ลักษณะทั่วไป สามารถมองเห็นและวิเคราะห์ได้ผิวหนัง โดยแสดงดังรูปที่ 2.2 ตัวอย่างองค์ประกอบลายนิ้วมือที่เป็นลักษณะทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) รูปแบบลายนิ้วมือ ชนิด จำนวนเส้นลายนิ้วมือ และพื้นที่ทั้งหมดลายนิ้วมือ
- 2) จุดใจกลางและจุดสันดอนหรือสามเหลี่ยมเดลต้า



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างองค์ประกอบลายนิ้วมือที่เป็นลักษณะทั่วไป

2. ลักษณะเฉพาะ

- 1) เส้นแตก หรือ เส้นส้อม (Bifurcation) คือ เส้นลายนิ้วมือที่มีปลายด้านหนึ่งแยกหรือแตกออกมากกว่าหรือเท่ากับ 2 เส้นหรือเส้นลายนิ้วมือหลายเส้นมารวมกันเป็นเส้นเดียว
- 2) เส้นสั้นๆ คือ เส้นลายนิ้วมือที่สั้นกว่าเส้นลายนิ้วมือทั่วไป แต่จะไม่เป็นจุด
- 3) จุด คือ ลายเส้นนิ้วมือที่สั้นมากจนดูคล้ายเป็นจุดหรือขีดเล็ก ๆ
- 4) เส้นขาด คือ เส้นลายนิ้วมือเป็นเส้นเดียว มีช่องว่างเป็นรอยขาดออกจากกัน
- 5) เส้นทะเลสาบ (Island) คือ เส้นลายนิ้วมือที่มีปลายแยกออกเป็น 2 เส้น แล้ววกกลับมารวมกันกลายเป็นเส้นเดียวซึ่งทำให้เกิดเป็นพื้นที่ว่างตรงกลางคล้ายแอ่งน้ำทะเลสาบ
- 6) เส้นตะขอ คือ เส้นลายนิ้วมือที่ปลายเส้นแยกออกเป็น 2 เส้น แต่ละเส้นแยกโค้งออกจากกันและมีความยาวต่างกันลักษณะเหมือนตะขอ
- 7) เส้นอื่น ๆ คือ เส้นลายนิ้วมือที่ต่างจากเส้นลายนิ้วมือที่กล่าวมาข้างต้น ลักษณะเป็นเส้นเดียวที่มีปลายแยกออกเป็น 3 เส้น เรียกว่า "Trifurcation"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. องค์ประกอบทางเคมีในนิ้วมือ น้ำเหลืองที่ออกตามบริเวณผิวหนังนิ้วมือประกอบไปด้วยสองส่วนได้แก่

3.1 ส่วนที่เป็นน้ำร้อยละ 98.5

3.2 ส่วนที่เป็นของแข็งร้อยละ 1.5 โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท

1) สารอินทรีย์ ร้อยละ 1.0 ได้แก่ Fatty acid, Lactic acid, Amino acid, Riboflavin pyridoxin, Glucose, Sugar, Ammonia, Urea, Creatinine, Albumin, Peptide, Proteins และ Isoagglutinogens

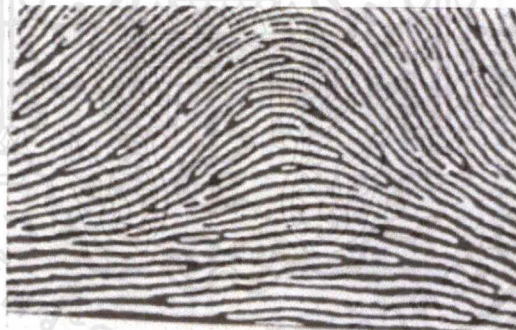
2) สารอนินทรีย์ ร้อยละ 0.5 ได้แก่ Sodium ion, Potassium ion, Calcium ion, Chlorine ion, Phosphate, Carbonate และ Sulphate

2.1.3 ประเภทลายนิ้วมือ [4]

1. ลายนิ้วมือประเภทโค้ง

1.1) ลายนิ้วมือประเภทโค้งราบ (Plain arch) เป็นลักษณะลายนิ้วมือจากขอบด้านหนึ่งไปยังขอบอีกด้านหนึ่ง ไม่มีจุดสันตอนซึ่งสังเกตง่ายที่สุดโดยแสดงดังรูปที่ 2.3

1.2) ลายนิ้วมือประเภทโค้งกระโจม (Tented arch) เป็นลักษณะลายนิ้วมือจากขอบด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง เกิดเป็นเส้นพุงขึ้นจากแนวนอนเป็นมุมแหลมโดยแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 ลายนิ้วมือประเภทโค้งราบ (Plain arch)



รูปที่ 2.4 ลายนิ้วมือประเภทโค้งกระโจม (Tented arch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลายนิ้วมือประเภทมัดหวาย [2,5]

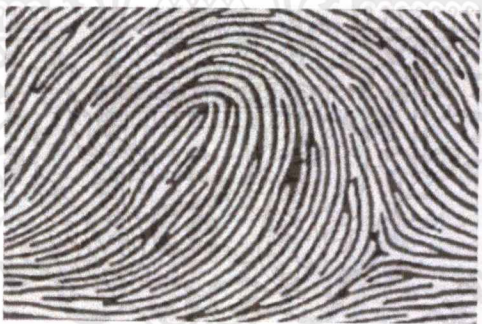
2.1) ลายนิ้วมือประเภทมัดหวายปิดขวา (Right slant loop or radial loop) มีลักษณะเป็นลายเส้นส่วนปลายเกือบมาปิดไปทางขวาโดยแสดงดังรูปที่ 2.5

2.2) ลายนิ้วมือประเภทมัดหวายปิดซ้าย (Left slant loop or ulnar loop) มีลักษณะเป็นลายเส้นส่วนปลายเกือบมาปิดไปทางซ้ายโดยแสดงดังรูปที่ 2.6

2.3) ลายนิ้วมือประเภทมัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝด (Double loop or twin loop) ลักษณะคล้ายลายนิ้วมือแบบมัดหวายปิดซ้ายและปิดขวารวมกันโดยไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.5 ลายนิ้วมือประเภทมัดหวายปิดขวา (Right slant loop or radial loop)



รูปที่ 2.6 ลายนิ้วมือประเภทมัดหวายปิดซ้าย (Left slant loop or ulnar loop)

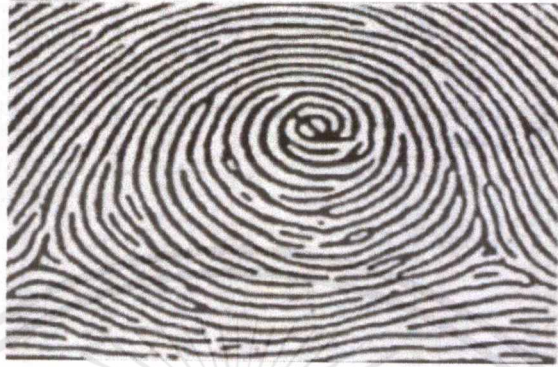


รูปที่ 2.7 ลายนิ้วมือประเภทมัดหวายคู่หรือมัดหวายแฝด (Double loop or twin loop)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ลายนิ้วมือแบบก้นหอย (Whorl)

3.1) ลายนิ้วมือประเภทก้นหอยธรรมดา (Plain whorl) ลายนิ้วมือที่มีเส้นเวียนรอบเป็นวงมีลักษณะคล้ายคลึงกับรูปไข่หรือวงกลมโดยแสดงดังรูปที่ 2.8



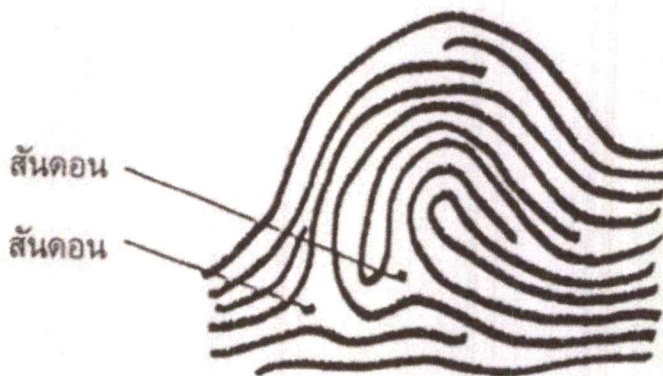
รูปที่ 2.8 ลายนิ้วมือประเภทก้นหอยธรรมดา (Plain whorl)

3.2) ลายนิ้วมือประเภทก้นหอยกระเป๋ากลาง (Central pocket loop whorl) ต่างจากลายนิ้วมือก้นหอยแบบธรรมดา เมื่อลากเส้นสมมติจากสันตอนหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยเส้นสมมติจะไม่สัมผัสกับเส้นวงจรที่อยู่ด้านในโดยแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลายนิ้วมือประเภทก้นหอยกระเป๋ากลาง (Central pocket loop whorl)

3.3) ลายนิ้วมือประเภทก้นหอยกระเป๋าข้าง (Lateral pocket loop) เป็นรูปแบบลายนิ้วมือที่คล้ายกับแบบมัดทวยคู่ แต่มีสันตอนอยู่ข้างเดียวกันโดยแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลายนิ้วมือประเภทกันหอยกระเปาะข้าง (Lateral pocket loop)

3.4) ลายนิ้วมือประเภทซับซ้อน (Accidental whorl) เป็นลายนิ้วมือที่ต่างจากชนิดที่กล่าวมา ซึ่งเป็นลายนิ้วมือแบบผสมกันและมีสองสันดอนหรือมากกว่าแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลายนิ้วมือประเภทซับซ้อน (Accidental whorl)

2.1.4 วิธีตรวจสอบลายนิ้วมือ [6]

1. ลักษณะลายนิ้วมือในสถานที่เกิดเหตุ
 - 1.1) ลายนิ้วมือที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น ลายนิ้วมือที่ปนเปื้อนสารเคมี
 - 1.2) ลายนิ้วมือที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น ลายนิ้วมือบนกระจก
2. การเปลี่ยนแปลงของรอยลายนิ้วมือ
 - 2.1) การเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติของสภาพวัตถุและเงื่อนไขผู้ประทับลายนิ้วมือ
 - 2.2) การเปลี่ยนแปลงโดยมนุษย์โดยการสัมผัสที่ส่งผลกระทบต่อรอยลายนิ้วมือ
3. สารที่เจือปนในลายนิ้วมือ

3.1) Eccrine glands เป็นต่อมที่สามารถพบได้ทั่วร่างกายทำหน้าที่ผลิตเหงื่อโดยไม่สูญเสียเซลล์ไฮโดรลาลัสซิม

3.2) Apocrine glands เป็นต่อมที่พบในบริเวณขาหนีบ รักแร้และรอบทวารหนัก ซึ่งจะผลิตเหงื่อพร้อมกับสูญเสียเซลล์ไฮโดรลาลัสซิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3) Sebaceous glands เป็นต่อมที่พบที่หน้าอก แผ่นหลัง หน้าผาก อวัยวะเพศ และหัวนม จะผลิตสารที่เป็นไขมันออกมาเรียกว่า ซีบัม (Sebum)

2.1.5 การตรวจเก็บลายนิ้วมือ [7-16]

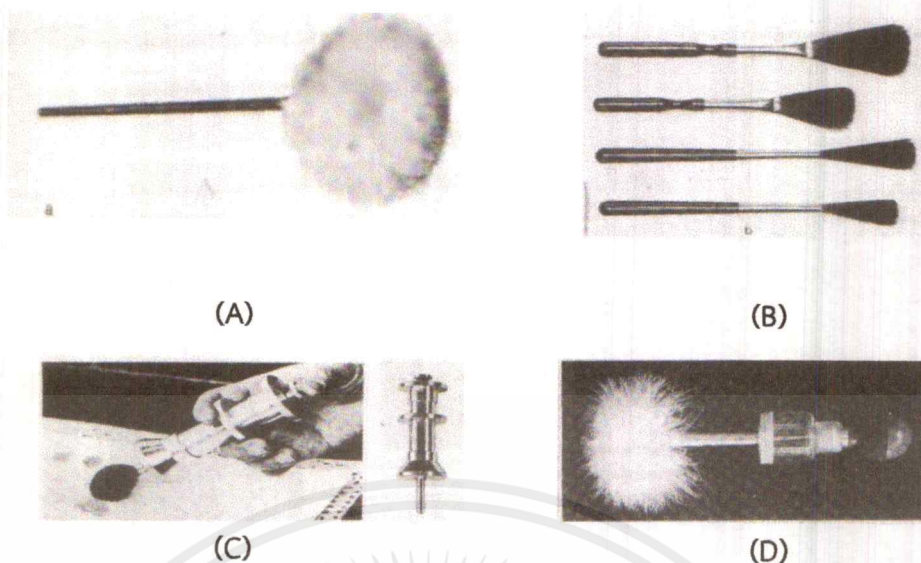
1) วิธีการปิดผงฝุ่น เป็นวิธีการพื้นฐานที่ใช้ในการตรวจสอบรอยลายแฝง โดยผงฝุ่นจะติดกับความชื้นและไขมันที่ถูกขับออกมาทางนิ้วมือ ซึ่งใช้เทปในการลอกลายนิ้วมือมาติดกับกระดาษที่เตรียมไว้ หรือใช้หลักในการถ่ายภาพ หลักการในการตรวจสอบคือ การนำเอาสารที่เป็นของแข็งมาทำเป็นผงฝุ่นสีต่าง ๆ ซึ่งแต่ละสีมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันที่จะทำให้รอยลายแฝงมองเห็นได้อย่างชัดเจน โดยสีที่เหมาะสมที่สุดคือสีดำ เพราะเหงื่อจะปรากฏอยู่ในสภาพที่ไม่มีสี จะพบเห็นได้ดีที่สุดบนพื้นผิววัตถุที่มีความเรียบ และเป็นมัน เช่น แก้ว กระจก เครื่องเรือนขัดมัน เป็นต้น ซึ่งสีดำจะติดกับสีของพื้นผิววัตถุได้อย่างชัดเจน แต่ถ้าเป็นพื้นผิววัตถุที่มีสีทึบๆ ก็ควรใช้แป้งฝุ่นสีขาวก็จะเห็นภาพได้ชัดเจนเช่นกัน นอกจากนี้ พื้นผิววัตถุบางอย่างอาจมีความเหมาะสมกว่าที่จะใช้ผงฝุ่นกว่า 2 ชนิดขึ้นไปผสมกัน เพื่อให้เห็นรอยและเก็บรอยลายแฝงได้ดีขึ้นโดยแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยวิธีการปิดผงฝุ่น

แปรงที่ใช้ในการปิดผงฝุ่นเคมีมีอยู่ทั่ว ๆ ไป 3 ชนิด โดยแสดงดังรูปที่ 2.13 คือ

- 1) แปรงขนกระต่าย ใช้ในการปิดผงฝุ่นเบื้องต้น
- 2) แปรงขนอูฐ ใช้ปิดผงฝุ่นเพื่อให้เห็นรอยลายอย่างละเอียด
- 3) แปรงแม่เหล็ก ใช้กับผงฝุ่นสีดำที่มีผงแม่เหล็กเป็นส่วนผสมอยู่



รูปที่ 2.13 แปรงปิดฝุ่นชนิดต่าง ๆ

- (A) แปรงปิดฝุ่นเบื้องต้น (ขนกระต่าย) (B) แปรงขนอูฐหรือขนกระรอก
(C) แปรงแม่เหล็ก (D) แปรงขนนก

2) วิธีการใช้น้ำยาเคมี เป็นวิธีในการตรวจสอบลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุที่มีผิวหูดูดซึมองค์ประกอบในสารเคมีทำปฏิกิริยากับสารประกอบที่ขับออกมาทางนิ้วมือทำให้เกิดการเปลี่ยนสีหลักการคือ การนำสารหรือสารเคมีที่ใช้ในรูปแบบสารละลาย รวมถึงสารเคมีที่สามารถที่ระเหยหรือระเหิดเป็นไอได้ซึ่งเราอาจเรียกกันได้ว่าเป็นวิธีรมควัน โดยสามารถใช้ในการตรวจสอบลายนิ้วมือแฝงจากพื้นผิววัตถุที่เป็นกระดาษทั้งอ่อนและแข็ง ไม่เปลือยตลอดจนพื้นผิวที่มีคุณสมบัติดูดซึมอื่น ๆ โดยแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยวิธีการใช้น้ำยาเคมี

3) วิธีการใช้นินไฮดริน ใช้กับงานประเภทกระดาษและเอกสารต่าง ๆ นินไฮดริน จะทำปฏิกิริยากับโปรตีนของเหงื่อจะเปลี่ยนรอยลายนิ้วมือแฝงเป็นสีม่วงปนน้ำเงิน อาจเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ความร้อนซึ่งทำได้ทั้งฉีดเป็นละอองฝอย การจุ่มหรือการแปรง วิธีที่ง่ายที่สุดคือการฉีดเป็นละอองฝอย

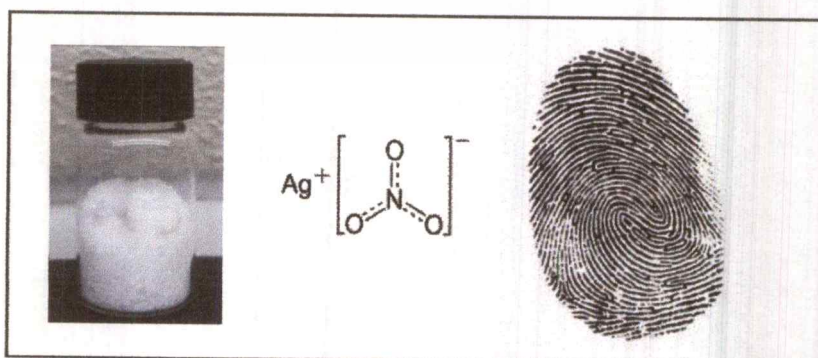
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมื่อพื้นผิววัตถุถูกอบด้วยน้ำยาแล้ว ให้นำไปถูความร้อนอีกครั้ง โดยการใช้เตารีดไฟฟ้าในแหล่งไปโดยตรง หรือนำเอาไปผึ่งไว้กลางแดด หรือผึ่งด้วยลมร้อน แต่ต้องระวังอย่าใช้ความร้อนสูงเกินไป อาจทำให้ฟลูออไรด์ซึ่งวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้จะทำให้สามารถเกิดภาพลายแฝงที่ชัดเจน จากนั้นควรถ่ายภาพในระยะใกล้ทันที แล้วเอาเทปกาวยาสีปิดทับ พร้อมถ่ายภาพซ้ำอีกครั้ง และจัดรายละเอียดโดยแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยวิธีการใช้นินไฮดริน

4) วิธีการใช้ซิลเวอร์ไนเตรท ซิลเวอร์ไนเตรทนั้นจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมคลอไรด์ในเหงื่อที่ถูกขับออกมาทางบริเวณนิ้วมือจะได้เงินคลอไรด์ ซึ่งจะมองด้วยตาเปล่าได้ยากจึงต้องนำไปทำให้แห้งด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตหรือแสงแดด จะทำให้ลายนิ้วมือแฝงเปลี่ยนเป็นสีดำและกลับคืนรูปเดิมไม่ได้ วิธีนี้ไม่ควรใช้กับธนบัตรหรือเอกสารสัญญาต่าง ๆ วิธีการนี้เป็นวิธีการตรวจหาเกลือแกง ที่อยู่ในเหงื่อของมนุษย์ น้ำยาเกลือเงินไนเตรทจะทำปฏิกิริยากับเกลือแกงที่มีอยู่ที่รอย เกิดเป็นเงินคลอไรด์ได้ และจะเกิดรอยลายแฝงที่ชัดเจนมากกับวัตถุประเภทกระดาษและไม้โดยวิธีการคือ นำเอกสารจุ่มลงไปใต้น้ำยาโดยตรง หรือเป็นละออง แล้วปล่อยให้แห้งในห้องมืด แล้วจึงนำมาให้แสงสว่าง ก็จะปรากฏเห็นรอยแฝงของพื้นผิววัตถุได้อย่างชัดเจน เป็นลายเส้นสีน้ำตาลไหม้เข้ม รอยที่ปรากฏขึ้นนี้จะต้องใช้วิธีการตรวจเก็บโดยการถ่ายภาพบันทึกใกล้และขยายและการรมด้วยควีนไอโอดีนแสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยวิธีการใช้ซิลเวอร์ไนเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

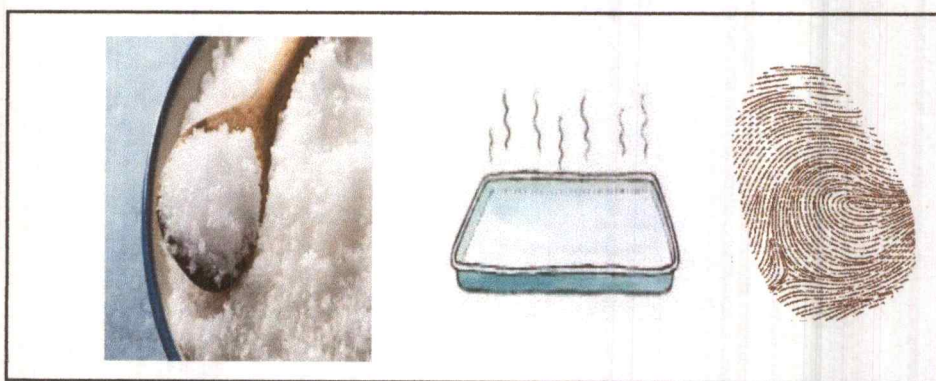
5) การใช้คริสตัลไวโอเลท

เป็นสีย้อมที่ใช้ย้อมสียรอยลายนิ้วมือแฝงติดอยู่บนพื้นผิวที่มีความเหนียวและไม่สามารถละลายน้ำเช่น เทปกาวใส กระดาษกาว หรือเทปยางซึ่งบริเวณที่มีความเหนียวนั้นมักจะมีรอยลายนิ้วมือติดอยู่เสมอ โดยในการเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงนั้นใช้วิธีแบบปิดผงฝุ่นธรรมดาไม่ได้ต้องใช้วิธีคริสตัลไวโอเลท ซึ่งเป็นวิธีที่ต้องมีน้ำยาที่ประกอบด้วยผลึกม่วงขนาด 1 - 1.5 กรัม ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วนำน้ำยาที่ผสมปริมาณ 2 มิลลิลิตร เติมลงไปในน้ำ 100 มิลลิลิตร ใส่ในภาชนะ จากนั้นทำการจุ่มหรือวางวัตถุแช่ลงไปใต้น้ำยาจนรอยลายนิ้วมือแฝงปรากฏเห็นได้ และล้างน้ำสะอาดเพื่อล้างสีส่วนเกินออกไป ทำให้เหลือแต่รอยลายเส้นของรอยลายแฝงเท่านั้น ต่อจากนั้นจึงนำไปวางบนด้านมันของกระดาษอัดรูปที่มีความเปียกหมาด ๆ นำไปรีดด้วยความร้อนอ่อนๆ แล้วจึงดึงเทปที่เป็นวัตถุที่มีรอยลายแฝงออกจากกระดาษอัดรูปออก จากนั้นทำการถ่ายภาพบันทึกไว้โดยแสดงดังรูปที่ 2.17



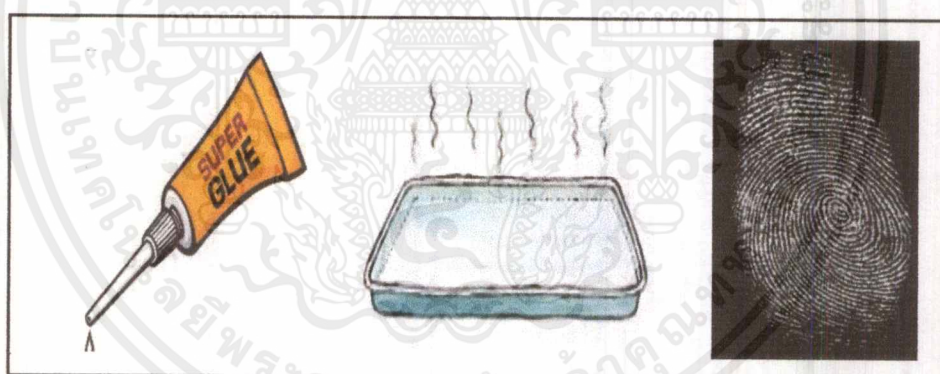
รูปที่ 2.17 การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยวิธีการใช้คริสตัลไวโอเลท

6) วิธีรมด้วยควันไอโอดีน การตรวจสอบรอยลายแฝงของสารไอโอดีน เหมาะกับการตรวจวัตถุประเภทกระดาษ ผง และพื้นผิวที่มีความเหนียว หลักการคือ เรานำเกลือไอโอดีน ที่สามารถระเหิดเป็นก๊าซได้เมื่อได้รับความร้อน โดยมีการตรวจสอบ 2 แบบ แบบที่ 1 เป็นการตรวจในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตู้ไอโอดีน แบบที่ 2 การใช้กระบอกที่เรียกว่า Iodine fuming ซึ่งสารจะบรรจุอยู่ในกระบอกแก้วเล็ก ๆ ซึ่งมีความสะดวกในการพกพาและสามารถตรวจหาบนบริเวณพื้นผิวได้ไม่กว้างมาก โดยจะใช้ความร้อนช่วย ทำให้ปรากฏภาพรอยลายแฝงได้รวดเร็วขึ้น ปัจจัยที่ทำให้เกลือไอโอดีนระเหิดเป็นไอและควันสีม่วง เนื่องจากไขมันหรือน้ำมันของเทปบนรอยแฝงจะดูดซึมไอควันเหล่านี้ไว้โดยจะปรากฏเห็นเป็นรอยเส้นสีน้ำตาลหรือออกสีเหลือง ๆ ทำให้เกิดภาพลายแฝงที่เด่นชัดขึ้นตัดกับสีพื้นวัตถุจากนั้นทำการถ่ายภาพไว้ทันที เนื่องจากรอยเส้นเหล่านี้จางหายอย่างรวดเร็วเมื่อกระบวนการนี้สิ้นสุดลงโดยแสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยวิธีการรมควันไอโอดีน

7) วิธีการหรือซุเปอร์กลู วิธีนี้ใช้สารเคมีทำให้เกิดเป็นไอหรือก๊าซ เนื่องจากความร้อนไอของสารเคมีทำปฏิกิริยากับสารที่ซึบออกมาจากรอยนิ้วมือแฝง ส่งผลทำให้เกิดรอยลายนิ้วมือขึ้นมาเป็นสีขาวโดยวิธีการใช้ซุเปอร์กลูจะคล้าย ๆ กับการรมควันด้วยไอโอดีน แต่ต่างกันตรงที่มีการใช้ซุเปอร์กลูแทน เมื่อสาร Cyanoacrylate ester ได้รับความร้อนก็จะระเหยเป็นไอซึ่งมีความเข้มข้นสูงจะทำปฏิกิริยากับโปรตีน และน้ำที่มีอยู่ในเหงื่อ ทำให้ปรากฏเห็นเป็นรอยลายสีขาว แล้วจึงใช้ผงฝุ่นเคมีปิดชั้นอีกครั้งหนึ่งเพื่อเก็บถอดลอกรอยลายนั้นออกมาตามปกติโดยแสดงดังรูปที่ 2.19

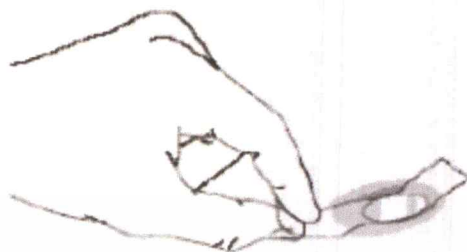


รูปที่ 2.19 การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยวิธีการซุเปอร์กลู

8) วิธีลอกลายนิ้วมือ เป็นการใช้เทปกาวลอกลายนิ้วมือแฝง หลังจากการปิดฝุ่นหรือการใช้สารเคมี และทำการบันทึกภาพถ่ายโดยวิธีการคือ หาลายนิ้วมือที่ปรากฏให้เห็นก่อน เช่น ถ้าเป็นรอยนิ้วมือที่ติดอยู่บนของเหลวต่าง ๆ เช่น บนเลือด ไขมัน หรือรอยนิ้วมือที่ติดบนกระจก จะมองเห็นได้สามารถใช้เทปกาวลอกเก็บรอยนิ้วมือได้เลยส่วนบนพื้นผิวหรือพื้นผิวของวัตถุที่มองเห็นไม่ชัดเจนว่ามีรอยแฝงจะต้องมีการวิเคราะห์ดูก่อนว่าจะใช้ผงเคมีชนิดไหน สำหรับพื้นผิวที่มีความเรียบและก็มีสีอ่อน เราก็ควรใช้ผงฝุ่นสีดำในการปิด ถ้าเกิดบนพื้นผิวที่ ๆ ค่อนข้างจะสีเข้ม ควรใช้ผงฝุ่นสีขาวมาปิด ในการปิด ต้องดูขนาดของพื้นที่ หากพื้นที่เล็กจะใช้แปรงขนาดเล็ก พื้นที่ใหญ่ก็ใช้แปรงขนาดใหญ่ ส่วน

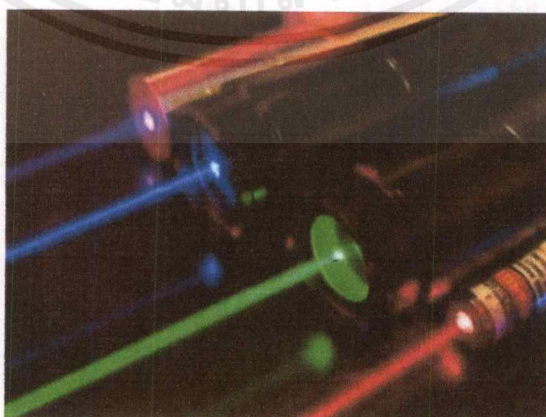
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการปิด จะต้องปิดไปในทางเดียวกันก่อน พอเห็นรอยค่อนข้างชัดเจนค่อยปิดแบบกันหอย จะทำให้ปรากฏรอยลายแฝงชัดเจนมากขึ้น จากนั้นใช้เทปกาว มาแปะลงไปเพื่อลอกลายนิ้วมือออกมา แล้วดึงออกไปแปะเก็บบนกระดาษ เพื่อนำไปวิเคราะห์อีกทีหนึ่งโดยแสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยวิธีการลอกลายนิ้วมือ

9) วิธีใช้แสงโดยการใช้อย่างเลเซอร์ เป็นการใช้อย่างเลเซอร์นี้ในการตรวจหารอยลายแฝงที่วัตถุพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ได้ เช่น แก้ว กระดาษ ผง แป้ง พลาสติก และไม้ เป็นต้น หรือไม่ว่าจะเป็นการตรวจร่องรอยในลักษณะอื่น ๆ ได้อีก เช่น รอยขูดลบแก้ไขเอกสาร ชนิดของหมึก รอยเหยียบย่ำ เป็นต้น ถือว่าเป็นเครื่องมือที่ดีมีประสิทธิภาพมากเครื่องหนึ่งในการตรวจหารอยแฝงโดยใช้แสงลำที่เป็นอุปกรณ์ทำขึ้นประกอบด้วยผลึก แก้ว หรือสารอย่างอื่นที่มีความเหมาะสม ซึ่งจะยอมภายในนั้น เมื่อถูกกระตุ้นขึ้นด้วยการรวมจุดของคลื่นแสงทั้งหลายจะขยายและรวมกันอยู่ที่คลื่นเหล่านี้ แล้วจึงฉายเปล่งออกมาเป็นลำแสงแคบและจ้ามืดโดยหลักการของเครื่องเลเซอร์นี้จะเป็นแสงที่เกิดจากการกระตุ้นโดยใช้เครื่องมือ ซึ่งมีปริมาณก๊าซอาร์กอน ซึ่งเป็นธาตุบริสุทธิ์ประเภทหนึ่ง เป็นแหล่งกำเนิดแสงหรือไม่ว่าจะเป็นเครื่องโพลีไลท์ซึ่งเป็นเครื่องมือนี้มีน้ำหนักเบา สามารถใช้ได้ทั้งในและนอกสถานที่ ปกติมีสภาวะทางแสงเป็นสีขาวยที่สามารถเปลี่ยนเป็นแสงสีต่าง ๆ ได้ 5 ช่องสีโดยการใส่เครื่องกรองแสง ซึ่งแสงแต่ละช่องสีจะมีความเหมาะสมกับการตรวจหารอยลายแฝงบนพื้นผิวและวัตถุที่มีลักษณะต่าง ๆ กันโดยแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยวิธีการใช้แสงเลเซอร์

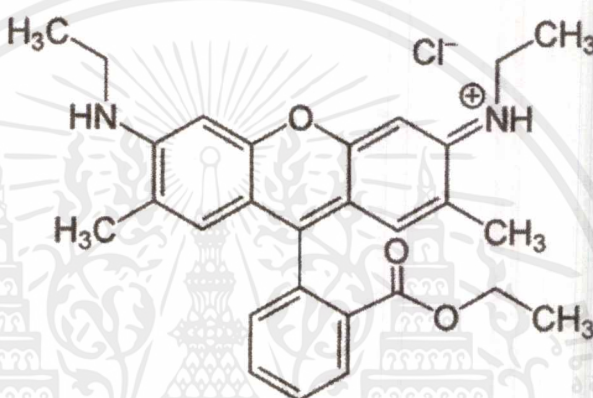
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สารเรืองแสงและกลไกการเรืองแสง

สารเรืองแสงทำหน้าที่ในการเรืองแสง เป็นตัวกลางสำคัญในการเปล่งความยาวคลื่นหรือพลังงานแสง มีเสถียรภาพเชิงแสง ค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนแสงสูงมากไม่สามารถดูดกลืนซ้ำได้ และไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมและราคาถูก

2.2.1 สารเรืองแสงโรดามีน 6จี [17,18]

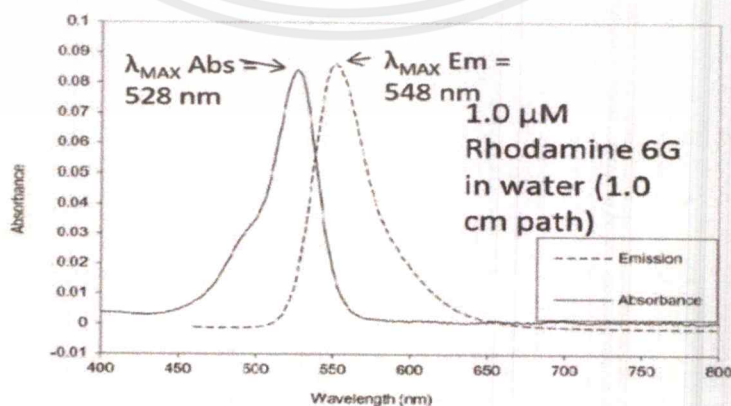
โรดามีน 6จี เป็นสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล ถูกใช้อย่างกว้างขวางทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.22 และเป็นสารสี้อมที่มีคุณสมบัติการเรืองแสงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของโรดามีน 6จี

คุณสมบัติ

สูตรทางเคมี	: $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$
มวลโมเลกุล	: 479.02 g/mol
ความหนาแน่น	: 1.26 g/cm ³
การละลายในน้ำ	: 20 g/l (25 °C)

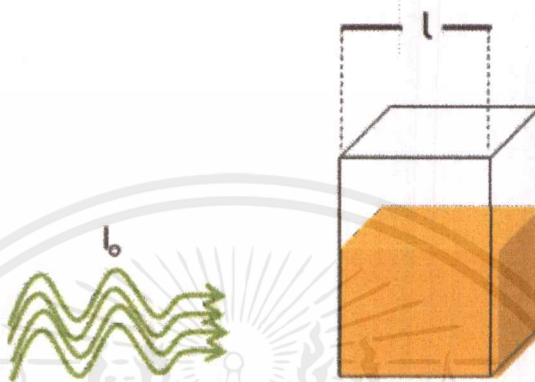


รูปที่ 2.23 สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของโรดามีน 6จี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กลไกการเรืองแสง

เมื่อแสงเริ่มต้น I_0 ถูกส่งผ่านไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้น C ที่บรรจุในคิวเบทที่มีความหนา l แสงจะเข้าผ่านกระบวนการทางแสง 3 กระบวนการได้แก่ กระบวนการการดูดกลืนแสง กระบวนการการเปล่งแสงและกระบวนการการกระเจิงแสง ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงการส่งผ่านแสงเมื่อเริ่มต้น

1) การดูดกลืนแสงและกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Absorption and Beer-Lambert's law)

กระบวนการที่พลังงานแสงหรือโฟตอน ถูกถ่ายเทไปยังอะตอม ไอออน หรือโมเลกุลที่อยู่ในตัวกลาง ทำให้อะตอม ไอออน หรือโมเลกุลนั้นเกิดพลังงานขึ้น ซึ่งสามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 ลักษณะ การดูดกลืนในระดับอะตอมและการดูดกลืนในระดับโมเลกุลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่แสงนั้นทำอันตรกิริยา ซึ่งทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสารละลาย คือ กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert's Law) [19,20] ดังนี้

1.1) กฎของเบียร์ (Beer's Law)

"สำหรับรังสีที่เป็นรังสีชนิดลำแสงขนาน (Parallel beam) หรือรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic radiation) ผ่านตัวอย่างที่เป็นสารละลายชนิดเนื้อเดียว (Homogeneous solution) ที่มีระยะทางของแสงที่ส่องผ่านตัวอย่าง (Pathlength) เท่ากัน ค่าการดูดกลืนซึ่งจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นสารละลาย" ดังสมการที่ 2.1

$$A \propto c \quad (2.1)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารละลายหรือตัวอย่าง (g/L)

1.2) กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law)

"สำหรับรังสีที่เป็นรังสีชนิดลำแสงขนาน (Parallel beam) หรือรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic radiation) ผ่านตัวอย่างที่เป็นสารละลายชนิดเนื้อเดียว (Homogeneous solution) ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน โดยที่ค่าการดูดกลืนแสงซึ่งจะมีการแปรผันตรงกับระยะทางของแสงที่ส่องผ่านตัวอย่าง (Pathlength)" ดังสมการที่ 2.2

$$A \propto l \quad (2.2)$$

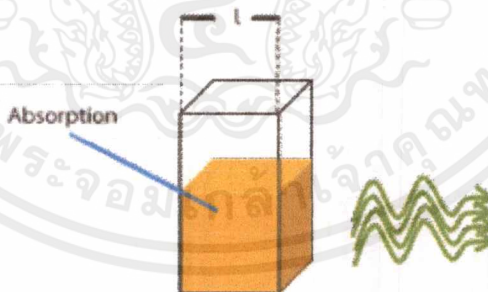
เมื่อ l = ความหนาหรือความกว้างของเซลล์ (Pathlength) (cm)

1.3) กฎการดูดกลืนแสงเบียร์แลมเบิร์ต (Beer-Lambert Law)

"สำหรับรังสีที่เป็นรังสีชนิดลำแสงขนาน (Parallel beam) หรือรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic radiation) ผ่านตัวอย่างที่เป็นสารละลายชนิดเนื้อเดียว (Homogeneous solution) โดยค่าการดูดกลืนแสงแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายหรือตัวอย่าง (Concentration) และระยะทางของแสงที่ส่องผ่านตัวอย่าง (Pathlength)" ดังสมการที่ 2.3

$$A = alc \quad (2.3)$$

เมื่อ a = สภาพการดูดกลืน (L/gcm)



รูปที่ 2.25 แสดงการส่งผ่านแสงหลังจากผ่านไปยังสารตัวอย่างแล้วเกิดการดูดกลืน

เมื่อแสงผ่านกระบวนการทางแสงแล้วจะเกิดการส่งผ่านแสงโดยแสดงดังรูปที่ 2.25 และถ้าความเข้มข้นของตัวอย่างเป็นโมลาริตี (Molarity; mol.L⁻¹) เราเรียกสภาพการดูดกลืนว่า ค่าคงที่ของการดูดกลืนแสงของสารละลาย ซึ่งเป็นค่าจำเพาะของระบบการดูดกลืนหรือเป็นหมู่โครโมฟอร์ (Chromophore) ที่ใช้ในการระบุโครงสร้างของสาร ดังสมการที่ 2.4

$$A = \log \frac{I_0}{I} = -\log T \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปจะรายงานค่า Transmittance เป็นเปอร์เซ็นต์ (%T) ดังนี้

$$\%T = 100 \frac{I}{I_0} \quad (2.5)$$

$$\log \%T = \log 100 \frac{I}{I_0}$$

$$\log \%T = 2 + \log \frac{I}{I_0}$$

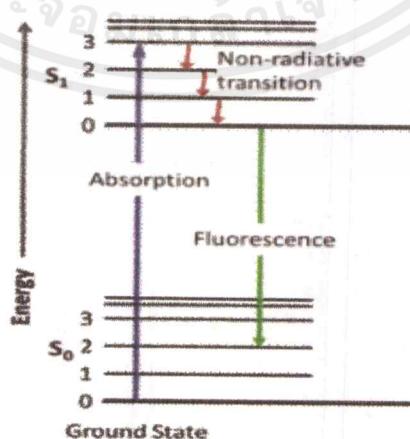
$$A = 2 - \log \%T = \epsilon lc \quad (2.6)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นเป็นโมลาร์ (mol.L^{-1}) ของตัวอย่าง

ϵ = ค่าคงที่ของการดูดกลืนแสงของสารละลายเข้มข้น 1 mol. L^{-1} (molar absorptivity หรือ Molar extinction coefficient ซึ่งมีหน่วยเป็น $\text{L.cm}^{-1}.\text{mol}^{-1}$)

2) การเปล่งแสง (Fluorescence)

การที่อะตอมหรืออิเล็กตรอนถูกกระตุ้นให้เกิดการเปล่งแสงโดยพลังงานที่ไม่ใช่พลังงานความร้อนในช่วงที่อะตอมหรืออิเล็กตรอนนั้นได้รับพลังงาน โดยโมเลกุลของวัตถุจะดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานสูง (ย่านอัลตราไวโอเลต) และปล่อยโฟตอนที่มีพลังงานต่ำ (ย่านตามองเห็น) หรือเรียกว่า การคายพลังงานออกมา พลังงานส่วนต่างจะกลายเป็นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการคายพลังงาน อะตอมหรืออิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานจากพลังงานที่เข้ามาเริ่มต้น ปล่อยพลังงานกลับออกมาในรูปของแสงในทันทีเมื่อไม่มีพลังงานเริ่มต้น การเปล่งแสงจะหยุดการเรืองแสงชนิดที่การปลดปล่อยแสงออกมาเกิดขึ้นทันทีภายในเวลา $10^{-8} - 10^{-6}$ วินาที และหยุดทันทีเมื่อเลิกการกระตุ้น ดังรูปที่ 2.26 [19-21]

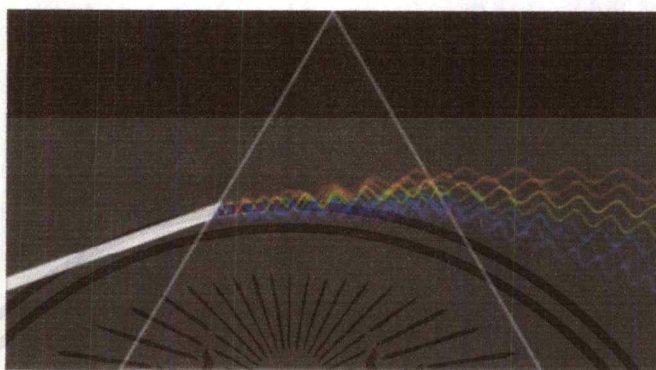


รูปที่ 2.26 ระดับพลังงาน Jablonski เกี่ยวกับการดูดกลืนและการแผ่รังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การกระเจิงของแสง (Light scattering)

การกระเจิงของแสง เป็นปรากฏการณ์ที่แสงไปตกกระทบกับอนุภาคที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงที่แตกต่างกัน จึงทำให้แสงกระจายออกไปโดยรอบ เมื่อแสงอยู่ในรูปของพลังงาน การกระเจิงของแสง ถูกจัดว่าเป็นการหักเหของรังสีที่เป็นเส้นตรงโดยแสดงดังรูปที่ 2.27 [22,23]



รูปที่ 2.27 การกระเจิงของแสง

ลักษณะการกระเจิงแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1. ทฤษฎีการกระเจิงเรย์ลีห์ (Rayleigh scattering) กล่าวไว้ว่า ความเข้มแสงที่กระเจิงในหนึ่งหน่วยปริมาตรของตัวกลางซึ่งทำมุม θ ใด ๆ กับเส้นทางแผ่เข้าของแสง ซึ่งเกิดในกรณีที่มีขนาดของอนุภาคในอากาศนั้น มีขนาดเล็กกว่าขนาดของความยาวคลื่นมาก โดยอัตราการกระเจิงจะแปรผกผันกับความยาวคลื่นกำลังสี่ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยสมการที่ 2.7 ดังนี้

$$I_{\theta} = a \left[\frac{N_0 V^2}{R^2 \lambda^4} \right] I_0 (1 + \cos^2 \theta) \quad (2.7)$$

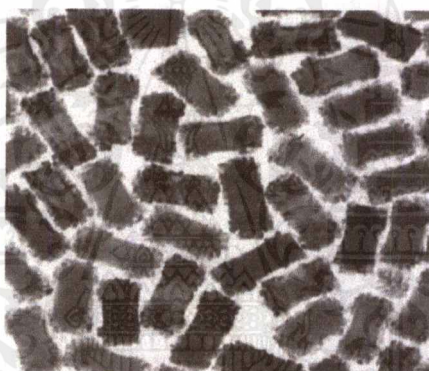
เมื่อ	I_{θ}	ความเข้มแสงที่กระเจิง
	I_0	ความเข้มแสงที่เข้า
	a	แฟกเตอร์วัดความไม่เป็นเอกพันธ์
	θ	มุมที่แสงเข้า
	V	ปริมาตรของอนุภาคที่ทำให้เกิดการกระเจิงของแสง
	R	ระยะทางทางจากต้นกำเนิดแสงถึงผู้สังเกตการกระเจิงของแสง
	λ	ความยาวคลื่นแสง
	N_0	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของอนุภาคในตัวกลาง

2. ทฤษฎีการกระเจิงแบบมัย (Mie scattering) จะเกิดการกระเจิงแสงได้ทุกช่วงความถี่ เกิดขึ้นในกรณีที่อนุภาคมีขนาดใกล้เคียงหรือใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่นเพียงเล็กน้อย

3. ทฤษฎีการกระเจิงแบบเรขาคณิต (Geometric scattering) เกิดในกรณีที่อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่น โดยที่อัตราการกระเจิงนั้นไม่ขึ้นกับความยาวคลื่น แต่จะมีค่าเป็นค่าคงที่สำหรับทุกความยาวคลื่น เรียกว่า non-selective scattering

2.3 อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม (Gold-Palladium nanorods)

อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม มีลักษณะเป็นดังรูปที่ 2.28 โดยอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียมนี้ เป็นที่นิยมใช้สำหรับการนำไปทำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งในด้านอิเล็กทรอนิกส์ ด้านแสง และการเปลี่ยนแปลงในชั้นพลังงานเซอร์เฟจพลาสมอน ซึ่งมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสั้นประมาณ 525 นาโนเมตร และความยาวคลื่นยาวที่ 820 – 860 นาโนเมตร [24]



รูปที่ 2.28 อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม (Gold-Palladium nanorods)

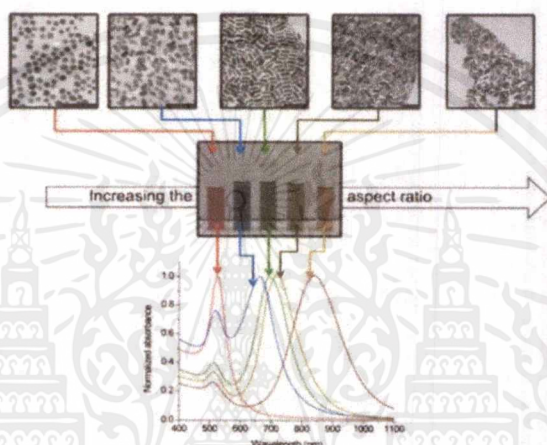
คุณสมบัติ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง x ความยาว	:	25 nm x 75 nm
เส้นผ่านศูนย์กลาง, ขนาดของอนุภาค	:	25 nm, 73 nm
ความหนาแน่น	:	1 g/ml 25 °C
น้ำหนักมวลโมเลกุล	:	196.97 g/mol

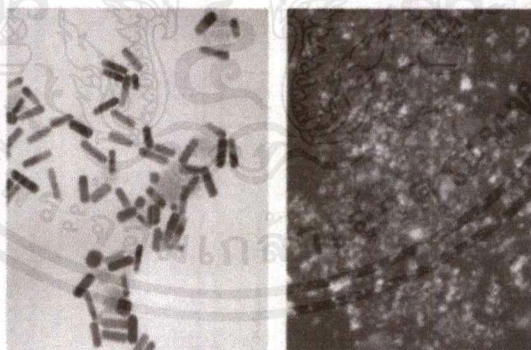
2.3.1 ทองคำ (Gold)

ทองคำ (Gold or Au) มีลักษณะทั่วไป คือ เป็นสารแขวนลอยในตัวทำละลาย เช่น น้ำ หรือสารเคมีอื่น ๆ มีสีต่าง ๆ เช่น แดง ม่วง ฟ้ำ เขียว เป็นต้น เป็นสารไม่ละลายน้ำ (Water insoluble) และไม่ลุกติดไฟ (Non-flammable) เมื่ออยู่ในระดับนาโน ยังคงมีลักษณะสมบัติเหมือนกับทองคำทั่วไป แต่เมื่อมีขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตร จะมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างจากทองคำทั่วไปคือ สีของอนุภาคนาโนทองคำจะมีหลายสี เช่น แดง ฟ้ำ เขียว หรือน้ำตาล โดยจะไม่ปรากฏ

เป็นสีทองเหมือนทองคำทั่วไป สีที่ต่างต่างนั้นเกิดจากการทำปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนในแถบนำ Conduction band ของอนุภาคนาโนโลหะกับสนามไฟฟ้าที่มาจากแสงที่ตกกระทบ ซึ่งทำให้เกิดการแทรกสอดของอิเล็กตรอนในแถบนำ ซึ่งการแทรกสอดนี้เรียกว่า Localized surface plasmon resonance (LSPR) ซึ่งเกิดภายใต้สเปกตรัมของแสงในย่านตามองเห็น และแสงใกล้รังสีเหนือม่วง โดยการเปล่งแสงของสีต่าง ๆ นี้ อาจขึ้นอยู่กับรูปร่างของอนุภาคนาโนทองคำ การเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างแตกต่างกันแสดงในรูปที่ 2.29 และมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีของอนุภาคนาโนทองคำ (Au) [25,26] ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.29 แสดงการเปล่งแสงของอนุภาคนาโนทองคำที่มีรูปร่างแตกต่างกัน



รูปที่ 2.30 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของอนุภาคนาโนทองคำ (Au)

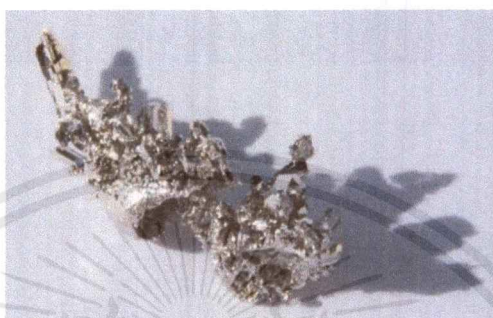
คุณสมบัติ

ชื่อ	:	gold
CAS number	:	7440-57-5
สูตรโมเลกุล	:	Au
น้ำหนักโมเลกุล	:	5,000 g/mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 แพลเลเดียม (Palladium)

แพลเลเดียมมีลักษณะ ดังรูปที่ 2.31 สัญลักษณ์คือ Pd ที่มีหมายเลขอะตอม 46 และเป็นโลหะทรานซิชันหายากอยู่ในกลุ่มเดียวกับแพลทินัม ซึ่งเป็นพวกโลหะมีสกุล สีขาวเงิน มีสมบัติทางเคมีคล้ายกับแพลทินัม สามารถสกัดได้จากแร่ทองแดงและนิกเกิล ใช้ประโยชน์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและในอุตสาหกรรมเครื่องเพชร [27]



รูปที่ 2.31 แพลเลเดียม (Palladium)

คุณสมบัติ

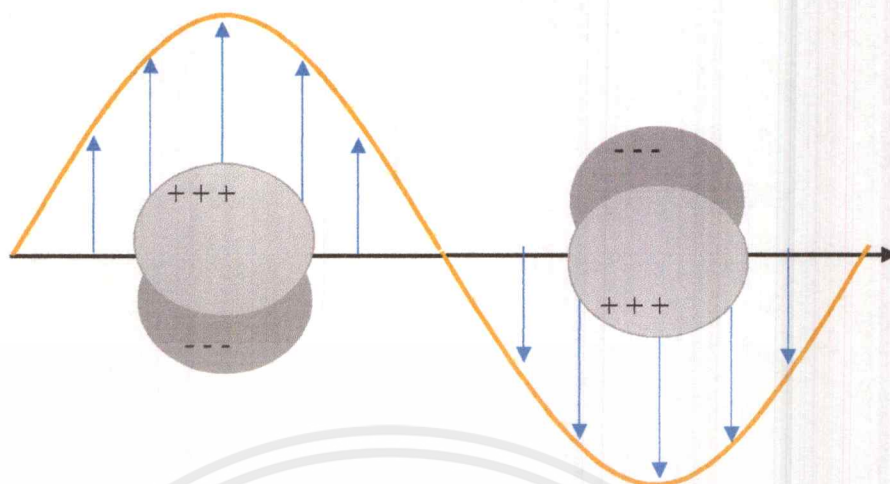
เลขอะตอม	:	46 เป็นธาตุที่ 3 ของคาบที่ 5 ในหมู่ VIII ของตารางธาตุ เป็นธาตุหนึ่งของธาตุในตระกูลแพลทินัมจัดเป็นโลหะ
น้ำหนักอะตอม	:	106.4 amu
จุดหลอมเหลว/จุดเดือด	:	1552 °C / 2747 °C
ความหนาแน่น	:	12.02 g/ cm ³ ที่ 20 °C
เลขออกซิเดชันสามัญ	:	+2, +3, +4

2.4 สมบัติทางแสงของวัสดุนาโน

สมบัติทางแสงเป็นสมบัติเฉพาะตัวของโลหะ ซึ่งโลหะแต่ละชนิด จะแสดงสมบัติทางแสงที่แตกต่างกันออกไป เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์เซอร์เฟจพลาสมอน

ปรากฏการณ์เซอร์เฟจพลาสมอน เกิดจากอันตรกิริยาของแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อแสงตกกระทบที่โครงสร้างของโลหะระดับนาโน ซึ่งจะเกิดขึ้นบริเวณเปลือกชั้นของโลหะนาโนหรือบนรอยต่อโลหะและสารไดอิเล็กทริก เนื่องจากแสงจากภายนอกไม่สามารถผ่านเข้าสู่ภายในของโลหะนาโนได้ แสงจะทำอันตรกิริยากับโลหะสองแบบคือ การดูดกลืน และการกระเจิง แสงที่ถูกดูดกลืนจะทำให้อิเล็กตรอนภายในโลหะจะถูกกระตุ้นไปยังแถบนำ จนเกิดการสั่นที่พ้องหรือการสั่นที่มีความถี่เดียวกันกับแสงที่ตกกระทบซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (Electron density) มวลสัมพัทธ์อิเล็กตรอน (Effective electron mass) ขนาดรูปร่างของการกระจายตัวของประจุในโลหะ (Dipole plasmon resonance) โดยแสดงดังรูปที่ 2.32 [28-30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

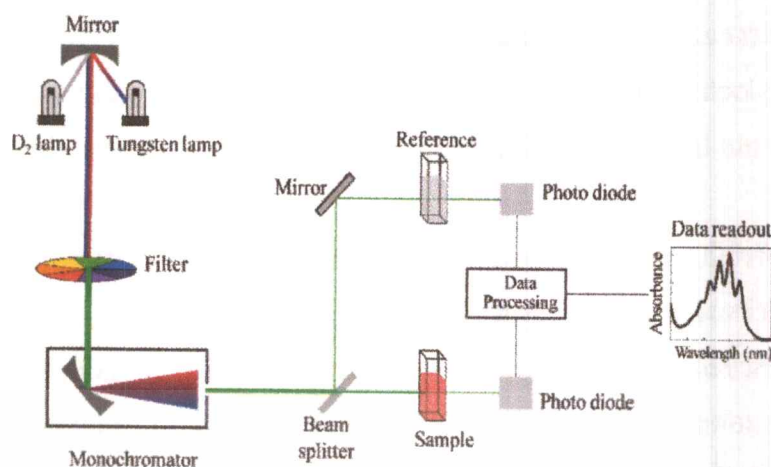


รูปที่ 2.32 ปรากฏการณ์เซอร์เฟฟลาสมอน

2.5 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)

2.5.1 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้วิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะทางแสงจากสารละลายหรือสารตัวอย่าง โดยนิยมนำไปใช้ในการวิเคราะห์หลักการทางแสงเพื่อระบุชนิดของสารที่เกิดจากความเข้มแสงที่มีความเฉพาะและแตกต่างกัน โดยพิจารณาที่เส้นสเปกตรัมเพื่อตรวจคุณสมบัติทางแสงที่เกี่ยวกับความยาวคลื่นและความเข้ม สามารถวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ย่านรังสีแกมมาถึงย่านรังสีอินฟราเรด และย่านความถี่ที่ตามองเห็นได้ [31]

2.5.2 หลักการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์ UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์และตรวจวัดปริมาณแสง (Radiation) และค่าความเข้มแสง (Intensity) ในช่วงรังสียูวี (ช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร) และจนถึงช่วงแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible Light : VIS) โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสาร นิยมใช้ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะมีการดูดกลืนรังสีในย่านความยาวคลื่นหรือย่านความถี่ที่แตกต่างกันและปริมาณในการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่าง ๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารตามสมการของเบียร์แลมเบิร์ต จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยมีแผนภาพแสดงการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์ [32] ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 แผนภาพแสดงการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์

2.5.3 ส่วนประกอบของสเปกโตรมิเตอร์

1. แหล่งกำเนิดแสง เครื่องสเปกโตรมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นแสงที่มีความเข้มมากพออย่างต่อเนื่องและคงที่ และต้องคำนึงถึงการเลือกใช้หลอดกำเนิดแสงซึ่งมีหลากหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสง ให้เหมาะสมสำหรับการดูดกลืนของตัวอย่างนั้น
2. Monochromator เป็นส่วนประกอบที่ใช้ควบคุมแสง โดยจะทำให้แสงพอลิโครเมติกจากต้นกำเนิดเป็นแสงโมนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบ ๆ หรือแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว
3. เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลาย (Cell sample) หรือ คิวเวทท์ (Cuvettes)
4. Detector ทำหน้าที่วัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง

2.6 แรงแยกโมเลกุล [33,34]

โดยทั่วไปธรรมชาติของสารจะไม่อยู่อย่างอิสระ แต่จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนของอะตอม เรียกว่าโมเลกุล เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวต่อกันหรือเรียกว่าพันธะเคมี ในการแยกโมเลกุลของสารออกจากกันจึงต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งเพื่อให้เกิดการสลายตัวกลับมาเป็นอะตอม โดยสาเหตุที่มีการสร้างพันธะหรือแรงยึดเหนี่ยว จากคุณสมบัติของก๊าซเฉื่อย ที่เกิดปฏิกิริยาได้ยากกับธาตุอื่น ๆ เนื่องจากมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนในวงนอกสุดเป็น 8 ตามกฎออกเตต (ยกเว้น He เป็น 2) ส่งผลให้โครงสร้างอะตอมของก๊าซเฉื่อยเสถียร มีพลังงานต่ำ เพราะเหตุนี้ในการสร้างพันธะของธาตุอื่น ๆ จึงพยายามมีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเหมือนก๊าซเฉื่อยเพื่อให้อะตอมมีความเสถียรที่สุด แรงแยกโมเลกุลมี 2 ประเภท

1. แรงแยกโมเลกุลระหว่างโมเลกุล เมื่อสารเกิดการเปลี่ยนแปลงจะต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่อ้างอิงได้แก่ จุดเดือด จุดหลอมเหลว หรือความร้อนแฝง โดยสามารถจำแนกออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) แรงลอนดอน (ไม่มีขั้ว) คือ แรงระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้วด้วยกัน เป็นแรงระหว่างขั้วแบบเหนี่ยวนำ (Induced dipole) หรือขั้วแบบชั่วคราว (Temporary fluctuation dipole) โมเลกุลที่ยึดจับกันด้วยแรงชนิดนี้มีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวต่ำมาก ซึ่งเกิดขึ้นในสารทั่วไป และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามมวลโมเลกุลของสาร

2) แรงดึงดูดระหว่างขั้ว คือ แรงที่เกิดจากการกระทำระหว่างโมเลกุลแบบมีขั้วซึ่งมีไดโพลแบบถาวร (Permanent dipole) เป็นแรงดึงดูดทางไฟฟ้าอันเนื่องมาจากแรงกระทำระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบของโมเลกุลที่มีขั้ว จัดเป็นแรงที่เกิดจากขั้วถาวรดึงดูดกันเองระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ

3) พันธะไฮโดรเจน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่มีไฮโดรเจนอะตอมสร้างพันธะกับอะตอมอื่นที่มีค่า EN สูง (F, O, N) พันธะไฮโดรเจนมีแรงมากกว่าแรงระหว่างขั้ว ส่งผลให้สารที่มีพันธะไฮโดรเจนมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูงกว่าปกติ ซึ่งมีบทบาทสำคัญกับขบวนการที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตไม่ว่าเป็นการจับกันระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและการจับเข้าคู่กับของ DNA และ RNA

2. แรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุล อะตอมของธาตุมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมในโมเลกุลเรียกว่า พันธะเคมี การที่จะทำให้โมเลกุลเหล่านี้สลายตัวออกเป็นอะตอมจึงต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่ง แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

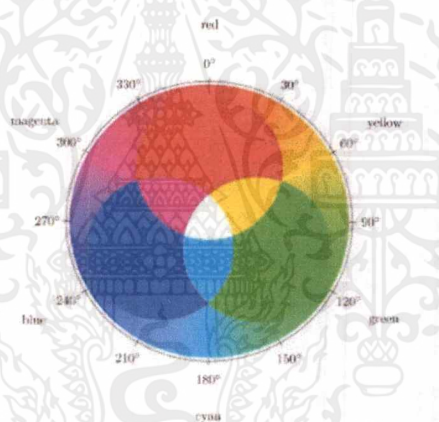
1) พันธะโลหะ (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับเวเลนซ์อิเล็กตรอน) แรงที่ยึดอะตอมโลหะไว้ด้วยกันในผลึก (ระหว่างอะตอมที่มีค่า EN ต่ำ) โดยวาเลนซ์อิเล็กตรอนของโลหะเคลื่อนที่ไปในที่ต่าง ๆ ได้อย่างอิสระและอิเล็กตรอนอิสระทำหน้าที่ดึงดูดนิวเคลียสของอะตอมต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยการเคลื่อนที่อิสระของอิเล็กตรอนทำให้โลหะสามารถนำประจุไฟฟ้าได้ดี เพราะอิเล็กตรอนที่ถูกเติมเข้ามาในโลหะสามารถไหลจากจุดหนึ่งไปยังจุดใด ๆ ได้อย่างอิสระ ดังนั้น หากมีแท่งเหล็กและมีการต่อไฟฟ้าเข้าที่จุดใดจุดหนึ่งของแท่งเหล็ก เมื่อคุณจับหรือสัมผัสส่วนใดของแท่งเหล็กก็จะช็อคได้

2) พันธะไอออนิก (แรงดึงดูดระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนบวกและไอออนลบ เป็นพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างธาตุที่มีค่า EN ต่างกัน เป็นผลจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า เช่นการจับคู่พันธะแบบไอออนิกนี้เกิดขึ้นระหว่างอะตอมของโลหะกับอะตอมของอโลหะ โดยอะตอมโลหะให้อิเล็กตรอนแก่อะตอมของอโลหะ

3) พันธะโคเวเลนต์ (แรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนที่แชร์กันกับนิวเคลียส) แรงยึดระหว่างธาตุที่มีค่า EN ใกล้เคียงกัน อะตอมที่เกิดพันธะจะใช้วาเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันในการเกิดพันธะทำให้เสถียรขึ้น สามารถแบ่งย่อยออกไปได้ 3 แบบ ตามจำนวนคู่ของอะตอมที่แบ่งปันกัน ได้แก่ 1 คู่ 2 คู่ และ 3 คู่ โดยทำให้ธาตุอโลหะไม่สามารถอยู่เป็นอะตอมเดี่ยวได้ แต่จำเป็นต้องจับตัวคู่กันเป็นอย่างน้อยเพื่อให้เป็นโมเลกุลที่เสถียร โดยยิ่งแบ่งคู่อิเล็กตรอนระหว่างกันมากเท่าไร ก็จะมีค่าน้อยลง แต่มีพลังงานของพันธะมากขึ้น

2.7 ระบบสี RGB [35,36]

ระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสง ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วปริซึมจะเกิดแถบสีที่เรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum) ซึ่งแยกสีตามที่สายตามองเห็นได้ 7 สี คือ แดง แสด เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม ม่วง ซึ่งเป็นพลังงานอยู่ในรูปของรังสี ที่มีช่วงคลื่นที่สายตาสามารถมองเห็นได้โดยแสงสีทั้งหมดเกิดจาก แสงสี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) ทั้งสามสีถือเป็นแม่สีของแสง เมื่อนำมาฉายรวมกันจะทำให้เกิดสีใหม่ ซึ่งจะแสดงผลออกมาในรูปแบบการรับแสงและแปลผลเป็นสีต่าง ๆ ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ภาพที่เมื่อแสดงผลบนหน้าจอแล้วมีความสวยงามและใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นปกติ เช่นเดียวกับดวงตาของคนเรา โดย RGB นั้นสามารถแสดงการเลือกสีต่าง ๆ ได้ตั้งแต่ 2 ถึง 16 ล้านสี โดยการเข้ารหัสสีของแต่ละแม่สี จะมีค่ารหัสแต่ละแม่สี ซึ่งต้องเป็นตัวเลขฐาน 16 ซึ่งมีตัวเลข 0 ถึง 9 และ A ถึง F โดยจะใช้ 2 ตัวต่อหนึ่งแม่สี รวม 3 สี เท่ากับ 6 ตัวอักษร อย่างเช่นสี A2589D คือ เป็นสีที่มีค่าสีแดงเท่ากับ A2, ค่าสีเขียวเท่ากับ 58 และค่าสีน้ำเงินเท่ากับ 9D โดยมีภาพแสดงตำแหน่งแต่ละแม่สีและการเกิดสีต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.34 และภาพแสดงรหัสสีของระบบ RGB ดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.34 แสดงตำแหน่งแต่ละแม่สีและการเกิดสีต่าง ๆ

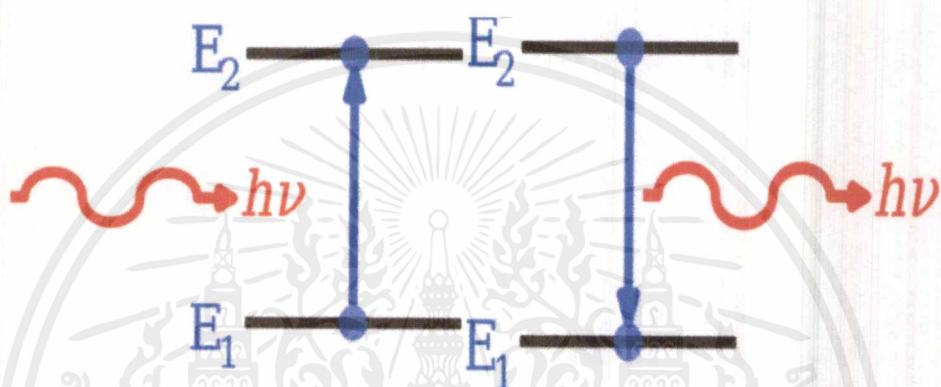
EEEEEE	DDDDDD	CCCCCC	BBBBBB	AAAAAA	999999
888888	777777	666666	555555	444444	333333
222222	111111	000000	FF0000	FF0000	DD0000
CC0000	BB0000	AA0000	990000	880000	770000
660000	550000	440000	330000	220000	110000
FFFFFF	FFFFCC	FFFF99	FFFF66	FFFF33	FFFF00
CCFFFF	CCFFCC	CCFF99	CCFF66	CCFF33	CCFF00
99FFFF	99FFCC	99FF99	99FF66	99FF33	99FF00
66FFFF	66FFCC	66FF99	66FF66	66FF33	66FF00
33FFFF	33FFCC	33FF99	33FF66	33FF33	33FF00
00FFFF	00FFCC	00FF99	00FF66	00FF33	00FF00
FFCCFF	FFCCCC	FFCC99	FFCC66	FFCC33	FFCC00
CCCCFF	CCCCCC	CCCC99	CCCC66	CCCC33	CCCC00
99CCFF	99CCCC	99CC99	99CC66	99CC33	99CC00
66CCFF	66CCCC	66CC99	66CC66	66CC33	66CC00

รูปที่ 2.35 แสดงรหัสสีของระบบ RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ระดับพลังงานของอะตอม

อะตอมสามารถดูดกลืนพลังงานจากแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและให้สเปกตรัมออกมา ค่าหนึ่งของการดูดกลืนพลังงานเข้าไป เมื่ออะตอมถูกกระตุ้นให้เกิดการดูดกลืนพลังงานเข้าไปจะทำให้อะตอมมีพลังงานภายในที่สูงขึ้น และเกิดการย้ายระดับพลังงานของอะตอมจากแถบพลังงานในสถานะพื้น (Ground state or E_1) ไปยังแถบพลังงานในสถานะกระตุ้น (Excited state or E_2) เมื่ออะตอมมีพลังงานที่สูงมากขึ้นจะทำให้อะตอมนั้นเกิดความไม่เสถียรจึงมีการปลดปล่อยพลังงานหรือคายพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสง ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 แสดงระดับพลังงานของอะตอม

จากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจะมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.8

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu \quad (2.8)$$

จาก $\nu = \frac{c}{\lambda}$ และ $\nu = c$

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.9)$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\Delta E \propto \frac{1}{\lambda}$$

เมื่อ ΔE	ความแตกต่างระดับพลังงาน
h	ค่าคงที่ของพลังค์ 6.626×10^{-34} J.s
ν	ความถี่ของแสง
c	ความเร็วของแสง 3.0×10^8 m/s
λ	ความยาวคลื่นแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลายนิ้วมือแฝงยังคงเป็นหนึ่งในหลักฐานทางกายภาพในการพิสูจน์ตัวตนตามหลักนิติวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปจะมีอยู่ 3 รูปแบบที่มักจะพบในที่เกิดเหตุและสามารถสังเกตได้ อาทิ รอยกดรอยที่ซอหน้าหรือลายนิ้วมือแฝง โดยลายนิ้วมือแฝงไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าและจำเป็นต้องหาวิธีการในการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างภาพลายนิ้วมือแฝง

ในปี ค.ศ. 1900 เทคนิคการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝงแบบดั้งเดิมหรือเทคนิคการใช้ผงฝุ่นสำหรับปิดลายนิ้วมือเป็นการหาภาพลายนิ้วมือแฝงโดยการโรยผง กล่าวคือเมื่อเทผงฝุ่นสำหรับปิดลายนิ้วมือลงบนพื้นผิวที่ต้องการตรวจสอบ ผงจะยึดติดกับน้ำมัน เหงื่อหรือวัสดุอื่น ๆ ที่แฝงอยู่ในพื้นผิวที่มีการสัมผัสจากนิ้วมือจึงเกิดเป็นรอยนิ้วมือขึ้น เทคนิคแบบนี้เป็นเทคนิคที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยช่วงนี้มีการใช้สูตรผงลายนิ้วมือหลากหลายสูตรและแต่ละสูตรประกอบด้วยสีสำหรับแยกความแตกต่างและวัสดุที่เป็นยางสำหรับการยึดติดที่ดีของผง ยังคงมีอีกหลายร้อยสูตรที่พัฒนาผงลายนิ้วมือแฝงที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปผงที่ใช้ในการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือมี 4 ประเภทที่มีความนิยมใช้ได้แก่ ผงปกติ, ผงเรืองแสง, ผงโลหะ และผงเทอร์โม ในอดีตที่ผ่านมามีการใช้ผงฝุ่น การใช้ Ninhydrin การใช้ไอโอดีนและการแช่ Silver nitrate ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้สำหรับการพัฒนาภาพที่ซอหน้าเป็นอย่างมาก

เทคนิคดั้งเดิมเหล่านี้มีประสิทธิภาพเป็นอย่างมากสำหรับพื้นผิวหลายประเภท อย่างไรก็ตามวิธีเหล่านี้ก็ไม่ได้มีประสิทธิภาพเสมอไปบางสารเคมีถูกใช้ในผงลายนิ้วมือ ซึ่งอาจเป็นพิษและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพเพื่อที่จะกำจัดข้อเสียเหล่านี้ จึงมีการพยายามคิดค้นใช้สูตรผงใหม่ ๆ สำหรับการพัฒนาภาพลายนิ้วมือที่ซอหน้าที่สามารถหาง่าย ไม่เป็นพิษและมีคุณสมบัติเป็นยาได้อีกด้วย และนักวิทยาศาสตร์ก็ยังพยายามจะปรับปรุงกระบวนการที่มีอยู่สำหรับสร้างภาพลายนิ้วมือแฝงหรือภาพที่ซอหน้า

ในปี ค.ศ. 2002 A. M. Dyer และคณะ ได้ศึกษาเรื่อง การส่งผ่านอินซูลินทางจมูกโดยใช้โคโดซานสูตรใหม่: การศึกษาเปรียบเทียบสัตว์สองตัวระหว่างสูตรพื้นฐานของโคโดซานกับอนุภาคนาโนของโคโดซาน พบว่าอนุภาคนาโนของโคโดซานไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับของโคโดซานในสารละลายหรือผงแป้งและผงโคโดซานเป็นสูตรที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการส่งผ่านอินซูลินทางจมูกของแกะ [37]

ในปี ค.ศ. 2007 N. Ul. Islam และคณะ ได้ทำการศึกษาเรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพลายนิ้วมือนิติวิทยาศาสตร์โดยใช้ Bioithesive chitosan และอนุภาคนาโนทองคำ พบว่าเทคนิคใหม่สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้นิ้วมือที่แฝงด้วย Lipophilic natural polymer ซึ่ง ได้แก่ โคโดซานที่ช่วยยึดอนุภาคนาโนทองคำไว้กับรอยนิ้วมือแฝงเพื่อเพิ่มความคมชัดของแสง การศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนทองคำกับการตกค้างของไขมันที่ผ่านการเตรียมด้วย Lipophilic chitosan เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดและมีความแตกต่างอย่างยอดเยี่ยมสำหรับโคโดซาน 1% โดยใช้เวลาในการรักษานาน 30 นาทีและพัฒนาสารละลายทองคำคอลลอยด์ที่ต่อเนื่องเพื่อพัฒนา ระยะเวลา 6 ถึง 7 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างที่ได้รับชัดเจนแตกต่างกันเขาและวิธีการนี้มีโอกาสที่ดีที่จะใช้สำหรับการพิสูจน์ตัวตนทางนิติวิทยาศาสตร์ กำลังทำงานในห้องทดลองเพื่อยืนยันกลไกของการเพิ่มประสิทธิภาพและการเพิ่มประสิทธิภาพต่อไปเพื่อลดระยะเวลาในการรักษาเพื่อให้ได้ความคมชัดที่สุด [38]

ในปี ค.ศ. 2007 M. Trapecar และคณะ ได้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบหาภาพลายนิ้วมือแฝงด้วยน้ำยา และผง Dactyloscopic นั้นสามารถใช้ในการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝงบนผิวหนังของมนุษย์ได้หรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ผง 4 ชนิด ในการทดลองได้แก่ Magnetic jet black, Magnetic silver, Silver special, Swedish black โดยมีการใช้กับ 2 กระบวนการคือ Cyanoacrylate fuming (CA) และ Ruthenium tetroxide (RTX) ซึ่งมีการตรวจสอบบนพื้นผิวโดยใช้แสงทางนิติเวช โดยสังเกตว่าผลของลายนิ้วมือยังคงปรากฏขึ้นหลังจากเวลาผ่านไป 15 นาที หลังจากที่ทำกรตรวจสอบกับสิ่งมีชีวิต และสิ่งไม่มีชีวิต โดยการทดลองพบว่าการใช้ผง Magnetic black และ Swedish black ในการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝงชัดเจนที่สุดกับพื้นผิวของสิ่งมีชีวิต สำหรับสิ่งไม่มีชีวิต เมื่อใช้วิธีการ Cyanoacrylate fuming (CA) ในการตรวจสอบจะชัดเจนที่สุด ส่วนวิธีการ Ruthenium tetroxide (RTX) ในการใช้ผง Swedish black และ Magnetic jet black นั้นให้ผลดีที่สุดกับสิ่งไม่มีชีวิตเช่นกัน [39]

ในปี ค.ศ. 2011 R. K. Garg และคณะ ได้ศึกษาการพัฒนาการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวของวัสดุต่าง ๆ ในการปิดฝุ่นผงด้วยวิธีการใหม่ ๆ โดยใช้สีผสมอาหารหรือสีที่ใช้ในเทศกาลสาดสี โดยสำหรับงานวิจัยนี้การใช้สีผสมอาหารมาประยุกต์ใช้นั้น การพัฒนาภาพลายนิ้วมือแฝงจากการใช้ผงขมิ้นบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน 9 การตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝงที่มีอยู่บนพื้นผิวโดยใช้ผงขมิ้นประสบความสำเร็จ การประเมินการเปรียบเทียบความแตกต่างของพื้นผิวผงชนิดนี้ แสดงให้เห็นว่ามันให้ผลที่ดีกว่าบนพื้นผิวที่คมชัดกับที่อื่น ๆ ที่ตรวจสอบ การพัฒนาภาพลายนิ้วมือแฝงที่แสดงบนพื้นผิว เช่น กระดาษธรรมดา, กระดาษพันธบัตร, กระดาษความร้อน, แผ่นใส, อลูมิเนียมฟอยล์, พื้นผิวไม้, แผ่นพลาสติก, เหล็กทาสี และผิวหนังของแผ่นซีดีที่เขียนที่สำหรับเขียนแผ่น สามารถประสบความสำเร็จและเห็นลายนิ้วมือได้ชัดเจน เหตุผลสำหรับที่ขมิ้นสามารถยึดติดจุดแฝงสามารถถูกกำหนดได้โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างกรดไขมัน/กรีเซอร์ลินของไขมัน กลุ่มคาร์บอนิลและกลุ่มไฮดรอกซิลในสารประกอบขมิ้นชั้นของผงขมิ้น ภาพแฝงสามารถพัฒนาจากผงขมิ้นบนด้านของผิวแผ่นคอมแพ็คและสามารถใช้สำหรับการระบุตัวตนในกรณีของการโจรกรรมได้อีกด้วย และไม่ได้ทำลายข้อมูลที่มีอยู่ในนั้นและสามารถที่จะใช้ต่อไปได้อีก [40,41]

ในปี ค.ศ. 2013 A. M. Issa และคณะ ได้ทำการศึกษาเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพลายนิ้วมือแบบแฝงโดยใช้ไตรกลีเซอไรด์โคโคซาน ซึ่งการใช้ Tpp-chitosan ในการเพิ่มความชัดเจนของลายนิ้วมือแบบแฝงส่งผลดีให้เห็นอย่างชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญจากอัตราส่วน Tpp-Chitosan ที่เหมาะสม Tpp : โคโคซานที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา, ความเข้มข้น, มวลโมเลกุลและระดับการรวมตัว, ประจุและระดับ Deacetylation (DD) ของโคโคซานจะมีความสำคัญนอกจากนี้อาจเป็นไปได้ที่จะสร้างอนุภาคขนาดไมโครได้โดยตรงจากลายนิ้วมือในกระบวนการ 2 ขั้นตอน อย่างไรก็ตามถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเทคนิคใหม่ที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นวิธีการใหม่สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบลายนิ้วมือ [42]

ในปี ค.ศ. 2014 R. K. Garg และคณะ ได้ศึกษาเกี่ยวกับภาพลายนิ้วมือแฝง มีการทดลองใช้สารเคมีผงต่าง ๆ เพื่อให้เห็นภาพลายนิ้วมือแฝง โดยการศึกษาครั้งนี้มีสองส่วน ส่วนที่หนึ่ง พัฒนาลายนิ้วมือแฝงจากพื้นผิววัสดุ 20 ชนิด โดยใช้ปูนซีเมนต์ขาวด้วยการปิดฝุ่นผง ส่วนที่สอง ศึกษาเงื่อนไขอายุการใช้งานของปูนซีเมนต์ขาวและผงขาวธรรมดา เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกัน โดยผลปรากฏว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ขาวภาพพิมพ์มีความชัดเจนมากขึ้น ซึ่งการทดลองในส่วนนี้มีการเลือกใช้พื้นผิวของวัสดุ 4 แบบ ได้แก่ กระดาษคาร์บอนสีน้ำเงิน แผ่นพลาสติก กระดาษสี และไม่อัดรวม 4 ชุดการทดลอง เพื่อเตรียมการศึกษาภาพลายนิ้วมือแฝงเป็นเวลา 40 วัน โดยใช้เวลา 10 วัน ในการเตรียมและปรับปรุงภาพลายนิ้วมือให้มีความชัดเจนมากที่สุดในแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งในการทดลองจะใช้กับบุคคลที่มีเหงื่อออกมาก ๆ เพื่อให้ได้ภาพพิมพ์ที่ชัดเจนที่สุด และยังมีการใช้กับบุคคลที่เหงื่อออกน้อยโดยในกรณีนี้จะต้องใช้กับรอยลายนิ้วมือที่ยังใหม่อยู่เท่านั้น จากการทดลองพบว่าผงปูนซีเมนต์ให้ผลที่ชัดเจนมาก ซึ่งสามารถเห็นสันเขาและร่องลึกของภาพลายนิ้วมือได้อย่างชัดเจนในพื้นที่ผิวของวัสดุทั้ง 14 ชนิด จาก 20 ชนิด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ปูนซีเมนต์ขาวสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบหารอยแฝงได้ในการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ และนอกจากนี้ยังพบว่าของปูนซีเมนต์ขาวใช้ได้ดีที่ติดกับพื้นผิวที่เป็นกระดาษคาร์บอน โดยแม้เวลาจะผ่านไป 40 วัน ยังคงเห็นร่องรอยลายนิ้วมือได้อย่างชัดเจนซึ่งผงขาวธรรมดาไม่สามารถกระทำได้ [43]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการทำงานของวัสดุอุปกรณ์และสารเคมี การจัดระบบการทดลองที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยรวมถึงกระบวนการในการเตรียมลายนิ้วมือสำหรับการทดลองและการเตรียมสารละลายสีย้อมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม โดยมีเนื้อหาหลักดังนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.2 การเตรียมลายนิ้วมือ

3.3 การเตรียมโรดามีน 6จี (R6G) และ โรดามีน 6จีกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม (R6G + Au@Pd) ในรูปของสารละลาย

3.4 การนำตัวอย่างแช่สารละลาย

3.5 การทดลองและระบบการทดลองที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

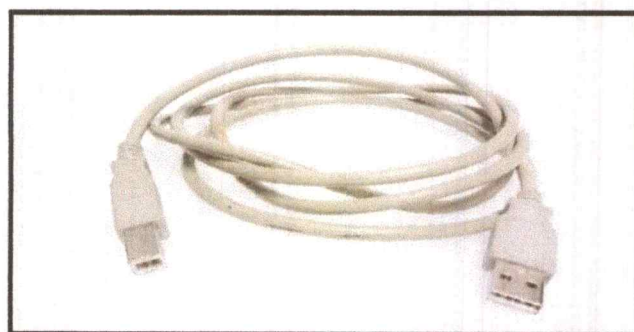
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ ยี่ห้อ Avantes (Spectrometer AvaSpec-EDU) ทำหน้าที่วัดปริมาณแสงและความเข้มแสง ในช่วงความยาวคลื่นที่กำหนดคือ 200-1100 นาโนเมตร แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ AvaSpec-EDU ยี่ห้อ Avantes

2. สาย USB ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer AvaSpec-EDU) ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สายเชื่อมต่อ USB

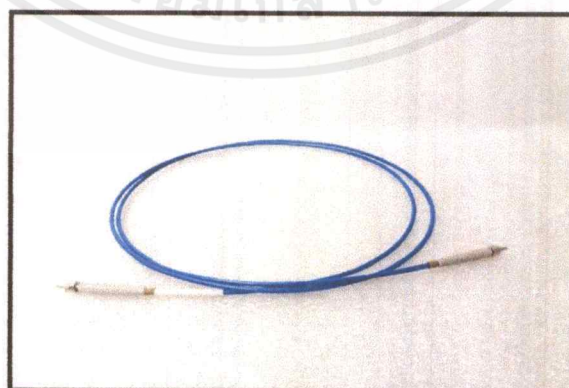
3. สายเส้นใยแก้วนำแสง สายไฟเบอร์ออปติกทำหน้าที่นำแสงซึ่งแบ่งเป็น 2 ขนาด

3.1 เส้นใยแก้วนำแสงขนาด 0.8 มิลลิเมตร นำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เส้นใยแก้วนำแสงขนาด 0.8 มิลลิเมตร

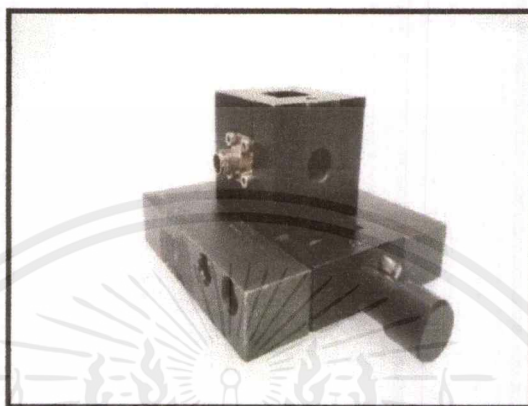
3.2 เส้นใยแก้วนำแสง ขนาด 600 ไมโครเมตร ทำหน้าที่นำแสงไปยังเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer AvaSpec-EDU) โดยแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เส้นใยแก้วนำแสงขนาด 600 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุปกรณ์จับยึดคิวเวท (Cuvette holder) ทำหน้าจับยึดคิวเวทเพื่อใช้ในการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของสารละลาย โดยด้านหนึ่งจะถูกต่อเข้ากับสายไฟเบอร์ออปติกขนาด 600 ไมโครเมตร ที่เชื่อมต่อกับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ และอีกด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับสายไฟเบอร์ออปติกขนาด 0.8 มิลลิเมตร ที่ต่ออยู่กับแหล่งกำเนิดแสง โดยแสดงดังรูปที่ 3.5



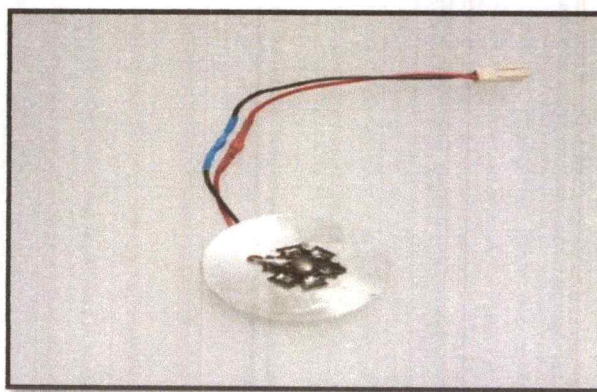
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ยึดจับคิวเวท

5. อุปกรณ์เชื่อมต่อไดโอดเปล่งแสง ทำหน้าที่เชื่อมต่อไดโอดเปล่งแสง โดยด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับสายไฟเบอร์ออปติกเพื่อนำแสงจากไดโอดเปล่งแสงไปทำการวัดระบบวัดการเรืองแสง ดังรูปที่ 3.6

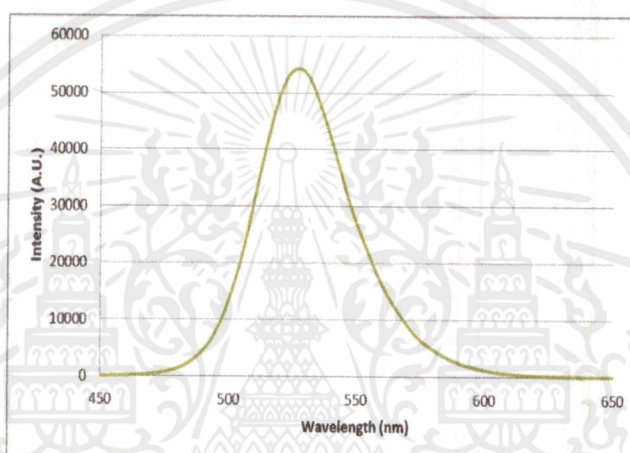


รูปที่ 3.6 อุปกรณ์เชื่อมต่อไดโอดเปล่งแสง

6. ไดโอดเปล่งแสง (Light emitting diode: LED) ไดโอดเปล่งแสงสีเขียวทำหน้าที่กระตุ้นสารละลายโรดามีน 6จี ให้เกิดการเรืองแสงโดยจะถูกต่อเข้ากับอุปกรณ์เชื่อมต่อ LED โดยแสดงดังรูปที่ 3.7 มีสเปกตรัมของการเรืองแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ไดโอดเปล่งแสง (LED) สีเขียว ความยาวคลื่น 530 nm



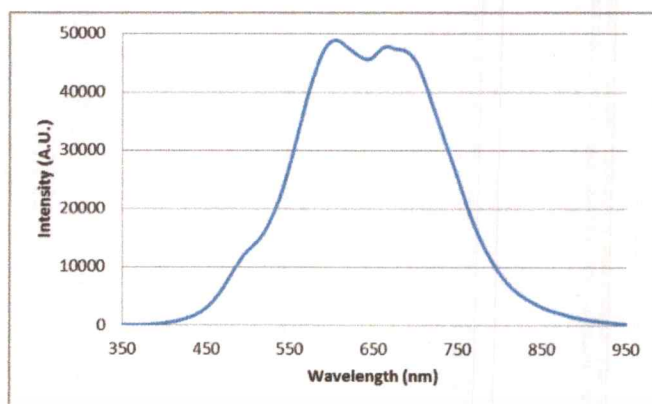
รูปที่ 3.8 สเปกตรัมการเรืองแสงของไดโอดเปล่งแสง (LED) สีเขียว

7. แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทั้งสแตนยี่ห้อ SCHOTT ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงซึ่งก่อนใช้งานต้องทำการเปิดเครื่องเพื่อให้เครื่องทำงานก่อนประมาณ 15 นาที ทำให้หลอดไฟทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรูปตัวอย่างเครื่องแสดงดังรูปที่ 3.9 มีสเปกตรัมช่วงการเรืองแสงของแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทั้งสแตนดังรูปที่ 3.10



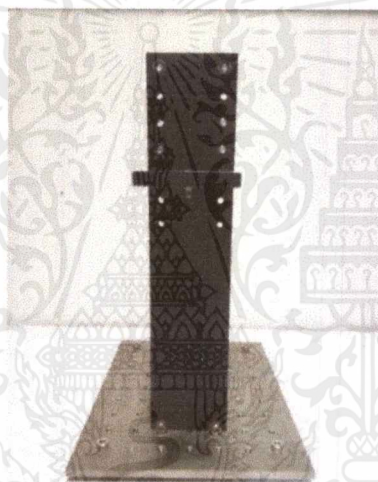
รูปที่ 3.9 แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทั้งสแตน ยี่ห้อ SCHOTT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



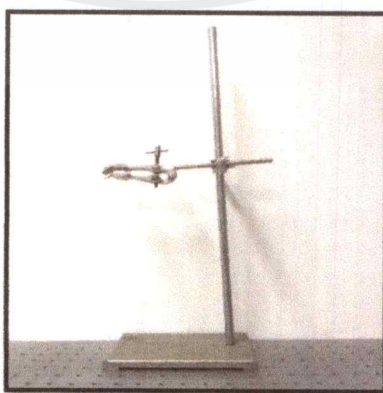
รูปที่ 3.10 สเปกตรัมช่วงการเรืองแสงของแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟทั้งสแตน

8. แทนวางแผ่นกระจกสไลด์สำหรับวัด ทำหน้าที่วางแผ่นกระจกสไลด์ โดยแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แทนวางแผ่นกระจกสไลด์สำหรับวัด

9. อุปกรณ์จับยึดคอนเดนเซอร์ (Condenser clamp) ใช้ร่วมกับขาตั้งเพื่อจับยึด LED โดยแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 อุปกรณ์จับยึดคอนเดนเซอร์ (Condenser clamp)

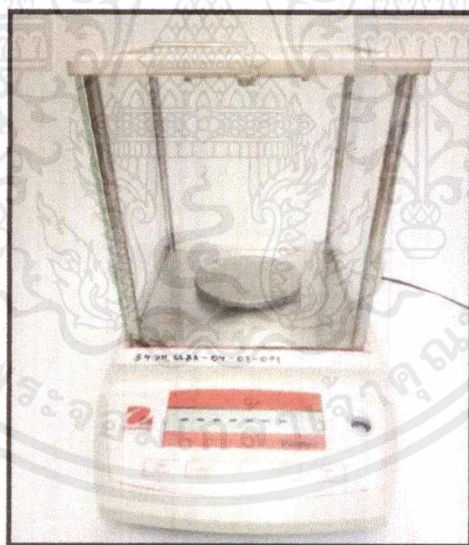
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ช้อนตักสาร (Spatula) ใช้สำหรับตักสารโรดามีน 6จี ในรูปของของแข็ง(ผง) เพื่อนำไปชั่งในเครื่องชั่งสาร โดยแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ช้อนตักสาร (Spatula)

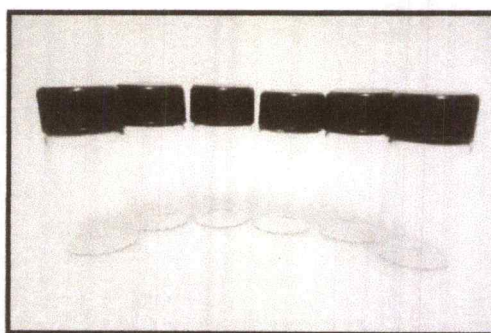
11. เครื่องชั่งสาร (Balance) ใช้ในการชั่งสารให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการ โดยแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 เครื่องชั่งสาร (Balance)

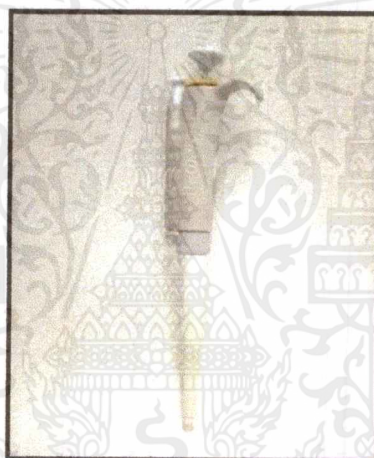
12. ขวดแก้ว เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบรรจุสารละลายขนาด 10 มิลลิลิตร โดยมีฝาปิดเพื่อป้องกันการระเหยของสารละลายออกจากขวด โดยแสดงดังรูปที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

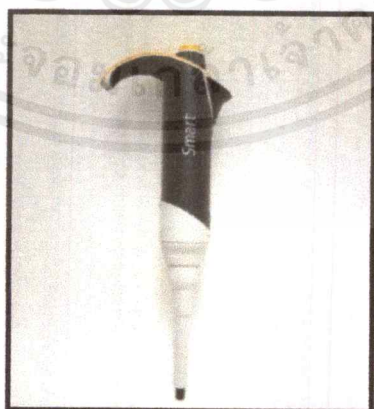


รูปที่ 3.15 ขวดแก้วขนาด 10 มิลลิลิตร

13. ไมโครปิเปตต์ (Micropipette) ทำหน้าที่วัดปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีความแม่นยำสูงโดยมีความจุ 2 ขนาด แสดงดังรูปที่ 3.16



(ก)



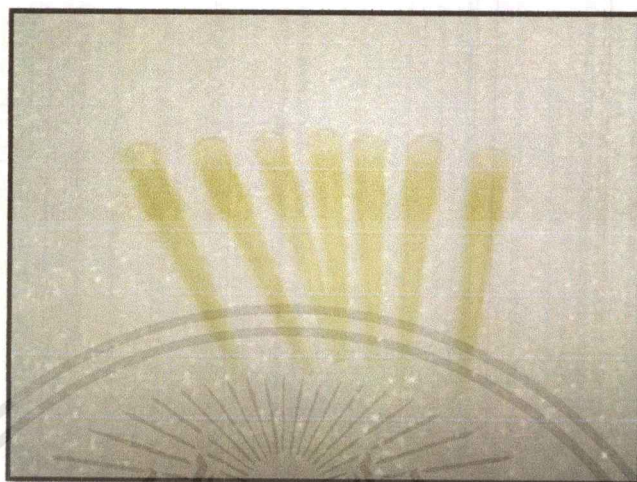
(ข)

รูปที่ 3.16 (ก) ไมโครปิเปตต์ขนาดความจุ 1 มิลลิลิตร

(ข) ไมโครปิเปตต์ขนาดความจุ 100 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ไมโครปิเปตต์ทิว (Micropipette tip) ใช้ร่วมกับไมโครปิเปตต์เพื่อทำให้สามารถดูดสารละลายได้สะดวกมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับไมโครปิเปตต์ที่เลือกใช้ โดยแสดงดังรูปที่ 3.17



(ก)

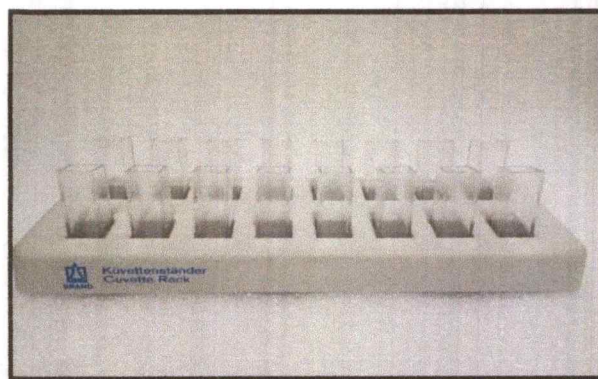


(ข)

รูปที่ 3.17 (ก) ไมโครปิเปตต์ทิวสำหรับ 1 มิลลิลิตร

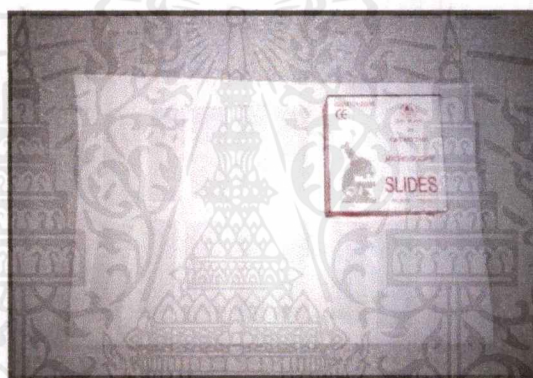
(ข) ไมโครปิเปตต์ทิวสำหรับ 100 ไมโครลิตร

15. คิวเวท (Cuvette) คิวเวทพลาสติก มีขนาดกว้าง 1.0 เซนติเมตร ยาว 1.0 เซนติเมตร สูง 4.0 เซนติเมตร เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บรรจุสารละลายเพื่อทำการทดลอง โดยแสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 คิวเวท (Cuvette)

16. กระจกสไลด์ กระจกสไลด์ยี่ห้อ Sail brand ขนาดกว้าง 25.4 มิลลิเมตร ยาว 76.2 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร ทำหน้าที่สำหรับวางตัวอย่างเพื่อใช้ในการถ่ายรูป โดยแสดงดังรูปที่ 3.19



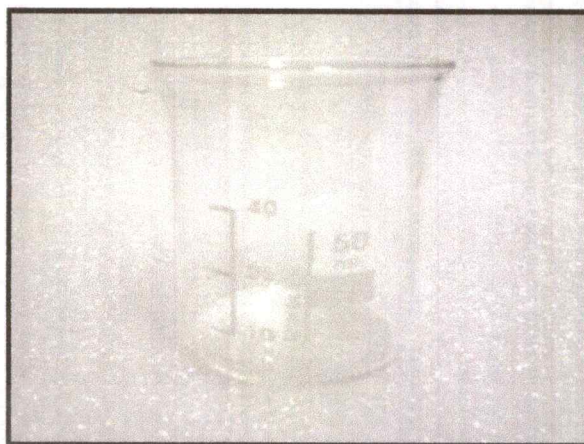
รูปที่ 3.19 กระจกสไลด์

17. ปีกเกอร์ (Beaker) อุปกรณ์สำหรับบรรจุสารละลาย มีขนาด 50 มิลลิลิตร และ 250 มิลลิลิตร โดยแสดงดังรูปที่ 3.20



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.20 (ก) บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

(ข) บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

18. เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaner) เครื่องอัลตราโซนิก ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์การทดลองด้วยคลื่นความถี่ โดยแสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaner)

19. กระดาษเช็ดเลนส์ (Delicate task wipers) ยี่ห้อ KIMTECH SCIENCE KIMWIPES delicate task wipers ใช้ทำความสะอาดกระจกสไลด์ โดยแสดงดังรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



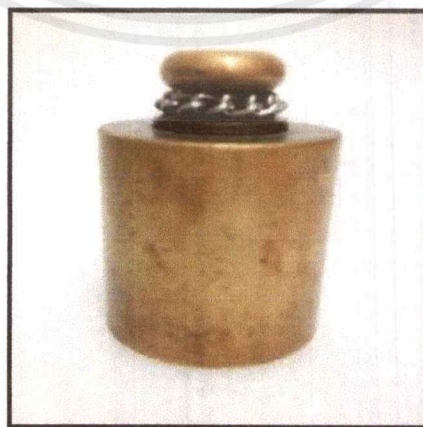
รูปที่ 3.22 กระดาษเช็ดเลนส์ (Delicate task wipers)

20. เทปกาว ยี่ห้อ 3M มีขนาดความกว้าง 18 มิลลิเมตร ทำหน้าที่สำหรับคัดลอกกลายนิ้วมือ โดยแสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 เทปกาว ยี่ห้อ 3M

21. ลูกตุ้มมวล 1 กิโลกรัม สำหรับกำหนดแรงที่กระทำตามแรงโน้มถ่วงโลกแสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ลูกตุ้มมวล 1 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

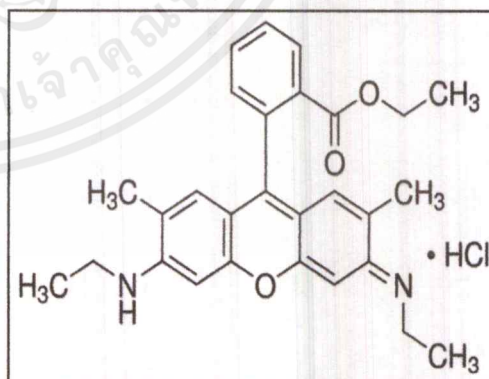
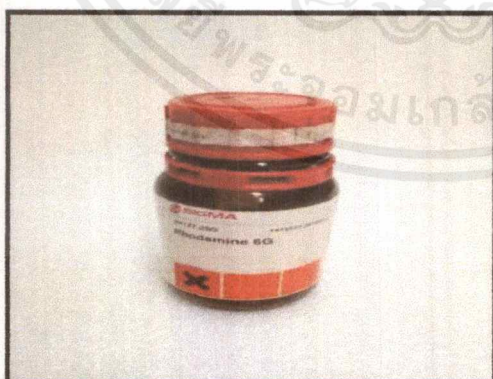
22. กล้องจุลทรรศน์และกล้องดิจิทัลแคนนอน ทำหน้าที่ส่องหาความชัดเจนของภาพลายนิ้วมือ และกล้องถ่ายภาพ Canon DS126491 ทำหน้าที่บันทึกภาพลายนิ้วมือ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยแสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Nikon ECLIPSE E200 ต่อกับกล้องถ่ายภาพ Canon DS126491

3.1.2 สารเคมีที่ใช้

1. โรดามีน 6จี (R6G) โดยแสดงดังรูปที่ 3.26 เป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษา มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล มีคุณสมบัติดูดาวางที่ 3.1 ซึ่งเป็นสารเรืองแสงได้ซื้อมาจาก บริษัท Sigma aldrich



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.26 (ก) โรดามีน 6จี

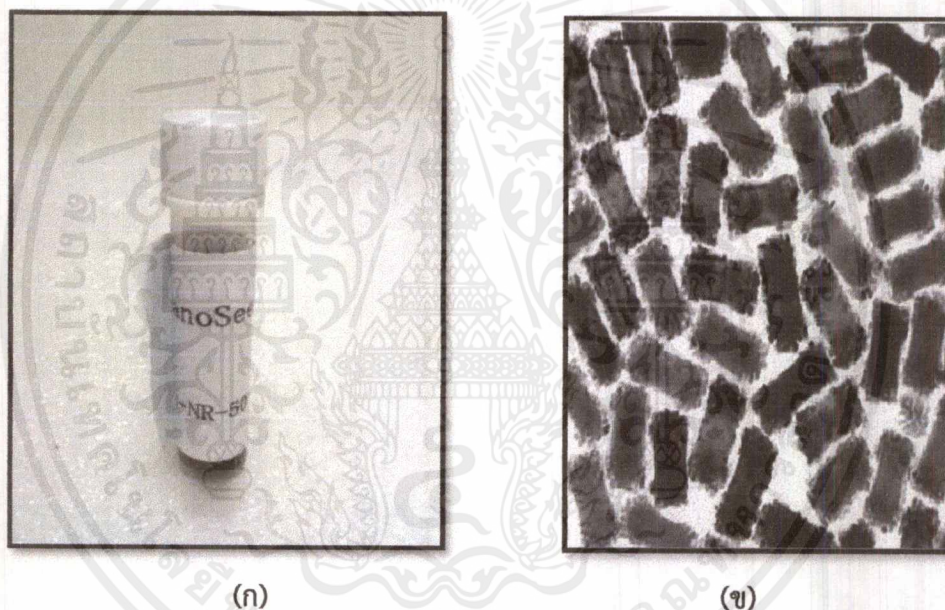
(ข) โครงสร้างทางเคมีของโรดามีน 6จี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของโรดามีน 6จี

สูตรโครงสร้างทางเคมี	$C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$
ความหนาแน่น	1.26 g/cm^3
มวลโมเลกุล	479.02 g/mol
การละลายน้ำ	$20 \text{ g/l (25}^\circ\text{C)}$
ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด	525 nm
ความยาวคลื่นที่เกิดการเปล่งแสงน้อยสุด	555 nm

2. อนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม (Palladium coated Gold nanorods : Au@Pd) เป็นสารตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษา โดยแสดงดังรูปที่ 3.27 และมีคุณสมบัติตามตารางที่ 3.2



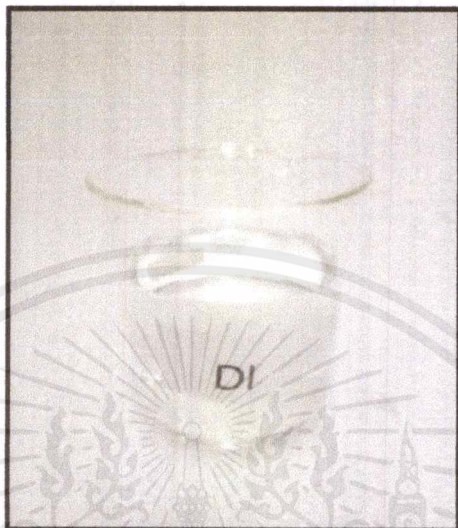
รูปที่ 3.27 (ก) อนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม
(ข) ภาพถ่ายของอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม

ขนาดของอนุภาค	$96 \pm 6 \text{ nm}$
เส้นผ่าศูนย์กลาง	$40 \pm 3 \text{ nm}$
น้ำหนักมวลโมเลกุล	196.97 g/mol
การดูดกลืนสูงสุด	520 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. น้ำปอดประจุหรือน้ำ DI (Deionized water) คือ น้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนต่าง ๆ ออกไปทำให้ได้น้ำบริสุทธิ์ที่ปราศจากเกลือแร่ไม่มีสารใด ๆ หลงเหลืออยู่ในน้ำอีกใช้เป็นตัวทำละลายให้กับสารโรตามีน 6จี โดยแสดงดังรูปที่ 3.28

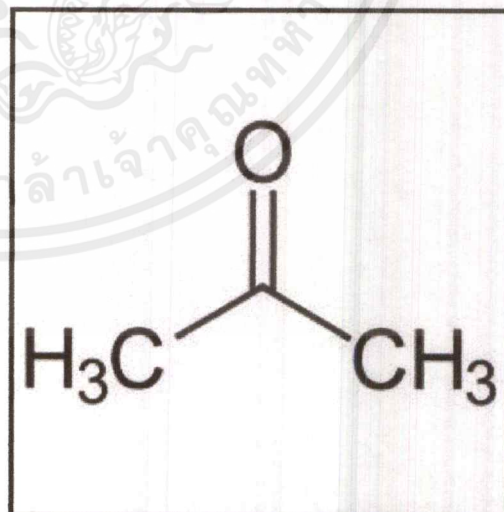


รูปที่ 3.28 น้ำ DI (Deionized water)

4. อะซิโตน (Acetone) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดอุปกรณ์การทดลองทางวิทยาศาสตร์จำพวกเครื่องแก้ว เช่น กระจกสไลด์ ขวดแก้ว เป็นต้น โดยรูปตัวอย่างและโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3.29 และแสดงคุณสมบัติดังตารางที่ 3.3



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.29 (ก) อะซิโตน

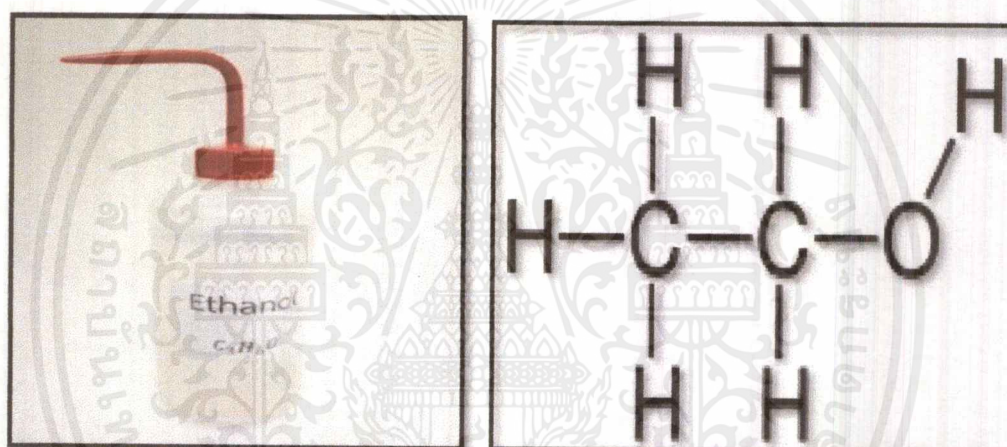
(ข) โครงสร้างทางเคมีของอะซิโตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของอะซิโตน

สูตรโครงสร้างทางเคมี	C_3H_6O
จุดหลอมเหลว	$-94.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 178 K, $-139\text{ }^{\circ}\text{F}$
ความหนาแน่น	0.79 g/cm^3
มวลโมเลกุล	58.08 g mol^{-1}
จุดเดือด	$56.53\text{ }^{\circ}\text{C}$, 330 K, $134\text{ }^{\circ}\text{F}$

5. เอทานอล เป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดอุปกรณ์การทดลองทางวิทยาศาสตร์จำพวกเครื่องแก้ว เช่น กระจกสไลด์ ขวดแก้ว เป็นต้น โดยรูปตัวอย่างและโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3.30 และแสดงคุณสมบัติดังตารางที่ 3.4



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.30 (ก) เอทานอล

(ข) โครงสร้างทางเคมีของเอทานอล

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของเอทานอล

สูตรโครงสร้างทางเคมี	C_2H_5OH
มวลโมเลกุล	46.07 g mol^{-1}
ความหนาแน่น	0.79 g/cm^3
จุดหลอมเหลว	$-114.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 159 K, $-173.4\text{ }^{\circ}\text{F}$
จุดเดือด	$78.37\text{ }^{\circ}\text{C}$, 353 K, $171\text{ }^{\circ}\text{F}$

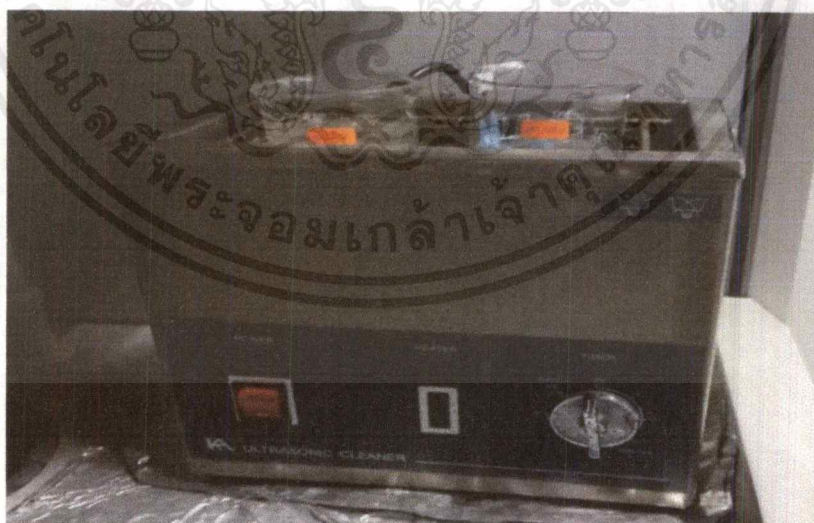
6. น้ำยาล้างจาน ยี่ห้อ TEEPOL PURE ใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ทดลอง โดยแสดงดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 น้ำยาล้างจานยี่ห้อ TEEPOL PURE

3.2 การเตรียมน้ำมือ

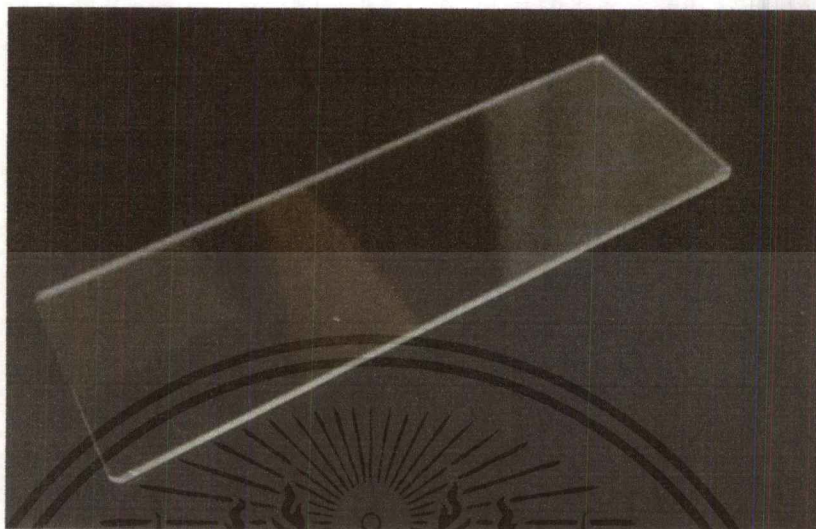
1. เตรียมแผ่นสไลด์สำหรับวางตัวอย่างลายนิ้วมือ นำแผ่นสไลด์ไปล้างน้ำยาล้างจานให้สะอาด จากนั้นแช่อะซิโตนและเอทานอล โดยวางบนเครื่องเครื่องอัลตราโซนิกดังรูปที่ 3.32 เป็นเวลาอย่างละ 10 นาที ตามลำดับ



รูปที่ 3.32 การแช่แผ่นสไลด์ในเครื่องอัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตากแผ่นสไลด์ให้แห้ง และนำมาเซ็ดโดยใช้กระดาษสำหรับเช็ดกระจกให้สะอาดเพื่อเตรียมใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 แผ่นสไลด์ที่พร้อมนำไปใช้งาน

3. เตรียมเทปกาวยี่ห้อ 3M ขนาดความกว้าง 1.8 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ตัดเทปกาวและพับให้มีส่วนจับได้โดยดังรูปที่ 3.34 โดยระวังเทปกาวมีฟองอากาศอาจทำให้พิมพ์ภาพลายนิ้วมือผิดเพี้ยนได้



รูปที่ 3.34 เทปกาวที่เตรียมพิมพ์ลายนิ้วมือแฝง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำนิ้วมืออุบริเวณใบหน้าที่มีความมัน จากนั้นนำนิ้วมือวางบนเทปกาวที่เราเตรียมไว้โดยไม่ต้องออกแรงใด ๆ พร้อมกับนำลูกตุ้มที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม วางทับนิ้วมือโดยลูกตุ้มจะออกแรงกระทำต่อนิ้วมือด้วยแรงประมาณ 10 นิวตัน ซึ่งให้น้ำหนักเป็นไปตามกฎของแรงโน้มถ่วงโลก ที่ังไว้เป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นนำนิ้วมือออกจะได้เทปกาวที่ถูกพิมพ์ลายนิ้วมือแล้ว ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 แสดงเทปกาวที่ถูกพิมพ์ลายนิ้วมือแล้ว

5. แบ่งเทปกาวที่พิมพ์ลายนิ้วมือแล้วออกเป็น 2 ส่วน เพื่อนำไปทำการทดลองแ่สารละลายในขั้นตอนต่อไป ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 แสดงการแบ่งเทปกาวที่ถูกพิมพ์ลายนิ้วมือแล้วเป็น 2 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียม R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. โรตามีน 6จี
2. อนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม ซึ่งมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ± 3 นาโนเมตร ความยาว 96 ± 6 นาโนเมตร
3. อะซิโตน
4. เอทานอล
5. คิวเวทพลาสติก ขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร
6. ขวดแก้วและฝาปิดขนาด 10 มิลลิลิตร
7. เครื่องตวงชั่งสาร
8. ซ้อนตักสาร และปิเปตต์
9. น้ำปลอดประจุ (DI)

3.3.2 ขั้นตอนในการเตรียมสารละลาย

1. การเตรียมโรตามีน 6จี ในรูปของสารละลาย
 - 1.1 เตรียมสารละลายโรตามีน 6จี ที่มีความเข้มข้น 6×10^{-6} M เป็นสารตั้งต้น โดยใช้น้ำปลอดประจุเป็นตัวทำละลาย
 - 1.2 อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม ที่จัดซื้อซึ่งมีความเข้มข้น 0.4698×10^{-3} M
 - 1.3 เตรียมสารละลายโรตามีน 6จี และสารละลายโรตามีน 6จี ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การเตรียมสารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ปริมาตร (ml)			อัตราส่วน ปริมาตร ระหว่าง R6G และ Au@Pd	ความเข้มข้น (M)		อัตราส่วน ความเข้มข้น ระหว่าง R6G และ Au@Pd
	R6G	Au@Pd	DI		R6G (10^{-6})	Au@Pd (10^{-4})	
R6G	0.25	-	0.75	-	1.5	-	1
A	0.25	0.01	0.74	1:0.04	1.5	0.0470	1:3
B	0.25	0.02	0.73	1:0.08	1.5	0.0940	1:6
C	0.25	0.03	0.72	1:0.12	1.5	0.1409	1:9
D	0.25	0.04	0.71	1:0.16	1.5	0.1879	1:13

ตารางที่ 3.5 การเตรียมสารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ปริมาตร (ml)			อัตราส่วน ปริมาตร ระหว่าง R6G และ Au@Pd	ความเข้มข้น (M)		อัตราส่วน ความเข้มข้น ระหว่าง R6G และ Au@Pd
	R6G	Au@Pd	DI		R6G (10^{-6})	Au@Pd (10^{-4})	
E	0.25	0.05	0.70	1:0.20	1.5	0.2349	1:16
F	0.25	0.15	0.60	1:0.60	1.5	0.7047	1:47
G	0.25	0.25	0.50	1:1.00	1.5	1.1745	1:78
H	0.25	0.35	0.40	1:1.00	1.5	1.6443	1:110

3.4 การนำตัวอย่างแอสสารละลาย

3.4.1 เตรียมตัวอย่างลายนิ้วมือจากหัวข้อ 3.2 และเตรียมสารละลายจากหัวข้อ 3.3

3.4.2 หยดสารละลายปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงบนตัวอย่างลายนิ้วมือ ดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 การหยดสารและการแอสสารละลายของตัวอย่างลงบนลายนิ้วมือ

3.5 การทดลองและระบบการทดลองที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.5.1 การศึกษาระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแอสสาร R6G และความแตกต่างในการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI

วิธีการทดลองตามหัวข้อ 3.4 การศึกษาเพื่อหาระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแอสสารละลายโรดามีน 6จี และการศึกษาความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI หลังจากการแอสสารละลายโรดามีน 6จี ตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การศึกษาระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สารละลาย R6G และความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI

สารละลายสีย้อม R6G ที่มีความเข้มข้น 1.5×10^{-6}		
ระยะเวลา (minute)	ล้างน้ำ DI	ไม่ล้างน้ำ DI
15	✓	✓
30	✓	✓
60	✓	✓

3.5.2 การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปแบบต่าง ๆ

การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ผู้วิจัยจะแบ่งการทดลองเป็น 3 รูปแบบได้แก่ การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย การศึกษาสมบัติทางแสงของลายนิ้วมือที่แช่ R6G และ R6G + Au@Pd และการศึกษาสมบัติทางแสงของลายนิ้วมือที่แช่สาร R6G และ R6G + Au@Pd โดยอาศัยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย

การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd โดยวิธีการเตรียมสารจาก หัวข้อ

3.3 ผู้วิจัยจะแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวัดการดูดกลืนแสงและการวัดการเรืองแสง

1.1 การวัดการดูดกลืนแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd

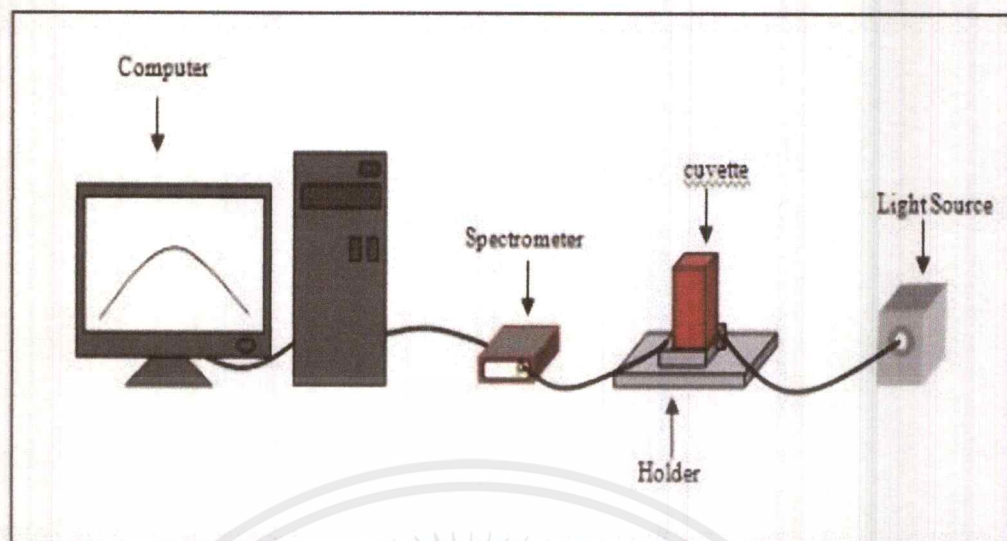
1.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องกำเนิดแสง
2. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น AvaSpec-EDU ยี่ห้อ Avantes
3. สายใยแก้วนำแสง เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร กับ 600 ไมโครเมตร
4. คิวเวท และอุปกรณ์ยึดจับคิวเวท
5. คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม AvaSoft 7.4 for AvaSpec-USB2

1.1.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. เตรียมสารที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.5
2. ติดตั้งอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.38
3. เปิดโปรแกรม AvaSoft 7.4 for AvaSpec-USB2
4. ทำการวัดการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 การจัดระบบวัดการดูดกลืนแสง

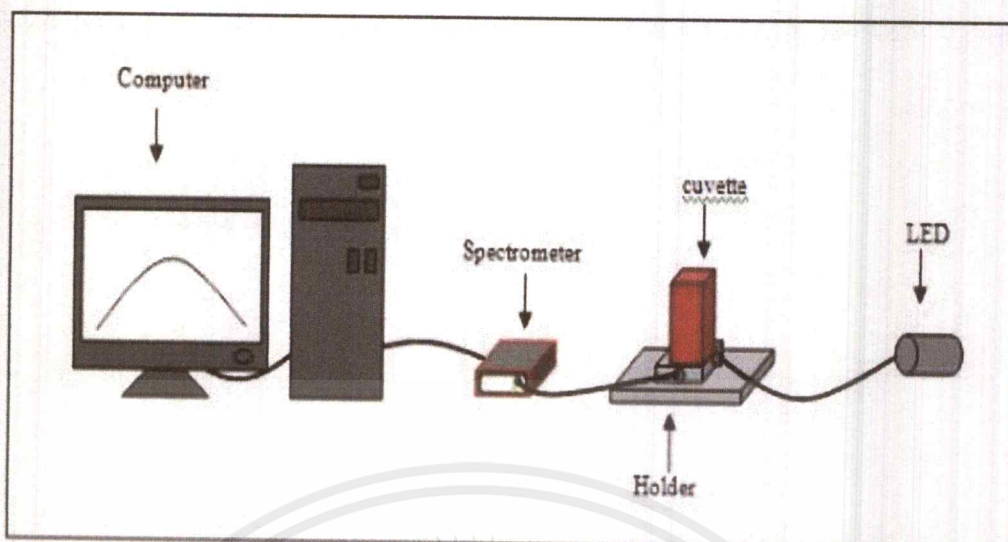
1.2 การวัดการเปล่งแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd

1.2.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. ไดโอดเปล่งแสง ที่ความยาวคลื่น 530 nm
2. อุปกรณ์จับยึดไดโอดเปล่งแสงกับสายใยแก้วนำแสง
3. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น AvaSpec-EDU ยี่ห้อ Avantes
4. สายใยแก้วนำแสง
5. คิวเวทและอุปกรณ์ยึดจับคิวเวท
6. คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม AvaSoft 7.4 for AvaSpec-USB2

1.2.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. เตรียมสารที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.5
2. ติดตั้งอุปกรณ์ ดังรูป 3.39
3. เปิดโปรแกรม AvaSoft 7.4 for AvaSpec-USB2
4. ทำการวัดการเปล่งแสง



รูปที่ 3.39 การจ้ระบบการวัดการเปล่งแสง

2. การศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd

การศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การศึกษาการดูดกลืนแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd และการศึกษาการเปล่งแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd

2.1 การศึกษาสมบัติของการดูดกลืนแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd

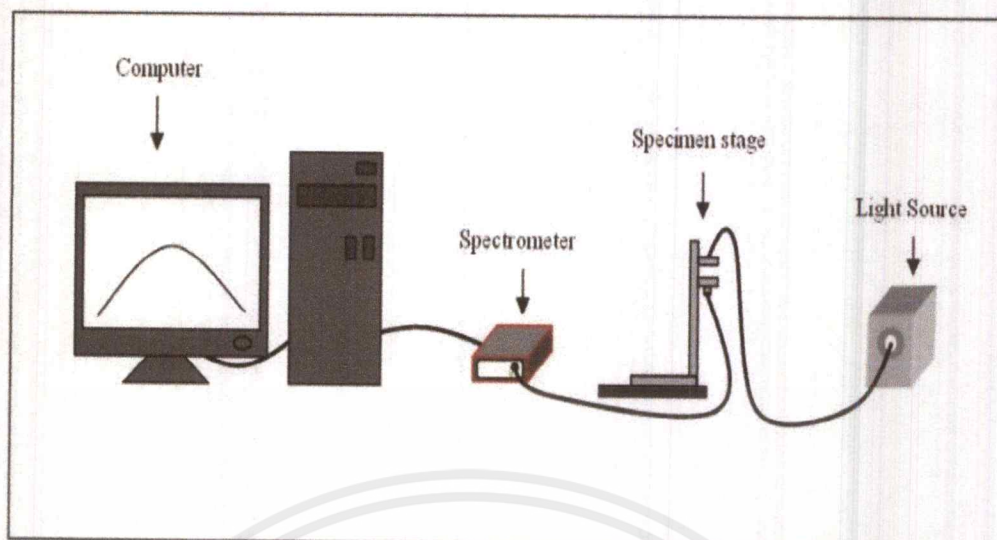
2.1.1 วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องกำเนิดแสง
2. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น AvaSpec-EDU ยี่ห้อ Avantes
3. สายใยแก้วนำแสง เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร กับ 600 ไมโครเมตร
4. แท่นวางแผ่นกระจกสไลด์สำหรับวัด
5. คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม AvaSoft 7.4 for AvaSpec-USB2

2.1.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd
2. ติดตั้งอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.40
3. เปิดโปรแกรม AvaSoft 7.4 for AvaSpec-USB2
4. ทำการวัดการดูดกลืนของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 การจัดระบบการวัดการดูดกลืนแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย

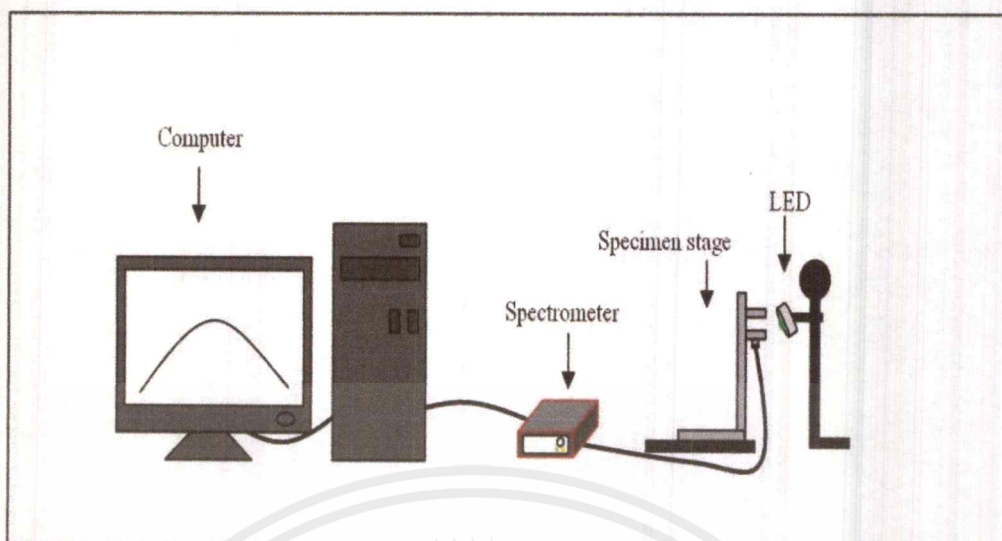
2.2 การศึกษาสมบัติของการเปล่งแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd

2.2.1 วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

1. ไดโอดเปล่งแสงสีเขียว ที่ความยาวคลื่น 530 nm
2. อุปกรณ์จับยึดไดโอดเปล่งแสงกับสายใยแก้วนำแสง
3. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น AvaSpec-EDU ยี่ห้อ Avantes
4. สายใยแก้วนำแสง
5. แท่นวางแผ่นกระจกสไลด์สำหรับวัด
6. คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม AvaSoft 7.4 for AvaSpec-USB2

2.2.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd
2. ติดตั้งอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.41
3. เปิดโปรแกรม AvaSoft 7.4 for AvaSpec-USB2
4. ทำการวัดการเปล่งแสง



รูปที่ 3.41 การจัดระบบการวัดการเปล่งแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย

3. การศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์

การศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้นและการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสง เพื่อหาความแตกต่างของความเข้มแสง ซึ่งเป็นผลมาจากการแช่สารละลาย

3.1 การศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้น

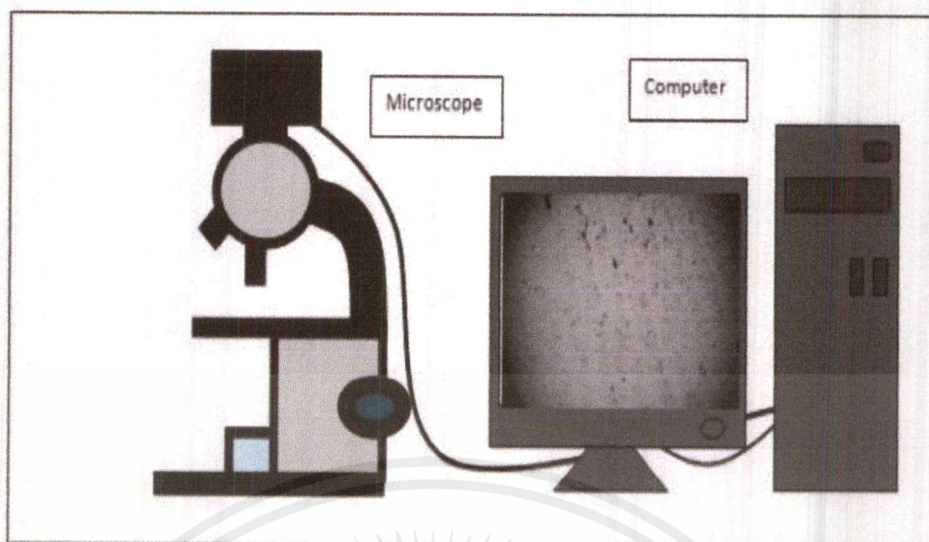
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

1. กระจกสไลด์พร้อมตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารแล้ว
2. กล้องจุลทรรศน์
3. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
4. คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม Image J

3.1.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. เตรียมกระจกสไลด์พร้อมตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารแล้วให้พร้อม
2. ติดตั้งอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.42
3. ถ่ายภาพโดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 4 เท่า
4. ทำการบันทึกภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์
5. วิเคราะห์ภาพโดยใช้โปรแกรม Image J

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.42 การจัดระบบการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์โดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้น

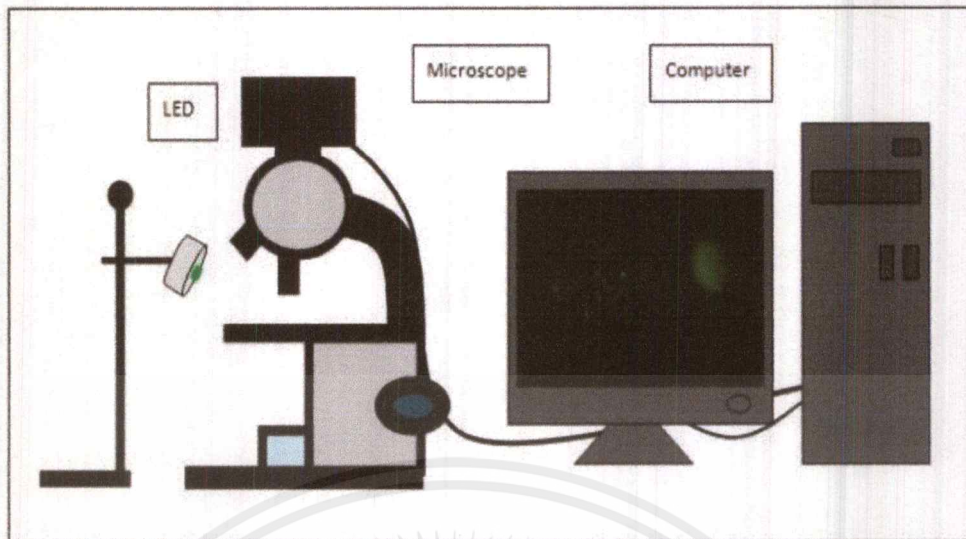
3.2 การศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสง

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

1. กระจกสไลด์พร้อมตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารแล้ว
2. กล้องจุลทรรศน์
3. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
4. ไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 nm
5. อุปกรณ์ยึดจับไดโอดเปล่งแสง
6. คอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม Image J

3.2.2 ขั้นตอนในการทดลอง

1. เตรียมกระจกสไลด์พร้อมตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารแล้วให้พร้อม
2. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.43
3. ถ่ายภาพโดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 4 เท่า
4. ทำการบันทึกภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์
5. วิเคราะห์ภาพโดยใช้โปรแกรม Image J



รูปที่ 3.43 การจัดการระบบการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์โดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการแช่สาร ความแตกต่างของการล้างน้ำปลอดประจุ (DI) กับไม่ล้างน้ำ DI และผลการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี (R6G) และโรดามีน 6จี ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม (R6G + Au@Pd) ในรูปแบบต่าง ๆ โดยผู้วิจัยแบ่งเป็นผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สารละลาย R6G และความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่

4.2.1 ผลการศึกษาศักยภาพทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย

4.2.2 ผลการศึกษาศักยภาพทางแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd

4.2.3 ผลการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์

4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สารละลาย R6G และความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI

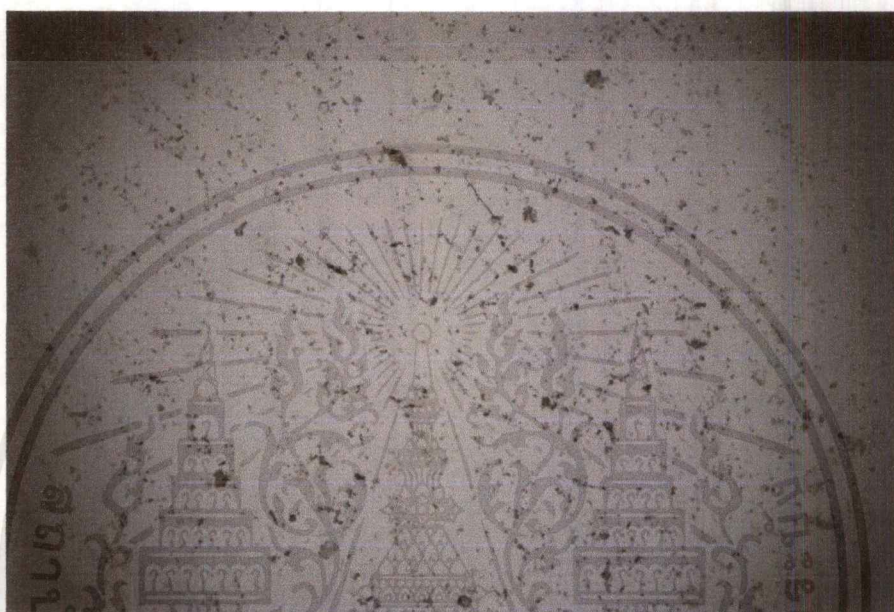
จากการศึกษาเงื่อนไขของระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สารละลายและความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่ถูกเตรียมขึ้นตามขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อ 3.3.2 และขั้นตอนในการทดลองตามที่อธิบายในหัวข้อ 3.4 และค่าความเข้มและความแตกต่างดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย

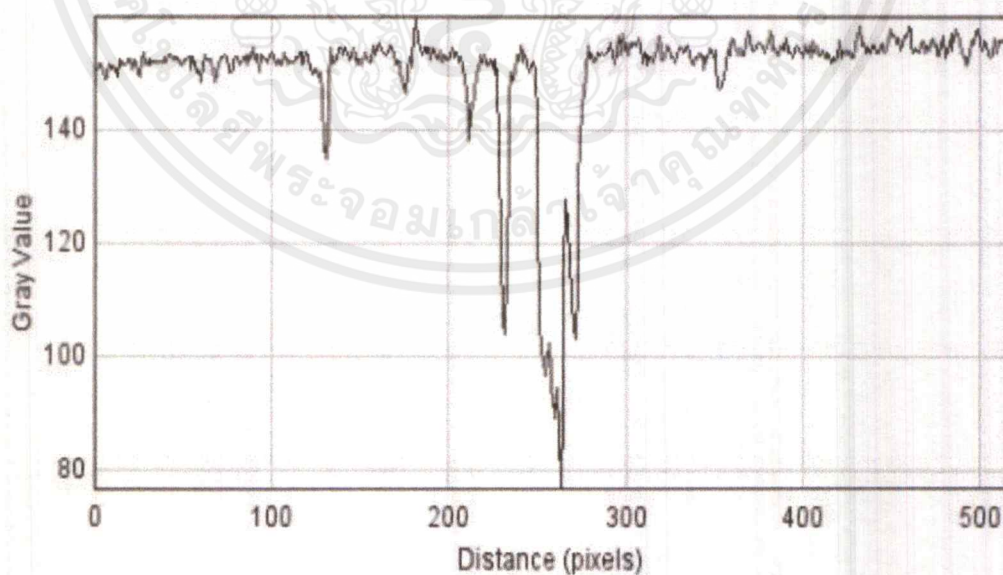
เงื่อนไขเวลา (นาทีก)	ล้างน้ำ DI	ค่าความเข้มสูงสุดของ Gray value	ค่าความเข้มต่ำสุดของ Gray value	ค่าความแตกต่างของ Gray value
15	✗	161.86 ± 1.66	79.91 ± 2.64	71.95 ± 2.15
15	✓	163.32 ± 1.25	100.53 ± 4.06	62.79 ± 2.66
30	✗	164.20 ± 1.23	45.70 ± 4.14	118.50 ± 2.69
30	✓	164.83 ± 0.16	58.79 ± 0.80	106.04 ± 0.48
60	✗	170.74 ± 4.01	56.25 ± 2.18	114.49 ± 3.10
60	✓	172.05 ± 4.95	82.67 ± 1.23	89.38 ± 3.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. จากการศึกษาเงื่อนไขของระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สารละลายและความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 15 นาที ไม่ล้างน้ำ DI พบว่ามีความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 161.86 ± 1.66 ของค่า Gray value มีความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 79.91 ± 2.64 ของค่า Gray value และมีความแตกต่างอยู่ที่ 71.95 ± 2.15 ของค่า Gray value ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.1 (ก), (ข) และ (ค)

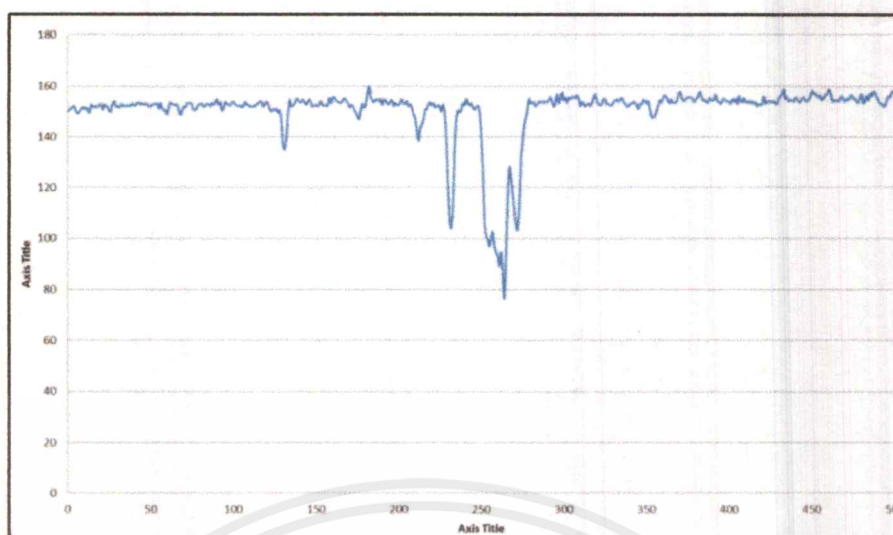


(ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือ



(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม ImageJ

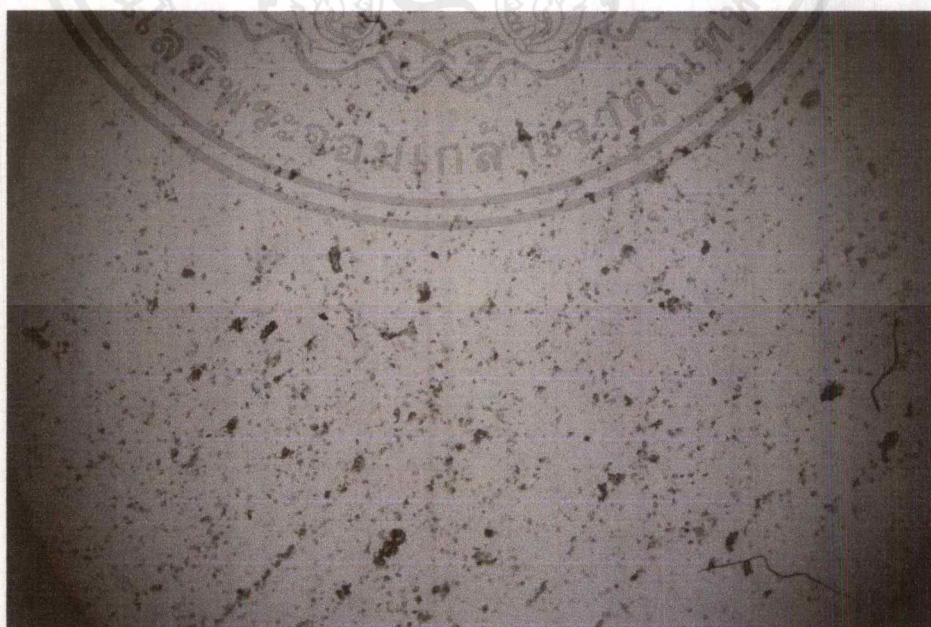
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel

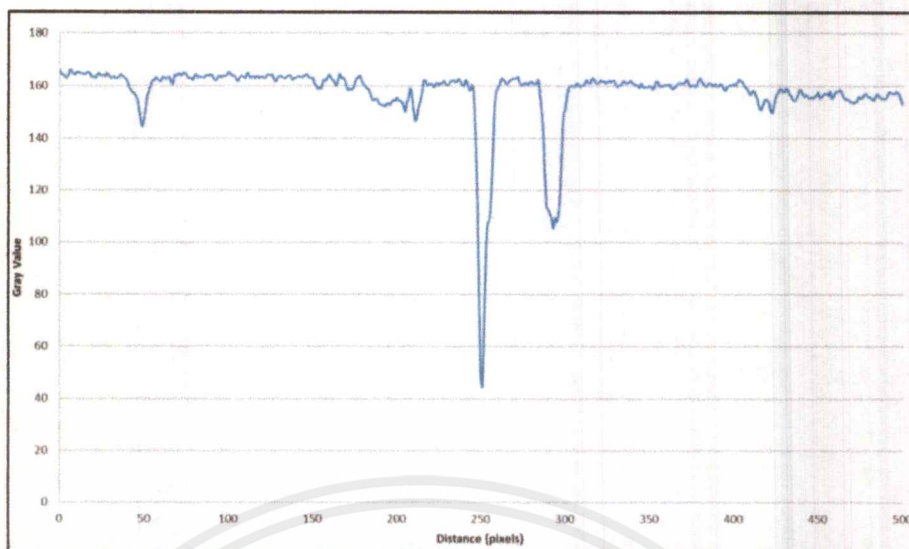
รูปที่ 4.1 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 15 นาที ไม่ล้างน้ำ DI

2. จากการศึกษาเงื่อนไขของระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สารละลายและความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 15 นาที ล้างน้ำ DI พบว่ามีความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 163.32 ± 1.25 ของค่า Gray value มีความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 100.53 ± 4.06 ของค่า Gray value และมีความแตกต่างอยู่ที่ 62.79 ± 2.66 ของค่า Gray value ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.2 (ก), (ข) และ (ค)



(ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือ

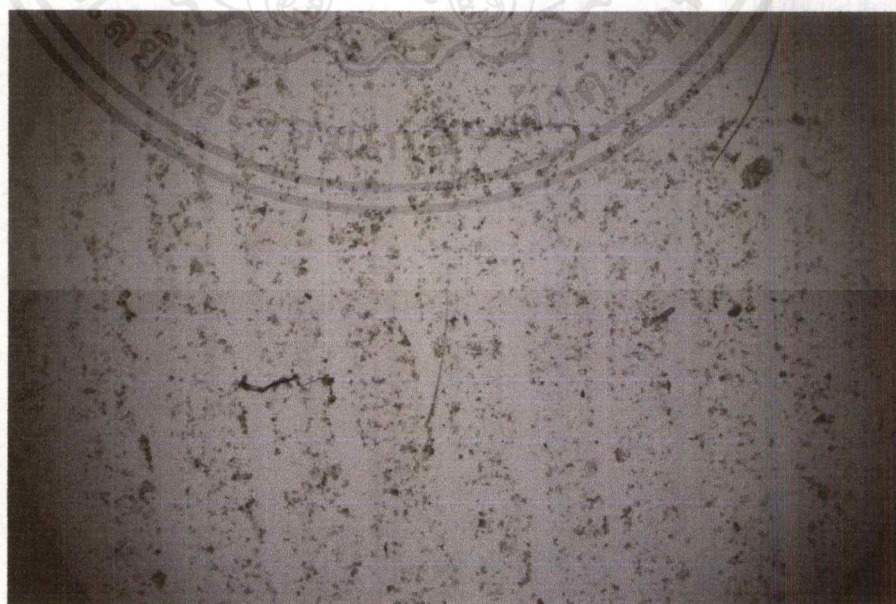
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel

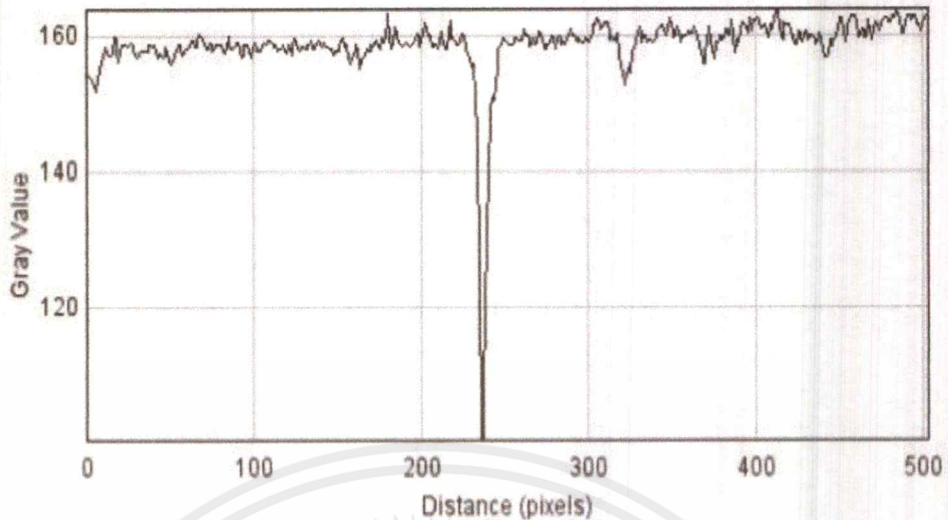
รูปที่ 4.3 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 30 นาที ไม่ล้างน้ำ DI

4. จากการศึกษาเงื่อนไขของระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สารละลายและความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 30 นาที ล้างน้ำ DI พบว่ามีความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 164.83 ± 0.16 ของค่า Gray value มีความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 58.79 ± 0.80 ของค่า Gray value และมีความแตกต่างอยู่ที่ 106.04 ± 0.48 ของค่า Gray value ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.4 (ก), (ข) และ (ค)

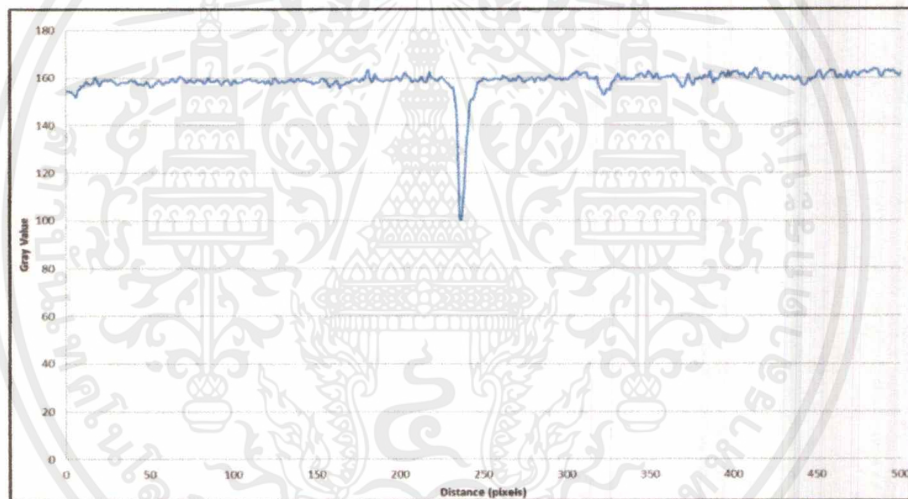


(ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม ImageJ

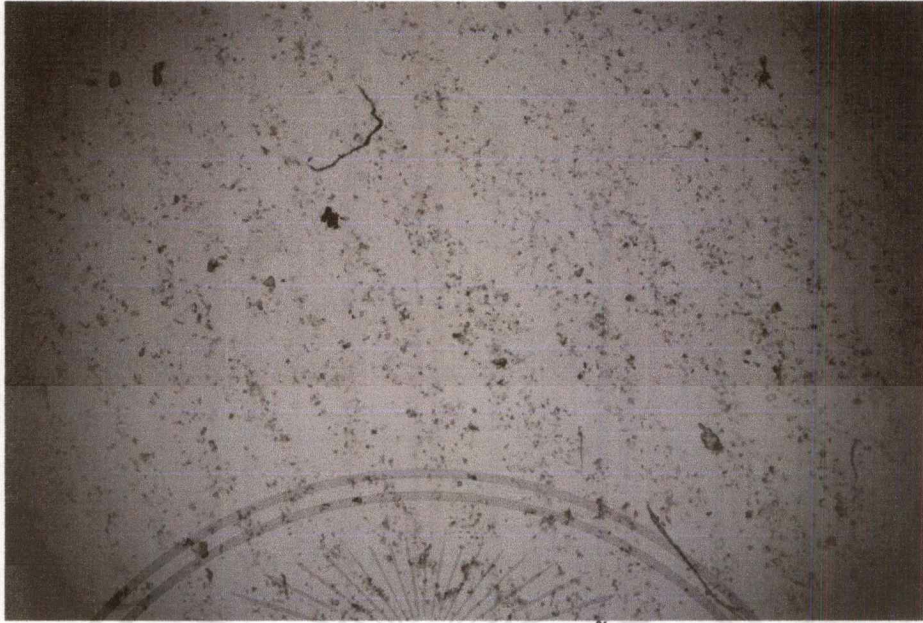


(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel

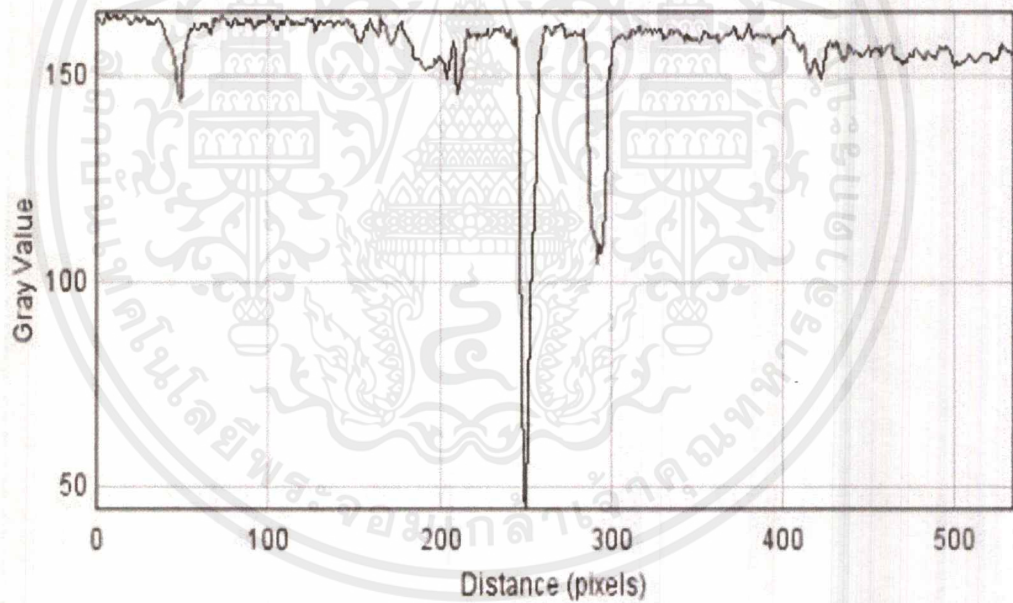
รูปที่ 4.2 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 15 นาที ล้างน้ำ DI

3. จากการศึกษาเงื่อนไขของระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สารละลายและความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 30 นาที ไม่ล้างน้ำ DI พบว่ามีความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 164.20 ± 1.23 ของค่า Gray value มีความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 45.70 ± 4.14 ของค่า Gray value และมีความแตกต่างอยู่ที่ 118.50 ± 2.69 ของค่า Gray value ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.3 (ก), (ข) และ (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

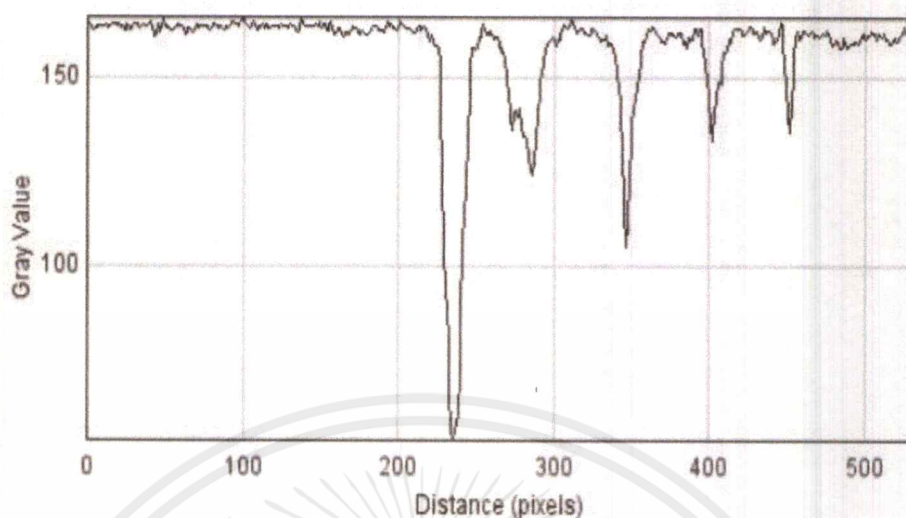


(ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือ

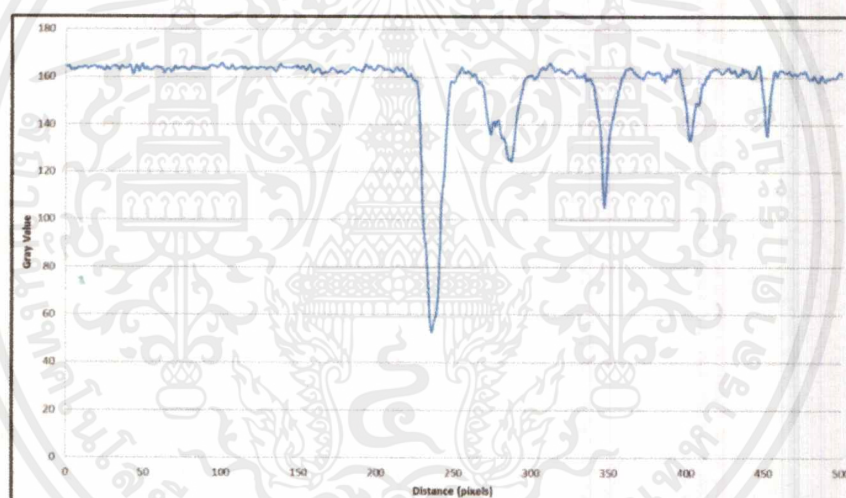


(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม ImageJ



(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel

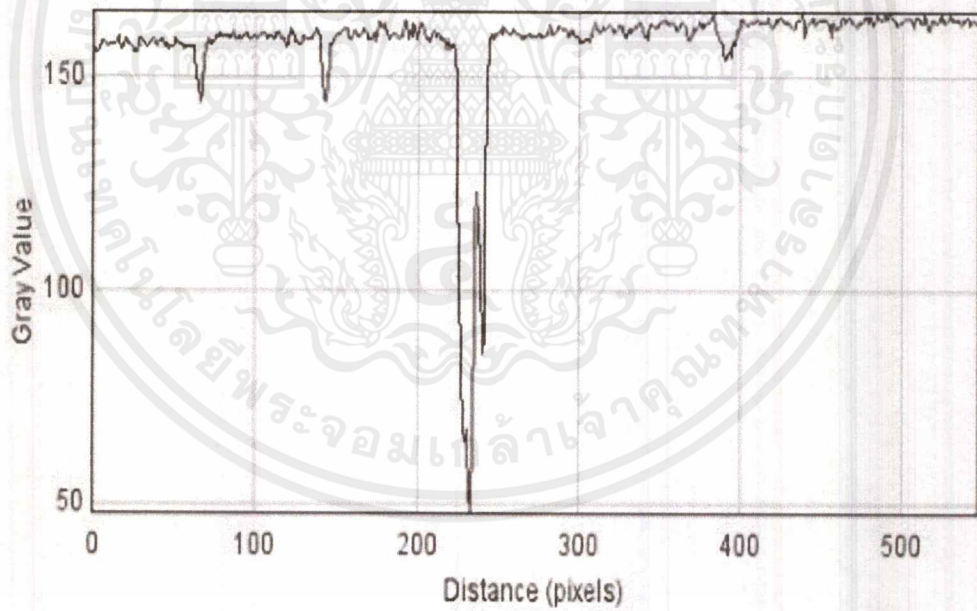
รูปที่ 4.4 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 30 นาที ล้างน้ำ DI

5. จากการศึกษาเงื่อนไขของระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแช่สารละลายและความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 60 นาที ไม่ล้างน้ำ DI พบว่ามีความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 170.74 ± 4.01 ของค่า Gray value มีความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 56.25 ± 2.18 ของค่า Gray value และมีความแตกต่างอยู่ที่ 114.49 ± 3.10 ของค่า Gray value ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.5 (ก), (ข) และ (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

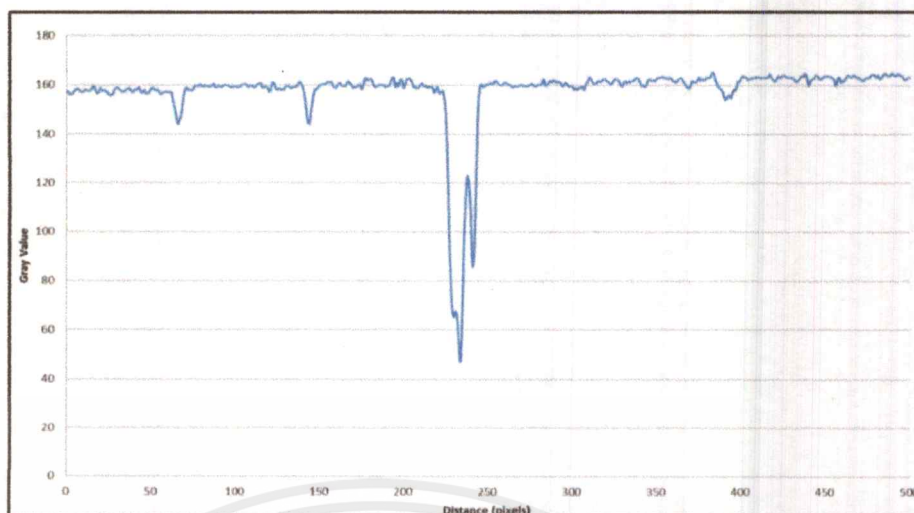


(ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือ



(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม ImageJ

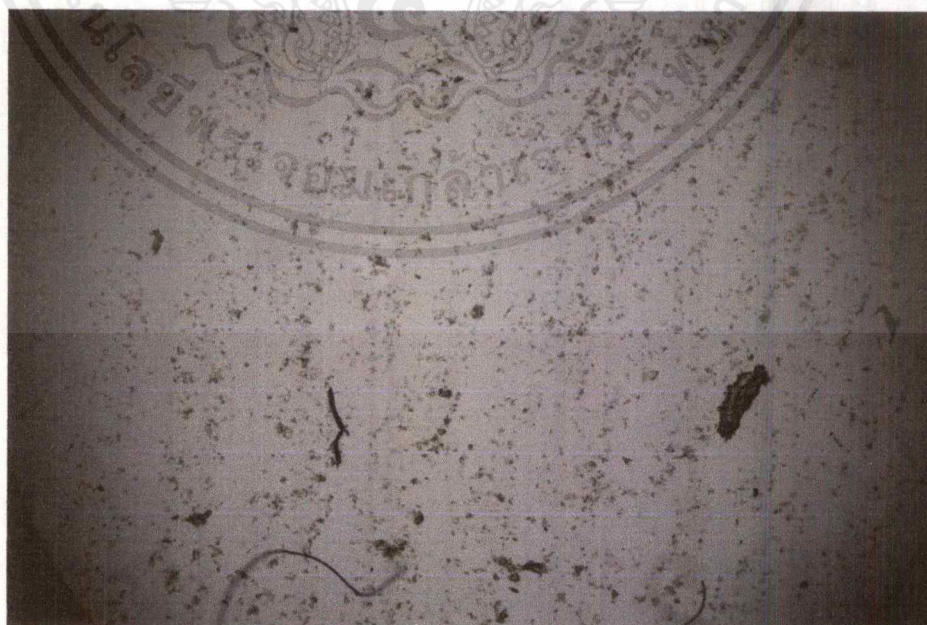
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel

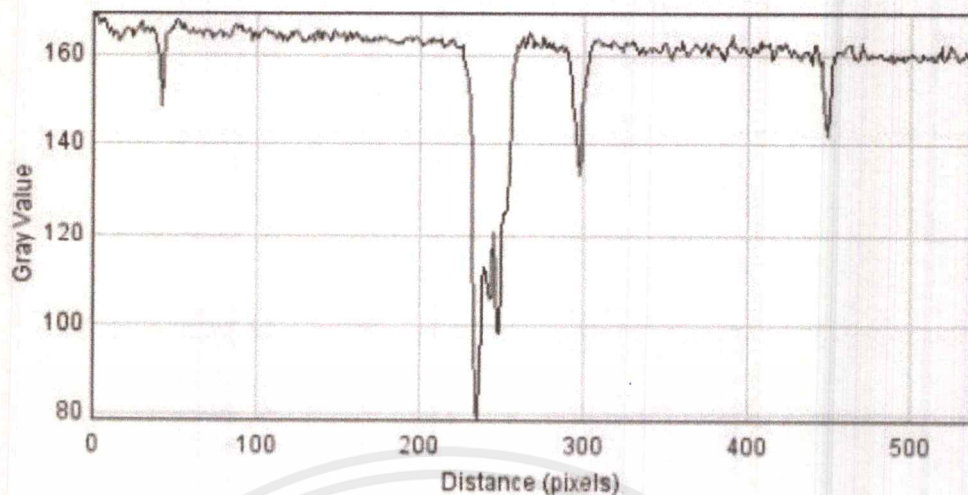
รูปที่ 4.5 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 60 นาที ไม่ล้างน้ำ DI

6. จากการศึกษาเงื่อนไขของระยะเวลาที่ดีที่สุดในการแฉ่สารละลายและความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แฉ่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 60 นาที ล้างน้ำ DI พบว่ามีความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 172.05 ± 4.95 ของค่า Gray value มีความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 82.67 ± 1.23 ของค่า Gray value และมีความแตกต่างอยู่ที่ 89.38 ± 3.09 ของค่า Gray value ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.6 (ก), (ข) และ (ค)

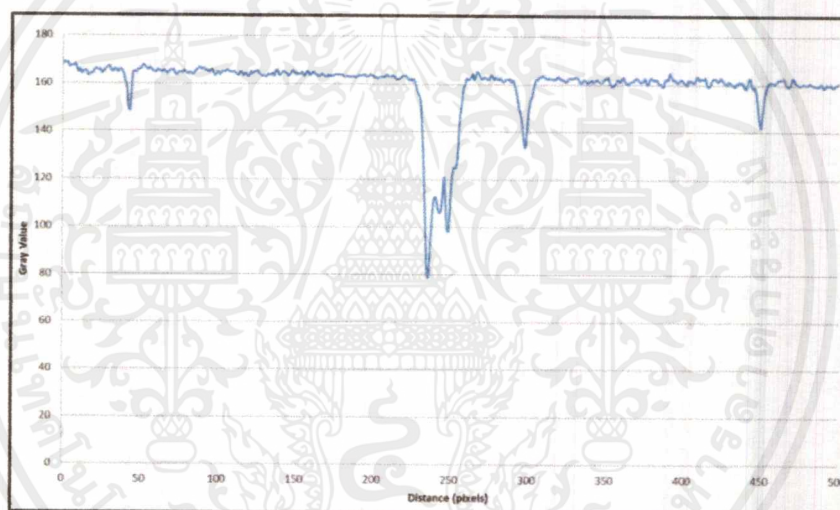


(ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) สร้างกราฟโดยโปรแกรม ImageJ



(ค) สร้างกราฟโดยโปรแกรม Microsoft Excel

รูปที่ 4.6 ความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ที่เวลา 60 นาที ล้างน้ำ DI

จากผลการศึกษาได้ความแตกต่างของความเข้ม Gray value จากกราฟในรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.6 และข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพและนำมาวิเคราะห์ค่าความแตกต่างโดยโปรแกรม Image J ได้ข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าที่เงื่อนไขระยะเวลาที่ 30 นาที ไม่ล้างน้ำปอดประจุ (DI) มีค่าความแตกต่างสูงสุดของค่า Gray value โดยมีความแตกต่างสูงถึง 118.50 ± 2.69 ของค่า Gray value และที่เงื่อนไขเวลาที่ติร่องลงมาคือที่เวลา 60 นาที ไม่ล้างน้ำ DI เวลา 30 นาที ล้างน้ำ DI เวลา 60 นาที ล้างน้ำ DI เวลา 15 นาที ไม่ล้างน้ำ DI และที่เวลา 15 นาที ล้างน้ำ DI ตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างสามารถบอกได้ถึงความชัดเจนในการสร้างภาพจากการแช่สารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปแบบต่าง ๆ

จากการศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลายโรดามีน 6จี และสารละลายโรดามีน 6จี (R6G) ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม (R6G + Au@Pd) ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง 3 รูปแบบ ได้แก่ การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย การศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd และการศึกษาสมบัติทางแสงของลายนิ้วมือที่แช่สาร R6G และ R6G + Au@Pd อาศัยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

4.2.1 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย

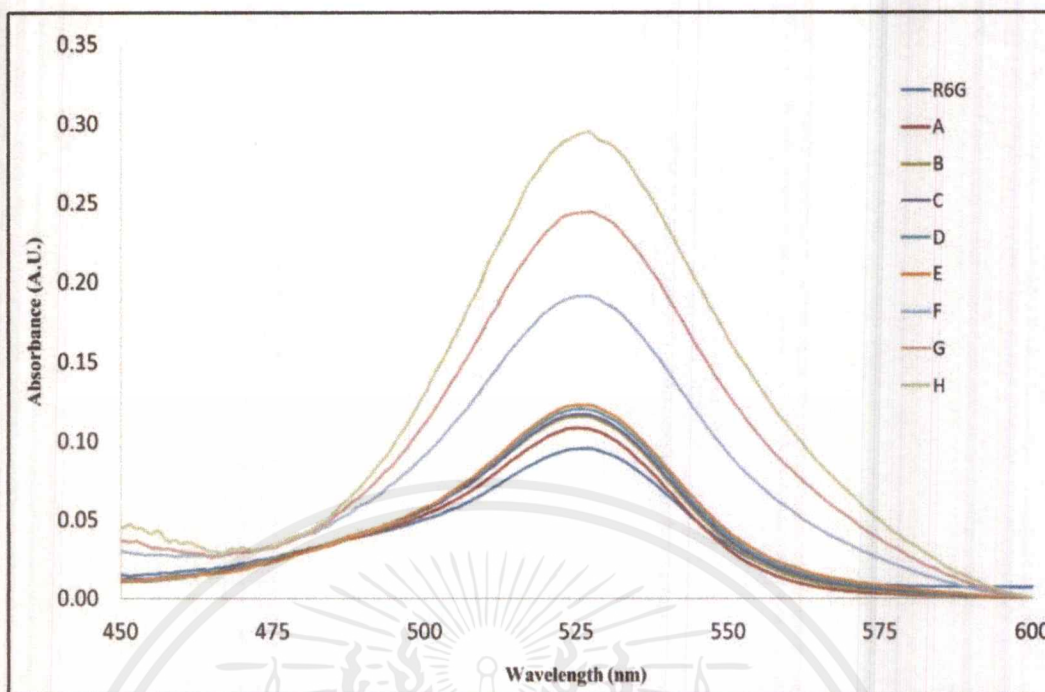
จากการศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย ผู้วิจัยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การศึกษาการดูดกลืนแสงและการศึกษาการเปล่งแสง โดยผลการศึกษาเป็นดังข้อมูลต่อไปนี้

1) ผลการศึกษาของการดูดกลืนแสง

จากการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลาย ดังรูปที่ 4.7 พบว่า ตัวอย่าง R6G มีค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุด โดยมีค่าการดูดกลืนแสงเพียง 0.0918 ± 0.0025 ที่ความยาวคลื่น 526.64 นาโนเมตร และจากการทดลองเห็นได้ว่า เมื่อมีการเติม Au@Pd ค่าการดูดกลืนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 4.2 และตัวอย่าง H ที่มีการเติม Au@Pd มากที่สุด ทำให้มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด โดยมีค่าการดูดกลืนแสงสูงถึง 0.2952 ± 0.0004 ที่ความยาวคลื่น 526.64 นาโนเมตร ซึ่งมีข้อมูลรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่น

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (Mean \pm SD)	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
R6G	0.0918 ± 0.0025	526.64
A	0.1084 ± 0.0008	525.48
B	0.1141 ± 0.0011	525.48
C	0.1176 ± 0.0008	525.48
D	0.1202 ± 0.0003	525.48
E	0.1222 ± 0.0006	526.06
F	0.1917 ± 0.0008	526.06
G	0.2443 ± 0.0001	526.64
H	0.2952 ± 0.0004	526.64



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นของสารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

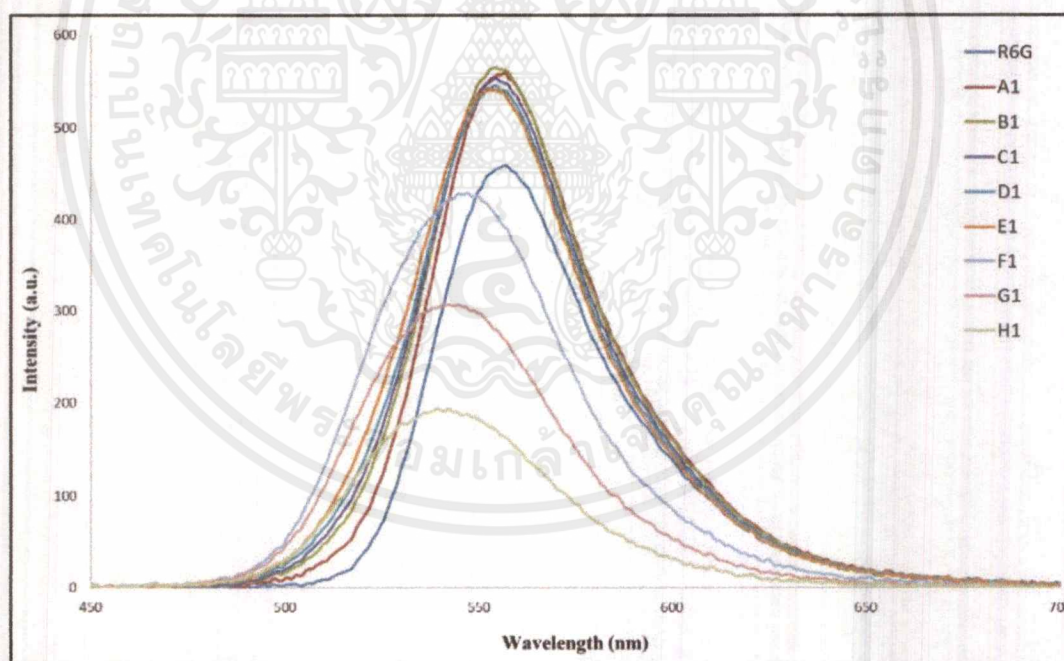
2) ผลการศึกษาของการเปล่งแสง

2.1) ผลการศึกษาค่าการเปล่งแสงของ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปล่งแสงและความยาวคลื่นของสารละลาย ดังรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อ R6G มีการเติม Au@Pd ค่าการเปล่งแสงมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่มีการเปล่งแสงสูงสุด อยู่ระหว่างตัวอย่าง B และ C โดยมีค่าการเปล่งแสงสูงถึง 565.26 ± 0.50 และ 563.43 ± 0.05 ตามลำดับ ที่ความยาวคลื่นเดียวกัน 557.90 นาโนเมตร ซึ่งเมื่อนำมาหาค่า Integrate intensity แล้วพบว่า การเปล่งแสงมากที่สุดคือตัวอย่าง C และ B ซึ่งมีค่า 33622.80 และ 33618.45 ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลง จนถึงค่าต่ำสุดที่ตัวอย่าง H โดยมีค่าการเปล่งแสงเพียง 192.56 ± 0.28 ที่ความยาวคลื่น 542.28 นาโนเมตร โดยมีค่า Integrate intensity เท่ากับ 12653.04 ดังตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเปล่งแสงที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่น

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเปล่งแสงที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่น

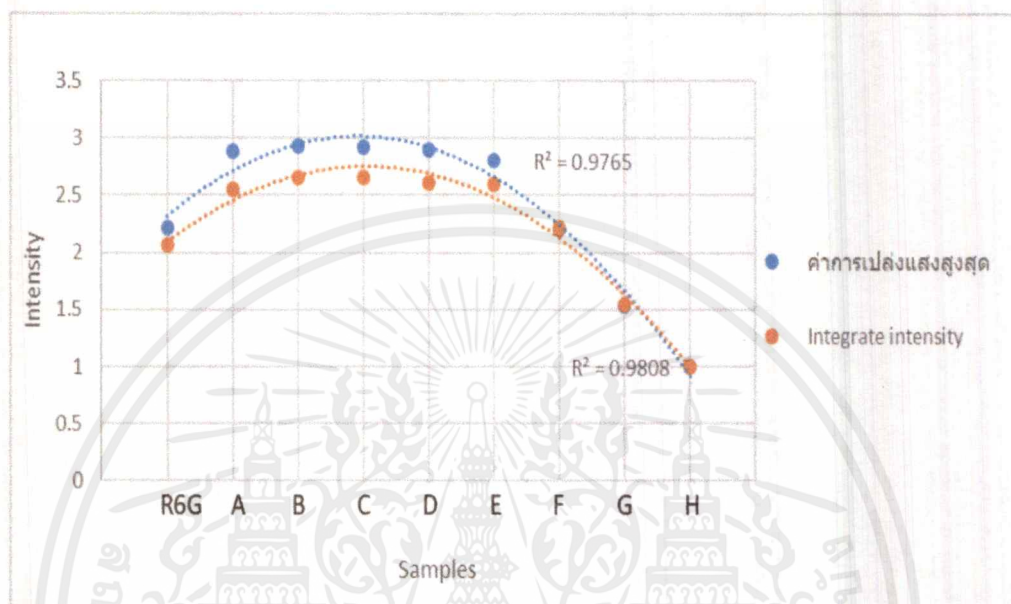
ตัวอย่าง	ค่าการเปล่งแสงสูงสุด (Mean \pm SD)	Integrate intensity	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
R6G	462.76 \pm 0.96	26087.43	557.32
A	556.45 \pm 0.83	32224.71	557.90
B	565.26 \pm 0.50	33618.45	557.90
C	563.43 \pm 0.05	33622.80	557.90
D	557.08 \pm 0.64	33043.42	554.43
E	539.20 \pm 0.05	32831.63	553.85
F	423.30 \pm 0.63	28018.36	546.91
G	296.06 \pm 0.04	19593.81	544.60
H	192.56 \pm 0.28	12653.04	542.28



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปล่งแสงและความยาวคลื่นของสารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) ผลการศึกษาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงของการเปล่งแสง R6G + Au@Pd จากการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของสารละลายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าสาร R6G มีแนวโน้มของการเปล่งแสงเพิ่มขึ้นเป็นสาร A และสูงสุดที่สาร B หลังจากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงของการเปล่งแสงจากสาร B เป็นสาร C D E F G และต่ำสุดที่ H ตามลำดับดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงของการเปล่งแสงของสารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

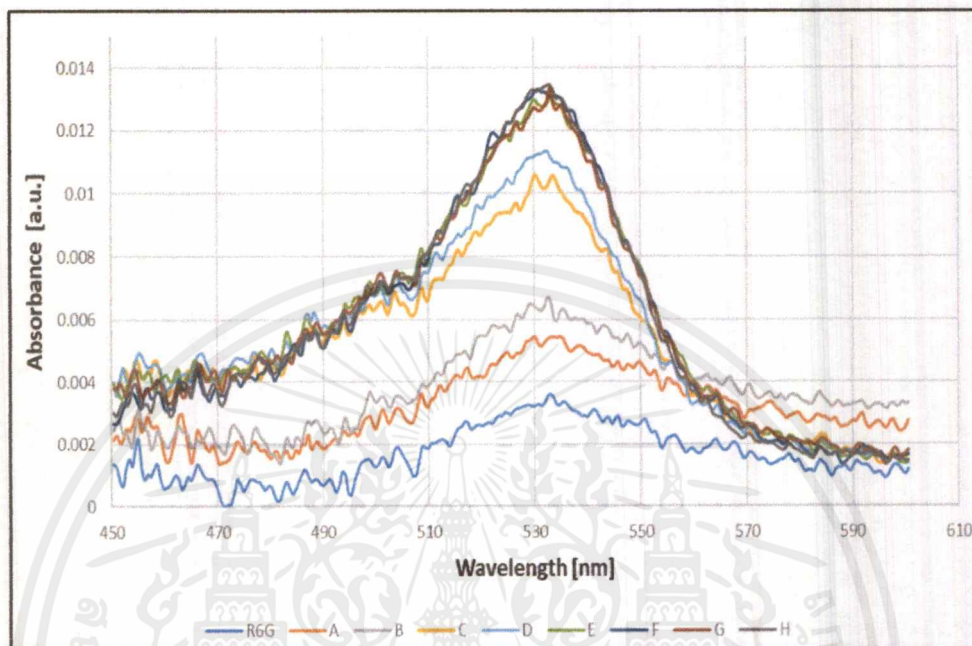
4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd

จากการศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ในหัวข้อที่ 3.5.2 ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การศึกษาการดูดกลืนแสงและการศึกษาการเปล่งแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือ R6G และ R6G + Au@Pd ดังนี้

1) ผลการศึกษาของการดูดกลืนแสง

จากการศึกษาการดูดกลืนแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.5.2 ข้อ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่น ดังรูปที่ 4.10 พบว่า ตัวอย่าง R6G มีค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุด โดยมีค่าการดูดกลืนแสงเพียง 0.0022 ± 0.0001 ที่ความยาวคลื่น 533.02 นาโนเมตร และจากการทดลองครั้งนี้ เมื่อวัดการดูดกลืนของตัวอย่างที่แช่สารละลาย R6G + Au@Pd ที่ Au@Pd เพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.4 และตัวอย่างที่แช่สารละลาย H ซึ่งมีการเติม Au@Pd มากที่สุด ทำให้ค่าการ

ดูดกลืนของแสงมีค่าสูงสุดถึง 0.0119 ± 0.0065 ที่ความยาวคลื่น 530.70 นาโนเมตร ผลที่ได้ในการทดลองครั้งนี้ มีความสอดคล้องกับแนวโน้มของค่าการดูดกลืนที่ถูกวัดในการทดลอง ในหัวข้อ 4.2.1 ข้อที่ 1 ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงและความยาวคลื่นแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการดูดกลืนของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd

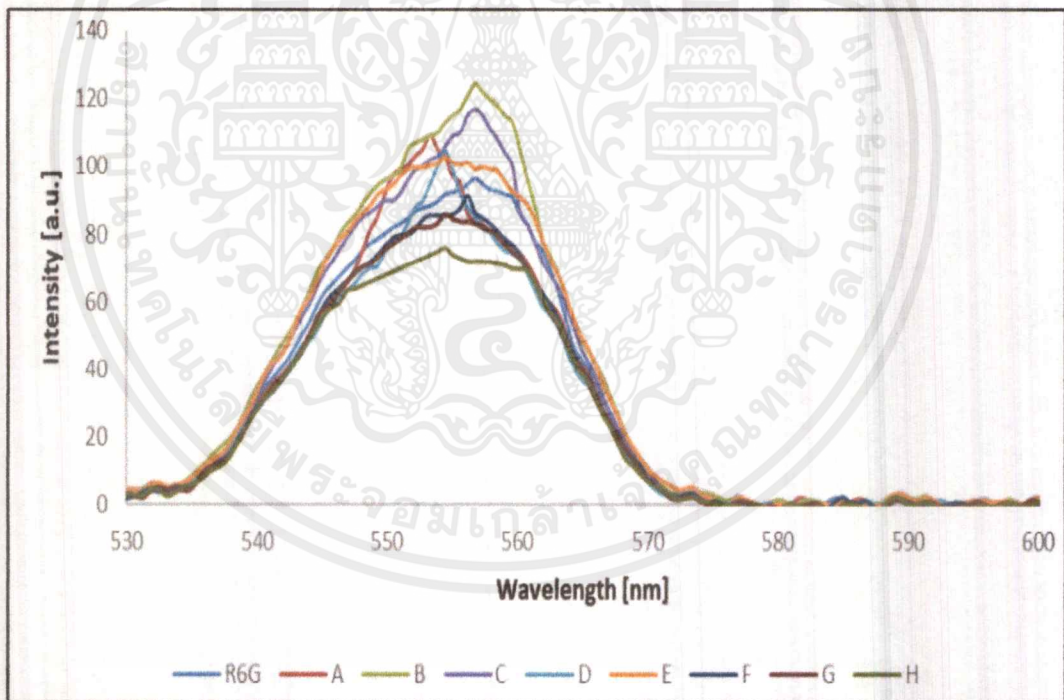
ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (Mean \pm SD)	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
R6G	0.0022 ± 0.0001	533.02
A	0.0041 ± 0.0002	533.60
B	0.0053 ± 0.0002	532.44
C	0.0092 ± 0.0004	530.12
D	0.0100 ± 0.0002	534.76
E	0.0116 ± 0.0002	533.02
F	0.0116 ± 0.0002	533.02
G	0.0119 ± 0.0065	530.70
H	0.0121 ± 0.0002	533.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผลการศึกษาของการเปล่งแสง

2.1) ผลการศึกษาค่าการเปล่งแสงของ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายโรดามิน 6จี และสารละลายโรดามิน 6จี ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลแลเดียม ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.5.2 ข้อ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปล่งแสงและความยาวคลื่นของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ดังรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่อ R6G มีการเติม Au@Pd ค่าการเปล่งแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่มีการเปล่งแสงสูงสุด ซึ่งอยู่ระหว่างตัวอย่าง C และ B โดยมีค่าการเปล่งแสงสูง 124.49 ± 0.24 และ 124.31 ± 0.36 ตามลำดับ ที่ความยาวคลื่นเดียวกัน 556.74 นาโนเมตร ซึ่งเมื่อนำมาหาค่า Integrate intensity แล้วพบว่า การเปล่งแสงมากที่สุดคือตัวอย่าง B และ C ซึ่งมีค่า 2615.47 และ 2608.02 ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงจนถึงค่าการเปล่งแสงต่ำสุดที่ตัวอย่าง H โดยมีค่าการเปล่งแสงเพียง 75.11 ± 1.39 ที่ความยาวคลื่น 554.43 นาโนเมตร ซึ่งมีค่า Integrate intensity เท่ากับ 1658.19 ผลที่ได้ในการทดลองครั้งนี้ มีความสอดคล้องกับแนวโน้มของค่าการเปล่งแสงที่ถูกวัดในการทดลอง ในหัวข้อ 4.2.1 ข้อที่ 2 ดังตารางที่ 4.5



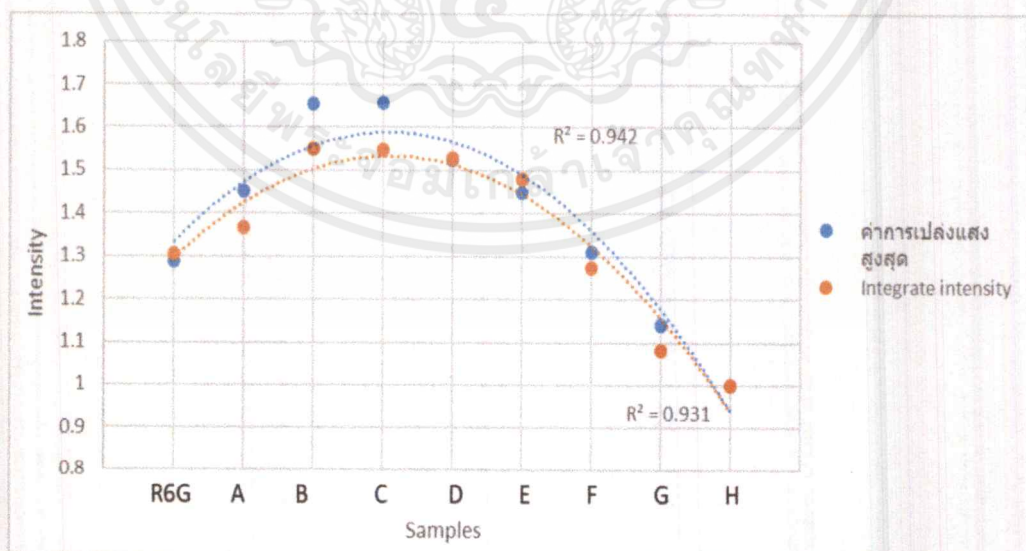
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปล่งแสงและความยาวคลื่นแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการเปล่งแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd

ตัวอย่าง	ค่าการเปล่งแสงสูงสุด (Mean \pm SD)	Integrate intensity	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
R6G	96.71 \pm 0.22	2162.06	556.74
A	109.11 \pm 0.12	2265.51	553.27
B	124.31 \pm 0.36	2615.47	556.74
C	124.49 \pm 0.24	2608.02	556.74
D	114.56 \pm 0.43	2554.67	554.43
E	108.81 \pm 0.41	2447.17	554.43
F	98.52 \pm 0.21	2105.87	556.16
G	85.78 \pm 1.38	1794.52	554.43
H	75.11 \pm 1.39	1658.19	554.43

2.2) ผลการศึกษาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงของการเปล่งแสง R6G + Au@Pd

จากการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าสาร R6G มีแนวโน้มของการเปล่งแสงเพิ่มขึ้นเป็นสาร A และสูงสุดที่สาร B หลังจากนั้นแนวโน้มลดลงของการเปล่งแสงจากสาร B เป็นสาร C D E F G และต่ำสุดที่ H ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 ข้อ 2.2)

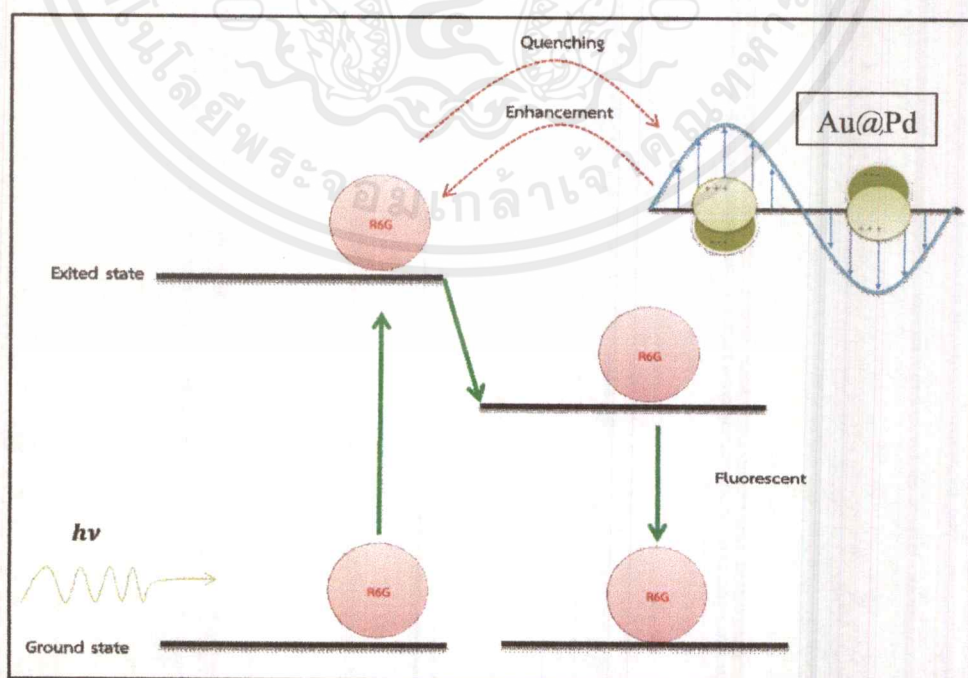


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงของการเปล่งแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quenching คือ การที่โมเลกุลของสารเรืองแสงมีการสูญเสียพลังงานให้กับโมเลกุลอื่นที่ทำอันตรกิริยา แล้วส่งผลให้โมเลกุลของสารเรืองแสงมีค่าการเรืองแสงลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของโมเลกุลไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น แต่มีการสูญเสียพลังงานในรูปแบบอื่นทำให้เปลี่ยนแปลงระดับพลังงานไม่สูงมาก แต่โมเลกุลไม่เสถียรจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงเท่ากับ ΔE อีกนัยหนึ่ง การเกิดการสั่นพ้องที่สัมพันธ์กับการแลกเปลี่ยนพลังงานแล้วการสั่นพ้องนั้นมีการสูญเสียพลังงาน [44,45] กล่าวคือ โมเลกุลของสารละลาย R6G เมื่อมีการเติม Au@Pd เข้าไป จะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างกัน ซึ่งเมื่อเติมไปถึงจุดหนึ่ง โมเลกุลของ Au@Pd มีจำนวนมาก จะทำให้โมเลกุลของสารละลาย R6G สูญเสียพลังงานให้กับโมเลกุลของ Au@Pd ทำให้เกิดการสั่นพ้องได้ยาก และมีการสูญเสียพลังงานในการสั่นพ้องระหว่างโมเลกุลเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเรืองแสงของสารตัวอย่างมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.13

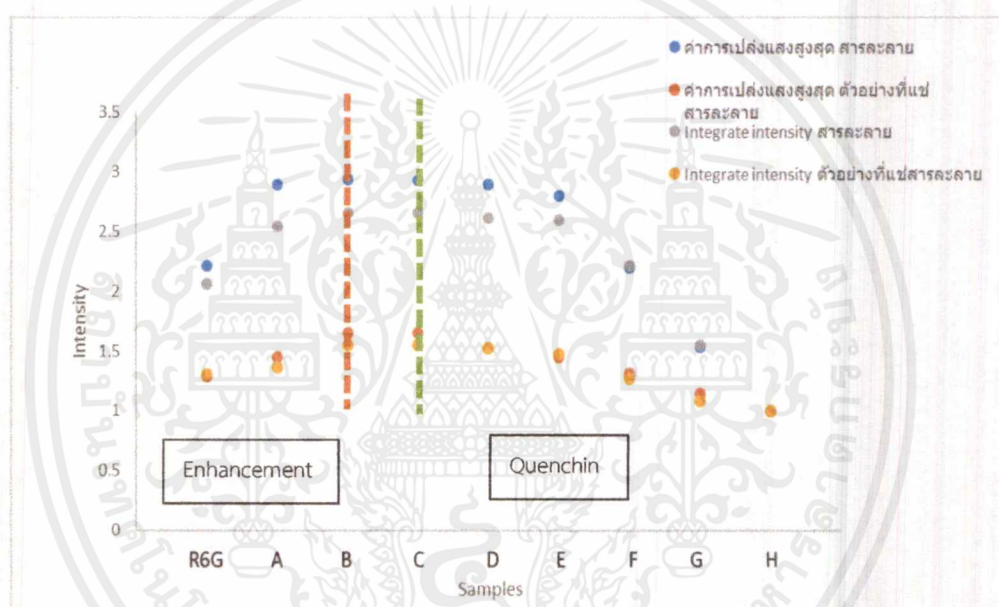
Enhancement คือ การที่โมเลกุลของสารเรืองแสงได้รับพลังงานจากโมเลกุลอื่นที่ทำอันตรกิริยา แล้วส่งผลให้โมเลกุลของสารเรืองแสงมีค่าการเรืองแสงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของโมเลกุลไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น ซึ่งโมเลกุลไม่เสถียรจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงเท่ากับ ΔE อีกนัยหนึ่ง การเกิดการสั่นพ้องที่สัมพันธ์กับการแลกเปลี่ยนพลังงานแล้วการสั่นพ้องนั้นไม่มีการสูญเสียพลังงานหรือมีการสูญเสียพลังงานที่น้อย [44,45] กล่าวคือ โมเลกุลของสารละลาย R6G เมื่อมีการเติม Au@Pd เข้าไป จะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างกัน R6G จะได้รับพลังงานจาก Au@Pd แล้วโมเลกุลเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้นแล้วปลดปล่อยพลังงานออกมาและการสั่นพ้องมีการสูญเสียพลังงานที่น้อย ซึ่งส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพในการเรืองแสงเพิ่มมากขึ้น โดยแสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แผนภาพแสดงระดับพลังงานของ R6G และ R6G + Au@Pd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาสมบัติทางแสงของการเรืองแสงทั้งในรูปแบบของสารละลายและสารตัวอย่าง ไลยนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ทั้งสองการทดลองให้ผลการทดลองสอดคล้อง เป็นแนวโน้มเดียวกัน ดังรูปที่ 4.14 โดยผลการทดลองพบว่าสารตัวอย่างที่มีการประสิทธิภาพในการ เรืองแสงเพิ่มขึ้น ได้แก่ สารตัวอย่าง R6G และ A ตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพในการเรืองแสงคงที่ ได้แก่ สารตัวอย่าง B และ C ตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพในการเรืองแสงลดลง ได้แก่ D E F G และ H ตามลำดับ แต่ด้วยเหตุที่พิจารณาการเปล่งแสงสูงสุดและการ integrate intensity แล้วพบว่า สาร ตัวอย่าง B และ C มีความเข้มของแสงใกล้เคียงกันมาก ผู้วิจัยจึงทำการทดลองวิเคราะห์โดยศึกษา สมบัติทางแสงอาศัยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์เพื่อนำมาหาความแตกต่างของแสง โดยผลการ ทดลองเป็นดังหัวข้อต่อไป



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงของการเปล่งแสงของสารละลายและ ตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

4.2.3 ผลการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์

จากการศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปแบบของการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยอาศัยหลักการของกล้องจุลทรรศน์ ผู้วิจัยได้แบ่งการ ทดลองออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ การศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจาก กล้องจุลทรรศน์กระตุ้นและการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสง ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น ได้ผลการศึกษาดังนี้

1) ผลการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้น
จากผลการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์
กระตุ้นพบว่า บริเวณที่มีสารละลายจะถูกถ่ายออกมาเป็นสีดำ เนื่องจากแสงที่ใช้ในการกระตุ้นเป็น
แสงขาว เมื่อแสงขาวตกกระทบกับวัตถุแต่มีพลังงานไม่มากพอที่จะกระตุ้นอะตอมในสารละลายนั้นให้
เกิดการสั่นหรือเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน จึงทำให้อะตอมในสารละลายนั้นดูดกลืนแสงที่เข้าไปและ
ไม่มีการเปล่งแสงออกมา การทดลองในครั้งนี้จึงได้ค่าการดูดกลืนที่วิเคราะห์โดยภาพถ่าย

การดูดกลืนแสง

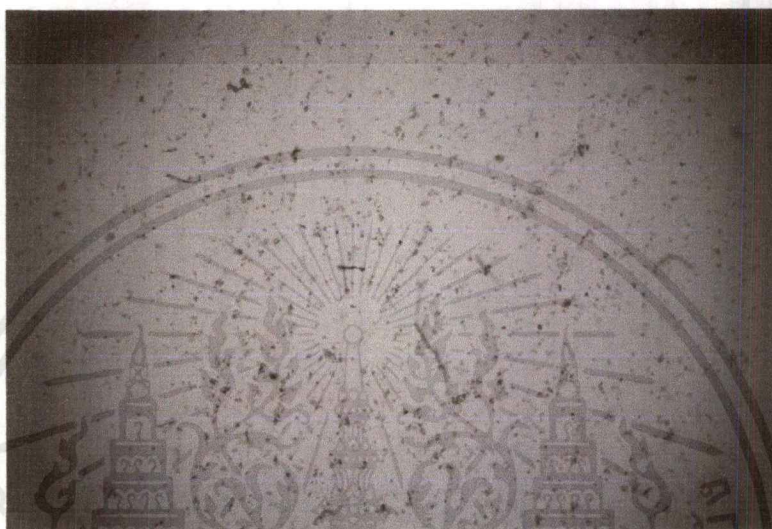
จากการทดลองการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากกล้อง
จุลทรรศน์กระตุ้นที่อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ 3.5.2 ข้อ 3 ผลการทดลองจะแสดงในกราฟความสัมพันธ์
ระหว่างค่า Gray value กับ Distance (pixels) ในรูปที่ 4.13 ถึง รูปที่ 4.21 และค่าความเข้มและ
ความแตกต่างดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย
R6G และ R6G + Au@Pd โดยการถ่ายภาพใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์เป็นตัวกระตุ้น

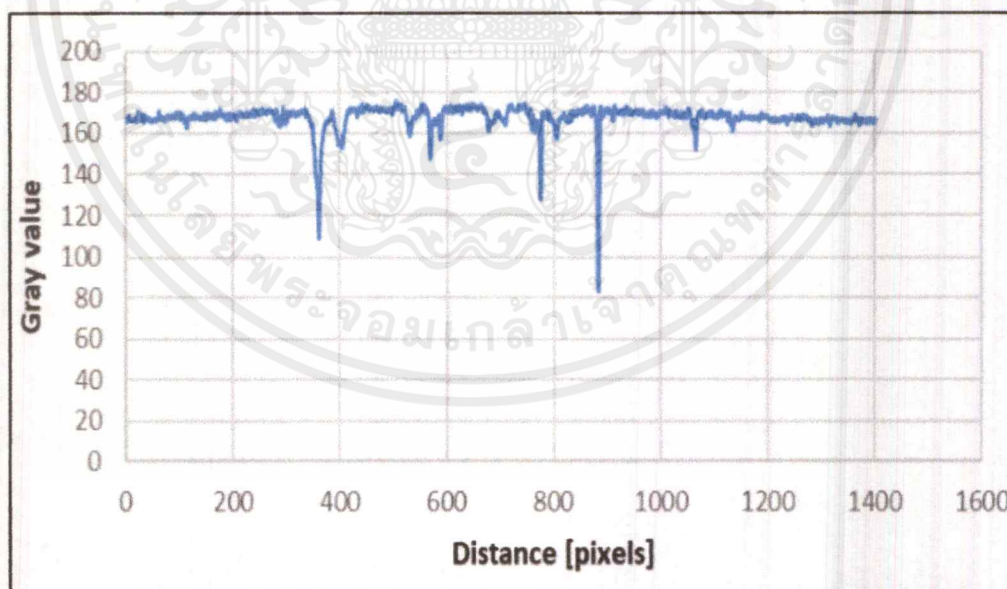
ตัวอย่าง	ค่าความเข้มสูงสุดของ Gray value (Mean \pm SD)	ค่าความเข้มต่ำสุดของ Gray value (Mean \pm SD)	ค่าความแตกต่างของ Gray value (Mean \pm SD)
R6G	175.60 \pm 0.65	83.99 \pm 0.99	91.61 \pm 0.82
A	173.86 \pm 2.73	39.23 \pm 0.68	134.63 \pm 1.70
B	174.06 \pm 2.46	37.03 \pm 0.40	137.03 \pm 1.43
C	172.72 \pm 5.78	35.11 \pm 0.17	137.61 \pm 2.98
D	171.74 \pm 5.17	44.03 \pm 0.37	127.71 \pm 2.77
E	169.07 \pm 2.69	42.26 \pm 1.07	126.81 \pm 0.81
F	169.87 \pm 1.22	86.31 \pm 0.44	83.56 \pm 0.78
G	175.19 \pm 1.15	82.16 \pm 1.56	93.03 \pm 1.36
H	169.93 \pm 1.65	90.49 \pm 1.84	79.44 \pm 1.75

1. ภาพของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 175.60 ± 0.65 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 83.99 ± 0.99 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 91.61 ± 0.82 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.15



(ก)



(ข)

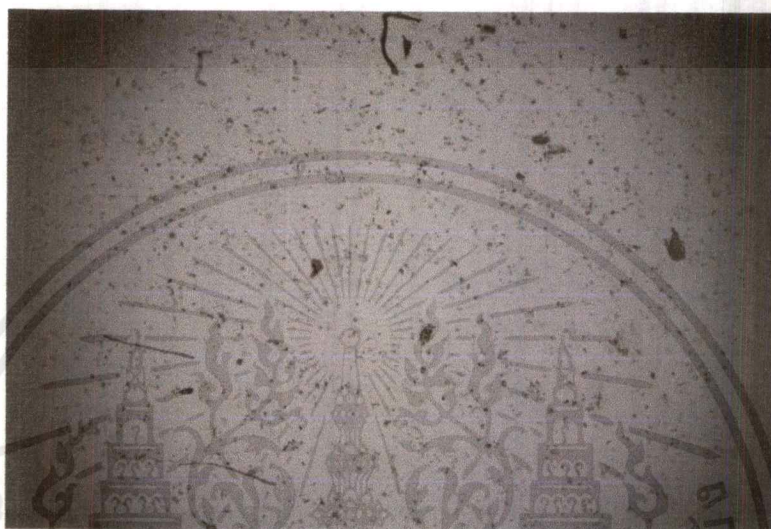
รูปที่ 4.15 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G

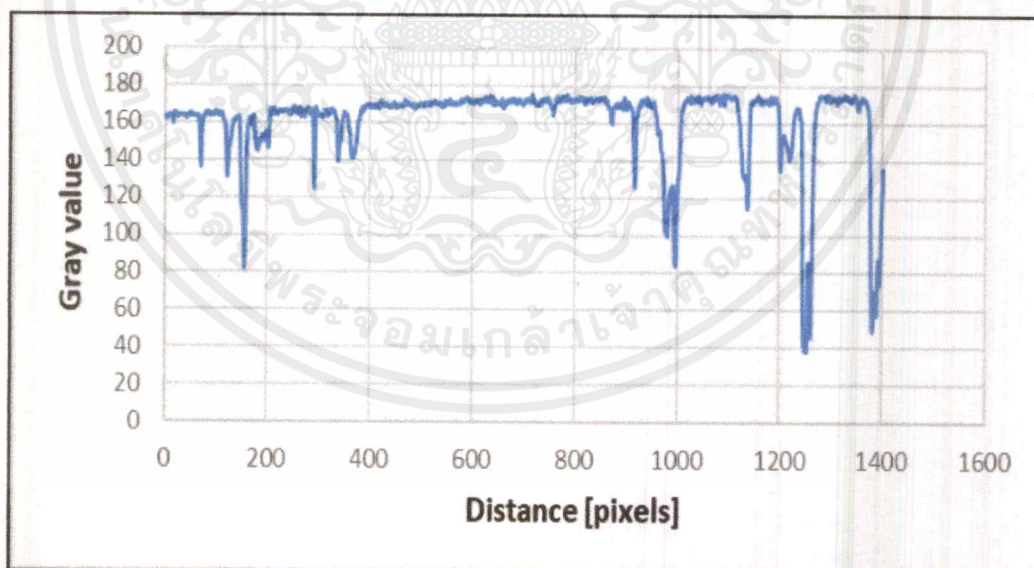
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ภาพของตัวอย่าง A

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 173.86 ± 2.73 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 39.23 ± 0.68 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 134.63 ± 1.70 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.16



(ก)



(ข)

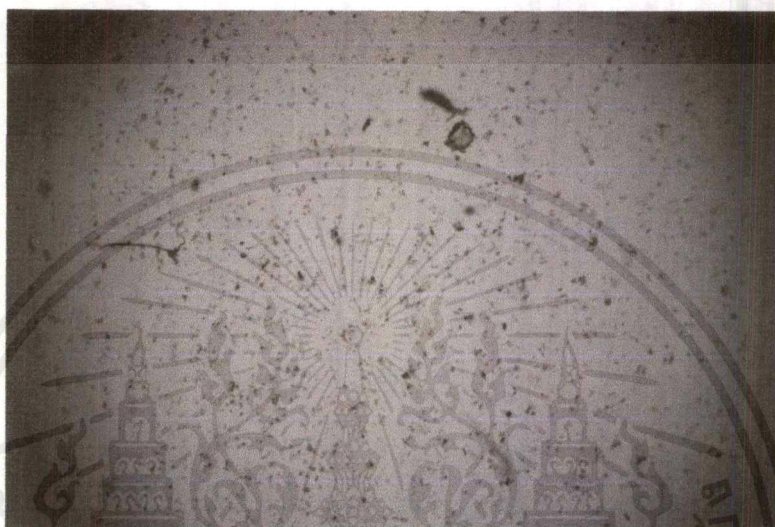
รูปที่ 4.16 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย A

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย A

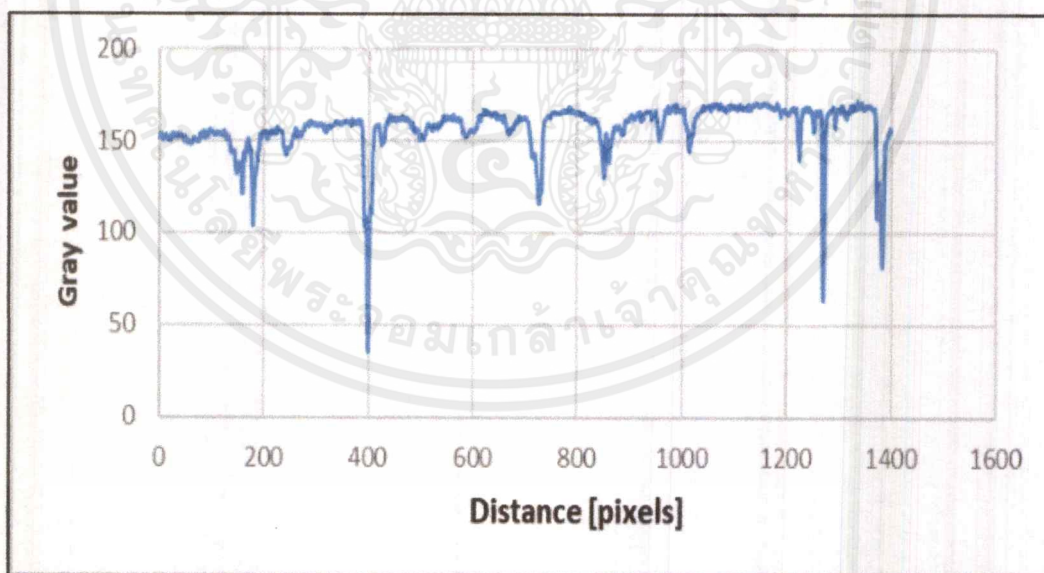
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ภาพของตัวอย่าง B

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 174.06 ± 2.46 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 37.03 ± 0.40 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 137.03 ± 1.43 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.17



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.17 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย B

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย B

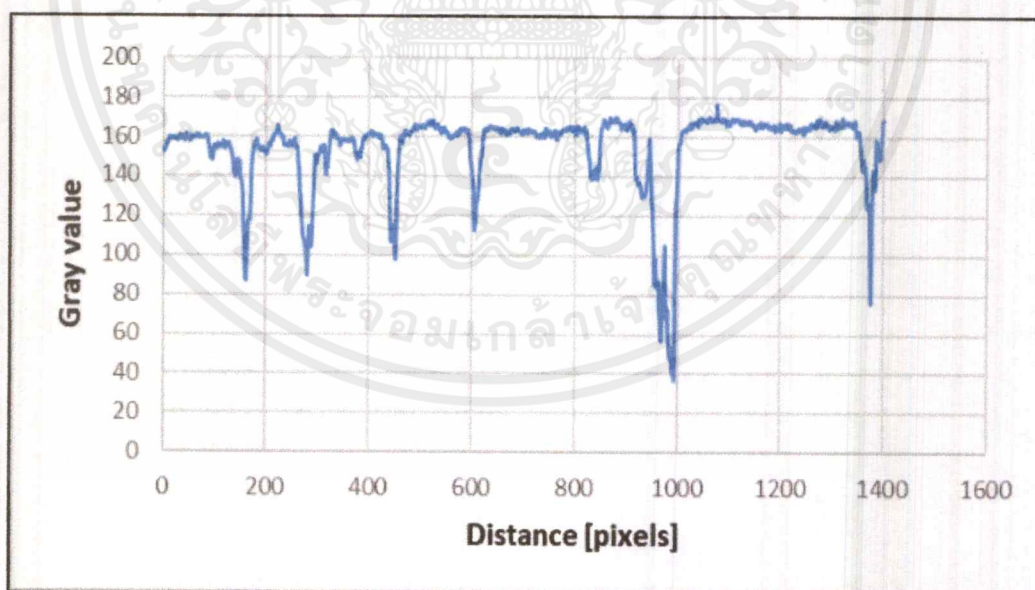
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ภาพของตัวอย่าง C

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 172.72 ± 5.78 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 35.11 ± 0.17 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 137.61 ± 2.98 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.18



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.18 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย C

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย C

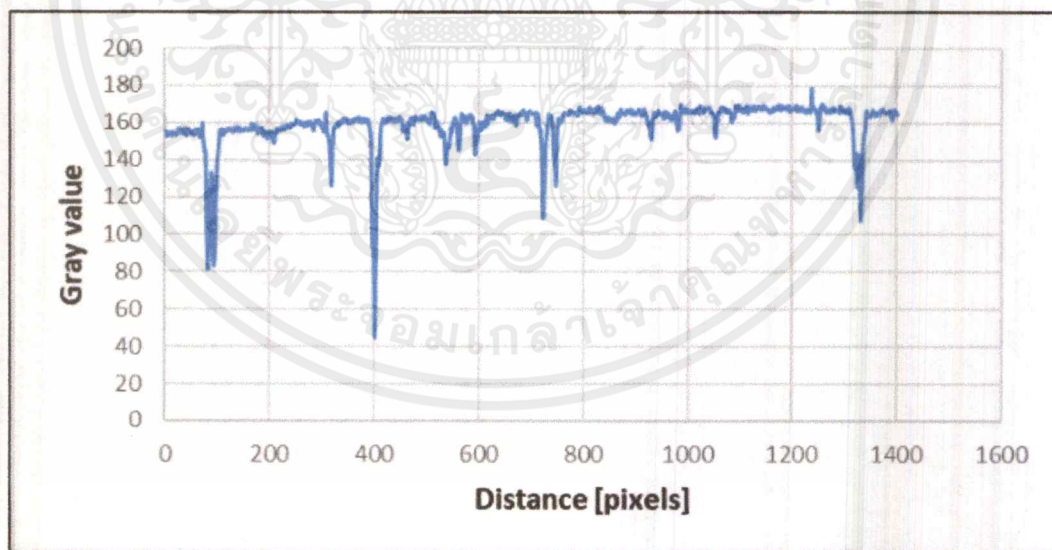
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ภาพของตัวอย่าง D

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G พบว่าค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 171.74 ± 5.17 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 44.03 ± 0.37 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 127.71 ± 2.77 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.19



(ก)



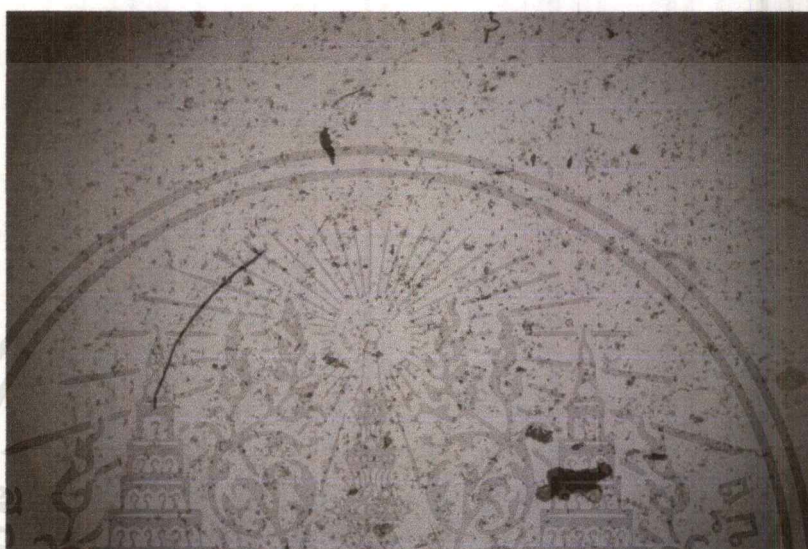
(ข)

รูปที่ 4.19 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย D

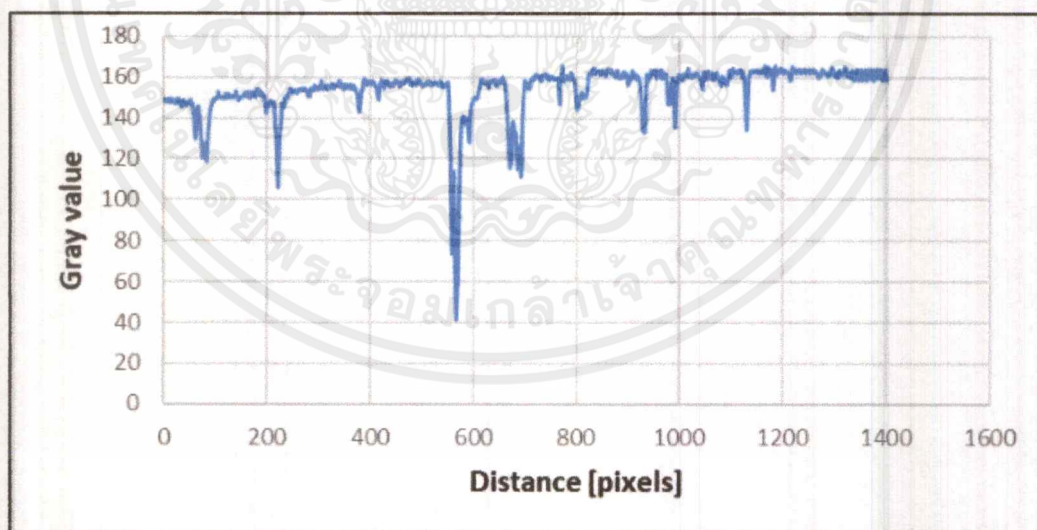
(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย D

6. ภาพของตัวอย่าง E

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 169.07 ± 2.69 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 42.26 ± 1.07 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 126.81 ± 0.81 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.20



(ก)



(ข)

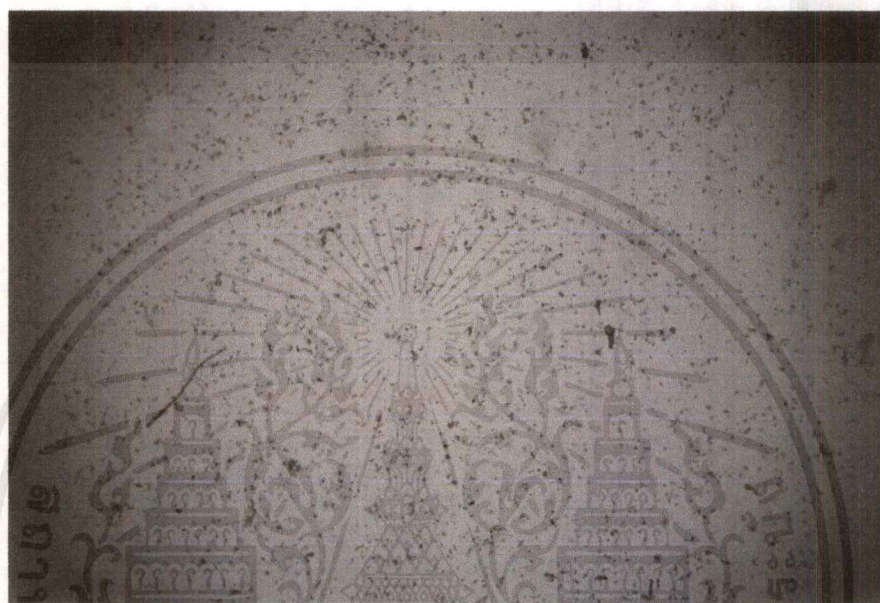
รูปที่ 4.20 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย E

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย E

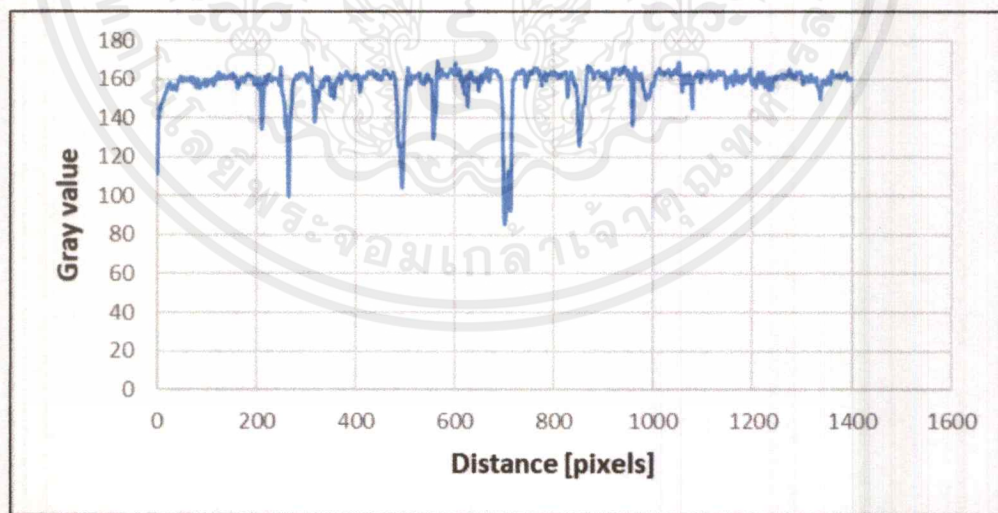
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ภาพของตัวอย่าง F

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 169.87 ± 1.22 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 86.31 ± 0.44 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 83.56 ± 0.78 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.21



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.21 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย F

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย F

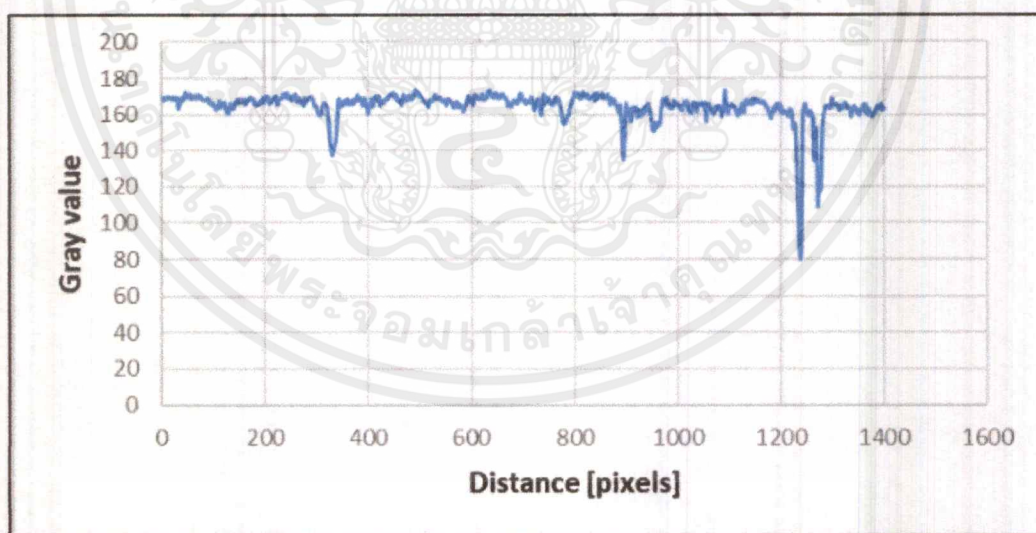
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ภาพของตัวอย่าง G

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 175.19 ± 1.15 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 82.16 ± 1.56 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 93.03 ± 1.36 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.22



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.22 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย G

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย G

9. ภาพของตัวอย่าง H

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากกล้องจุลทรรศน์กระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 169.93 ± 1.65 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 90.49 ± 1.84 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 79.44 ± 1.75 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย H

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงค่าความแตกต่างที่มากที่สุดอยู่ที่ตัวอย่าง C จึงทำให้สรุปว่าที่ตัวอย่าง C ภาพลายนิ้วมือมีความชัดเจนที่สุดและค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดที่ตัวอย่าง H ภาพที่ได้จึงมีความไม่ชัดเจนมากที่สุด

2) ผลการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

จากผลการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงกระตุ้นพบว่า บริเวณที่มีสารละลายจะถูกถ่ายออกมาเป็นบริเวณที่มีการเรืองแสงของสารละลายเป็นแสงสีเขียว เนื่องจากแสงที่ใช้กระตุ้นเป็นไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร เมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุ มีพลังงานมากพอที่จะกระตุ้นอะตอมในสารละลายนั้นให้เกิดการสั่นหรือเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้น แต่เมื่ออะตอมในสารละลายมีพลังงานที่สูงขึ้นมีความไม่เสถียร จึงปลดปล่อยพลังงานในรูปของโฟตอน จึงทำให้อะตอมในสารละลายนั้นดูดกลืนแสงที่เข้าไปและเปล่งแสงออกมา การทดลองในครั้งนี้จึงได้ค่าการเปล่งแสงที่วิเคราะห์โดยภาพถ่าย

การเปล่งแสง

จากการทดลองการศึกษาค้นคว้าการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร เป็นตัวกระตุ้น ที่อธิบายไว้ตามหัวข้อ 3.5.2 ข้อ 3 ผลการทดลองจะแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Gray value กับ Distance (pixels) ในรูปที่ 4.24 ถึง รูปที่ 4.32 และค่าความเข้มและความแตกต่างดังตารางที่ 4.7

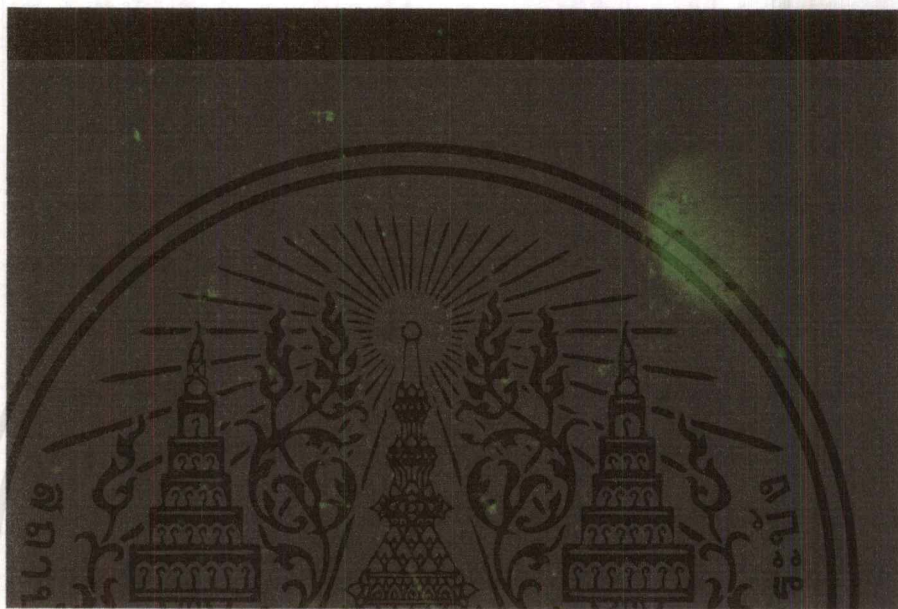
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd โดยอาศัยการถ่ายภาพใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงเป็นตัวกระตุ้น

ตัวอย่าง	ค่าความเข้มสูงสุดของ Gray value	ค่าความเข้มต่ำสุดของ Gray value	ค่าความแตกต่างของ Gray value
R6G	73.67 ± 0.62	0.59 ± 0.52	73.08 ± 0.57
A	95.96 ± 1.73	0.40 ± 0.32	95.56 ± 1.03
B	103.07 ± 1.14	0.89 ± 0.32	102.38 ± 0.73
C	103.40 ± 0.86	0.43 ± 0.31	102.97 ± 0.59
D	89.43 ± 0.97	0.67 ± 0.32	88.76 ± 0.65
E	81.63 ± 0.62	0.80 ± 0.38	80.83 ± 0.50
F	59.28 ± 0.80	0.46 ± 0.49	58.82 ± 0.65
G	45.46 ± 0.41	0.73 ± 0.20	44.73 ± 0.31
H	39.47 ± 0.51	0.98 ± 0.19	38.49 ± 0.35

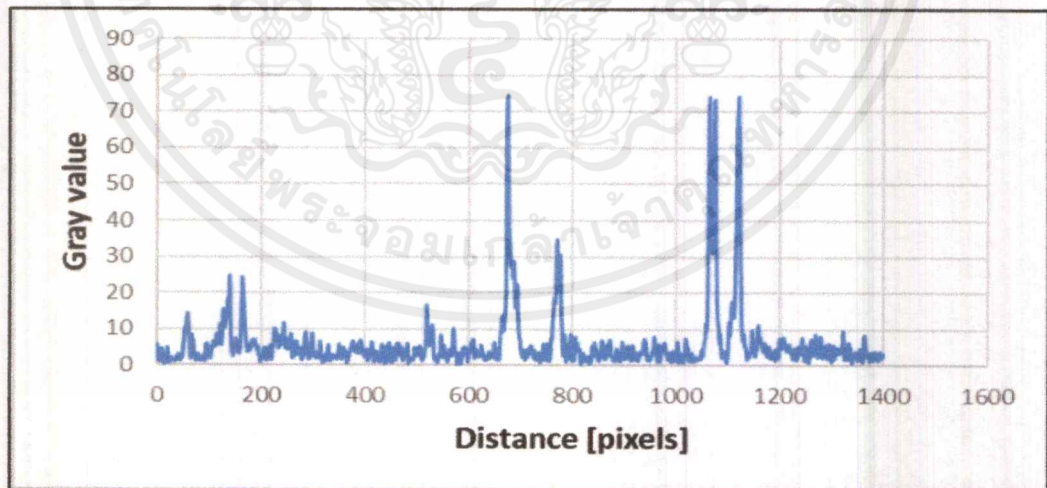
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ภาพของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร เป็นตัวกระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ R6G พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 73.67 ± 0.62 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 95.96 ± 1.73 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 73.08 ± 0.57 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.24



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.24 (ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

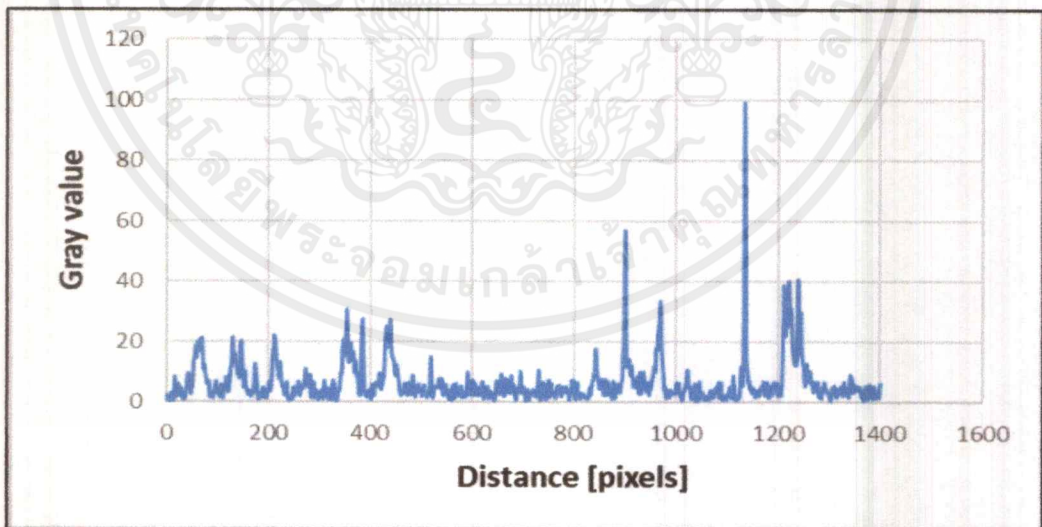
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ภาพของตัวอย่าง A

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ A พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 95.96 ± 1.73 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 0.40 ± 0.32 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 95.56 ± 1.03 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.25



(ก)



(ข)

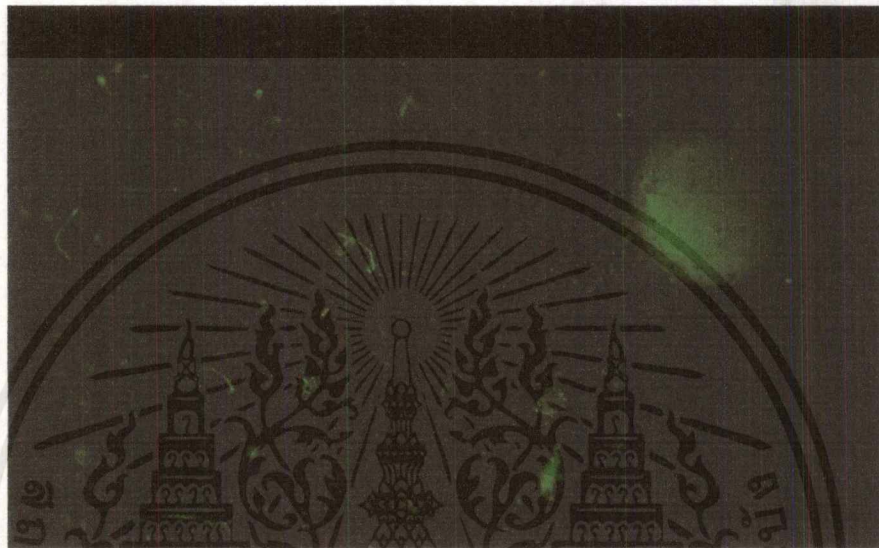
รูปที่ 4.25 (ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย A โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย A ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

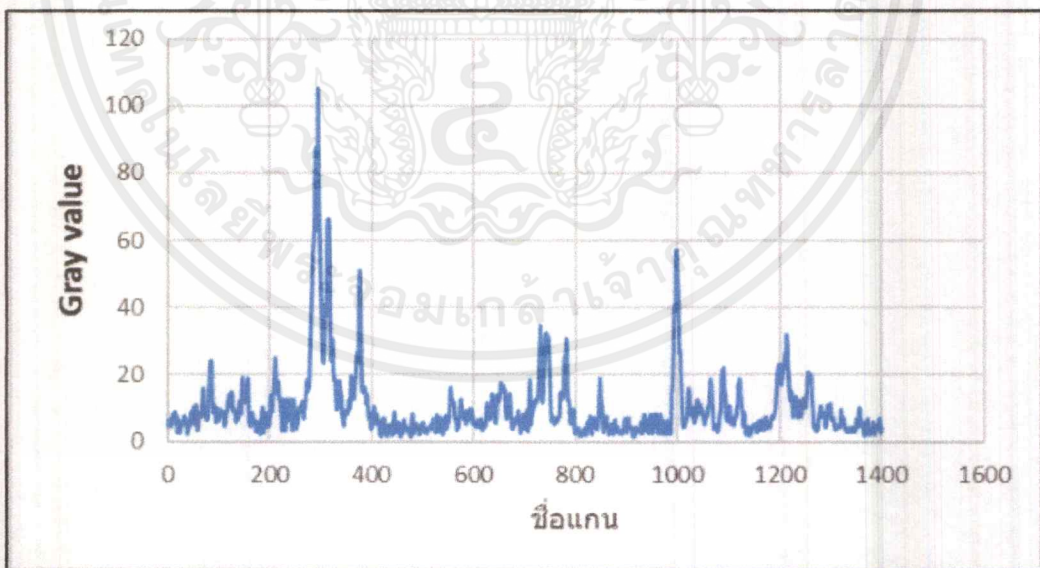
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ภาพของตัวอย่าง B

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ B พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 103.07 ± 1.14 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 0.89 ± 0.32 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 102.38 ± 0.73 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.26



(ก)



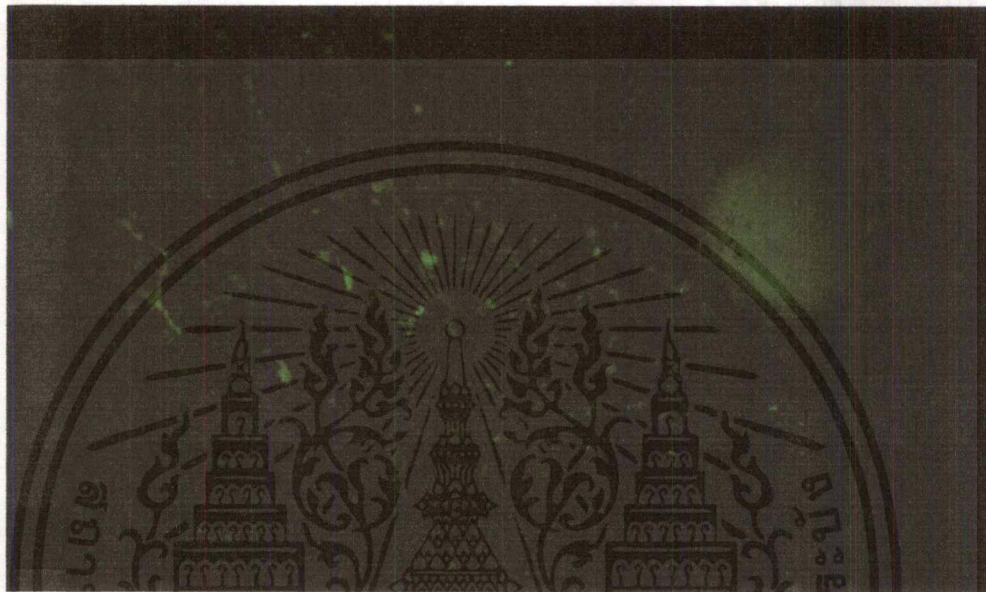
(ข)

รูปที่ 4.26 (ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย B โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น
(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย B ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

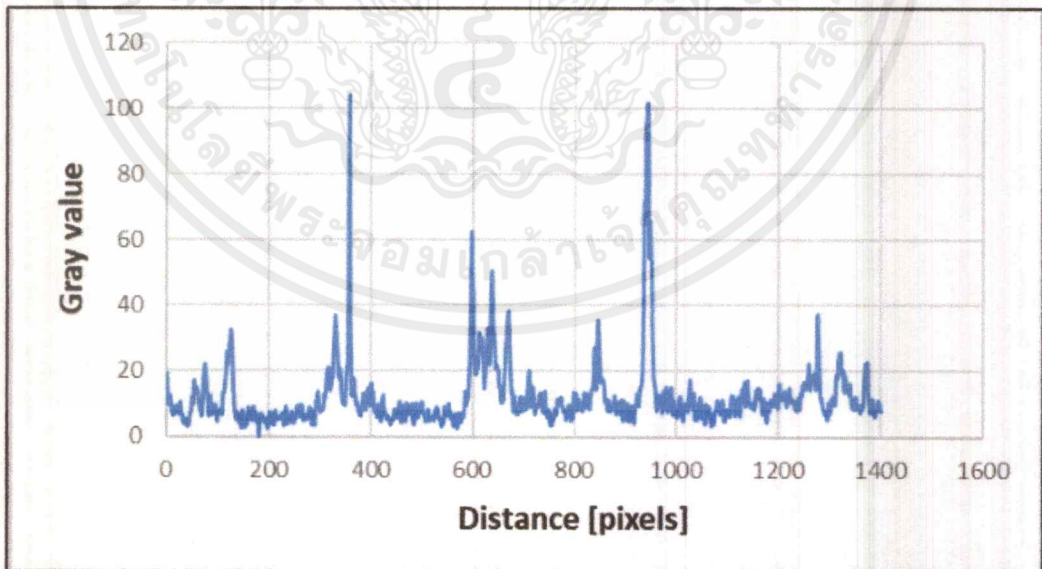
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ภาพของตัวอย่าง C

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ C พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 103.40 ± 0.86 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 0.43 ± 0.31 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 102.97 ± 0.59 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.27



(ก)



(ข)

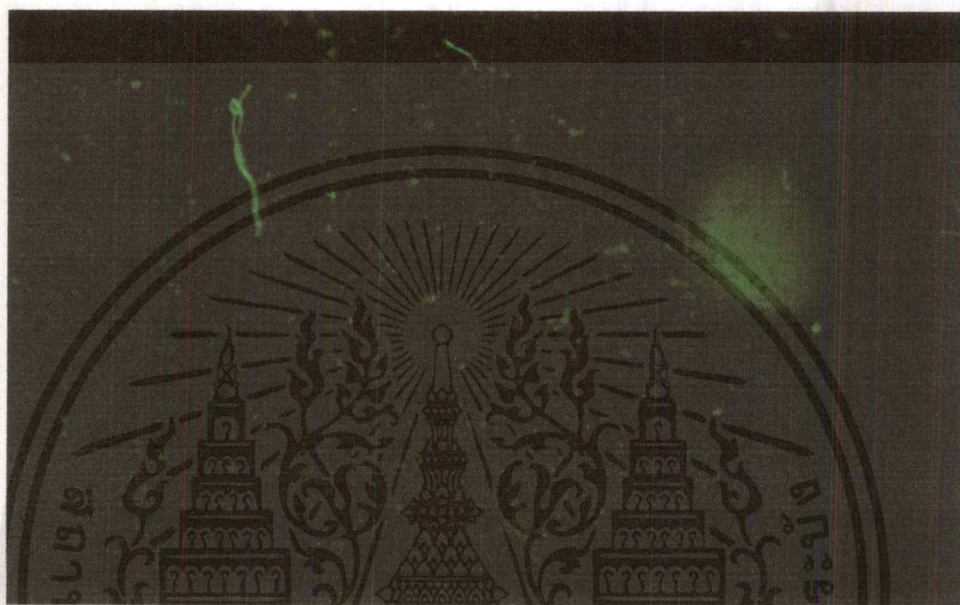
รูปที่ 4.27 (ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย C โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย C ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

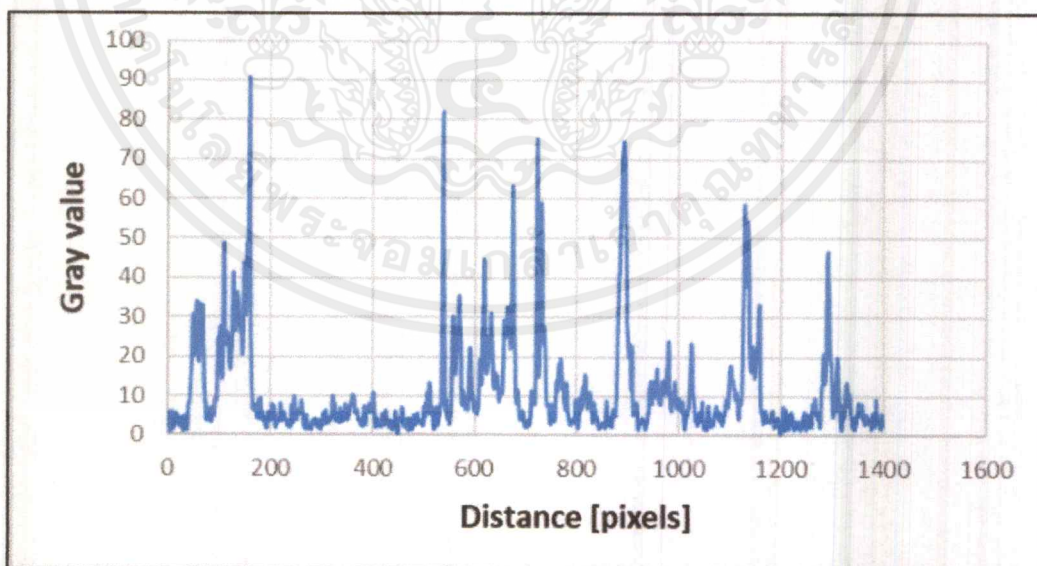
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ภาพของตัวอย่าง D

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ D พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 89.43 ± 0.97 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 0.67 ± 0.32 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 88.76 ± 0.65 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.28



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.28 (ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย D โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น
(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย D ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

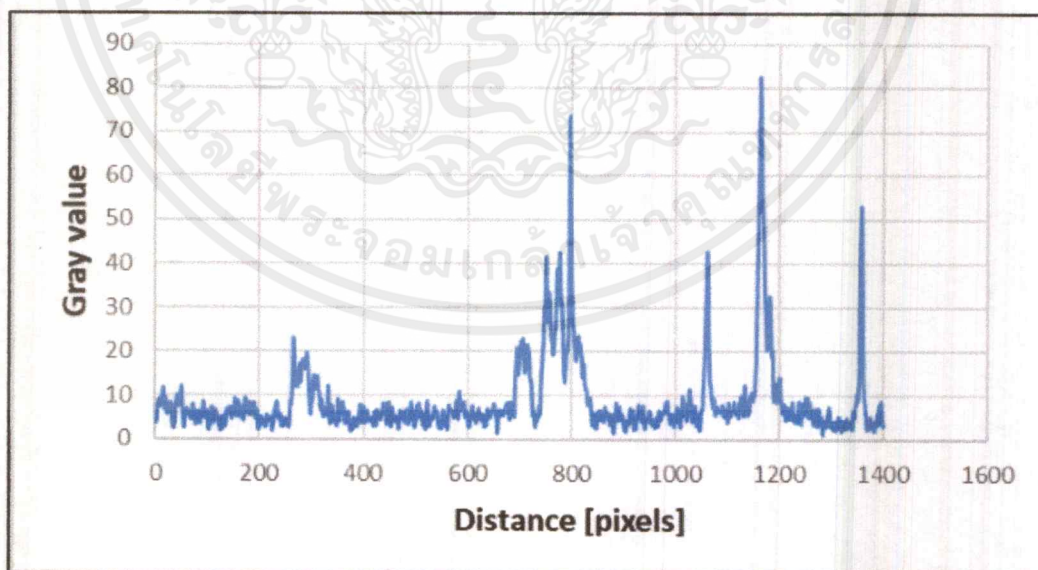
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ภาพของตัวอย่าง E

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ E พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 81.63 ± 0.62 ค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 0.80 ± 0.38 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 80.83 ± 0.50 ของของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.29



(ก)



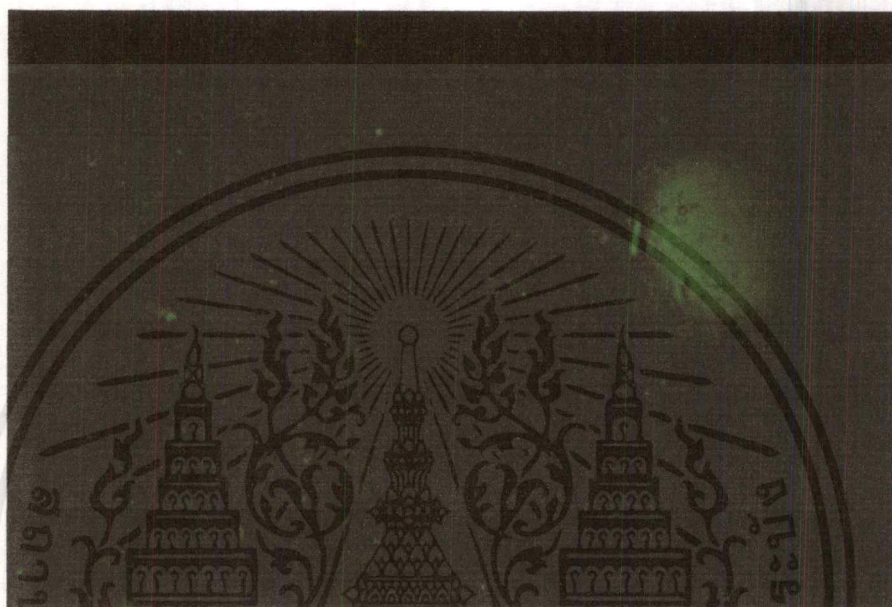
(ข)

รูปที่ 4.29 (ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย E โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น
(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย E ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

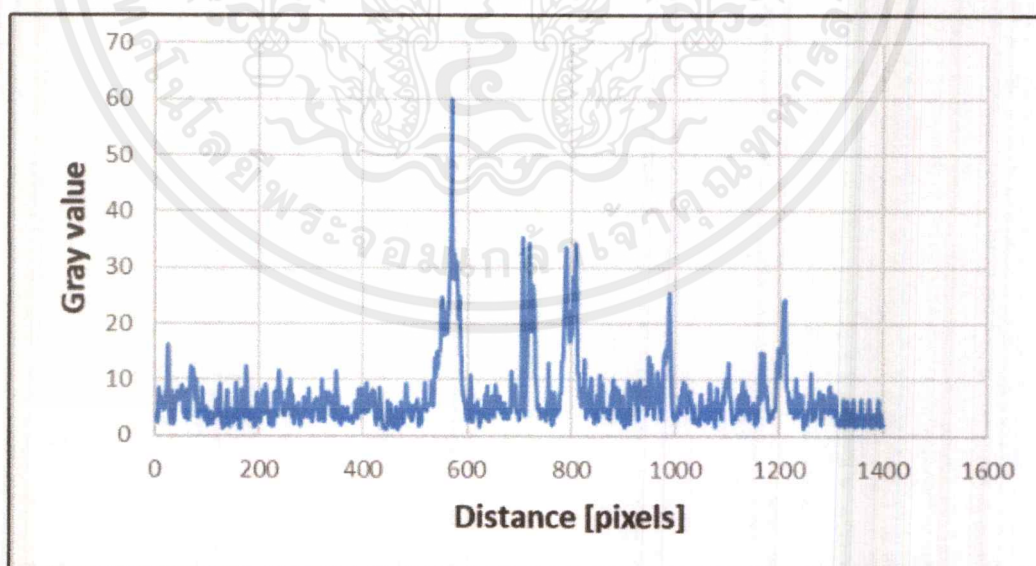
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ภาพของตัวอย่าง F

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ F พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 59.28 ± 0.80 ค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 0.46 ± 0.49 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 58.82 ± 0.65 ของของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.30



(ก)



(ข)

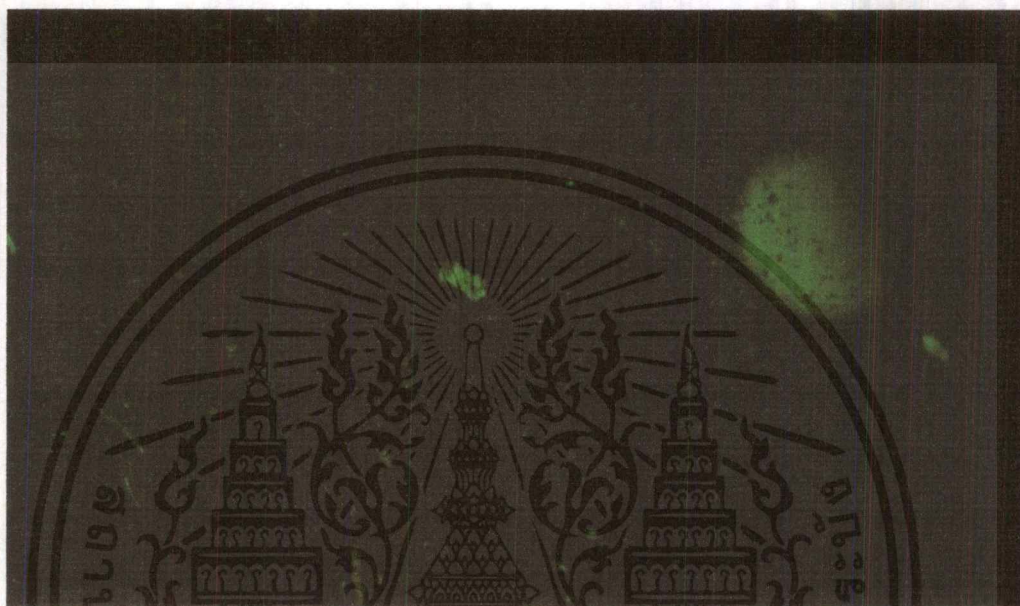
รูปที่ 4.30 (ก) รูปถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย F โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย F ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

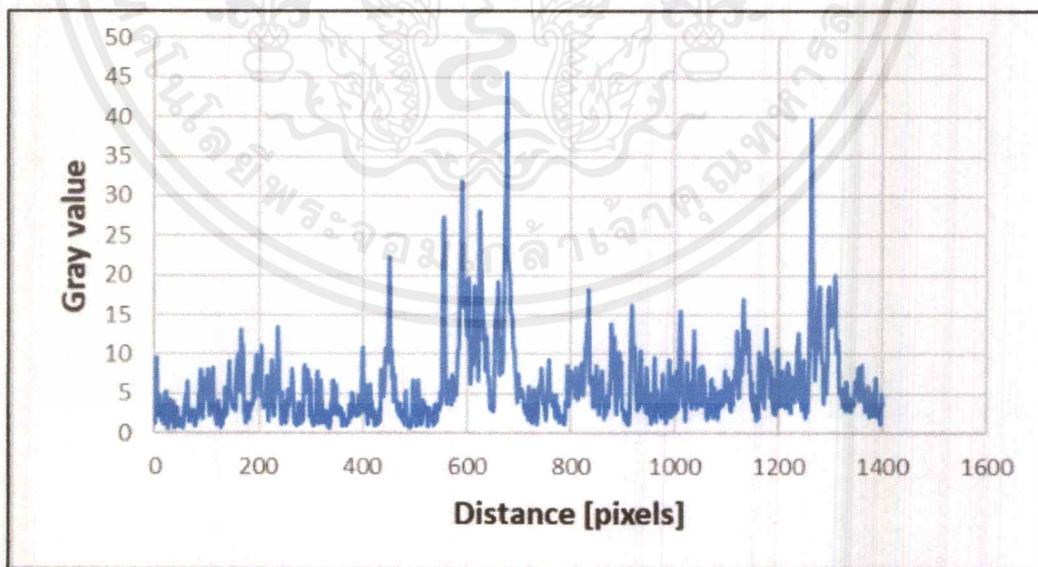
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ภาพของตัวอย่าง G

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ G พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 45.46 ± 0.41 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 0.73 ± 0.20 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 44.73 ± 0.31 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.31



(ก)



(ข)

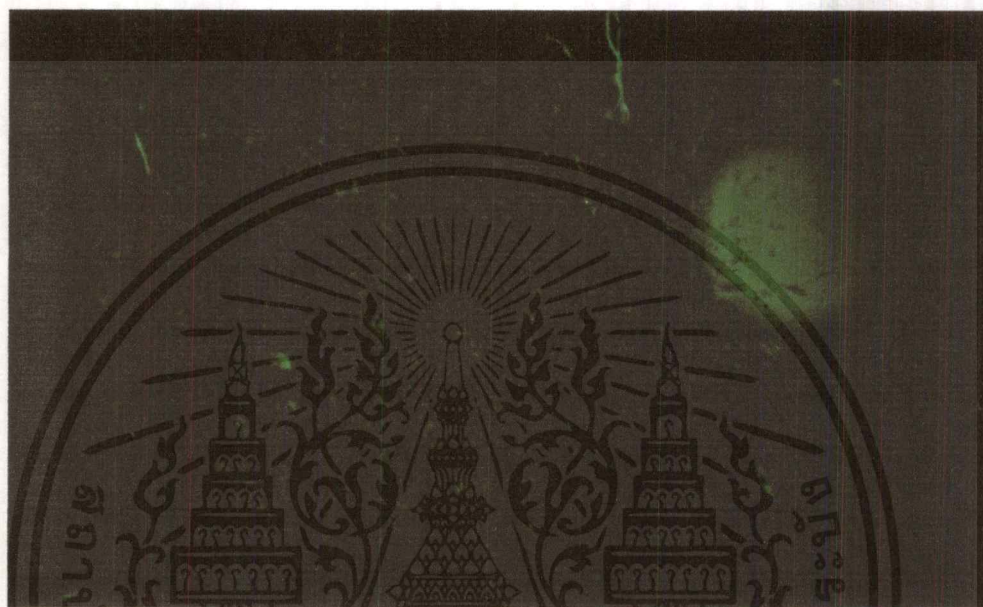
รูปที่ 4.31 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย G โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย G ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

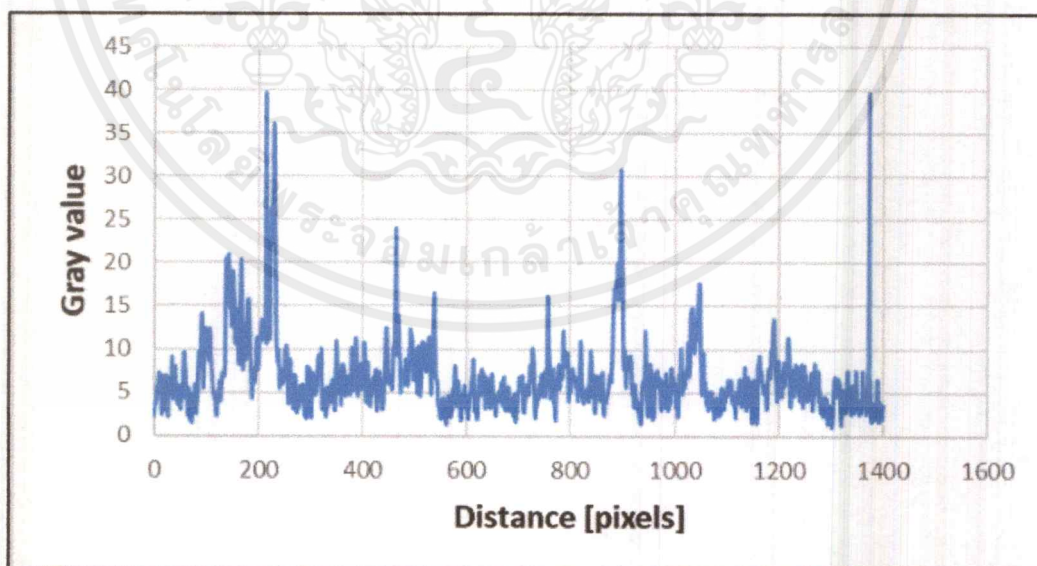
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ภาพของตัวอย่าง H

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 530 นาโนเมตรเป็นตัวกระตุ้นตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่ H พบว่ามีค่าความเข้มสูงสุดอยู่ที่ 39.47 ± 0.51 ของค่า Gray value และมีค่าความเข้มต่ำสุดอยู่ที่ 0.98 ± 0.19 ของค่า Gray value ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 38.49 ± 0.35 ของค่า Gray value แสดงดังรูปที่ 4.32



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.32 (ก) รูปภาพถ่ายตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย H โดยใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

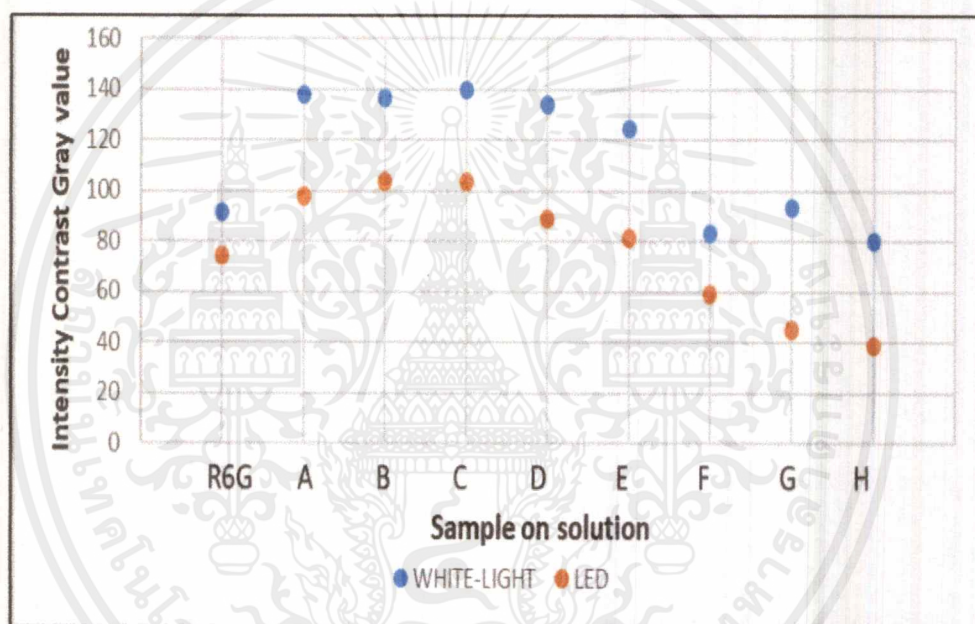
(ข) กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างความเข้มของ Gray value ของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย H ที่ใช้ไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงค่าความแตกต่างที่มากที่สุดอยู่ที่ตัวอย่าง C จึงทำให้สรุปว่าที่ตัวอย่าง C ภาพลายนิ้วมือมีความชัดเจนที่สุด และค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดที่ตัวอย่าง H ภาพที่ได้จึงมีความไม่ชัดเจนมากที่สุด

3) การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสงกระตุ้น

จากการทดลองวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ได้จากการกระตุ้นทั้งสองรูปแบบมีความสอดคล้องกันในช่วงการลดและการเพิ่มของความชัดของภาพดังรูปที่ 4.33 ซึ่งบอกถึงความเข้มของแสงที่ออกมา



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงค่าความแตกต่างของภาพระหว่างการกระตุ้นด้วยแสงขาวจากกล้องจุลทรรศน์และการกระตุ้นจากไดโอดเปล่งแสง

4) การวิเคราะห์ความแตกต่างของสี

จากรูปที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างของการกระตุ้นด้วยแสงสีขาวมีค่ามากกว่าค่าความแตกต่างของการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจากไดโอดเปล่งแสง เมื่อศึกษาหลักการของสี RGB (Red Green Blue) ซึ่งเป็นการระบุตำแหน่งของเฉดสีในรูปแบบของเลขฐานสิบหก โดยอาศัยหลักการทางดิจิทัลในการแปลงเลขฐานสิบหก และเลขฐานสิบ ซึ่งเลขฐานสิบหกมีค่าสูงสุดที่ F เมื่อเทียบกับเลขฐานสิบจะเท่ากับ 15 และเลขฐานสิบหกที่มีค่าต่ำสุดที่ 0 เมื่อเทียบกับเลขฐานสิบจะเท่ากับ 0 ซึ่งหากสีนั้นแสดงในเทอมของสีใด จะมีค่าความเข้มสูงสุดเป็น FF และหากไม่แสดงจะมีค่าความเข้ม

ต่ำสุดเป็น 0 โดยการคำนวณตามค่าหลักการของเลขดีจิตอล เลขฐานสิบหกซึ่งมีค่าเท่ากับเลขฐานสิบ จะเห็นได้ว่าค่าต่ำสุดอยู่ที่ 0 และสูงสุดอยู่ที่ 16777215 ซึ่งหมายความว่า เฉดสีมีด้วยกันทั้งหมด 16777215 เฉดสี เมื่อพิจารณาวิเคราะห์โดยอาศัยข้อมูลและของตำแหน่ง เพื่อหาค่าความแตกต่างระหว่างสีได้ดังนี้

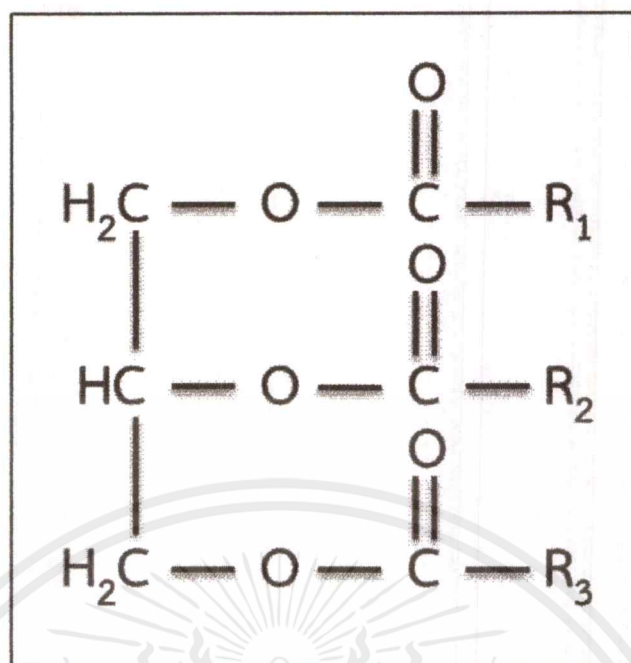
1. การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างสีจากการกระตุ้นด้วยแสงขาว จากการทดลองจะเห็นว่าแสงที่เป็นแสงอ้างอิงเป็นสีขาว ส่วนแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งเป็นตำแหน่งของสารจะเป็นสีดำ ซึ่งความแตกต่างของตำแหน่งสีขาวและสีดำมีความแตกต่างกันอยู่ที่ 16777215

2. การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างสีจากการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจาก LED ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร จากการทดลองจะเห็นว่าแสงที่เป็นแสงอ้างอิงเป็นสีดำ ส่วนแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งเป็นตำแหน่งของสารจะเป็นสีเขียวซึ่งความแตกต่างของตำแหน่งสีดำและสีเขียวมีความแตกต่างกันอยู่ที่ 65280

จากการทดลอง นำการวิเคราะห์ในครั้งนี้อ้างอิงเพื่อบอกถึงความแตกต่างของช่วงสีในช่วงระหว่างสีขาวกับสีดำมีความแตกต่างมากกว่าสีดำกับสีเขียว ความแตกต่างที่มากบอกถึงความชัดของภาพบนตัวอย่างลายนิ้วมือ แสงขาวอาจถูกดูดกลืนได้ง่ายเพราะมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร ซึ่งเมื่อนำมาใช้งานจริงในงานนิติวิทยาศาสตร์ อาจจะส่งผลต่อการวิเคราะห์ภาพได้ กล่าวคือ เมื่อเจอวัตถุแปลกปลอมหรือสิ่งสกปรกที่ไม่ใช่สารละลายที่เตรียมไว้ก็จะส่งผลให้เห็นเป็นก้อนวัตถุสีดำเช่นเดียวกับสารละลายที่เตรียมไว้ ต่างจากการกระตุ้นแสงสีเขียวจาก LED เพราะให้การดูดกลืนคลื่นที่เฉพาะเจาะจง และกระตุ้นให้สารละลายที่เตรียมไว้มีการเปล่งแสงออกมา ส่วนวัตถุใด ๆ ก็จะไม่มีการเปล่งแสงออกมาเนื่องจากไม่ได้รับพลังงานที่มากพอที่จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงาน

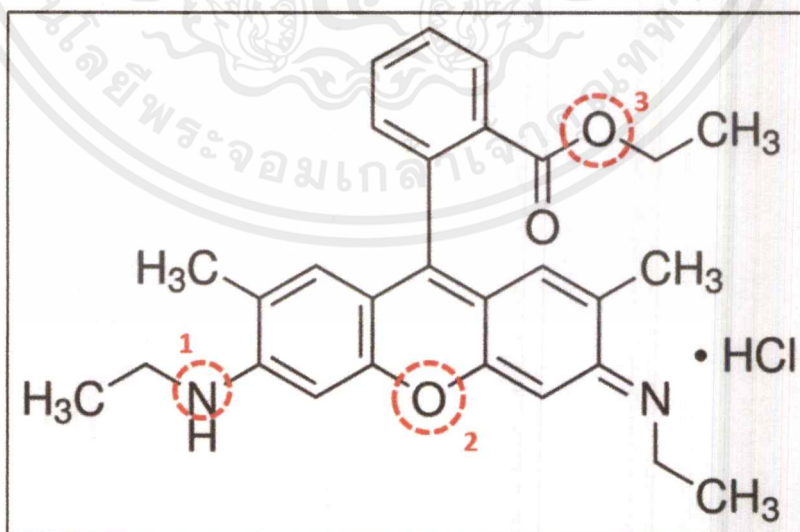
5) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของสารเคมีในลายนิ้วมือกับสารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd

จากการศึกษาขององค์ประกอบของเหงื่อที่ออกมาจากผิวหนัง กรดไขมันซึ่งได้จากเหงื่อเป็นกรดไขมันประเภทไขมันอิ่มตัวเรียกว่า ไตรกรีเซอไรด์ ซึ่งประกอบจาก กลีเซอรอล 1 โมเลกุลกับกรดไขมัน 3 โมเลกุล โดยแสดงสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34 โครงสร้างไตรกรีเซอรอล

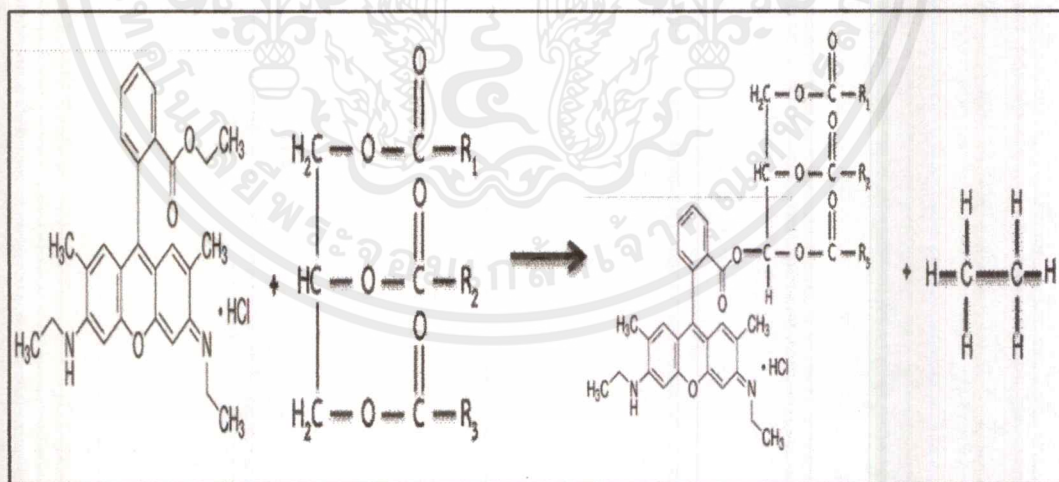
จากการศึกษาการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันหรือไตรกลีเซอรอลกับสารละลายสีย้อมโรดามีน 6จี เมื่อศึกษาโครงสร้างของ R6G ตำแหน่งที่มีอิเล็กตรอนคูโดดเดี่ยวอยู่ 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.35 พิจารณาจากค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตี โดยค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีของออกซิเจนมากกว่าไนโตรเจน ในกรณีตำแหน่งที่สอง ออกซิเจนอยู่ในวงเบนซินซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ยาก ดังนั้นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 4.35 แสดงตำแหน่งที่มีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาของโครงสร้างของโรดามีน 6จี

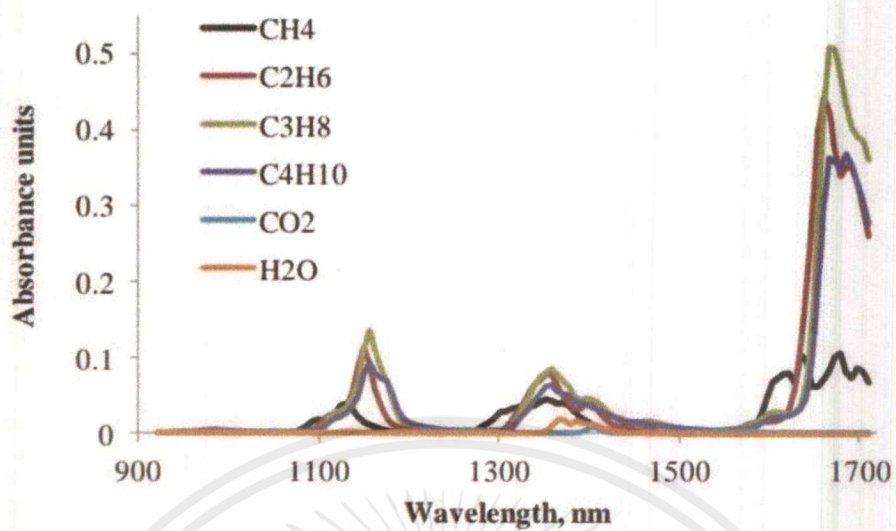
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองนำลายนิ้วมือที่มีความมันจากกรดไขมันจากสิ่งมีชีวิตคือ ไตรกลีเซอไรด์ มาแช่สารละลายโรดามีน 6จี เพื่อศึกษาสมบัติทางแสง เมื่อได้โครงสร้างของสารละลายโรดามีน 6จี และโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์แล้ว เมื่อนำตัวอย่างลายนิ้วมือซึ่งมีกรดไขมันอยู่มาแช่ในสารละลายดังกล่าว กรดไขมันจากนิ้วมือจะทำปฏิกิริยากับสารละลายดังรูปที่ 4.36 แต่เมื่อศึกษาจากแรงภายในโมเลกุลแล้ว (Intermolecular Force) จะพบว่า โครงสร้างระหว่างการจับพันธะกันของ R6G และไตรกลีเซอไรด์เป็นแรงแบบไม่มีขั้ว ซึ่งพลังงานในกับจับพันธะกันมีค่าน้อยมาก ๆ จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานน้อยมาก และเมื่อเทียบกับการทดลองวัดการเปล่งในรูปของสารละลายซึ่งมีเพียงสารละลายและในรูปของฟิล์มที่มีการเกิดการทำให้ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกับ ไตรกลีเซอไรด์พบว่ามีค่าความยาวคลื่นอยู่ใกล้เคียง ซึ่งค่าความยาวคลื่นนั้นมีความสัมพันธ์กับพลังงานโดยแสงได้ดังสมการ $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ เมื่อ hc เป็นค่าคงที่ ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและความยาวคลื่นที่มีความแปรผกผันกัน $E \propto \frac{1}{\lambda}$ แต่ด้วยเหตุที่ว่าไตรกลีเซอไรด์เป็นของแข็ง เมื่อมีมากขึ้นจะส่งผลให้ไปบดบังการเรืองแสงของสารละลาย ส่งผลให้ความเข้มแสงลดลง และพลังงานอาจมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย กล่าวคือ จำนวนที่ต่างกันของไตรกลีเซอไรด์ย่อมมีผลต่อการลดลงของความเข้มแสงที่เปล่งออกมา ประกอบกับสารที่ได้จากการทำปฏิกิริยานี้ Ethane ซึ่งจากการศึกษาแล้วพบว่าการดูดกลืนย่านอินฟราเรด ดังรูปที่ 4.37 [46] เหตุนี้เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายจึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนการเรืองแสงในย่านความยาวคลื่นของสารละลาย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารประกอบบางเคมีในลายนิ้วมือไม่มีผลต่อการเรืองแสงของสารละลายโรดามีน 6จี



รูปที่ 4.36 สมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง R6G กับ Triglyceride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ Ethan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ลายนิ้วมือ ถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการระบุตัวตนและมีความสำคัญทางด้านนิติวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก เนื่องจากลายนิ้วมือเป็นคุณลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละบุคคลไม่ซ้ำกัน เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ มีการเปลี่ยนแปลงในธรรมชาติของรูปแบบลายนิ้วมือน้อย นอกจากการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลมาจากอุบัติเหตุ ลายนิ้วมือจึงถูกจัดเป็นหนึ่งในวัตถุพยานที่มีความสำคัญและเป็นที่ยอมรับในสังคมอย่างมากสำหรับการนำมาใช้ในการพิสูจน์ตัวตน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพความชัดของภาพลายนิ้วมือ โดยอาศัยหลักการทางแสงของสารละลายและอนุภาคนาโน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระบวนการจัดเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี (R6G) ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม (Au@Pd) เพื่อใช้ในการทดลอง รวมถึงศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลายโรดามีน 6จี (R6G) ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบด้วยแพลเลเดียม (Au@Pd) ได้แก่ การดูดกลืนและการเปล่งแสง เพื่อใช้วิเคราะห์ความชัดของภาพลายนิ้วมือ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองโดยแบ่งออกการทดลองเป็น 2 หัวข้อคือ หัวข้อที่ 1 การทดลองการศึกษาระยะเวลาที่ตีดีที่สุดในการแช่สารละลาย R6G และความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI ที่ระยะเวลา 30 นาที ไม่ล้างน้ำ มีความแตกต่างของค่า Gray Value มากที่สุดอยู่ที่ 121.2596 ของค่า Gray Value ซึ่งให้ภาพที่มีความชัดมากที่สุด และในหัวข้อที่ 2 การทดลองการศึกษสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปแบบต่าง ๆ โดยสารละลายตัวอย่าง 9 ตัวอย่างที่ผสม R6G ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M เท่ากันแต่เพิ่มความเข้มข้นของ Au@Pd ดังนี้ ตัวอย่าง R6G (ไม่มีการเติม Au@Pd) ตัวอย่าง A (ความเข้มข้นของ Au@Pd เท่ากับ 0.0470×10^{-4} M) ตัวอย่าง B (ความเข้มข้นของ Au@Pd เท่ากับ 0.0940×10^{-4} M) ตัวอย่าง C (ความเข้มข้นของ Au@Pd เท่ากับ 0.1409×10^{-4} M) ตัวอย่าง D (ความเข้มข้นของ Au@Pd เท่ากับ 0.1879×10^{-4} M) ตัวอย่าง E (ความเข้มข้นของ Au@Pd เท่ากับ 0.2349×10^{-4} M) ตัวอย่าง F (ความเข้มข้นของ Au@Pd เท่ากับ 0.7047×10^{-4} M) ตัวอย่าง G (ความเข้มข้นของ Au@Pd เท่ากับ 1.1745×10^{-4} M) และ ตัวอย่าง H (ความเข้มข้นของ Au@Pd เท่ากับ 1.6443×10^{-4} M) ในหัวข้อการทดลองที่ 2 นี้ผู้วิจัยได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ การศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย ซึ่งในผลการทดลองสารที่มีการดูดกลืนแสงมากที่สุดคือสารตัวอย่าง H ซึ่งมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ความยาวคลื่น 526.64 นาโนเมตร โดยสารที่มีการเปล่งแสงมากที่สุดคือสารตัวอย่าง B ซึ่งมีค่าการเปล่งแสงอยู่ที่ความยาวคลื่น 554.43 นาโนเมตร และสาร

ตัวอย่าง C ซึ่งมีค่าการเปล่งแสงใกล้เคียงและมีความยาวคลื่นเดียวกับสารตัวอย่าง B ส่วนที่ 2 การศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ผลการทดลองในส่วนนี้มีความสอดคล้องกับการทดลองในส่วนที่ 1 สารที่มีค่าการดูดกลืนสูงสุดคือสารตัวอย่าง H ซึ่งมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ความยาวคลื่น 533.02 นาโนเมตร โดยสารที่มีการเปล่งแสงมากที่สุดคือสารตัวอย่าง B ซึ่งมีค่าการเปล่งแสงอยู่ที่ความยาวคลื่น 556.74 นาโนเมตร และสารตัวอย่าง C ซึ่งมีค่าการเปล่งแสงใกล้เคียงและมีความยาวคลื่นเดียวกับสารตัวอย่าง B แต่ค่าที่ได้ของส่วนที่ 2 จะมิต่ำกว่าในการทดลองส่วนที่ 1 เนื่องจากส่วนที่ 2 วัดจากตัวอย่างที่อยู่บนลายนิ้วมือซึ่งส่วนที่ 1 วัดจากสารละลายโดยตรง จะเห็นได้ว่าการทดลองทั้งสองส่วนให้ผลการทดลองที่สมเหตุสมผลกัน และการทดลองครั้งนี้จุดที่มีการเปล่งแสงมากที่สุดจะแบ่งตัวอย่างออกเป็นสองทิศทาง คือทิศทางที่แนวโน้มการเปล่งแสงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของสารละลาย R6G เมื่อมีการเติม Au@Pd เข้าไป จะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างกัน R6G จะได้รับพลังงานจาก Au@Pd แล้วโมเลกุลเปลี่ยนระดับพลังงานไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้นแล้วปลดปล่อยพลังงานออกมาและการสั่นพ้องมีการสูญเสียพลังงานที่น้อย ซึ่งส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพในการเรืองแสงเพิ่มมากขึ้น และทิศทางที่มีการเปล่งแสงลดลง เนื่องจากโมเลกุลของสารละลาย R6G เมื่อมีการเติม Au@Pd เข้าไป จะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างกัน ซึ่งเมื่อเติมไปถึงจุดหนึ่ง โมเลกุลของ Au@Pd มีจำนวนมาก จะทำให้โมเลกุลของสารละลาย R6G สูญเสียพลังงานให้กับโมเลกุลของ Au@Pd ทำให้เกิดการสั่นพ้องได้ยากและมีการสูญเสียพลังงานในการสั่นพ้องระหว่างโมเลกุลเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเรืองแสงของสารตัวอย่างมีค่าลดลง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการทดลองว่าสารตัวอย่างใดที่ทำให้ภาพชัดเจนมากที่สุด จึงทำการทดลองในส่วนที่ 3 การศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ ในส่วนนี้ผู้วิจัยวิเคราะห์ภาพโดยใช้โปรแกรม Image J และผู้วิจัยได้จัดรูปแบบการทดลองออกเป็น 2 รูปแบบการทดลอง ดังนี้ รูปแบบที่ 1 การศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อาศัยการกระตุ้นจากแสงของกล้องจุลทรรศน์ซึ่งเป็นแสงขาว โดยสารที่มีความแตกต่างของค่า Gray value มากที่สุดคือสารตัวอย่าง C ซึ่งมีค่าความแตกต่างอยู่ที่ 139.5789 ของค่า Gray value ให้ภาพที่มีความชัดมากที่สุด รูปแบบที่ 2 การศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อาศัยการกระตุ้นจากไดโอดเปล่งแสงซึ่งเป็นแสงสีเขียว ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร โดยสารที่มีความแตกต่างของค่า Gray value มากที่สุดคือสารตัวอย่าง C ซึ่งมีค่าความแตกต่างอยู่ที่ 103.7131 ของค่า Gray value ให้ภาพที่มีความชัดมากที่สุด ซึ่งการทดลองทั้งสองรูปแบบที่กล่าวมาข้างต้น ให้ผลการทดลองที่มีความสอดคล้องกัน และจากการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวมีค่าความแตกต่างมากกว่าการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวเนื่องจากตำแหน่งระหว่างสีเขียวและสีอ้างอิงหรือสีดำอยู่ห่างกันมากกว่าตำแหน่งระหว่างสีเขียวและสีอ้างอิงหรือสีดำ แต่เนื่องจากแสงสีเขียวมีความยาวคลื่นที่กว้างกว่าแสงสีเขียว จึงทำให้การสังเกตและแยกสารเคมีที่ต้องการและสิ่งปนเปื้อนได้ยาก ซึ่งต่างจากการแสงสีเขียวที่เปล่งแสงมาในช่วงความยาวคลื่นสั้น ๆ ทำให้แยกสารและสิ่งปนเปื้อนได้ง่ายกว่า เนื่องจากศึกษาผลการทดลองเชิงแสงการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารละลาย R6G กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันในสิ่งมีชีวิตแล้วพบว่า แรงภายในโมเลกุล (Intermolecular Force) เกิดจากกรดไขมันทำปฏิกิริยากับ R6G แล้วเกิดปฏิกิริยาที่อ่อนมาก เมื่อพิจารณาที่ความยาวคลื่นในการเปล่งแสงระหว่างการเปล่งแสงของสารละลายซึ่งมีเพียง R6G + Au@Pd และตัวอย่างที่แช่สารละลายซึ่งมี R6G + Au@Pd + Triglyceride พบว่าความยาวคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เหตุนี้เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายจึงส่งผลต่อการเปลี่ยนพลังงานในการเรืองแสงในย่านความยาวคลื่นของสารละลายเพียงเล็กน้อย ประกอบกับความเข้มแสงมีการลดลงเนื่องจาก Triglyceride เป็นของแข็งอาจจะเกิดการบดบังความสามารถในการเรืองแสงของสารละลายได้ นอกจากนี้ระหว่างการทำปฏิกิริยายังได้สารเคมี Ethan หลุดออกมาจากปฏิกิริยา แต่เนื่องด้วย Ethan มีการดูดกลืนแสงในย่านอินฟราเรดจึงไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางแสงของสารละลาย

จากการทดลองในงานวิจัยนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือโดยใช้สารละลายสีย้อม R6G ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M เมื่อใส่ Au@Pd ลงไปที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าภาพจะมีความชัดเจนมากที่สุดที่สารตัวอย่าง C ที่ความเข้มข้น 0.1409×10^{-4} M ของ Au@Pd โดยการแช่สารละลายตัวอย่าง C เป็นเวลา 30 นาที ไม่ล้างน้ำ DI

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพความชัดของภาพลายนิ้วมือ โดยอาศัยหลักการทางแสงของสารละลายและอนุภาคนาโน ซึ่งใช้สารละลายสีย้อม R6G ร่วมกับอนุภาค Au@Pd ซึ่งในการทดลองผู้วิจัยได้พบปัญหาในการทดลองตลอดการวิเคราะห์ผลการทดลองต่าง ๆ ดังนี้

1. อนุภาค Au@Pd มีปริมาณจำกัดต่อการทดลอง ราคาสูงจึงไม่สามารถที่จะใช้ในปริมาณที่มากได้ และส่งผลทำให้เกิดข้อจำกัดในการทดลองซ้ำครั้งต่อไป
2. ในการวิเคราะห์การดูดกลืนจำเป็นต้องมีห้องที่สามารถปกปิดแสงจากภายนอกมากกว่าห้องที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้
3. การวัดการดูดกลืนและการเปล่งแสงบนตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลายตัวอย่าง อาจมีสิ่งแปลกปลอมที่เกิดจากสภาวะอากาศต่าง ๆ ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในการวิเคราะห์กราฟ
4. การถ่ายภาพต้องปรับระยะความชัดของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีความชัดมากที่สุด
5. ในการวิเคราะห์ภาพจากโปรแกรม Image J จำเป็นต้องหาที่ตำแหน่งเดียวกันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์ต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ตัวอย่างลายนิ้วมือ. [online]. 11 สิงหาคม 2561. Available :
<http://teach4teen.blogspot.com/2012/05/blog-post.html>
- [2] ชัยรัตน์ องควิษฐ์. ลายนิ้วมือ และประโยชน์จากลายนิ้วมือ. [online]. 11 สิงหาคม 2561. Available: <http://thaihealthlife.com/ลายนิ้วมือ/>
- [3] ญัฐริรา สงฆโณนเหล็ก. “การทำให้ปรากฏขึ้นของรอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวไม่มีรูพรุน โดยใช้ผงขมิ้น.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [4] อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ. “นิติวิทยาศาสตร์2 เพื่อการสืบสวนสอบสวน.” พิมพ์ครั้งที่ 6 (กรุงเทพฯ : บริษัท ทีซีจี พรินติ้ง จำกัด, 2552), 4.
- [5] ธนพงศ์ หลักนครพล. ลักษณะลายนิ้วมือ. [online]. 11 สิงหาคม 2561. Available :
<https://www.bloggang.com/mainblog.php?id=fingerprintbraininsight&month=20-03-2017&group=1&gblog=3>
- [6] ปิติภูมิ อรรถมงคล. (2552). “พัฒนาผงฝุ่นเพื่อใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [7] หทัยทิพย์ ทิพย์รงค์. (2558). “การพัฒนาผงฝุ่นดำจากถ่านไม้เพื่อใช้ในการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงบนถ้วยที่ทำจากเซรามิค พลาสติกและกระดาษ.” โครงการงานพิเศษ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [8] M. C. Do. การตรวจเก็บลายนิ้วมือ. [online]. 12 สิงหาคม 2561. Available :
<https://www.bloggang.com/mainblog.php?id=muforensic&month=26-01-2010&group=9&gblog=4>
- [9] วิธีการใช้น้ำยาเคมี. [online]. 21 สิงหาคม 2561. Available :
<http://www.cifs.moj.go.th/main/index.php/th/aboutcifs/administration/division-forensic-investigation/fingerprints>
- [10] วิธีการนินไฮดริน. [online]. 21 สิงหาคม 2561. Available :
https://th.pngtree.com/freepng/colorful-fingerprint_1736096.html
- [11] วิธีการซิลเวอร์ไนเตรท. [online]. 21 สิงหาคม 2561. Available :
<https://www.arrowheadforensics.com/a-6456-nin-print.html>
- [12] วิธีการคริสตัลไวโอเลท. [online]. 21 สิงหาคม 2561. Available :
<https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/metal-tube-of-super-glue-vector-1782030>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] **Iodine Faming.** [online]. 21 สิงหาคม 2561. Available :
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/321393.php>
- [14] **Superglue.** [online]. 21 สิงหาคม 2561. Available :
<https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/metal-tube-of-superglue-vector-1782030>
- [15] **วิธีการลอกลายนิ้วมือ.** [online]. 21 สิงหาคม 2561. Available :
<http://topicstock.pantip.com/wahkor/topicstock/2008/10/X7136319/X7136319.html>
- [16] **วิธีการใช้แสงเลเซอร์.** [online]. 21 สิงหาคม 2561. Available :
<https://phys.org/news/2018-06-laser-silicon.html>
- [17] **สารเรืองแสงโรดามีน 6จี.** [online]. 19 สิงหาคม 2561. Available :
https://www.luna.ovh/planeta/es/Rodamina_6G
- [18] **สเปกตรัมการดูดกลืนและการเปล่งแสงของโรดามีน 6.** [online]. 20 สิงหาคม 2561.
Available : <http://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/fluorescence-spectroscopy-rhodamine-6g-5-paragraph-explain-absorption-emission-wavelengths-q21917345>
- [19] สุธาวิธี ลิ้มสุวรรณ. (2548). “การพัฒนาลายนิ้วมือโดยใช้สารเคมีเรืองแสง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [20] ชิตสกนธ์ ภักดิ์แจ่มใส. (2554). “เวลาในความมืด.” ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- [21] **Jablonski diagram.** [online]. 20 สิงหาคม 2561. Available :
https://en.wikipedia.org/wiki/Jablonski_diagram
- [22] **การกระเจิงของแสง.** [online]. 22 สิงหาคม 2561. Available :
<https://phys.org/news/2016-02-important.html>
- [23] S.O. Kasap, 2013. **Optoelectronics and Photonics.** 2nd ed. United State of America : Angshuman Chakraborty
- [24] **Gold nanorods Palladium coated**https. [online]. 22 สิงหาคม 2561. Available :
<http://www.americanelements.com/gold-nanorods-palladium-coated-7440-57-5>
- [25] **ทองคำ.** [online]. 22 สิงหาคม 2561. Available :
http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/ceri/nanodatabase/info2.php?cat_id=9&p_id=258

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

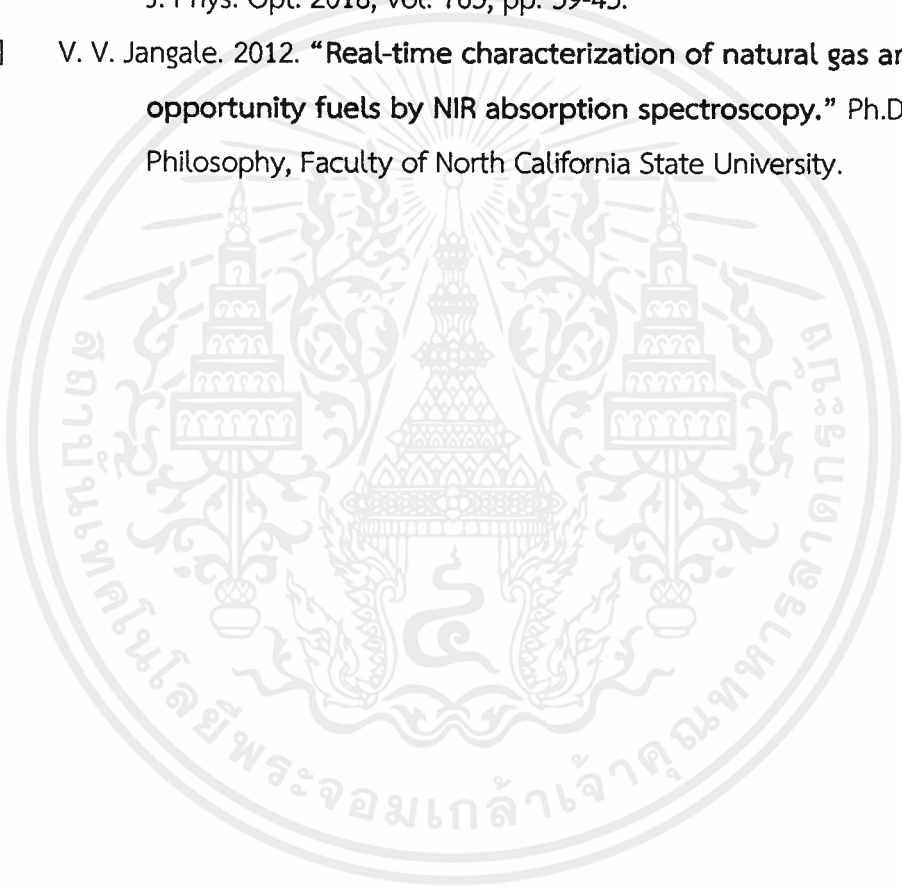
- [26] NanoSeedz. ลักษณะสมบัติอนุภาคนาโนทองคำ. [online]. 22 สิงหาคม 2561.
Available : http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/ceri/nanodatabase/info2.php?cat_id=9&p_id=58
- [27] แพลเลเดียม. [online]. 22 สิงหาคม 2561. Available :
<https://th.wikipedia.org/wiki/palladium>
- [28] อภิวัฒน์ ชมภูถอ. (2556). “โครงสร้างระดับนาโนทอง: การสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [29] NU-ME 15. Surface Plasmon Resonance, SPR. [online]. 25 สิงหาคม 2561.
Available : http://nano-me15.blogspot.com/2010/02/blog-post_9247.html
- [30] K. Locharoenrat, and P. Damrongsak, “Plasmonic properties of gold-palladium core-shell nanorods”. Ukr. J. Phys. Opt. 2015, vol. 16, issue. 3, pp.120-126.
- [31] สถาบันวัดกรรมและพัฒนาศึกษา มหาวิทยาลัยมหิดล. ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer components). [online]. 25 สิงหาคม 2561. Available : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/color-light/page4_2.html
- [32] Materials Innovatoin center. UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETER. [online]. 25 สิงหาคม 2561. Available : http://www.mic.eng.ku.ac.th/facilitiesdetail.php?id_sub=41&id=46
- [33] แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล. [online]. 25 มีนาคม 2561. Available :
<http://uatscimath.ipst.ac.th/lesson-chemistry/item/7164-2017-06-04-15-16-29>
- [34] J. W. Moore, et al, 2008. Covalent Bonding. In David Hares (Editor), “Chemistry : The Molecular Science, 3rd Edition.” Belmont, California : Thomson Higher Education.
- [35] ระบบสี่. [online]. 22 มีนาคม 2561. Available :
<https://sites.google.com/site/pongnumtipisek/3-rabb-si>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [36] RGB Color สีจากการผสมแม่สี. [online]. 22 มีนาคม 2561. Available : <https://chanto.io/2018/07/why-hsl-color-design-programing/>
- [37] A. M. Dyer, et al, “Nasal delivery of insulin using novel chitosan based formulations: a comparative study in two animal models between simple chitosan formulations and chitosan nanoparticles.” *Pharmaceutical Research* 2002, vol. 19, issue. 7, pp. 998-1008.
- [38] N. Ul. Islam, et al, “Forensic nngerprint enhancement using bioadhesive chitosan and gold nanoparticles.” in *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE NEMS '07)*, January 2007, pp. 411-415.
- [39] M. Trapeca , and J. Balazic, “Fingerprint recovery from human skin Surfaces.” *Science & Justice* 2007, 47, pp. 136-140.
- [40] R. K. Garg, et al, “A new technique for visualization of latent fingerprints on various surfaces using powder from turmeric: Arhizomatous herbaceous plant (*Curcuma longa*).” *Egyptian Journal of Forensic Science* 2011, vol. 1, pp. 53-57.
- [41] R. K. Garg, et al, “New visualizing agent for latent fingerprints : Synthetic food and festival colors.” *Egyptian Journal of Forensic Science* 2011, vol. 1, pp. 133-139.
- [42] A. M. Issa, et al, “Latent Fingerprint Enhancement Using Tripolyphosphate-Chitosan Microparticles.” *International Journal of Carbohydrate Chemistry*, vol. 2013, ArticleID 615124, 4 pages.
- [43] R. K. Garg, et al, “Appication of a new commonly available substance for the visualization of latent finger marks : white cement.” *Problems of Forensic Science* 2014, vol. 97, pp. 5-13.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [44] S. Y. Lim, et al, “Gold Nanoparticle Enlargement Coupled with Fluorescence Quenching for Highly Sensitive Detection of Analytes.” Revised Manuscript Received October 20, 2009. vol. 25, issue. 23, pp. 13305-13305.
- [45] P. Damrongsaka, et al, “Effects of Gold Nanoparticles on Fluorescence Polarization and Emission Spectra of Rhodamine 6G Solution.” Ukr. J. Phys. Opt. 2018, vol. 765, pp. 39-43.
- [46] V. V. Jangale. 2012. “Real-time characterization of natural gas and opportunity fuels by NIR absorption spectroscopy.” Ph.D. Philosophy, Faculty of North California State University.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณ

1. การคำนวณการเตรียมละลายน้ำมือ

ในการเตรียมละลายน้ำมือ โดยการวางน้ำหนักตามแรงโน้มถ่วงของโลก และใช้ตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม วางทับซึ่งจะออกแรงกระทำดังนี้

จากกฎข้อที่สองของนิวตัน $F = ma$ เมื่อความเร่ง เท่ากับความเร่งในแนวดิ่ง
หรือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

$$F = (1.0) \times (9.8)$$

$$F = 9.8 \text{ N}$$

ในการเตรียมละลายน้ำมือโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมวล 1 กิโลกรัม จะออกแรงกระทำ 9.8 นิวตัน

2. การเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี และอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม

2.1. การเตรียมสารละลายโรดามีน 6จี

1) เตรียมสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ ต้องใช้โรดามีน 6จีจำนวนกี่กรัม เมื่อมวลโมเลกุลของโรดามีน 6จี เท่ากับ 479.01 g/mol

จากสมการ
$$n = \frac{g}{Mw} = \frac{CV}{1000}$$

จะได้ว่า
$$\frac{g}{Mw} = \frac{CV}{1000}$$

$$g = \frac{CV \times Mw}{1000}$$

$$g = \frac{(1.0 \times 10^{-3} \text{ M})(10 \text{ ml}) \times 479.01 \text{ g/mol}}{1000}$$

$$g = 0.0047 \text{ g}$$

ดังนั้นจะต้องใช้โรดามีน 6จี 0.0047 กรัม ละลายในน้ำ DI 10 ml จึงจะได้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$

2) เตรียมสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} M ในปริมาตร 10 ml โดยการเจือจางจะต้องใช้สารละลายโรดามีน 6จี ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-3} M เท่าใด

จากสมการ $C_1 V_1 = C_2 V_2$

จะได้ว่า $V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$

จะได้ว่า $V_1 = \frac{(1.0 \times 10^{-4} \text{ M})(10 \text{ ml})}{1.0 \times 10^{-3} \text{ M}} = 1.0 \text{ ml}$

ดังนั้นจะต้องใช้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-3} 1.0 ml เจือจางในน้ำ DI 9.0 ml จะได้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} M

3) เตรียมสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} M ในปริมาตร 10 ml โดยการเจือจางจะต้องใช้สารละลายโรดามีน 6จี ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-4} M เท่าใด

จากสมการ $C_1 V_1 = C_2 V_2$

จะได้ว่า $V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$

จะได้ว่า $V_1 = \frac{(1.0 \times 10^{-5} \text{ M})(10 \text{ ml})}{1.0 \times 10^{-4} \text{ M}} = 1.0 \text{ ml}$

ดังนั้นจะต้องใช้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-4} 1.0 ml เจือจางในน้ำ DI 9.0 ml จะได้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} M

4) เตรียมสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 6.0×10^{-6} M ในปริมาตร 10 ml โดยการเจือจางจะต้องใช้สารละลายโรดามีน 6จี ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^{-5} M เท่าใด

จากสมการ $C_1 V_1 = C_2 V_2$

จะได้ว่า $V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$

จะได้ว่า
$$V_1 = \frac{(6.0 \times 10^{-6} \text{ M})(10 \text{ ml})}{1.0 \times 10^{-5} \text{ M}} = 6.0 \text{ ml}$$

ดังนั้นจะต้องใช้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.0×10^{-5} 6.0 ml เจือจางในน้ำ DI 4.0 ml จะได้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 6.0×10^{-6} M

5) เตรียมสารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M ในปริมาตร 1 ml โดยการเจือจางจะต้องใช้สารละลายโรดามีน 6จี ที่มีความเข้มข้น 6.0×10^{-6} M เท่าใด

จากสมการ
$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

จะได้ว่า
$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

จะได้ว่า
$$V_1 = \frac{(1.5 \times 10^{-6} \text{ M})(1 \text{ ml})}{6.0 \times 10^{-6} \text{ M}} = 0.25 \text{ ml}$$

ดังนั้นจะต้องใช้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 6.0×10^{-6} 0.25 ml เจือจางในน้ำ DI 0.75 ml จะได้สารละลายโรดามีน 6จี ที่ความเข้มข้น 1.5×10^{-6} M

2.2. การเตรียมอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม (ที่ความเข้มข้น 0.4698×10^{-3} M)

1) ใช้อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.01 ml ในปริมาตร 1 ml จะมีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเท่าใด (สารละลายโรดามีน 6จี 0.25 ml และน้ำ DI 0.74 ml)

จากสมการ
$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

จะได้ว่า
$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{(0.4698 \times 10^{-3} \text{ M})(0.01 \text{ ml})}{1.0 \text{ ml}} = 0.0470 \times 10^{-4} \text{ M}$$

อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.01 ml จะมีความเข้มข้น 0.0470×10^{-4} M ในปริมาตร 1 ml โดยมีอัตราส่วนระหว่างสารละลาย R6G และ Au@Pd ดังนี้

ในปริมาตร 1 ml	มีสารละลาย R6G	0.25 ml
	มี Au@Pd	0.01 ml

	$R6G : Au@Pd = 0.25/0.25 : 0.01/0.25 = 1 : 0.04$	
ในปริมาตร 1 ml	มีความเข้มข้นสารละลาย R6G	$1.5 \times 10^{-6} M$
	มีความเข้มข้น Au@Pd	$0.0470 \times 10^{-4} M$
	$R6G : Au@Pd = 1.5 \times 10^{-6}/1.5 \times 10^{-6} : 0.0470 \times 10^{-4} /1.5 \times 10^{-6}$	
		$= 1 : 3$

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนที่ใช้ไปเท่ากับ 1 ต่อ 0.04 และ อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนเท่ากับ 1 ต่อ 3

2) ใช้อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.02 ml ในปริมาตร 1 ml จะมีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเท่าใด (สารละลายโรดามีน 6จี 0.25 ml และน้ำ DI 0.73 ml)

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

จะได้ว่า $C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2}$

$$C_2 = \frac{(0.4698 \times 10^{-3} M)(0.02 \text{ ml})}{1.0 \text{ ml}} = 0.0940 \times 10^{-4} M$$

อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.02 ml จะมีความเข้มข้น $0.0940 \times 10^{-4} M$ ในปริมาตร 1 ml โดยมีอัตราส่วนระหว่างสารละลาย R6G และ Au@Pd ดังนี้

ในปริมาตร 1 ml	มีสารละลาย R6G	0.25 ml
	มี Au@Pd	0.02 ml
	$R6G : Au@Pd = 0.25/0.25 : 0.02/0.25 = 1 : 0.08$	
ในปริมาตร 1 ml	มีความเข้มข้นสารละลาย R6G	$1.5 \times 10^{-6} M$
	มีความเข้มข้น Au@Pd	$0.0940 \times 10^{-4} M$
	$R6G : Au@Pd = 1.5 \times 10^{-6}/1.5 \times 10^{-6} : 0.0940 \times 10^{-4} /1.5 \times 10^{-6}$	
		$= 1 : 6$

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนที่ใช้ไปเท่ากับ 1 ต่อ 0.08 และ อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนเท่ากับ 1 ต่อ 6

3) ใช้อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.03 ml ในปริมาตร 1 ml จะมีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเท่าใด (สารละลายโรดามีน 6จี 0.25 ml และน้ำ DI 0.72 ml)

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

จะได้ว่า $C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2}$

$$C_2 = \frac{(0.4698 \times 10^{-3} \text{ M})(0.03 \text{ ml})}{1.0 \text{ ml}} = 0.1409 \times 10^{-4} \text{ M}$$

อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.03 ml จะมีความเข้มข้น $0.1409 \times 10^{-4} \text{ M}$ ในปริมาตร 1 ml โดยมีอัตราส่วนระหว่างสารละลาย R6G และ Au@Pd ดังนี้

ในปริมาตร 1 ml มีสารละลาย R6G 0.25 ml

มี Au@Pd 0.03 ml

$$R6G : Au@Pd = 0.25/0.25 : 0.01/0.25 = 1 : 0.12$$

ในปริมาตร 1 ml มีความเข้มข้นสารละลาย R6G $1.5 \times 10^{-6} \text{ M}$

มีความเข้มข้น Au@Pd $0.1409 \times 10^{-4} \text{ M}$

$$R6G : Au@Pd = 1.5 \times 10^{-6} / 1.5 \times 10^{-6} : 0.1409 \times 10^{-4} / 1.5 \times 10^{-6} = 1 : 9$$

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนที่ใช้ไปเท่ากับ 1 ต่อ 0.12 และอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนเท่ากับ 1 ต่อ 9

4) ใช้อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.04 ml ในปริมาตร 1 ml จะมีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเท่าใด (สารละลายโรดามีน 6จี 0.25 ml และน้ำ DI 0.71 ml)

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

จะได้ว่า $C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2}$

$$C_2 = \frac{(0.4698 \times 10^{-3} \text{ M})(0.04 \text{ ml})}{1.0 \text{ ml}} = 0.1879 \times 10^{-4} \text{ M}$$

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนที่ใช้ไปเท่ากับ 1 ต่อ 0.04 และ อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนเท่ากับ 1 ต่อ 3

6) ใช้อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.15 ml ในปริมาตร 1 ml จะมีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเท่าใด (สารละลายโรดามีน 6จี 0.25 ml และน้ำ DI 0.60 ml)

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

จะได้ว่า $C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2}$

$$C_2 = \frac{(0.4698 \times 10^{-3} \text{ M})(0.15 \text{ ml})}{1.0 \text{ ml}} = 0.7047 \times 10^{-4} \text{ M}$$

อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.15 ml จะมีความเข้มข้น $0.7047 \times 10^{-4} \text{ M}$ ในปริมาตร 1 ml โดยมีอัตราส่วนระหว่างสารละลาย R6G และ Au@Pd ดังนี้

ในปริมาตร 1 ml	มีสารละลาย R6G	0.25 ml
	มี Au@Pd	0.15 ml

R6G : Au@Pd = $0.25/0.25 : 0.15/0.25 = 1 : 0.60$

ในปริมาตร 1 ml	มีความเข้มข้นสารละลาย R6G	$1.5 \times 10^{-6} \text{ M}$
	มีความเข้มข้น Au@Pd	$0.7047 \times 10^{-4} \text{ M}$

R6G : Au@Pd = $1.5 \times 10^{-6} / 1.5 \times 10^{-6} : 0.7047 \times 10^{-4} / 1.5 \times 10^{-6}$
= 1 : 47

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนที่ใช้ไปเท่ากับ 1 ต่อ 0.60 และ อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนเท่ากับ 1 ต่อ 47

7) ใช้อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.25 ml ในปริมาตร 1 ml จะมีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนเท่าใด (สารละลายโรดามีน 6จี 0.25 ml และน้ำ DI 0.50 ml)

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

จะได้ว่า $C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2}$

$$C_2 = \frac{(0.4698 \times 10^{-3} \text{ M})(0.25 \text{ ml})}{1.0 \text{ ml}} = 1.1745 \times 10^{-4} \text{ M}$$

อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.25 ml จะมีความเข้มข้น $1.1745 \times 10^{-4} \text{ M}$
 ในปริมาตร 1 ml โดยมีอัตราส่วนระหว่างสารละลาย R6G และ Au@Pd ดังนี้

ในปริมาตร 1 ml มีสารละลาย R6G 0.25 ml

มี Au@Pd 0.25 ml

$$R6G : Au@Pd = 0.25/0.25 : 0.25/0.25 = 1 : 1$$

ในปริมาตร 1 ml มีความเข้มข้นสารละลาย R6G $1.5 \times 10^{-6} \text{ M}$

มีความเข้มข้น Au@Pd $1.1745 \times 10^{-4} \text{ M}$

$$R6G : Au@Pd = 1.5 \times 10^{-6} / 1.5 \times 10^{-6} : 1.1745 \times 10^{-4} / 1.5 \times 10^{-6} \\ = 1 : 78$$

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนที่ใช้ไปเท่ากับ 1 ต่อ 1 และอัตราส่วน
 ความเข้มข้นระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนเท่ากับ 1 ต่อ 78

8) ใช้อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.35 ml ในปริมาตร 1 ml จะมีความเข้มข้น
 ของอนุภาคนาโนเท่าใด (สารละลายโรดามีน 6จี 0.25 ml และน้ำ DI 0.40 ml)

จากสมการ $C_1 V_1 = C_2 V_2$

จะได้ว่า $C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$

$$C_2 = \frac{(0.4698 \times 10^{-3} \text{ M})(0.35 \text{ ml})}{1.0 \text{ ml}} = 1.6443 \times 10^{-4} \text{ M}$$

อนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 0.35 ml จะมีความเข้มข้น $1.6443 \times 10^{-4} \text{ M}$
 ในปริมาตร 1 ml โดยมีอัตราส่วนระหว่างสารละลาย R6G และ Au@Pd ดังนี้

ในปริมาตร 1 ml มีสารละลาย R6G 0.25 ml

มี Au@Pd 0.35 ml

$$R6G : Au@Pd = 0.25/0.25 : 0.35/0.25 = 1 : 1.4$$

ในปริมาตร 1 ml มีความเข้มข้นสารละลาย R6G $1.5 \times 10^{-6} \text{ M}$

มีความเข้มข้น Au@Pd $1.6443 \times 10^{-4} \text{ M}$

$$R6G : Au@Pd = 1.5 \times 10^{-6} / 1.5 \times 10^{-6} : 1.6443 \times 10^{-4} / 1.5 \times 10^{-6}$$

$$= 1 : 110$$

ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนที่ใช้ไปเท่ากับ 1 ต่อ 1.4 และอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างสารละลายและอนุภาคนาโนเท่ากับ 1 ต่อ 110

3. การคำนวณการวิเคราะห์สี

จากการวิเคราะห์สีโดยหลักการ RGB (Red Green Blue) อาศัยการแปลงเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสิบเพื่อดูตำแหน่งของสี ดังนี้

ตารางแสดงการเปรียบเทียบเลขฐาน 10

เลขฐานสิบหก	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
เลขฐานสิบ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

ตารางแสดงค่าของสี RGB ในรูปของเลขฐานสิบหก

สี	Red (R) XX	G (Green) YY	B (Blue)ZZ
สีดำ	00	00	00
สีเขียว	00	FF	00
สีขาว	FF	FF	FF

ตำแหน่งของสีดำคือ

$$000000 = (0 \times 16^0) + (0 \times 16^1) + (0 \times 16^2) + (0 \times 16^3) + (0 \times 16^4) + (0 \times 16^5)$$

$$= 0$$

ตำแหน่งของสีเขียวนคือ

$$00FF00 = (0 \times 16^0) + (0 \times 16^1) + (15 \times 16^2) + (15 \times 16^3) + (0 \times 16^4) + (0 \times 16^5)$$

$$= 65280$$

ตำแหน่งของสีขาวคือ

$$FFFFFF = (15 \times 16^0) + (15 \times 16^1) + (15 \times 16^2) + (15 \times 16^3) + (15 \times 16^4) + (15 \times 16^5)$$

$$= 16777215$$

ระยะห่างระหว่างตำแหน่งสีดำและสีเขียวน เท่ากับ 65280

ระยะห่างระหว่างตำแหน่งสีดำและสีขาว เท่ากับ 16777215

The seal of Rajabhat Buriram University is circular, featuring a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered stupas or pagodas, each supported by a decorative base. The entire emblem is surrounded by a circular border containing Thai text. The text at the top reads 'มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์' (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) and the text at the bottom reads 'พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (Phra Chomklao Chao Khan Thara Ladkrabang).

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์
รุ่น AvaSpec-EDU
สำหรับโปรแกรม Avasoft 7.4 USB 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์

รุ่น AvaSpec-EDU สำหรับโปรแกรม Avasoft 7.4 USB 2

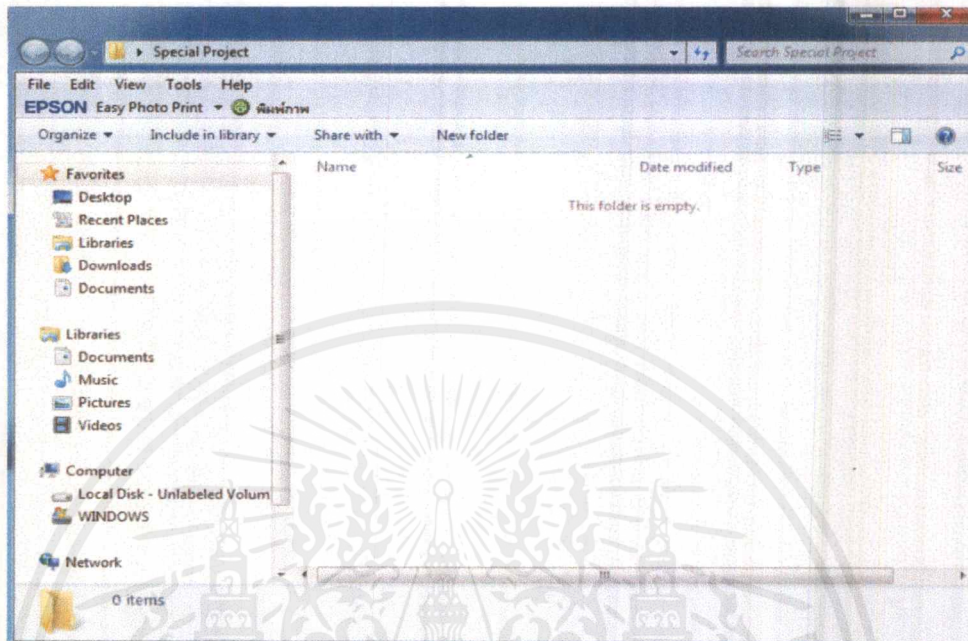
ขั้นตอนที่ 1 การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ก่อนการทดลอง



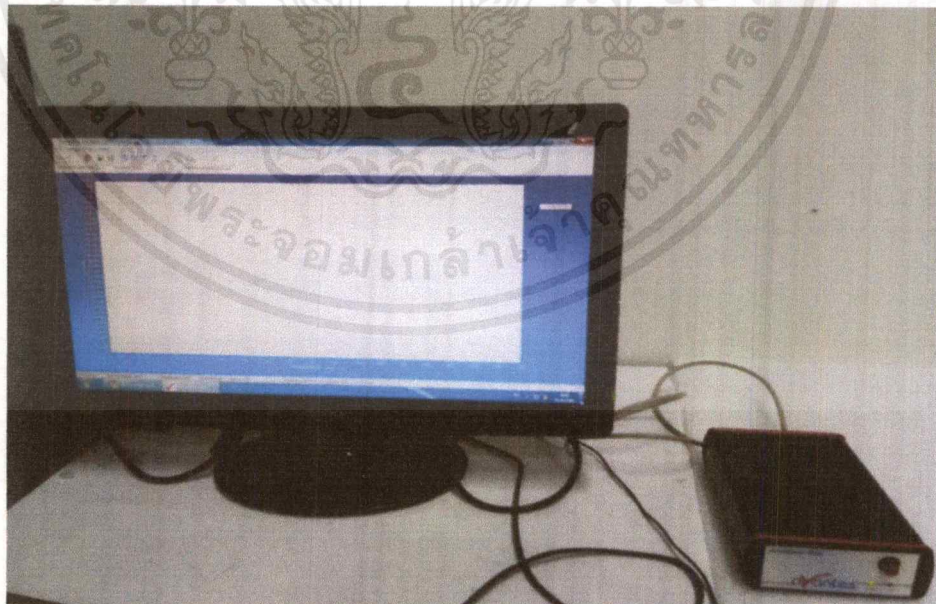
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ตั้งค่าโปรแกรม Avasoft 7.4 USB 2 กับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

1. สร้างโฟลเดอร์สำหรับเก็บข้อมูล

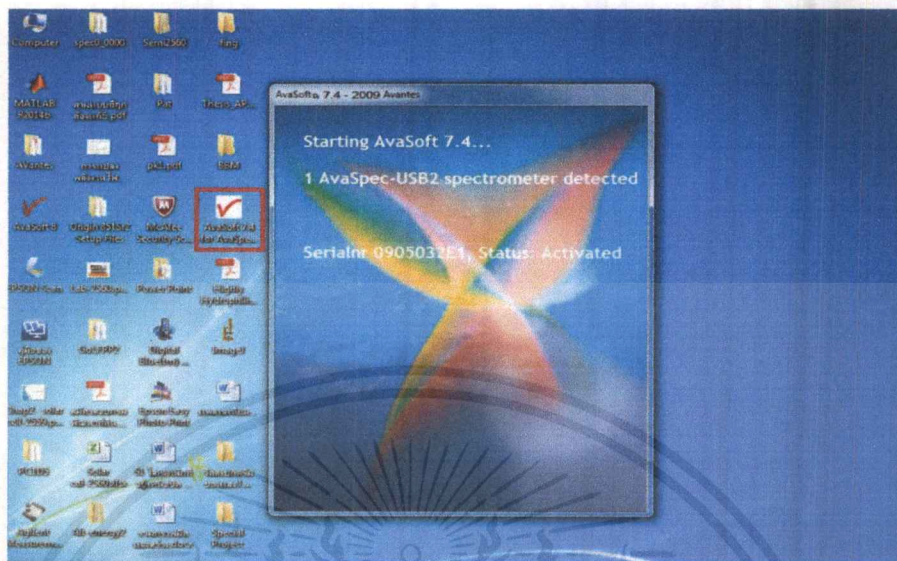


2. ต่อสาย USB จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์เข้าสู่คอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปิดโปรแกรม AvaSoft 7.4



** ข้อ4 และข้อ5 ขณะที่ทำการตั้งค่าและวัด Dark เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ปิโตรรับแสง

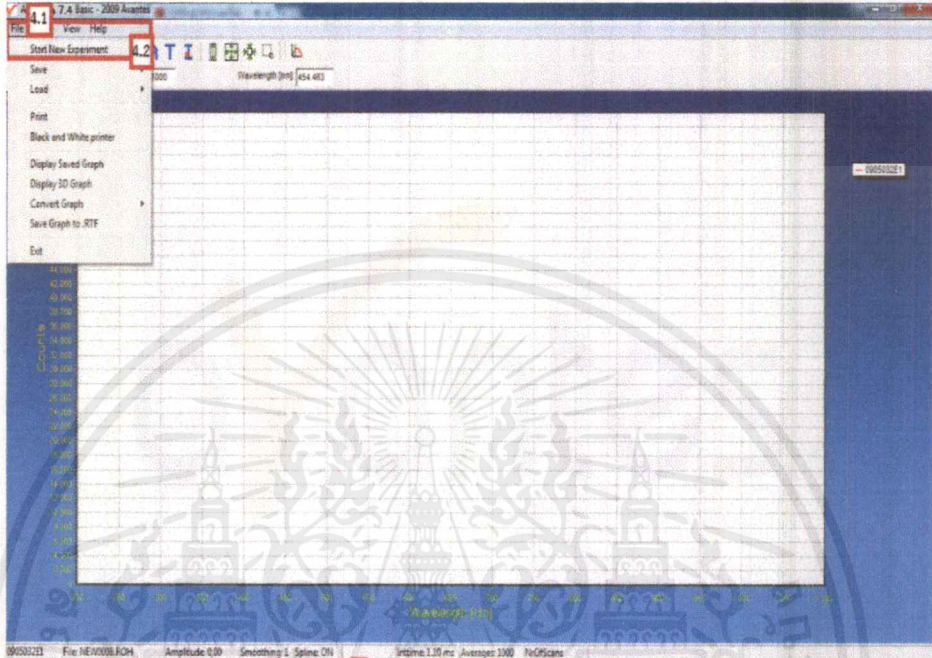


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ตั้งค่าเครื่องและโปรแกรม

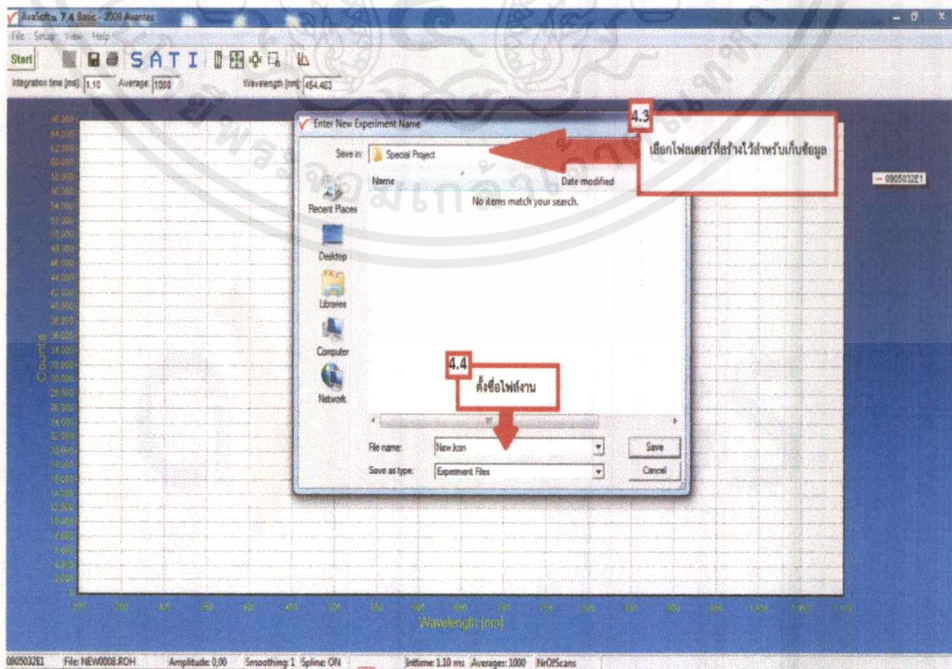
4.1 เลือก file บนแถบเมนู

4.2 เลือก Start New Experiment



4.3 เลือกโฟลเดอร์ที่สร้างไว้สำหรับเก็บข้อมูล

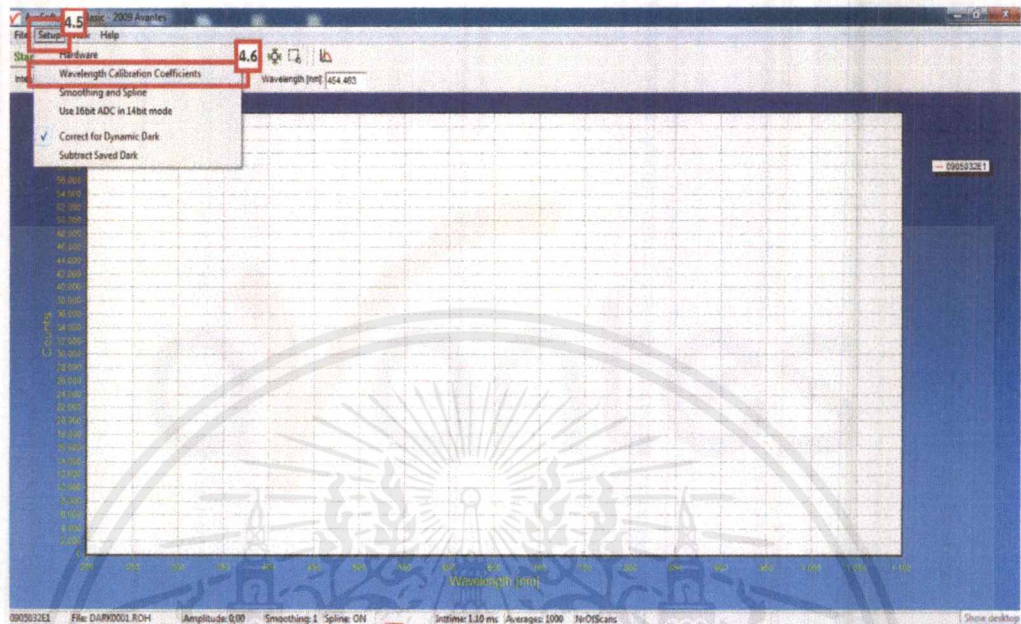
4.4 ตั้งชื่อไฟล์งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

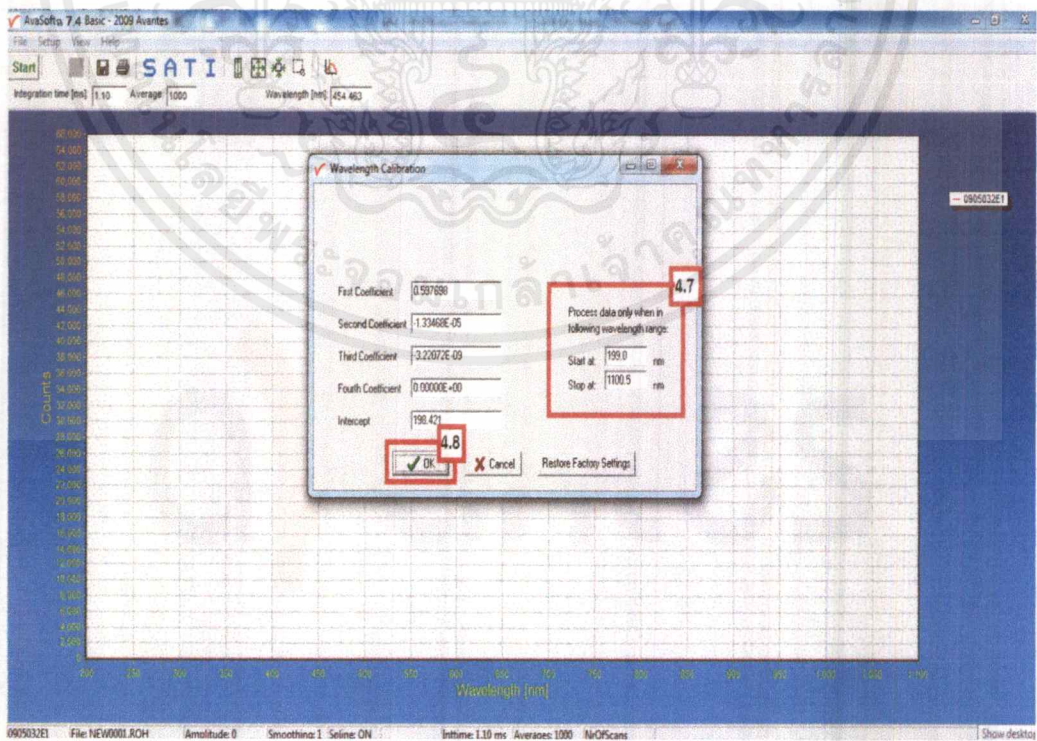
4.5 เลือก Setup บนแถบเมนู

4.6 เลือก Wavelength Calibration Coefficients



4.7 เลือกช่วงวัดที่ความกว้าง 200-1100nm

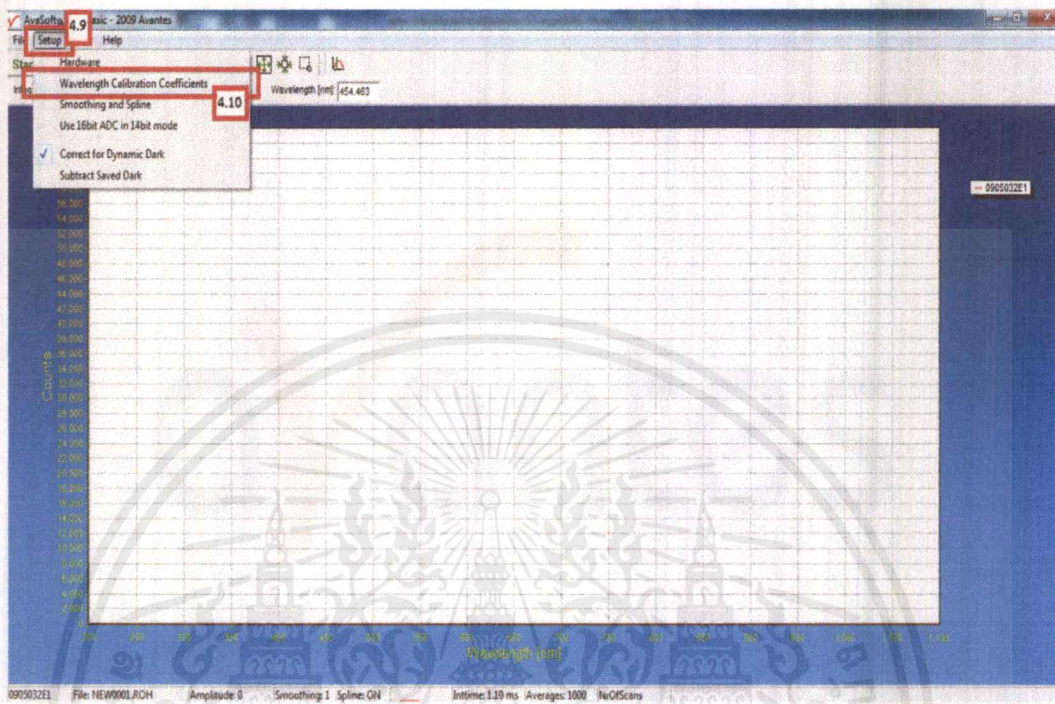
4.8 เลือก OK



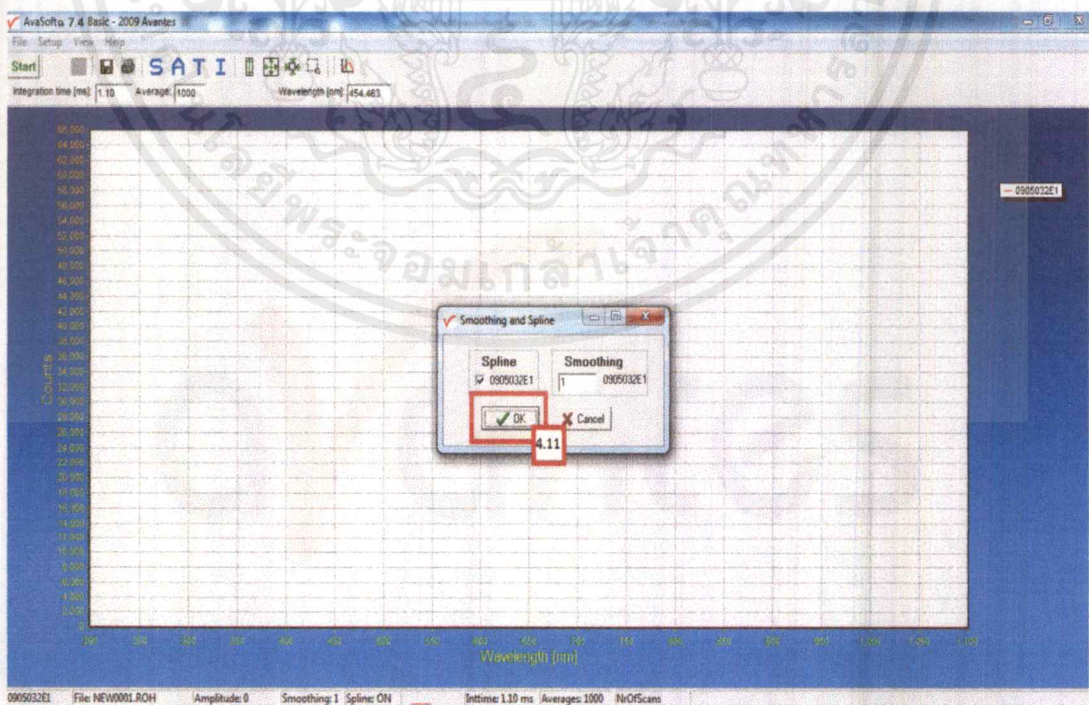
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 เลือก Setup บนแถบเมนูอีกครั้ง

4.10 เลือก Smoothing and Spline และใส่ข้อมูลตั้งรูป



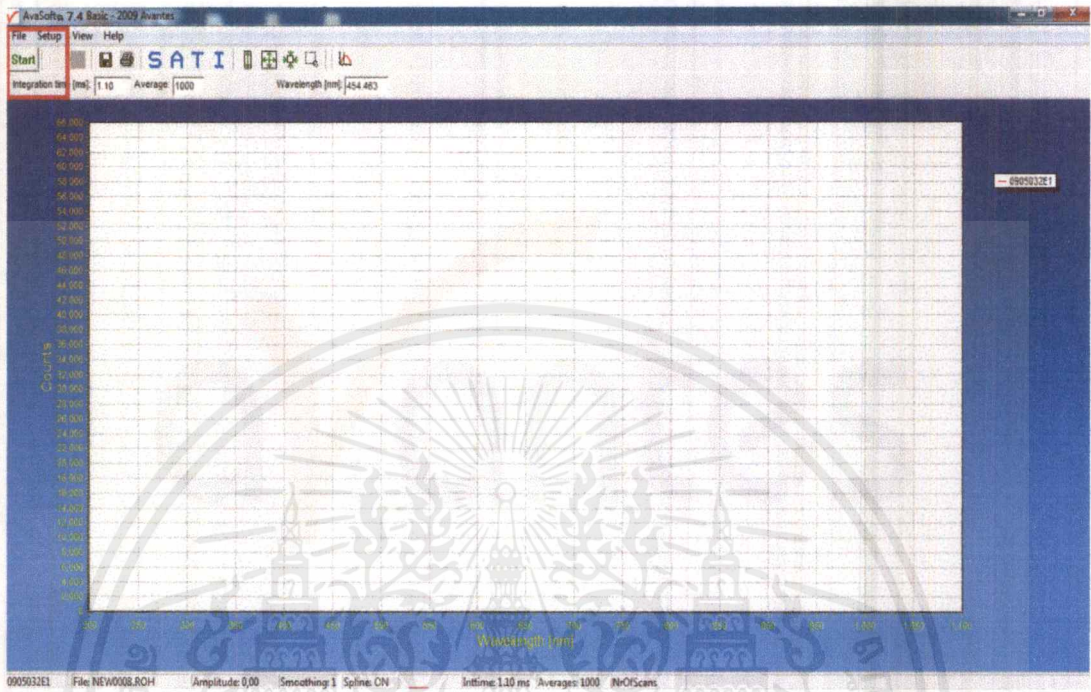
4.11 เลือก OK



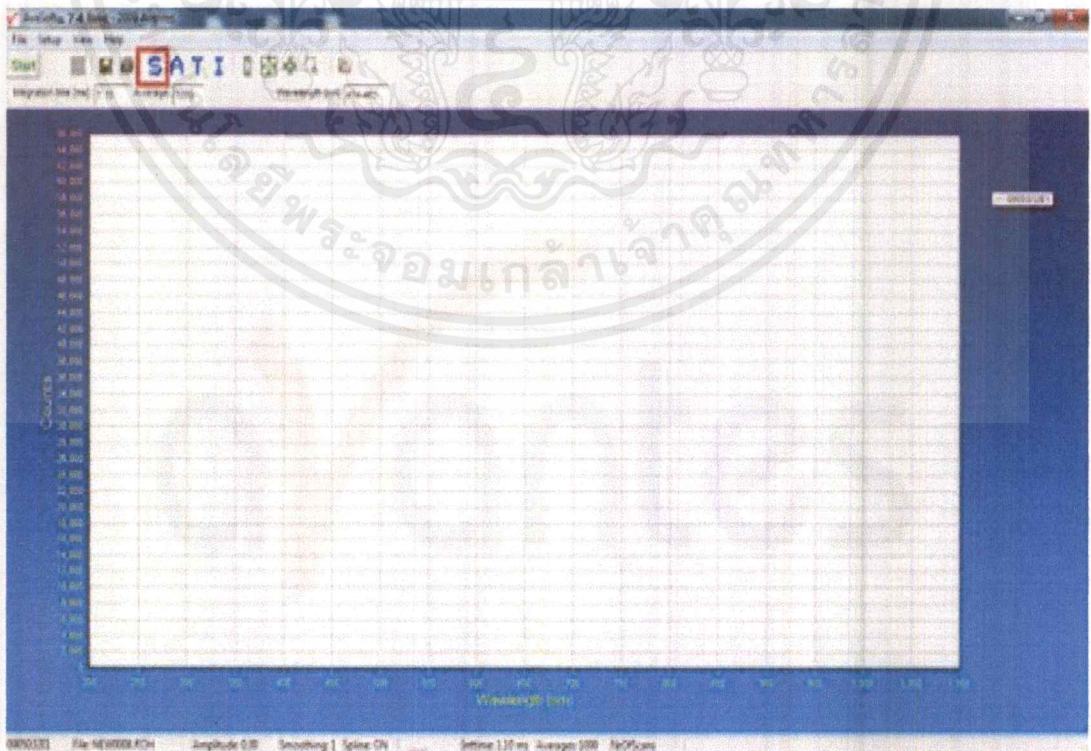
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การวัด Dark (ทำการวัดในขณะที่เครื่องปิดรับแสงอยู่)

4.1 เลือก Start บนแถบเมนู

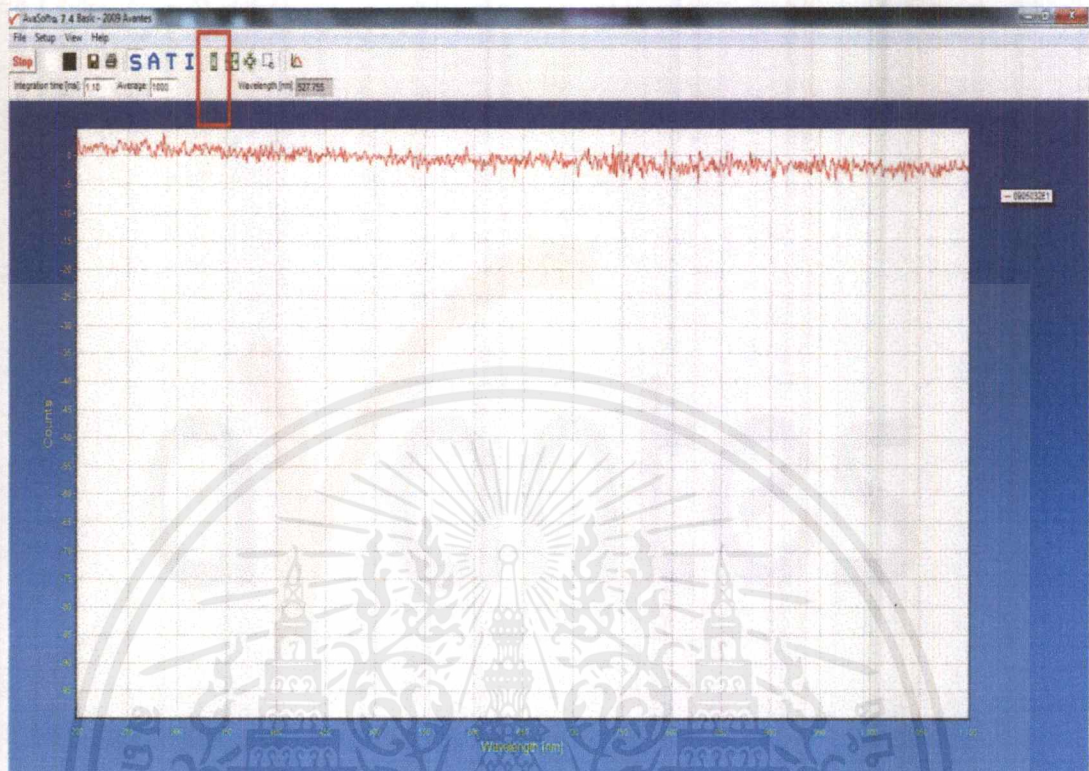


4.2 เลือก S (Scope Mode) บนแถบเมนู

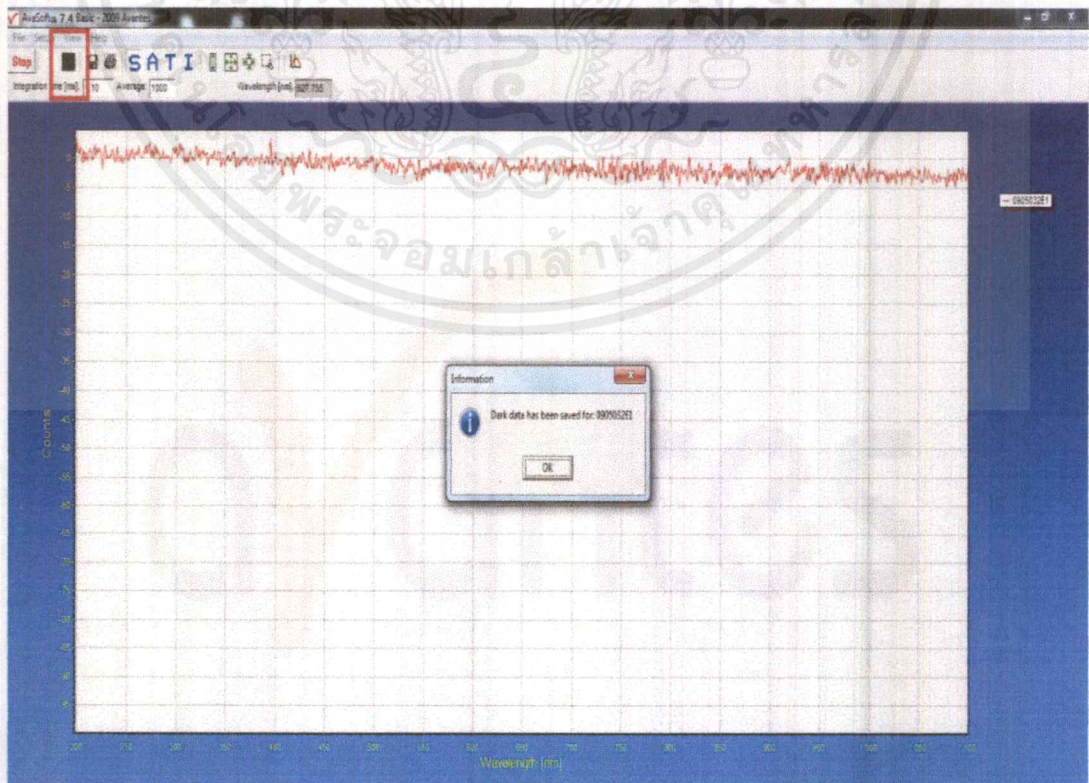


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เลือก Auto scale Y-Axis เพื่อแสดงกราฟเนื่องจากไม่มีสเปกตรัมของแสง

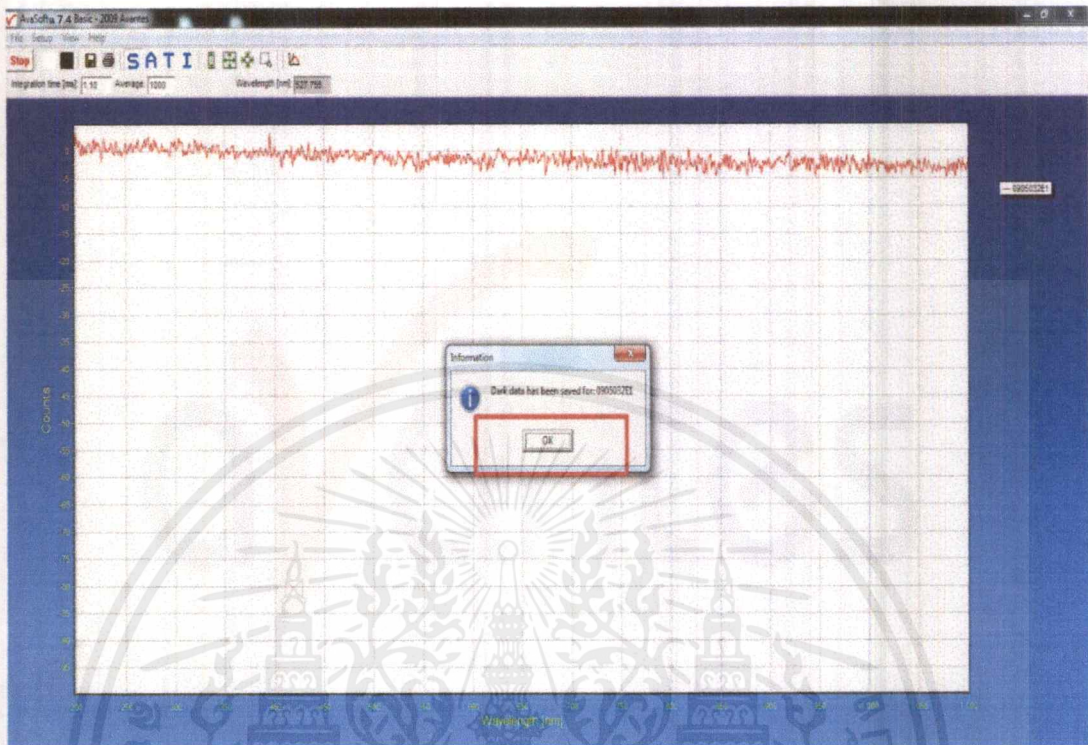


4.4 เลือก Save Dark (กล่องสี่เหลี่ยมสีดำ)



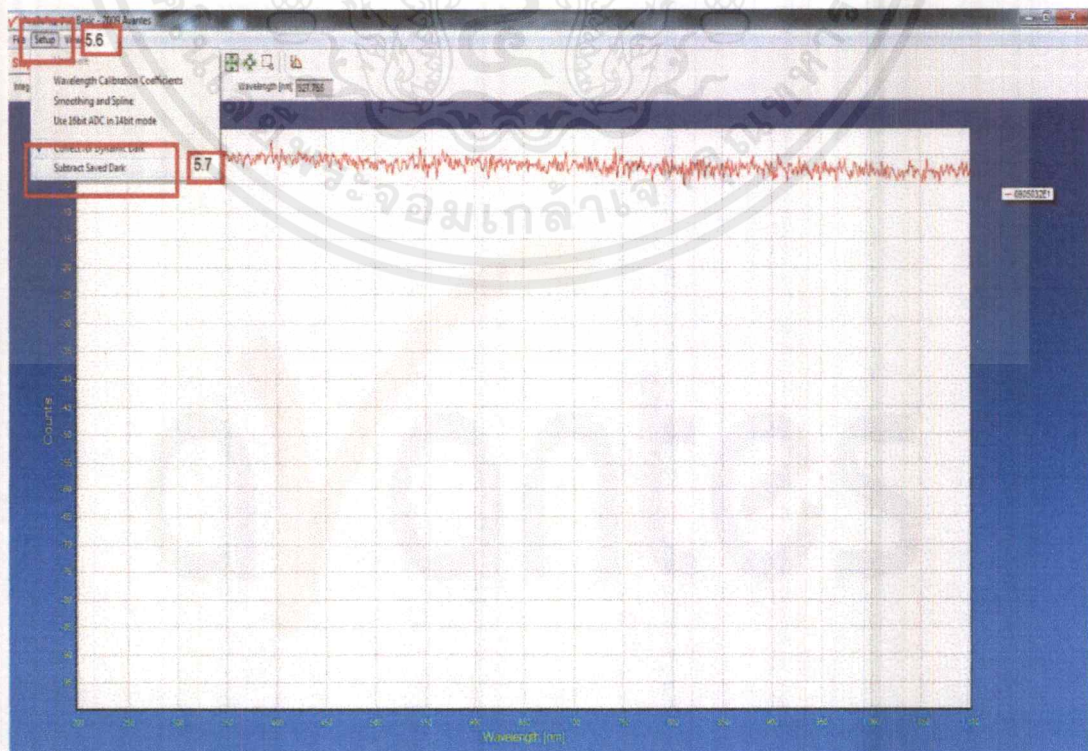
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 เลือก OK



4.6 เลือก Setup บนแถบเมนู

4.7 เลือก Subtract Saved Dark



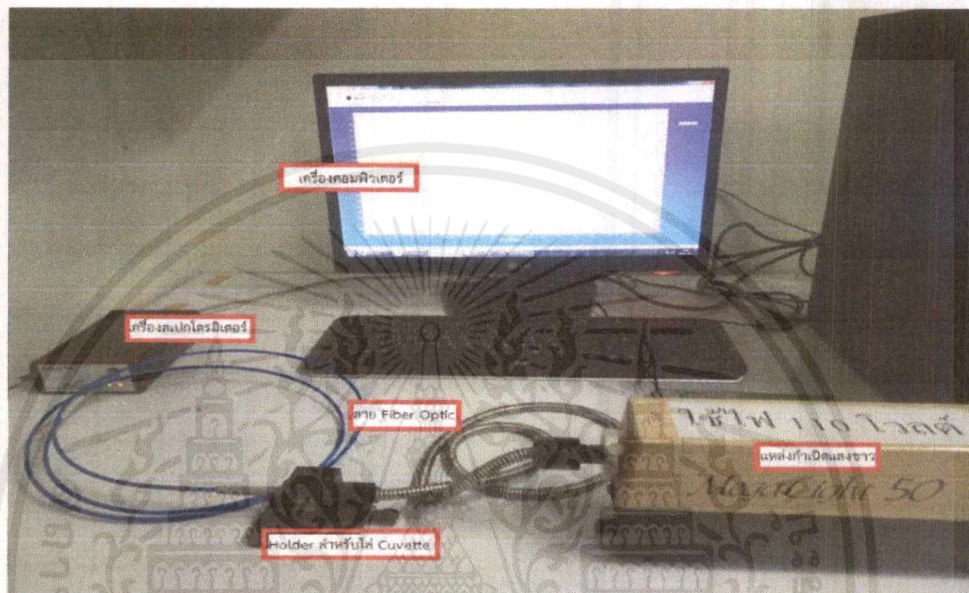
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 ทำการวัดการดุดกลืนและการเปล่งแสง

1. วัดการดุดกลืน

1.1 จัดอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่ต้องการวัดดังรูปต่อไปนี้

1.1.1 ตัวอย่างการวัดแสงขาวสำหรับการวัดการดุดกลืนแสงของสารละลายในคิวเวท

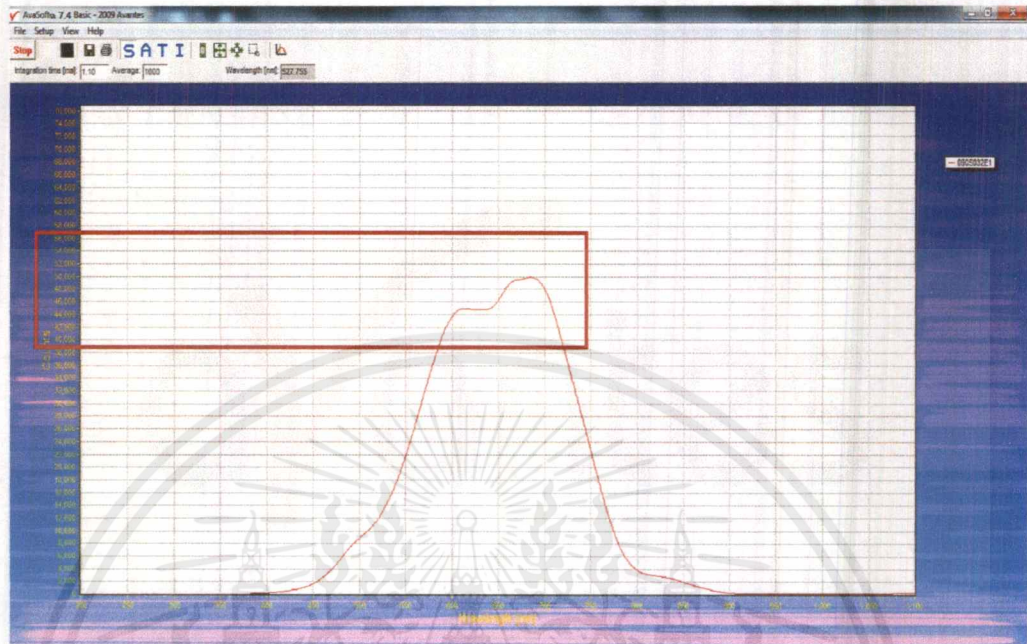


1.1.2 ตัวอย่างการวัดแสงขาวสำหรับการวัดการดุดกลืนแสงของฟิล์มบาง

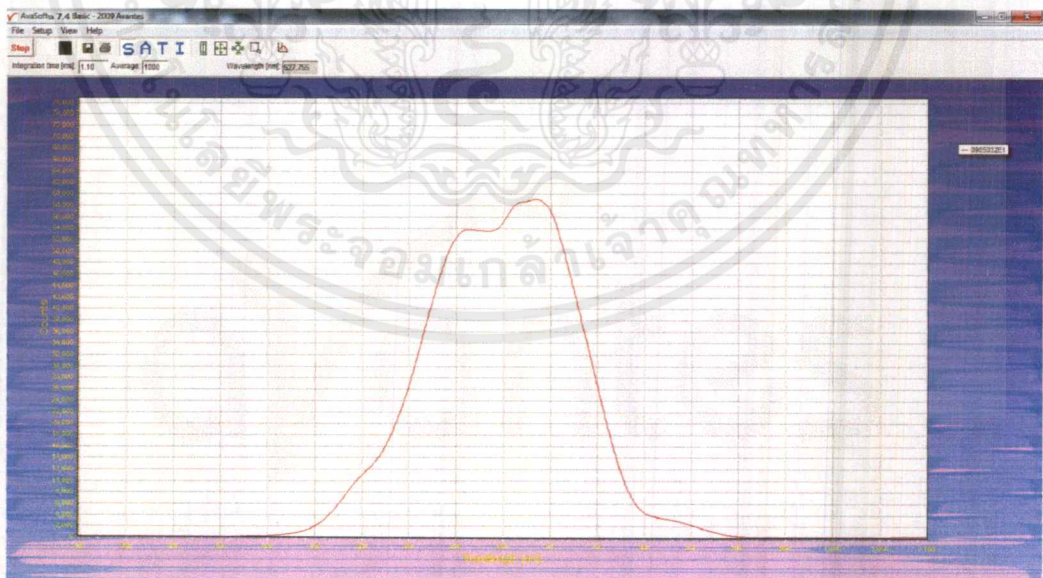


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 สำหรับการวัดแสงขาว (วัดโหมด S) โดยการใช้หลอดไฟทั้งสแตนด์ต้องปรับให้มีความเข้มสูงสุดประมาณ 50,000 (คูที่แกน Y)



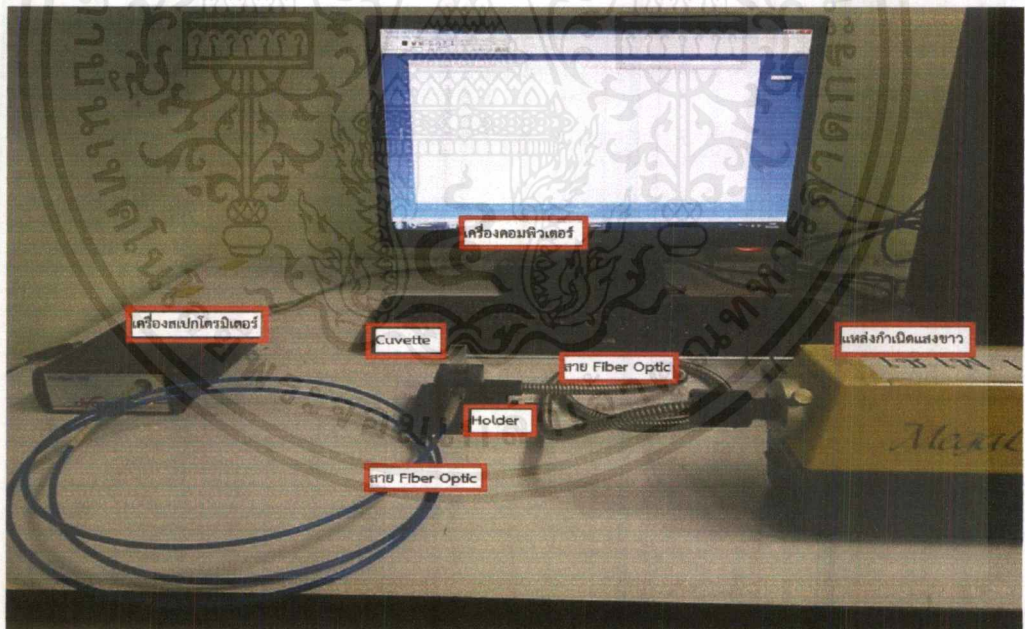
1.3 นำชิ้นงานที่ไม่มีการเจือสารมาวัดค่า blank โดยสังเกตได้ว่าเมื่อวัด blank ความเข้มของสเปกตรัมจะเปลี่ยนไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพตัวอย่างการวัด blank สำหรับการวัดการดูดกลืนของสารละลายในคิวเวท

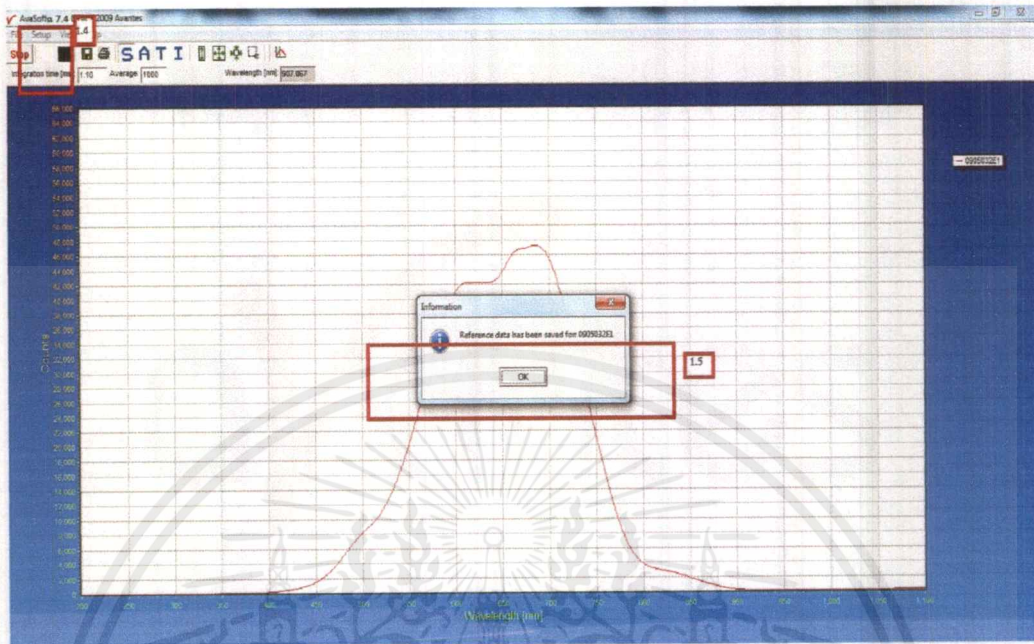


ภาพตัวอย่างการวัด blank สำหรับการวัดการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง

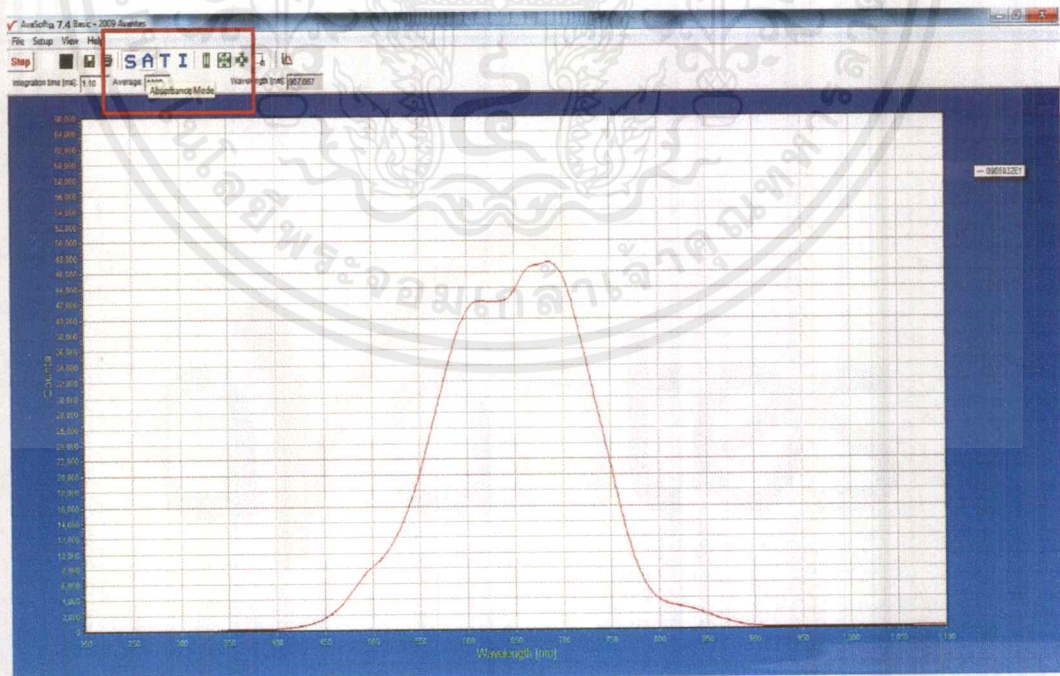
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 คลิก Save Reference (รูปสี่เหลี่ยมสีขาว)

1.5 คลิก OK

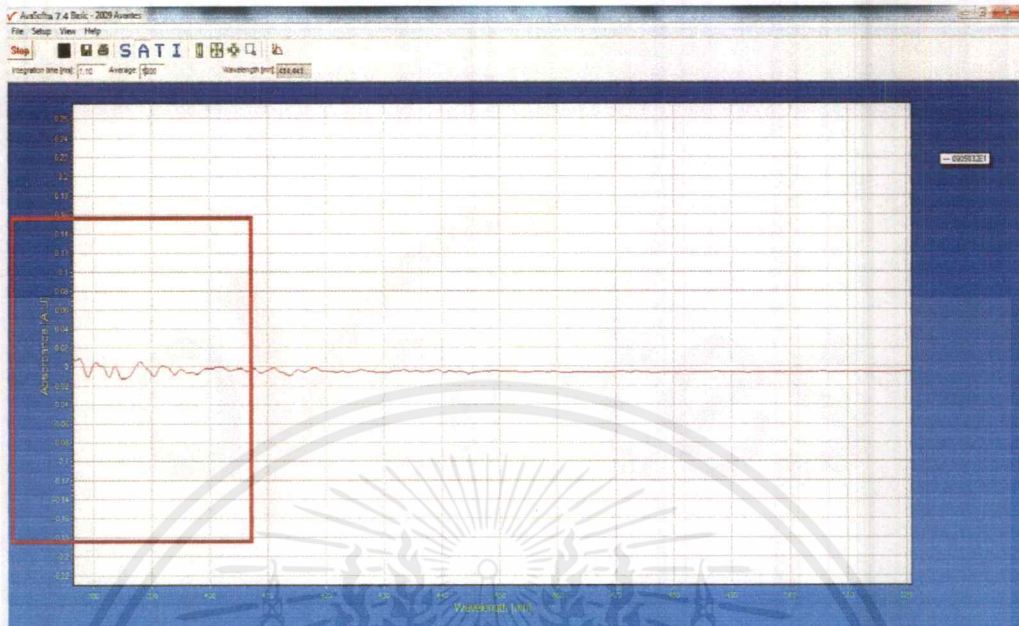


1.6 คลิกโหมด A (Absorbance Mode)

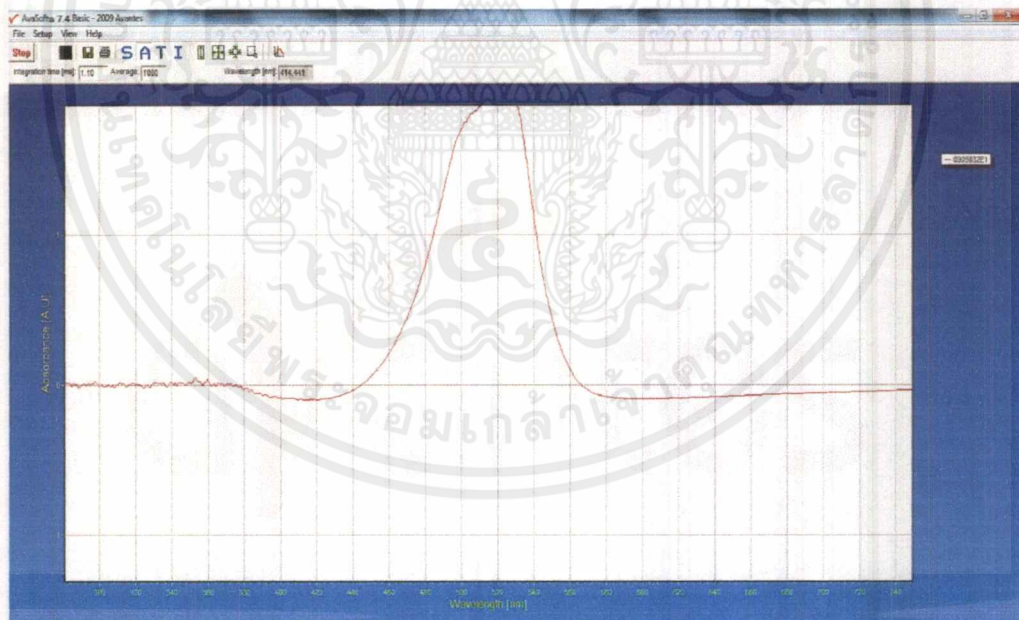


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ทำให้สเปกตรัมการดูดกลืนมีความเข้มเท่ากับ 0



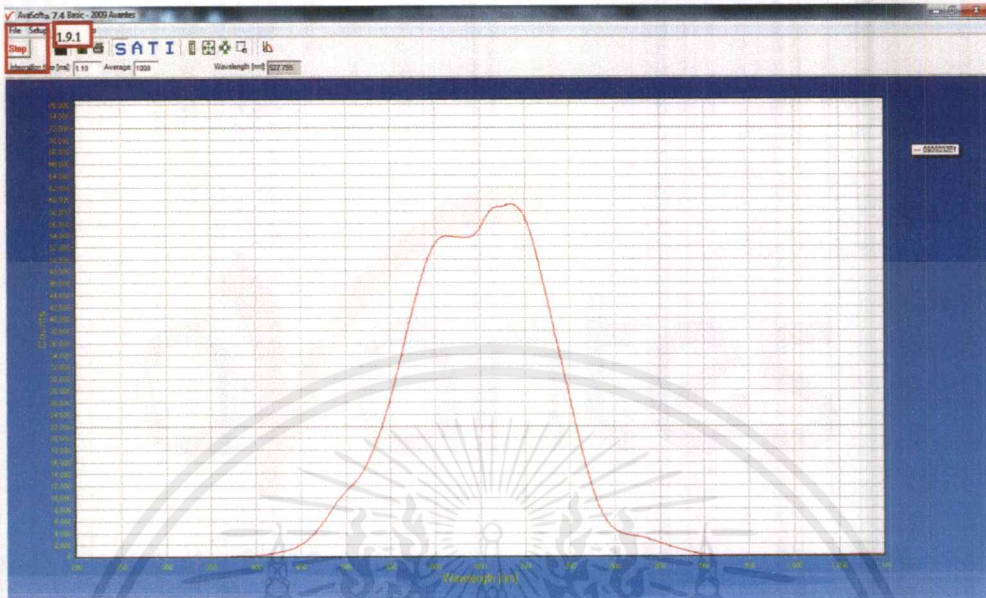
1.8 นำตัวอย่างที่ต้องการวัดใส่แทน blank จะทำให้ได้สเปกตรัมของตัวอย่างนั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9 ทำการ Save งาน

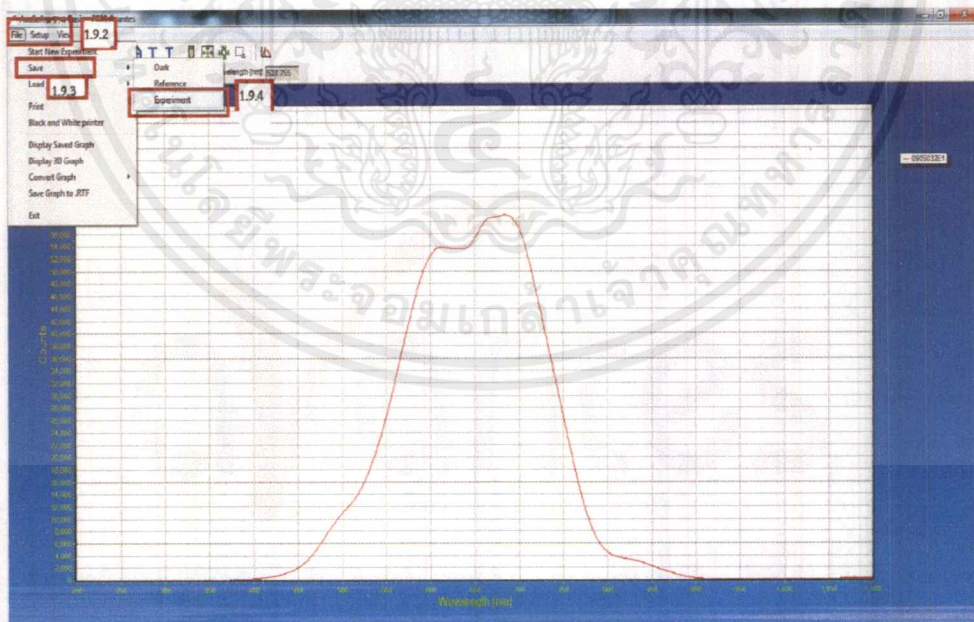
1.9.1 คลิกที่ปุ่ม Stop



1.9.2 คลิก File

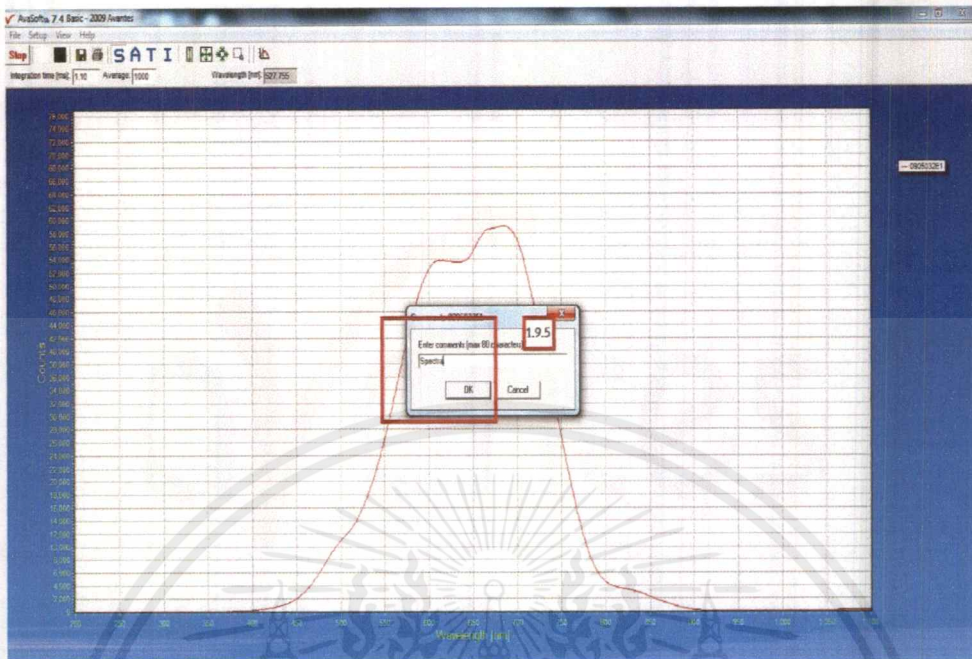
1.9.3 คลิก Save

1.9.4 คลิก Experiment



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

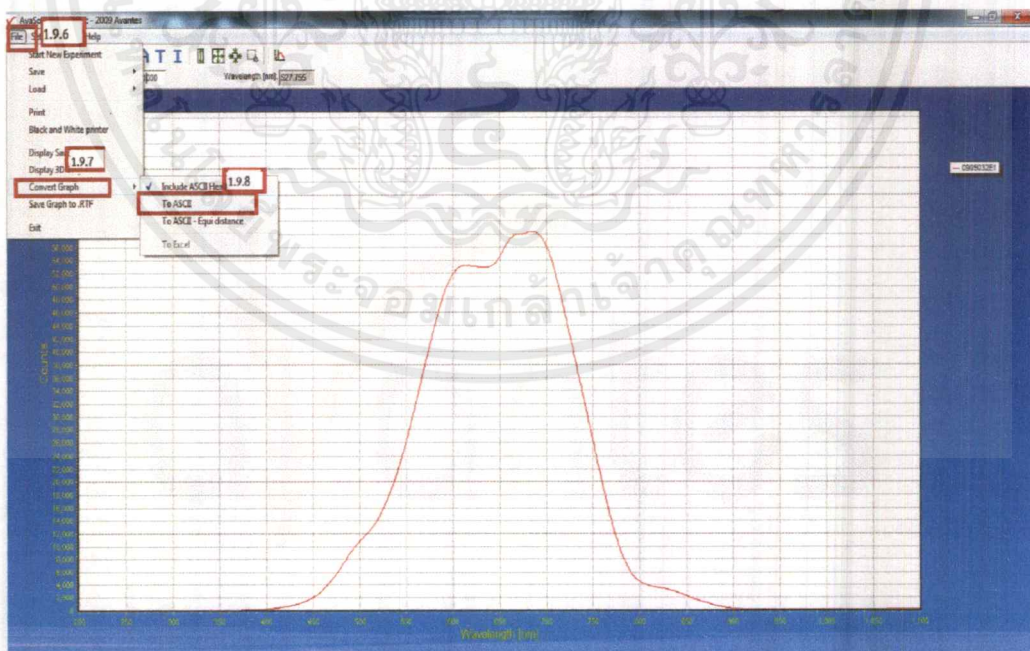
1.9.5 ทำการตั้งชื่อกราฟ จากนั้น คลิกที่ปุ่ม OK



1.9.6 คลิกที่ปุ่ม File

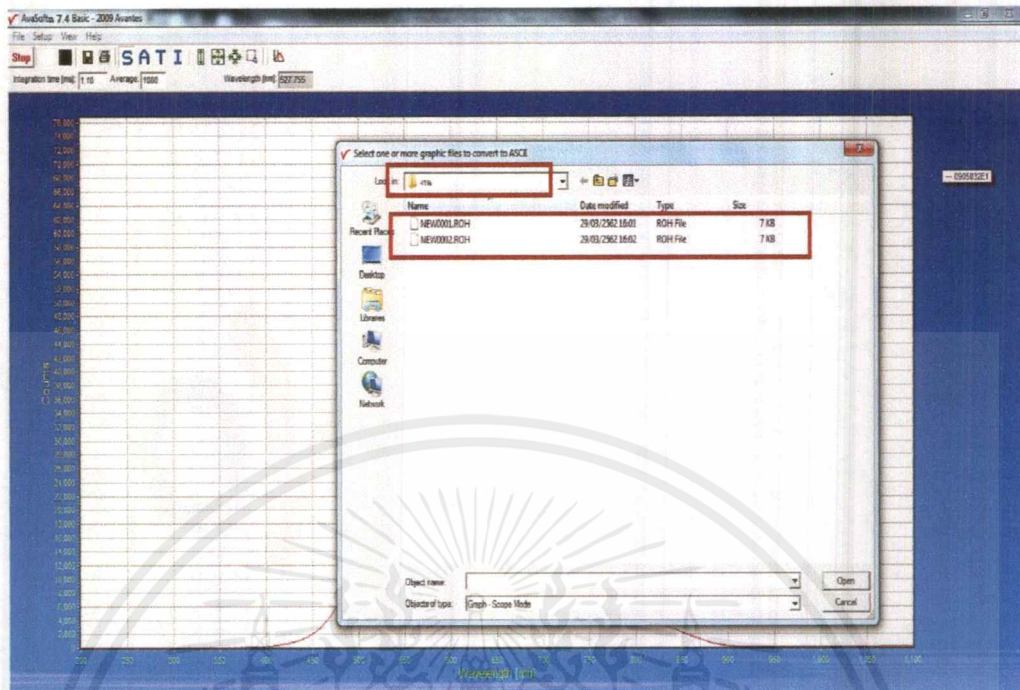
1.9.7 คลิก Convert Graph

1.9.8 คลิก to ASCII

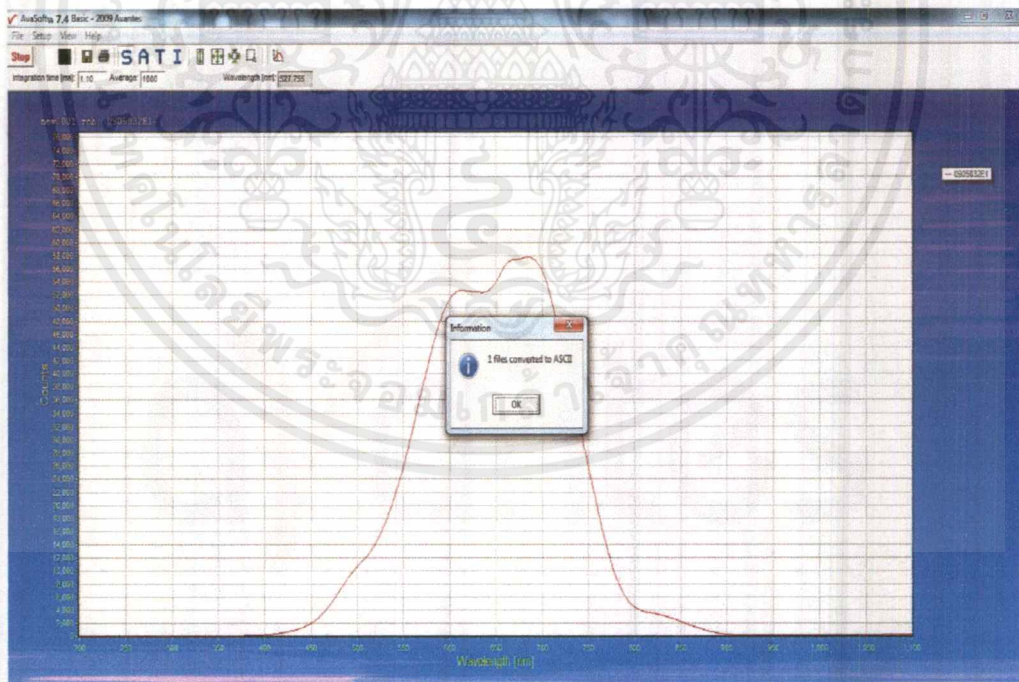


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9.9 จากนั้นดูว่าใช่ Folder ที่ตั้งชื่อไว้แต่แรกหรือไม่



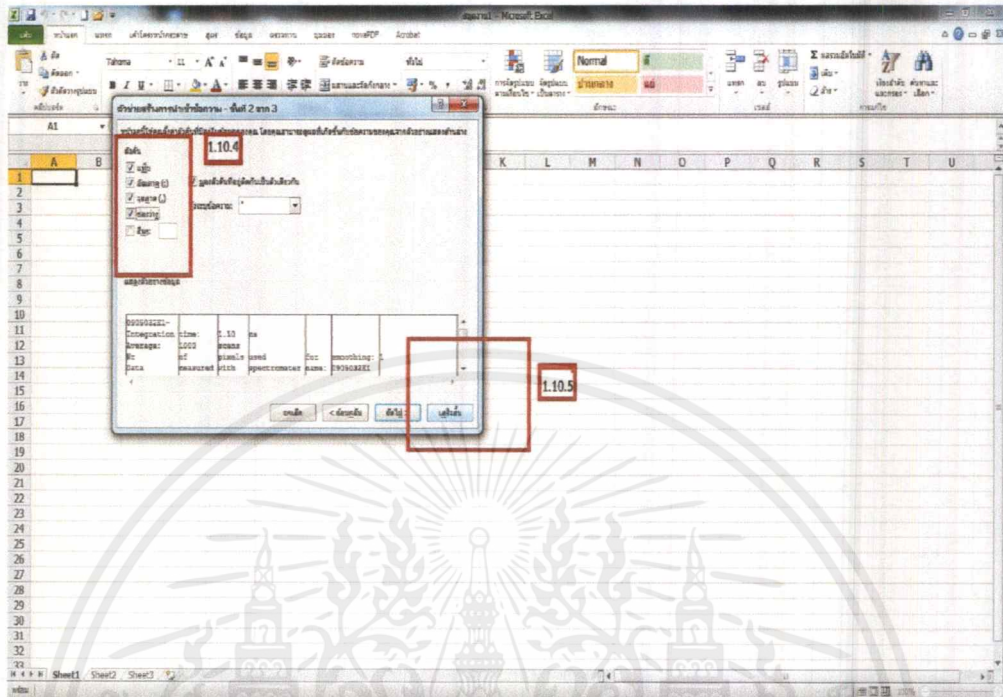
1.9.10 คลิกที่ไฟล์งานที่ตั้งชื่อไว้ จะขึ้นชื่อกราฟที่ตั้งชื่อไว้ จากนั้น คลิก Open > OK



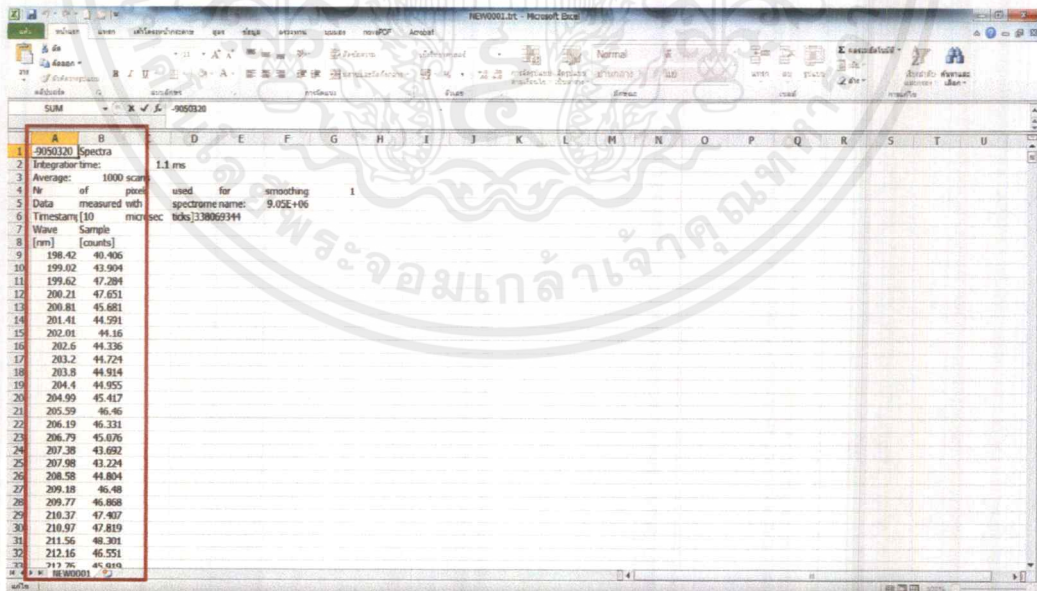
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.10.4 เลือกข้อมูลตั้งรูปภาพ

1.10.5 จากนั้นคลิก เสร็จสิ้น



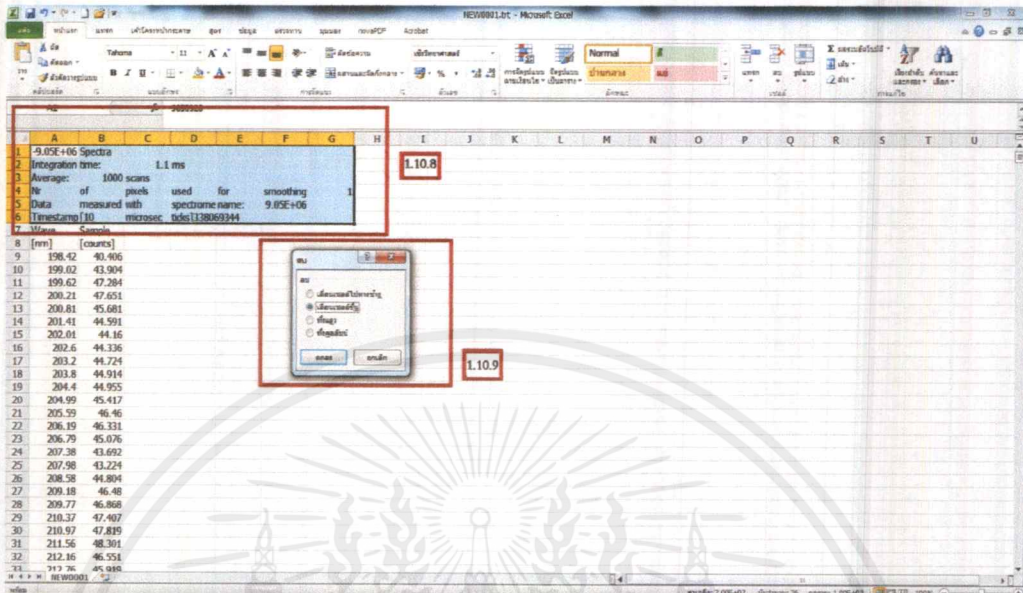
1.10.6 การวัดสเปกตรัมแสงจะมี 2 แกวคือค่าความยาวคลื่นและค่าความเข้มแสง



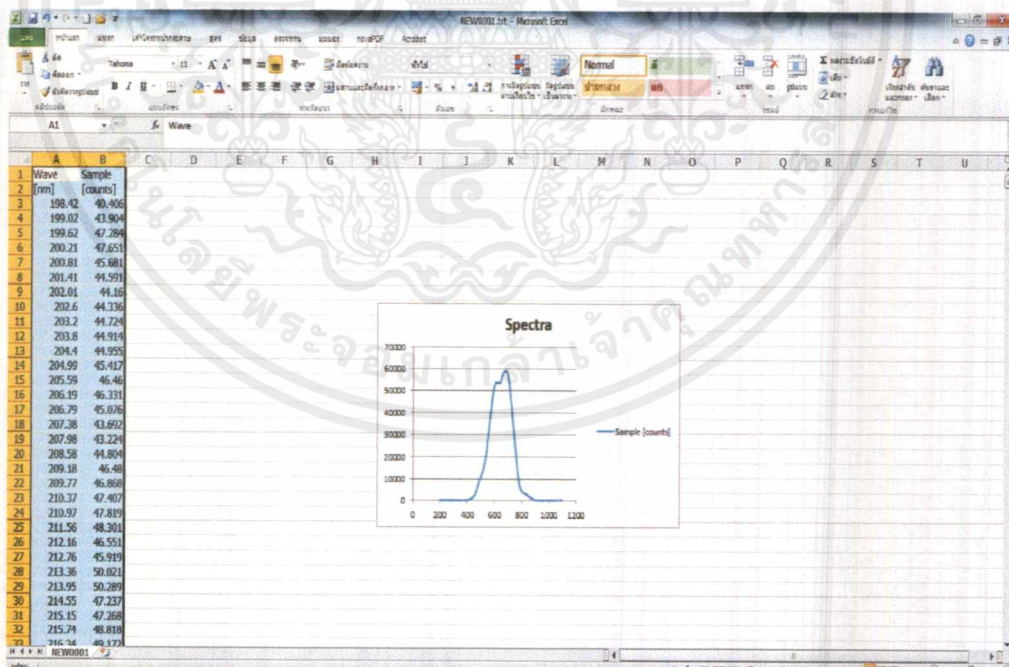
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.10.8 ลบข้อความตัวอักษรที่ไม่จำเป็นออก โดยใช้เมาท์ลากคลุมทั้งหมดตามภาพ

1.10.9 จากนั้นคลิกขวาเลือก เลื่อนเซลล์ขึ้น คลิก ตกลง



1.10.10 จากนั้นทำการสร้างกราฟตามปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

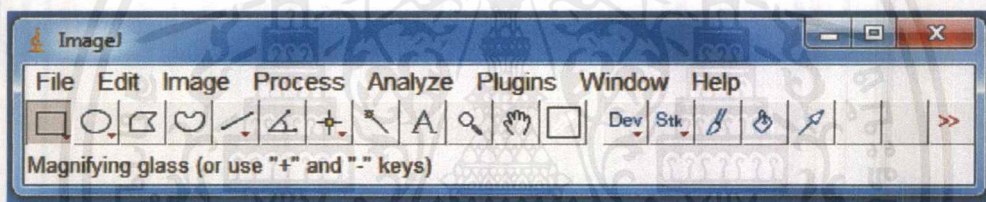
2. วัดการเปล่งแสง

การวัดการเปล่งแสงเหมือนกับการวัดสเปกตรัมแสงทั่วไป (วัดโหมด S) แต่จะแตกต่างกันเพียงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ โดยการวัดการเปล่งแสงจะเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะที่สารตัวอย่างดูดกลืนความยาวคลื่นได้ดีที่สุด เช่น Rhodamine 6G ดูดกลืนได้ดีที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร จึงใช้ LED ที่มีความยาวคลื่นที่ 530 นาโนเมตร เช่นกัน โดยแสงจาก LED ที่ผ่านสายไฟเบอร์ออปติก (สำหรับการวัดการเรืองแสงของสารละลายในควิวเวท) จะต้องทำมุม 90° กับสายไฟเบอร์ออปติกที่ต่อเข้ากับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้โปรแกรม ImageJ

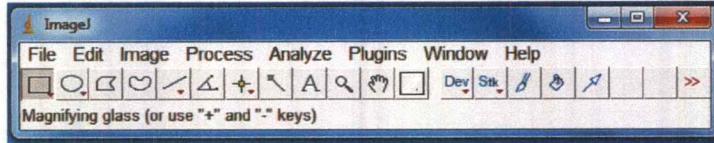


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

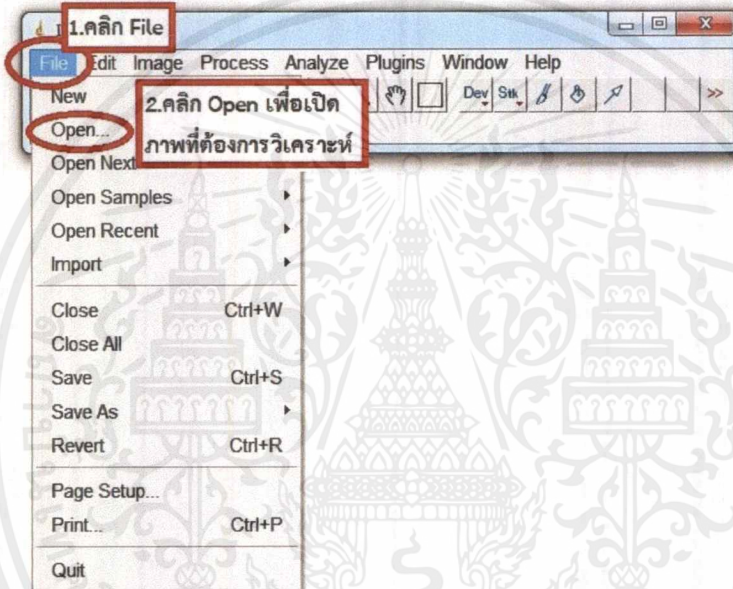
คู่มือการใช้โปรแกรม ImageJ

1. เปิดโปรแกรม ImageJ

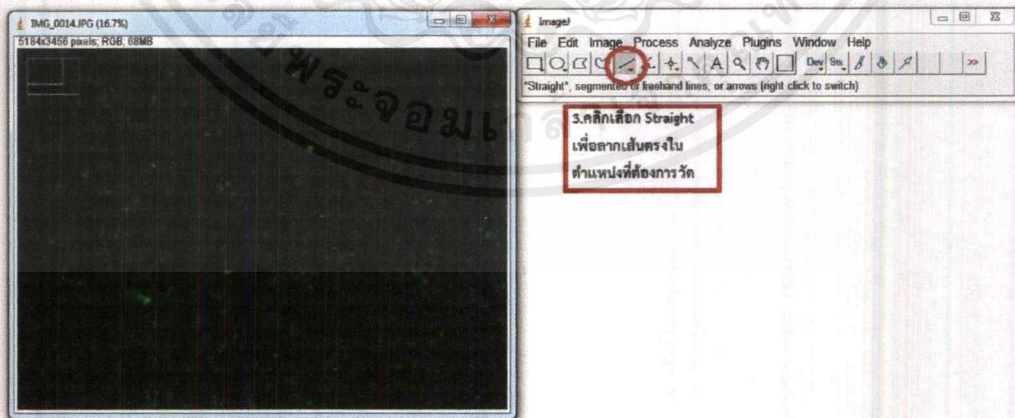
โดยหน้าต่างของโปรแกรม มีเฉพาะส่วนที่เป็นเมนูคำสั่งและไอคอนสัญลักษณ์เครื่องมือวัด



2. เปิดไฟล์ภาพโดยคลิก File > Open เพื่อเปิดภาพที่ต้องการวิเคราะห์

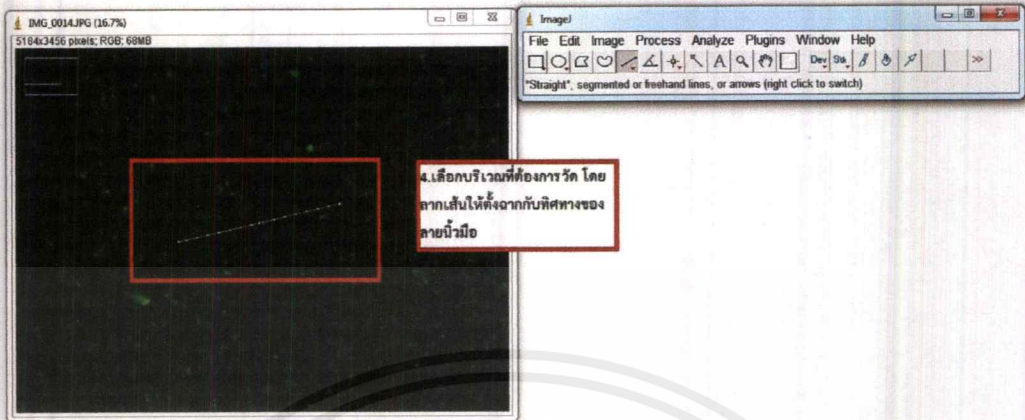


3. เลือกปุ่ม straight tool แล้วใช้เมาส์ลากเส้นตรงตามแนวเส้นตรงในตำแหน่งที่ต้องการวิเคราะห์



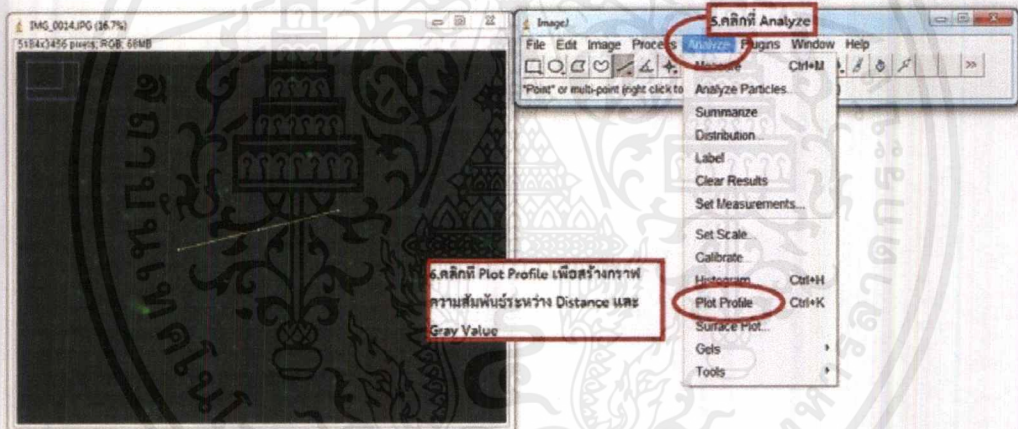
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้เครื่องมือ straight tool เลือกบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์ โดยลากเส้นให้ตั้งฉากกับทิศทางของลายนิ้วมือ

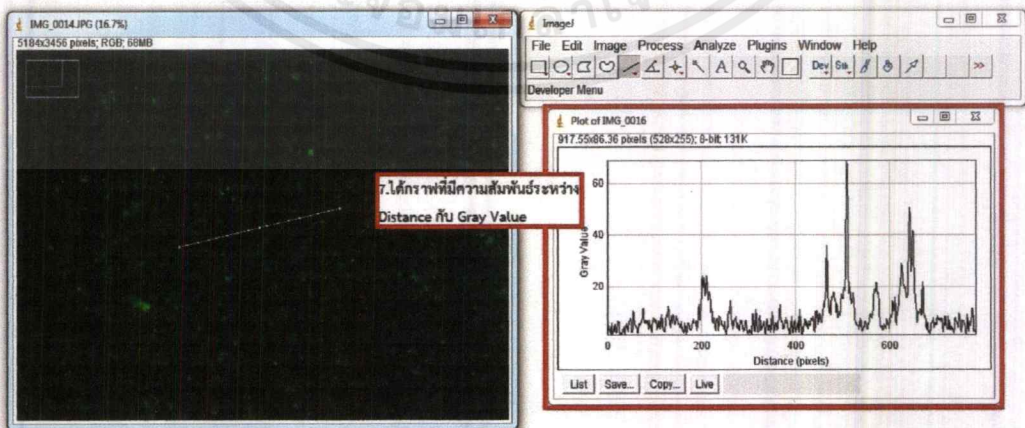


5. คลิกที่ Analyze

6. คลิกที่ Plot Profile เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Distance และ Gray Value

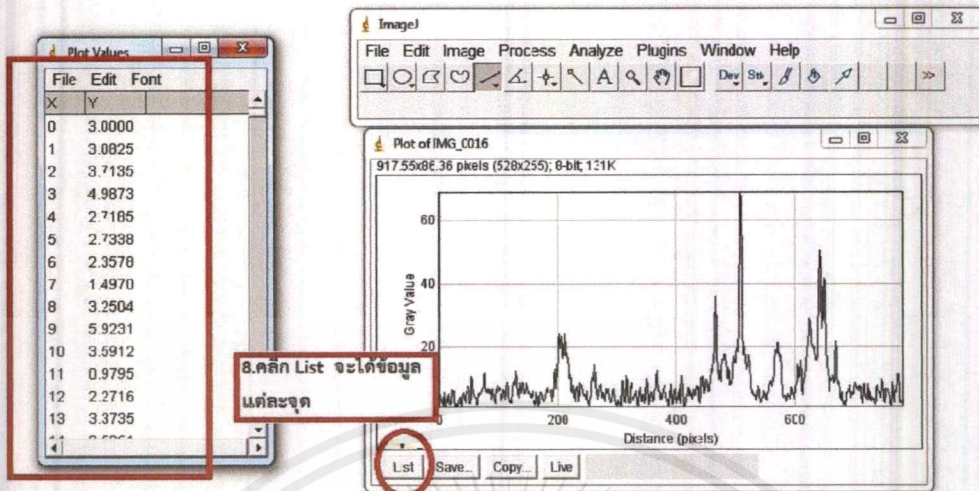


7. จะปรากฏกราฟที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง Distance และ Gray Value

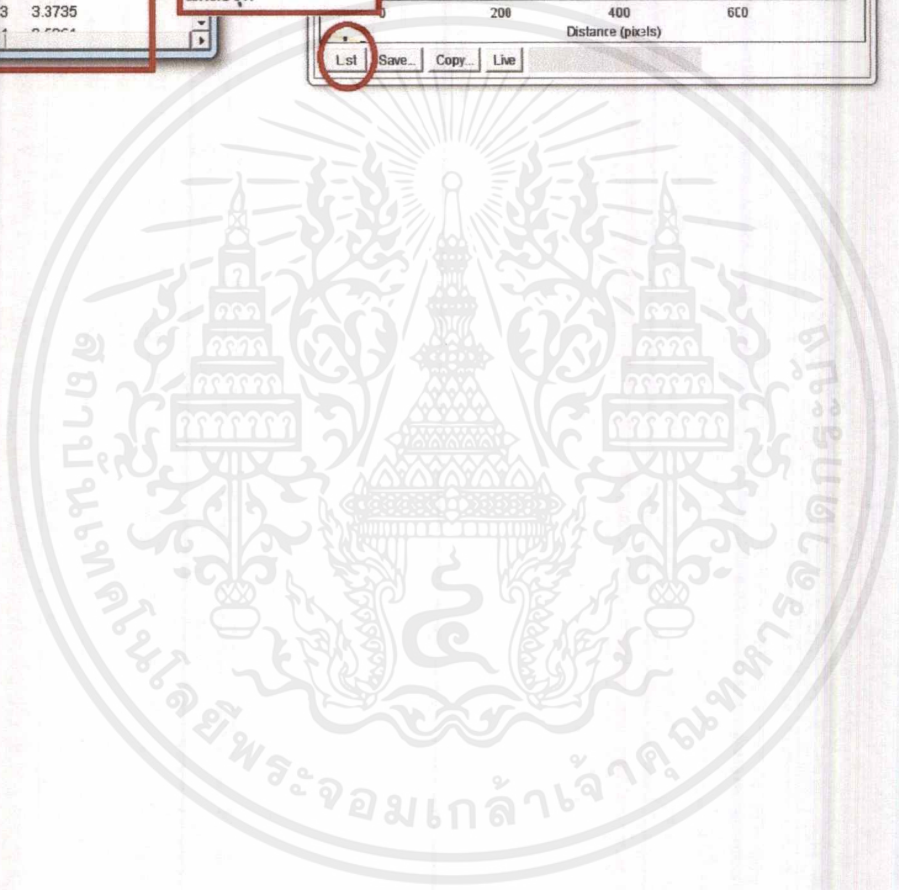


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. คลิกที่ List จะได้ข้อมูลเพื่อไปทำการวิเคราะห์ต่อไป



8.คลิก List จะได้ข้อมูล
แต่ละจุด





วิธีล้างอุปกรณ์

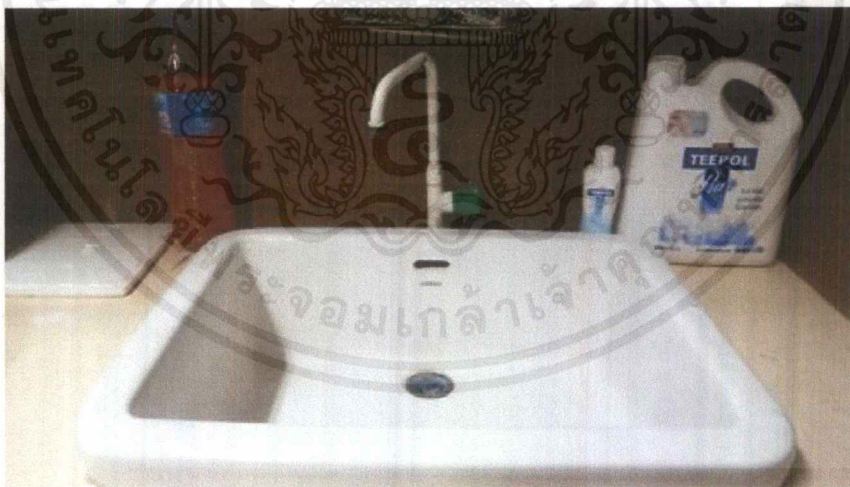
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการล้างอุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 1 ทิ้งสารที่ทำการทดลองลงในขวดหรือของเสียให้ถูกต้องตามสารที่เราใช้งาน โดยห้ามทิ้งสารรวมกับสารอื่นๆ



ขั้นตอนที่ 2 ทำความสะอาดเครื่องแก้วด้วยน้ำยาทำความสะอาด (น้ำยาล้างจาน) แล้วล้างน้ำเปล่าให้สะอาด โดยทำความสะอาดที่อ่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 นำเครื่องแก้วมาล้างอะซิโตน(95) เพื่อขจัดสารเคมีที่ตกค้าง เป็นเวลา 10 นาที โดยเครื่องอัลตราโซนิก

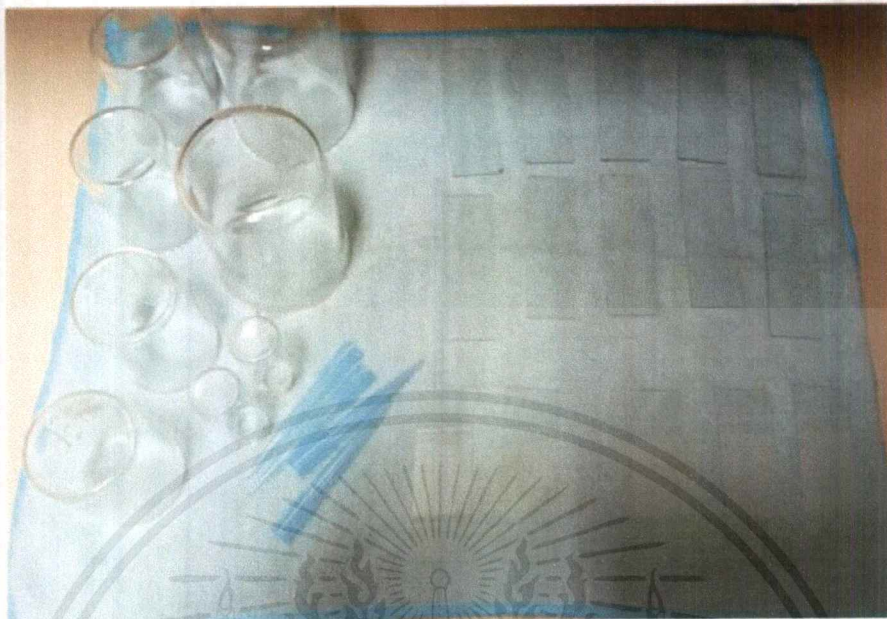


ขั้นตอนที่ 4 นำเครื่องแก้วมาล้างเอทานอล (95) ต่ออีก 10 นาทีด้วย เครื่องอัลตราโซนิกเช่นเดียวกับการล้างอะซิโตน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 นำเครื่องแก้วที่ล้างเสร็จมาวางบนผ้าเพื่อรอให้สารเคมีระเหยออกจนแห้ง



หมายเหตุ สำหรับ Cuvett กับ TIP หรืออุปกรณ์พลาสติกไม่ต้องล้างอะซิโตนให้ล้างเอทานอลได้เลย




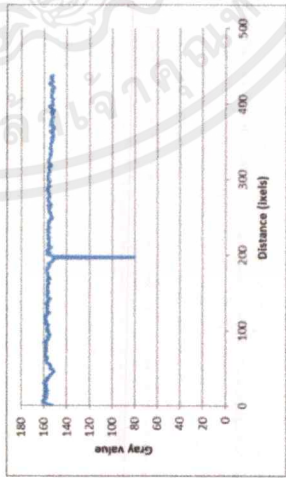

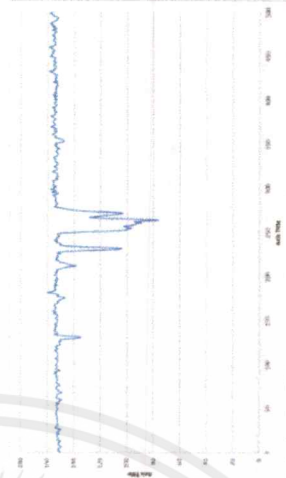
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




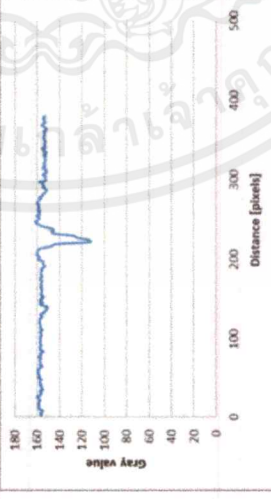
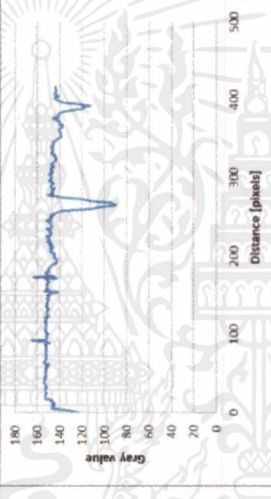
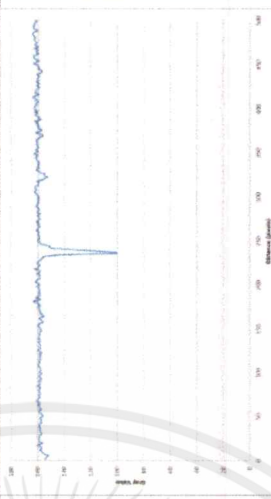
ข้อมูลส่วนที่ 1 การศึกษาเงื่อนไขเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลาย

ตารางที่ 1 การทดลองการศึกษาเงื่อนไขเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลาย

เวลา (นาที)	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
15 ไม้ล้าง น้ำ DI			
			
	Max 161.60	Max 164.00	Max 159.97
	Min 80.29	Min 82.94	Min 76.50
ค่าเฉลี่ย		Contrast	
Maximum = 161.86		Minimum = 79.91	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Contrast	
Maximum = 1.66		Minimum = 2.15	




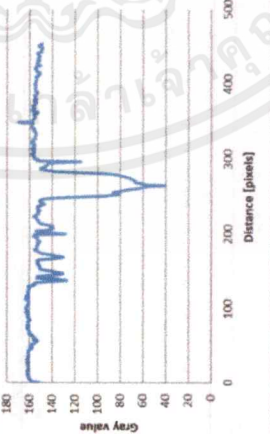
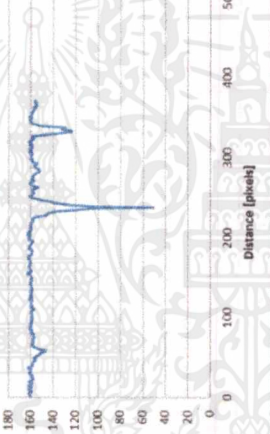
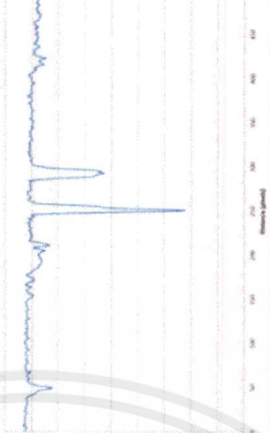
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การทดลองการศึกษาเงื่อนไขเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลาย (ต่อ)

เวลา (นาที)	การทดลองครั้งที่																			
	1	2	3																	
15 ล้างน้ำ DI																				
																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>161.60</td> <td>105.64</td> <td>49.96</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	161.60	105.64	49.96	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>164.56</td> <td>95.71</td> <td>64.32</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	164.56	95.71	64.32	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>163.79</td> <td>100.24</td> <td>63.54</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	163.79	100.24
Max	Min	Contrast																		
161.60	105.64	49.96																		
Max	Min	Contrast																		
164.56	95.71	64.32																		
Max	Min	Contrast																		
163.79	100.24	63.54																		
ค่าเฉลี่ย		Maximum = 163.32	Minimum = 100.53																	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Maximum = 1.25	Minimum = 4.06																	
		Contrast = 62.79																		
		Contrast = 2.66																		


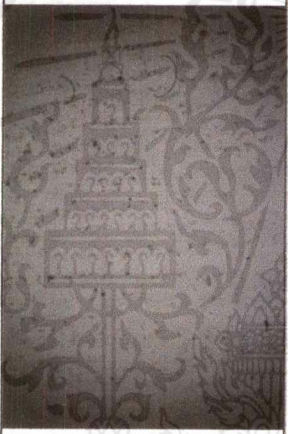

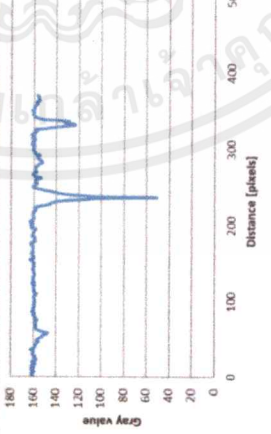
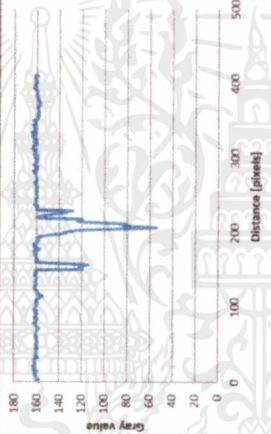
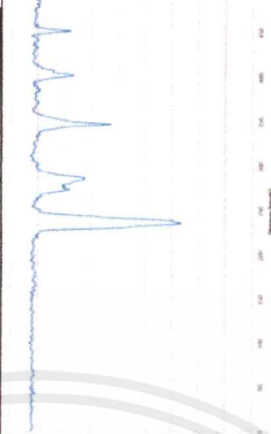
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การทดลองการศึกษาเงื่อนไขเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลาย (ต่อ)

เวลา (นาที)	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
30 ไม่ล้าง น้ำ DI			
			
	Max 163.05	Max 163.67	Max 165.90
	Min 40.65	Min 45.67	Min 50.80
ค่าเฉลี่ย			Contrast
Maximum = 164.20		Minimum = 45.70	Contrast = 118.50
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)			Contrast = 2.69
Maximum = 1.23		Minimum = 4.14	


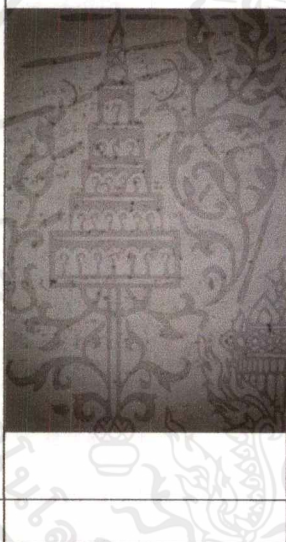

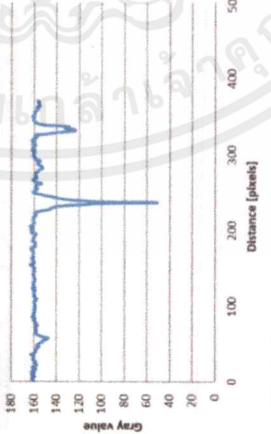
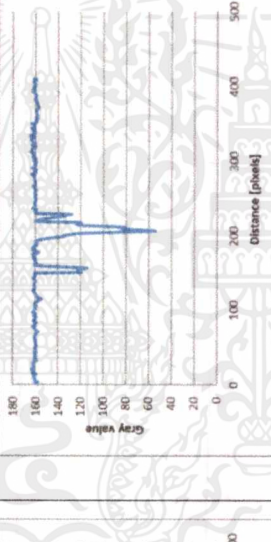
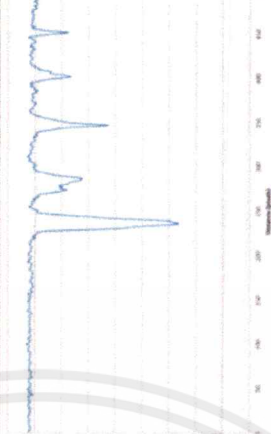
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การทดลองการศึกษาเงื่อนไขเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลาย (ต่อ)

เวลา (นาที)	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
30 ล้างน้ำ DI			
			
	Max 164.72	Max 164.72	Max 165.06
	Min 59.36	Min 59.36	Min 57.66
ค่าเฉลี่ย		Contrast = 106.04	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Contrast = 0.48	


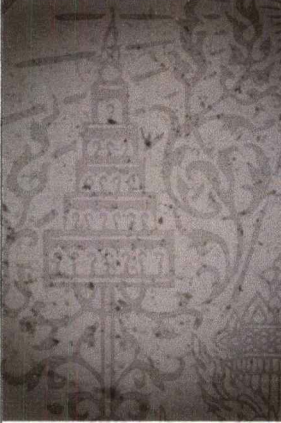

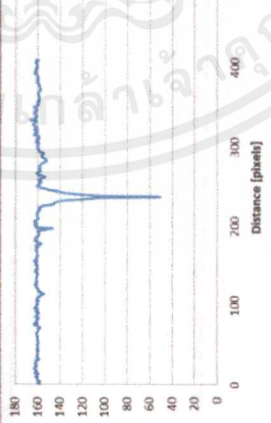
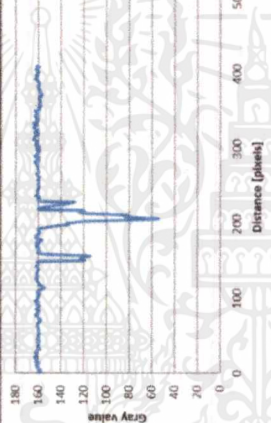
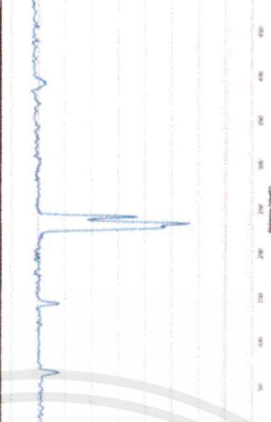
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การทดลองการศึกษาระยะเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลาย (ต่อ)

เวลา (นาที)	การทดลองครั้งที่																			
	1	2	3																	
30 ล้างน้ำ DI																				
																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>164.72</td> <td>59.36</td> <td>105.35</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	164.72	59.36	105.35	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>164.72</td> <td>59.36</td> <td>105.35</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	164.72	59.36	105.35	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>165.06</td> <td>57.66</td> <td>117.40</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	165.06	57.66
Max	Min	Contrast																		
164.72	59.36	105.35																		
Max	Min	Contrast																		
164.72	59.36	105.35																		
Max	Min	Contrast																		
165.06	57.66	117.40																		
ค่าเฉลี่ย		Maximum = 164.83	Minimum = 58.79																	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Maximum = 0.16	Minimum = 0.80																	
		Contrast = 106.04																		
		Contrast = 0.48																		


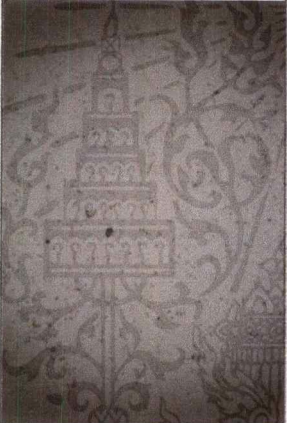

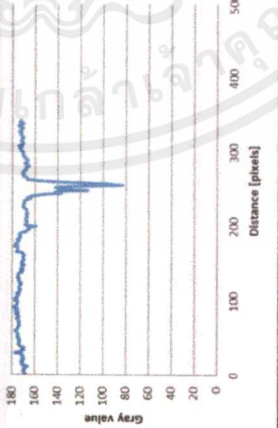

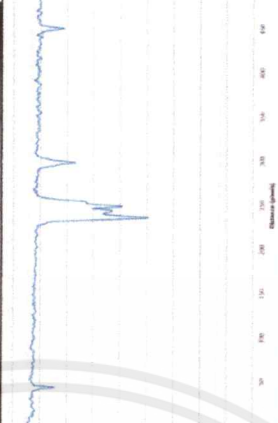
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การทดลองการศึกษาเงื่อนไขเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลาย (ต่อ)

เวลา (นาที)	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
60 ไม่ล้าง น้ำ DI			
			
	Max 175.81	Max 170.42	Max 166.00
	Min 59.33	Min 54.68	Min 54.74
ค่าเฉลี่ย		Contrast = 114.49	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Contrast = 3.10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การทดลองการศึกษาระยะเวลาในการแช่ตัวอย่างในสารละลาย (ต่อ)

เวลา (นาที)	การทดลองครั้งที่					
	1	2	3			
60 ล้างน้ำ DI						
						
	Max	Min	Contrast	Max	Min	Contrast
	168.24	83.26	91.98	179.05	80.96	100.24
ค่าเฉลี่ย		Maximum = 172.05	Minimum = 82.67		Contrast = 89.38	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Maximum = 4.95	Minimum = 1.23		Contrast = 3.09	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลส่วนที่ 2 การศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลาย

ตารางที่ 2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายในแต่ละครั้งการทดลอง

ตัวอย่าง	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด					ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
		การทดลองครั้งที่					
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย		
R6G	526.64	0.0954	0.0902	0.0899	0.0981	0.0025	
A	525.48	0.1082	0.1095	0.1076	0.1084	0.0008	
B	525.48	0.1154	0.1127	0.1144	1.1141	0.0011	
C	525.48	0.1167	0.1187	10.1176	0.1175	0.0008	
D	525.48	0.1201	0.1207	0.1199	0.1202	0.0003	
E	526.06	0.1225	0.1228	0.1215	0.1917	0.0006	
F	526.06	0.1912	0.1929	0.1914	0.1917	0.0008	
G	526.64	0.2444	0.2443	0.2446	0.2444	0.0001	
H	526.64	0.2947	0.2952	0.2956	0.2952	0.0004	

ตารางที่ 3 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของสารละลายในแต่ละครั้งของการทดลอง

ตัวอย่าง	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุด				ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
		การทดลองครั้งที่				
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
R6G	557.32	462.82	463.90	461.55	462.76	0.96
A	557.90	557.25	556.78	555.31	556.45	0.83
B	557.90	565.55	565.67	564.56	565.26	0.50
C	557.90	563.40	563.40	563.50	563.43	0.05
D	554.43	556.26	557.82	557.12	557.08	0.64
E	553.85	539.24	539.20	539.11	239.18	0.05
F	546.91	423.01	422.71	424.17	423.30	0.63
G	544.60	296.08	296.09	296.01	296.06	0.04
H	542.28	192.17	192.70	192.80	192.56	0.28

ข้อมูลส่วนที่ 3 การศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างที่แช่สารละลาย

ตารางที่ 4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่แช่สารละลายในแต่ละครั้งของการทดลอง

ตัวอย่าง	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด				ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
		การทดลองครั้งที่				
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
R6G	533.02	0.0020	0.0023	0.0022	0.0022	0.0001
A	533.60	0.0042	0.0038	0.0042	0.0041	0.0002
B	532.44	0.0055	0.0050	0.0053	0.0053	0.0002
C	530.12	0.0088	0.0090	0.0097	0.0092	0.0004
D	534.76	0.0099	0.0103	0.0099	0.1000	0.0002
E	533.02	0.0113	0.0117	0.0017	0.0016	0.0002
F	533.02	0.0118	0.0115	0.0114	0.0016	0.0002
G	530.70	0.2000	0.0040	0.0118	0.0019	0.0065
H	533.02	0.0124	0.0121	0.0119	0.0121	0.0002

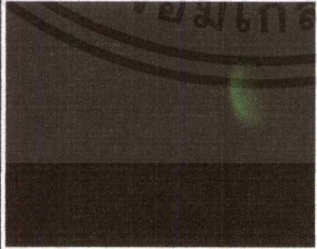

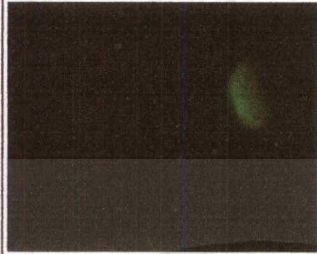
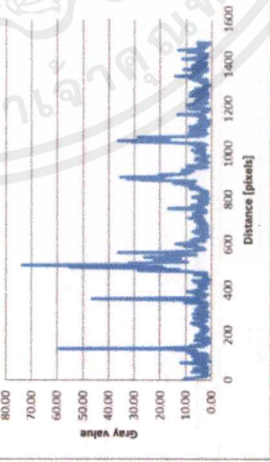
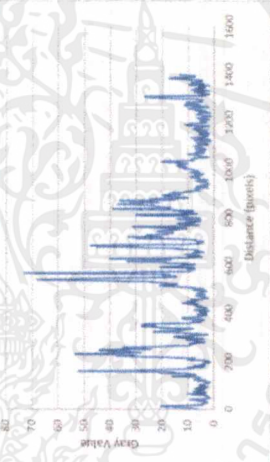
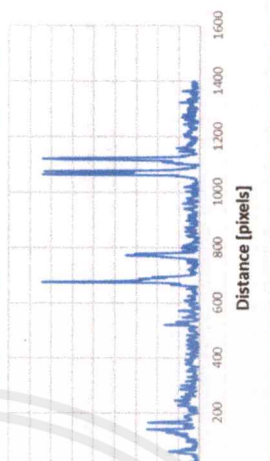
ตารางที่ 5 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างที่เขาสารละลายในแต่ละครั้งการทดลอง

ตัวอย่าง	ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุด				ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
		การทดลองครั้งที่				
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	
R6G	556.74	96.84	96.90	96.40	96.71	0.22
A	553.27	108.94	109.20	109.20	109.11	0.12
B	556.74	124.68	123.99	124.80	124.31	0.36
C	556.74	124.56	123.99	124.38	124.49	0.24
D	554.43	103.97	104.74	104.98	114.56	0.43
E	554.43	103.30	102.30	102.84	108.81	0.41
F	556.16	91.16	91.54	91.63	98.52	0.21
G	554.43	85.66	87.53	84.15	85.78	1.38
H	554.43	76.52	74.23	77.57	75.11	1.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

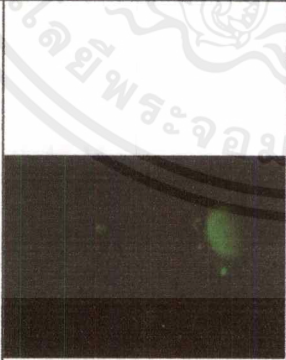

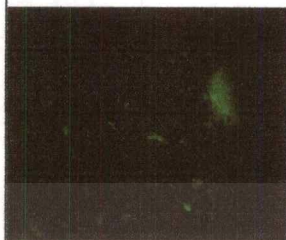
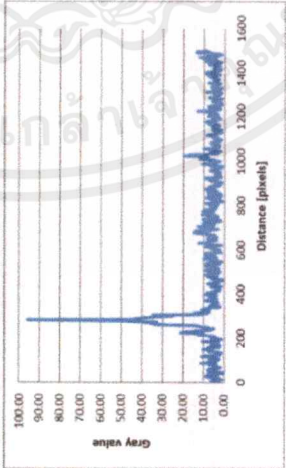
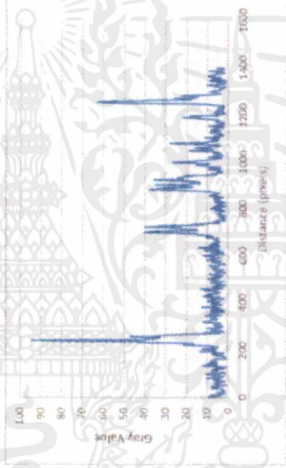
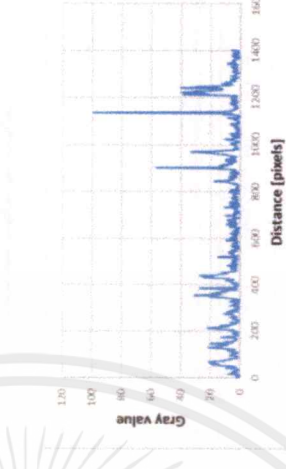
ข้อมูลส่วนที่ 4 การศึกษาสมบัติทางแสงโดยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์โดยการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจาก LED

ตารางที่ 6 การทดลองการถ่ายภาพโดยการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจากไดโอดเปล่งแสง

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
R6G			
			
	Max 73.67	Max 72.91	Max 74.44
	Min 0.42	Min 1.29	Min 0.05
ค่าเฉลี่ย		Contrast = 73.08	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Contrast = 0.57	

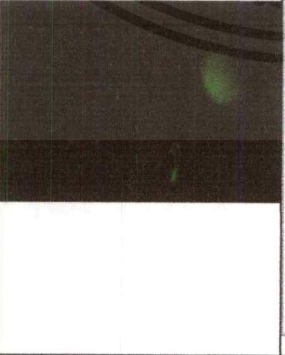
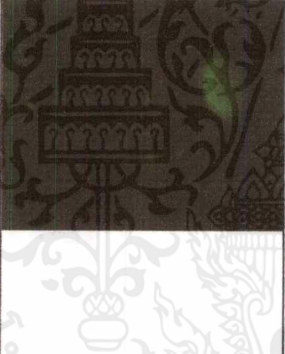
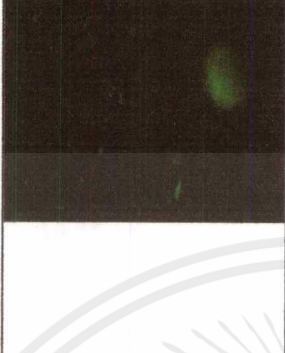
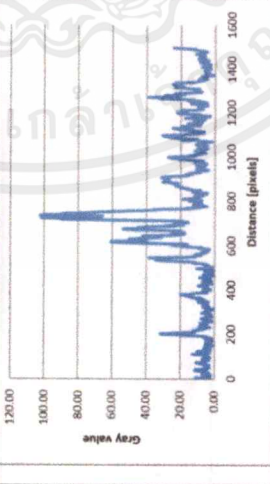
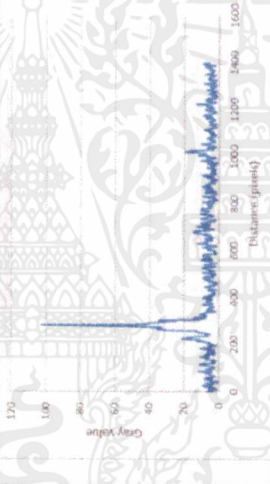

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 การทดลองการถ่ายภาพกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจากไดโอดเปล่งแสง (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
A			
			
	Max 95.63	Max 94.03	Max 98.23
	Min 0.25	Min 0.85	Min 0.11
ค่าเฉลี่ย		Contrast	
Maximum = 95.96		Maximum = 95.56	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Contrast	
Maximum = 1.73		Minimum = 0.32	
		Contrast = 1.03	

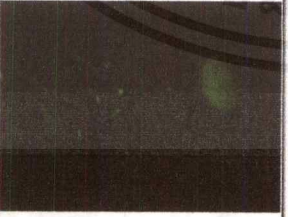


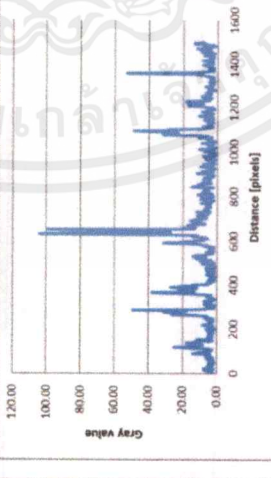
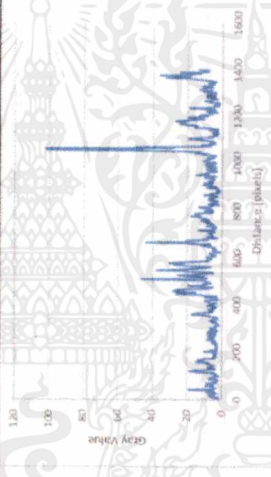
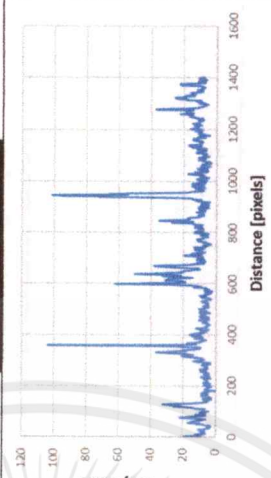
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 การทดลองการถ่ายภาพโดยการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจากไดโอดเปล่งแสง (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
B			
			
	Max 102.44	Max 102.49	Max 104.88
	Min 0.67	Min 0.67	Min 1.34
	Contrast 101.77	Contrast 101.82	Contrast 103.54
ค่าเฉลี่ย		Contrast = 102.38	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Contrast = 0.73	



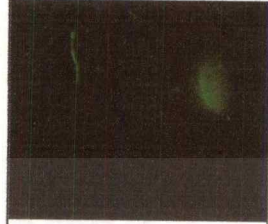

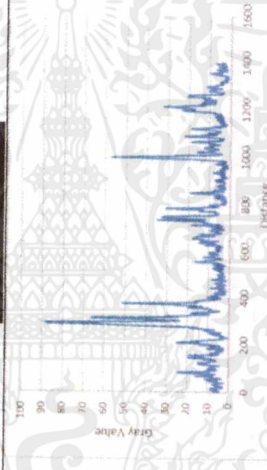
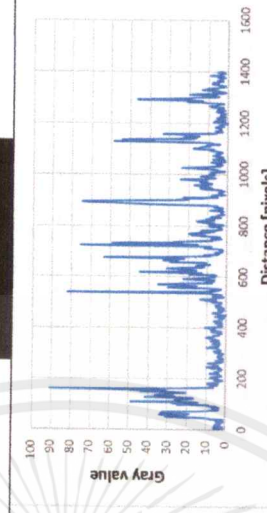
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 การทดลองการถ่ายภาพโดยการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจากไดโอดเปล่งแสง (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่																			
	1	2	3																	
C																				
																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>104.27</td> <td>0.72</td> <td>103.55</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	104.27	0.72	103.55	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>102.23</td> <td>0.57</td> <td>101.66</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	102.23	0.57	101.66	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>103.71</td> <td>0.01</td> <td>103.71</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	103.71	0.01
Max	Min	Contrast																		
104.27	0.72	103.55																		
Max	Min	Contrast																		
102.23	0.57	101.66																		
Max	Min	Contrast																		
103.71	0.01	103.71																		
ค่าเฉลี่ย		Maximum = 103.40	Contrast = 102.97																	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Maximum = 0.86	Contrast = 0.59																	

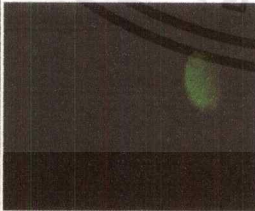


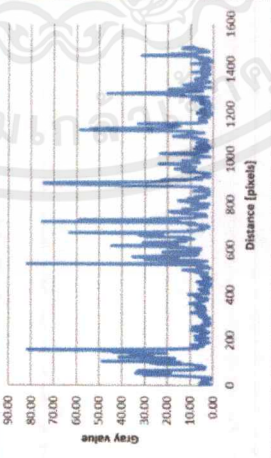
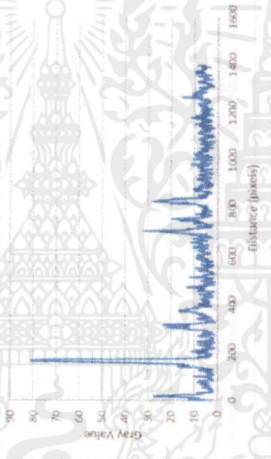
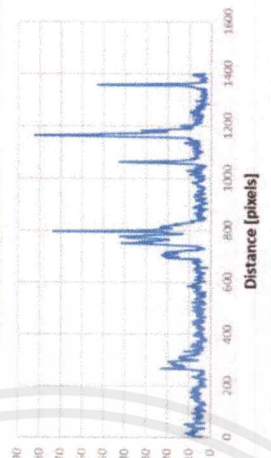
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 การทดลองการถ่ายภาพการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจากไดโอดเปล่งแสง (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
D			
			
	Max	Max	Max
	Min	Min	Min
ค่าเฉลี่ย			Contrast = 88.76
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)			Contrast = 0.65

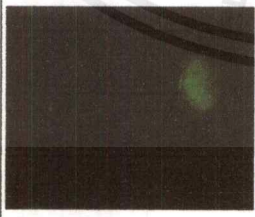


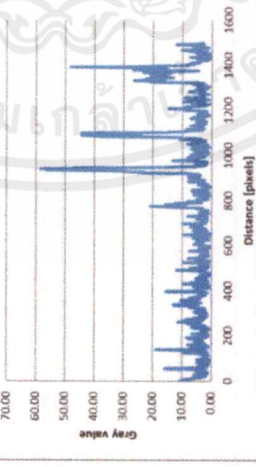
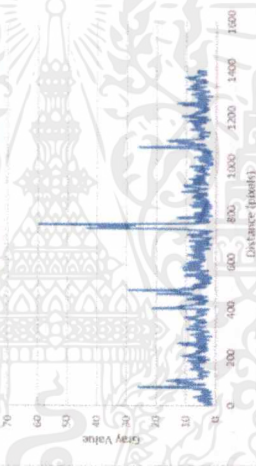
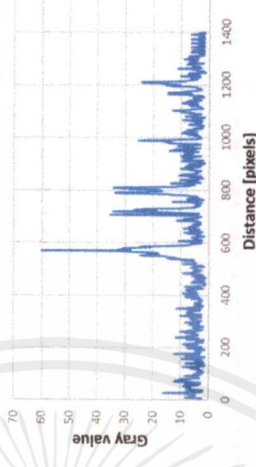
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 การทดลองการถ่ายภาพการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจากไดโอดเปล่งแสง (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
E			
			
	Max 81.5	Max 80.94	Max 82.45
	Min 0.28	Min 0.94	Min 1.17
	Contrast 81.22	Contrast 80	Contrast 81.32
	ค่าเฉลี่ย Maximum = 81.63	Minimum = 0.80	Contrast = 80.83
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) Maximum = 0.62	Minimum = 0.38	Contrast = 0.50

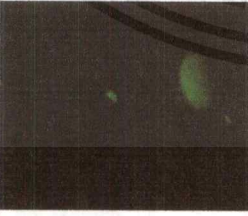


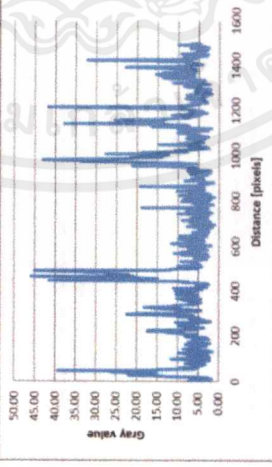
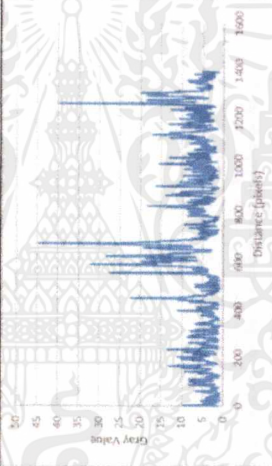
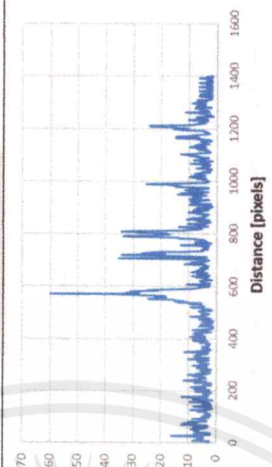
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 การทดลองการถ่ายภาพด้วยการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจากไดโอดเปล่งแสง (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
F			
			
	Max 58.16	Max 59.68	Max 60
	Min 0.13	Min 0.11	Min 1.15
	Contrast 58.03	Contrast 59.57	Contrast 58.85
	ค่าเฉลี่ย Maximum = 59.28	Minimum = 0.46	Contrast = 58.82
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) Maximum = 0.80	Minimum = 0.49	Contrast = 0.65

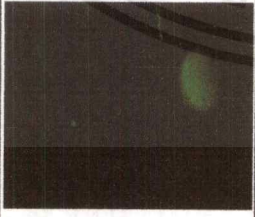

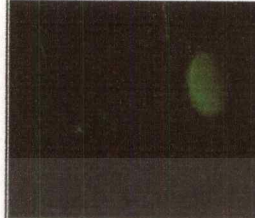
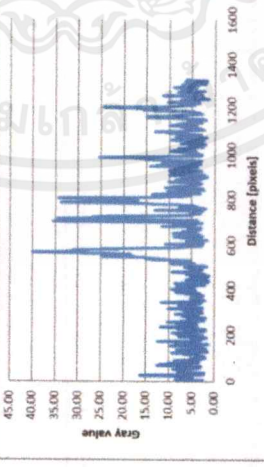
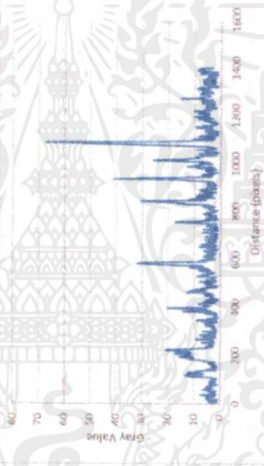
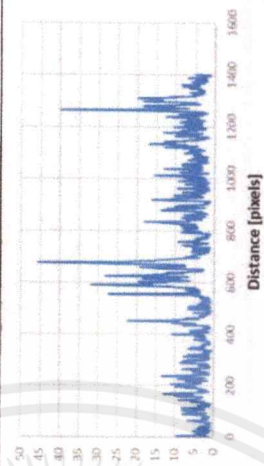
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 การทดลองการถ่ายภาพโดยการกระตุ้นด้วยแสงสีเขียวจากไดโอดเปล่งแสง (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
G			
			
	Max 45.71	Max 44.88	Max 45.79
	Min 1.01	Min 0.52	Min 0.67
ค่าเฉลี่ย	Maximum = 45.46	Minimum = 0.73	Contrast = 44.73
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	Maximum = 0.41	Minimum = 0.20	Contrast = 0.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

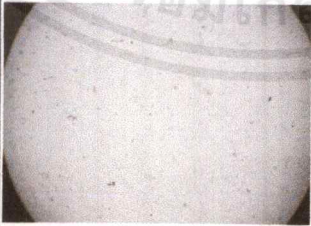


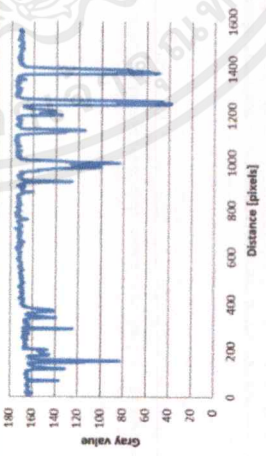
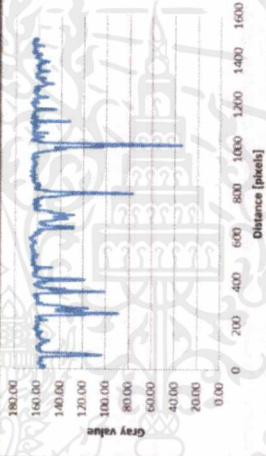

ตารางที่ 6 การทดลองการถ่ายภาพการกระตุ่นด้วยแสงสีเขียวจากไดโอดเปล่งแสง (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
H			
			
	Max 40	Max 38.85	Max 39.63
	Min 1.15	Min 0.71	Min 1.07
ค่าเฉลี่ย	Maximum = 39.47	Contrast = 0.98	Contrast = 38.49
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	Maximum = 0.51	Minimum = 0.19	Contrast = 0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




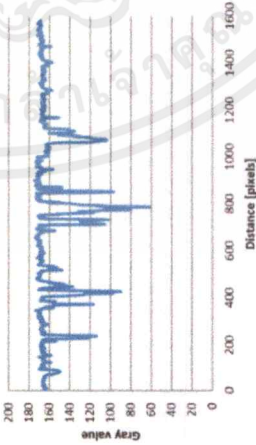
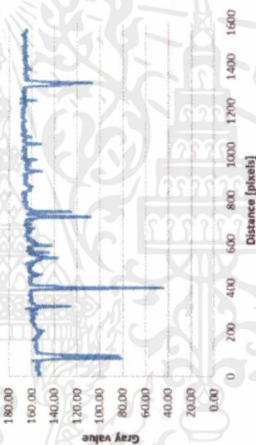
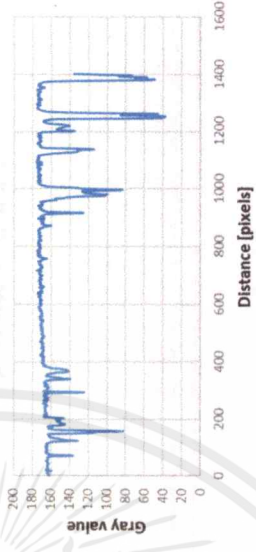
ข้อมูลส่วนที่ 5 การศึกษาสมบัติทางแสงโดยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์โดยการกระตุ่นด้วยแสงขาว

ตารางที่ 7 การทดลองการถ่ายภาพโดยการกระตุ่นด้วยแสงสีขาวจากกล้องจุลทรรศน์

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่								
	1	2	3						
R6G									
									
	Max 176.46	Min 85.35	Contrast 91.11	Max 174.90	Min 83.0	Contrast 91.90	Max 175.43	Min 83.62	Contrast 91.81
	ค่าเฉลี่ย			ค่าเฉลี่ย			ค่าเฉลี่ย		
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)			ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)			
Maximum = 175.60			Maximum = 175.60			Maximum = 175.60			
Minimum = 0.65			Minimum = 0.99			Minimum = 0.82			




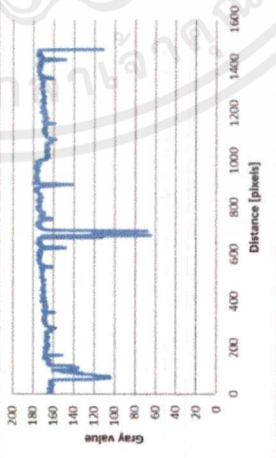
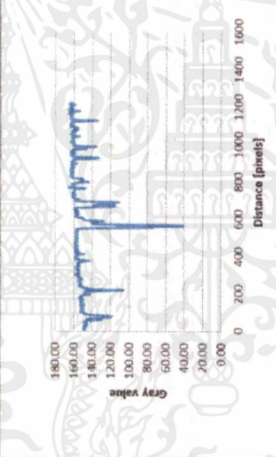
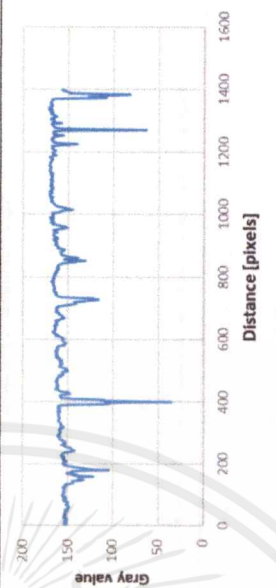
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 การทดลองการถ่ายภาพด้วยการกระตุ้นด้วยแสงสีขาจากกล้องจุลทรรศน์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่																				
	1	2	3																		
A																					
																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>175.52</td> <td>39.32</td> <td>136.2</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	175.52	39.32	136.2	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>170.01</td> <td>40.02</td> <td>129.99</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	170.01	40.02	129.99	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>176.04</td> <td>38.35</td> <td>137.7</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	176.04	38.35	137.7
	Max	Min	Contrast																		
175.52	39.32	136.2																			
Max	Min	Contrast																			
170.01	40.02	129.99																			
Max	Min	Contrast																			
176.04	38.35	137.7																			
ค่าเฉลี่ย		Contrast = 134.63																			
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Contrast = 1.70																			




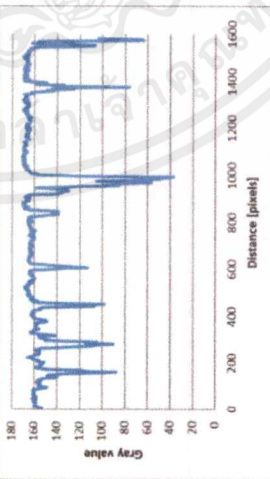

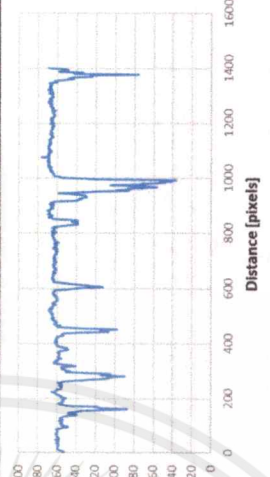
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 การทดลองการถ่ายภาพการกระตุ้นด้วยแสงสีจากกล้องจุลทรรศน์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่								
	1	2	3						
B									
									
	Max	Min	Contrast	Max	Min	Contrast	Max	Min	Contrast
	170.89	37.31	133.58	174.39	36.46	137.93	176.89	37.31	139.58
ค่าเฉลี่ย			Maximum = 174.06			Contrast = 137.03			
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)			Maximum = 2.46			Contrast = 1.43			





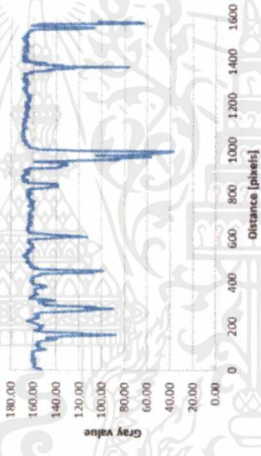
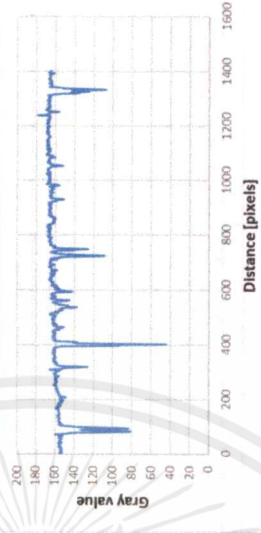
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 การทดลองการถ่ายภาพโดยการกระตุ้นด้วยแสงสีขาจากกล้องจุลทรรศน์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่					
	1	2	3			
C						
						
	Max 180.12	Min 35.00	Contrast 145.12	Max 172.03	Min 35.35	Contrast 136.68
	ค่าเฉลี่ย		Maximum = 172.72	Contrast = 137.61		
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Maximum = 5.78	Contrast = 2.98			


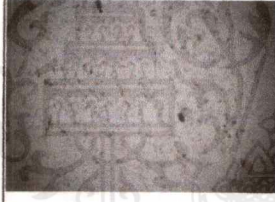

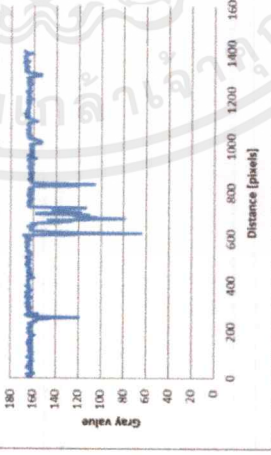
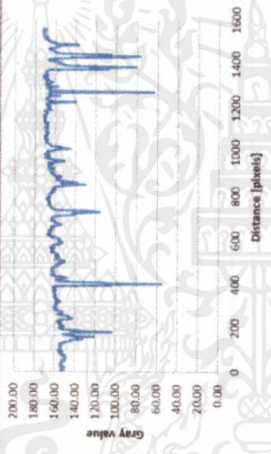
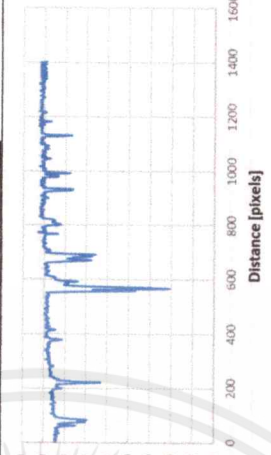
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 การทดลองการถ่ายภาพโดยการกระตุ้นด้วยแสงสีขาจากกล้องจุลทรรศน์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่																				
	1	2	3																		
D																					
																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>165.88</td> <td>44.09</td> <td>121.79</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	165.88	44.09	121.79	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>170.89</td> <td>43.56</td> <td>127.33</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	170.89	43.56	127.33	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>178.45</td> <td>44.45</td> <td>134.00</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	178.45	44.45	134.00
	Max	Min	Contrast																		
165.88	44.09	121.79																			
Max	Min	Contrast																			
170.89	43.56	127.33																			
Max	Min	Contrast																			
178.45	44.45	134.00																			
ค่าเฉลี่ย		Contrast = 127.71																			
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Contrast = 2.77																			





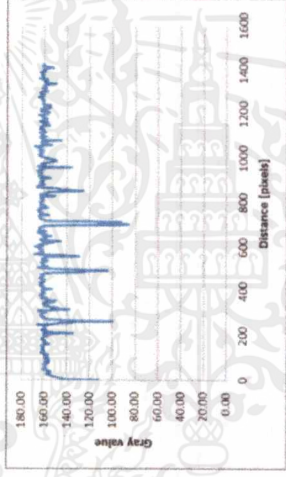
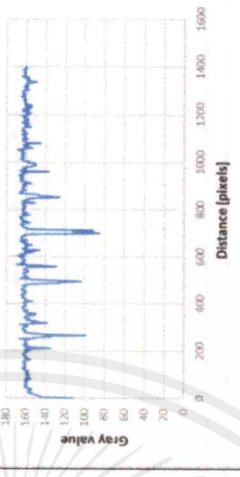
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 การทดลองการถ่ายภาพโดยการกระตุ้นด้วยแสงสีขาจากกล้องจุลทรรศน์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่								
	1	2	3						
E									
									
	Max	Min	Contrast	Max	Min	Contrast	Max	Min	Contrast
	168.89	43.68	125.21	172.45	42.00	130.45	165.88	41.09	124.79
ค่าเฉลี่ย			Maximum = 169.07			Contrast = 126.81			
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)			Maximum = 2.69			Minimum = 1.07			




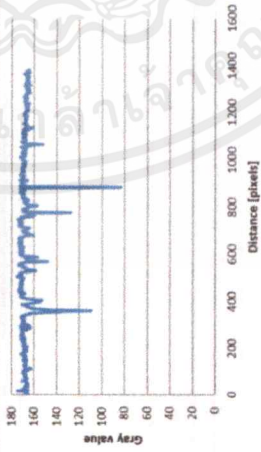

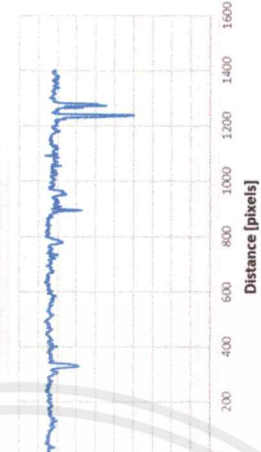
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 การทดลองการถ่ายภาพโดยการกระตุ้นด้วยแสงสีขาจากกล้องจุลทรรศน์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่																				
	1	2	3																		
F																					
																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>171.6</td> <td>86.52</td> <td>85.08</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	171.6	86.52	85.08	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>169.02</td> <td>86.70</td> <td>82.32</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	169.02	86.70	82.32	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Max</th> <th>Min</th> <th>Contrast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>169.00</td> <td>85.70</td> <td>83.29</td> </tr> </tbody> </table>	Max	Min	Contrast	169.00	85.70	83.29
	Max	Min	Contrast																		
171.6	86.52	85.08																			
Max	Min	Contrast																			
169.02	86.70	82.32																			
Max	Min	Contrast																			
169.00	85.70	83.29																			
ค่าเฉลี่ย	Maximum = 169.87	Minimum = 86.31	Contrast = 83.56																		
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	Maximum = 1.22	Minimum = 0.44	Contrast = 0.78																		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 การทดลองการถ่ายภาพโดยการกระตุ้นด้วยแสงสีจากกล้องจุลทรรศน์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	การทดลองครั้งที่		
	1	2	3
G			
			
	Max 175.43	Max 176.46	Max 173.68
	Min 83.62	Min 82.87	Min 80.00
ค่าเฉลี่ย		Contrast	
Maximum = 175.19		Maximum = 82.16	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)		Contrast = 93.03	
Maximum = 1.15		Contrast = 1.35	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงข้อมูลดิบและรูปภาพในบทที่ 4

ตารางที่ 1 ข้อมูลดิบผลการศึกษาระยะเวลาที่ตีดีที่สุดในการแช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd และความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI และไม่ล้างน้ำ DI

ตำแหน่ง	ชื่อไฟล์
แผ่น CD ข้อมูลดิบ > 4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาที่ตีดีที่สุดในการแช่สารละลาย R6G และความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI	4.1 ผลการศึกษาระยะเวลาที่ตีดีที่สุดในการแช่สารละลาย R6G และความแตกต่างระหว่างการล้างน้ำ DI

ตารางที่ 2 ข้อมูลดิบผลการศึกษาสมบัติทางแสงของสารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปแบบต่าง ๆ

ตำแหน่ง	ชื่อไฟล์
แผ่น CD ข้อมูลดิบ > 4.2.1 ผลการศึกษสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย	ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของ R6G และ R6G + Au@Pd ในรูปของสารละลาย 1) ผลการศึกษการดูดกลืนแสง 2) ผลการศึกษการเปล่งแสง
แผ่น CD ข้อมูลดิบ > 4.2.2 ผลการศึกษสมบัติทางแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd	ผลการศึกษาสมบัติทางแสงของตัวอย่างลายนิ้วมือที่แช่สารละลาย R6G และ R6G + Au@Pd 1) ผลการศึกษการดูดกลืนแสง 2) ผลการศึกษการเปล่งแสง
แผ่น CD ข้อมูลดิบ > 4.2.3 ผลการศึกษการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์	ผลการศึกษาผลการศึกษาการตรวจสอบลายนิ้วมือด้วยการถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ (การกระตุ้นด้วยแสงขาวและการกระตุ้นด้วยไดโอดเปล่งแสง สีเขียว ความยาวคลื่นที่ 530 นาโนเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of Rajabhat Buriram is a circular emblem. It features a central sun with rays, flanked by two tiered stupas. Below the sun is a large, ornate umbrella (parasol) supported by two mythical creatures. The entire design is surrounded by a decorative border. The Thai text around the border reads "วิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" (College of Technology, King Prajadhipok Rajavidyalaya, Ladkrabang).

ภาคผนวก จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัวผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวกมลทิพย์ ปุแดน
ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2539
ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
ณ โรงเรียนพิชัยรัตนาคาร อำเภอเมือง จังหวัดระนอง
ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
ณ โรงเรียนพิชัยรัตนาคาร อำเภอเมือง จังหวัดระนอง
ช่องทางการติดต่อ 58051019@kmitl.ac.th



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัวผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายกิตติรัชพงษ์ วิชาช่าง
ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2539
ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
ณ โรงเรียนบ้านหมากแข้ง อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี
ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
ณ โรงเรียนอุดรพัฒนาศากร อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี
ช่องทางการติดต่อ 58051030@kmitl.ac.th



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัวผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายสุวัฒน์ วั่งซัง
ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 23 มกราคม 2539
ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
ณ โรงเรียนหมอนทองวิทยา อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา
ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
ณ โรงเรียนบางน้ำเปรี้ยววิทยา อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา
ช่องทางการติดต่อ 58051166@kmitl.ac.th



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 30 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562

ข้าพเจ้า นางสาวกมลทิพย์ ปุแตน

รหัสประจำตัว 58051019

นายกิตติธัชพงษ์ วิชาช่าง

รหัสประจำตัว 58051030

นางสาวสุนันท์ วังซัง

รหัสประจำตัว 58051166

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ

ชื่อภาษาไทย ประสิทธิภาพการตรวจสอบภาพลายนิ้วมือแฝงด้วยโรดามีน 6 จี ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม

ชื่อภาษาอังกฤษ EFFICIENCY OF VERIFICATION OF LATENT FINGERPRINT BY RHODAMINE 6 G WITH GOLD-PALLADIUM NANORODS

ปีการศึกษา 2561

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักษราวิสุทธิ 0.00% หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ..... ลงชื่อ..... ลงชื่อ.....

(นางสาวกมลทิพย์ ปุแตน)

(นายกิตติธัชพงษ์ วิชาช่าง)

(นางสาวสุนันท์ วังซัง)

นักศึกษา

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ. ดร. กฤษกร โฉ่เจริญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหามบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

(รศ. ดร. กฤษกร โฉ่เจริญรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

Plasmonic properties of gold-palladium core-shell nanorods

Kitsakorn Locharoenrat and Pattareeya Damrongsak

Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand, klkitsak@kmitl.ac.th

Received: 23.04.2015

Abstract. We focus on the plasmonic properties of palladium-coated gold nanorods. Two characteristic plasmon bands of those nanorods have been detected in the optical absorption. One of them, which is located at about 525 nm, is associated with electron oscillations along the transverse direction. This band does not depend on the palladium-shell thickness and the dielectric susceptibility of the surrounding medium. The other band, at about 800–900 nm, is associated with electron oscillations along the longitudinal direction. It exhibits a clear shift when the palladium-shell thickness and the dielectric surrounding are changed. Our results point to a novel possible way for tuning photo-catalytic ability of the nanorods and their possible use in biological/chemical sensors.

Keywords: metals, plasmons, nanomaterials, nanorods

PACS: 73.20.Mf, 78.67.Qa, 81.10.Dn

UDC: 535.34+535.331

1. Introduction

Bimetallic nanoparticles can offer additional degrees of freedom when compared with the pure elemental particles, by altering physical properties of the latter. This can enable a wide range of applications, e.g. catalysis technologies [1–6] or optical devices [7–11]. Like bimetallic nanoparticles, applications of bimetallic nanorods have served as a catalyst of one of the most active areas of the nanoscience. Bimetallic nanorods having large surface-to-volume ratios are among the nanomaterials used to improve selectivity and rate of metal-catalyzed reactions. Moreover, the bimetallic nanorods employed as nanocatalysts can provide a way for utilizing smaller amounts of expensive catalyst materials, by using less expensive metals as core materials. On the other hand, the structured core-shell nanocatalysts retain an efficient coupling surface-plasmon resonance. They can, for instance, act as built-in sensing components, which are able to signal the exposure to biological agents and toxic chemicals before the doses of the latter become harmful.

So far, the bimetallic nanorods have been used mainly in alloy or core-shell forms, relying significantly on the synthesis conditions, miscibility and the kinetics of reduction of metal ions. In this work, we study the plasmonic properties of the core-shell particles where palladium-wrapped gold nanorods have been obtained with various palladium-shell thicknesses and surrounding media. Like platinum, palladium is unique for its catalytic properties. It is expected to be a highly useful industrial catalyst for producing hydrogen from methane, reducing automobile pollutant gases, and even in direct methanol-fuel cells.

Gold has also attracted much attention as a potential core for bimetallic core-shell nanorods. The reasons are its strong optical absorption in the visible region [12, 13] and good catalytic properties [14–16], which reveal clear size and shape dependences. Furthermore, the use of gold

for the catalysis, instead of the other metals commonly employed for that aim, is more viable economically. In this respect our experimental results may prove to be very useful for the solar energy conversion by plasmonic luminescent solar concentrators. Moreover, the benefits from the plasmonic effect can be applied to develop metal-enhanced fluorescence via fluorescent dye-doped Au@Pd thin films. This will be the subject of our forthcoming article.

The impact of the present work concerns the two aspects. First, we have measured the exact values of the metal-component concentrations. Since the metal mass in the solution cannot be extracted from its precursors, one needs inductively coupled plasma-mass spectrometry examinations of the products obtained finally, especially in the case of our plasmonic investigations. We have used the mentioned spectrometric technique to measure the exact metal concentrations. Notice that some of the studies (see Refs. [17, 18]) provide only approximate estimations issuing from the metal sources and the conversion efficiency. Although these rough concentration estimations are of the same order of magnitude, they can vary notably from the exact values. Second, we have built a simpler, lower-cost spectrometer, as compared with its commercial counterparts.

2. Experimental

A gold core was prepared from the solution of cetyltrimethylammonium bromide, using a seed-mediated growth technique [19]. Palladium chloride components of different concentrations were then added to the gold core in order to form a palladium shell of varying thickness. The exact concentrations were examined with the inductively coupled plasma-mass spectrometry, which is usually used for determining the exact amounts of metals. The gold-core sizes and the palladium-shell thicknesses were characterized using a transmission electron microscopy. The samples were centrifuged and redispersed in deionized water before the optical absorption measurements.

The absorption spectra (in arbitrary units) of the gold-palladium core-shell nanorods with different weight ratios of palladium and gold (Pd: Au = 0.20:1, 0.10:1, 0.05:1 and 0:1) were measured in the wavelength region 400–900 nm, using a home-made spectrometer equipped with polarizing accessories, a xenon lamp Hamamatsu L2273, and a photomultiplier Hamamatsu R585 (see Fig. 1). We used two monochromators in a series, which functioned as a double filter for rejecting any stray light. The exit slit of the first monochromator was the entrance slit for the second one. The absolute values of sample absorptions were obtained by normalizing the sample absorption response corresponding to plasmon resonances to that of a quartz reference plate.

Finally, the optical absorptions of a set of palladium-coated gold nanorods placed in the liquids with different dielectric constants (see Table 1) were studied. The plasmon modes were also detected for the reference cases of refined ethanol and toluene. The experimental data was presented in terms of dependence of the plasmon-peak wavelength on the refractive index.

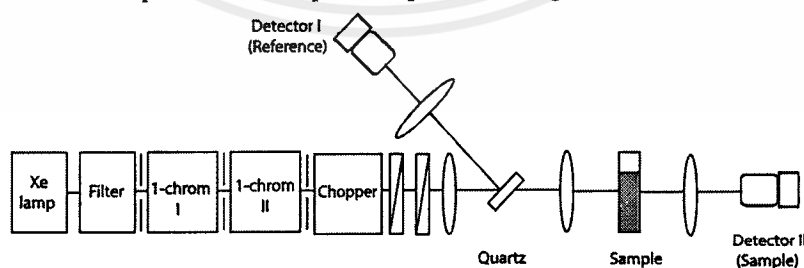


Fig. 1. Schematic diagram of our optical setup. '1-Chrom I' and '1-Chrom II' are two monochromators (see the text).

Table 1. Chemical substances used in this work and their refractive indices

Ethanol fraction (%)	Toluene fraction (%)	Refractive index
0	0	1.33
100	0	1.36
67	33	1.41
50	50	1.43
33	67	1.45
0	100	1.49

3. Results and discussion

The transmission electron microscopy images displayed in Fig. 2a and Fig. 2b show uniform gold nanorods and uniform palladium-coated gold nanorods, respectively. The short axis b and the long axis a of the gold nanorod core are 40 ± 3 and 96 ± 6 nm, respectively. The aspect ratio a/b is therefore 2.4 ± 2 . The thickness of the coating palladium shell is equal to 3.0 ± 0.2 nm.

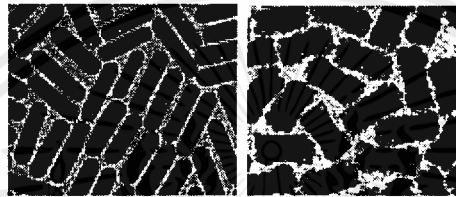


Fig. 2. Transmission electron microscopy images of gold (left panel) and palladium-coated gold (right panel) nanorods.

The optical absorption spectra measured for the palladium-coated gold nanorods with the Pd/Au weight ratios 0, 0.05, 0.10 and 0.20 are shown in Fig. 3. Two main plasmon peaks can be detected for all of our samples. The first is linked to electron oscillations perpendicular to the long axis of the rod (a so-called transverse plasmon band), and the second is associated with conduction-electron oscillations parallel to the long axis of the rod (a so-called longitudinal plasmon band). Of those two modes, the transverse oscillations of electrons give rise to the absorption band located at the shorter-wavelength side (at about 525 nm), which corresponds to nanospheres. That location of the resonance is independent of the palladium-shell thickness and the changing Pd/Au weight ratio because the short axis a is dominant for the spherical-like segments. The resonance shows no detectable shift when the Pd/Au weight ratio increases from 0.05 to 0.20. This result can be explained with the approach developed by Sandrock et al. [20] suggesting that the light polarization is weakly affected by the centrosymmetric structures having the aspect ratio $a/b = 1$.

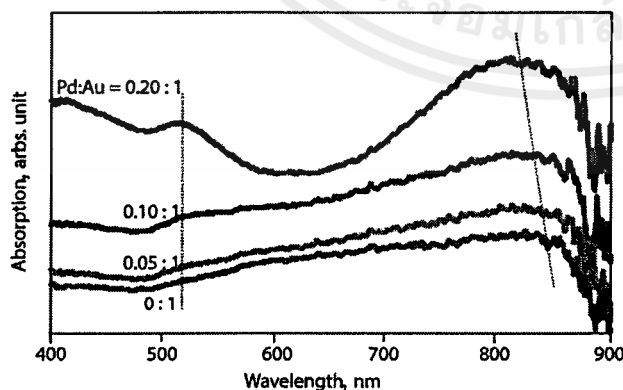


Fig. 3. Absorption spectra of palladium-coated gold nanorods with different Pd/Au weight ratios. Left and right peaks correspond respectively to transverse and longitudinal plasmon bands. Each sample is immersed in deionized water.

On the other hand, the longitudinal oscillations of electrons result in the band located in the longer-wavelength part of the spectrum, because the long axis b is dominant for the case of rod-like segments. The peak position depends on the palladium-shell thickness, thus suggesting that the effect of gold core on the plasmonic sensitivity is completely screened when the palladium-shell thickness becomes larger. As a consequence, increasing thickness of the palladium shell imposes a blue shift of the plasmon absorption maximum. This longitudinal plasmon band corresponds to the optical response of the pure palladium nanorods, due to less negative values of the real part of the permittivity of palladium as compared to gold [21]. For instance, the absorption band shifts from 860 to 820 nm when the Pd/Au weight ratio increases from 0.05 to 0.20. This result can also be explained using the results by Sandrock et al. [20], which suppose that the light polarization is strongly affected by the noncentrosymmetric structures having the aspect ratio $a/b \neq 1$. In other words, by varying the Pd/Au ratio, one can adjust the blue shift of the plasmon band to be anywhere beginning from 860 and ending at 820 nm.

To study dependence of the plasmon peak on the refractive index of the surrounding medium, we have dispersed the palladium-coated gold nanorods into different organic solvents (The relevant refractive indices are displayed in Table 1). Fig. 4 shows the peak positions of the plasmon resonance for different Pd:Au nanorods immersed into different organic dielectric media. The peak location for the transverse plasmon band is independent of the dielectric medium. This implies that the absorption peak located at 525 nm does not change when the refractive index of the medium increases from 1.33 to 1.49 (not shown in Fig. 4).

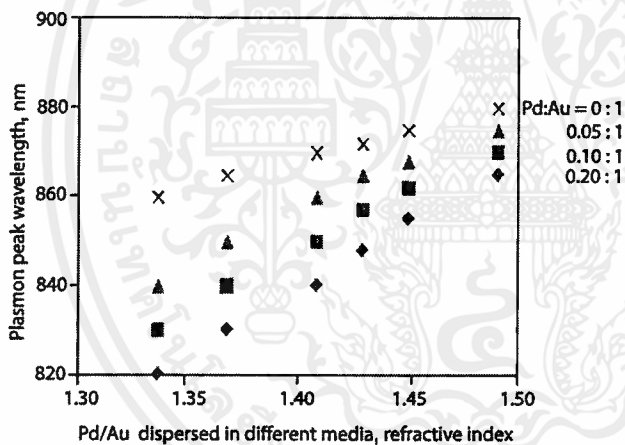


Fig. 4. Plasmon peak wavelengths corresponding to the longitudinal plasmon mode for the Pd/Au nanorods immersed in different dielectric media (see Table 1).

By contrast, due to recognizable dependence of the plasmonic sensitivity for the longitudinal mode on the palladium-shell thickness, the palladium-coated gold nanorods with different palladium-shell thicknesses give rise to distinct plasmon-peak wavelengths even in the same surrounding medium. Namely, the plasmon peak wavelengths for the nanorods having the ratios Pd:Au = 0.20:1, 0.10:1, 0.05:1 and 0:1, which are immersed in deionized water ($n = 1.33$), are respectively equal to 820, 830, 840 and 860 nm. Then, by varying the Pd/Au ratio for the case of the same medium, one can adjust the plasmon-band shift to be anywhere from 820 to 860 nm.

Furthermore, the peak position of the longitudinal plasmon band with a given palladium-shell thickness shows evident red shift with increasing refractive index. Namely, the plasmon peak shifts for the cases of Pd:Au = 0.20:1, 0.10:1, 0.05:1 and 0:1 are respectively 820–860, 830–867, 840–874 and 860–880 nm, when each sample is immersed in the medium with different refractive index (1.33–1.49). The shift value depends linearly on the refractive index. The host media with

higher refractive indices (i.e., higher dielectric constants) are effectively more polarizable and thus couple more readily with the surface plasmon electrons. The energy needed to collectively excite electrons is then reduced. In this case the maximum of the plasmon absorbance is shifted towards the red side of spectrum.

There are two possible origins of the observed spectral changes associated with the electron oscillations in our samples. First, there is a change in the electromagnetic field gradient normal and/or parallel to the sample plane, due to the plasmon excitation. Second, as seen from Fig. 2, an electro-static lightning-rod effect via geometric singularity of sharply pointed structures may result in enhancement of the electric field. Numerical investigations of the local electromagnetic fields with the finite-difference time-domain technique are now in progress. They can unravel the nature of the lightning-rod effect and plasmon modes enhancing in our samples. The more detailed results will be presented in our forthcoming article.

In summary, both the presence of the palladium shells deposited onto the Au-core nanorods and the changes in the refractive index of the surrounding dielectric medium are marked by a change in the sample colour and a shift in the plasmon-peak position proportional to the changes in the electromagnetic field located around the nanorod surfaces. The UV-Vis-NIR absorption spectra clearly point to both short- and long-wavelength plasmon bands, which are attributed respectively to the transverse and longitudinal plasmon modes of the rods. Under controlled changes in the palladium-shell thickness and the refractive index of the surrounding dielectric medium, the longer-wavelength plasmon band reveals a shift, whereas the shorter-wavelength band remains invariable. Since the palladium-coated gold nanorods have an inherent photo-sensing ability, they should prove a very desirable material for the photo-catalysis and for the surface plasmon resonance-based sensors.

4. Conclusions

We have described two observations regarding the optical properties of the gold-palladium core-shell nanorods. The nanorods reveal a unique optical response, with the two characteristic plasmon resonance bands present in the optical absorption. Unlike the resonant peak from the transverse plasmon band, the peak linked with the longitudinal plasmon band excitation shows a remarkable shift when one changes the palladium-shell thickness and the dielectric medium in a controllable manner. A blue shift of the localized longitudinal surface plasmon resonance in the UV-Vis-NIR absorption spectrum is observed if more palladium atoms are added in order to form a shell on the gold core. This allows one to alter the plasmon resonance of the palladium-coated gold nanorods.

On the other hand, since high enough refractive indices of the organic solvents can screen the incident electromagnetic field, the localized longitudinal surface plasmon resonance becomes red-shifted with increasing refractive index of the surrounding medium. Due to excellent reproduction of the absorption response and the intense plasmon peaks, the palladium-coated gold nanorods can serve as a superior candidate for chemical/biological sensing and photo-catalysis.

Acknowledgment

This work was supported by the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (Bangkok 10520, Thailand) under the Grant 39/2013.

References

1. Liu H, Ye F, Yao Q, Cao H, Xie J and Yang J, 2014. Stellated Ag-Pt bimetallic nanoparticles: An effective platform for catalytic activity tuning. *Sci. Rep.* **4**: 3669.

2. Hu G, Nitze F, Gracia-Espino E, Ma J, Barzegar HR, Sharifi T, Jia X, Shchukarev A, Lu L, Ma C and Wagberg T, 2014. Small palladium islands embedded in palladium–tungsten bimetallic nanoparticles form catalytic hotspots for oxygen reduction. *Nature Commun.* **5**: 5253.
3. Liu W J, Qian T T and Jiang H, 2014. Bimetallic Fe nanoparticles: Recent advances in synthesis and application in catalytic elimination of environmental pollutants. *Chem. Eng. J.* **236**: 448–463.
4. Konig R Y G, Schwarze M, Schomacker R and Stubenrauch C, 2014. Catalytic activity of mono- and bi-metallic nanoparticles synthesized via microemulsions. *Catalysts.* **4**: 256–275.
5. Rao V K and Radhakrishnan T P, 2013. Hollow bimetallic nanoparticles generated in situ inside a polymer thin film: Fabrication and catalytic application of silver–palladium–poly (vinyl alcohol). *J. Mater. Chem. A.* **1**: 13612–13618.
6. Zhang H, Haba M, Okumura M, Akita T, Hashimoto S and Toshima N, 2013. Novel formation of Ag/Au bimetallic nanoparticles by physical mixture of monometallic nanoparticles in dispersions and their application to catalysts for aerobic glucose oxidation. *Langmuir.* **29**: 10330–10339.
7. Boote B W, Byun H and Kim J H, 2014. Silver-gold bimetallic nanoparticles and their applications as optical materials. *J. Nanosci. Nanotechnol.* **14**: 1563–1577.
8. Adekoya J A, Dare E O, Mesubi M A and Revaprasadu N, 2014. Synthesis and characterization of optically active fractal seed mediated silver nickel bimetallic nanoparticles. *J. Mater.* **2014**: 184216.
9. Perez J L J, Fuentes R G, Ramirez J F S, Vidal O U G, Tellez-Sanchez D E, Pacheco Z N C, Orea A C and Garcia J A F, 2013. Nonlinear coefficient determination of Au/Pd bimetallic nanoparticles using Z-scan. *Adv. Nanoparticles.* **2**: 223–228.
10. Arquilliere P P, Santini C, Haumesser P H and Aouine M, 2011. Synthesis of copper and copper-ruthenium nanoparticles in ionic liquids for the metallization of advanced interconnect structures. *ECS Transac.* **35**: 11–16.
11. Sachan R, Yadavali S, Shirato N, Krishna H, Ramos V, Duscher G, Pennycook S J, Gangopadhyay A K, Garcia H and Kalyanaraman R, 2012. Self-organized bimetallic Ag–Co nanoparticles with tunable localized surface plasmons showing high environmental stability and sensitivity. *Nanotechnol.* **23**: 275604.
12. Hu M, Chen J, Li Z Y, Au L, Hartland G V, Li X, Marquez M and Xia Y, 2006. Gold nanostructures: Engineering their plasmonic properties for biomedical applications. *Chem. Soc. Rev.* **35**: 1084–1094.
13. Dykman L A and Khlebstov N G, 2011. Gold nanoparticles in biology and medicine: Recent advances and prospects. *Acta Nature.* **3**: 34–55.
14. Gates B C, 2013. Supported gold catalysts: New properties offered by nanometer and sub-nanometer structures. *Chem. Commun.* **49**: 7876–7877.
15. Zhou X, Xu W, Liu G, Panda D and Chen P, 2010. Size-dependent catalytic activity and dynamics of gold nanoparticles at the single-molecule level. *J. Amer. Chem. Soc.* **132**: 138–146.
16. Zhu Y, Jin R and Sun Y, 2011. Atomically monodisperse gold nanoclusters catalysts with precise core-shell structure. *Catalysts.* **1**: 3–17.
17. Ruibin J, 2013. Plasmonic properties of bimetallic nanostructures and their applications in hydrogen sensing and chemical reactions. *Dissert. Abs. Inter.* **75-06**: 1–176.

18. Hao J and Hui W, 2014. Controlled overgrowth of Pd on Au nanorods. *CrystEngComm* **16**: 9469–9477.
19. Pradeep T, A textbook of nanoscience and nanotechnology. New York: McGraw Hill (2012).
20. Sandrock M L, Geiger F M and Foss C A, 1999. Synthesis and second-harmonic generation studies of noncentrosymmetric gold nanostructures. *J. Phys. Chem. B.* **103**: 2668–2673.
21. Palik E D, Handbook of optical constants of solids. New York: Academic Press (1991).

Kitsakorn Locharoenrat and Pattareeya Damrongsak. 2015. Plasmonic properties of gold-palladium core-shell nanorods. *Ukr.J.Phys.Opt.* **16**: 120 – 126.

Анотація. У роботі досліджено плазмонні властивості золотих наностержнів, покритих паладієм. У спектрах їхнього оптичного поглинання виявлено дві характерні плазмонні смуги. Одна з них, розташована в околі 525 нм, пов'язана з електронними коливаннями вздовж поперечного напрямку стержнів. Її положення не залежить від товщини паладієвої оболонки та діелектричної сталі оточуючого середовища. Інша, розташована в околі 800–900 нм, асоціюється з електронними коливаннями в поздовжньому напрямку. Вона зазнає зсуву зі зміною товщини паладієвої оболонки і показника заломлення оточуючого середовища. Наші дослідження вказують на новий можливий шлях керування фотокаталітичною здатністю наностержнів і перспективи їхнього використання в біолого-хімічних сенсорах.

Nasal Delivery of Insulin Using Novel Chitosan Based Formulations: A Comparative Study in Two Animal Models between Simple Chitosan Formulations and Chitosan Nanoparticles

A. M. Dyer,¹ M. Hinchcliffe,¹ P. Watts, J. Castile,¹ I. Jabbal-Gill,¹ R. Nankervis,¹ A. Smith,¹ and L. Illum^{1,2}

Received November 28, 2001; revised February 18, 2002; accepted April 2, 2002

Purpose. To investigate whether the widely accepted advantages associated with the use of chitosan as a nasal drug delivery system, might be further improved by application of chitosan formulated as nanoparticles.

Methods. Insulin-chitosan nanoparticles were prepared by the ionotropic gelation of chitosan glutamate and tripolyphosphate pentasodium and by simple complexation of insulin and chitosan. The nasal absorption of insulin after administration in chitosan nanoparticle formulations and in chitosan solution and powder formulations was evaluated in anaesthetised rats and/or in conscious sheep.

Results. Insulin-chitosan nanoparticle formulations produced a pharmacological response in the two animal models, although in both cases the response in terms of lowering the blood glucose levels was less (to 52.9 or 59.7% of basal level in the rat, 72.6% in the sheep) than that of the nasal insulin chitosan solution formulation (40.1% in the rat, 53.0% in the sheep). The insulin-chitosan solution formulation was found to be significantly more effective than the complex and nanoparticle formulations. The hypoglycaemic response of the rat to the administration of post-loaded insulin-chitosan nanoparticles and insulin-loaded chitosan nanoparticles was comparable. As shown in the sheep model, the most effective chitosan formulation for nasal insulin absorption was a chitosan powder delivery system with a bioavailability of 17.0% as compared to 1.3% and 3.6% for the chitosan nanoparticles and chitosan solution formulations, respectively.

Conclusion. It was shown conclusively that chitosan nanoparticles did not improve the absorption enhancing effect of chitosan in solution or powder form and that chitosan powder was the most effective formulation for nasal delivery of insulin in the sheep model.

KEY WORDS: chitosan; nanoparticles; complex; nasal delivery; insulin.

INTRODUCTION

In recent years there has been a great deal of interest in the exploitation of chitosan for agricultural and water purification purposes as well as utilization within the pharmaceutical industry for improved delivery of drugs (1). Hence, chi-

tosan has been widely used as an excipient in oral drug formulations for increased dissolution of poorly soluble drugs, to obtain controlled and sustained release of drugs and for targeting of drugs to specific sites in the gastrointestinal tract (2–4).

Chitosan is a cationic polysaccharide produced by partial deacetylation of chitin that is derived from naturally occurring crustacean shells. The polymer comprises copolymers of glucosamine and N-acetyl glucosamine and the term chitosan embraces a series of polymers, which vary in molecular weight (from about 10,000 to 1 million dalton) and degree of deacetylation (in the range 50%–95%). Chitosan is insoluble at neutral and alkaline pH, but forms water soluble salts with inorganic and organic acids including glutamic acid, hydrochloric acid, lactic acid and acetic acid. The preferred salt form for nasal drug delivery is the glutamate salt due to its superior absorption enhancing ability (5). Upon dissolution in acid media, the amino groups of the polymer become protonated rendering the molecule positively charged. The properties of chitosan (eg pKa and solubility) can be modified by changing the degree of deacetylation and formulation properties such as the pH and ionic strength.

In the last few years it has been shown, mainly by our group, that chitosan, both as a solution and a powder formulation, is able to dramatically enhance the nasal absorption of polar molecules including peptides and proteins that otherwise are only poorly absorbed via the nasal route (1,6–9). Hence, it was shown in human volunteers that morphine given nasally in a chitosan solution formulation obtained a bioavailability of about 60% as compared to about 10% for a simple solution (9). Similarly, it was found in the sheep model that for the peptide goserelin, a bioavailability of 36% could be obtained with a powder chitosan formulation compared to less than 2% for a simple solution (10).

The absorption promoting effect of chitosan has been studied by us and by other research groups and found to be due to a combination of mucoadhesion and a transient opening of the tight junctions in the mucosal cell membrane (1,11–13). The mucoadhesive properties of chitosan are due to an interaction between the positively charged chitosan and negatively charged sialic acid groups on the mucin, and will provide a prolonged contact time between the drug and the absorptive surface and thereby promote the absorption (14). Furthermore, it has been shown in *in vitro* studies in Caco-2 cell mono-layers that chitosan is able to induce a transient opening of tight junctions thus increasing membrane permeability particularly to polar drugs, including peptides and proteins (6,12,13).

A variety of chitosan based colloidal delivery systems has been described in the literature for the mucosal delivery of polar drugs, peptides, proteins, vaccines and DNA (15–22). The colloidal nanoparticle systems have been produced by various methods to include crosslinking, desolvation, self-assembly or ionic interaction between the positively charged chitosan and a negatively charged polymer. One of the more interesting concepts, is that apart from complexation, chitosan is able to gel on contact with negatively charged tripolyphosphate ions by ionotropic gelation, thus facilitating instantaneous nanoparticle formation under very mild processing conditions. Nanoparticles are formed through inter and intra-

¹ West Pharmaceutical Services, Drug Delivery & Clinical Research Centre Ltd., Albert Einstein Centre, Nottingham Science & Technology Park, Nottingham NG7, 2TN, United Kingdom.

² To whom Correspondence should be addressed. (e-mail: lisbeth_illum@westpharma.com)

molecular linkages created between tripolyphosphate anions and chitosan amino groups (15). It has been claimed by Fernandez-Urrusuna *et al.* that high nanoparticle yields were achievable provided that the conditions for their formation have been optimised (19,20). Additionally it was suggested that high amounts of proteins could be incorporated into such chitosan nanoparticles (19,20). For chitosan nanoparticles ionically crosslinked with tripolyphosphate pentasodium (TPP), the mechanism of association with proteins includes hydrophobic interactions, hydrogen bonding and other physicochemical forces, in addition to the physical entrapment associated with nanoparticle formation in the presence of drug (15). It has been reported in various publications that insulin-associated chitosan nanoparticles, prepared by the ionic gelation method, are able to enhance the nasal absorption of insulin, as expressed by the reduction in plasma glucose levels, to a greater extent than an insulin-chitosan solution following nasal administration to conscious rabbits (19,20). Interestingly, these workers also claimed that insulin-chitosan (chloride) solution (used as a control solution in the *in vivo* studies) induced only a minor decrease in plasma glucose levels in this animal model (20).

The objective of the present work was to evaluate two different types of chitosan (glutamate) nanoparticle, produced by a complexation or by an ionic gelation method and to compare their absorption promoting effect by employing the nasal administration of a model drug (human zinc insulin) in rat and sheep models. The effect of the nanoparticles was compared to the absorption promoting effect of chitosan solution and chitosan powder formulations for nasally administered insulin.

MATERIALS AND METHODS

Materials

Chitosan glutamate (Protasan UP G213) was obtained from Pronova Biopolymer A/S (Oslo, Norway) and used as supplied. Chitosan dissolved as a 1% solution in acetic acid had a viscosity of 97 mPas and the molecular weight was quoted as 205,000 Da. The tripolyphosphate pentasodium (TPP) was purchased from Sigma (Aldrich, Poole, United Kingdom). Human zinc insulin (26.3 IU/mg) was obtained from Eli Lilly (Indianapolis, Indiana). All other materials used were of analytical or pharmaceutical grade.

Initial Nanoparticle Preparation Studies

Preparation of Chitosan Nanoparticles

Chitosan nanoparticles were prepared by the ionic gelation of tripolyphosphate pentasodium (TPP) and chitosan glutamate (CS) as described by Fernandez-Urrusuna *et al.* (19). Preliminary experiments were performed with the objective of identifying the concentrations of chitosan and TPP appropriate for nanoparticle formation (identified by the appearance of an opalescent suspension). Chitosan glutamate solutions (0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 7 and 10 mg/ml) and TPP solutions (0.5, 1, 5 and 10 mg/ml) were prepared in ultrapure water (Elga) and a volume of TPP solution (0.25, 1, 2, 2.5 or 3 ml) was added dropwise to 5 ml of chitosan solution while stirring. The resultant mixtures were broadly characterized as either a

clear solution, an opalescent suspension (nanoparticles), or as aggregates. Nanoparticle formation was confirmed quantitatively by Photon Correlation Spectroscopy using a Malvern S 4700 PCS System (Malvern Instruments Ltd., Malvern, United Kingdom).

The optimal initial polymer and polyphosphate salt solution concentrations were identified from these preliminary experiments as 2 mg/ml chitosan glutamate and 0.84 mg/ml TPP. These concentrations were subsequently used for the preparation of nanoparticle suspensions.

Drug Incorporation: Post-Loaded Insulin-Chitosan Nanoparticles

Chitosan nanoparticles were prepared by adding dropwise, 3.6 ml TPP solution (0.84 mg/ml) to 9 ml chitosan glutamate solution (2 mg/ml), while stirring using a magnetic stirrer. Aliquots of 10 ml of nanoparticle suspension were centrifuged in tared centrifuge tubes for 90 m at 3660 rpm and 20 °C using a MSE Mistral Centrifuge 3000i. The supernatant was decanted from each tube, the isolated solids freeze-dried using an Edwards Modulyo 4K freeze-drier (Edwards High Vacuum Int., Crawley, United Kingdom) and the chitosan nanoparticle yield determined. These data enabled calculation of the volumes of human zinc insulin solution (10 mg/ml) and ultrapure water (previously adjusted to pH 4 with 0.1 M HCl) required to re-suspend the centrifuged nanoparticles and to obtain insulin concentrations appropriate for the nasal administration of the formulations to rats and sheep. The nanoparticles were re-suspended using a vortex mixer and used without separating any free drug.

Drug Incorporation: Insulin-Loaded Chitosan Nanoparticles

The method of preparation of chitosan nanoparticles was as described previously, with the exception that the human zinc insulin was dissolved in the TPP solution (pH = 9.0) thus facilitating nanoparticle formation in the presence of drug. The insulin concentration used in the TPP solution was 1.25 mg/ml, since this concentration was previously reported as providing the highest association efficiency and loading capacity (20). Attempts to first dissolve the insulin in 0.01M sodium hydroxide solution prior to addition to the TPP solution as described by Fernandez-Urrusuna *et al.* (20) proved unsuccessful.

As before, aliquots of 10 ml of nanoparticle suspension were centrifuged in tared centrifuge tubes for 90 m at 3660 rpm using a MSE Mistral Centrifuge 3000i. The supernatant was decanted from each tube, the isolated solids freeze dried and the insulin-loaded chitosan nanoparticle yield determined. The concentration of insulin in the supernatant "free insulin" was determined using HPLC. Determination of the nanoparticle yield and the supernatant insulin concentration, enabled calculation of the appropriate volume of ultrapure water necessary to re-suspend centrifuged insulin-loaded chitosan nanoparticles to obtain the required insulin concentration. As before, nanoparticles were re-suspended using a vortex mixer.

Preparation of Formulations for the Rat Study

Preparation of Insulin Control Solution Formulation (F1)

For the insulin solution control formulation, human zinc insulin was dissolved in ultrapure water at pH 3.6, filtered

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

through a 0.45 μm Gelman Acrodisc membrane filter and diluted to 100 ml with filtered ultrapure water previously adjusted to pH 4.0. The final insulin concentration was 0.5 IU/ml as analyzed by HPLC.

Preparation of Insulin-Chitosan Solution Formulation (F2)

For the insulin-chitosan solution formulation, a chitosan glutamate solution (6.25 mg/ml) was added to a human zinc insulin solution (10 mg/ml). The final chitosan concentration was 5 mg/ml, the insulin concentration 20 IU/ml and the pH 4.0 for nasal administration in the rat study. The formulation was analyzed for insulin concentration by HPLC.

Preparation of Insulin-Chitosan Nanoparticles (F3)

Sixty milliliters of chitosan glutamate solution (2 mg/ml) was added to a small beaker and while stirring with a stirrer bar, 24 ml of TPP solution (0.84 mg/ml) containing 1.25 mg/ml human zinc insulin was slowly added. The nanoparticles were centrifuged in aliquots on a MSE Mistral Centrifuge 3000i, at 3660 rpm and 20°C for 90 min. The supernatant was decanted and 0.93 ml ultrapure water (previously adjusted to pH 4.0) was added to each tube and the tubes vortexed for 5 min. The pH of the formulation was 5.1. The nanoparticles were analyzed for insulin content by HPLC. The final insulin concentration was 33 IU/ml.

Preparation of Post-Loaded Insulin-Chitosan Nanoparticles (F4)

The nanoparticles were prepared as above for F3 but without the added insulin. The supernatant was decanted and to each tube was added 0.109 ml human zinc insulin solution (10 mg/ml) and 1.319 ml ultrapure water (previously adjusted to pH 4.0) and the tubes vortexed for 5 min. The pH of the final formulation was 4.7. The nanoparticles were analysed for insulin content by HPLC. The final insulin concentration was 15.6 IU/ml.

Preparation of Formulations for the Sheep Study

Preparation of Subcutaneous and Intranasal Insulin Control Solution Formulations (F1 and F2)

The insulin solutions were prepared as for F1 in the rat study. The formulations were analysed for insulin concentration by HPLC. The final insulin concentration was 166.6 IU/ml and the pH 3.9.

Preparation of Insulin-Chitosan Solution Formulation (F3)

The insulin-chitosan solution formulation was prepared as for the F3 formulation given to the rats. The formulation was analyzed for insulin concentration by HPLC. The final chitosan concentration was 5 mg/ml and the insulin concentration 166.6 IU/ml.

Preparation of Insulin-Chitosan Powder Formulation (F4)

For the insulin-chitosan powder formulation suitable quantities of the human zinc insulin (142 mg) and the chitosan glutamate (852 mg) were weighed and transferred into a mortar. The materials were carefully mixed with a pestle to pro-

vide a uniform powder blend (content uniformity was satisfactory with less than 10% deviation from the stated insulin content) as measured by HPLC. The final blend contained 14.3% w/w human zinc insulin and 85.7% w/w chitosan glutamate. The formulation was analysed for insulin concentration by HPLC and found to be 3.78 IU/mg.

Preparation of Insulin-Chitosan Complexes (F5)

A 4 mg/ml chitosan glutamate solution was prepared by dissolving 200 mg chitosan glutamate in 40 ml ultrapure water and adjusting the pH to 5.5 by adding 0.1 M NaOH and making up the volume to 50 ml with ultrapure water.

A 4 mg/ml human zinc insulin solution was prepared by dissolving 200 mg zinc insulin in 40 ml ultrapure water adjusted to pH 4.0 with 0.1 M NaOH. When the insulin was dissolved the pH was adjusted to 7.0 with 0.1 M HCl and the volume made up to 50 ml with water.

The complexes were prepared by adding dropwise 50 ml of 4 mg/ml insulin solution to 50 ml of the 4 mg/ml chitosan solution under vigorous stirring with a magnetic stirrer. The complexes were freeze dried on a Edwards Modulyo 4K freeze-drier overnight after adding 3 g of trehalose to the insulin-chitosan complex dispersion. Before the sheep testing, 1.077g of the freeze-dried complexes were suspended in 10 ml of ultrapure water to give a final insulin concentration of 166.7 IU/ml and a final pH of 5.8. The formulation was analyzed for insulin concentration by HPLC.

Preparation of Post-Loaded Insulin-Chitosan Nanoparticles (F6)

One hundred and eighty milliliters of chitosan glutamate solution (2 mg/ml) was added to a small beaker and during stirring with a stirrer bar, 72 ml of TPP solution (0.84 mg/ml) was slowly added. The nanoparticles were centrifuged in aliquots on a MSE Mistral Centrifuge 3000i, at 3660 rpm and 20°C for 90 min. The supernatant was decanted and 0.452 ml human zinc insulin solution (10 mg/ml) and 0.262 ml ultrapure water (adjusted to pH 4.0) were added to each tube and the tubes vortexed for 5 min. The final pH of the formulation was 4.7. The nanoparticles were analyzed for insulin content by HPLC. The final insulin concentration was 166.7 IU/ml.

Characterization of Nanoparticles and Complexes

The particle size of the nanoparticles and complexes were characterized by Photon Correlation Spectroscopy (PCS) using a Malvern S 4700 PCS System (Malvern Instruments Ltd., Malvern, United Kingdom) and the surface charge expressed as zeta-potential measured by Laser Doppler Anemometry (LDA) using a Malvern Zetasizer IV (Malvern Instruments Ltd., Malvern, United Kingdom). The effect on particle size of centrifuging and re-suspending nanoparticles in the presence and absence of insulin was determined. The measurements were performed in triplicate.

Analysis of Insulin Formulations

The insulin concentrations of the various formulations were analyzed using a Gilson HPLC system fitted with a Vydac C₁₈ 5 μm pre-column and a Vydac reverse phase C₁₈ 5 μm 150 \times 4.6 mm column (Hichrom, Reading, United King-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dom). Gradient conditions and a flow rate of 1.0 ml/min (ambient temperature) were used. The mobile phase was composed of eluent A, containing 95% ethanolamine (0.6%, pH3 and 5% acetonitrile and eluent B, containing 40% ethanolamine (0.6%, pH3) and 60% acetonitrile. The injection volume was 50 μ l. The ultraviolet detector was set at 210 nm. The analysis run time was 18 m. Samples were prepared for analysis by dissolving/diluting the formulation in acidified water (adjusted to pH 3.0 with orthophosphoric acid).

In Vivo Studies in the Rat Model

Twenty-one male Wistar rats, weighing 273 ± 12 g (Charles River, United Kingdom), were acclimatized for one week before the study. The animals were fasted overnight before the study with free access to water and terminal (non-recovery) anaesthesia induced and maintained by the intravenous injection of a solution of Hypnorm (Janssen Pharmaceuticals, Beerse, Belgium) and Hypnovel (Roche Products Ltd, Hertfordshire, United Kingdom) via a tail vein cannula. The rats were placed in a supine position on a heated working surface to prevent hypothermia. The rats were surgically prepared by cannulation of the trachea to maintain patency of the airway and carotid artery to facilitate blood sample collection. The study was performed under a valid Home Office (United Kingdom Government) Project Licence and had received approval by the Ethical Review Committee at University of Nottingham.

The rats were randomly allocated (GraphPad™, Stat-Mate®) to one of the four treatment groups each containing five or six animals (Table I). Insulin was dosed at 2 IU/kg nasally and 0.5 IU/kg by subcutaneous injection into the scruff of the neck. Dose selection was based on the expected pharmacodynamics of insulin by the respective routes. The nasal formulations (0.1 ml/kg body weight) were administered using a microsyringe (Hamilton Bonaduz AG, Switzerland) attached via a needle to a short polyethylene tubing inserted approximately 0.7 cm into one nostril.

Blood samples (140 μ l) were collected in glucose fluoride blood tubes (Sarstedt Ltd, United Kingdom) at 10 and 5 m prior to dosing and serially for up to 4 h post dosing (11 samples) constituting 12%–13% of the total blood volume. Plasma glucose analysis was performed using a GLUCO-TREND® 2 Blood Glucose monitor (Roche Diagnostics, Germany). The minimum blood glucose concentration

(C_{min}), time to reach C_{min} (T_{min}) were noted and area over the curve (AOC) calculated using a Microsoft Excel spreadsheet. The blood glucose data was used to estimate the pharmacodynamic availability of nasally administered insulin F_{dyn} . Mean values of C_{min} , T_{min} , AOC and F_{dyn} with standard deviations (SD) were calculated for each dose group.

In Vivo Studies in the Sheep Model

Six female crossbred sheep (Suffolk & Texel), weighing 61 \pm 2 kg, were allowed to acclimatize to the environmental conditions within the School of Biomedical Sciences, Sutton Bonington Campus, University of Nottingham, United Kingdom, for at least six days before commencing the study. Prior to the study day, a cannula was implanted into the jugular vein of each sheep under local anaesthesia (3 ml of 2% lignocaine hydrochloride subcutaneously) by a Seldinger technique to enable blood sample collection. The study was performed under a valid Home Office (United Kingdom Government) Project Licence and had received approval by the Ethical Review Committee at University of Nottingham.

The study was of a nonrandomized crossover design in six sheep, with a minimum washout period of 3 days between successive doses. Food was withdrawn 1 h prior to dosing and for the duration of each study leg. Water was available *ad libitum*. The sheep were dosed a total of six times. To restrain the animals during nasal dosing, sheep were administered 2.25 mg/kg ketamine hydrochloride (100 mg/ml) (Ketaset®, Fort Dodge Animal Health Ltd, Southampton, United Kingdom), via the cannulated jugular vein, providing sedation for about 3 m.

Insulin was administered at a fixed nominal dose of 100 IU nasally and 10 IU by subcutaneous injection into a shaved region in the upper neck. The treatment schedule is shown in Table II. Dose selection was based on the expected pharmacodynamics of insulin by the respective routes. The nasal doses were divided equally between the two nostrils. The nasal liquids were administered from a 1 ml syringe via a modified CB-18 spray actuator. (Valois, France) and the nasal powder formulation using a BlueLine siliconised tracheal tube (Portex, United Kingdom) containing the pre-weighed dose and one-way bellows. The nasal administration devices were inserted approximately 7 cm into the nasal cavity.

Blood samples (5.7 ml) were collected from the cannulated jugular vein of each sheep into serum tubes at 20 and 10 m prior to dosing and serially for up to 5 h post dosing (10

Table I. Summary of Insulin Formulations and Doses Administered to Rats

Form ^a F	Insulin content ^c (IU/ml)	Insulin dose (IU/kg)	Chitosan glutamate (mg/kg)	Chitosan base (mg/kg)	Dose volume (ml/kg)
INS Sol SC ^c	0.4	0.5	N/A	N/A	1.25
INS CHI Sol IN ^b	19.3	2.0	0.52	0.27	0.104
INS CHI NP IN ^c	33.0	2.0	0.31	0.16	0.061
INS CHI NP PL IN ^d	15.6	2.0	0.64	0.33	0.128

Note: N/A Not applicable.

^a Insulin solution, administered by subcutaneous (SC) injection (F1).

^b Insulin chitosan solution, administered intranasally (IN) (F2).

^c Insulin chitosan nanoparticles loaded with insulin during production, administered IN (F3).

^d Insulin chitosan nanoparticles post-loaded with insulin, administered IN (F4).

^e As measured by HPLC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table II. Summary of Insulin Formulations and Doses Administered to Sheep

Formulation	Nominal Insulin content (IU/ml or IU/mg) [†]	Insulin content (% of nominal) [§]	Insulin dose (IU)	Chitosan glutamate (mg)	Chitosan base (mg)	Dose volume or weight (ml or mg) [†]
INS Sol SC ^a	166.67	94.0	10	N/A	N/A	0.6
INS Sol IN ^b	166.67	100.4	100	N/A	N/A	0.6
INS CHI Sol IN ^c	166.67	99.1	100	3.0	1.6	0.6
INS CHI PWD IN ^d	3.78 [†]	93.7	128 ± 13	29 ± 3	15 ± 2	34 ± 4 [†]
INS CHI COMPL IN ^e	166.67	91.2	100	3.0	1.6	0.6
INS CHI NP PL IN ^f	166.67	N/D	100	3.0	1.6	0.6

Note: N/A Not applicable. N/D Not determined.

^a Insulin solution, administered by subcutaneous (SC) injection (F1).

^b Insulin solution, administered intranasally (IN) (F2).

^c Insulin chitosan solution, administered IN (F3).

^d Insulin chitosan powder, administered IN (F4).

^e Insulin chitosan complex, administered IN (F5).

^f Insulin chitosan nanoparticles post-loaded with insulin, administered IN (F6).

[§] As measured by HPLC (all formulations were within ± 10% of nominal insulin content).

samples) equal to 2% of total blood volume in each study leg. Serum glucose and insulin analyses were performed at the Clinical Chemistry Department, Queens Medical Centre, University of Nottingham, United Kingdom. Post-dose blood glucose concentrations (mmol/l) were expressed as percentages of the average basal (pre-dose) concentration (% of basal). Values of C_{\min} , T_{\min} and AOC were calculated as previously described.

Insulin Serum Sample Analysis

Insulin serum sample analysis was performed using a Coat-A-Count® insulin assay kit (DPL Division, EURO/DPC Ltd, Gwynedd, United Kingdom). The Coat-A-Count® insulin procedure is a solid-phase radioimmunoassay, in which ¹²⁵I-labelled insulin competes with insulin in a test sample for sites on an insulin-specific antibody. Because the antibody is immobilized to the wall of a polypropylene tube, simply decanting the supernatant of the incubation mixture suffices to terminate competition and to isolate the antibody-bound fraction of the radiolabelled insulin. The radioactivity counts are obtained by means of a gamma counter. The insulin concentration of the samples was calculated from an insulin standard curve using RIA-CALC software. The maximum blood insulin concentration (C_{\max}) and time to reach C_{\max} (T_{\max}) were noted for each animal and values of area under the insulin curve (AUC) calculated using a Microsoft Excel spreadsheet. The bioavailability of nasal insulin (F_{rel}) to subcutaneous injection was calculated, see Table VI. Mean values of C_{\max} , T_{\max} , AUC and F_{rel} with standard deviations (SD) were calculated for each dose group.

Statistical Analysis

Statistical analysis was performed on the data obtained in the *in vivo* studies by one-way analysis of variance (ANOVA) with Tukey-Kramer Multiple Comparisons Post test using GraphPad InStat™ software (GraphPad Software, Inc., San Diego, California). Throughout the level of significance was chosen as less than 0.05 (i.e., $P < 0.05$). The Post test was performed only if findings of the ANOVA were significant.

RESULTS AND DISCUSSION

Nanoparticle Preparation

Preliminary experiments were performed with the objective of identifying the optimal chitosan glutamate and TPP concentrations for the achievement of ionic gelation and nanoparticle formation. The results are presented in Fig. 1.

The zone of the opalescent suspension corresponding to a suspension of nanoparticles was associated with a formulation containing a final chitosan glutamate concentration in the range 1–3 mg/ml and a final TPP concentration in the range 0.2–0.5 mg/ml. These findings were comparable to the results reported previously by Calvo *et al.* (18), who found the optimal final chitosan (Seacure® 123) and TPP concentrations to be in the order of 1–3 mg/ml and 0.2–1.0 mg/ml, respectively. The optimal chitosan/TPP ratio on a weight-to-weight basis in the Calvo *et al.* study was found to be between 3 and 5, whereas in the present study the ratio was about 6 to 7. The difference in optimal ratio is probably due to use of the chitosan hydrochloride salt in the Calvo *et al.* study which contains approximately 82% chitosan base as compared to the chitosan glutamate which contains about 55% chitosan base. From these results the use of initial concentrations of TPP and chitosan glutamate solution concentrations of 0.84 mg/ml and 2 mg/ml, respectively for preparation of the nanoparticles were selected, which gave a chitosan/TPP weight to weight ratio of 6/1.

To achieve the desired chitosan glutamate concentrations and insulin concentrations in chitosan nanoparticles, it was necessary to concentrate the chitosan nanoparticle formulation by centrifuging, prior to drug loading for the post-loaded nanoparticles and after preparation for the nanoparticles loaded with insulin during production. The theoretical yield from 10 ml of nanoparticle suspension was between 17 mg and 20 mg (equivalent to about 0.2% w/v nanoparticle suspension). Following centrifuging, a yield of 35%–50% w/w was obtained (e.g. 50.1% w/w, $n = 9$, %RSD = 7.6). The low yields were similar to previously reported (19). The release of insulin from both types of nanoparticles was found to be complete within 1 h (data not shown). These release rates were similar to the ones obtained by Fernandez-Urrusuna (19,20).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

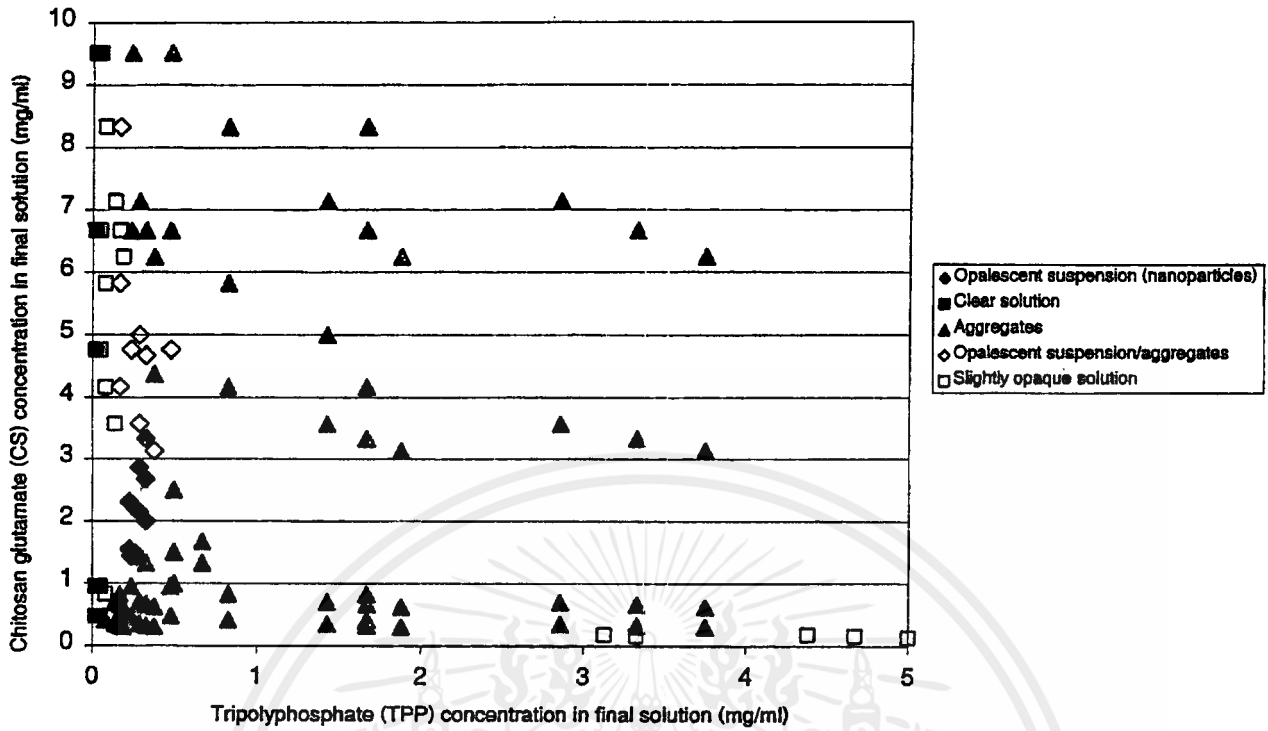


Fig. 1. Identification of chitosan and TPP concentrations appropriate to nanoparticle formation.

It is recognized that the effectiveness of chitosan in enhancing drug absorption is attributable to the ionic interaction between the positively charged amino groups in chitosan and the negatively charged sialic acid residues in mucin and on the epithelial cells is dependent upon the polymer retaining its cationic charge (1). Previous workers have shown that increasing the concentration of TPP relative to chitosan, although it causes an increase in nanoparticle yield, also not surprisingly, causes a reduction in the positive charge of the nanoparticles (19). However, a systematic study of the effect of surface charge on the absorption promoting ability of the chitosan nanoparticles has not been reported in the literature. In the present work, the potential for increased nanoparticle yield was balanced against a potential reduction in the positive charge of chitosan; hence the preferred chitosan glutamate/TPP w/w ratio was selected as 6/1, leaving a surplus of positive charges on the nanoparticles. In addition, whilst it may be possible to manufacture appropriate volumes of this

product for *in vivo* administration to animals, the rather low nanoparticle yield raises the question about the suitability of these nanoparticles for clinical use and subsequent commercialisation.

Characterization of Nanoparticles

The various types of nanoparticles were characterized in terms of particle size and zeta potential by PCS and LDA, respectively (Table III). The nanoparticles not loaded with insulin were shown to have a mean particle size around 250 nm and a positive zeta potential of 28.9 mV.

An increase in mean particle size was noted following centrifuging and re-suspending of chitosan nanoparticles in insulin solution. For post-loaded insulin-chitosan nanoparticles, the mean particle size was independent of both the insulin and the chitosan concentrations whereas for the zeta potential a significant increase in positive charge could be seen for an increase in chitosan concentration from 5mg/ml to

Table III. Characterization of Chitosan Nanoparticles

Type of nanoparticle	Insulin concentration (IU/ml)	Chitosan concentration (mg/ml)	Particle size (mean ± SD) (nm)	Zeta potential (mV)
CHI NP (before centrifuging)		1.4	246.5 ± 38.2	28.9 ± 0.4
CHI NP (after centrifuging)		5	575.9 ± 93.7	33.5 ± 0.2
INS CHI NP PL ^a	20	5	751.8 ± 109.6	37.2 ± 1.2
INS CHI NP PL ^a	166	5	860.1 ± 124.4	39.3 ± 0.7
INS CHI NP PL ^a	166	7.5	713.5 ± 227.4	33.4 ± 0.5
INS CHI NP PL ^a	166	10	717.3 ± 73.0	43.7 ± 0.3
INS CHI NP (before centrifuging) ^b	9.5	1.4	347.5 ± 142.0	30.2 ± 0.7
INS CHI NP (after centrifuging) ^b	34	5	472.6 ± 43.3	25.0 ± 0.9

^a INS CHI NP PL: Insulin chitosan nanoparticles post-loaded with insulin.

^b INS CHI NP: Insulin chitosan nanoparticles loaded with insulin during production.

10 mg/ml. As a control, chitosan nanoparticles were re-suspended in ultra pure water with the objective of establishing a possible explanation for the apparent increase in particle size. After centrifuging, the mean size increased from 247 to 576 nm, probably due to some agglomeration. For the nanoparticle systems loaded with insulin during the production process, the mean particle size was not significantly affected by centrifugation and re-dispersion. It can be concluded that the inter-particle association of nanoparticles may partly be occurring as a consequence of the presence of insulin, but is mostly attributable to the process of centrifugation followed by re-dispersion. For all nanoparticle systems the mean particle size was below 1 μm .

To have a nanoparticle system that was simpler to prepare and could be manufactured with a higher yield, we investigated the possibility of forming nanoparticles by coprecipitation of insulin and chitosan in the absence of TPP. By carefully selecting the process parameters, especially the pH of the insulin and chitosan solutions it was possible to prepare complexes between the positively charged chitosan and negatively charged insulin. The charge carried by insulin will depend upon pH. Below the isoelectric point (5.3–5.35) insulin carries a net positive charge and is soluble below pH 4.5. Above the isoelectric point the insulin carries a net negative charge and is soluble above pH 6.3. It was found that a mixture of a 2 mg/ml chitosan solution at pH 5.5 and a 2 mg/ml insulin solution at pH 7.0 gave an opalescent solution indicating that nanoparticles had formed. The insulin-chitosan complex particles were characterized in terms of particle size and zeta potential. It can be seen that freshly made, the mean size of the complexes were 751.8 \pm 74.7 nm and the zeta potential was +45.9 \pm 0.9 mV. The complexes were concentrated by freeze-drying and re-suspending in a smaller volume of water. After freeze-drying and re-suspending, the particle size increased to 1402.9 \pm 285.7 nm indicating that some agglomeration had taken place. The zeta potential was found to be 41.2 \pm 0.8 mV, slightly lower than before freeze drying.

In Vivo Studies

The pharmacodynamic parameters after nasal application of the various insulin formulations in the rat are given in

Table IV. Following subcutaneous injection of 0.5 IU/kg insulin, values of C_{min} and T_{min} were in the region of 67% of basal glucose concentration and 81 min., respectively. The insulin-chitosan solution formulation appeared to perform better than both of the insulin-chitosan nanoparticle formulations, with values for C_{min} in the region of 40% and T_{min} of 90 min, respectively and the F_{dyn} of about 48%. The values for F_{dyn} for the insulin-loaded chitosan nanoparticles and the post-loaded insulin-chitosan nanoparticles were 38% and 37%, respectively. The insulin-loaded chitosan nanoparticles and the post-loaded insulin-chitosan nanoparticles showed similar effects on the plasma glucose levels. However, decreases in blood glucose concentrations were observed after the nasal administrations were not statistically significant ($P > 0.05$) (Table IV). Hence, these data showed that in the rat model the insulin-chitosan nanoparticle formulations offered no advantage to the nasal insulin-chitosan solution formulation in terms of the nadir and overall hypoglycaemic response.

The nasal absorption of insulin was also investigated in the conscious sheep model since it has been shown that the use of anaesthetised animals, such as the rat model in the present study, most often overestimates the nasal absorption of drugs such as insulin. This is due to the partial impairment of the mucociliary clearance mechanism (23,24). Furthermore, the sheep model has been shown to be very predictive of the nasal absorption of drugs in man (9). Due to the amount of insulin needed to be administered in this larger animal model, it was not possible to investigate the insulin-loaded chitosan nanoparticles as opposed to the post-loaded insulin-chitosan nanoparticles, where the concentration of insulin could be significantly increased. Based on the previous results by Fernandez-Urrusuno *et al.* (19,20) and the results in the present rat studies, it was expected that there would be no major difference in insulin absorption whether the insulin was incorporated during production or post-loaded. The pharmacodynamic parameters obtained in the sheep model after nasal administration of the various formulations are given in Table V and serum insulin concentrations and pharmacokinetic parameters are shown in Table VI and Fig. 2, respectively.

Table IV. The Pharmacodynamics of Insulin in Rats

Formulation	n	T_{min} (min)	C_{min} (% basal glucose)	AOC (% glucose.min)	F_{dyn} (%)
INS Sol SC ^a	5	81.0 \pm 91.6	67.2 \pm 11.4	3788.5 \pm 2659.1	100.0 \pm 70.2
INS CHI Sol IN ^b	5	93.0 \pm 67.4	40.1 \pm 6.1	7262.8 \pm 2933.9	47.9 \pm 19.4
INS CHI NP IN ^c	6	120.0 \pm 111.7	59.7 \pm 28.8	5714.9 \pm 5736.4	37.7 \pm 37.9
INS CHI NP PL IN ^d	5	107.5 \pm 81.8	52.9 \pm 14.4	5477.9 \pm 2035.4	36.1 \pm 13.4
One-way ANOVA ^e		$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$
One-way ANOVA ^f		$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P > 0.05$

Note: NA Not applicable.

$F_{\text{dyn}}^* = (\text{individual AOC}_{\text{IN or SC}} \times \text{Dose}_{\text{SC}} / \text{mean AOC}_{\text{SC}} \times \text{Dose}_{\text{IN or SC}}) \times 100$. Calculated for each individual animal following IN or SC administration relative to mean AOC following SC administration.

Data given as mean \pm SD (sample size, n, is given in the Table).

^a Insulin solution, administered by subcutaneous (SC) injection (F1).

^b Insulin chitosan solution, administered intranasally (IN) (F2).

^c Insulin chitosan nanoparticles loaded with insulin during production, administered IN (F3).

^d Insulin chitosan nanoparticles post-loaded with insulin, administered IN (F4).

^e Comparisons made of all formulations (F1–F4).

^f Comparisons made only of the nasal formulations (F2–F4).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table V. The Pharmacodynamics of Insulin in Sheep

Formulation	T _{min} (min)	C _{min} (% basal glucose)	AOC (% glucose.min)
INS Sol SC ^a	85.0 ± 29.5	43.1 ± 3.8 ^{a,b,c}	10472.4 ± 1209.0 ^{j,k,l,m}
INS Sol IN ^b	63.3 ± 63.9	79.5 ± 8.6 ^{a,d,e,aa,bb}	2117.2 ± 1028.0 ^{j,n,o,gg,hh}
INS CHI Sol IN ^c	67.5 ± 12.5	53.0 ± 10.4 ^{d,f,g,aa,cc,dd}	4631.8 ± 1176.6 ^{k,n,p,q,gg,ii,jj,kk}
INS CHI PWD IN ^d	90.0 ± 9.5	38.1 ± 5.4 ^{e,h,i,bb,ee,ff}	8662.7 ± 1634.3 ^{o,p,r,s,hh,ii,ll,mm}
INS CHI COMPL IN ^e	51.3 ± 23.9	73.3 ± 13.5 ^{b,f,h,cc,ee}	2543.0 ± 1414.6 ^{l,r,jj,ll}
INS CHI NP PL IN ^f	46.3 ± 12.0	72.6 ± 9.4 ^{c,g,i,dd,ff}	2301.5 ± 588.4 ^{m,q,s,kk,mm}
One-way ANOVA ^g	P > 0.05	P < 0.0001	P < 0.0001
One-way ANOVA ^h	P > 0.05	P < 0.0001	P < 0.0001

Note: Only significant relations are indicated, for all other comparisons made P > 0.05. Data given as mean ± SD (n = 6).

NA Not applicable.

^a Insulin solution, administered by subcutaneous (SC) injection (F1).

^b Insulin solution, administered intranasally (IN) (F2).

^c Insulin chitosan solution, administered IN (F3).

^d Insulin chitosan powder, administered IN (F4).

^e Insulin chitosan complex, administered IN (F5).

^f Insulin chitosan nanoparticles post-loaded with insulin, administered IN (F6).

^g Comparisons made of all formulations (F1–F6). Tukey-Kramer Multiple Comparisons Test following ANOVA: a,b,c,d,e,h,i,j,k,l,m,o,p,r,s; P < 0.001, f,g; P < 0.01, n,q; P < 0.05.

^h Comparisons made only of the nasal formulations (F2–F6). Tukey-Kramer Multiple Comparisons Test following ANOVA†: aa,bb,cc,ff,hh,ii,ll,mm; P < 0.001, cc,dd,gg,jj,kk; P < 0.05.

After the subcutaneous injection of insulin (dose 10 IU) serum blood glucose values declined to about 45% (C_{min}) of basal levels with a T_{min} of 85 min (Table V). Corresponding insulin data showed values of C_{max} and T_{max} of about 191 µIU/ml and 14 min respectively (Table VI). Serum insulin levels remained elevated for the duration of the study and for some animals, in contrast to nasally administered insulin, had not returned to basal concentrations by 300 min. The absorption of insulin from the control nasal insulin solution (100 IU dose) was poor with C_{max} in the region of 53 µIU/ml and the relative bioavailability only 0.5%. The pharmacokinetics and

pharmacodynamics of insulin were significantly improved (P < 0.05) relative to nasal control after nasal administration of the chitosan based solution and powder formulations. For the insulin-chitosan solution formulation (100 IU dose) values of C_{max}, T_{max} and F_{rel} were about 179 µIU/ml, 28 min. and 3.6%, respectively (Table VI). The T_{max} occurred at 28 min. but the insulin serum levels 5 min after dosing, were comparable to those obtained at T_{max} for the chitosan nanoparticles and complex formulations. The improved insulin absorption after nasal administration of the insulin-chitosan solution formulation was supported by the corresponding glucose data.

Table VI. The Pharmacokinetics of Insulin in Sheep

Formulation	T _{max} (min)	C _{max} (µIU/ml)	AUC (µIU/ml.min)	Frel (%)
INS Sol SC ^a	14.2 ± 9.2 ^a	190.5 ± 102.5 ^g	18657.5 ± 6579.1 ^{l,m,n,o,p}	100
INS Sol IN ^b	11.7 ± 5.2 ^{b,c,aa,bb}	52.6 ± 27.0 ^{h,ff}	917.2 ± 491.7 ^{q,ii}	0.5 ± 0.1 ⁿⁿ
INS CHI Sol IN ^c	27.5 ± 14.7 ^{b,d,aa,cc}	179.1 ± 65.5 ^{i,gg}	6581.3 ± 2575.0 ^{m,r,kk}	3.6 ± 0.8 ^{oo}
INS CHI PWD IN ^d	40.0 ± 7.7 ^{a,c,e,bb,dd,ee}	743.1 ± 259.0 ^{g,h,i,j,k,ff,gg,hh,ii}	38201.4 ± 13286 ^{n,q,r,s,t,jj,kk,ll,mm}	17.0 ± 6.6 ^{nn,oo,pp,qq}
INS CHI COMPL IN ^e	11.7 ± 5.2 ^{d,e,cc,dd}	66.9 ± 24.1 ^{j,hh}	2308.7 ± 817.5 ^{o,s,ii}	1.8 ± 0.9 ^{pp}
INS CHI NP PL IN ^f	15.0 ± 0.0 ^{f,ee}	106.2 ± 98.9 ^{k,ii}	2249.4 ± 1985.6 ^{p,t,mm}	1.3 ± 0.8 ^{qq}
One-way ANOVA ^g	P < 0.0001	P < 0.0001	P < 0.0001	N/A
One-way ANOVA ^h	P < 0.0001	P < 0.0001	P < 0.0001	P < 0.0001

Note: Only significant relations are indicated, for all other comparisons made P > 0.05. Data given as mean ± SD (n = 6).

NA Not applicable

^a Insulin solution, administered by subcutaneous (SC) injection (F1).

^b Insulin solution, administered intranasally (IN) (F2).

^c Insulin chitosan solution, administered IN (F3).

^d Insulin chitosan powder, administered IN (F4).

^e Insulin chitosan complex, administered IN (F5).

^f Insulin chitosan nanoparticles post-loaded with insulin, administered IN (F6).

Frel* = (AUC_{IN} × Dose_{SC}/AUC_{SC} × Dose_{IN}) × 100. Calculated for each individual animal relative to SC data from the same animal.

^g Comparisons made of all formulations (F1–F6). Tukey-Kramer Multiple Comparisons Test following ANOVA: a,c,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o,p,q,r,s,t; P < 0.001, o; P < 0.01, b,d,m; P < 0.05.

^h Comparisons made only of the nasal formulations (F2–F6): Tukey-Kramer Multiple Comparisons Test following ANOVA: bb,dd,ee,ff,gg,hh,ii,jj,kk,ll,mm,nn,oo,pp,qq; P < 0.001, aa,cc; P < 0.05.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

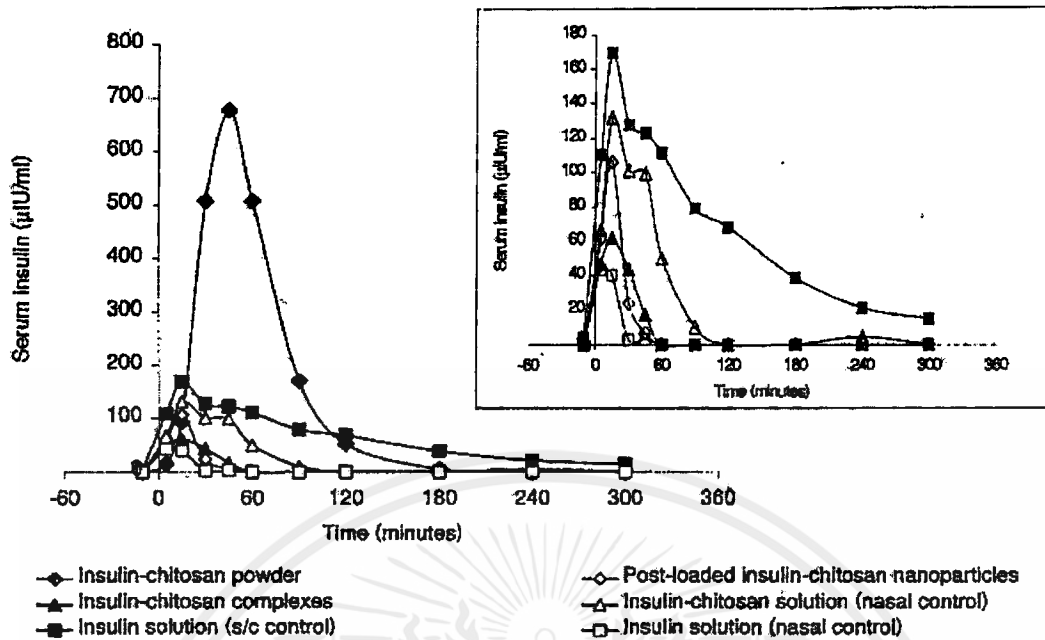


Fig. 2. Serum insulin concentrations following the nasal or subcutaneous administration of various insulin formulations to sheep. The insert figure is enlarged from the main figure containing the serum insulin profiles for all but the insulin-chitosan powder formulation. ($n = 6$)

Both the post-loaded insulin-chitosan nanoparticles and the insulin-chitosan complexes were significantly less effective ($P < 0.05$) in lowering the blood glucose levels than the insulin-chitosan solution formulation. After nasal dosing of the nanoparticle and complex formulations (100 IU doses) values of C_{max} were in the region of 106 μ IU/ml and 67 μ IU/ml with corresponding T_{max} of 15 and 12 min., respectively (Table VI). As for the control formulation, elevation in serum insulin levels after dosing these formulations were relatively short lived (<60 min.) which was reflected in the F_{rel} obtained of 1.3% and 1.8%, respectively. These values were significantly ($P < 0.001$) lower than that obtained after dosing the insulin-chitosan solution formulation. There was no significant difference between the pharmacokinetic/pharmacodynamic parameters obtained for the chitosan nanoparticles and complexes compared to the control solution. A substantial improvement (F_{rel} 17%) in the nasal absorption of insulin was observed after dosing the insulin-chitosan powder formulation (average dose 128 IU). Values of C_{max} and T_{max} were around 743 μ IU/ml and 40 min., respectively (Table VI) and insulin serum levels were elevated for 120–180 min. Appreciable increase in serum insulin concentrations was observed after 15 min (Fig. 2). F_{rel} was significantly higher ($P < 0.001$) after dosing the chitosan powder formulation than after dosing any of the other nasal formulations. This was also supported by the glucose data with significantly better AOC ($P < 0.05$) for the chitosan powder formulation than for the other nasal formulations. Notably, the nadir in glucose levels for this formulation was comparable to that obtained after subcutaneous administration although the hypoglycaemic response was less prolonged.

It was previously shown for other drugs such as goserelin, that a chitosan powder formulation was better at enhancing the nasal absorption of the drug than the corresponding chitosan solution formulation with bioavailabilities of 25.6% and 11.8%, respectively (10). The improved effect of the chitosan

powder as compared to the chitosan solution can be readily explained by the longer residence time of the powder ($T_{1/2} = 115$ min) in the sheep nasal cavity, as compared to the chitosan solution ($T_{1/2} = 45$ min) (25). This longer residence time will promote increased transport of the insulin across the nasal mucosa. Furthermore, the absorption of water from the mucosa by chitosan powder may have an additional effect on the opening of the tight junctions.

The results obtained in the present study on the effect of the chitosan nanoparticles on nasal absorption of insulin compared to the chitosan solution formulation are not in agreement with the results from Fernandez-Urrusuno *et al.* (19,20). These workers reported the superior efficacy of insulin-loaded nanoparticles as compared to chitosan solutions in terms of their ability to enhance insulin absorption via the nasal route. As can be seen from Table VII the characteristics of the nanoparticles used in the two studies are quite similar with the major difference being the dose of insulin, the nanoparticle size range, and the animal models used. The difference in particle size of about 300–400 nm should not be critical. As discussed in the Fernandez-Urrusuno *et al.* publications, the effect of the nanoparticle system is most likely due to an effect of the positively charged chitosan particle on the epithelial membrane. This is mainly in terms of bioadhesion and possibly transient opening of the tight junctions and is not likely due to the particles being transferred across the nasal membrane. In support of this, it was shown by our own group that even polystyrene particles (100 nm in diameter) coated with chitosan were only taken across the nasal membrane to a very low degree (<3% over 3 h) (26).

The chitosan used in the present studies was chitosan glutamate with a mean molecular weight of 205 kDa and a degree of deacetylation of about 83%. The chitosan used in the Fernandez-Urrusuno *et al.* studies was chitosan HCl with a mean molecular weight of 130 kDa and a degree of deacetylation of >70%. It has been shown previously that the degree

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table VII. A Comparison between Characteristics and Doses of Nanoparticles Used in the Study by Fernandez-Urrusuno et al. [19,20] and the Nanoparticles Used in the Present Study

Formulation (Reference)	Insulin dose (IU/kg)	Chitosan dose (mg/kg)	Mean particle size (nm)	CHI/TPP ratio	Zeta potential (mV)
Rabbits (23,24)	5	0.16	300	6/1	25–54
Rats	2	0.5	473	6/1	25.0
INS CHI NP ^a			(423–501)		(23.7–25.7)
Rats	2	0.5	752	6/1	37.2
INS CHI NP PL ^b			(671–877)		(35.5–38.3)
Sheep	2	0.1	717	6/1	43.7
INS CHI NP PL ^b			(660–799)		(43.8–44.0)

^a INS CHI NP: Insulin chitosan nanoparticles loaded with insulin during production.

^b INS CHI NP PL: Insulin chitosan nanoparticles post-loaded with insulin.

of deacetylation is critical for the absorption promoting effect and that the lower the degree of deacetylation the less the absorption promotion (27,28). Similarly, it was shown that the molecular weight had some importance in that a molecular weight of at least 100 kDa was needed to obtain the optimal effect (29). Hence, it could be expected that the chitosan used in the Fernandez-Urrusuno *et al.* studies might have had a lower effect on absorption promotion, at least as a solution formulation.

It should be noted that the insulin absorption data in terms of blood glucose profiles and plasma insulin levels seen in the rat and the sheep studies are very similar to results from studies in rats and sheep previously published by our group (5,11,23). Chitosan solution has also been shown to have a very good absorption promoting effect on other drugs such as morphine (F = 60%) and goserelin (F = 12%) (9,10).

It can be concluded from these studies, that both chitosan solution and chitosan powder formulations are superior in terms of their nasal absorption promoting ability compared with chitosan nanoparticulate systems such as those prepared by ionic gelation of chitosan and TPP (19,20) and those described in the present paper prepared by complexation between chitosan and insulin. It can further be concluded that for nasal absorption of insulin, the chitosan powder formulation was superior to the chitosan solution formulation.

REFERENCES

1. L. Illum. Chitosan and Its Use as a Pharmaceutical Excipient. *Pharm. Res.* **15**:1326–1331 (1998).
2. Y. Sawayanagi, N. Nambu, and T. Nagai. Directly compressed tablets containing chitin or chitosan in addition to lactose or potato starch. *Chem. Pharm. Bull.* **30**:2935–2940 (1982).
3. T. Imai, S. Shiraishi, S. Saito, and M. Otogiri. Interaction of indomethacin with low molecular weight chitosan and improvements of some pharmaceutical properties of indomethacin by low molecular weight chitosan. *Int. J. Pharm.* **67**:11–20 (1991).
4. K. Takayama, M. Hirata, Y. Machida, T. Sannan, and T. Nagai. Effect of interpolymer complex formations on the bioadhesive property and drug release phenomenon of compressed tablet consisting of chitosan and sodium hyaluronate. *Chem. Pharm. Bull.* **38**:1993–1997 (1990).
5. L. Illum, N. F. Farraj, and S. S. Davis. Chitosan as a novel nasal delivery system for peptide drugs. *Pharm. Res.* **11**:1186–1189 (1994).
6. P. Artursson, T. Lindmark, S. S. Davis, and L. Illum. Effect of chitosan on the permeability of monolayers of intestinal epithelial cells (Caco-2). *Pharm. Res.* **11**:1358–1361 (1994).
7. L. Illum. Bioadhesive formulations for nasal peptide delivery. In E. Mathowitz, C. M. Lehr, and D. Chickering (eds). *Bioadhesion in Drug Delivery – Issues in Fundamentals, novel approaches and development*, Marcel Dekker, 1998 pp 507–539.
8. L. Illum. Intranasal morphine for pain management. *Chinese J. Neuroanatomy* **17**Suppl.:93–95 (2001).
9. L. Illum, P. Watts, A. N. Fisher, M. Hinchcliffe, H. Norbury, I. Jabbal-Gill, R. Nankervis, and S. S. Davis. Intranasal delivery of morphine. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* **301**:391–400 (2002).
10. L. Illum, P. Watts, A. N. Fisher, I. Jabbal-Gill, and S. S. Davis. Novel chitosan-based delivery systems for the nasal administration of a LHRH-analogue. *S. T. P. Pharma Sci.* **10**:89–94 (2000).
11. T. J. Aspden, L. Illum, and O. Skaugrud. Chitosan as a nasal delivery system: evaluation of insulin absorption enhancement and effect on nasal membrane integrity using rat models. *Eur. J. Pharm. Sci.* **4**:23–31 (1996).
12. V. Dodane, M. A. Khan, and J. R. Merwin. Effect of chitosan on epithelial permeability and structure. *Int. J. Pharm.* **182**:21–32 (1999).
13. N. G. M. Schipper, S. Olsson, J. A. Hoogstraate, A. G. de Boer, K. M. Varum, and P. Artursson. Chitosans as absorption enhancers for poorly absorbable drugs. 2. Mechanism of absorption enhancement. *Pharm. Res.* **14**:923–929 (1997).
14. R. J. Soane, M. Frier, A. C. Perkins, N. S. Jones, S. S. Davis, and L. Illum. Evaluation of the clearance characteristics of bioadhesive systems in human. *Int. J. Pharm.* **178**:55–65 (1999).
15. K. A. Janes, M. P. Fresneau, A. Marazuela, A. Fabra, and M. J. Alonso. Chitosan nanoparticles as delivery systems for doxorubicin. *J. Control. Release* **73**:255–267 (2001).
16. S. Dumitriu and E. Chornet. Inclusion and release of proteins from polysaccharide-based polyion complexes. *Adv. Drug Deliv. Rev.* **31**:223–246 (1998).
17. Y. Ohya, M. Shiratani, H. Kobayashi, and T. Ouchi. Release behavior of 5-fluorouracil from chitosan-gel nanospheres immobilizing 5-fluorouracil coated with polysaccharides and their cell specific cytotoxicity. *Pure Appl. Chem.* **A31**:629–642 (1994).
18. P. Calvo, C. Remunan-Lopez, J. L. Vila-Jato, and M. J. Alonso. Novel hydrophilic chitosan-polyethylene oxide nanoparticles as protein carriers. *J. Appl. Polym. Sci.* **63**:125–132 (1997).
19. R. Fernandez-Urrusuna, D. Romani, P. Calvo, J. L. Vila-Jato, and M. J. Alonso. Development of a freeze dried formulation of insulin-loaded chitosan nanoparticles intended for nasal administration. *S. T. P. Pharma Sci.* **5**:429–436 (1999).
20. R. Fernandez-Urrusuna, P. Calvo, C. Remunan-Lopez, J. L. Vila-Jato, and M. J. Alonso. Enhancement of nasal absorption of insulin using chitosan nanoparticles. *Pharm. Res.* **16**:1576–1581 (1999).
21. F. C. MacLaughlin, R. J. Mumper, J. Wang, J. M. Tagliaferrri, I. Gill, M. Hinchcliffe, and A. P. Rolland. Chitosan and depolymerized chitosan oligomers as condensing carriers for in vivo plasmid delivery. *J. Control. Release* **56**:259–272 (1998).
22. K. A. Janes, P. Calvo, and M. J. Alonso. Polysaccharide colloidal particles as delivery systems for macromolecules. *Adv. Drug Deliv. Rev.* **47**:83–97 (2001).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23. S. H. Major and L. Illum. Investigation of the effect of anaesthesia on nasal absorption of insulin in rats. *Int. J. Pharm.* **149**:123–129 (1997).
24. F. W. H. M. Merkus, J. C. Verhoef, S. G. Romeijn, and N. G. M. Schipper. Interspecies differences in the nasal absorption of insulin. *Pharm. Res.* **8**:1343 (1991).
25. R. J. Soane, M. Hinchcliffe, S. S. Davis, and L. Illum. Clearance characteristics of chitosan based formulations in the sheep nasal cavity. *Int. J. Pharm.* **217**:183–191 (2001).
26. J. Brooking, S. S. Davis, and L. Illum. Transport of nanoparticles across the nasal mucosa. *J. Drug Target.* **9**:267–279 (2001).
27. N. G. M. Schipper and K. M. Varum, and P. Artursson. Chitosans as absorption enhancers for poorly soluble drugs. 1: Influence of molecular weight and degree of acetylation on drug transport across human intestinal epithelial (Caco-2) cells. *Pharm. Res.* **13**: 1686–1692 (1996).
28. T. J. Aspden. An evaluation of the potential use of chitosans in nasal peptide absorption systems. Ph. D. Thesis, Nottingham University, 1996.
29. R. J. Soane. Bioadhesive polymers as intranasal drug delivery systems for peptide and protein drugs. Ph. D. Thesis, Nottingham University, 1999.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Forensic Fingerprint Enhancement using Bioadhesive Chitosan and Gold Nanoparticles

Naveed Ul Islam*, Kazi F. Ahmed**, Abhilash Sugunan* and Joydeep Dutta*†

Abstract— Detection of latent fingerprints using lipophilic and polycationic polymer chitosan has been explored. The gold nanoparticle deposition on chitosan treated latent fingerprints enhances contrast, making the fingerprint identification possible. Chitosan being the second most abundant natural polymer, this technique can be an inexpensive and efficient method for fingerprint enhancement and its subsequent detection. This simple technique has a potential of immediate application in forensic science.

Index Terms— nanoparticle, forensic, gold, fingerprint, colloid, chitosan

I. INTRODUCTION

Fingerprint detection is probably the oldest form of biometrics, practiced in criminal investigations over a century as a physical evidence, for identifying subjects through their unique natural characteristics comprising the pattern of ridges on a person's fingertips. Tracing the sequence of the arrangement of ridges on the finger pads matches of an individual to a database of available fingerprints becomes possible [1].

A latent fingerprint is formed as the sweat pores of the papillary ridges leave a deposit of perspiration on a surface with which the finger has been brought into contact [2]. About 99 % of this deposit is water, which soon evaporates to leave behind micrograms of residue. About a half of this residue is a complex mixture of organic ingredients such as lipids, amino acids, vitamins, etc [3]. Latent prints left by the skin's natural oils and secretions may not be visible to the naked eye but several techniques are available to enhance their contrast for observation. Traditional techniques for fingerprint detection

Manuscript received August 15, 2006. This work was supported by the Center of Excellence in Nanotechnology, AIT, Thailand. The authors would like to acknowledge partial financial support of the National Science & Technology Development Agency (NSTDA) of Ministry of Science & Technology (MOST), Thailand.

Naveed Ul Islam, Kazi F. Ahmed, A. Sugunan and J. Dutta are with the Center of Excellence in Nanotechnology, Microelectronics, School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, Thailand. (Correspondence: phone: +66 2524 5680; fax: +66 2524 5697; e-mail: jov@ait.ac.th).

Kazi F. Ahmed is now at Dartmouth College, Hanover, NH 03755 USA.

involve e.g. dusting, physical developers, ninhydrin, diaza-1,8-fluorene-9-one (DFO) and iodine methods. The widely used dusting (powdering) technique, in contrast to the presented technique, cannot be used for the latent fingerprints with residue less than a specific amount and on wet surfaces. Also prints covered with a layer of dust have not shown acceptable results for powder treatment. Some new powder solutions and alternate spray reagents for the detection of latent fingerprints endanger hazard risks [4, 5]. The emerging techniques of DNA profiling which began to be used since mid-80's are of comparable identification value, but are expensive, very time-consuming, and require extreme care against sample contamination in the laboratory.

In the present work, gold nanoparticles treated with chitosan have been used to attach to the lipids in the latent fingerprint. In the conventional fingerprint detection techniques, reagents are known to react with sodium chloride, fatty acids or amino acids present in the fingerprint residue [3] to add color to the fingerprint. The use of colloidal gold for latent fingerprint development has been demonstrated earlier by Saunders et. al. [6] with further optimization later by Schnetz and Margot [7] and it was shown that the method could be used for both porous and non-porous substrates. However, the optimization outlined by Schnetz and Margot made the actual technique very complicated and dependant on various parameters of reagent synthesis, environment and application procedure. Furthermore detailed explanation of the mechanism of gold nanoparticles attachment to the fingerprint was not provided. The main objective of this work is to arrive at a better understanding of the mechanisms involved during the fingerprint detection using gold nanoparticles, leading to a simplified, yet efficient technique for the detection of latent fingerprints.

The proposed technique of latent fingerprint highlighting through gold nanoparticles deposition on a bioadhesive polymer (i.e. the chitosan) treated samples is a non-destructive method avoiding removal of any of the physical evidence characteristics. Also, compared to the recently developed techniques for fingerprint detection, like gas chromatography, mass spectrometry, infrared spectro-microscopy and micro-X-ray fluorescence elemental imaging, the degree of identification is not dependent on the prior knowledge of the materials handled by the subject [8, 9, 10].

II. EXPERIMENTAL

The experimental process in the laboratory started with a trace of fingerprint taken on a microscope glass slide cleaned

properly with ethanol. The finger marked glass slide was then left to dry over night for minimizing the amount of residue to determine the sensitivity of the proposed technique. The gold colloids were synthesized by adding 2.0 ml of 5 mM H₂AuCl₄ aqueous solution to 50 ml of deionized (DI) water and heating the mixture to boiling point. At boiling stage 1.2 ml of 25 mM aqueous monosodium glutamate (MSG) was added and continued to heat for further 10 minutes. This synthesis of gold nanoparticles is similar to Turkevitch process with trisodium citrate replaced by MSG [11].

As a first approach towards the development of collected latent fingerprint, the gold colloids were capped with chitosan (low viscous from Sigma-Aldrich). This was achieved by adding 1 ml of 1 % chitosan to 100 ml of colloidal gold solution to obtain a final chitosan concentration of 0.01 %. Too little concentration of chitosan lead to partial capping and too high concentration of chitosan resulted in the agglomeration of the gold nanoparticles [12]. Fingermarked slides were dipped into these modified colloidal gold solutions and left overnight.

The second technique involved a pre-dipping step in which the fingermarked slides were soaked into 0.2 %, 0.6 %, 1.0 % and 1.5 % concentrated solutions of chitosan. The slides were then rinsed with DI water, heated in an oven for a few minutes at 80 °C and then immersed into 40 ml of 'as made' colloidal gold solution. Following this step, 7 g of MSG was added to purposely agglomerate the gold nanoparticles on the slide containing the fingerprint and left for 6 to 7 hours. The glass slides were then rinsed with DI water to develop the latent fingerprint.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

Lipids form a major organic component of a fingerprint residue [3]. The long carbon chains of chitosan molecules render them lipophilic. At the same time, chitosan has poly-cationic nature in dilute acidic conditions (pH range of 3-4) due to protonation of its amine groups. This creates an electrostatic force of attraction towards the gold colloids stabilized by negatively charged glutamic ions adsorbed on gold nanoparticles [12]. Result is the attachment of chitosan molecules to the gold colloids. The chitosan-capping changes the surface chemistry of gold colloids making them lipophilic. Gold nanoparticles (capped with chitosan) are then attracted towards the lipid residues within latent fingerprint improving its contrast, as shown schematically in figure 1.

The developed latent fingerprint due to attachment of the chitosan capped gold nanoparticles (Chitosan-AuNP) to fingerprint ridges using technique 1 is shown in figure 2. The number of gold nanoparticles attached to the ridges and hence the contrast of developed fingerprint using technique 1 was dependent mainly on the brownian motion of the colloidal nanoparticles in the suspension. Thus even a prolonged dipping of fingermarked slides into Chitosan-AuNP solution resulted in a marginal improvement towards the visible contrast of the latent fingerprint.

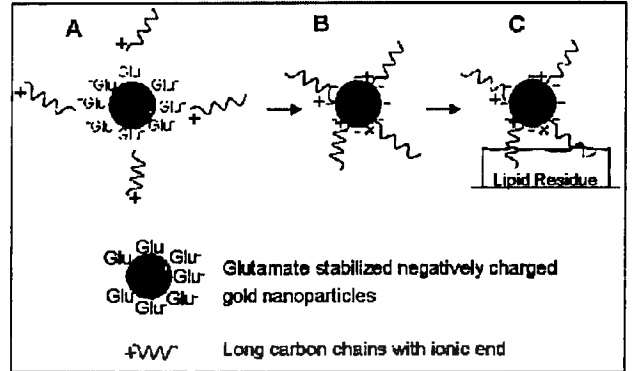


Figure 1: A schematic representation of technique 1 (A) chitosan carbon chains with ionic ends and gold nanoparticles, (B) the ionic ends of carbon chains attaching to the gold nanoparticles making them lipophilic (C) the hydrophobic (lipophilic) ends of long carbon chains burying themselves into the lipid residues of the latent fingerprint.

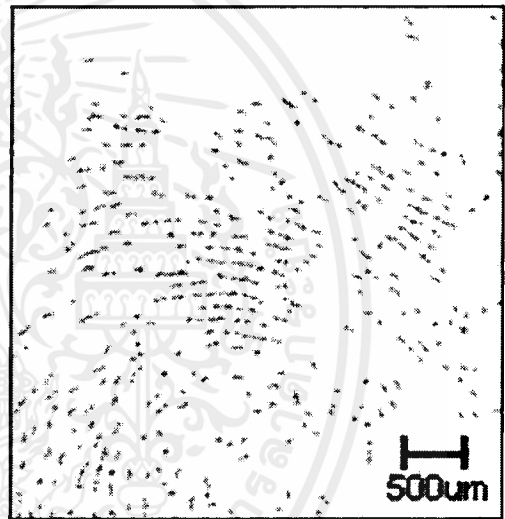


Figure 2: Developed latent fingerprint using technique 1; dipping the fingermarked glass slides into chitosan capped colloidal gold solution for 15-20 hrs followed by rinsing through DI water.

The development time and the contrast were improved with technique 2 that involved forced agglomeration of 'as made' gold colloids onto the fingerprint ridges that had been pre-treated with chitosan solution. The fingermarked slides were pretreated with various concentrations of chitosan solution so that the chitosan could attach to the lipid residues exposing their cationic part to the solution. These dangling cationic moiety of chitosan are expected to attract gold nanoparticles in its vicinity through electrostatic interactions. The purpose of using various concentrations of chitosan in technique 2 was to find the optimum conditions of attachment of chitosan molecules to the ridges of the latent fingerprint. Too less chitosan concentration could result in a very weak contrast (comparable to technique 1) whereas too high concentration could completely hide the latent pattern. Figure 3 shows the schematic representation of the mechanism involved in technique 2.

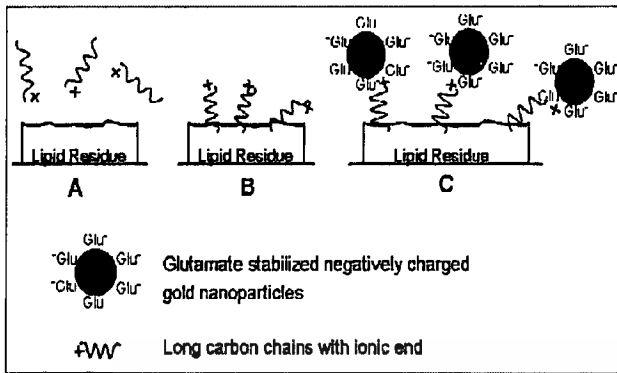


Figure 3: A schematic representation of technique 2 (A) polycationic chitosan molecules with long carbon chains and fingermark residue (B) the hydrophobic carbon chains attaching themselves to the lipid residues (C) negatively charged gold nanoparticles attachment to the cationic ends of chitosan molecules through electrostatic force of attraction.

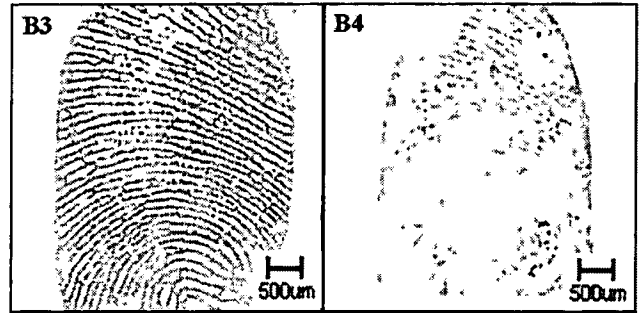
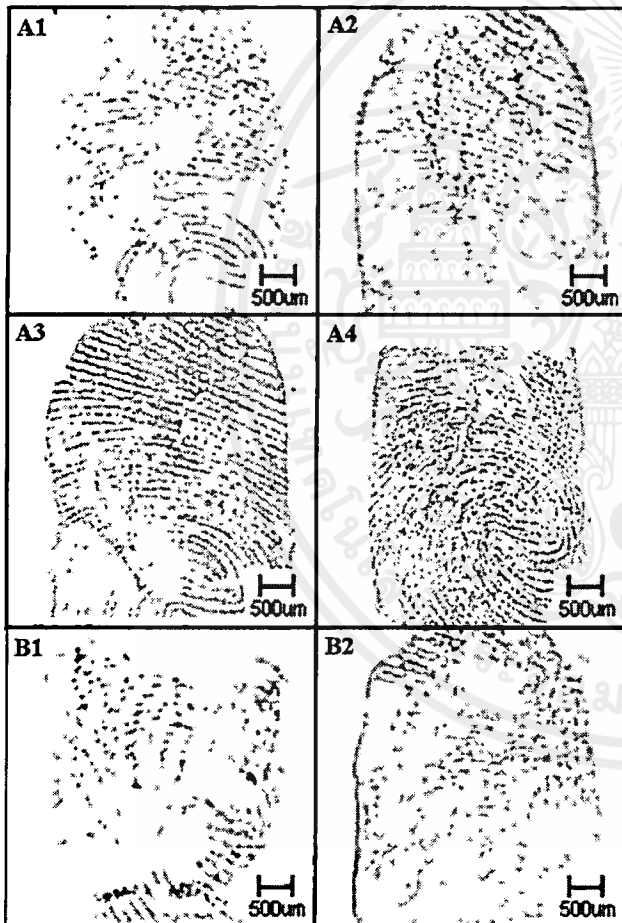


Figure 4: Developed latent fingerprints using technique 2: 'A' samples are dipped into chitosan solution for 15 minutes whereas 'B' samples for 30 minutes; A1, B1) 0.2 % chitosan, A2, B2) 0.6% chitosan, A3, B3) 1.0% chitosan and A4, B4) 1.5 % chitosan.

Latent fingerprints developed using technique 2, are shown in figure 4. The attachment of forcedly agglomerated gold colloids to the chitosan pre-treated fingermarks can be seen from the results in figure 4 which proves the concept of technique 2. The latent fingermark revealed quite clearly for 1.0 % chitosan with dipping time of 30 minutes (sample B3, figure 4). Ridges could be identified making the binning [13] of fingermark quite easy (figure 5).

Figure 5: A magnified view of developed ridges of latent fingerprints with optimized treatment 'B3' of technique 2. (A) represents area between the ridges with negligible gold agglomerates. (B) highlighted ridges with agglomerated gold colloids.

The improved contrast in the results of technique 2 when compared to technique 1 was due to the addition of monosodium glutamate (MSG) that destabilized the electrostatic double layer of the gold colloids causing agglomeration of nanoparticles [12] (figure 6).

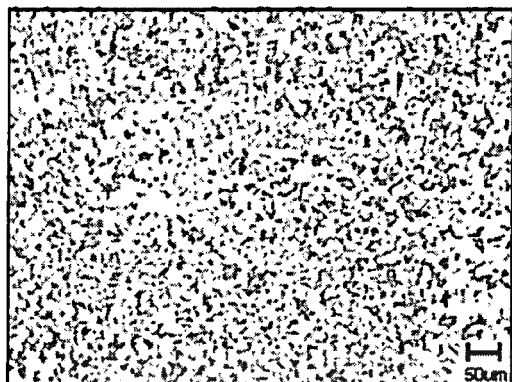


Figure 6: Agglomerated gold colloids on the ridges of developed fingerprint.

At lower concentrations (samples A1, A2, B1, B2; figure 4) only partial chitosan coverage of the lipid residues was observed and this coverage became even less after rinsing steps involved making it difficult to identify a specific ridge pattern after development with gold nanoparticles.

Higher concentrations of chitosan (samples A4, B4; figure 4) caused increased resistance to the flow of chitosan in-between the ridges due to high viscosity and resulted in a thin chitosan layer over the whole fingerprint area, affectively hiding the ridge patterns.

The dipping time of latent fingerprint into chitosan solution considerably affects the diffusion of long molecular chains of chitosan into lipid residues and hence becoming a fine tuning factor for the results of this proposed technique for fingerprint identification. Taking the treatment of sample B3 in figure 4 (1 % chitosan with 30 minutes dipping time) as the optimized one, going away from this optimized treatment in any direction in terms of dipping time and concentration, the results are not acceptable as can be observed from figure 4. To check the repeatability of the proposed technique, different latent fingerprints with different amount of residues were developed using the proposed method. The results were quite acceptable as shown in figure 7.



Figure7: Developed latent fingerprints with different amounts of residues from different subjects using the proposed optimized method.



IV. CONCLUSIONS

We have demonstrated a new technique for the enhancement of latent fingerprints utilizing a lipophilic natural polymer, namely chitosan that aids the attachment of gold nanoparticles onto the latent fingerprints to enhance the optical contrast. Forced agglomeration of gold nanoparticles onto the lipid residues pre-treated with lipophilic chitosan was found to be the most optimum method and excellent contrast was obtained for 1% chitosan with 30 minutes of treatment time and its subsequent development in agglomerated colloidal gold solution for a development period of 6 to 7 hours. The obtained contrast clearly distinguishes the ridges and this method stands a good chance to be applied for forensic identification. Work is on way in the laboratory to further confirm the mechanism of the enhancement and further optimization to shorten the treatment time to obtain the best contrast.

REFERENCES

- [1] H. C. Lee and R. E. Gaensslen, "Advances in fingerprint technology", Elsevier, New York, 1991.

- [2] GL. Thomas, "The physics of fingerprints and their detection", *J. Phys. E*, vol. 11, pp. 722-31, 1978.
- [3] B. Scruton, BW. Robins and BH. Blott, "The deposition of fingerprint films", *J. Phys. D*, vol. 8, pp. 714-23, 1975.
- [4] Centers for Disease Control and Prevention, "NIOSH health hazard evaluation report", HETA 92-0147-2456, Federal Bureau of Investigation Washington, D. C., available online: <http://www.onin.com/fp/2456/niosh2456.html>, downloaded on Aug. 14, 2005.
- [5] K. Flynn, C. Roux, P. Maynard and E. Du Pasquier, "The Evaluation of iodine-benzoflavone and ruthenium tetroxide spray reagents for the detection of latent fingerprints at the crime scene", *J. Forensic Sci.*, vol. 49, pp. 1-9, 2004.
- [6] G. Saunders, "Multimetal deposition technique for latent fingerprint development", International Association for Identification, 74th Annual Educational Conference, Pensacola USA, June 1989.
- [7] B. Schnetz and P. Margot, "Technical Note: Latent fingermarks, colloidal gold and multimetal deposition (MMD) optimization of the method", *Forensic Science International*, vol. 118, pp. 21-28, 2001.
- [8] Christopher G. Worley, Sara S. Wiltshire, Thomasin C. Miller, George J. Havrilla and Vahid Majidi, "Detection of visible and latent fingerprints using micro-X-ray fluorescence elemental imaging", *J. Forensic Sci.*, Vol. 51, No. 1, pp. 57-63, January 2006.
- [9] Ashleigh Grant, T. J. Wilkinson, Derek R. Holman and Michael C. Martin, "Identification of recently handled materials by analysis of latent human fingerprints using infrared spectromicroscopy", *Applied Spectroscopy*, Vol. 59, No. 9, pp. 1182-87, 2005.
- [10] B. Hartzell-Baguley, R. E. Hipp, N. R. Morgan and S. L. Morgan, "Chemical composition of latent fingerprints by gas chromatography mass spectrometry", *J. Chem. Euc.* 2006, in print.
- [11] A. Sugunan and J. Dutta, "Novel synthesis of gold nanoparticles in Aqueous media", *Mater. Res Soc. Symp. Proc.* Vol. 901E (0901-Ra16-55-Rb16-55.1), 2006.
- [12] A. Sugunan, C. Thanachayanont, J. Dutta and J. G. Hilborn, "Heavy-Metal ion sensors using Chitosan-capped Gold Nanoparticles", *Science and Technology of Advanced Materials* 6, pp. 335-340, 2005.
- [13] L. O'Gorman, "Overview of fingerprint verification technologies", *Elsevier Information Security Technical Report*, Vol. 3, No. 1, 1998.



Fingerprint recovery from human skin surfaces[☆]

Matej Trapecar^{a,*}, Joze Balazic^{b,1}

^a Forensic Laboratory and Research Centre, Police, Ministry of the Interior, Stefanova 2, 1000 Ljubljana, Slovenia

^b Institute of Forensic Medicine, Medical Faculty, University of Ljubljana, Korytkova 2, 1000 Ljubljana, Slovenia

Received 31 March 2006; received in revised form 30 August 2006; accepted 18 January 2007

Abstract

A study was conducted to investigate whether certain dactyloscopic powders and reagents can recover latent fingerprints on human skin surfaces. Four fingerprint powders, Magnetic Jet Black, Magnetic Silver, Silver Special, Swedish Black, and two other methods, cyanoacrylate fuming (CA) and Ruthenium tetroxide (RTX), were used. Having examined skin surfaces with a forensic light source, we observed that the fingerprint impressions remained visible up to 15 min after intentionally placing them on the skin surface of living subjects and dead bodies. Finger marks were recovered and positive results were achieved with Magnetic Black and Swedish Black powder on living subjects. On dead bodies finger marks treated with cyanoacrylate were visible but those treated with RTX, Swedish Black and Magnetic Jet Black powder were useful for potential comparison. On dead bodies best results were obtained with RTX method.

© 2007 Published by Elsevier Ireland Ltd. on behalf of Forensic Science Society.

Keywords: Human skin; Latent fingerprints; Recovery; Swedish Black powder; Biological traces

1. Introduction

According to expert forensic literature, human skin is considered to be one of the least convenient surfaces for recovering ridge skin impressions [1]. It is evident that some eliminating components are present in both friction ridge prints and on the skin surface of a body. To date, no similar research has been undertaken by Slovenian forensic experts, however forensic literature reports several detection procedures for recovery of fingerprints from human skin. Sampson et al. [2] successfully carried out processing techniques for recovery of latent fingerprint evidence from human skin, whereas Delmas [3] presented the use of luminous magnetic powder coupled with cyanoacrylate fumes and laser post-mortem examinations. He examined intentionally deposited fingerprints on the skin of five victims with the time interval between death and deposition of prints ranging from 35 min to 36 h whilst the time interval

between placing the latent prints and examination ranged from 1 to 5 h. He obtained positive results in four cases.

Fingerprint detection is conducted in a given sequence [4]. Following visual examination, the examiner uses various sources of light, e.g. flashlight, UV-light and forensic light source (FLS). Direct lifting methods are then used such as lifting paper or tape. Cyanoacrylate (CA) fuming followed by magna powder is also used and these are considered to be the most successful method for detecting fingerprints on human skin [5]. When using the CA fuming method, humidity control is very important [6] as excessive humidity may cause condensation. Fuming produces best results if victims are examined at room temperature where relative humidity is approximately 66%. In such circumstances, thenoyl europium chelate may be used as a fluorescent dye [7]. Mashiko and Miyamoto [8] achieved positive results of fingermark recovery from human skin by means of the RTX method which Hebrard and Donche [9] used in their study of detection methods on 16 living persons and 23 dead bodies in addition to powdering [10–12], iodine fumes [11,12] and CA fuming [2].

Before recovering finger marks the skin surface has to be examined thoroughly. Prior to applying any technique, details concerning death, transportation and body storage have to be considered. The selection of which technique to use also

[☆] This article was previously published in *Kriminalistik* (a German language journal).

* Corresponding author. Tel.: +386 1 47 24 462; fax: +386 1 47 34 789.

E-mail addresses: matej.trapecar@policija.si (M. Trapecar), joze.balazic@mf.uni-lj.si (J. Balazic).

¹ Tel.: +386 1 543 72 00; fax: +386 1 52 44 974.

depends on the state of the examined body and whether it is still warm or already cold.

This paper is part of a study on fingerprints deposited on to human skin of both living subjects and dead bodies. It contains findings and results of latent fingerprint recovery from these surfaces. In addition to the dactyloscopic methods for recovering fingerprints on the skin of living subjects and dead bodies, which are already in use such as powders, CA fuming, and RTX the examination focused on the applicability of the Swedish Black powder which has not yet been reported in the relevant forensic literature.

2. Materials and methods

In this study only those methods which Slovenian forensic experts most often apply were used. Nevertheless, the focus was on Swedish powder. Fingerprints were intentionally deposited on the skin surface of 15 living persons and on 5 dead bodies separately.

First, a forensic light source, (i.e. side white light), was used to visually scan for latent fingerprints on the surface of live epidermis prior of fingerprint deposition. No traces were detected on the examination site. Second, the site was labelled with an ordinal number and framed. A measuring tape was also placed beside the site. Fingerprints were deposited on the wrist area of living subjects and on wrist and neck skin surfaces of the dead bodies, i.e. areas thought most likely to exhibit perpetrator–victim fingerprint contact in the course of committing a crime. During deposition of finger marks the contact time was 1 s and 30 s respectively with the pressure of approximately 500 g/in.² for living subjects and approximately 2000 g/in.² for dead bodies. Finger marks were then processed by means of Magnetic, Swedish Black and Silver Special powder within 15 to 45 min of deposition for living subjects and within 15 to 180 min of deposition for dead bodies. On dead bodies, cyanoacrylate esters and RTX were also used. All methods used are further described below and are also listed in Table 1.

All procedures were recorded by a Canon EOS 3 camera fixed on a tripod, using a Fuji superia 400 ASA film, 50 mm macro lens, and by a Canon EOS 10D camera, with resolution 3072 × 2048 dpi, with an 1.8" LCD screen and compact flash I/II memory unit.

2.1. Fingerprints on skin surface of living subjects

It was anticipated that different participants were likely to produce fingerprints of different quality. Fifteen participants

impressed fingerprints on each other's wrists. The hands of each participant were not washed prior to the deposition of the finger mark. Finger mark depositions were carried out within the forensic laboratory under controlled conditions, (room temperature ranging between 22 °C and 26 °C and relative humidity was roughly 60%).

2.1.1. Visual examination

Visual examination was initially used. The latent prints were examined using white light (Spex Mini-CrimeScope®-400). Latent prints on the skin surface were visible using this method.

2.1.2. Lifting method

Square areas with dimensions 2 cm × 1 cm were marked on the skin. Four different lifters (transparent instant lifter, mipofilm for microtrace, fuji glossy paper and silver plate.) were used for the transfer of untreated finger marks from the skin surface 30 min after deposition of the marks. Each of the lifters was placed on one of the marked areas on the skin surface for at least 10 s. After this time the lifters were removed and processed by applying various dactyloscopic methods. In total, 20 samples of latent fingerprints were recovered using the various lifting m

The lifting techniques were also used to recover finger marks which were treated with different powders from both living subjects and cadavers.

2.1.3. Powder/brush

Magnetic Jet Black powder (200/500 g) and Magnetic Silver powder (200/500 g) were used for detection as a physical method. Both powders were applied to the examined area with a magnetic brush. We also used Silver Special powder (100/250 ml) and Swedish Black powder (100/250 ml). These fingerprint powders were applied with a round fingerprint brush.

2.2. Fingerprints on skin surface of dead bodies

Fingerprints were deposited by eight separate volunteers onto five dead bodies. The hands of each volunteer were not washed prior to deposition of the marks. Examinations were conducted within the forensic medicine laboratory. All bodies had been deceased for 20 to 30 h and had been stored for at least 12 h in a cold room at 6 °C. At the time of fingerprint deposition the skin temperature of the bodies was between 6 °C and 7 °C. The air temperature in the laboratory was between 18 °C and 22 °C and the relative humidity level was approximately 60%.

2.2.1. Visual examination

Visual examination was used before any other recovery procedure. For example, if the victim had been dragged or strangled, finger-tip impressions might be apparent on the surface of the skin at the neck and wrist. Such latent prints were detected using a crime scene forensic light source (Mini-CrimeScope®-400) with a UV light at 365 nm and white light.

Table 1
Review of methods used by skin surface type

Methods used	Live skin	Dead skin
Magnetic Jet Black	Yes	Yes
Magnetic Silver	Yes	Yes
Silver Special	Yes	Yes
Swedish Black	Yes	Yes
Cyanoacrylate	No	Yes
RTX Developer	No	Yes

2.2.2. Lifting method

The lifting methods used for the recovery of fingerprints from dead bodies were the same as those used and described for living subjects. In total 18 samples of latent fingerprints were collected.

2.2.3. Powder/brush

The same fingerprint powders and methods were used as described above for living subjects.

2.2.4. Cyanoacrylate

In order to develop fingerprints with CA fuming, a fingerprinting development chamber was used, where the relative humidity and temperature could be controlled. For this research a fingerprint development chamber constructed from a cardboard box (50 cm×25 cm×40 cm) was used to prevent the fumes from evaporating in the air. Hot water (0.7 L) was added in an open plastic container was added to accelerate the process by raising both the relative humidity and temperature. During the fingerprint developing process the temperature inside the cardboard box was between 22 °C and. The fuming process lasted for 30 min. The cyanoacrylate used was in gel form under the trade name Hard Evidence by Loctite. These fingerprint developing pouches are an easy to use one-part fuming system. Each peel-open pouch contains cyanoacrylate in a gel form. Immediately before use we separated both sides to allow the cyanoacrylate to evaporate inside cardboard box at room temperature. In Fig. 1 cardboard box, plastic container with hot water and open pouch of CA can be seen.



Fig. 1. Improvised CA chamber.

Table 2

Assessment of results of different methods on different skin surfaces

Method	Live skin		Dead skin	
	Ridge Detail	Identifiable	Ridge detail	Identifiable
Magnetic Jet Black	Yes	Yes	Yes	Yes
Magnetic Silver	No	No	No	No
Silver Special	No	No	No	No
Swedish Black	Yes	Yes	Yes	Yes
Cyanoacrylate	/	/	Yes	No
RTX Developer	/	/	Yes	Yes

2.2.5. RTX

RTX Developer was applied directly to the skin surface of the dead bodies by fuming or by spraying. RTX was purchased from the RTX Laboratory Kenzoh Mashiko from Japan. It produced RTX fumes which could be directed toward the skin s

3. Results and discussion

3.1. Fingerprints on skin surface of living subjects

Finger marks were assessed by their visibility and the clearness of ridge detail. Marks with clear ridge detail were assessed as good. Finger marks with poor but still visible ridge detail and limited identification potential were assessed as marks with limited value. Finger marks which were visible but had no ridge detail and thus no identification potential was assessed as marks of no value. These assessments refer to all finger marks prior to or post-treatment.

Finger marks were clearly visible and identifiable in almost all cases. The results are illustrated in Table 2. Neither contact time (1 or 30 s) or skin types (alive or deceased) did not influence the quality of marks. However it was established that the quality of finger marks did depend on the pressure used while depositing the mark. Good marks with ridge detail resulted when fingerprints were deposited under pressure of 500 g/in.². Finger marks remained useful for identification for up to 15 min, and the impression itself remained visible for 30 min after initial deposition.

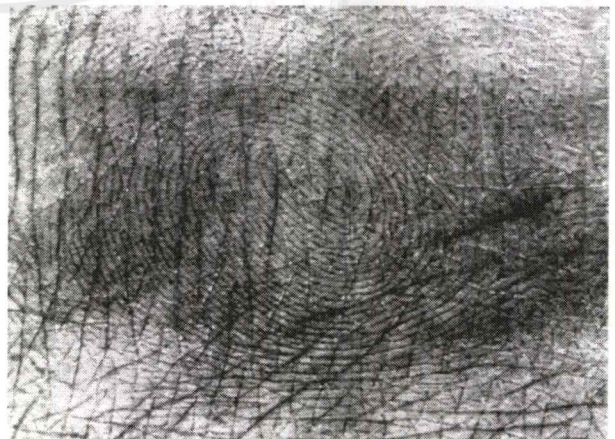


Fig. 2. Finger mark developed with Swedish Black powder.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Results of all methods used (for live and dead skin surfaces) are summarized in Table 2.

3.1.1. Swedish Black powder

Fig. 2 shows one of the fingerprints recovered from the skin of a live subject using Swedish Black powder. The mark was powdered 30 min after placing it onto the skin surface and is clearly visible, and suitable for further comparison. The powdered mark was photographed and then lifted with transparent instant lifter.

3.1.2. Magnetic powder

Black and Silver Magnetic powder were also used for the recovery of marks from live skin. Good results were obtained only with the Black Magnetic powder. In Fig. 3 a finger mark powdered with Black Magnetic powder is clearly visible. The quality of the mark is good and has the same identification potential as the one treated with Swedish Black powder.

3.2. Fingerprints on skin surface of dead bodies

Finger marks were clearly visible and partly identifiable. As before the contact time between the fingers and the skin surface had no influence on the quality of the marks produced. Untreated marks were found to be unsuitable for further identification, however the finger impressions revealed some detail and remained visible up to 30 min after deposition.

3.2.1. Magnetic and Swedish powders

A small amount of ridge detail was visible in the finger marks, but only after the application of either Black Magnetic or Swedish Black powder. The developed marks were deemed useful for further examination. They were recovered by means grey metal plate and instant lifter. Fig. 4 illustrates a finger mark treated with Swedish Black powder and transferred on to an instant lifter. The quality of the mark is good and has clear identification potential.

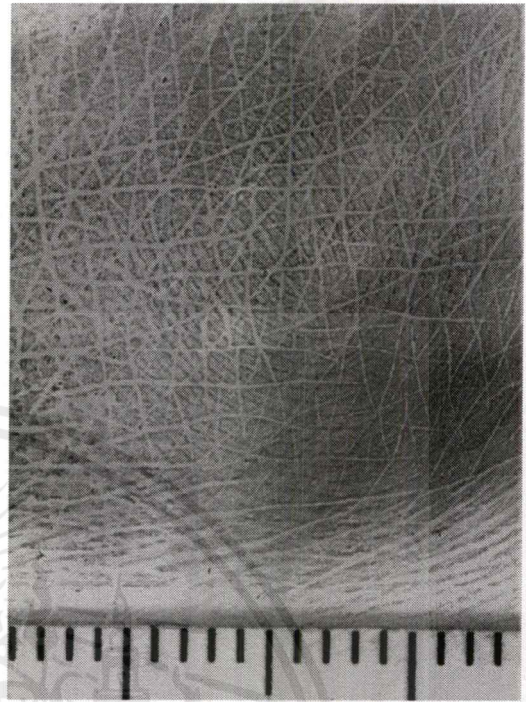


Fig. 4. Finger mark powdered with Swedish Black powder and transferred on instant lifter.

3.2.2. Cyanoacrylate fuming

After treatment by CA fuming, finger marks on the skin of deceased individuals could not be clearly visualised. CA fumes were applied from 0 to 30 min after the bodies had been removed from the cold room to the laboratory. A forensic light source was used to examine the skin surface after the CA treatment and poor quality finger marks were detected. The poor results obtained may be due to condensation forming on the skin surface of the cadavers due to the temperature difference in the cold room and the laboratory.

3.2.3. RTX

RTX was applied as a liquid reagent either by spraying or by fuming. The fuming method was found to be more time consuming in comparison to spraying where instant results were obtained. Ninety percent of initially deposited finger marks on the skin surface became visible. In most cases treated finger marks were of good quality with good ridge detail and identification potential.

4. Conclusions

The basic and least complicated method for the recovery of fingerprints from skin remains powder dusting, however there are some differences in results obtained depending on the type of powders. This study has shown that there was no difference in results obtained between live and dead skin surfaces. Best results were obtained with Swedish Black powder and Magnetic Jet Black powder on both types of skin surface. Poor results were obtained using Magnetic Silver and Silver Special powders on both surfaces. All of the lifting techniques mentioned were

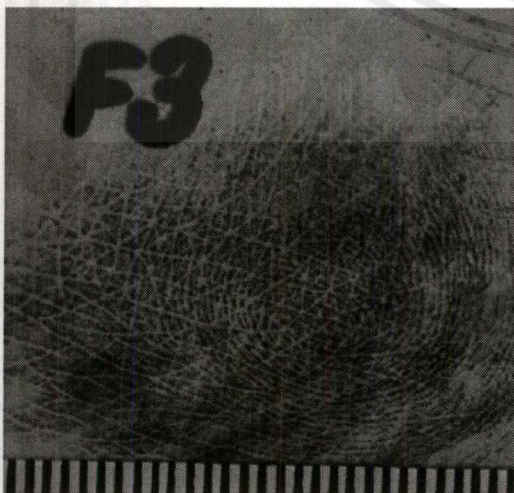


Fig. 3. Finger mark powdered with Black Magnetic powder.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิชาการงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางราชการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

suitable for transferring both treated and untreated finger marks from both skin surfaces and the best were obtained with Transparent Instant lifter.

Besides powder finger marks on dead bodies could also be treated using CA fuming and RTX methods separately. Best results were obtained with RTX. Finger marks treated with CA fuming were generally of poorer quality and it is suggested due to the formation of condensation on the surface of the cadavers.

This study shows that the most appropriate method for finger mark development on live human skin is Swedish Black powder. This method is also suitable for dead bodies but best results for this kind of surface were obtained with RTX.

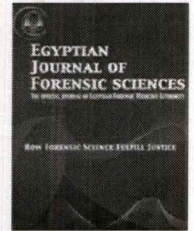
Future work will investigate the impact of the use of these powders and reagents on DNA analysis.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to the Forensic Science Laboratory in Ljubljana, and to the University of Ljubljana Medical Faculty and Institute of Forensic Medicine for enabling the Research Project and Study which this work is a part of.

References

- [1] C. Champod, C. Lennard, P. Margot, M. Stoilovic, *Fingerprints and Other Ridge Skin Impressions*, Crc Press, London, 2004.
- [2] W.C. Sampson, K.L. Sampson, M.F. Shonberger, *Recovery of Latent Fingerprint Evidence from Human Skin: Causation, Isolation and Processing Techniques*, KLS Forensics, 1997.
- [3] B.J. Delmas, *Latent Print Recovery from Skin Surfaces*, *Fingerprint World* (1987) 35–37.
- [4] W.C. Sampson, *Latent fingerprint evidence on human skin [part 1]*, *Journal of Forensic Identification* 46 (2) (1996) 188–195.
- [5] S. Fortunato, G. Walton, *Development of latent fingerprints from skin*, *Journal of Forensic Identification* 48 (1998) 704–717.
- [6] H.C. Lee, R.E. Gaensslen, *Advances in Fingerprint Technology*, Second Edition Crc Press, London, 2001.
- [7] A. Misner, D. Wilkinson, J. Watkin, *Thenoyl europium chelate: a new fluorescent dye with a narrow emission band to detect cyanoacrylate developed fingerprints on non-porous substrates and cadavers*, *Journal of Forensic Identification* 43 (2) (1993) 154–165.
- [8] K. Mashiko, T. Miyamoto, *Latent fingerprint processing by the ruthenium tetroxide method*, *Journal of Forensic Identification* 48 (3) (1998) 279–290.
- [9] J. Hebrard, A. Donche, *Fingerprint detection methods on skin: experimental study on 16 live subjects and 23 cadavers*, *Journal of Forensic Identification* 44 (6) (1994) 623–631.
- [10] G.J. Reichardt, J.C. Carr, E.G. Stone, *A conventional method for lifting latent fingerprints from human skin surfaces*, *Journal of Forensic Science* 23 (1) (1978) 135–141.
- [11] G.S. Sodhi, J. Kaur, *Powder method for detecting latent fingerprints: a review*, *Forensic Science International* 120 (2001) 172–176.
- [12] D.S. Bettencourt, *A compilation of techniques for processing deceased human skin for latent prints*, *Journal of Forensic Identification* 41 (2) (1991) 111–120.



ORIGINAL ARTICLE

A new technique for visualization of latent fingerprints on various surfaces using powder from turmeric: A rhizomatous herbaceous plant (*Curcuma longa*)

Rakesh K. Garg *, Harish Kumari, Ramanjit Kaur

Department of Forensic Science, Punjabi University, Patiala 147002, India

KEYWORDS

Forensic science;
Latent fingerprints;
Development;
Turmeric powder;
Surfaces;
Powdering method

Abstract Various methods have been reported for the development of latent fingerprints on different surfaces in the literature. This paper presents a new powdering method which is simple, non-toxic for the development of latent fingerprints that can be employed on different substrates. In this investigation a less expensive, simple and easily available, turmeric powder, a common ingredient in Indian food, has been used to decipher the latent fingerprints on nine different substrates. It is found that it gives very clear results in majority of the surfaces.

© 2011 Forensic Medicine Authority. Production and hosting by Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Fingerprints have often been and still are considered one of the valuable types of physical evidence in identification. In general, three forms of fingerprint evidence that may be found at a crime scene are visible (or patent) prints, impression (or plastic) prints and latent prints. Latent prints are not visible to the naked eye and thus require some means of development

or enhancement for their visualization. New techniques have been developed for latent fingerprint detection but the traditional fingerprint detection technique for treating latent prints is powdering method. When the fingerprint powder is sprinkled over an affected area, the powder adheres to the oil, sweat or other materials left in a fingerprint. Powdering technique has been used as a technique since the early 1900s. Over this period, many fingerprint powder formulations have been in use, with each formula consisting of a colorant for contrast and a resinous material for good adhesion.¹ Hundreds of fingerprint powder formulas have been developed over the years. In general, there are four classes of fingerprint powders-regular, luminescent, metallic and thermoplastic.²

In the past, powder dusting, ninhydrin dipping, iodine fuming and silver nitrate soaking were the most commonly used techniques for latent print development. These traditional techniques are quite effective for many surfaces. However, these traditional methods for latent print detection are not always effective and scientists have attempted to improve the existing methods for the visualization of latent prints. There are different powders which have been used by various

* Corresponding author. Fax: +91 175 2283073; mobile: +91 9417522223.

E-mail address: rkgvpbi@yahoo.co.in (R.K. Garg).

2090-536X © 2011 Forensic Medicine Authority. Production and hosting by Elsevier B.V. All rights reserved.

Peer review under responsibility of Forensic Medicine Authority.
doi:10.1016/j.ejfs.2011.04.011



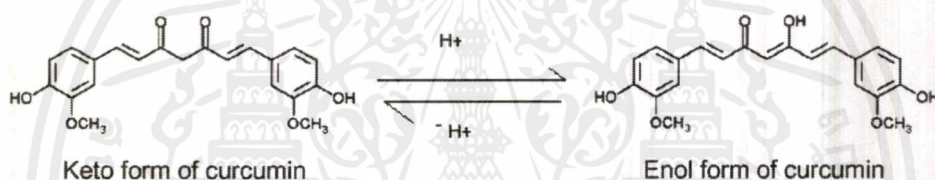
Production and hosting by Elsevier

workers^{3,4,6-23} for the development of latent fingerprints on different surfaces as shown in Table 1. Some of the chemical substances used in the fingerprint powders are toxic and pose potential health hazards. In order to overcome this disadvantage, we have attempted to use a new powder for developing latent fingerprints which is easily available, non-toxic and it has so many medicinal uses (turmeric powder).

Turmeric (*Curcuma longa*) is a rhizomatous herbaceous perennial plant of the ginger family Zingiberaceae. It has been cultivated in India from very ancient times. The rhizomes which yield turmeric are short thick with blunt tubers. The product consists essentially of coloring principles 1,7-bis-(4-hydroxy-3-methoxy-phenyl)-hepta-1,6-diene-3,5-dione (also known as curcumin) and also its desmethoxy and bis-desmethoxy-derivatives in varying proportions. It can exist in two tautomeric forms, i.e., keto and enol. Functional use of curcumin as a food additive is color.^{24,25}

2. Materials and methods

Eleven test latent fingerprints were collected on different surfaces. The test latent prints were collected with sebum mainly from face and forehead. The method used in the development of latent prints is powder dusting. It is a physical method of enhancement of latent prints and works on the mechanical adherence of the fingerprint powder particles to the oily components of the skin ridge deposits. Application of powder to the print by brushing is a simple and an easy technique but it also has disadvantages that the brush on coming in contact with the surface having the print destroys the print and hence the ridge characteristics get destroyed. In order to develop latent fingerprints with the help of turmeric powder, few grams of pure (freshly grinded from rhizomes) commercially available turmeric powder was taken in the present study and then further ground in a blender in order to get a very fine powder to the level of talcum powder but no particle size was



The authors in this communication has attempted to develop a new technique using turmeric powder, a condiment commonly used in Indian food, for the development of latent fingerprints present on different surfaces which has not been reported so far.

measured. The powder so prepared was kept in the glass tubes and sealed. These were stored at the laboratory conditions. The powders when kept in the open formed the masses probably due to the absorption of water from the atmosphere and on again grinding in the blender formed the same type

Table 1 Showing various chemicals or powders used by different workers for development of latent fingerprints.

Serial No.	Name of powders
1.	Lead powder ⁴
2.	Titanium oxide powder ⁵
3.	Sudan III ³
4.	Phloxine B dye ¹²
5.	Fluorescein dye ⁷
6.	Rhodamine B dye ^{7,19}
7.	Rhodamine 6G ⁶
10.	Eosin yellow dye ¹¹
11.	Eosin-blue dye ¹⁰
12.	Guinea green dye ¹³
13.	Aniline blue dye ¹⁴
15.	Cyano blue dye ¹⁶
16.	Azure I dye ¹⁵
17.	Azure II dye ¹⁷
18.	Congo red dye ¹⁸
19.	Basic fuchsin dye ^{9,21}

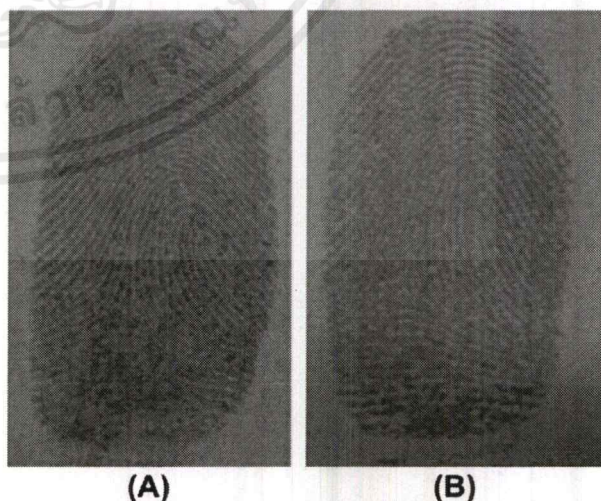


Figure 1 Comparison between visualization of latent fingerprints on simple paper with black powder (A) and turmeric powder (B).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of powder. The experiments were carried out in the months of May/June when the temperature varied from 35 to 42 °C and the relative humidity between 60% and 80%. The powder is sprinkled over a surface and then excess of powder is removed by tapping in order to get a clear print. In order to check the comparative evaluation, the turmeric powder has been applied on porous and non-porous surfaces. The types of surfaces which have been employed in this investigation are – normal paper, bond paper, thermal paper, transparency sheet, alumi-

num foil, wooden surface (sun mica-glossy), plastic sheet, painted steel and top as well as writing surface of CD.

3. Results and discussion

The results of the latent fingerprint development using turmeric powder on nine different surfaces are shown in Figs. 1–6. The latent fingerprints present on majority of the surfaces examined can be successfully developed with turmeric powder. The comparative evaluation of different surfaces with this powder reveals that it gives better results on contrast surfaces

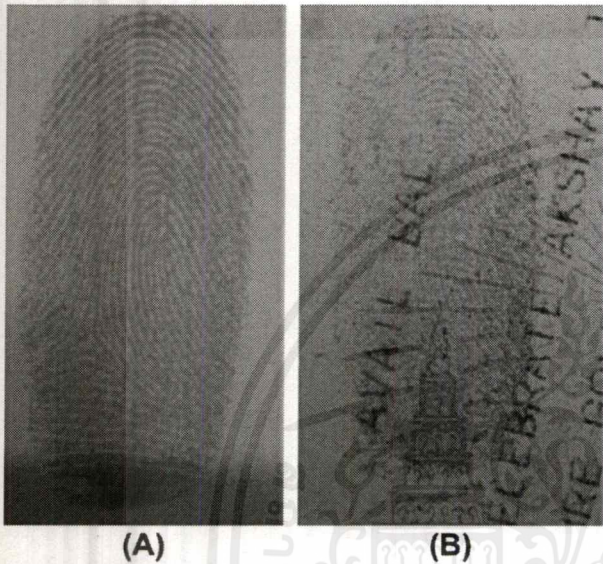


Figure 2 Comparison between visualization of latent fingerprints on bond paper (A) and thermal paper (B) using turmeric powder.

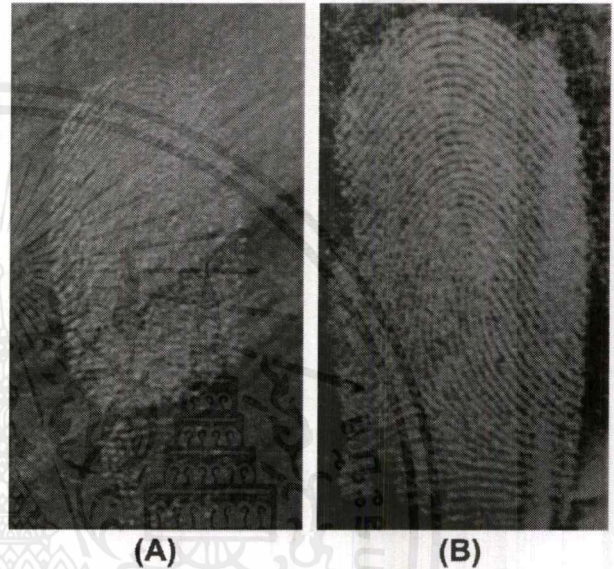


Figure 4 Comparison between visualization of latent fingerprints on wooden surface (sun mica) (A) and plastic sheet (B) using turmeric powder.

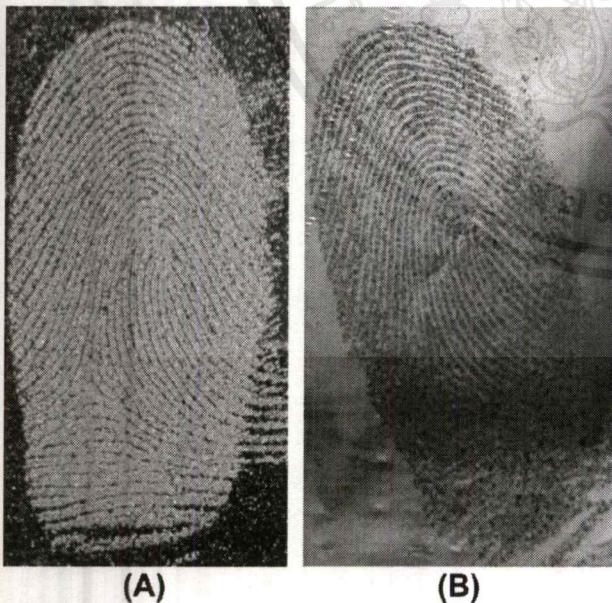


Figure 3 Comparison between visualization of latent fingerprints on transparency sheet (A) and aluminum foil (B) using turmeric powder.

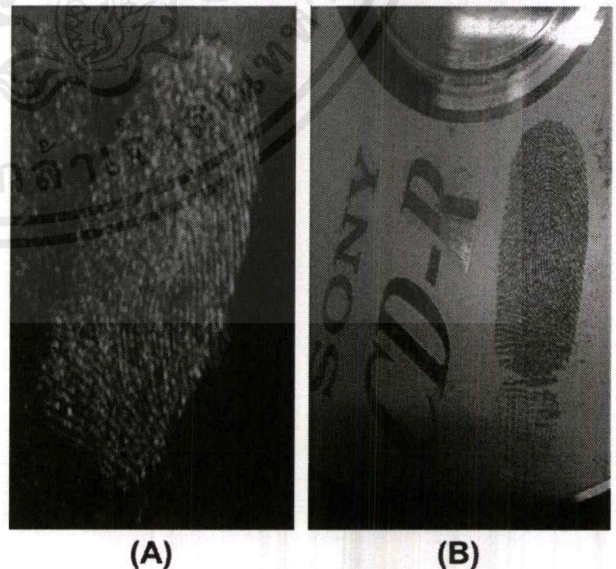


Figure 5 Comparison between visualization of latent fingerprints on painted steel (A) and on top surface of CD (B) using turmeric powder.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

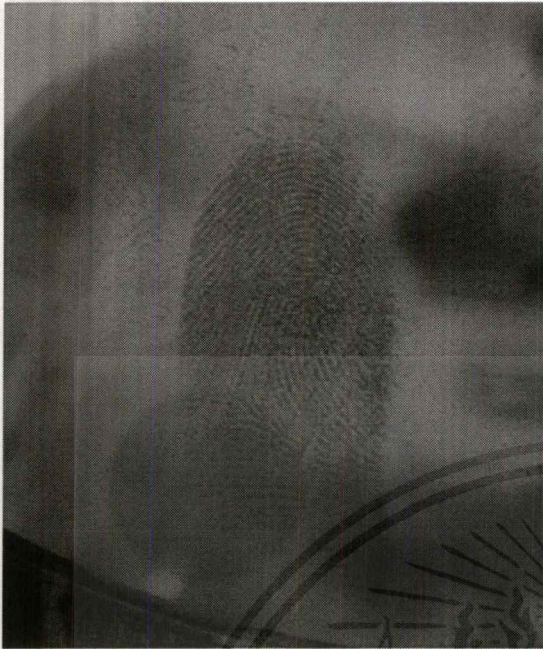


Figure 6 Development of latent fingerprints on writing surface of CD using turmeric powder.

than the others examined. The development of latent fingerprints present on surfaces like, simple paper, bond paper, thermal paper, aluminum foil, transparency sheet, wood (sun mica-glossy), plastic sheet, painted steel, top and writing surface of the CD could be successfully done and gives clear ridges as is evident from the figures. The reason for the adherence of turmeric powder to the latent fingermarks can be assigned by the formation of hydrogen bonds between the fatty acids/glycerides of sebum and the carbonyl and hydroxyl group of the curcumin component of the turmeric powder. The latent prints can be developed with turmeric powder on the top as well as writing surface of compact disc and can be used for the personal identification in theft cases. It was further interesting to note that the latent prints after development with turmeric powder on writing surface of the compact disc did not destroy the data contained therein and can be further used. It is suggested that the turmeric powder can be used to visualize the fingerprints particularly on the surfaces having contrast. Prints present on skin could not be developed clearly in comparison to others may be due to lack of contrast. These results suggest that turmeric powder can be successfully employed as a powder on majority of the surfaces except skin.

Further studies on the development of finger prints under various conditions of humidity and temperature, season variation and comparative evaluation with other chemical agents need to be made. Present study is just the preliminary investigation and can be explored further. Authors have made similar attempt on the other agents, colors used during the Holi festival and the commonly used food colors, for the development of the latent fingerprints and have achieved quite interesting results.

4. Conclusion

It is concluded that turmeric powder which is easily available, non-toxic and simple can be used successfully on various

surfaces to develop the prints in crime investigations. Further work on the decipherment of aged latent fingerprints is in progress.

Acknowledgments

The authors are highly thankful to each and every individual who contributed samples for the present studies. Authors gratefully acknowledge the assistance rendered by Professor Baldev Singh, Head, Department of Chemistry, Punjabi University, Patiala.

References

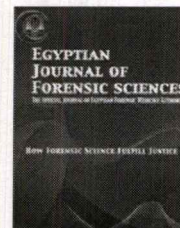
1. Champod C, Lennard C, Margot P, Stoilovic M. Fingerprints and other ridge skin impressions. Washington, DC: CRC Press; 2004.
2. Lee HC, Gaensslen RE. Advances in fingerprint technology. 2nd ed. Washington, DC: CRC Press; 2001.
3. Bridges BC. Practical fingerprinting. New York: Funk and Wagnalls Company Inc.; 1963.
4. Graham D. Some technical aspects of demonstration and visualization of fingerprints on human skin. *J Forensic Sci* 1969;**14**(1): 1–12.
5. Goode GC, Morris JR. Latent fingerprints: A review of their origin, composition and methods of detection. Aldermaston: AWRE Report No. O 22/83. 1983.
6. Almog J, Gabay A. Chemical reagents for the development of latent fingerprints. III. Visualization of latent fingerprints by fluorescent reagents in vapor phase. *J Forensic Sci* 1980;**25**(2): 408–10.
7. Kerr FM, Haque F, Barson IW. Organic based powders for latent fingerprint detection on smooth surfaces. Part I. *Can Soc Forensic Sci Int* 1983;**16**:39–44.
8. Kerr FM, Haque F, Westland AD. Organic based powders for latent fingerprint detection on smooth surfaces. Part II. *Can Soc Forensic Sci Int* 1983;**16**:140–2.
9. Howard S. Basic fuchsin – a guide to one step processing for black electrical tape. *J Forensic Sci* 1993;**38**(6):1391–403.
10. Sodhi GS, Gupta GP, Kaur J. A novel, cost effective organic fingerprint powder based on fluorescent eosin blue dye. *Res Pract Forensic Med* 1997;**40**:121–3.
11. Sodhi GS, Kaur J. A novel, cost effective organic fingerprint powder based on fluorescent eosin yellow dye. *Indian J Criminol* 1999;**27**(3–4):73–4.
12. Sodhi GS, Kaur J. Novel, cost effective organic fingerprint powder based on phloxine B dye. *Def Sci J* 2000;**50**(2):213–5.
13. Sodhi GS, Kaur J. A fingerprint powder formulation based on guinea green dye. *Res Pract Forensic Med* 2001;**44**:267–8.
14. Sodhi GS, Kaur J. A fingerprint powder formulation based on aniline blue dye. *Indian Police J* 2002;**49**(3):44–5.
15. Sodhi GS, Kaur J, Garg RK. A fingerprint powder formulation based on Azure I dye. *Indian J Criminol* 2003;**31**(1–2):4–5.
16. Sodhi GS, Kaur J. A fingerprint powder formulation involving cyno blue dye. *Fingerprint Whorld* 2004;**30**(118):163.
17. Sodhi GS, Kaur J. Fingerprint powder formulation based on Azure II dye. *Defence Science Journal* 2004;**54**(2):179–82.
18. Sodhi GS, Kaur J, Garg RK. A fingerprint powder formulation based on Congo red dye. *Int J Med Toxicol Legal Med* 2003;**5**(1): 27–8.
19. Sodhi GS, Kaur J, Garg RK. A fingerprint powder formulation based on Rhodamine B. *J Forensic Ident* 2003;**53**(5):551–5.
20. Sodhi GS, Kaur J, Garg RK. Fingerprint powder formulation based on organic, fluorescent dyes. *J Forensic Ident* 2004;**54**(1): 4–8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. Sodhi GS, Kaur J, Garg RK. Fingerprint powder formulation based on basic fuchsin dye. *J Forensic Med Toxicol* 2004;**21**(1):8-9.
22. Garg RK. Latent fingerprints in forensic science. In: Veeraraghavan V, editor. *Handbook of forensic science*. New Delhi: Selective and Scientific Books Publishers; 2004. p. 77-85.
23. Saroa JS, Sodhi GS, Garg RK. Evaluation fingerprint powders. *J Forensic Ident* 2006;**56**(2):186-97.
24. Stankovic I. Curcumin: chemical and technical assessment. *61st JECFA*, ©FAO; 2004. <ftp://ftp.fao.org/esn/jecfa/cta/CTA_61_Curcumin.pdf>.
25. Pandey BP. Spices and condiments. *Economic botany*. 6th ed. New Delhi: S. Chand and Company Limited; 2003, p. 289-90.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ORIGINAL ARTICLE

New visualizing agents for latent fingerprints: Synthetic food and festival colors

Harish Kumari, Ramanjit Kaur, Rakesh K. Garg *

Department of Forensic Science, Punjabi University, Patiala, India

Available online 18 November 2011

KEYWORDS

Fingerprints;
Development;
Food colors;
Gulal;
Surfaces

Abstract Chance prints or latent prints may be found on any type of surface and need to be developed by various methods. Various methods have been reported for the development of latent fingerprints on different surfaces. This paper presents new powdering methods (synthetic food and festival color – gulal) for the development of latent fingerprints on different substrates as preliminary studies. It has been observed that the application of colors to latent finger prints gives clear results particularly on aluminum matrices.

© 2011 Forensic Medicine Authority. Production and hosting by Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Fingerprinting is one form of biometrics, a science that uses people's physical characteristics to identify them. Various new methods have been introduced so far in this field but traditional technique for developing latent fingerprints is powdering method^{1–12}. Various powder formulations have been in use, with each formula consisting of a colorant for contrast and a

resinous material for adhesion. Modern fingerprint powders have variety of compositions, and are often a matter of personal choice by the expert using them or down to the standard procedure of the department or agency. Many agencies use proprietary powders produced by independent companies, and so the exact formulation of these powders is not revealed.

In the present study, a preliminary attempt has been made to develop latent fingerprints with commonly used food colors in homes and colors employed during Indian festival holi called as gulal. This type of work has not been reported in the literature earlier and can provide useful information to the investigators.

2. Material and methods

Twenty test latent fingerprints were collected from twenty individuals. The test latent prints were collected with pure sweat as well as sebum from the subjects on different substrates. For collecting samples of pure sweat each subject was asked to thoroughly clean his/her hands with soap and water. The hands were then allowed to dry and then palms were closed for sweating. After that the subject was

* Corresponding author. Address: Department of Forensic Science, Punjabi University, Patiala 147002, India. Fax: +91 175 2283073, mobile: 0941 7522223.

E-mail address: rkgvpbi1@yahoo.co.in (R.K. Garg).



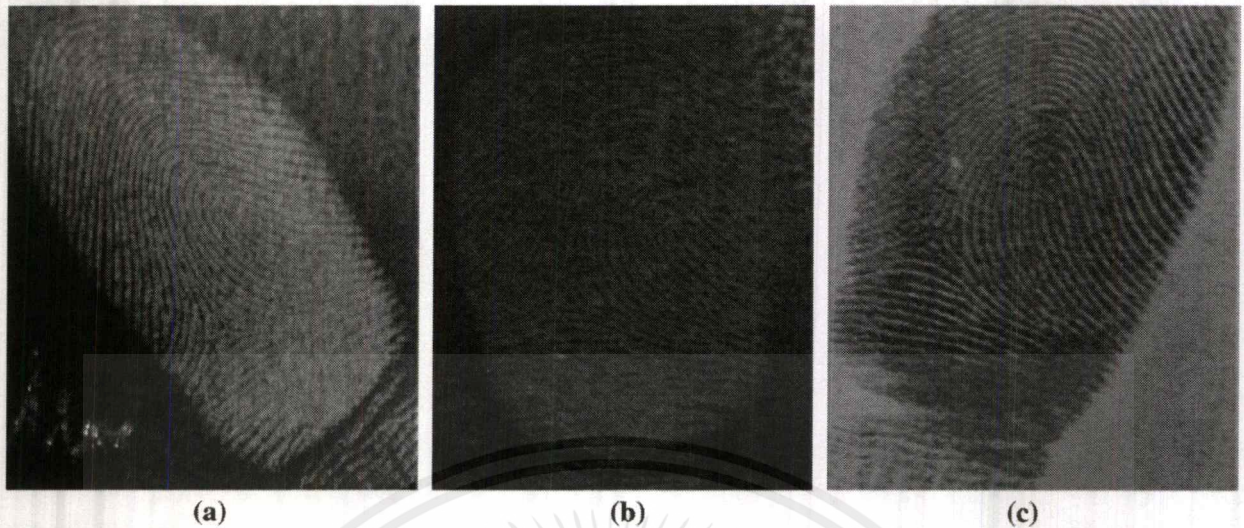


Figure 1 Showing development of latent fingerprints (sebum) with synthetic food colors on simple paper using lemon yellow (a), orange red (b) and green (c).

asked to give latent fingerprints on different substrates. While taking samples of pure sweat care was taken not to touch anything between the period of cleaning hands and applying the prints on substrates. The latent prints of sebum samples were also taken as most of the time sweat is found contaminated with sebum. For collecting the sebum prints no special care was taken, subject was asked to touch his forehead or face for getting the sebum on his/her fingertips. These in turn were applied to substrates in the provided space. In this way all the pure sweat and sebum samples were collected from all twenty subjects. All the different fingers were used in taking the prints.

The method used here in the development of latent prints is powder dusting without using the brush as preliminary studies. Application of powder to the print by brushing is a simple and an easy technique but it also has disadvantage like the brush on coming in contact with the surface having the print destroys the print and hence the ridge characteristics.

In order to develop latent fingerprints with synthetic food colors, few grams (10–50) of food color powders were taken, having some dye content.

Three colors were applied for the visualization of latent fingerprints in this investigation as follows:-

1. Orange red having dye content 30.2% and main ingredients are: Sodium chloride, Sunset Yellow FCF (15985), Carmoisine (14720) (manufactured & packed by: Ajanta Food Products Company, Himachal Pradesh, Batch No. 434, Mfd. on-01/2010).
2. Lemon yellow having dye content 22.2% and ingredients are: Sodium chloride, Tartrazine (19140) (manufactured & packed by: Ajanta Industries, Haryana, Batch No. 286, Mfd. on-11/2008).
3. Bright green having dye content 17.2% and ingredients are: Sodium chloride, Tartrazine (19140), Brilliant Blue FCF (42090) (manufactured & packed by: Ajanta Industries, Haryana, Batch No. 432, Mfd. on-05/2009).

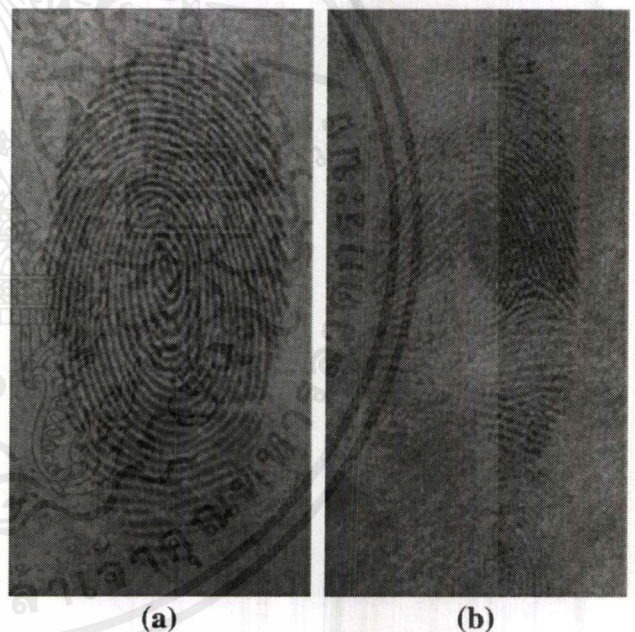


Figure 2 Showing development of latent fingerprints of sebum (a) and sweat (b) on simple paper using black powder.

The powder (as available in the market) is sprinkled over a surface and then excess of powder is removed by tapping in order to get a clear print. The types of surfaces used were:

- Normal paper
- Aluminum foil
- Top surface of CD
- Aluminum sheet

In order to develop latent fingerprints with colors used during holi festival held immediately after the winter season in the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

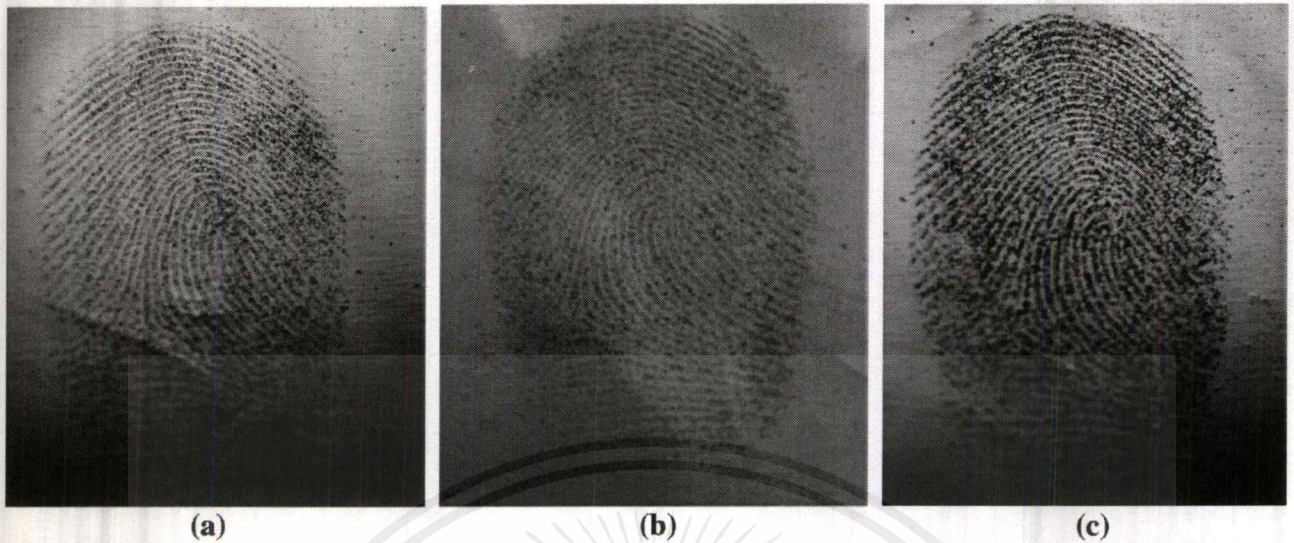


Figure 3 Showing development of latent fingerprints (sebum) with synthetic food colors on aluminum foil using lemon yellow (a), orange red color (b) and green color (c).

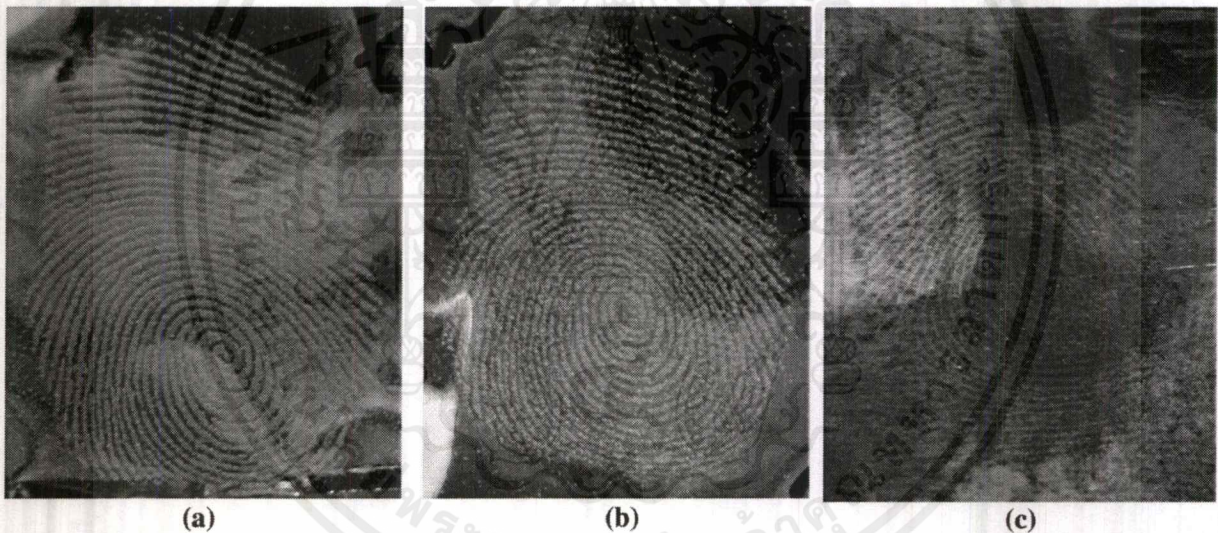


Figure 4 Showing development of latent fingerprints (sweat) with synthetic food colors on aluminum foil using orange red color(a), yellow color (b) and green color (c).

month of March every year, also known as “gula”, few grams (10–50) of colors were taken which are available in the local market. The three colors were used in the study:- red, green and pink.

The color was sprinkled over the substrate carrying the latent fingerprints and excess of powder was removed by tapping in order to get a clear fingerprint. Same types of the surfaces were used as mentioned above for the development: normal paper, top surface of CD, aluminum foil, aluminum sheet.

Few conventional powders were also used in the study in order to give the comparative evaluation of the newly used powders in the present investigation. These powders include black powder and fluorescent powder. They were applied in the same manner as used in case of new powders (food and holi colors) i.e. by powder dusting method.

3. Results

The results obtained from the present investigations using different colors (used in eatables and during the holi festival – gula) on various surfaces (normal paper, aluminum foil, top surface of CD and aluminum sheet) are shown in Figs. 1–14. The results as shown in figures are obtained when powder dusting method has been applied on different surfaces using conventional as well as new powders. The similar types of results are also obtained when brushing method is used for development of latent prints on different surfaces. The figures show the comparative evaluation of latent fingerprints development with various colors on different surfaces. It has

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

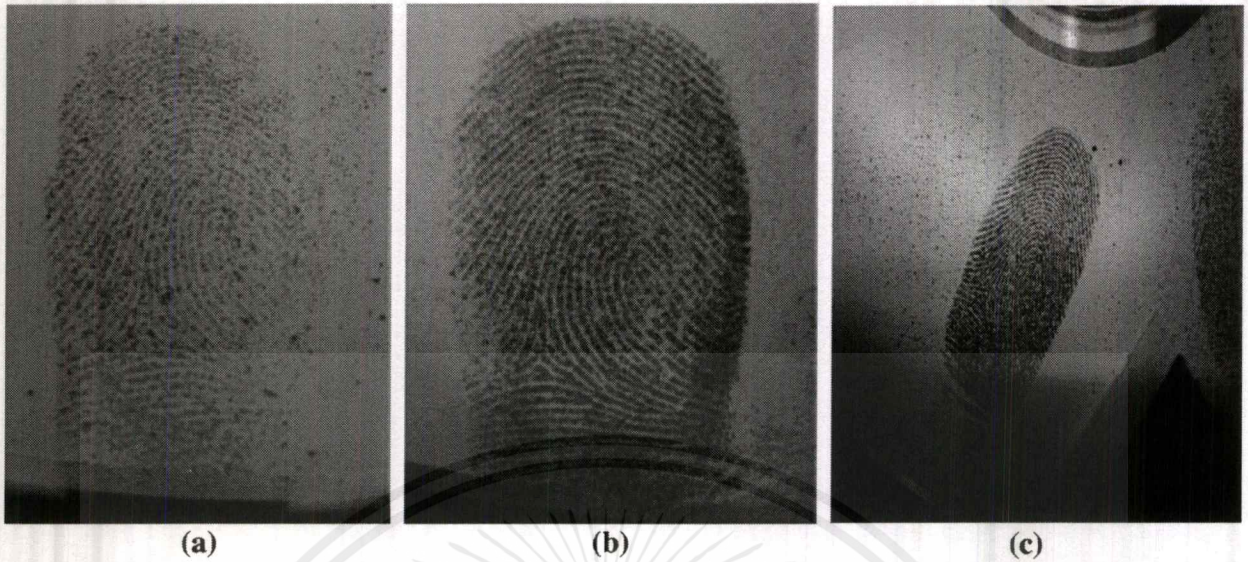


Figure 5 Showing development of latent fingerprints (sebum) with synthetic food colors on top surface of CD using lemon yellow color (a), red color (b) and green color (c).

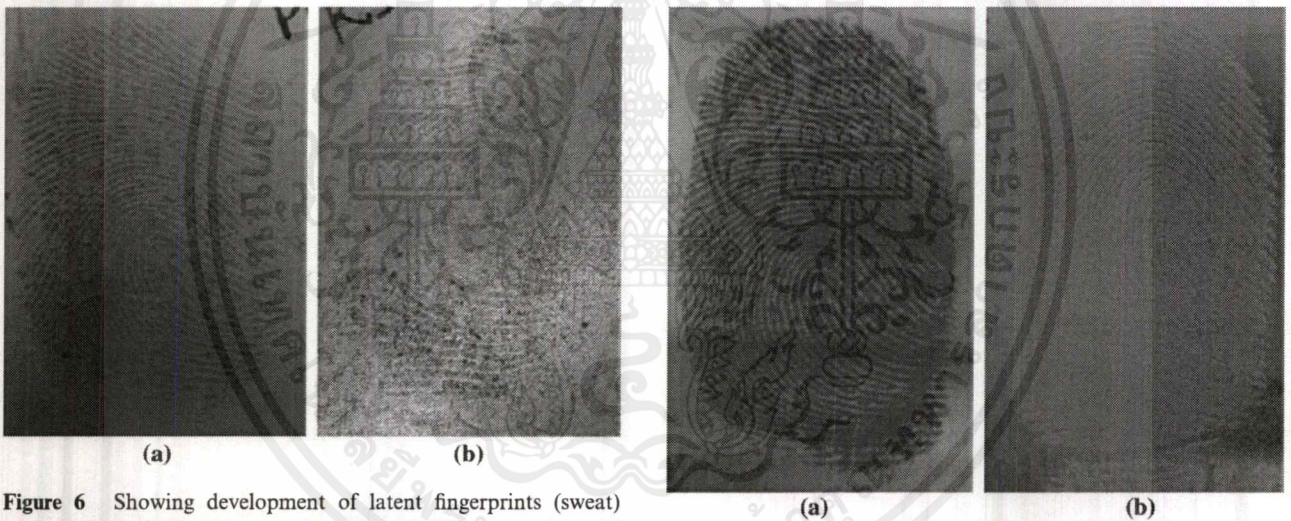


Figure 6 Showing development of latent fingerprints (sweat) with synthetic food colors on top surface of CD using orange red color (a) and green color (b).

Figure 7 Showing development of latent fingerprints (sebum) with synthetic food colors on aluminum sheet using orange red color (a) and fluorescent powder (b).

been observed that latent prints of pure sweat were not developed on normal paper using food colors while the same get developed using conventional black powder as shown in Fig. 2. In case of aluminum foil surface and developed by using food colors sweat prints showed comparatively better results as is evident from Figs. 3 and 4. The sebum prints present on CD surface showed better results than that of sweat prints as revealed by Figs. 5 and 6. It has been noticed that in few of the samples the prints deposited by sweat as well as sebum showed equally good results as is evident from Figs. 7 and 8. This may be due to the variation in sweat and sebum content deposited by different individuals. Similar type of results (i.e. in few cases) have been observed by using holi colors used

for the development of prints on aluminum foil surface as (Figs. 11 and 12) while on paper surface sebum prints gave more clear results as compared to sweat (Figs. 9 and 10). Latent fingerprints of sebum deposited on the top surface of CD and developed with holi colors showed better results as compared to that of sweat prints and these found to be better than that as produced by using conventional black and fluorescent powder on the same surface. These results indicate that the decipherment of latent fingerprints depends upon the powder used, surface and the contents of fingerprint deposited.

These results further indicate that latent fingerprints formed from sebum can be developed more easily and clearly on these surfaces (normal paper, aluminum foil, top surface of CD and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

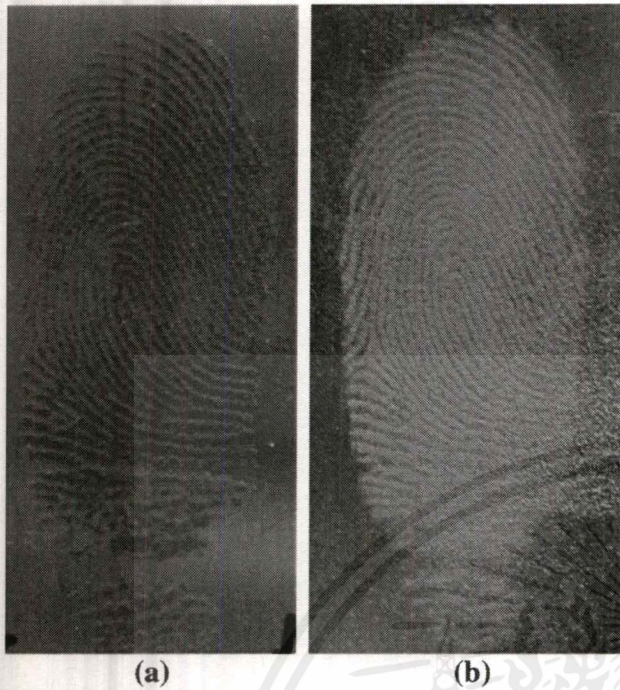


Figure 8 Showing development of latent fingerprints (sweat) with synthetic food colors on aluminum sheet using orange red color (a) and fluorescent powder (b).

aluminum sheet) with the help of food colors used in the study i.e. lemon yellow, orange red and green. The ridges are clearly visible with all the three colors. It shows that the food colors common ingredients used in the preparation of eatables in India can be used on these surfaces too. Although gulal used as holi color in India is less expensive but still it can be used successfully for visualizing the latent fingerprints. From these observations it is derived that the colors used in the preparations of various eatables and the one used during the festival can be successfully used for the decipherment of the latent

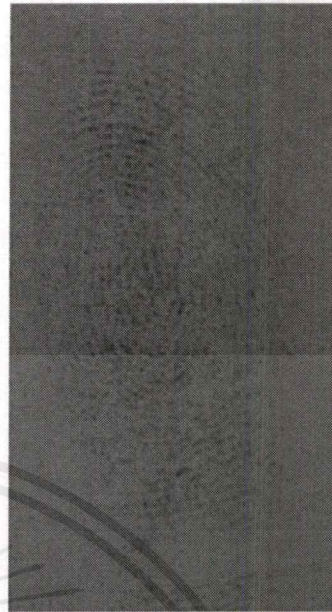


Figure 10 Showing development of latent fingerprint (sweat) on simple paper with colors used in Indian festival (holi) using red c%

fingerprints on different surfaces. The results obtained from the application of the food and holi colors can give clear visualization of the ridges and can be a good substitute.

4. Discussion

The present study shows that the decipherment of prints depends upon the type of prints deposited (sebum and sweat), surfaces on which the prints are present as well as the agents used for the development of prints. In all the developed prints on different substrates ridges are quite distinct. These preliminary

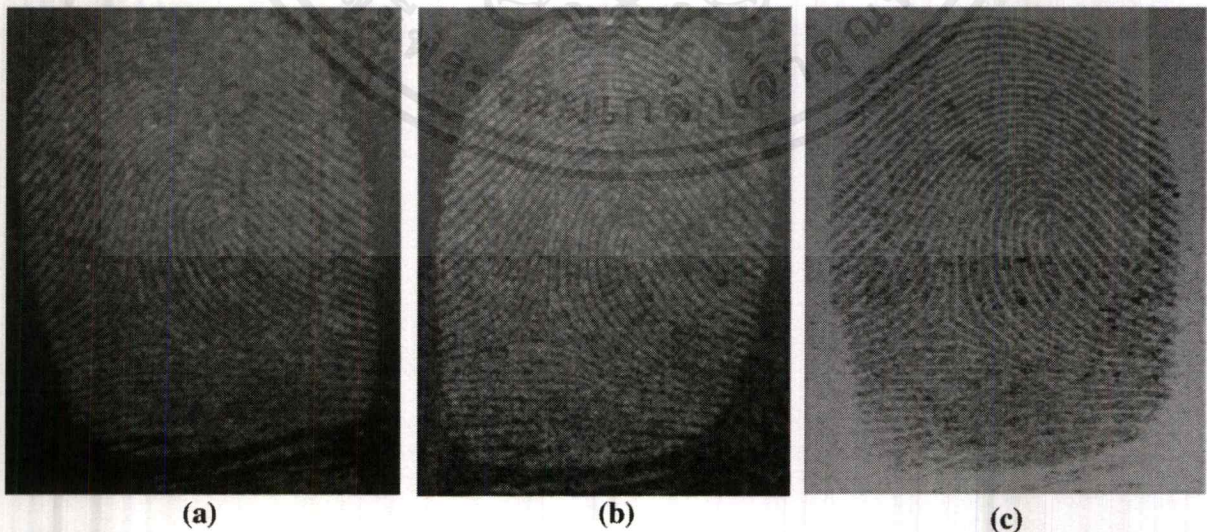


Figure 9 Showing development of latent fingerprints (sebum) with colors used in Indian festival (holi) on simple paper using red color (a), green color (b) and pink color (c).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

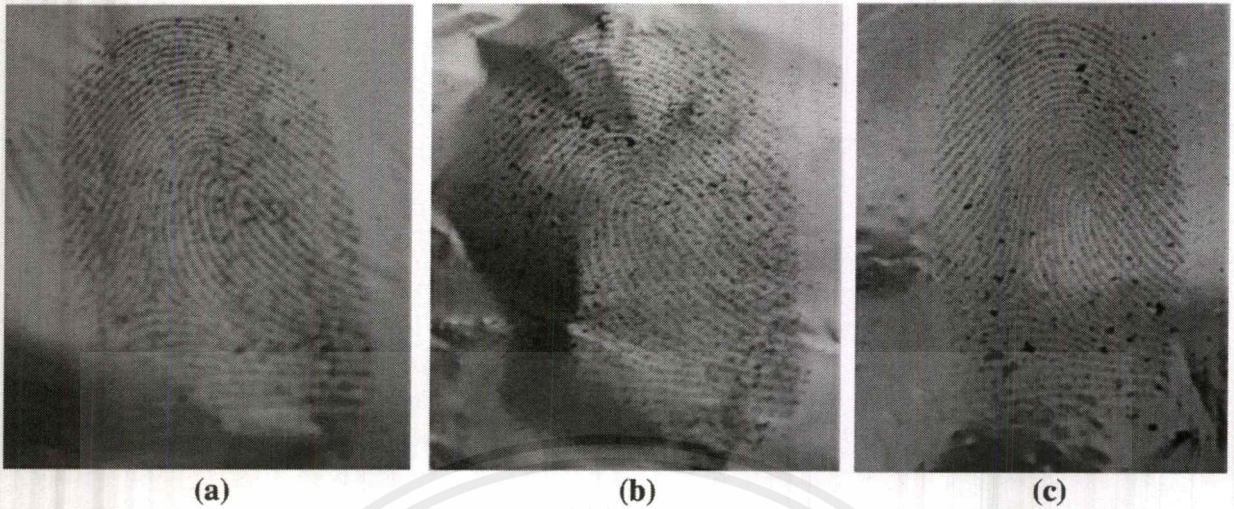


Figure 11 Showing development of latent fingerprints (sebum) on aluminum foil with colors used in Indian festival (holi) using red color (a) green color, (b) and pink color (c).

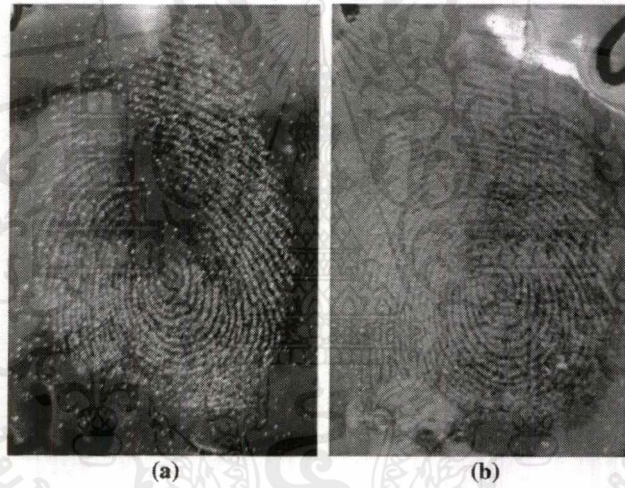


Figure 12 Showing development of latent fingerprints (sweat) on aluminum foil with colors used in Indian festival (holi) using red color (a) and pink color (b).

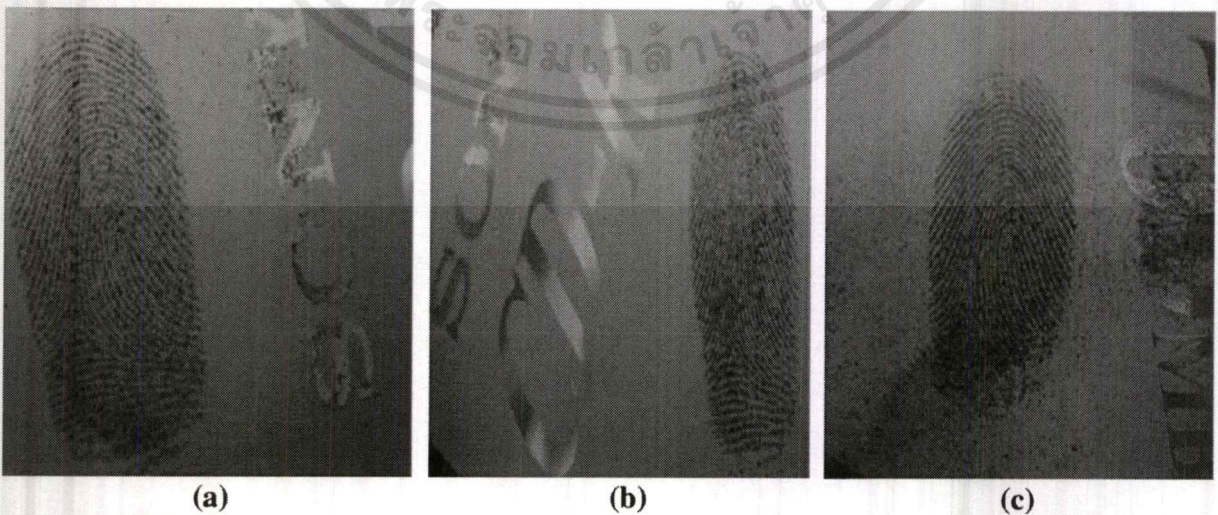


Figure 13 Showing development of latent fingerprints (sebum) on top surface of CD with colors used in Indian festival (holi) green color (a) red color, (b) and pink color (c).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

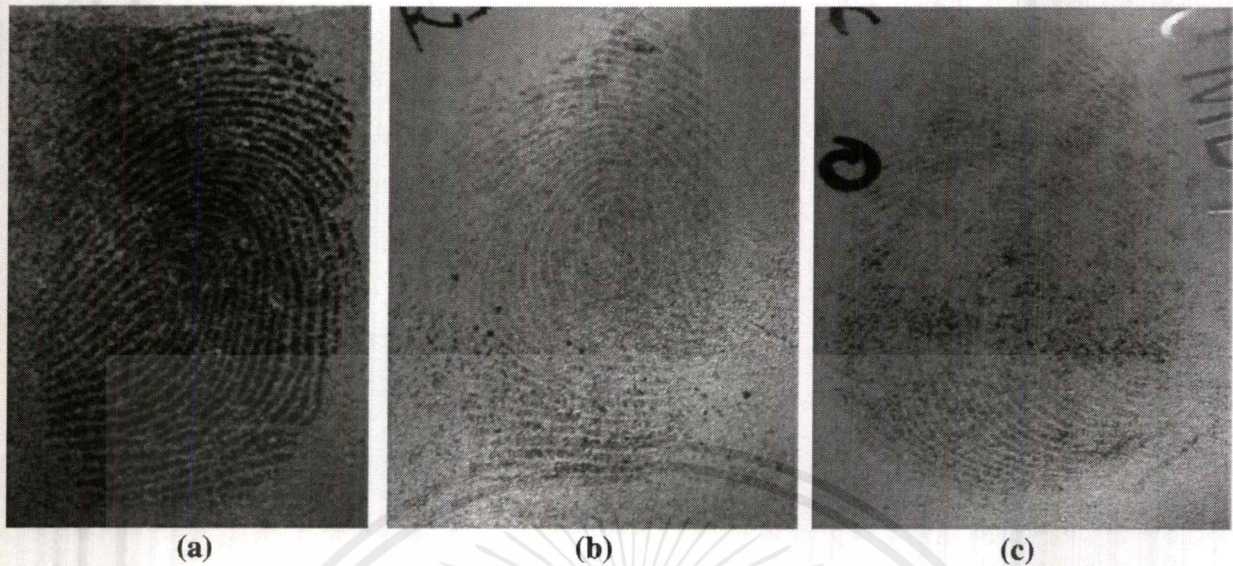


Figure 14 (a) Showing development of latent fingerprints (sweat) on top surface of CD with black powder (a), fluorescent powder (b), gulal (c).

observations indicate that the common agents (food colors and holi colors) can also be used for the visualization of latent fingerprints present on different substrates (aluminum foil, aluminum sheet, writing paper and CD surfaces particularly). Similarly Garg et al. [12] reported that the latent fingerprints can be developed on nine different surfaces using turmeric powder, obtained from rhizomatous herb. The results obtained in the present study also reveals that the development of fingerprints depends upon the powder used, type of surface on which the finger prints are present as well as on latent prints deposited (sweat or sebum). It is a physical method of enhancement of latent prints and works on the mechanical adherence of the fingerprint powder particles to the oily components of the skin ridge deposits.

Latent fingerprint development on writing surface of CD i.e. glossy and smooth texture has not been examined. Further study with respect to stability and development of prints needs to be explored. It is expected that these findings will provide useful information and these agents that are less expensive and easily available can serve as a useful substituent. Further study on this is in progress.

5. Conclusion

It is concluded from the present study that these commonly and easily available as well as less expensive agents (colors-food and festival colors) could be a useful substitute for the decipherment of latent prints deposited on different surfaces.

kp3

The authors are highly thankful to each and every individual who contributed their samples for the present studies. The author (Ramanjit Kaur) gratefully acknowledges the Punjabi University, Patiala for providing the fellowship to carry out

the research work in the Department of Forensic Science, Punjabi University, Patiala.

References

1. Champod C, Lennard C, Margot P, Stoilovic M. *Fingerprints and other Ridge Skin Impressions*. Washington DC: CRC Press; 2004.
2. Garg RK. Latent Fingerprints in Forensic Science. In: Vimla, editor. *Handbook of Forensic Science*. New Delhi: Selective and scientific Books Publishers; 2004.
3. Kerr FM, Haque F, Barson IW. Organic based powders for latent fingerprint detection on smooth surfaces (Part I). *Canadian Society of Forensic Science Journal* 1983;**16**(1):39–44.
4. Kerr FM, Haque F, Westland AD. Organic based powders for latent fingerprint detection on smooth surfaces, Part II. *Canadian Society of Forensic Science International* 1983;**16**:140–2.
5. Lee HC, Gaensslen RE. *Advances in Fingerprint Technology*. second ed. Washington D.C: CRC Press; 2001.
6. Pounds CA. Development in Fingerprint Visualization. In: Maehly A, Williams RL, editors. *Forensic Science Progress*, vol. 3. Berlin: Berlin Springer-Verlag; 1988. p. 91–119.
7. Saroa JS, Sodhi GS, Garg RK. Evaluation fingerprint Powders. *Journal of Forensic Identification* 2006;**56**(2):186–97.
8. Sodhi GS, Kaur J, novel A. cost effective organic fingerprint powder based on fluorescent eosin yellow dye. *Indian Journal of criminology* 1999;**27**(3-4):73–4.
9. Sodhi GS, Kaur J, Garg RK. A fingerprint powder formulation based on Azure I dye. *Indian Journal of Criminology* 2003;**31**(1-2): 4–5.
10. Sodhi GS, Kaur J, Garg RK. A fingerprint powder formulation based on Congo red dye. *International Journal of Medical Toxicology and Legal Medicine* 2003;**5**(1):27–8.
11. Sodhi GS, Kaur J, Garg RK. A fingerprint powder formulation based on Rhodamine B. *Journal of Forensic Identification* 2003;**53**(5):551–5.
12. Garg RK, Kumari H, Kaur R. A new technique for visualization of latent fingerprints on various surfaces using powder from turmeric: a rhizomatous herbaceous plant (*Curcuma longa*). *Egyptian Journal of Forensic Sciences* 2011;**1**:53–7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Article

Latent Fingerprint Enhancement Using Tripolyphosphate-Chitosan Microparticles

Issa M. A. Il Dueik and Gordon A. Morris

Department of Chemical and Biological Sciences, School of Applied Sciences, University of Huddersfield, Queensgate, Huddersfield, West Yorkshire HD1 3DH, UK

Correspondence should be addressed to Gordon A. Morris; g.morris@hud.ac.uk

Received 14 November 2012; Accepted 27 January 2013

Academic Editor: Thomas J. Heinze

Copyright © 2013 I. M. A. Il Dueik and G. A. Morris. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Chitosan has been widely used in the preparation of microparticles for drug delivery; however, it has not been considered in forensic applications. Tripolyphosphate- (TPP-) chitosan microparticles were formed using ionotropic gelation in the presence of a coloured dye and deposited onto latent fingerprints enabling fingerprint identification.

1. Introduction

Chitosan is the generic name for a family of strongly polycationic derivatives of poly-N-acetyl-D-glucosamine (chitin) extracted from the shells of crustaceans or from the mycelia of fungi [1]. In chitosan the N-acetyl group is replaced either fully or partially by NH_2 , and therefore the degree of acetylation can vary from $\text{DA} = 0$ (fully deacetylated) to $\text{DA} = 1$ (fully acetylated, i.e., chitin). The long carbon chains of chitosan molecules render them lipophilic. Furthermore, chitosan is the second most abundant polymer on earth (after cellulose) and it is the only known naturally occurring polycationic polysaccharide; therefore, chitosan and its derivatives, including microparticles, have received a great deal of attention from the food, cosmetic, and pharmaceutical industries [2–4]. Microparticles can be prepared by the electrostatic interaction and the resultant ionotropic gelation between chitosan and the tripolyphosphate (TPP) (Figure 1) polyanion [2–4]. Size can be controlled by varying the chitosan : TPP ratio, pH, and the molar mass of the chitosan.

Fingerprint detection is probably the oldest and most common method of identification used in forensic science. Fingerprints, therefore, present a perfect method for personal recognition; they are traces of an impression from the friction ridges on a person's fingertips. Fingerprinting is used in the tracking and identification of criminals, and because

they are unique (identical twins have different fingerprints), fingerprints can provide a clear and positive proof of identity.

Recently, there has been great interest in the use of nanotechnology in the design of novel fingerprint detection systems. This is due to the fact that microparticles can provide improved latent fingerprint detection by using dye-functionalized microparticles (the dye or fluorophore may also be encapsulated within the microparticle) which can therefore provide an opportunity for improved visualisation.

In this study, TPP-chitosan microparticles (loaded with red dye for visualisation purposes) have been used to attach to the lipid residues present in the latent fingerprint. In traditional fingerprinting techniques (e.g., ninhydrin), reagents react with salt, lipids, proteins, or amino acids present in the fingerprint residue. Although other polysaccharide-based systems may be more suitable (e.g., lipophilic polysaccharide esters [6]), the potential of chitosan for latent fingerprint development has been demonstrated previously [7, 8].

2. Materials and Methods

2.1. Materials. All chemicals were purchased from Sigma-Aldrich (Gillingham, UK) and used without further purification.

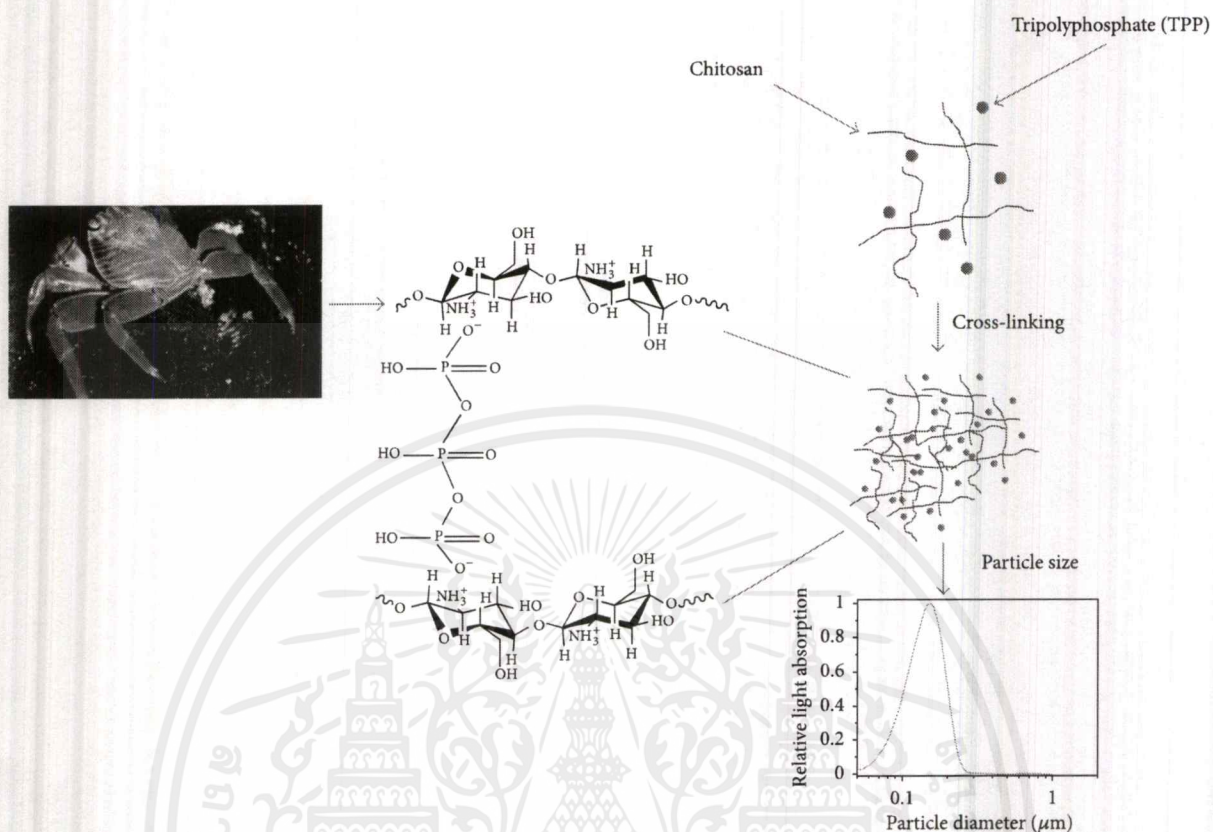


FIGURE 1: Formation of the tripolyphosphate-chitosan complex by ionotropic gelation [4, 5].

2.2. Sample Preparation. Chitosan (2.0 mg/mL) and tripolyphosphate pentasodium (0.84 mg/mL) were prepared in acetate buffer (0.2 M pH 4.3) as described in [2] and [4]. The resultant solutions were then mixed to give TPP:chitosan ratios of 1:6, 1:4, 1:2, 1:1, 2:1, 4:1, and 6:1, respectively, and the particle size distributions of the resultant microparticles were measured directly using a Malvern Mastersizer 2000 (Malvern Instruments Ltd., Malvern, UK) and under an optical microscope Leica DM 500 (Leica Microsystems, Milton Keynes, UK).

2.3. Fingerprint Enhancement. Latent fingerprint enhancement was investigated using the following protocol: the 7 different nanoparticle dispersions were centrifuged (Eppendorf UK, Stevenage, UK) at 4000 rpm for 90 minutes. After centrifugation, the supernatant was removed and the remaining of solid deposit was freeze-dried for 24 hours (Edwards High Vacuum International, Crawley, UK) after which the solid material was grounded with a pestle and mortar to produce powder suitable for fingerprinting. Fingerprints were then left on a glass slide as before and dusted with the TPP-chitosan powder.

3. Results and Discussion

When freshly prepared, the diameters of the TPP-chitosan particles were in the range 1–1000 μm (Figure 2) which is

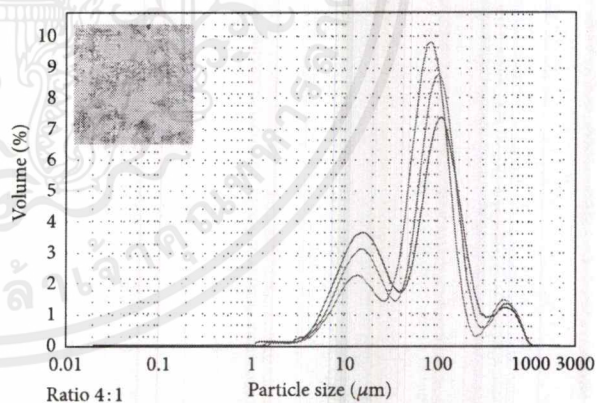


FIGURE 2: Particle size distribution (in triplicate) for TPP-chitosan in the ratio of 4:1. Inset a micrograph for the same sample.

considerably larger than has been demonstrated in previous studies [4, 9–15] and may be explained in part by the molar mass and solubility of the chitosan. In so much as higher molecular weight chitosans produce larger particles [4, 15–18].

It would appear that during sample preparation, the TPP-chitosan microparticles have aggregated. At this stage we have no apparent explanation; although we do not expect particle size to have a significant influence with respect to fingerprint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

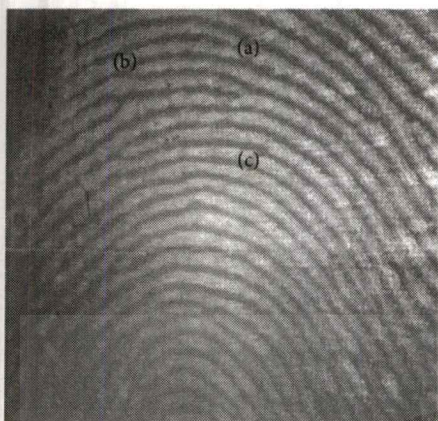


FIGURE 3: Latent fingerprint treated with TPP-chitosan (4:1). Some common features used for identification have been indicated: (a) ridge ending, (b) bifurcation, and (c) crossover.

enhancement. However, in any future applications the use of a stabiliser may be beneficial.

In the enhancement of latent fingerprints, it is only the sample with a TPP:chitosan ratio of 4:1 which gave satisfactory results (Figure 3). This is expected to be due to the effective charge on the particles [10], that is, as we increase the ratio of TPP, the particles will tend to lose their positive charge and it is expected that particles with little or no charge will interact to a greater extent with the lipids in fingerprint residues.

In Figure 3, the fingerprint details such as bifurcations and crossovers are clearly visible. As an alternative approach, fingerprints were left on a glass slides (nonporous surface) then immersed in the 7 different microparticle dispersions for 1 hour. The slides were then placed in drying oven for 45 minutes at temperature 80°C. However, this approach has not yet yielded any satisfactory results.

4. Conclusions

The use of TPP-chitosan in latent fingerprint enhancement was significantly affected by TPP:chitosan ratio, it was also expected that the storage temperature [4], concentration [18], molar mass [4, 15–18], and levels of aggregation, charge, and degree of deacetylation (DD) of chitosan will be of importance. Furthermore, it may be possible to form the microparticles directly on fingerprint in a 2-stage process. However, this new technique has the potential to be developed as a novel method for fingerprint enhancement.

Conflict of Interests

The authors declare that they have no conflict of interests.

References

[1] M. Rinaudo, "Chitin and chitosan: properties and applications," *Progress in Polymer Science*, vol. 31, no. 7, pp. 603–632, 2006.

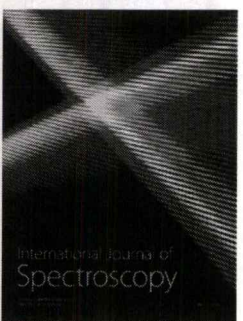
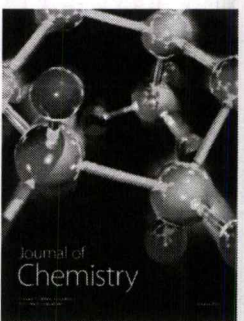
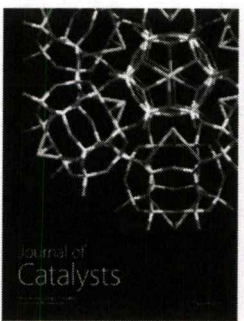
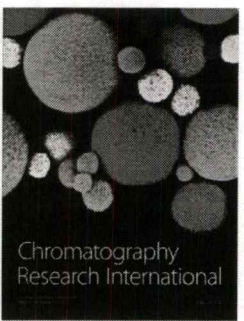
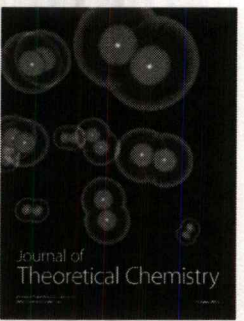
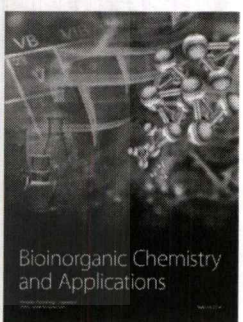
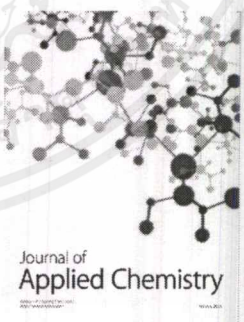
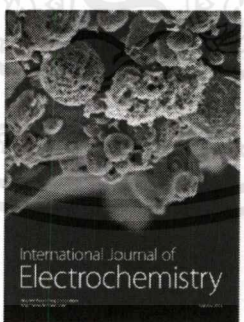
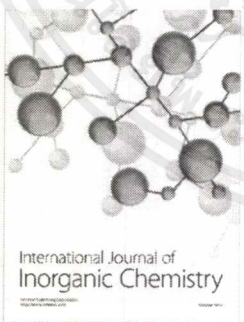
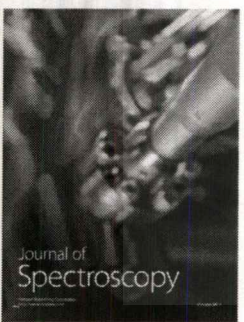
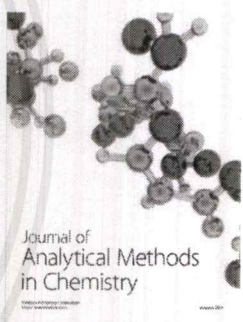
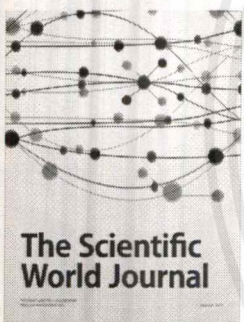
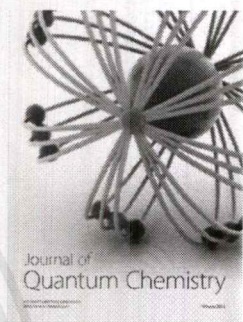
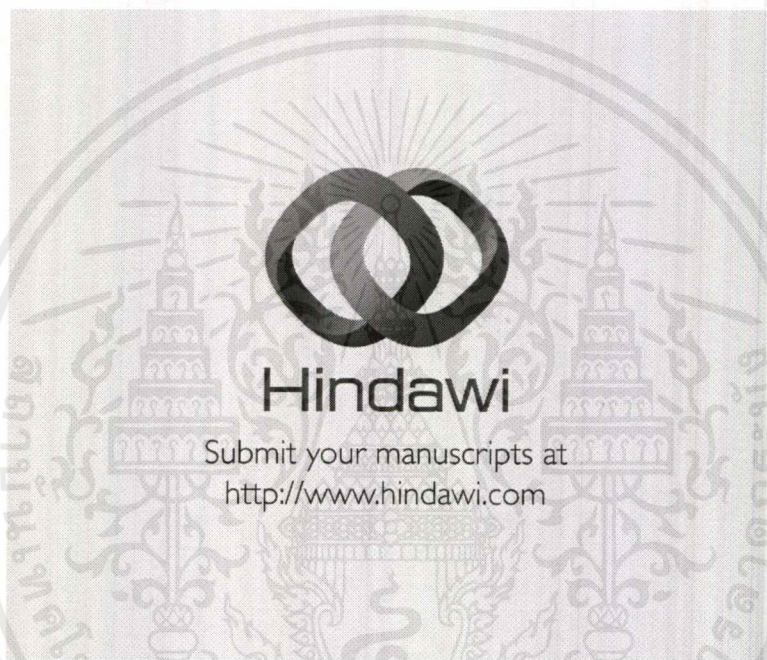
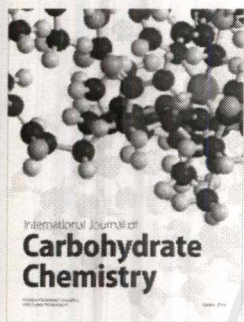
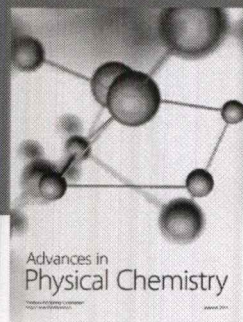
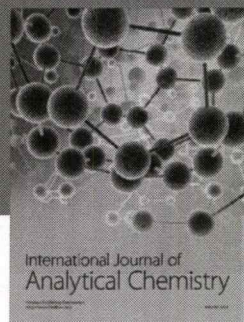
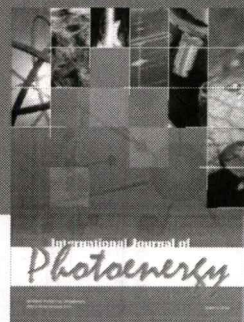
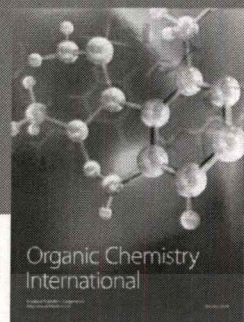
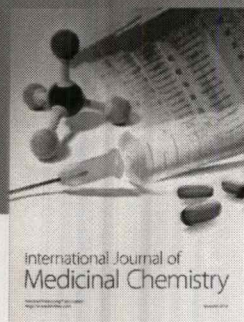
- [2] A. M. Dyer, M. Hinchcliffe, P. Watts et al., "Nasal delivery of insulin using novel chitosan based formulations: a comparative study in two animal models between simple chitosan formulations and chitosan nanoparticles," *Pharmaceutical Research*, vol. 19, no. 7, pp. 998–1008, 2002.
- [3] G. A. Morris, M. S. K ok, S. E. Harding, and G. G. Adams, "Polysaccharide drug delivery systems based on pectin and chitosan," *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, vol. 27, pp. 257–284, 2010.
- [4] G. A. Morris, J. Castile, A. Smith, G. G. Adams, and S. E. Harding, "The effect of prolonged storage at different temperatures on the particle size distribution of tripolyphosphate (TPP)-chitosan nanoparticles," *Carbohydrate Polymers*, vol. 84, no. 4, pp. 1430–1434, 2011.
- [5] L. E. Ch avez de Paz, A. Resin, K.A. Howard, D.S. Sutherland, and P.L. Wejse, "Antimicrobial effect of chitosan nanoparticles on *Streptococcus mutans* biofilms," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 77, no. 11, pp. 3892–3895.
- [6] S. Hornig and T. Heinze, "Efficient approach to design stable water-dispersible nanoparticles of hydrophobic cellulose esters," *Biomacromolecules*, vol. 9, no. 5, pp. 1487–1492, 2008.
- [7] N. Ul Islam, K. F. Ahmed, A. Sugunan, and J. Dutta, "Forensic fingerprint enhancement using bioadhesive chitosan and gold nanoparticles," in *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (IEEE NEMS '07)*, pp. 411–415, January 2007.
- [8] J. Dilag, H. Kobus, and A. V. Ellis, "Cadmium sulfide quantum dot/chitosan nanocomposites for latent fingerprint detection," *Forensic Science International*, vol. 187, no. 1–3, pp. 97–102, 2009.
- [9] A. Anitha, N. Deepa, K. P. Chennazhi, S. V. Nair, H. Tamura, and R. Jayakumar, "Development of mucoadhesive thiolated chitosan nanoparticles for biomedical applications," *Carbohydrate Polymers*, vol. 83, no. 1, pp. 66–73, 2011.
- [10] A. Nasti, N. M. Zaki, P. de Leonardis et al., "Chitosan/TPP and chitosan/TPP-hyaluronic acid nanoparticles: systematic optimisation of the preparative process and preliminary biological evaluation," *Pharmaceutical Research*, vol. 26, pp. 1918–1930, 2009.
- [11] Q. Gan, T. Wang, C. Cochrane, and P. McCarron, "Modulation of surface charge, particle size and morphological properties of chitosan-TPP nanoparticles intended for gene delivery," *Colloids and Surfaces B*, vol. 44, no. 2–3, pp. 65–73, 2005.
- [12] B. Hu, C. Pan, Y. Sun et al., "Optimization of fabrication parameters to produce chitosan-tripolyphosphate nanoparticles for delivery of tea catechins," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 56, pp. 7451–7458, 2008.
- [13] Y. Xu and Y. Du, "Effect of molecular structure of chitosan on protein delivery properties of chitosan nanoparticles," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 250, pp. 215–226, 2005.
- [14] H. Zhang, M. Oh, C. Allen, and E. Kumacheva, "Monodisperse chitosan nanoparticles for mucosal drug delivery," *Biomacromolecules*, vol. 5, no. 6, pp. 2461–2468, 2004.
- [15] M. L. Tsai, R. H. Chen, S. W. Bai, and W. Y. Chen, "The storage stability of chitosan/tripolyphosphate nanoparticles in a phosphate buffer," *Carbohydrate Polymers*, vol. 84, no. 2, pp. 756–761, 2011.
- [16] M. L. Tsai, S. W. Bai, and R. H. Chen, "Cavitation effects versus stretch effects resulted in different size and polydispersity of ionotropic gelation chitosan-sodium tripolyphosphate nanoparticle," *Carbohydrate Polymers*, vol. 71, pp. 448–457, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

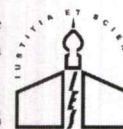
- [17] M. Luangtana-anan, P. Opanasopit, T. Ngawhirunpat et al., "Effect of chitosan salts and molecular weight on a nanoparticulate carrier for therapeutic protein," *Pharmaceutical Development and Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 189–196, 2005.
- [18] E. S. K. Tang, M. Huang, and L. Y. Lim, "Ultrasonication of chitosan and chitosan nanoparticles," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 265, pp. 103–114, 2003.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



APPLICATION OF A NEW COMMONLY AVAILABLE SUBSTANCE FOR THE VISUALIZATION OF LATENT FINGER MARKS: WHITE CEMENT

Rakesh K. GARG, Harry PAL, Ramanjit KAUR

Department of Forensic Science, Punjabi University, Patiala, India

Abstract

Visualization of latent fingerprints has always been a significant field in forensic science research. Different chemicals/powders have been tried from time to time for visualization of latent fingerprints by different scientists. The present study consisted of two parts. First of all, latent fingerprints were developed on twenty different substrates using common, easily available, inexpensive and simple material – white cement powder (used for fixing floor tiles) – by the powder dusting method. In the second part, the ageing of latent fingerprints was studied by developing sets of latent fingerprints after particular time intervals with the help of white cement and (conventional) white powder: the clarity of prints developed using the white cement was compared in relation to results achieved using the conventional powder (white powder), which is widely used in fingerprint development. For this part of the study, four different substrates were chosen: blue carbon paper, plastic sheet, coloured papers, and plywood. In total, four sets were prepared in order to study ageing for 40 days. Each set consisted of carbon paper, coloured paper, plastic sheet and plywood. Latent prints were developed at 10 day intervals for each set. The latent prints were taken from individuals who had profuse sweating (and, in addition, latent prints were taken from persons who sweated less, though in the latter case, only fresh prints were used). It was interesting to find that the cement powder used gave very clear results on fourteen different substrates among the twenty tested. The ridges and the furrows were clearly visible, and so it could be concluded that cement powder can be used as an alternative (agent) for visualization of finger marks in forensic investigations, particularly when other powders are not available. It was also found that latent prints were developed very clearly with white cement on carbon paper, even after 40 days, when conventional white powder fails to do so.

Key words

Forensic science; Latent finger marks; Powder dusting; White cement powder; Substrates.

Received 3 September 2013; accepted 12 February 2014

1. Introduction

Fingerprints are often considered one of the most valuable types of physical evidence in crime scene investigations. Fingerprint individuality is widely accepted by scientists and courts. Fingerprints are highly individualistic in nature, so that even partial and slightly smudged impressions lifted from crime scenes can be used to identify the donor of these marks. Sometimes experts working in the field run out of conventional visualization material, and in such situations

a more commonly available material (white cement) can serve as an acceptable substitute.

New techniques are continuously being sought for latent fingerprint visualization, but the traditional fingerprint detection technique is powdering. When fingerprint powder is sprinkled over an area under examination, the powder adheres to the oily components, moisture, sweat or other materials left in a fingerprint.

Many fingerprint powder formulations are used by law enforcement agencies, most of them containing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

colorants for contrast and resinous materials for good adhesion. In general, there are four classes of fingerprint powders: regular, luminescent, metallic and thermoplastic [5].

Hundreds of fingerprint powder formulas have been developed over the years. A detailed list of their formulas and preparations can be found in the first edition of "Scott's fingerprint mechanics" and in a report by Goode and Morris [3]. Trapecar and Balazic [7] reported fingerprint recovery from skin surfaces and found that positive results were achieved with magnetic black and Swedish black powder on living objects.

White Portland cement is identical to grey Portland cement except in colour. Portland cement, the basic ingredient of concrete is a closely controlled chemical combination of calcium, silicon, aluminium, iron and small amounts of other ingredients to which gypsum is added in the final grinding process to regulate the setting time of the concrete. Lime and silica make up about 85% of the mass. In the case of white cement, during the manufacturing process, manufacturers select raw materials that contain only negligible amounts of iron and magnesium oxides (Table I) [1, 6].

TABLE I. COMPOSITION OF WHITE CEMENT [8]

Composition	[%] by weight
C_3S (Tricalcium silicate, $3CaO \cdot SiO_2$)	59.4
C_2S (Dicalcium silicate, $2CaO \cdot SiO_2$)	23.5
C_3A (Tricalcium aluminate, $3CaO \cdot Al_2O_3$)	12.9
C_4AF (Tetracalcium aluminoferrite, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$)	0.6

The present research work was undertaken in order to find more common material that can serve as a better substitute for conventional fingerprint powders. An attempt was made in the present study to establish a new method to make the trace of fingermarks clear using building material (cement powder) as a substitute. In addition, the influence of ageing of latent fingerprints was studied when using this particular material.

To the best of our knowledge, use of this sort of material (commonly available in powder form) has not been reported earlier. In this study, an endeavour was made to find a cost effective, easily available, effective powder for visualization of latent fingerprints. It is expected that the study will provide quite useful information for fingerprint experts.

2. Materials and method

In the present study, latent fingerprints were collected from individuals on different substrates. White cement powder (used in fixing floor tiles) was tried for the development of latent fingerprints on twenty different substrates. The method used in the development of latent fingerprints is powder dusting. Application of powder to the print by brushing is a simple and easy technique, but it also has disadvantages. When the brush comes in contact with the surface bearing the print, it may damage it and hence the ridge characteristics get blurred. The powder was sprinkled over the surface and then excess powder was removed by tapping in order to get a clear print.

The cement used was procured from a local market, and was manufactured by J. K., White Cement Works, Gotan, Nagaur District (Rajasthan). It has registered growth in production and sales in India in the last few years.

The substrates tried in this study were porous, non-porous and semi-porous. The following substrates were tried: coloured glazed papers, normal paper, bond paper, glossy sheet, ID photo paper, tissue paper, thermocol (polystyrene), plastic surface (of pen and mouse used in computers), both the writing and shiny surface of a CD, safety glasses (goggles), plywood, carbon paper, transparency sheet, cellophane sheet, polythene (white and brown), brown cover paper (used to cover notebooks etc.), painted steel surface, cardboard (green colour), standard glass (black and white glass), and ceramic surface (mug).

For the ageing study, white cement and conventional white powder (manufactured by Ideal Scientific Concerns, Calcutta) were tried on four different substrates: carbon paper, coloured paper, plastic sheet and plywood. Ageing was followed up for 40 days on the 4 experimental sets, each consisting of carbon paper, coloured paper, plastic sheet and plywood. Latent prints were developed at 10 day intervals. The latent prints were taken from an individual who sweated profusely. On each substrate of every set, two latent prints were taken in order to develop them with white cement and white powder side by side simultaneously. In addition to this, fresh prints from low sweating individuals were developed on the spot on carbon paper using white cement, and ridges were found to be clear in these cases as well.

3. Results and discussion

The results obtained are shown in Figures 1–16. The white cement used gave very fine results on the majority of the substrates, and well defined ridges were observed that were not inferior to those obtained by conventional powder used for fingerprints development. On some of the substrates, even better results were obtained. White cement gave very clear results on fourteen out of the twenty types of substrates. As could be expected, on the remaining six white surfaces the results were not clearly visible due to poor contrast. The application of white cement was not found to be

suitable for the development of latent fingerprints on normal paper, bond paper, glossy sheet, ID photo paper, tissue paper and thermocol (polystyrene), and was found to be most suitable for coloured contrast surfaces. It was also observed that the surface contrast played a very important role in the visualization of prints using white cement. In some of the cases, even level 3 details were visible.



Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 1–4. Showing development of latent fingerprints on black glass (1), white glass (2), writing surface of CD (3) and carbon paper (4) using white cement.



Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 5–8. Showing development of latent fingerprints on cellophane sheet (5), safety glasses (goggles) (6), ceramic surface (mug) (7), and red glazed sheet (8) using white cement.

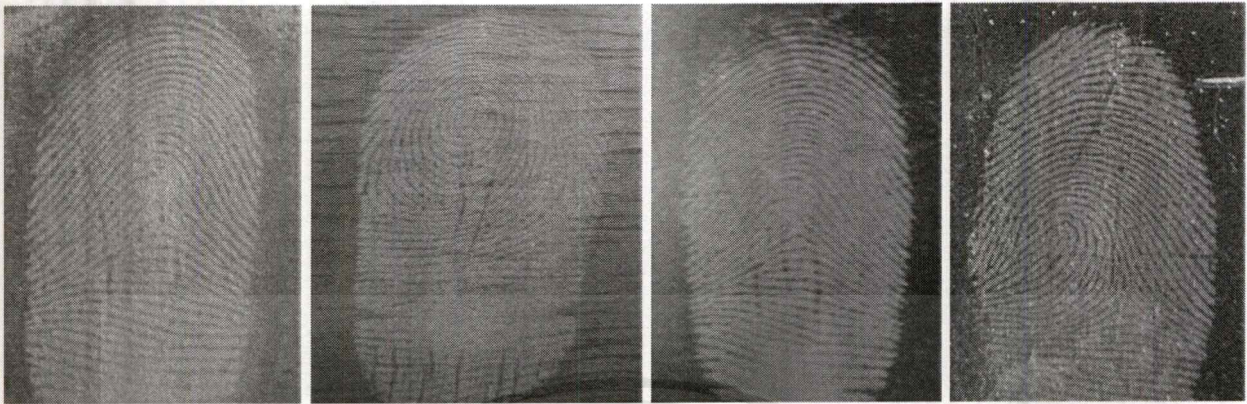


Fig. 9.

Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 12.

Fig. 9–12. Showing development of latent fingerprint on brown cover (9), plywood (10), transparent polythene (11), and plain green cardboard (12) using white cement.

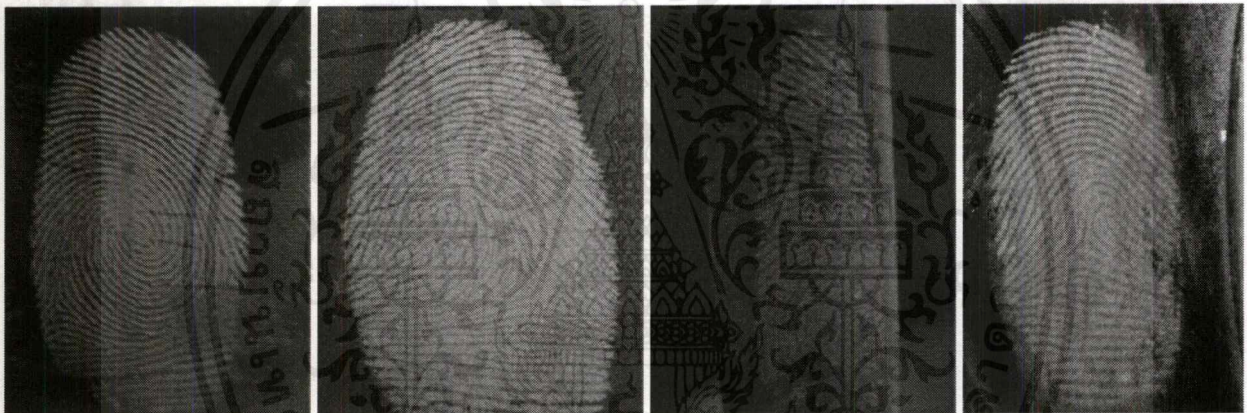


Fig. 13.

Fig. 14.

Fig. 15.

Fig. 16.

Fig. 13–16. Showing development of latent fingerprints on painted steel (13), transparency sheet (14), plastic surface (pen) (15), and plastic surface [mouse] (16) using white cement.

Garg et al. [2] and Kumari et al. [4] similarly worked on latent fingerprint development using turmeric powder, synthetic food and festival colours (gulal) on different substrates, including the writing surface of CDs, and found that the development process did not affect the data stored on the CDs. Similarly, in the present study, the prints developed on the writing surface of a CD using white cement did not affect the data contained therein. This is also in agreement with the findings of other scientists for the development of latent fingerprints on CDs and subsequent recovery of data. The results for aged prints are shown in Figures 17–28.

Out of the four substrates (blue carbon paper, plastic sheet, coloured papers, and plywood), only carbon

paper gave clear fingerprints after 40 days comparable with white powder developed prints. White cement and white powder gave slightly positive results on the plastic surface after 10 days but with only a few visible ridges (Figures 25–28). Negative results were obtained on coloured paper and plywood. Fingerprints could be developed neither with white powder nor with white cement even after only 10 days. The results of development of latent prints from low sweating individuals are shown in Figures 29–32.

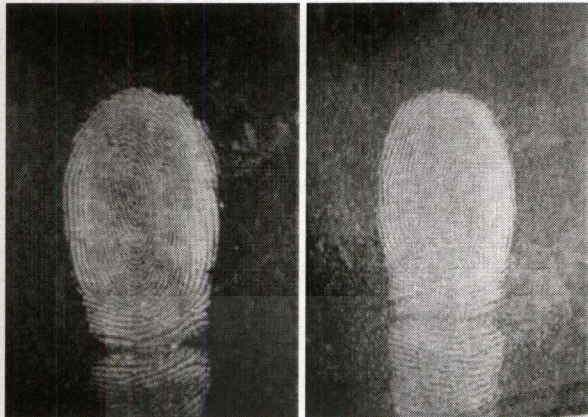


Fig. 17. Fig. 18.
Fig. 17–18. Showing development of latent fingerprints on a carbon surface after 10 days using white cement (17) and white powder (18).

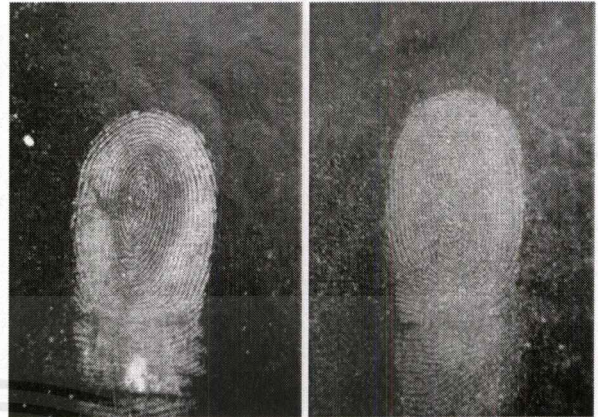


Fig. 19. Fig. 20.
Fig. 19–20. Showing development of latent fingerprints on a carbon surface after 20 days using white cement (19) and white powder (20).

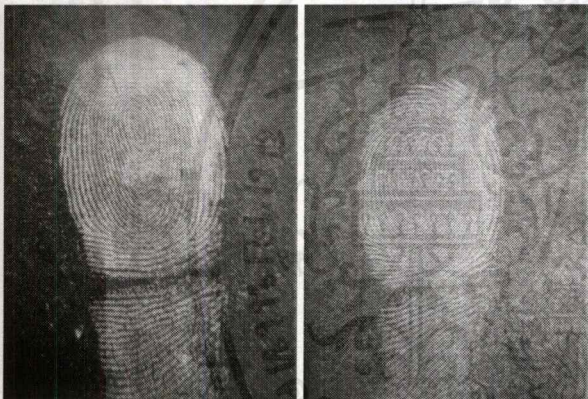


Fig. 21. Fig. 22.
Fig. 21–22. Showing development of latent fingerprints on a carbon surface after 30 days using white cement (21) and white powder (22).

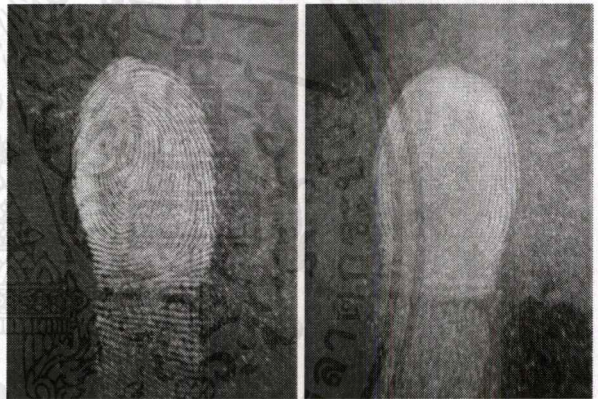


Fig. 23. Fig. 24.
Fig. 23–24. Showing development of latent fingerprints on a carbon surface after 40 days using white cement (23) and white powder (24).



Fig. 25. Fig. 26.
Figures 25–26. Showing development of latent fingerprints on a plastic surface after 10 days using white cement (25) and white powder (26).

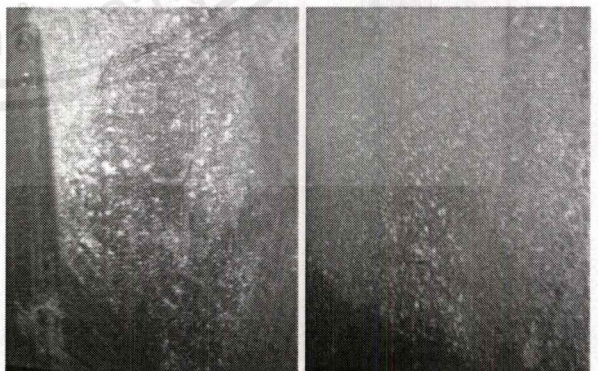


Fig. 27. Fig. 28.
Fig. 27–28. Showing development of latent fingerprints on a plastic surface after 20 days using white cement (27) and white powder (28).



Fig. 29.



Fig. 30.

Fig. 29–30. Showing development of latent fingerprints from donor 1 (29) and donor 2 (30) on carbon surface on the spot using white cement.

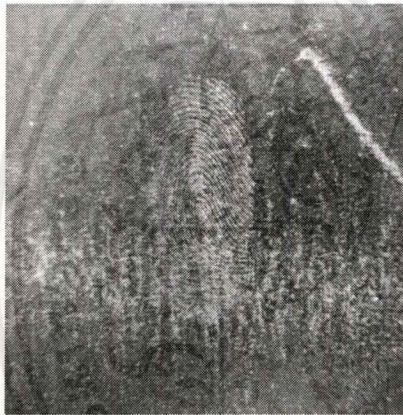


Fig. 31.



Fig. 32.

Fig. 31–32. Showing development of latent fingerprints from donor 3 (31) and donor 4 (32) on carbon surface on the spot using white cement.

4. Conclusion

White cement showed potential for becoming a promising addition to the series of fingerprint powders. This powder is easily available, fine, and less expensive compared with conventional powders and can be used for developing fingerprints and serve as a good substitute. More experiments are required before introducing it as a full scale first line fingerprint technique.

Acknowledgements

The authors are highly thankful to Dr. Joseph Almog, Casali Institute of Applied Chemistry, The Hebrew University of Jerusalem. The authors are highly thankful to each and every individual who contributed samples for the present studies. One of the authors (Ramanjit Kaur) gratefully acknowledges UGC-MANF for providing a fellowship to carry out the work.

References

1. Cement and concrete basics, http://www.cement.org/basics/concretebasics_history.asp [access 2012.07.08].
2. Garg R. K., Kumari H., Kaur R., A new technique for visualization of latent fingerprints on various surfaces using powder from turmeric: A rhizomatous herbaceous plant (*Curcuma longa*), *Egyptian Journal of Forensic Science* 2011, 1, 53–57.
3. Goode G. C., Morris J. R., Latent fingerprints: a review of their origin, composition and methods for detection, AWRE Report no. 022/83; Atomic Weapons Research Establishment England, 1983.
4. Kumari H., Kaur R., Garg R. K., New visualizing agent for latent fingerprints: Synthetic food and festival colors, *Egyptian Journal of Forensic Science* 2011, 1, 133–139.
5. Lee H. C., Gaensslen R. E., Methods of latent fingerprint development, [in:] *Advances in fingerprint technology*, Lee H. C., Gaensslen R. E. [eds.], CRC Press, Boca Raton 2001.
6. Mac Laren D. C., White M. A., Cement: Its chemistry and properties, *Journal of Chemical Education* 2003, 80, 623–635.
7. Trapecar M., Balazic J., Fingerprint recovery from human skin surfaces, *Science & Justice* 2007, 47, 136–140.
8. White cement concrete, http://www.ce.berkeley.edu/~paulmont/241/Reports_04/White%20Cement_pp.pdf [access 2012.07.08].

Corresponding author

Dr. Rakesh K. Garg
Punjabi University
Department of Forensic Science
147002 Patiala, India
e-mail: rkgvpbill@yahoo.com

ZASTOSOWANIE BIAŁEGO CEMENTU DO UJAWNIANIA ODCISKÓW PALCÓW

1. Wprowadzenie

Ślady linii papilarnych są uważane za jeden z najbardziej wartościowych dowodów podczas badania miejsca przestępstwa. Indywidualność rysunku linii papilarnych jest powszechnie akceptowana przez naukowców, jak również przez przedstawicieli wymiaru sprawiedliwości. Ślady daktyloskopijne są tak bardzo indywidualne, że nawet fragmentaryczny i częściowo zamazany ślad może być wykorzystany do identyfikacji osoby, która go pozostawiła. Zdarzają się czasem sytuacje, gdy ekspertom pracującym na miejscu zdarzenia brakuje konwencjonalnych środków ujawniających i wówczas inny, powszechnie dostępny materiał (biały cement) może zostać użyty jako substytut.

Ciągle opracowywane są nowe techniki wizualizacji śladów daktyloskopijnych, natomiast najbardziej tradycyjną techniką jest opylanie proszkiem. Kiedy drobiny proszku daktyloskopijnego są rozpylane nad badaną powierzchnią, proszek przywiera do tłuszczów, wilgoci, potu lub do innych substancji obecnych w śladzie.

Organy ścisania wykorzystują proszki daktyloskopijne o różnym składzie, z których większość zawiera substancje barwiące używane w celu uzyskania odpowiedniego kontrastu oraz składniki żywiczne dla zapewnienia dobrej adhezji. Ogólnie mówiąc, wyróżnia się cztery rodzaje proszków daktyloskopijnych: zwykłe, luminescencyjne, metaliczne i termoplastyczne [5].

Na przestrzeni lat opracowano liczne formuły proszków daktyloskopijnych. Szczegółowy spis składu oraz sposobu przygotowania poszczególnych proszków można znaleźć w pierwszym wydaniu książki „Scott's fingerprint mechanics”, a także w pracy autorstwa Goode'a i Morrisa [3]. Trapecar i Balazic [7] opisali możliwość ujawnienia odcisków palców na powierzchni skóry, przy czym stwierdzili, że pozytywne rezultaty ujawniania na skórze ludzkiej daje zastosowanie proszków: czarnego magnetycznego i czarnego szwedzkiego.

Biały cement portlandzki, poza kolorem, jest identyczny jak cement portlandzki szary. Cement portlandzki jako główny składnik betonu stanowi odpowiednią mieszankę wapnia, krzemu, glinu, żelaza i niewielkich ilości innych składników, do których na końcowym etapie produkcji dodawany jest gips będący regulatorem czasu wiązania betonu. Wapno i krzemionka tworzą około 85% masy cementu. Podczas procesu produkcji białego cementu wytwórcy wybierają naturalne składniki zawierające śladowe ilości tlenków żelaza i magnezu (tabela I) [1, 6].

Niniejsze badania zostały zainicjowane potrzebą odnalezienia nowych, pospolitych substancji, które mogą zostać użyte jako zamiennik konwencjonalnych proszków daktyloskopijnych. Podjęto próby opracowania nowej metody ujawniania śladów za pomocą materiału budowlanego (cementu) w charakterze takiego zamiennika. Dodatkowo zbadano również wpływ starzenia się śladów na możliwość ich wizualizacji za pomocą tej substancji.

Według autorów wspomniany rodzaj materiału (powszechnie dostępnego w postaci proszku) dotychczas nie był przedmiotem takich badań. Poszukiwano zatem nowego, łatwo dostępnego, skutecznie działającego proszku do wizualizacji utajonych śladów linii papilarnych. Autorzy mają nadzieję, że niniejsza praca stanie się źródłem użytecznych informacji dla ekspertów z dziedziny daktyloskopii.

2. Materiały i metody

Podczas przeprowadzonych badań odciski palców zostały naniesione przez różne osoby na wybrane podłoża. Biały cement w postaci proszku (stosowany przy układaniu glazury) został użyty do ujawniania śladów na dwudziestu różnych podłożach. Proszek наносono techniką opylania. Aplikacja proszku za pomocą pędzla daktyloskopijnego jest nieskomplikowana, ale technika ta ma również swoje wady. Kontakt pędzla z powierzchnią, na której znajduje się ślad, może spowodować jego uszkodzenie i w konsekwencji utratę czytelności charakterystycznych szczegółów budowy linii papilarnych. Proszek rozpylano nad badaną powierzchnią, a następnie nadmiar proszku usuwano delikatnie pędzlem aż do momentu uzyskania czytelnego odwzorowania linii papilarnych.

Cement użyty w badaniach produkowany jest na rynek indyjski przez firmę J. K., White Cement Works, znajdującą się w Gotan w pobliżu Nagaur (okręg Rajasthan). W przeciągu kilku ostatnich lat odnotowano wzrost produkcji i sprzedaży tego materiału w Indiach.

Do eksperymentów wybrano zarówno chłonne, niechłonne, jak i półchłonne podłoża. Przetestowano następujące: kolorowy błyszczący papier, zwykły papier, papier maszynowy, papier kredowy, papier fotograficzny, bibułę, ekstrudowany polistyren, powierzchnie plastikowe (mysz komputerowa w kształcie długopisu), obydwie strony płyty CD, okulary ochronne (gogle), sklejkę, kalkę maszynową, transparentną folię, celofan, polietylen (biały i brązowy), brązowy papier okładkowy (do oprawiania zeszytów), lakierowaną powierzchnię stalową,

tekturę (koloru zielonego), zwykłe szkło (czarne i białe), powierzchnię ceramiczną (kubek ceramiczny).

W badaniach nad starzeniem się śladów linii papilarnych białego cementu i tradycyjnego białego proszku (produkcji firmy Ideal Scientific Concerns, Kalkuta) użyto czterech różnych podłoży: kalki maszynowej, kolorowego papieru, powierzchni plastikowej i sklejki. Proces starzenia się śladów prowadzono przez 40 dni dla każdego zestawu badawczego składającego się z kalki maszynowej, kolorowego papieru, plastiku i sklejki. Odciski palców ujawniano w odstępach dziesięciodniowych. Ślady pozostawiane były przez osoby, które obficie wydzielają pot. Na wszystkich podłożach z danego zestawu złożono po dwa odciski palców w celu późniejszego ujawnienia ich za pomocą białego cementu i białego proszku daktyloskopijnego. Dodatkowo świeże ślady daktyloskopijne pozostawione na kalce maszynowej przez osoby wydzielające mało potu ujawniano za pomocą białego cementu, uzyskując także w tym przypadku czytelny obraz linii papilarnych.

3. Rezultaty i dyskusja

Na większości podłoży uzyskano przy użyciu białego cementu bardzo dobre rezultaty wizualizacji w postaci czytelnych śladów linii papilarnych, które nie ustępowały jakością śladom ujawnionym białym proszkiem (ryciny 1–16). Na niektórych podłożach uzyskano nawet lepsze rezultaty. Biały cement okazał się skuteczny na czternastu spośród dwudziestu testowanych podłoży. Jak się spodziewano, na pozostałych podłożach koloru białego ujawnione ślady nie były tak dobrze widoczne z powodu słabego kontrastu z podłożem. Stwierdzono, że biały cement nie nadaje się do ujawniania śladów linii papilarnych na zwykłym papierze, papierze maszynowym, kredowym, fotograficznym, bibule i ekstrudowanym polistyrenie, natomiast najlepiej sprawdza się na kolorowych, kontrastujących powierzchniach. Zaobserwowano ponadto, że kontrast odgrywa bardzo ważną rolę w wizualizacji śladów za pomocą białego cementu. W niektórych przypadkach widoczne były nawet cechy 3 stopnia.

Garg [2] i Kumari [4] prowadzili badania nad wykrzysaniem kurkumy, pokarmów syntetycznych oraz różnokolorowego proszku (gulal) do ujawniania śladów linii papilarnych. Ślady ujawnione na stronie czynnej (zapisu) płyty CD przy użyciu białego cementu nie uszkadzają zapisanych na niej danych. Jest to zgodne z ustaleniami innych autorów badających wizualizację śladów na płytach CD i jej wpływ na możliwość późniejszego odzyskania danych. Rezultaty uzyskane dla starszych śladów przedstawiono na rycinach 17–28.

Spośród czterech badanych podłoży (niebieska kalca maszynowa, plastik, kolorowy papier i sklejka) tylko

na kalce maszynowej po 40 dniach ujawniono ślady linii papilarnych o zbliżonej jakości do śladów ujawnionych białym proszkiem daktyloskopijnym. Ujawnianie dziesięciodniowych śladów na powierzchni plastikowej zarówno białym cementem, jak i białym proszkiem daktyloskopijnym, nie przyniosło dobrych efektów, ponieważ widoczne były tylko pojedyncze linie papilarne (ryciny 25–30). Negatywne rezultaty otrzymano w przypadku kolorowego papieru i sklejki. Po upływie 10 dni od momentu pozostawienia śladów nie zdołano ujawnić żadnych odcisków palców ani za pomocą białego cementu, ani białego proszku daktyloskopijnego. Rezultaty wizualizacji śladów daktyloskopijnych pobranych od osób słabo wydzielających pot pokazano na rycinach 29–32.

4. Wnioski

Z badań wynika, że biały cement może się stać kolejnym proszkiem daktyloskopijnym. Jest on łatwo dostępny, dobry oraz tani w porównaniu z tradycyjnymi proszkami daktyloskopijnymi i może być stosowany do ujawniania śladów linii papilarnych jako ich skuteczny zamiennik. Jednak przed wprowadzeniem tej substancji do powszechnie stosowanych daktyloskopijnych metod ujawniających konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań.

Podziękowania

Autorzy są bardzo wdzięczni panu dr Josephowi Almgowi z Instytutu Chemii Stosowanej Casali na Uniwersytecie Hebrajczyków w Jerozolimie. Autorzy dziękują również wszystkim osobom, które dostarczyły próbki do niniejszych badań. Jeden z autorów (Ramanjit Kaur) wyraża wdzięczność instytucji UGC-MANF za współudział przy przeprowadzeniu badań.

Gold Nanoparticle Enlargement Coupled with Fluorescence Quenching for Highly Sensitive Detection of Analytes

Seong Yoon Lim, Jae Hong Kim, Joon Seok Lee, and Chan Beum Park*

Department of Materials Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), 335 Science Road, Daejeon 305-701, Republic of Korea

Received August 31, 2009. Revised Manuscript Received October 20, 2009

We report a versatile and facile route for highly sensitive detection of analytes through coupling the enlargement of gold nanoparticles with fluorescence quenching. The fluorescence intensity of dye molecules (e.g., fluorescein or rhodamine B) significantly decreased with the increasing concentration of reducing agents, such as hydrogen peroxide and hydroquinone. The sensitivity for the detection of reducing agents was much higher than that of other methods based on the absorbance measurement of enlarged gold nanoparticles or quantum-dot-enzyme hybridization. We could successfully detect acetylthiocholine with the detection limit of several nanomolar concentration using an enzymatic reaction by acetylcholine esterase, a key route for the detection of toxic organophosphate compounds. The fluorescence quenching approach described in this report requires only a simple addition of fluorescence dye to the reaction solution without any chemical modification. The strategy of fluorescence quenching coupled with nanoparticle growth would provide a new horizon for the development of highly sensitive optical biosensors.

Recent advances in nanotechnology enable the participation of nanoparticles as a key component in the assay of various biological events.¹ For example, using metal-nanoparticle (NP)-nucleotide conjugates, DNA hybridization has been analyzed with surface plasmon resonance, surface enhanced Raman scattering, or quartz-crystal microbalance.^{2,3} Moreover, the activities of various redox enzymes were assayed by measuring the absorbance change of Au NPs, where change occurs when Au NPs grow through the reduction of Au ions by reducing agents, such as H₂O₂, produced during the enzymatic reactions.⁴⁻⁶ Herein, we report that the sensitivity of analyte detection can be greatly enhanced if the Au NP enlargement is coupled with a quenching of fluorescent dyes. H₂O₂, hydroquinone (HQ), and acetylthiocholine were used as model analytes in this study. HQ is a phenolic pollutant that can erode the skin or inhibit the nervous system.^{7,8} Acetylthiocholine is a substrate of acetylcholine esterase (AChE). The measurement of AChE activity is known to be a key route for the detection of toxic organophosphate compounds, such as nerve agents or pesticides, that inhibit AChE.^{9,10} Thus, the development of a highly sensitive detection method for HQ and acetylthiocholine is critical for environmental monitoring and security. As sensitivity is a key factor in the design of biosensors,

significant effort has been made to develop fluorescence-based optical biosensors due to their high sensitivity.^{11,12} Au NPs were previously introduced to fluorescence-based assays to detect biologically important analytes,¹³⁻¹⁵ and the assays rely mostly on fluorescence resonance energy transfer (FRET) phenomena. However, the design of detection probes based on FRET requires the modification of fluorescent molecules to accommodate the arrangement of metal NPs in a specific direction or distance, complicating the preparation of sensing elements.¹⁶

The overall scheme for fluorescence quenching coupled with the enlargement of Au NPs is depicted in Figure 1A. Au NPs are enlarged by the reduction of Au ions on their surface in the presence of a reducing agent. When a fluorescent dye, such as fluorescein, is present in the reaction solution, its fluorescence can be substantially quenched as a result of the Au NP enlargement. The absorbance maximum of Au NPs typically ranges from 515 to 530 nm, depending on the size of the Au NP,¹⁷ and the emission band of fluorescein locates at approximately 520 nm that overlaps the absorbance band of Au NPs. The growth of Au NPs results in an increase of absorbance, which should affect the emission intensity of the fluorescent dye due to the overlap between the absorbance band and the emission band. To observe the possibility of fluorescence quenching by the enlargement of Au NPs, we compared the fluorescence intensity of a solution containing a molecular dye before and after the enlargement of Au NPs. The solution containing Au NPs, HAuCl₄, and molecular dye (fluorescein or rhodamine B) reacted with H₂O₂. After the growth of Au NPs, the fluorescence intensity of fluorescein and rhodamine

*Corresponding author. Telephone: +82 42 350 3340. Fax: +82 42 350 3310. E-mail: parkcb@kaist.ac.kr.

- (1) Niemeyer, C. M. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2001**, *40*, 4128-4158.
- (2) Cao, Y. C.; Jin, R.; Mirkin, C. A. *Science* **2002**, *297*, 1536-1540.
- (3) He, L.; Musick, M. D.; Nicewarner, S. R.; Salinas, F. G.; Benkovic, S. J.; Natan, M. J.; Keating, C. D. *J. Am. Chem. Soc.* **2000**, *122*, 9071-9077.
- (4) Zayats, M.; Baron, R.; Popov, I.; Willner, I. *Nano Lett.* **2005**, *5*, 21-25.
- (5) Baron, R.; Zayats, M.; Willner, I. *Anal. Chem.* **2005**, *77*, 1566-1571.
- (6) Xiao, Y.; Pavlov, V.; Levine, S.; Niazov, T.; Markovitch, G.; Willner, I. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2004**, *43*, 4519-4522.
- (7) Jagetia, G. C.; Menon, K. S. L.; Jain, V. *Toxicol. Lett.* **2001**, *121*, 15-20.
- (8) Zhao, G.; Li, M.; Hu, Z.; Li, H.; Cao, T. *J. Mol. Catal. A: Chem.* **2006**, *255*, 86-91.
- (9) Dutta, K.; Bhattacharyay, D.; Mukherjee, A.; Setford, S. J.; Turner, A. P. F.; Sarkar, P. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* **2008**, *69*, 556-561.
- (10) Burnworth, M.; Rowan, S. J.; Weder, C. *Chem.—Eur. J.* **2007**, *13*, 7828-7836.
- (11) Bültinger, C.; McEvoy, A. K.; McDonagh, C.; MacCraith, B. D. *Anal. Chim. Acta* **2003**, *480*, 275-283.

(12) Pickup, J. C.; Hussain, F.; Evans, N. D.; Rolinski, O. J.; Birch, D. J. S. *Biosens. Bioelectron.* **2005**, *20*, 2555-2565.

(13) Griffin, J.; Singh, A. K.; Senapati, D.; Rhodes, P.; Mitchell, K.; Robinson, B.; Yu, E.; Ray, P. C. *Chem.—Eur. J.* **2009**, *15*, 342-351.

(14) Lee, S.; Cha, E.-J.; Park, K.; Lee, S.-Y.; Hong, J.-K.; Sun, I.-C.; Kim, S. Y.; Choi, K.; Kwon, I. C.; Kim, K.; et al. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2008**, *47*, 2804-2807.

(15) Maxwell, D. J.; Taylor, J. R.; Nie, S. *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 9606-9612.

(16) Zhu, L.; Lee, C. S.; DeVoe, D. L. *Lab Chip* **2006**, *6*, 115-120.

(17) Link, S.; El-Sayed, M. A. *J. Phys. Chem. B* **1999**, *103*, 8410-8426.

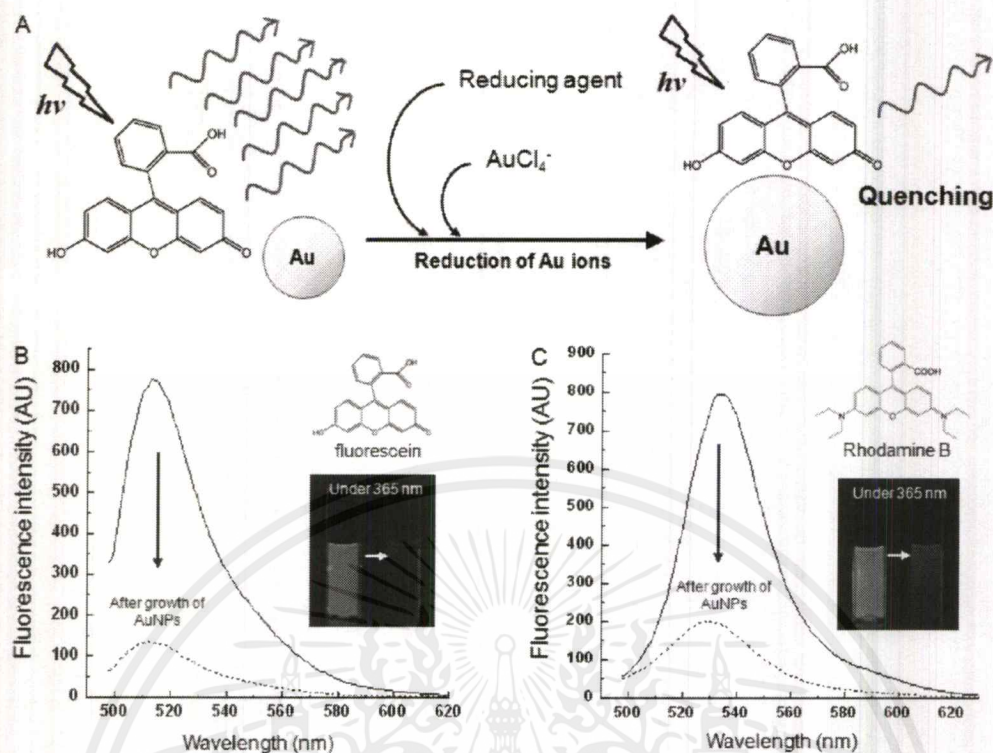


Figure 1. (A) Schematic diagram for fluorescence quenching by the enlargement of Au NPs through the reduction of Au ions in the presence of reducing agent and AuCl₄⁻. Change in fluorescence intensity of solution containing fluorescein (B) and rhodamine B (C) before (solid line) and after (dotted line) the enlargement of Au NPs catalyzed by H₂O₂. Fluorescence profiles were measured with the excitation at 492 and 520 nm for fluorescein and rhodamine B, respectively. Insets are photographs of each reaction solution under UV radiation at 365 nm.

B decreased by approximately 83 and 75%, respectively (Figure 1B, C). The pH change of the buffered solution was negligible during the Au NP enlargement, not affecting the fluorescence intensity. The pK_a value of free fluorescein is 6.4, and therefore, the conjugate may not be easily formed by an electrostatic interaction at the solution pH (7.0) in this study. Fluorescence quenching was not observed when the reducing agent (e.g., H₂O₂) was added to the solution containing only the molecular dye (Figure S1A, Supporting Information), while substantial quenching of fluorescence occurred in the presence of HAuCl₄ or Au NPs (Figure S1B, Supporting Information). Metal NPs may function as an absorber to attenuate the emission of fluorophore in dye when the emission band of the fluorophore is superimposed on the absorption band of metal NPs. Thus, the fluorescence from the molecular dye can be quenched, as the absorbance band of Au NPs, located near the emission band of the dye, is augmented along with the enlargement of Au NPs. However, there might be still unknown factors influencing the fluorescence quenching by Au NP enlargement; thus, further studies are needed to unveil the underlying mechanism.

We analyzed the enlarged Au NPs by using transmission electron microscopy (TEM) to investigate the relationship between the growth of Au NPs and the quenching of fluorescence. As shown in Figure 2 (i–vi), Au NPs were gradually enlarged with an increasing amount of H₂O₂. The generation of much smaller Au NPs, with an average diameter of 5 nm, was also observed (Figure 2ii). This should be due to the direct reduction of Au ions in the reaction solution, not on the seeded Au NPs. The average diameters of resulting Au NPs, after the growth by H₂O₂ from 0 to 200 μM, changed approximately from 12.6 to 21.3 nm, respectively, and the degree of fluorescence quenching was well

correlated with the size of Au NPs, as shown in Figure 2. This result supports the conclusion that the reduction of Au ions caused the fluorescence quenching shown in Figure 1. The effect of Au NP polydispersity and morphology on the fluorescence quenching is not clear at this time, requiring a further analysis.

The fluorescence quenching approach requires only a simple addition of fluorescence dye to nanoparticle growth solution without any chemical modification. This process can provide much enhanced sensitivity for the detection of analytes, compared to conventional absorbance-based detection. In addition to the H₂O₂-induced enlargement of Au NPs, we performed the sensing of HQ to investigate whether the fluorescence quenching by the growth of Au NPs is applicable to the detection of other reductants. Like neurotransmitters, such as dopamine, adrenaline, or noradrenalin, HQ has two hydroxyl groups that contribute two electrons to Au ions for their reduction. According to our results, HQ alone did not quench the fluorescence of fluorescein like H₂O₂ (Figure S1A, Supporting Information). As shown in Figure 3A, the resulting fluorescence intensity gradually decreased with the increasing concentration of HQ from 0 to 6 μM in the solution. The degree of fluorescence quenching at 512 nm reached approximately 13% with 0.8 μM HQ, but the absorbance change at 535 nm in the same solution was only about 3.5% (Figure 3B). Moreover, the absorbance curves were almost constant in the range of HQ concentration to 0.2 μM, while there were significant changes in fluorescence intensity. These results indicate that the sensitivity of the system using fluorescence quenching coupled with the growth of the Au NPs is much higher than the measurement of absorbance change. The detection limit of HQ by fluorescence quenching was measured to be approximately ~0.006 μM in our study,

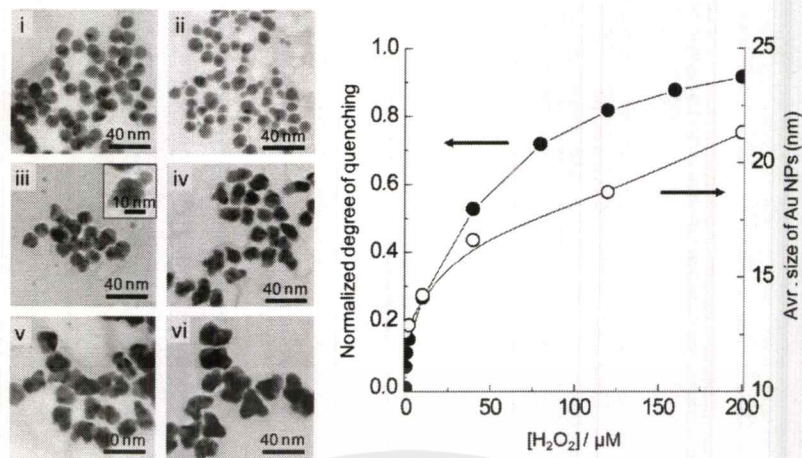


Figure 2. Left panel: TEM images of representative Au NPs formed after the growth reaction with H₂O₂ concentration of (i) 0 μM, (ii) 2 μM, (iii) 10 μM, (iv) 40 μM, (v) 120 μM, and (vi) 200 μM. Right panel: Normalized degree of fluorescence quenching and average size of Au NPs correlated to the concentration of H₂O₂.

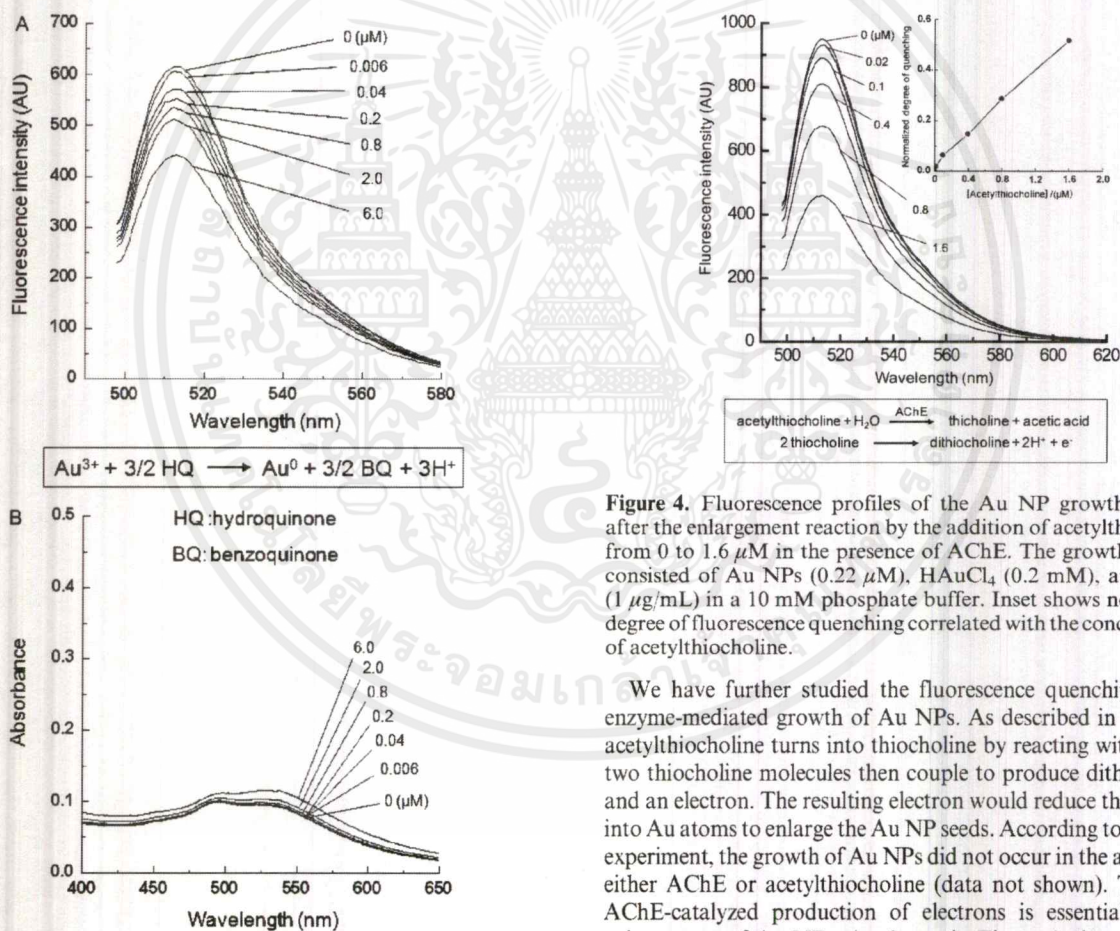


Figure 3. (A) Fluorescence and (B) UV-vis absorbance spectra of Au NP growth solution including fluorescein (5 μM) after the enlargement of Au NPs in the presence of the hydroquinone at concentrations from 0 to 6 μM.

which is 100 times more sensitive than the detection limit of HQ reported in a recent study using a quantum-dot-enzyme hybrid system.¹⁸

(18) Yuan, J.; Guo, W.; Wang, E. *Anal. Chem.* **2008**, *80*, 1141–1145.

Figure 4. Fluorescence profiles of the Au NP growth solution after the enlargement reaction by the addition of acetylthiocholine from 0 to 1.6 μM in the presence of AChE. The growth solution consisted of Au NPs (0.22 μM), HAuCl₄ (0.2 mM), and AChE (1 μg/mL) in a 10 mM phosphate buffer. Inset shows normalized degree of fluorescence quenching correlated with the concentration of acetylthiocholine.

We have further studied the fluorescence quenching by an enzyme-mediated growth of Au NPs. As described in Figure 4, acetylthiocholine turns into thiocholine by reacting with AChE; two thiocholine molecules then couple to produce dithiocholine and an electron. The resulting electron would reduce the Au ions into Au atoms to enlarge the Au NP seeds. According to a control experiment, the growth of Au NPs did not occur in the absence of either AChE or acetylthiocholine (data not shown). Thus, the AChE-catalyzed production of electrons is essential for the enlargement of Au NPs. As shown in Figure 4, the profiles of fluorescence intensity changes show a gradual decrease in intensity with the increasing concentration of acetylthiocholine. The value of the normalized degree of fluorescence quenching was proportional to the concentration of acetylthiocholine from 0 to 1.6 μM (inset of Figure 4) and tended toward saturation at a higher concentration (data not shown). The lowered degree of fluorescence quenching at high acetylthiocholine concentration is attributed to a depressed growth of Au NPs, as in the case of H₂O₂ in Figure 2. We found that the detection limit of acetylthiocholine

was approximately $\sim 0.02 \mu\text{M}$ when it was detected through fluorescence quenching coupled with the growth of Au NPs. We measured the response time of fluorescence quenching by observing the fluorescence changes for 40 min after the addition of $40 \mu\text{M}$ analyte (H_2O_2 , hydroquinone, or acetylthiocholine) into the reaction solution (Figure S2, Supporting Information). At the same concentration of analyte, acetylthiocholine caused the fastest quenching of fluorescence. The fluorescence quenching by acetylthiocholine/AChE was completed almost within 5 min, which is attributed to the fast reduction of HAuCl_4 by electrons produced during the reaction between AChE and acetylthiocholine.

In summary, we have demonstrated the quenching of fluorescence coupled with the enlargement of Au NPs through the reduction of Au ions. The fluorescence intensity of dye molecules gradually decreased with the increasing concentration of reducing agents, such as H_2O_2 and hydroquinone. The sensitivity for the detection of reducing agents in this study was much higher than that of other methods based on the absorbance measurement of enlarged Au NPs or quantum-dot-enzyme hybridization. As a result of fluorescence quenching, we could successfully detect acetylthiocholine with the detection limit of 10^{-8} M using an enzymatic reaction by AChE. We expect that the detection of analytes through fluorescence quenching coupled with the growth of metal NPs may provide a basis for the future development of highly sensitive optical biosensors.

Materials and Methods

Materials. Hydrogen tetrachloroaurate trihydrate ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), hydroquinone (HQ), acetylcholine esterase (AChE), acetylthiocholine, fluorescein, and rhodamine B were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO), and they were used without further purification. Au NPs (diameter: $13 \pm 2 \text{ nm}$) were synthesized by using citrate as a reducing agent and stabilizer following the previous literature.¹⁹ The prepared Au NPs solution was stable for at least 1 month and used within 2 weeks of its preparation.

Fluorescence Quenching of Dye Molecules by Au NP Enlargement. Fluorescein or rhodamine B ($5 \mu\text{M}$) were separately mixed with HAuCl_4 (0.2 mM) and Au NPs ($0.22 \mu\text{M}$) in a phosphate buffer (10 mM , pH 7.0). To obtain fluorescence profiles and photograph images in Figure 1B and C, $100 \mu\text{M}$

H_2O_2 was added for the reduction of Au ions and the solution was kept at 37°C for 20 min. The fluorescence profile of the resulting solution was measured by using the spectrofluorophotometer RF-5301PC (Shimadzu, Japan) with the excitation wavelength at 492 and 520 nm for fluorescein and rhodamine B, respectively. The inset photographs in Figure 1 were taken with a conventional digital camera under the irradiation of 365 nm through use of a 6 W UV lamp VL-6.LC (Vilber Lourmat, France) in a dark place.

Detection of H_2O_2 and HQ by Measuring Fluorescence Quenching. A growth solution containing fluorescein ($5 \mu\text{M}$), HAuCl_4 (0.2 mM), and Au NPs ($0.22 \mu\text{M}$) was prepared in a 10 mM , pH 7.0 phosphate buffer. H_2O_2 or HQ was added to the growth solution, which was kept at 37°C for 20 min. The fluorescence intensity and the absorbance of the resulting solution were measured by using the spectrofluorophotometer and UV-vis spectrophotometer Biospec-mini (Shimadzu, Japan), respectively. For the transmission electron microscopy (TEM) analysis of Au NPs after the growth reaction, we used a scanning transmission electron microscope HD-2300A (Hitachi, Japan) operating at 200 kV. Samples were prepared by dropping $3 \mu\text{L}$ of each resulting solution on 300-mesh carbon coated copper grids and drying them in a vacuum at room temperature for 3 h.

Fluorescence Quenching by AChE-Mediated Reaction of Au NP Enlargement. AChE ($1 \mu\text{g/mL}$) and fluorescein ($5 \mu\text{M}$) were dissolved in a 10 mM , pH 7.0 phosphate buffer. Acetylthiocholine ($0\text{--}1.6 \mu\text{M}$) was added to the prepared solution for the reaction catalyzed by AChE at 37°C for 10 min. After incubation, HAuCl_4 (0.2 mM) and Au NPs ($0.22 \mu\text{M}$) were introduced to the solution and the mixture was incubated at 37°C for 20 min, and then the fluorescence intensity of the resulting solution was measured with the spectrofluorophotometer.

Acknowledgment. This work was supported by the Korea Science and Engineering Foundation (KOSEF) National Research Laboratory Program (R0A-2008-000-20041-0), the Eco-Technopia 21 Project (010-081-036) from the Ministry of Environment, the Fundamental R&D Program for Core Technology of Materials from the Ministry of Knowledge Economy, and the EEWS Initiative (EEWS0913) from the Office of KAIST, Republic of Korea.

Supporting Information Available: Effect of each reducing agent and growth solution component on fluorescence of fluorescein; time course of fluorescence change during Au NP enlargement in the presence of H_2O_2 , hydroquinone, or acetylthiocholine/acetylcholine esterase. This material is available free of charge via the Internet at <http://pubs.acs.org>.

(19) Grabar, K. C.; Freeman, R. G.; Hommer, M. B.; Natan, M. J. *Anal. Chem.* **1995**, *67*, 735-743.

Effects of Gold Nanoparticles on Fluorescence Polarization and Emission Spectra of Rhodamine 6G Solution

Pattareeya Damrongsak^a, Ekkachai Rammarat^b and Kitsakorn Locharoenrat^c

Physics Department, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand

^apattareeya.da@kmitl.ac.th, ^bgof_t_hey@hotmail.com, ^ckitsakorn.lo@kmitl.ac.th

Keywords: Fluorescence, fluorescence polarization, gold nanoparticles, Rhodamine 6G.

Abstract. Fluorescence polarization and emission spectra of Rhodamine 6G solution with gold nanoparticles have been studied. It is found that the emission intensities tend to be low when the gold nanoparticles are added into the solution partly due to the energy transfer from the Rhodamine 6G to gold nanoparticles. The fluorescence polarization increases as the concentration ratio of the gold and Rhodamine 6G is more than 124 and decreases as the ratio is about 1115. The enhancement and reduction of fluorescence polarization values are understood as the shortening of the fluorescence lifetime and a temperature effect from the heating of gold nanoparticles, respectively.

Introduction

Fluorescence polarization (FP) measurements have long been used as a powerful technique for the analysis of molecular interactions in biological and chemical systems [1-3]. The technique is based on the fact that the degree of polarization of a molecule is related to its rotation arising from Brownian dynamics as show in Fig. 1. When a large molecule is excited by a polarized light, it is slowly rotated and emitted more polarized light. On the other hand, a smaller molecule rotates faster and emit less polarized light. Therefore, the small degree of polarization indicates that the fluorescent molecules move freely in the solution, whereas large degree of polarization presents the molecular complex.

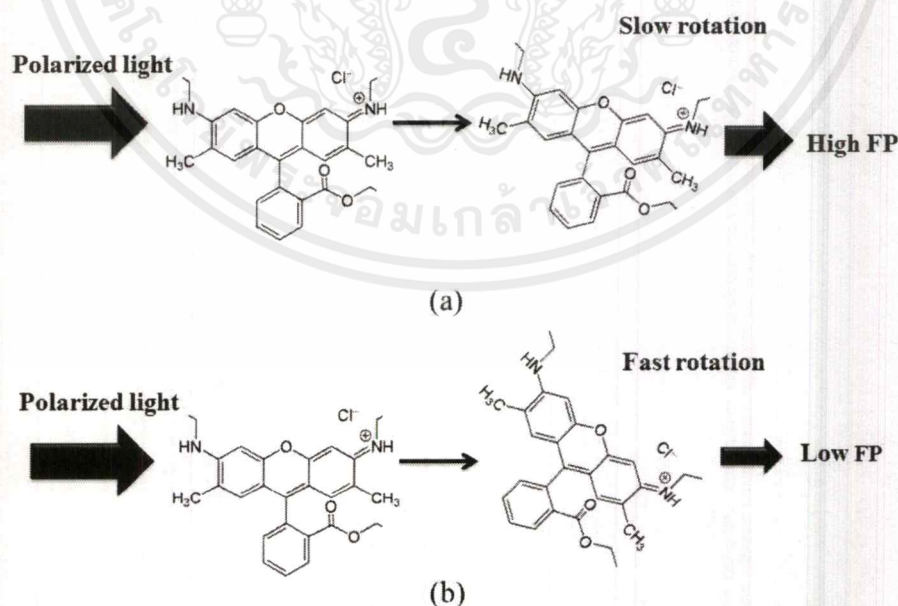


Fig. 1: High fluorescence polarization (a) and low fluorescence polarization (b) are resulted from a slow rotation and a fast rotation of the molecules during the excited state, respectively.

Quantitatively, the FP measurements are typically performed as shown in Fig. 2(a). A monochromatic light passes through a polarizing filter to excite a sample. The fluorescence emission is then measured in both the horizontal and vertical planes. The degree of polarization then calculated as [4],

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$FP = \frac{F_{\parallel} - F_{\perp}}{F_{\parallel} + F_{\perp}} \quad (1)$$

where FP is fluorescence polarization.

F_{\parallel} is fluorescence intensity parallel to the excitation plane.

F_{\perp} is fluorescence intensity perpendicular to the excitation plane.

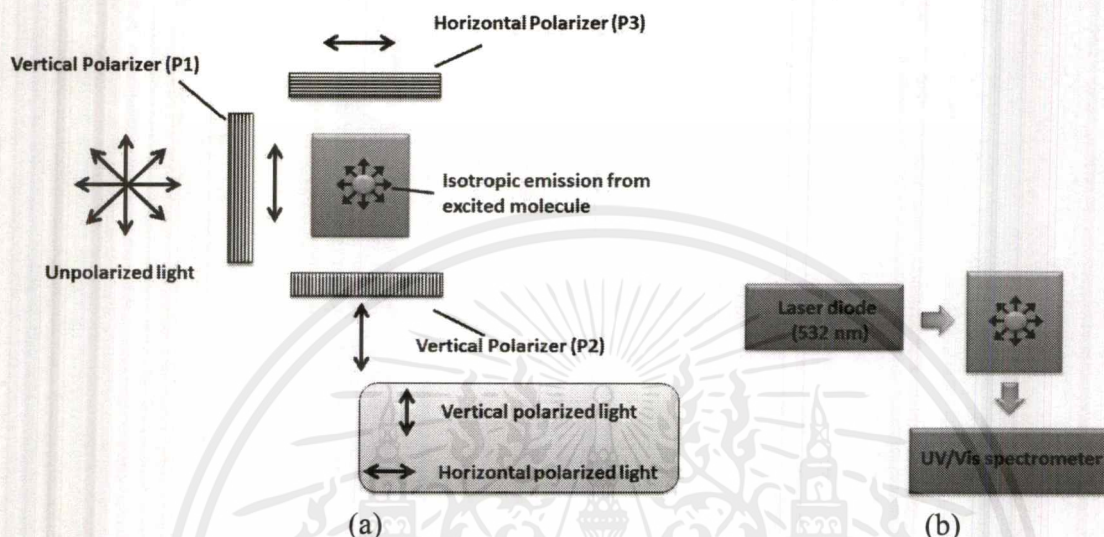


Fig. 2: Optical setup of the fluorescence polarization (a) and emission measurements (b).

In the present study, we measure the optical spectra and fluorescence polarization of Rhodamine 6G (Rh6G) and Au metal nanoparticles (Au MNPs) composite. The Rh6G molecules are widely used as fluorescent probes owing to their excellent photo stability and photo physical properties such as high absorption coefficient and broad fluorescence in the visible region. A large number of publications have been reported that when such a dye solution is mixed with Au MNPs, it possess a strong plasmon field. Its fluorescence emission also might quench or enhance extensively [5-7]. Our study is to better gain insight into this phenomenon and predict the extent of quenching and/or enhancement of fluorescence in terms of FP measurement. The experimental results might be beneficially utilized in the molecular sensing and imaging applications.

Materials and Methods

The Rh6G and Au MNPs ($\phi = 90 \pm 10$ nm) were purchased from Sigma-Aldrich (USA). The Au MNPs were dispersed in deionized (DI) water prior mixing with Rh6G solution (in DI) as shown in Table 1. The concentration of Rh6G and Au MMPs solution was consisted of a constant concentration of Rh6G (5 μ M) and a variety of concentration of Au MNPs (0 - 5.57 mM).

Table 1: Concentrations of Rh6G and Au MNPs in DI water.

Sample #	Rh6G (μ M)	Au MNPs (mM)	Concentration Ratio (Au:Rh6G)
1	5	0	-
2	5	0.62	124
3	5	1.86	372
4	5	3.10	619
5	5	4.34	867
6	5	5.57	1115

Fluorescence spectra were measured at a room temperature based on the schematic as shown in Fig. 2. In Fig. 2(b), 3 mW green laser diode at a wavelength of 532 nm was set up to excite the sample. The emission signal was detected at the right angles to the incident beam. In Fig. 2(a), samples were

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

excited with linear polarized light using the green laser diode together with a dichroic polarizer sheet. The fluorescence intensities parallel (F_{\parallel}) and perpendicular (F_{\perp}) to the excitation plane were simultaneously detected using UV/Vis spectrometers: S1 and S2 respectively. The FP values were calculated using the following equation adopted from Eq. (1),

$$FP = \frac{\int F_{\lambda,\parallel} d\lambda - \int C_{\lambda} F_{\lambda,\perp}}{\int F_{\lambda,\parallel} d\lambda + \int C_{\lambda} F_{\lambda,\perp}} \quad (2)$$

where C_{λ} is a correction factor being used for correcting the detection characteristic from the different spectrometer. The factor was derived from the ratio of the fluorescence intensities obtained from spectrometer S1 (I_{S1}) and S2 (I_{S2}) under an identical condition.

Results and Discussion

Absorption spectrum of Au MNPs and typical fluorescence spectra of the samples are shown in Fig. 3.

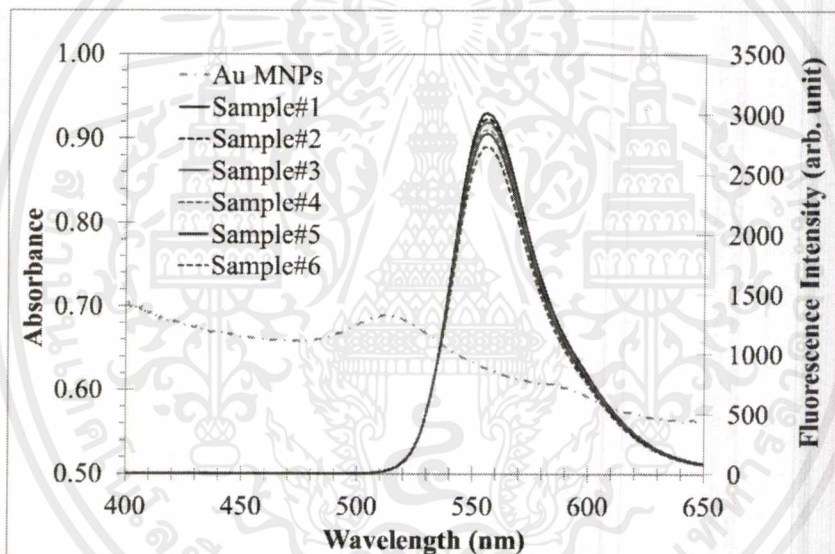


Fig. 3: Absorption spectrum of Au MNPs and fluorescence spectra of the sample#1 - 6.

It is seen that the addition of Au MNPs into the Rh6G solution results in a decrease of the fluorescence intensity. The observation of this emission quenching as the concentration of Au MNPs increases is caused by a nonradiative energy transfer process from the excited fluorophores to the gold nanoparticles. Such a process is similar to those reported in Refs [8-10]. It occurs due to the spectral overlapping between the fluorescence spectrum of Rh6G (donor) and the absorption spectrum of the Au MNPs (acceptor) as shown in Fig. 3. To determine the possibility of fluorescence quenching by the addition of Au MNPs, we compare the fluorescence intensity of a Rh6G solution before and after the addition of Au MNPs. The intensity ratio, R , is determined using Eq. (3),

$$R = \int F_{Rh6G/Au} d\lambda / \int F_{Rh6G} d\lambda \quad (3)$$

The ratio is found in a range of 0.91 - 0.98. The FP values are calculated by using Eq. (2) and plotted as a function of concentration ratio of Rh6G and Au MNPs as shown in Fig. 4. A few change of the FP value is observed as the concentration ratio of the Au MNPs: Rh6G is about 124 (sample# 2). The FP tends to increase as the concentration ratio is increased (sample# 3-5) as the result of a shortening of the fluorescence lifetime of Rh6G molecule in a presence of Au MNPs [11]. However, the FP decreases when the concentration ratio of the Au MNPs:Rh6G is over 867 (sample# 6). This is possible due to Au MNPs act as a heat source [12]. The presence of Au MNPs introduces the

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

enhancement of temperature into the solution system. Such rise temperature causes a faster rotation of the fluorescence molecules.

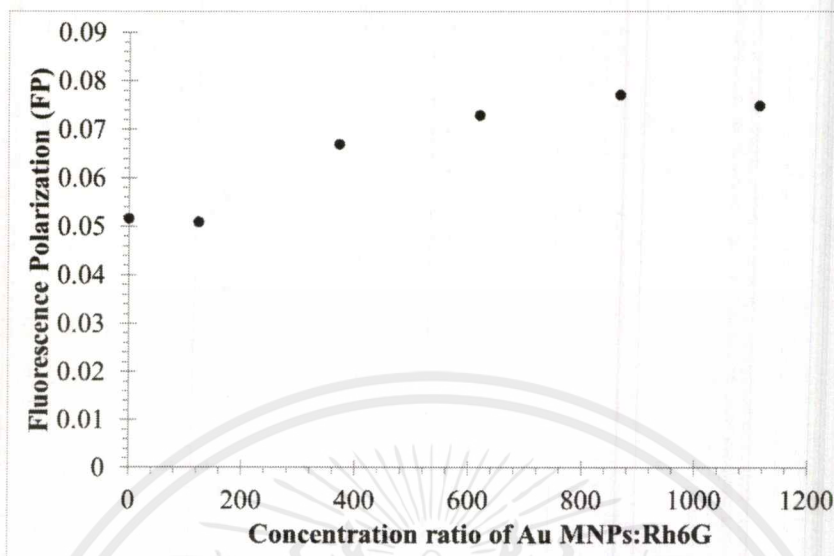


Fig. 4: A relationship between the fluorescence polarization (FP) and concentration ratio of Rh6G and Au MNPs.

A relationship between fluorescence polarization (FP) and fluorescence intensity ratio (R) of sample#2- 5 is plotted as shown in Fig. 5. The fluorescence intensity ratio is slightly decreased when FP values are in between 0.051 and 0.067, and strongly reduced as FP values go beyond 0.067. Therefore, such changes of FP values are able to predict the a certian degree of quenching of the fluorescence signals.

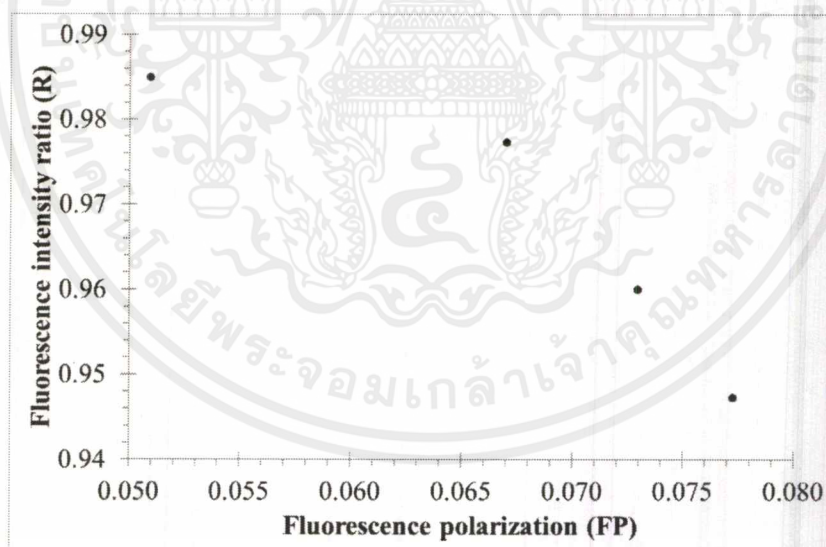


Fig. 5: A relationship between fluorescence polarization (FP) and fluorescence intensity ratio (R) of sample#2- 5.

Conclusion

We have studied the effects of gold nanoparticles on the fluorescence polarization and emission spectra of Rhodamine 6G solution. The experimental results are indicated that the emission intensities are quenched as the gold nanoparticles are filled to the solution partly because of the non-radiative energy transfer from Rhodamine 6G molecules to Au metal nanoparticles. The increase and decrease of the fluorescence polarization values are observed as the concentration of the Au metal nanoparticles is increased. The change of the fluorescence polarization values has been understood as the shortening of the fluorescence lifetime and temperature effect from gold nanoparticles.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

References

- [1] G. Qian and M. Wang: J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 32 (1999), 2462-2466.
- [2] W.A Lea and A. Simeonov: Expert Opinion on Drug Discovery Vol. 6 (2011), 17-32.
- [3] M.D Hall et al.: Methods Appl. Fluoresc. Vol. 4 (2016), 022001.
- [4] D.M. Jameson and J.A. Ross: Chem. Rev. Vol. 110 (2010), 2685–2708.
- [5] W. Zakiah et al: Laser Phys. Vol. 25 (2015), 085001.
- [6] M. Barzan and F. Hajiesmaeilbaigi: Opt. Quant. Electron. Vol. 47 (2015), 3467.
- [7] L. Dong et al.: J. Eur. Opt. Soc. – Rapid Publications Vol. 6 (2011) , 11019.
- [8] E. Dulkeith et al.: Phys. Rev. Lett. Vol. 89 (2002), 20302:1-203002:4.
- [9] Y. Chen, K. Munechika, D.S. Ginger: Nanoletters Vol. 7 (2007), 690-696.
- [10] J. Zhang, R. Badugu, J. R. Lakowicz: Plasmonics Vol. 3(2008), 3-11.
- [11] F. Ammer, A. Penzkofer, P. Weidner: Chemical Physics Vol. 192 (1995), 325-331.
- [12] G. Baffou et al.: Opt. Exp. Vol. 17 (2009), 3291-3298.

