

ผลของซิงค์ไอออนต่อการเรืองแสงของโฟโตพอร์ไฟริน-9 ในแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

EFFECT OF ZINC ION ON FLUORESCENCE OF PHOTOPORPHYRIN-IX IN DENTAL ENAMEL MODEL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2564

KMITL-2021-SC-M-030-049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF ZINC ION ON FLUORESCENCE OF
PHOTOPORPHYRIN-IX IN DENTAL ENAMEL MODEL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER IN APPLIED PHYSICS
DEPARTMENT OF PHYSICS SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2021
KMITL-2021-SC-M-030-049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของซิงค์ไอออนต่อการเรืองแสงของโฟโตพอร์ไฟริน-9 ในแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน EFFECT OF ZINC ION ON FLUORESCENCE OF PHOTOPORPHYRIN-IX IN DENTAL ENAMEL MODEL
ชื่อนักศึกษา	นายกิตติธัชพงษ์ วิชาช่าง
รหัสประจำตัว	62605031
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. กฤษกร โส้เจริญรัตน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและคุณสมบัติทางแสงของแบคทีเรียในช่องปากด้วยแบบจำลองสารอนินทรีย์สำหรับการตรวจสอบร่องรอยการเกิดโรคของฟันผุ โดยงานวิจัยได้แบ่งส่วนของการทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่หนึ่ง ศึกษาความเข้มข้นของ Zn(II) ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเปล่งแสงของ PPIX ในรูปของสารละลายและแบบจำลองชั้นเคลือบฟันด้วยกระบวนการ Drop casting ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้น $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) และ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ให้ค่าการเปล่งแสง ควอนตัมยิวต์สูงสุด ทั้งในรูปของสารละลายและแบบจำลองชั้นเคลือบฟันและความแตกต่างสีระหว่างแบบจำลองชั้นเคลือบฟันและชั้นเคลือบฟันมาตรฐาน การทดลองที่สอง ศึกษาคุณสมบัติทางแสงของความแตกต่างของระดับชั้นของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน ที่ความเข้มข้น $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ร่วมกับ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX พบว่าในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของชั้นฟิล์มชีวภาพส่งผลให้ควอนตัมยิวต์และความแตกต่างสีของภาพถ่ายเรืองแสงเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

คำสำคัญ : ซิงค์ไอออน โฟโตพอร์ไฟริน-9 แบบจำลองชั้นเคลือบฟัน การตรวจสอบโรคฟันผุ

Thesis Title	EFFECT OF ZINC ION ON FLUORESCENCE OF PHOTOPORPHYRIN-IX IN DENTAL ENAMEL MODEL
Student Name	Kittituspong Wichachang
Student ID	62605031
Degree	Master of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Year	2021
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Kitsakorn Locharoenrat

Abstract

This research was aimed to study the efficiency and optical properties of bacteria in oral by inorganic model for verification of dental carries. This work was divided into two experiments. **First experiment** was to study concentration of Zn(II) to increase an fluorescence of PPIX in solution and in enamel model by drop casting process. It was found that $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) and $2.5 \mu\text{M}$ PPIX offered maximum of fluorescence, fluorescence quantum yield in both solution and enamel model and contrast of color of enamel model as compared to enamel standard. **Second experiment** was to study optical properties of different levels of enamel model at $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) and $2.5 \mu\text{M}$ PPIX. It was found that an increased ratio of dental caries was proportional to the fluorescence quantum yield and contrast of color in fluorescence imaging.

Keyword : Zinc ion, Protoporphyrin-IX, Enamel model and Dental caries

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์และงานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาช่วยเหลือ สนับสนุนและได้รับความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน ซึ่งสละเวลามาให้คำแนะนำที่ดีในการทำการทดลอง และเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร. กฤษกร โล้เจริญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษา แนวทางการแก้ไขปัญหาลดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ภัทริยา ดำรงค์ดี ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการทดลอง อุปกรณ์ในการทดลองตลอดจนได้ให้คำแนะนำระหว่างการทดลอง คณะกรรมการสอบงานวิจัย ผศ.ดร.บดินทร์ ดำรงค์ดี ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการ และ ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ เป็นกรรมการในการสอบครั้งนี้ ตลอดจนคณาจารย์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในโครงงานพิเศษนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ นางสาวสุทธิรักษ์ ไพโรจน์ นักศึกษาระดับปริญญาเอก ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำตลอดการทำการทดลอง นางสาวชนิษฐา บัวแก้ว ที่ให้ข้อมูลและความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำในการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ และนางทัศนีย์ คำสามปอนด์ ที่ให้คำปรึกษาตลอดการศึกษาระดับชั้นปริญญาโทในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบคุณพระคุณครอบครัวที่ให้ความรัก ความเอาใจใส่อบรมเสมอมา และกรุณาให้ความช่วยเหลือแนะนำ คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นายกิตติธัชพงษ์ วิชาช่าง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ญ
คำย่อและสัญลักษณ์	ถ
คำนำ	น
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและระเบียบวิจัย	3
1.5 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ฟัน	6
2.1.1 ชนิดและประเภทของฟัน	9
2.1.2 ส่วนประกอบฟัน	10
2.1.3 แร่ธาตุของฟัน	11
2.1.4 สุขภาพในช่องปาก	11
2.1.5 แบคทีเรียและคราบจุลินทรีย์	13
2.1.6 วิธีตรวจและการรักษาโรคของฟัน	18
2.2 แบบจำลองโดยเทคนิคการทำฟิล์ม	23
2.2.1 เทคนิคการทำฟิล์มแบบหยด	23
2.2.2 สารเคมีที่สำหรับทำแบบจำลองฟัน	24
1. Polymethymethacrylate หรือ PMMA	24
2. Dichloromethane หรือ DCM	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
2.2.3 วัสดุสำหรับทำแบบจำลองฟัน	25
2.2.4 ความหนาของฟิล์ม	26
2.3 สารเคมี	27
2.3.1 วัสดุสาร	27
1) ซิงค์ (Zunc)	27
2) อนุภาคนาโนสังกะสีออกไซด์หรือซิงค์ออกไซด์	28
3) ซิงค์คลอไรด์	28
2.3.2 สารละลาย	29
1) กรดไฮโดรคลอริก	29
2) โดเมทิลซัลโฟไซด์	30
3) น้ำปอดประจุ	31
2.4 ทฤษฎีและคุณสมบัติทางแสงของวัสดุสาร	31
2.4.1 หลักการสเปกโตรสโกปี	31
1) ปฏิกิริยาการดูดกลืนแสง	32
2) ปฏิกิริยาการกระเจิงแสง	33
3) ปฏิกิริยาการเรืองแสง	33
2.4.2 ฟลูออเรสเซนส์ควันตัมยิวต์	35
2.5 อุปกรณ์การทดลอง	37
2.5.1 สเปกโตรมิเตอร์	37
2.5.2 กล้องจุลทรรศน์เรืองแสง	37
2.5.3 เครื่องวัดสี	38
2.6 ปริมาณสารสัมพันธ์	41
2.6.1 ความเข้มข้นของสารละลาย	41
2.6.2 ความเป็นกรด-เบส	42
2.7 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	43

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	48
3.2 การเตรียมสารเคมีและระบบวัด	54
3.2.1 กระบวนการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบฟันในรูปของสารละลาย	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
1. การเตรียมโฟโตพอร์ไฟริย-9 PPIX	56
2. การเตรียมซิงค์ไอออน Zn(II)	56
3. การผสมสารประกอบ PPIX และ Zn(II)	57
3.2.2 กระบวนการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบฟันในรูปของฟิล์ม	58
1. การเตรียมฟิล์มชั้นคราบจุนทรีย์	58
2. การเตรียมฟิล์มชั้นเนื้อฟัน	59
3. การเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน	59
3.3.2 ระบบการทดลอง	60
1. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์	60
1) ระบบวัดการดูดกลืนแสง	60
2) ระบบวัดการเปล่งแสง	61
3) เครื่องวัดค่าดัชนีหักเห	62
2) กล้องจุลทรรศน์เรืองแสง	62
3) เครื่องวัดสี	62
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของสารละลาย	65
1) การดูดกลืนแสงของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	65
2) การเปล่งแสงของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	70
3) ควอนตัมยิวของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	73
4.2 ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน	79
1) การดูดกลืนแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ	79
2) การเปล่งแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ	83
3) ควอนตัมยิวของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ	86
4) การวิเคราะห์สีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ	89
4.3 ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงของความหนาของชั้นเคลือบฟัน	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
1) การดูดกลืนแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟีนที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ	94
2) ผลของการเปล่งแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟีนที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ	98
3) ความตัมยิวของแบบจำลองชั้นเคลือบฟีนที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ	102
4) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟีนที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ	104
5) ความแตกต่างของสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟีนที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ	108
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล	
5.1 สรุปผลการวิจัย	125
5.2 ข้อเสนอแนะ	126
อ้างอิง	127
ภาคผนวก	
ภาคผนวก (ก) การคำนวณ	131
ภาคผนวก (ข) คู่มือการมือการใช้เครื่องมือการทดลอง	153
ภาคผนวก (ค) งานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ	192
ภาคผนวก (ง) สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง LED	205
ประวัติผู้วิจัย	บ

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงช่วงอายุของพืชน้ำนม	7
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงช่วงอายุของพืชน้ำ	8
ตารางที่ 2.3 ประเภทของพืชน้ำ	8
ตารางที่ 2.4 สารประกอบแคลเซียมที่พบมากในกระดูกและฟัน	11
ตารางที่ 2.5 แสดงกระบวนการเกิดของโพรโทพอร์ไฟริน 9 (Protoporphyrin-IX)	17
ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของโพรโทพอร์ไฟริน 9 (Protoporphyrin-IX)	18
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของ โพลีเมทิลเมทาอะคริเลต (PMMA)	24
ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติของไดคลอโรมีเทน (DCM)	25
ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของและเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Beta-tri-calcium phosphate)	26
ตารางที่ 2.10 คุณสมบัติสารเคมี	29
ตารางที่ 2.11 คุณสมบัติของกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)	29
ตารางที่ 2.12 คุณสมบัติของไดเมทิลซัลไฟด์ (Dimethyl sulfoxide : DMSO)	30
ตารางที่ 2.13 การเรืองแสงสูงสุดของแบคทีเรียที่การกระตุ้นด้วยแสง 407 nm	46
ตารางที่ 2.14 การกระตุ้นและการเปล่งแสงของคราบจุลินทรีย์	46
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
ตารางที่ 3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	48
ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	52
ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของ Zn(II)	57
ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นของสารประกอบของ PPIX และ Zn(II)	57
ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นสุดท้ายของสารประกอบของ PPIX และ Zn(II)	58
ตารางที่ 3.6 ความเข้มข้นสุดท้ายสำหรับทำฟิล์มชั้นคราบจุลินทรีย์	58
ตารางที่ 3.7 ความหนาของฟิล์มหรือแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน	59
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
ตารางที่ 4.1 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย PPIX และ Zn(II)	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.2 สมบัติการเปล่งแสงของสารละลาย PPIX และ Zn(II)	71
ตารางที่ 4.3 ควอนตัมยิวต์ของสารละลาย PPIX และ Zn(II)	74
ตารางที่ 4.4 ความหนาของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์มเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน 2.00 mm	80
ตารางที่ 4.5 สมบัติการดูดกลืนแสงของ PPIX และ Zn(II) ในแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม	80
ตารางที่ 4.6 สมบัติการเปล่งแสงของ PPIX และ Zn(II) ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม	84
ตารางที่ 4.7 ควอนตัมยิวต์ของ PPIX และ Zn(II) ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม	87
ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์สีของ PPIX และ Zn(II) ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม	89
ตารางที่ 4.9 ความหนาของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์มที่ระดับต่าง ๆ	93
ตารางที่ 4.10 การดูดกลืนแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์มที่ความหนาระดับต่าง ๆ	94
ตารางที่ 4.11 สมบัติการเปล่งแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์มที่ความหนาระดับต่าง ๆ	98
ตารางที่ 4.12 ควอนตัมยิวต์ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์มที่ความหนาระดับต่าง ๆ	102
ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์สีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์มที่ความหนาระดับต่าง ๆ	104
ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแตกต่างสีของภาพถ่ายเรืองแสงแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม	108
ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ค่าสีของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม	111
ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบระดับความเสียหายของฟิล์ม	117
ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าของระดับการสูญเสียฟิล์มในระดัต่าง ๆ	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

รูปที่ 1.1 ฟันและคราบแบคทีเรีย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 2.1	แบคทีเรียและสภาพการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรดของฟัน	6
รูปที่ 2.2	ฟันน้ำนมและฟันแท้	7
รูปที่ 2.3 (ก)	ลักษณะของฟันกราม	8
รูปที่ 2.3 (ข)	ลักษณะของฟันกรามน้อย	9
รูปที่ 2.3 (ค)	ลักษณะของฟันเขี้ยว	9
รูปที่ 2.3 (ง)	ลักษณะของฟันตัด	9
รูปที่ 2.4	โครงสร้างหลักของฟัน	9
รูปที่ 2.5 (ก)	โครงสร้างภายนอกของฟัน	10
รูปที่ 2.5 (ข)	โครงสร้างภายในของฟัน	10
รูปที่ 2.6	สัญลักษณ์องค์การอนามัยโลกในปี ค.ศ. 1994	12
รูปที่ 2.7	กระบวนการเกิดโรคฟันผุ	12
รูปที่ 2.8 (ก)	การเกิดโรคปริทันต์	13
รูปที่ 2.8 (ข)	กระบวนการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์	13
รูปที่ 2.9	รูปร่างของแบคทีเรีย	13
รูปที่ 2.10	ลักษณะของสเตร็ปโตคอคคัส มิวแทนส์ (S.Mutans)	14
รูปที่ 2.11	แสดงกระบวนการสร้างคราบจุลินทรีย์ (Biofilm)	15
รูปที่ 2.12 (ก)	โครงสร้างทางเคมีของ PPIX	16
รูปที่ 2.12 (ข)	สเปกตรัมการเรืองแสงของ PPIX	16
รูปที่ 2.13	กระบวนการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์ประเภท Porphyrin	17
รูปที่ 2.14	การตรวจด้วยตาเปล่า	20
รูปที่ 2.15	การรักษาทางทันตกรรมโดยใช้เลเซอร์	21
รูปที่ 2.16	การใช้เลเซอร์สีฟ้าในทางทันตกรรม	22
รูปที่ 2.17	การตรวจฟันผุด้วยการสแกน Cone beam computed tomography	23
รูปที่ 2.18	เทคนิคการทำฟิล์มแบบ Drop casting	24
รูปที่ 2.19	โครงสร้างโพลีเมทรีนเมตาอะครีเลต (PMMA)	24
รูปที่ 2.20	โครงสร้างของไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane หรือ DCM)	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.21 โครงสร้างแคลเซียมของ (ก) α -TCP	26
รูปที่ 2.21 โครงสร้างแคลเซียมของ (ข) β -TCP	26
รูปที่ 2.22 การแสดงขนาดของฟิล์ม	26
รูปที่ 2.23 ลักษณะของการจัดเรียงอิเล็กตรอนของซิงค์	27
รูปที่ 2.24 (ก) โครงสร้างคริสตัลของ ZnO แบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal)	28
รูปที่ 2.24 (ข) สเปกตรัมการดูดกลืนของ ZnO	28
รูปที่ 2.25 โครงสร้างของซิงค์คลอไรด์	29
รูปที่ 2.26 โครงสร้างลิวิสของกรดไฮโดรคลอริก	30
รูปที่ 2.27 โครงสร้างลิวิสของไดเมทิลซัลโฟไซด์ (Dimethyl sulfoxide : DMSO)	30
รูปที่ 2.28 เรซินที่ดักจับประจุของน้ำ	31
รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ของแสงผ่านตัวอย่างสารละลาย	31
รูปที่ 2.30 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานและการปลดปล่อยพลังงาน	34
รูปที่ 2.31 ความสัมพันธ์ของการดูดกลืนพลังงานและการเปล่งแสง	34
รูปที่ 2.32 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานสำหรับฟลูออเรสเซนซ์	35
รูปที่ 2.33 การทำงานและส่วนประกอบของ UV-VIS Spectrophotometer	37
รูปที่ 2.34 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์	38
รูปที่ 2.35 Color space	39
รูปที่ 2.36 Color chart	39
รูปที่ 2.37 การแสดงค่า Δa^* Δb^*	40
รูปที่ 2.38 สเปกตรัมการเรืองแสงปกติของสารละลายอนุพันธ์ของพอร์ไฟรินต่าง ๆ การกระตุ้น 350 nm ในตัวทำละลายไดเมทิลซัลโฟไซด์	46
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
รูปที่ 3.1 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์	48
รูปที่ 3.2 เส้นใยแก้วนำแสง 0.6 mm	48
รูปที่ 3.3 เส้นใยแก้วนำแสง 0.8 mm	48
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์จับยึด	49
รูปที่ 3.5 แทนวางฟิล์ม	49
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์เชื่อมต่อ LED	49
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์จับยึดคอนเดนเซอร์	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.8 (ก) ไดโอดเปล่งแสงสีม่วง	49
รูปที่ 3.8 (ข) สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีม่วง	49
รูปที่ 3.9 (ก) แหล่งกำเนิดแสงขาว	50
รูปที่ 3.9 (ข) สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงขาว	50
รูปที่ 3.10 ซ้อนตักสาร	50
รูปที่ 3.11 เครื่องซังสาร	50
รูปที่ 3.12 ขวดแก้ว	50
รูปที่ 3.13 ไมโครปิเปตต์และทิป	50
รูปที่ 3.14 เครื่องอัลตราโซนิก	51
รูปที่ 3.15 คิวเวท	51
รูปที่ 3.16 ปีกเกอร์	51
รูปที่ 3.17 กระจกทึบขุ่น	51
รูปที่ 3.18 กระจกสไลด์	51
รูปที่ 3.19 เครื่องวัดสี	51
รูปที่ 3.20 เครื่องเขย่าสาร	52
รูปที่ 3.21 เครื่องวัดความหนา	52
รูปที่ 3.22 Protoporphyrin-IX	52
รูปที่ 3.23 Zinc oxide	52
รูปที่ 3.24 Hydrochloric	52
รูปที่ 3.25 Dimethyl sulfoxide	53
รูปที่ 3.26 Polymethymethacrylate	53
รูปที่ 3.27 Dichloromethane	53
รูปที่ 3.28 Deionization water	53
รูปที่ 3.29 Acetone	53
รูปที่ 3.30 Ethanol	53
รูปที่ 3.31 ภาพรวมการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบพินในรูปของสารละลาย	54
รูปที่ 3.32 ภาพรวมการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบพินในรูปของฟิล์ม	55
รูปที่ 3.33 ระบบวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย	60
รูปที่ 3.34 ระบบวัดการดูดกลืนแสงของฟิล์ม	60
รูปที่ 3.35 ระบบวัดการเปล่งแสงของสารละลาย	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.36 การจัดระบบวัดการเปล่งแสงของฟิล์ม61	60
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
รูปที่ 4.1 แผนภาพแนวทางการศึกษาสมบัติทางแสงของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของงานวิจัย	64
รูปที่ 4.2 แผนภาพสรุปผลการศึกษาสมบัติทางแสงของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในรูปของสารละลายของงานวิจัย	65
รูปที่ 4.3 (ก) กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	66
รูปที่ 4.3 (ข) กราฟแสดงค่าดูดกลืนแสงสูงสุดสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	67
รูปที่ 4.3 (ค) กราฟแสดงค่า Integrated absorbance สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	67
รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงการกระเจิงและการส่งผ่านของแสงเมื่อผ่านสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	68
รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงระดับพลังงาน (Energy level)	68
รูปที่ 4.6 (ก) แผนภาพแสดงการทำปฏิกิริยาของสารประเภทออกโซโครมและโครโมฟอร์	69
รูปที่ 4.6 (ข) แผนภาพแสดงการเกิดปรากฏการณ์ Red shift และ Blue shift	69
รูปที่ 4.7 (ก) กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	71
รูปที่ 4.7 (ข) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Major peak สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	72
รูปที่ 4.7 (ค) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Minor peak สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	72
รูปที่ 4.7 (ง) กราฟแสดงค่า Integrated fluorescence สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	73
รูปที่ 4.8 (ก) กราฟแสดงค่าดัชนีหักเหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	74
รูปที่ 4.8 (ข) กราฟแสดงค่าควอนตัมยิวต์สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (Electron transition)	76
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ค่าการดูดกลืนและการเปล่งแสงที่ตำแหน่งพลังงานและความยาวคลื่นกับความเข้มข้นของสารละลาย	77
รูปที่ 4.11 (ก) แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของ Zn(II) และ PPIX ช่วง Enhancement	78
รูปที่ 4.11 (ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของ Zn(II) และ PPIX ช่วง Quenching	78
รูปที่ 4.12 แผนภาพสรุปผลการศึกษาสมบัติทางแสงของ 2.5 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในรูปขอแบบจำลองชั้นเคลือบฟันของงานวิจัย	79
รูปที่ 4.13 (ก) กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของสารละลาย 2.50 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 2.00 mm.	81
รูปที่ 4.13 (ข) กราฟแสดงค่าดูดกลืนแสงสูงสุดสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 2.00 mm.	81
รูปที่ 4.13 (ค) กราฟแสดงค่า Integrated absorbance สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 2.00 mm.	82
รูปที่ 4.14 (ก) กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของสารละลาย 2.50 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 2.00 mm.	84
รูปที่ 4.14 (ข) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Major peak สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 2.00 mm.	85
รูปที่ 4.14 (ค) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Minor peak สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 2.00 mm.	85
รูปที่ 4.14 (ง) กราฟแสดงค่า Integrated fluorescence สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 2.00 mm.	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าควอนตัมยิวต์สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	88
รูปที่ 4.16 (ก) ความแตกต่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน	89
รูปที่ 4.16 (ข) ความสว่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน	90
รูปที่ 4.16 (ค) ความเป็นสีแดงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน	90
รูปที่ 4.17 (ก) ความสัมพันธ์ของการทดลองในรูปของสารละลายและแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน	91
รูปที่ 4.17 (ข) การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมระหว่างการเติมและไม่เติม Zn(II) ลงใน PPIX ใน แบบจำลองชั้นเคลือบฟัน	92
รูปที่ 4.18 แผนภาพสรุปผลการศึกษาศักยภาพทางแสงของ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับชั้นต่าง ๆ	93
รูปที่ 4.19 แผนภาพแสดงการเดินทางของแสงเมื่อผ่านแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน	95
รูปที่ 4.20 (ก) กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่น ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	95
รูปที่ 4.20 (ข) กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพของ แบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	96
รูปที่ 4.20 (ค) กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความหนาของชั้นเนื้อฟันของ แบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	96
รูปที่ 4.20 (ง) กราฟแสดงค่า Integrated absorbance สัมพันธ์กับความหนาของ ชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	97
รูปที่ 4.20 (จ) กราฟแสดงค่า Integrated absorbance สัมพันธ์กับความหนาของ ชั้นเนื้อฟันของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	97
รูปที่ 4.21 (ก) กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของ แบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	99

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.21 (ข) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Major peak สัมพันธ์กับ ชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	99
รูปที่ 4.21 (ค) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Minor peak สัมพันธ์กับ ชั้นเนื้อฟิล์มของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	100
รูปที่ 4.21 (ง) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Major peak สัมพันธ์กับ ชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	100
รูปที่ 4.21 (จ) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Minor peak สัมพันธ์กับ ชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	101
รูปที่ 4.21 (ฉ) กราฟแสดงค่า Integrated fluorescence ของ Major peak สัมพันธ์กับชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	101
รูปที่ 4.21 (ฅ) กราฟแสดงค่า Integrated fluorescence ของ Minor peak สัมพันธ์กับชั้นเนื้อฟันของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	102
รูปที่ 4.22 (ก) กราฟแสดงค่าควอนตัมยิวต์สัมพันธ์กับชั้นฟิล์มชีวภาพของ แบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	103
รูปที่ 4.22 (ข) กราฟแสดงค่าควอนตัมยิวต์สัมพันธ์กับเนื้อฟันของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	103
รูปที่ 4.23 (ก) ความแตกต่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ที่ระดับชั้นฟิล์มชีวภาพแตกต่างกัน	105
รูปที่ 4.23 (ข) ความแตกต่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ที่ระดับชั้นเนื้อฟันที่แตกต่างกัน	105
รูปที่ 4.23 (ค) ความสว่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ที่ระดับชั้นฟิล์มชีวภาพแตกต่างกัน	106

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.23 (ง) ความสว่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ที่ระดับชั้นเนื้อฟันที่แตกต่างกัน	106
รูปที่ 4.23 (จ) ความเป็นสีแดงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ที่ระดับชั้นฟิล์มชีวภาพแตกต่างกัน	107
รูปที่ 4.23 (ฉ) ความเป็นสีแดงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ที่ระดับชั้นเนื้อฟันที่แตกต่างกัน	107
รูปที่ 4.24 (ก) ความแตกต่างสีของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน ที่ระดับความหนาต่าง ๆ	109
รูปที่ 4.24 (ข) ความแตกต่างสีของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ ระดับความหนาชั้นฟิล์มชีวภาพต่าง ๆ	109
รูปที่ 4.24 (ค) ความแตกต่างสีของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ ระดับความหนาชั้นเนื้อฟันต่าง ๆ	110
รูปที่ 4.24 (ง) Integrated contrast ของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ ระดับความหนาชั้นฟิล์มชีวภาพต่าง ๆ	110
รูปที่ 4.24 (จ) Integrated contrast ของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ ระดับความหนาชั้นเนื้อฟันต่าง ๆ	111
รูปที่ 4.25 (ก) Gray scale ของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ ระดับความหนาชั้นฟิล์มชีวภาพต่าง ๆ	112
รูปที่ 4.25 (ข) Gray scale ของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ ระดับความหนาชั้นเนื้อฟันต่าง ๆ	112
รูปที่ 4.25 (ค) ค่าความเป็นสีแดงของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ ระดับความหนาชั้นฟิล์มชีวภาพต่าง ๆ	113
รูปที่ 4.25 (ง) ค่าความเป็นสีแดงของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ ระดับความหนาชั้นเนื้อฟันต่าง ๆ	113
รูปที่ 4.26 (ก) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 0.33	114
รูปที่ 4.26 (ข) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 0.60	114
รูปที่ 4.26 (ค) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 1.00	115
รูปที่ 4.26 (ง) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 1.67	115
รูปที่ 4.26 (จ) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 3.00	116
รูปที่ 4.26 (ฉ) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 7.00	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบการเปล่งแสงของ Major และ Minor peak (enamel = 1.00)	121
รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ภาพถ่ายกับระดับการสูญเสียฟันของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน	123
รูปที่ 4.29 ผลการทดลองภาพรวมของงานวิจัย	124



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์หน่วย	คำอธิบาย
A	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารตัวอย่าง
A_R	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารอ้างอิง
b	การดูดกลืนแสงของความยาวคลื่นที่ได้รับการกระตุ้น
C	Concentration of solution
C_1	ความเข้มข้นเริ่มต้นในหน่วยโมลาร์ (M)
C_2	ความเข้มข้นสุดท้ายในหน่วยโมลาร์ (M)
Ca	Calcium
cm	Centimeter
CIE	International Commission on Illumination
DCM	Dichloromethane
DI	Deionized water
DMSO	Dimethyl sulfoxide
g	กรัม
g/l	กรัม/ลิตร
mg	มิลลิกรัม
ml	Milliliter
HA	Hydroxyapatite
HCL	Hydrochloric acid
IR	Infrared
I	Intensity of output light
I_0	Intensity of input light
I_R	พื้นที่ได้กราฟความเข้มแสงของการเปล่งแสงของสารอ้างอิง
k_{ic}^S	แปลงผันจากระดับพลังงาน $S_1 - S_0$ และไม่ปลดปล่อยโฟตอน
k_{isc}	ลดระดับพลังงานข้ามสถานะและไม่มีการปลดปล่อยโฟตอน
k_{nr}	ไม่ปลดปล่อยโฟตอน
k_{nr}^T	แปลงผันภายในระดับพลังงาน $T_1 - S_0$ และไม่ปลดปล่อยโฟตอน
k_r	ปลดปล่อยโฟตอน
k_r^S	ปลดปล่อยโฟตอนจากระดับพลังงาน $S_1 - S_0$ หรือปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์หน่วย	คำอธิบาย
k_r^T	ปลดปล่อยโฟตอนในระดับพลังงาน $T_1 - S_0$ หรือเรียกว่าฟอสฟอรัสเซนต์
LED	Light emitting diode
M	Molar
m_w	น้ำหนักโมเลกุลหรือมวลโมเลกุล (g/mol)
m_{Solute}	มวลตัวถูกละลาย (g)
m_{Solvent}	มวลตัวทำละลาย (g)
n	โมลอะตอม (mol)
n	ค่าดัชนีหักเหแสงของสารตัวอย่าง
n_R	ค่าดัชนีหักเหแสงของสารอ้างอิง
nm	Nanometer
P	Phosphorus
<i>pH</i>	ค่าแสดงความเป็นกรดเบส 1-14
PMMA / $(C_5H_8O_2)_n$	Polymethymethaacrylate
PPIX / $C_{34}H_{34}N_4O_4$	Protoporphyrin-ix
RGB	Red Green Blue
T	Transmittance
TCP / $Ca_3(PO_4)_2$	Tri-calcium phosphate
UV	Ultra violet
V	มวลตัวถูกละลาย (L)
V_1	ปริมาตรเริ่มต้นในหน่วยลิตร (L)
V_2	ปริมาตรสุดท้ายในหน่วยลิตร (L)
VIS	Visible
Zn	Zinc
ZnCl	Zinc chloride
ZnO	Zinc oxide
Zn(II)	Zinc ion
[]	Concentration
$[H_3O^+]$	ความเข้มข้นของกรดแก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์หน่วย	คำอธิบาย
α	ค่าคงที่ของจำนวนโฟตอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา
α -TCP	Alpha-tri-calcium phosphate
β	ค่าคงที่ของจำนวนโฟตอนที่ถูกดูดกลืน
β -TCP / $\text{Ca}_3\text{O}_8\text{P}_2$	Beta-tri-calcium phosphate
ϵ	Molar extinction coefficient
μg	ไมโครกรัม
μm	Micrometer
ρ	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (g/L)
λ	Wavelength
$\Phi_{F(X)}$	ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารตัวอย่าง
$\Phi_{F(R)}$	ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในระดับชั้นปริญญาโท เรื่องผลของซิงค์ไอออนต่อการเรืองแสงของโฟโตพอร์ไฟริน-9 ในแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน (EFFECT OF ZINC ION ON FLUORESCENCE OF PHOTOPORPHYRIN-IX IN DENTAL ENAMEL MODEL) เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการเรืองแสง PPIX และภาพความแตกต่างของฟันที่พบและไม่พบแบคทีเรีย โดยอาศัยหลักการทางแสง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการตรวจสอบทางทันตกรรมในการระบุโรคฟันผุ และระดับของโรคฟันผุ ในเนื้อหาของงานวิจัยนี้ได้อธิบายการเตรียมสารละลายและแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน อาศัยหลักการทำฟิล์มแบบ Drop casting เพื่อทำแบบจำลองกลุ่มของแบคทีเรียขึ้นเป็น Biofilm model โดยที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันและไม่เป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต ซึ่งอาศัยหลักการวิเคราะห์เชิงสี (Color RGB analysis) หลักการสเปกโตรสโกปี (Spectroscopy) และหลักการควอนตัมยิวต์ (Quantum yield) เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของ Zn(II) ที่ทำให้ประสิทธิภาพการเรืองแสงของสารอินทรีย์สูงสุดและเกิดภาพได้ชัดที่สุด ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านทันตกรรมเพื่อตรวจตำแหน่งของแบคทีเรียที่อยู่บนผิวของฟันจริง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษา หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้

นายกิตติพงษ์ วิชาช่าง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ฟัน (Teeth) เป็นอวัยวะในช่องปากที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ทำหน้าที่ตัด ขบ และบดเคี้ยวอาหารให้มีขนาดที่เล็กลง เพื่อส่งต่อสู่ระบบการย่อยอาหารที่สมบูรณ์ โดยโครงสร้างของฟันแบ่งออกเป็น โครงสร้างภายนอก ได้แก่ ตัวฟันและรากฟัน และโครงสร้างภายใน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นสามชั้นคือ ชั้นนอก ได้แก่ ชั้นเคลือบฟัน (Enamel) มีองค์ประกอบส่วนใหญ่ร้อยละ 70 โดยประมาณเป็น แคลเซียม (Calcium) และฟอสเฟส (Phosphate) และเคลือบรากฟัน (Cementum) ชั้นกลาง ได้แก่ ชั้นเนื้อฟัน (Dentine) และชั้นใน ได้แก่ ชั้นเนื้อเยื่อในโพรงฟัน (Dental pulp) [1-3]

ปัญหาสุขภาพในช่องปากที่สำคัญและมีความร้ายแรงต่อฟัน คือโรคฟันผุ (Caries) [4-5] เกิดจากสภาวะที่ฟันมีการสูญเสียชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน ทำให้เกิดเป็นหลุมโพรง ซึ่งถูกอธิบายการเกิดโรคนี้ว่า สารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) อาทิ แป้งและน้ำตาล จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่รวมกลุ่มกันอยู่ที่บริเวณผิวของฟัน เป็นลักษณะของคราบจุลินทรีย์ (Biofilm) ทำให้เกิดเป็นกรด ($\text{pH} < 5.5$) กรดจะทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุที่อยู่ในฟัน ทำให้สูญเสียแร่ธาตุออกไป (Demineralization) หากสภาวะความเป็นกรดนี้เกิดขึ้นซ้ำ ๆ อย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้ชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟันหลุดออกไป [4-6]

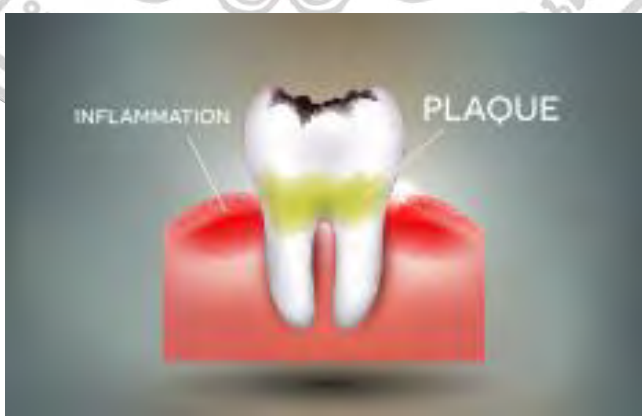
จุลินทรีย์ที่พบภายในช่องปากมีหลายชนิด แต่ชนิดที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคฟันผุ คือเชื้อ Streptococci Mutans และ Lactobacilli [6-9] จากงานวิจัยมีการศึกษาเชื้อแบคทีเรียในช่องปากมีคุณสมบัติออโตฟลูออเรสเซนส์ (Autofluorescence) ที่มีความยาวคลื่นแสงเฉพาะ เกิดจากฟลูออโรฟอร์ (Fluorophore) ที่มีอยู่ในเชื้อแบคทีเรีย นั่นคือ โพรโตพอร์ไฟริน-9 (Protoporphyrin IX หรือ PPIX) [10-14] ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์อยู่ในกลุ่มโมเลกุลของ พอร์ไฟรินที่มีขนาดเล็ก (Macromolecules Porphyrin) และมีคุณสมบัติทางแสง กล่าวคือ คุณสมบัติการดูดกลืนแสงมีทั้งหมด 5 ความยาวคลื่น แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรก (Soret band) มีความยาวคลื่นเดี่ยวอยู่ที่ประมาณ 400 นาโนเมตร และช่วงที่สอง (Q band) ความยาวคลื่นประมาณ 450 ถึง 700 นาโนเมตร และหากให้พลังงานกระตุ้นในย่านแสงสีม่วง (Violet spectra) จะพบคุณสมบัติการเรืองแสงระหว่างช่วงความยาวคลื่น 600-700 นาโนเมตร [7-18]

ในทางทันตกรรมนำคุณสมบัติการเรืองแสงดังกล่าวข้างต้น เพื่อระบุตำแหน่งของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคฟันผุ ในปัจจุบันการทำแบบจำลองคราบจุลินทรีย์ (Biofilm model) คือ การจำลองตำแหน่งของกลุ่มแบคทีเรียที่รวมกันเป็นคราบจุลินทรีย์นี้ เป็นที่นิยมในงานทางทันตกรรม (Dental)

และวิศวกรรมทางทันตกรรม (Engineering for dentistry) โดยจำลองการเกิดคราบจุลินทรีย์ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อให้เกิดโรคฟันผุ เพื่อศึกษาคราบแบคทีเรียที่เกาะอยู่บริเวณผิวของฟัน โดยใช้วัสดุ เบต้า-ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Beta-tri-calcium phosphate) ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของกระดูกและฟัน วัสดุชนิดนี้จึงนำมาจำลองของชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน ร่วมกับคุณสมบัติทางแสงของแบคทีเรียที่พบบริเวณผิวของฟัน และมีการพัฒนาคุณสมบัติทางแสงโดยอาศัยคุณสมบัติของไอออนโลหะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรืองแสง ไอออนของโลหะ (Metal ion) คือสารประกอบที่ถูกกระตุ้นแล้วแตกตัวเป็นอะตอมที่มีประจุ สามารถให้และรับอิเล็กตรอนได้ ไอออนของโลหะ ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการทำปฏิกิริยาต่อเซลล์ การรักษาโรคและการสร้างภาพทางชีวภาพ โลหะไอออนที่ถูกแพร่หลายและนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ ไอออนของสังกะสี หรือซิงค์ไอออน (Zinc ion หรือ Zn(II)) ซึ่งพบมากกว่า 300 ชนิดในเอนไซม์ ทำหน้าที่ในการสร้างหรือทำลายโปรตีนและพอร์ไฟรินในจุลินทรีย์ (Microorganism) [19-21]

ในโครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติทางแสงของโลหะไอออนที่แตกตัวจากอนุภาคนาโน เพื่อนำมาพัฒนาประสิทธิภาพการตรวจสอบตำแหน่งแบคทีเรียในช่องปากที่อยู่บริเวณผิวฟัน โดยอาศัยการรวมกลุ่มของแบคทีเรียเป็นคราบจุลินทรีย์ อาศัยหลักการทำให้ฟิล์มแบบ Drop casting เพื่อทำแบบจำลองกลุ่มของแบคทีเรียขึ้นเป็น Biofilm model โดยที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันและไม่ใช่เป็นพิษต่อเซลล์สิ่งมีชีวิตของ ZnO ละลายในกรดเพื่อแตกตัวเป็น Zn(II) และทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ PPIX เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเรืองแสง และความแตกต่างของฟิล์มที่แสดงถึงความหนาของเนื้อฟันที่เสียหาย ซึ่งอาศัยหลักการวิเคราะห์เชิงสีของสี (Color RGB analysis) หลักการสเปกโตรสโกปี (Spectroscopy) และหลักการควอนตัมยิวต์ (Quantum yield) เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของ Zn(II) ที่ทำให้ประสิทธิภาพการเรืองแสงของสารอินทรีย์สูงสุด และเกิดภาพได้ชัดที่สุด ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านทันตกรรมเพื่อตรวจตำแหน่งของแบคทีเรียที่อยู่บนผิวของฟันจริง



รูปที่ 1 ฟันและคราบแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เตรียม Zn(II) จาก ZnO ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเรืองแสงของ โฟโตพอร์ไฟริน-9 (Protoporphyrin IX หรือ PPIX)
2. เปรียบเทียบสมบัติทางแสงของสารประกอบ Zn(II) และ PPIX และวิเคราะห์สภาพพื้นผิวนำร่องในช่องปาก

1.3 ขอบเขตโครงการวิจัย

1. เตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบฟันจาก Zn(II) และ PPIX ด้วยวิธี Drop casting
2. ศึกษาสมบัติทางแสงด้วยเครื่อง Spectrometer
3. ศึกษาสมบัติทางแสงของการสร้างภาพชีวภาพด้วยเครื่อง Fluorescence microscope
4. ศึกษาความต่างสี ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันเพื่อนำไปวิเคราะห์สภาพพื้นผิวนำร่องในช่องปาก ด้วยเครื่อง Colorimeter

1.4 ขั้นตอนและระเบียบการวิจัย

- ขั้นตอนที่ 1. ศึกษาองค์ประกอบของฟันและสาเหตุของการเกิดโรคเรื้อรังในช่องปาก
- ขั้นตอนที่ 2. ศึกษาคุณสมบัติทางแสงของฟันและแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคในช่องปาก
- ขั้นตอนที่ 3. ศึกษาทฤษฎีและทบทวนบทความวิจัยที่เกี่ยวกับการเกิดโรคของฟัน การตรวจสอบตำแหน่งของแบคทีเรียซึ่งก่อให้เกิดโรค ศึกษาผลคุณสมบัติทางเคมีทางกายภาพ และผลกระทบของ Zn(II) ภายใต้เงื่อนไขไม่ส่งผลต่อร่างกาย และหลักการทำแบบจำลองคราบจุลินทรีย์ (Biofilm model) ด้วยหลักการ Drop casting โดยอาศัยหลักการแสงเชิงฟิสิกส์ในการตรวจสอบ เช่น การตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) การเรืองแสง (Fluorescence) ควอนตัมยิวด์ (Quantum yield) และความแตกต่างของเฉดสี (Color RGB)
- ขั้นตอนที่ 4. ศึกษาหลักการเตรียมความเข้มข้น การทำแบบจำลองไอโอฟิล์ม การใช้เครื่องมือทางกายภาพและเครื่องมือวัดคุณสมบัติทางแสง อาทิ สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer) เครื่องวัดสี (Colorimeter)
- ขั้นตอนที่ 5. ออกแบบการทดลองให้สอดคล้องกับหลักการเชิงฟิสิกส์
- ขั้นตอนที่ 6. จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์บทที่ 1-3 เอกสารประกอบการสอบหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ และสอบหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์
- ขั้นตอนที่ 7. เตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และทำการทดลองในรูปสารละลายเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการทดลอง ตลอดจนวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนที่ 8. เตรียมแบบจำลองฟิล์มที่ความเข้มข้นที่ดีที่สุด โดยฟิล์มมีความหนาแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับชั้นเคลือบพื้น และวิเคราะห์คุณสมบัติทางแสง
- ขั้นตอนที่ 9. ตรวจสอบความถูกต้อง และรวบรวมผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล
- ขั้นตอนที่ 10. จัดทำและเผยแพร่วารสารทางวิชาการ
- ขั้นตอนที่ 11. จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์บทที่ 4-5 เอกสารประกอบการสอบปกป้องวิทยานิพนธ์ และสอบปกป้องวิทยานิพนธ์
- ขั้นตอนที่ 12. ส่งเล่มฉบับที่สมบูรณ์ให้แก่อาจารย์ที่ปรึกษาและคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.5 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนที่	ปีการศึกษา 2562 ระยะเวลา (เดือน)											
	ภาคการศึกษาที่ 1					ภาคการศึกษาที่ 2						
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1												
2												
3												
4												
5												
ขั้นตอนที่	ปีการศึกษา 2563 ระยะเวลา (เดือน)											
	ภาคการศึกษาที่ 1					ภาคการศึกษาที่ 2						
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
6												
7												
8												
9												
10												
ขั้นตอนที่	ปีการศึกษา 2564 ระยะเวลา (เดือน)											
	ภาคการศึกษาที่ 1											
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.							
11												
12												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

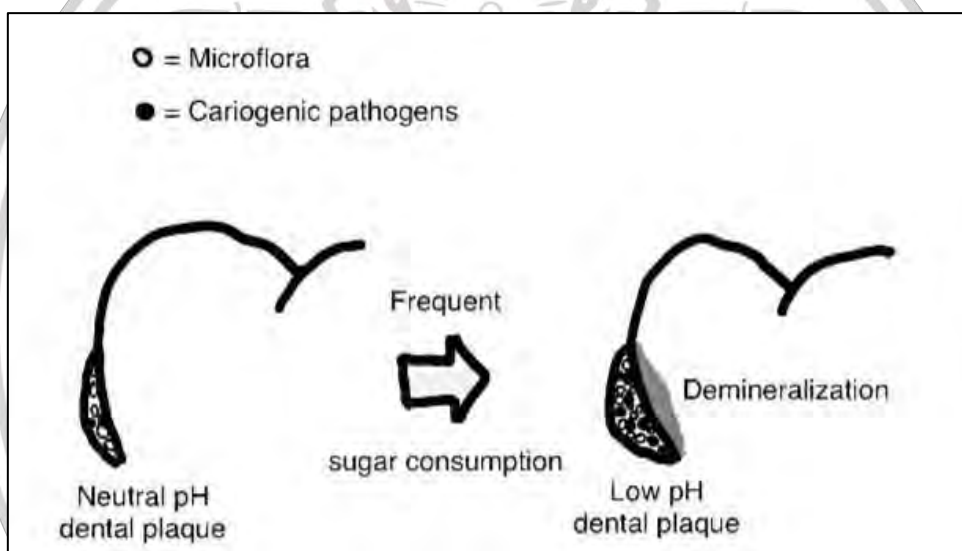
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจหลักการของพื้น เทคนิคและวิธีการตรวจสอบแบคทีเรียในช่องปาก ด้วยหลักการเชิงฟิสิกส์ อาทิ หลักการสเปกโตรสโกปี (Spectroscopy) หลักการความแตกต่างของสี (Color analysis) หลักการควอนตัมยิวต์ (Quantum yield) และสามารถใช้อุปกรณ์ทางแสงเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการเรืองแสงได้
2. สามารถเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ได้ อาทิ การเตรียมโลหะไอออน ร่วมกับ สารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ (Zn(II) และ PPIX)
3. เข้าใจหลักการและสามารถทำแบบจำลองคราบจุลินทรีย์หรือคราบแบคทีเรีย (Biofilm model) ด้วยการ Drop casting ได้
4. สามารถอธิบายทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของสาร และอธิบายถึงปรากฏการณ์การเรืองแสงของสารที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ได้
5. สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเรืองแสง ที่มีความเข้มข้นของ Zn(II) ที่แตกต่างกันได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มของแบคทีเรียที่รวมกันอยู่เป็นลักษณะคราบจุลินทรีย์ เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคฟันผุ ในทางทันตกรรมมีเทคนิคในการตรวจสอบคราบจุลินทรีย์ดังกล่าว โดยอาศัยคุณสมบัติการเรืองแสงของจุลินทรีย์ที่อยู่บนผิวฟัน วิธีการดังกล่าวถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรืองแสงซึ่งสัมพันธ์กับความชัดของภาพที่แสดงถึงตำแหน่งของกลุ่มแบคทีเรียที่อยู่บริเวณชั้นเคลือบฟัน เนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติของวัสดุสารเคมี หลักการและทฤษฎี ตลอดจนการรวบรวมบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาประสิทธิภาพการเรืองแสงของคราบจุลินทรีย์ (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 แบคทีเรียและสภาพการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรดของฟัน

2.1 ฟัน (Teeth)

2.1.1 ชนิดและประเภทของฟัน

ฟันของมนุษย์โดยทั่วไปแล้วฟันแบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่ ฟันน้ำนมและฟันแท้ และสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภทคือ ฟันกราม ฟันกรามน้อย ฟันเขี้ยวและฟันตัด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ชนิดของฟัน [1-3]

1.1 ฟันน้ำนม คือส่วนของกระดูกที่เริ่มสร้างหน่อฟันในขากรรไกรและมีการสะสมแร่ธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัสที่มีส่วนช่วยให้แข็งแรงขึ้นมาในเดือนที่ 6 ของครรภ์มารดาและทยอยงอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นมา มักจะแสดงให้เห็นเป็นฟันชุดแรกในช่วงวัยเริ่มแรกของชีวิต มีจำนวนทั้งหมด 20 ซี่ และหลุดร่วงออกไปตามช่วงอายุดังตารางที่ 2.1 และแสดงลักษณะดังรูปที่ 2.2

1.2 ฟันแท้ คือส่วนของกระดูกที่ขึ้นมาแทนที่ฟันน้ำนมที่หลุดออกไป ขึ้นในช่วงอายุที่แตกต่างกัน มีรูปร่างและขนาดที่ต่างกัน แต่ละซี่มีหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไป ดังตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงช่วงอายุของฟันน้ำนม

ตำแหน่ง	ชนิดของฟัน	จำนวนซี่	ช่วงอายุ	
			ฟันเริ่มขึ้น	ฟันเริ่มหลุด
ฟันแถวบน	ฟันตัดหน้าซี่กลาง (Central incisor)	2	8-12 เดือน	6-7 ปี
	ฟันตัดหน้าซี่ข้าง (Lateral incisor)	2	9-13 เดือน	7-8 ปี
	ฟันเขี้ยว (Canine หรือ Cuspid)	2	16-22 เดือน	10-12 ปี
	ฟันกรามซี่แรก (First molar)	2	13-19 เดือน	9-11 ปี
ฟันแถวล่าง	ฟันตัดหน้าซี่กลาง (Central incisor)	2	6-10 เดือน	6-7 ปี
	ฟันตัดหน้าซี่ข้าง (Lateral incisor)	2	10-16 เดือน	7-8 ปี
	ฟันเขี้ยว (Canine หรือ Cuspid)	2	17-23 เดือน	9-12 ปี
	ฟันกรามซี่แรก (First molar)	2	14-18 เดือน	9-11 ปี
	ฟันกรามซี่ที่สอง (Second molar)	2	23-31 เดือน	10-12 ปี



รูปที่ 2.2 ฟันน้ำนมและฟันแท้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงช่วงอายุของฟันแท้

ตำแหน่ง	ชนิดของฟัน	จำนวนซี่	ช่วงอายุ	
			ฟันเริ่มขึ้น	ฟันเริ่มหลุด
ฟันแถวบน	ฟันตัดหน้าซี่กลาง (Central incisor)	2	7-8 ปี	ตามการใช้ งานและดูแล รักษา สุขภาพใน ช่องปาก
	ฟันตัดหน้าซี่ข้าง (Lateral incisor)	2	8-9 ปี	
	ฟันเขี้ยว (Canine หรือ Cuspid)	2	11-12 ปี	
	ฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง (First molar)	2	10-11 ปี	
	ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง (Second molar)	2	10-12 ปี	
	ฟันกรามใหญ่ซี่ที่หนึ่ง (First molar)	2	6-7 ปี	
	ฟันกรามใหญ่ซี่ที่สอง (Second molar)	2	12-13 ปี	
	ฟันกรามใหญ่ซี่ที่สาม (Second molar)	2	17-21 ปี	
ฟันแถวล่าง	ฟันตัดหน้าซี่กลาง (Central incisor)	2	6-7 ปี	
	ฟันตัดหน้าซี่ข้าง (Lateral incisor)	2	7-8 ปี	
	ฟันเขี้ยว (Canine หรือ Cuspid)	2	9-10 ปี	
	ฟันกรามน้อยซี่ที่หนึ่ง (First molar)	2	10-12 ปี	
	ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง (Second molar)	2	11-12 ปี	
	ฟันกรามใหญ่ซี่ที่หนึ่ง (First molar)	2	6-7 ปี	
	ฟันกรามใหญ่ซี่ที่สอง (Second molar)	2	11-13 ปี	
	ฟันกรามใหญ่ซี่ที่สาม (Second molar)	2	17-21 ปี	

2. ประเภทของฟัน [1-3]




หน้าที่หลักของฟันคือการตัด บด เคี้ยวอาหารให้มีขนาดเล็กลงเพื่อส่งต่อไปยังระบบย่อยอาหาร ฟันมีทั้งหมด 4 ประเภท โดยแต่ละประเภทของฟันทำหน้าที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.3 และลักษณะประเภทของฟันดังรูปที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ประเภทของฟัน

ประเภทของฟัน	ลักษณะและหน้าที่ของฟัน	รูปลักษณะ
1. ฟันกราม (Molar)	<ul style="list-style-type: none"> มีหน้าตัดกว้างกว่าฟันกรามน้อย ใช้บดเคี้ยวอาหารเช่นกัน 	 <p>หน้าตัดแบ่งเป็น 4 หรือ 5 ยอด</p> <p>รากฟันมี 2 หรือ 3 ราก</p> <p>รูปที่ 2.3 (ก)</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

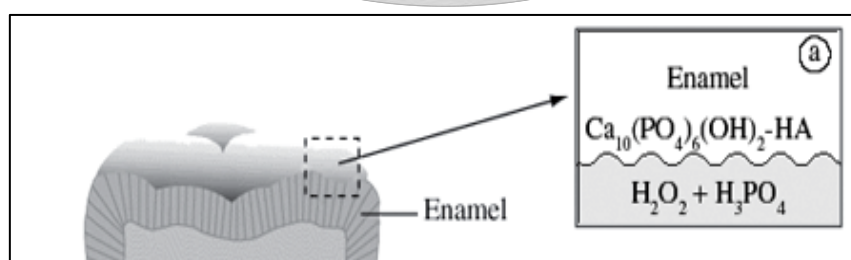
ตารางที่ 2.3 ประเภทของฟัน (ต่อ)

ประเภทของฟัน	ลักษณะและหน้าที่ของฟัน	รูปลักษณะ
2. ฟันกรามน้อย (Premolar หรือ Bicuspid)	<ul style="list-style-type: none"> - มีหน้าตัดแบนกว้าง ทื่อ - ทำหน้าที่บดเคี้ยวอาหาร 	 <p>หน้าตัดแบน เป็น 2 ยอด</p> <p>รากฟันมี 1 หรือ 2 ราก</p> <p>รูปที่ 2.3 (ข)</p>
3. ฟันเขี้ยว (Canine หรือ Cuspid)	<ul style="list-style-type: none"> - มีลักษณะคล้ายกรวยแหลม - ใช้สำหรับฉีกอาหาร 	 <p>ปลายแหลมคม</p> <p>รากฟันเดี่ยว</p> <p>รูปที่ 2.3 (ค)</p>
4. ฟันตัด (Incisor)	<ul style="list-style-type: none"> - เป็นฟันหน้า ลักษณะคม - ตัดหรือแทะอาหาร 	 <p>ตัวฟันลักษณะ คล้ายสิ่ว</p> <p>รากฟันเดี่ยว</p> <p>รูปที่ 2.3 (ง)</p>

รูปที่ 2.3 (ก) ลักษณะของฟันกราม (ข) ลักษณะของฟันกรามน้อย
(ค) ลักษณะของฟันเขี้ยว (ง) ลักษณะของฟันตัด

2.1.2 ส่วนประกอบฟัน [1-3]

โดยทั่วไปแล้ว ธรรมชาติของฟันมีส่วนประกอบและส่วนเสริมสร้างให้ฟันมีความแข็งแรง โดยทั้งฟันน้ำนมและฟันแท้ จะประกอบไปด้วยโครงสร้างหลักดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างหลักของฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โครงสร้างภายนอก ดังรูปที่ 2.5 (ก)
 - 1.1 ตัวฟัน คือ ส่วนของฟันที่โผล่พ้นเหงือกขึ้นมาปรากฏให้เห็นโดยทั่วไป
 - 1.2 คอฟัน คือ ส่วนของฟันที่มีเหงือกสัมผัสอยู่ เป็นบริเวณรอยต่อระหว่างตัวฟันกับรากฟัน
 - 1.3 รากฟัน คือ ส่วนของฟันที่ถูกใต้เหงือกฝังอยู่ในกระดูกขากรรไกร ซึ่งยึดต่อกับเส้นใยเอ็นปริทันต์ โดยเส้นเอ็นปริทันต์อยู่ล้อมรอบรากฟัน ทำหน้าที่รองรับแรงกดจากฟันสู่กระดูกขากรรไกรที่เกิดจากการบดเคี้ยวอาหาร นอกจากนี้ยังมีเส้นโลหิตและเส้นประสาทรวมกันอยู่ เรียกว่า เยื่อปริทันต์
2. โครงสร้างภายใน แบ่งออกเป็น 3 ชั้นดังรูปที่ 2.5 (ข) ได้แก่

2.1 ชั้นนอก

2.1.1 ชั้นเคลือบฟัน เป็นบริเวณที่มีความแข็งแรงที่สุดของกระดูกฟัน มีสีขาวปนเหลืองหนาประมาณ 2.0-2.5 mm ประกอบด้วยผลึกของแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ ประมาณร้อยละ 96

ชั้นเคลือบฟันคือ เป็นวัสดุที่มีความพิเศษ โดยพลังงานที่ได้รับจากรังสีจะเป็นตัวการทำให้เคลือบฟันสูญเสียอิเล็กตรอนออกไปจากโมเลกุล กลายเป็นโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว อันเป็นสมบัติของอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระบางชนิดก็สามารถคงตัวอยู่ได้นาน ยิ่งได้รับ ปริมาณรังสีมากขึ้นเท่าไร ก็จะเกิดอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวขึ้นในเคลือบฟันมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณของอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ด้วยเทคนิคที่เรียกว่า อิเล็กตรอนพาราแมกเนติกเรโซแนนซ์ โดยอาศัยหลักการตรวจวัดสัญญาณเมื่อวางเคลือบฟันไว้ในสนามแม่เหล็กซึ่งจะทำอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเหล่านั้น ด้วยวิธีนี้ฟันจึงทำหน้าที่เสมือนเครื่องวัดปริมาณรังสีที่เชื่อถือได้นั่นเอง

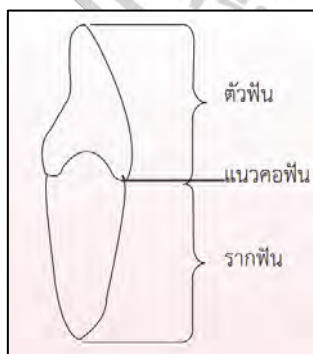
2.1.2 ชั้นเคลือบรากฟัน เป็นส่วนที่คล้ายกับกระดูก ปกคลุมรากฟันทั้งหมด ในบริเวณนี้มีผลึกของสารแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ ประมาณร้อยละ 45-50 และมีความแข็งน้อยกว่าเนื้อฟัน

2.2 ชั้นกลาง คือ ชั้นเนื้อฟันประกอบด้วยผลึกของสารแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ร้อยละ 70

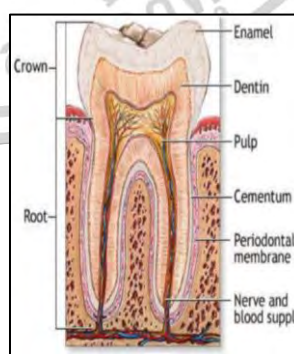
โดยประมาณ มีความแข็งน้อยกว่าชั้นเคลือบฟัน

2.3 ชั้นใน คือ ชั้นเนื้อเยื่อในโพรงฟัน (Dental pulp) เป็นเนื้อเยื่ออ่อนประกอบด้วย เส้นเลือด

ระบบน้ำเหลือง เส้นประสาท และเนื้อเยื่อยึดต่อ มีหน้าที่หล่อเลี้ยงให้ฟันมีชีวิต และรับรู้ความรู้สึก



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.5 (ก) โครงสร้างภายนอกของฟัน (ข) โครงสร้างภายในของฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 แร่ธาตุของฟัน [1-3]

ในฟันนั้นประกอบไปด้วยแร่ธาตุที่เสริมสร้างความแข็งแรงให้แก่กระดูกฟัน โดยมีแร่ธาตุที่สำคัญอยู่ 2 ธาตุ ได้แก่ แคลเซียม (Calcium) และฟอสเฟต (Phosphate) ประกอบเป็นผลึก เรียกว่า ไฮดรอกซีอะพาไทท์ (Hydroxy apatite) โดยองค์ประกอบในกระดูกจะมีแคลเซียมอยู่ร้อยละ 50 ซึ่งพบว่าอยู่ในรูปของสารประกอบ 3 ชนิด ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สารประกอบแคลเซียมที่พบมากในกระดูกและฟัน

สารประกอบ	ร้อยละโดยประมาณ
แคลเซียมไตรฟอสเฟต (Calcium triphosphates)	85
แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate)	12
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide)	3

2.1.4 สุขภาพในช่องปาก [4-6]

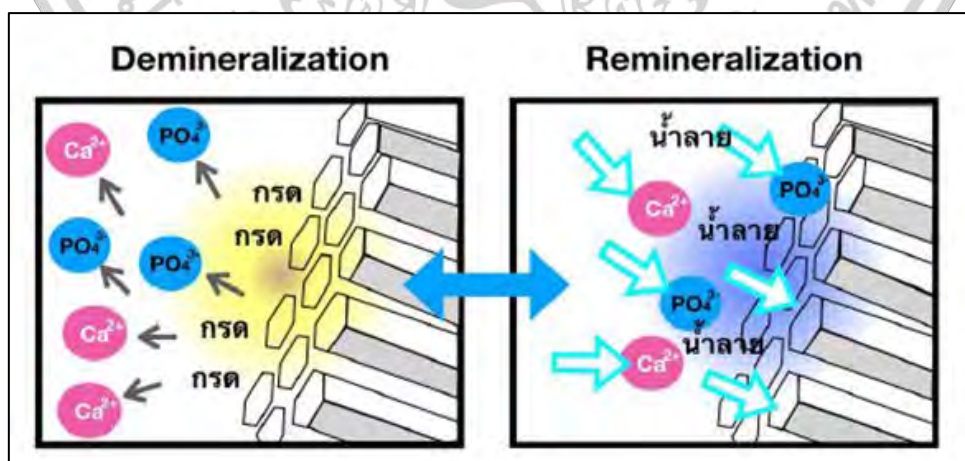
มนุษย์เองให้ความสำคัญในเรื่องของสุขภาพในช่องปาก ปัญหาที่มีความสำคัญเป็นลำดับแรกทางทันตกรรม ได้แก่ โรคฟันผุ เป็นปัญหาสุขภาพของช่องปากที่มีความรุนแรง เรื้อรัง เป็นสาเหตุที่สามารถก่อให้เกิดโรคอื่น ๆ ของระบบร่างกายได้ เนื่องจากปัญหาของฟันที่ในช่องปาก ที่มีช่องว่างระหว่างฟันเพียงนิดเดียวก่อให้เกิดเศษอาหารสะสม ทำให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโต และมีโอกาสในการเกิดโรคฟันผุได้ เมื่อเทียบกับมนุษย์ในสมัยก่อนที่มนุษย์ยังไม่มีวิวัฒนาการเทียบเท่าปัจจุบัน พบว่าในยุคก่อนการพัฒนาอุตสาหกรรม มนุษย์มีฟันที่แข็งแรง โอกาสสูญเสียฟันน้อย และไม่จำเป็นต้องเสียเวลาในการทำมาศารักษาช่องปาก เนื่องจากการบริโภคอาหารตามธรรมชาติ อาทิ เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ ที่ไม่ผ่านการแปรรูป อาหารธรรมชาติจะมีเส้นใยอาหารและน้ำตาลจากธรรมชาติที่น้อยเมื่อเทียบกับอาหารแปรรูปในอุตสาหกรรม โดยในวันที่ 7 เมษายน 1994 องค์การอนามัยโลก (World health organization ; WHO) ได้มีการจัดประชุมและเน้นย้ำถึงความสำคัญของปัญหาสุขภาพช่องปาก โดยได้ให้คำขวัญว่า “สุขภาพช่องปากที่ดี นำไปสู่สุขภาพที่ดีของชีวิต (Oral Health for a Healthy Life)” (ดังรูปที่ 2.6) จากความสำคัญของโรคในช่องปากนี้ ทำให้ในปี ค.ศ. 2002 มีการตั้งเกณฑ์มาตรฐานในการตรวจสอบโรคในช่องปาก (International caries detection and assessment system หรือ ICDAS) ในระดับเศรษฐกิจโลก ปัญหาสุขภาพในช่องปาก ส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจโลกเป็นอย่างมาก ค่าใช้จ่ายของแต่ละประเทศร้อยละ 10% สูญเสียไปกับการรักษาโรคทางช่องปาก ซึ่งโรคฟันผุนี้พบมากในแถบละติน อเมริกา เอเชียใต้และตะวันออกกลาง



รูปที่ 2.6 สัญลักษณ์องค์การอนามัยโลกในปี ค.ศ. 1994

ช่องปากมีความสำคัญอย่างมากในระบบร่างกายของสิ่งมนุษย์ เป็นช่องทางการรับเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายที่ง่ายและส่งผลต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกายอย่างรวดเร็ว โดยโรคในช่องปากที่สำคัญมีดังนี้

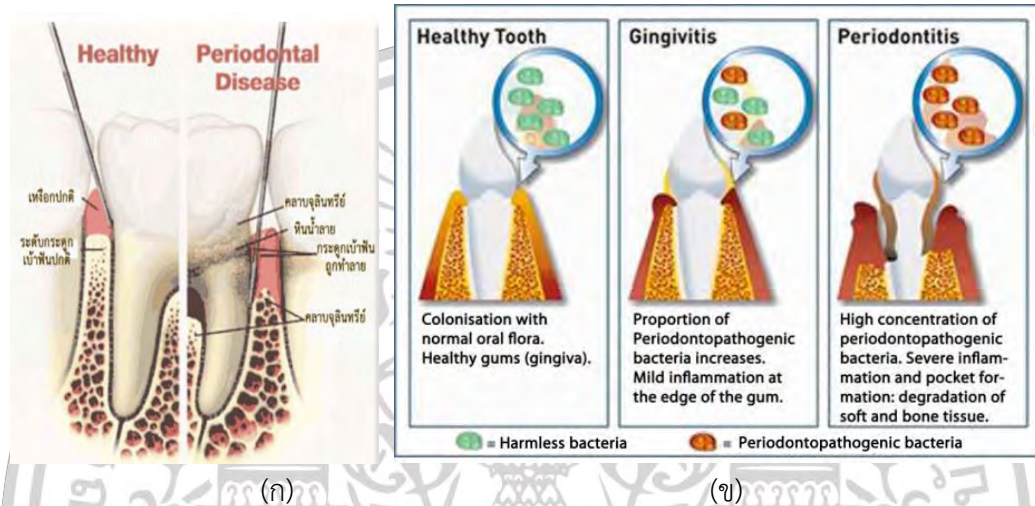
1. โรคฟันผุ เป็นปัญหาสุขภาพทางช่องปากที่มีความรุนแรง เป็นโรคเรื้อรัง เกิดจากกลไกการทางชีวเคมีของแบคทีเรียที่รวมกลุ่มกันเป็นลักษณะของคราบจุลินทรีย์ ย่อยสลายสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต อาทิ แป้งและน้ำตาล ทำให้เกิดสภาวะสูญเสียสมดุลเคมี มีความเป็นกรดขึ้น $\text{pH} < 5.5$ ซึ่งกรดจะไปทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุ (การละลายเกลือแร่) ที่อยู่ในฟันจนกระทั่งมีการสูญเสียแร่ธาตุนั้นออกไปจากฟัน (Demineralization) และเมื่อปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้เสียแร่ธาตุมากเกินไปจนทำให้ชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟันหายไปเกิดเป็นรูฟันขึ้น แต่ภายในช่องปากจะมีน้ำลายที่เป็นส่วนช่วยในการเจือจาง และปรับระดับความเป็นกรดต่าง (Buffer) โดยที่ในสภาวะความเป็นกรดมีค่าเพิ่มขึ้น $\text{pH} > 5.5$ จะทำให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุ (Remineralization) สังเกตได้ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กระบวนการเกิดโรคฟันผุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

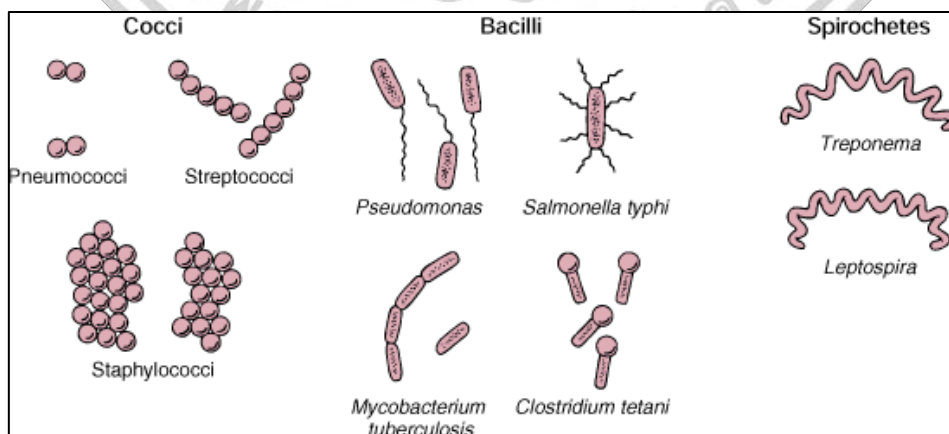
2. โรคปริทันต์ เป็นโรคติดเชื้อจากแบคทีเรียหลายชนิด จุลินทรีย์ที่ก่อตัวเป็นคราบฟันบริเวณคอ ฟันและขอบเหงือกสะสมเป็นเวลานานจนทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์จากระยะแรกเป็น จุลินทรีย์ชนิดแกรมบวก ใช้ออกซิเจน (Aerobic) จุลินทรีย์ไม่ก่อให้เกิดโรคปริทันต์ เปลี่ยนเป็น แบคทีเรียชนิดแกรมลบ ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคปริทันต์ ทำให้มี การหลั่งสารที่มีพิษเพิ่มมากขึ้น ซึมเข้าสู่เหงือกและกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ทำให้เกิดการ อักเสบของเหงือก ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 (ก) การเกิดโรคปริทันต์ (ข) กระบวนการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์

2.1.5 แบคทีเรียและคราบจุลินทรีย์ (Bacteria and biofilm) [7-18]

1. แบคทีเรีย คือ จุลินทรีย์ที่เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว มีขนาดเล็กประมาณ 0.5-10 ไมครอน มีรูปร่างแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 พบในสภาพแวดล้อมทั่วไปหลายชนิด มีทั้งที่ก่อให้เกิดโรค และไม่เกิดโรค โดยที่แบคทีเรียรวมกลุ่มกันจะเป็นลักษณะของคราบของจุลินทรีย์ (Biofilm)

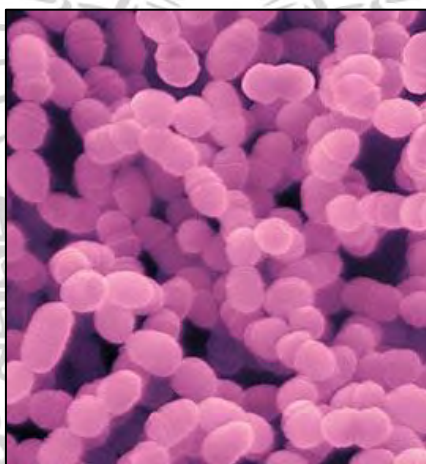


รูปที่ 2.9 รูปร่างของแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากความแตกต่างเรื่องรูปร่างและขนาดแล้ว แบคทีเรียสามารถแบ่งออกตามการติดสีย้อมของแกรมเป็นลักษณะแกรมบวกติดสีม่วงของคริสตัลไวโอเล็ต (Crystal violet) และแกรมลบติดสีแดงของซาฟรานิน (Safranin) ซึ่งแบคทีเรียแกรมบวกส่วนใหญ่จะมีความทนทานต่อความร้อนการฉายรังสีและแรงกดดันมากกว่าแบคทีเรียแกรมลบ และยังสามารถแบ่งออกตามการใช้ออกซิเจนแบคทีเรียชนิดแอโรบิก (Aerobic bacteria) ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต และแบคทีเรียชนิดแอนแอโรบิกไม่ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต (Anaerobic bacteria)

2. แบคทีเรียที่พบมากในช่องปากและเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคของฟันผุ ได้แก่ สเตร็ปโตคอคคัส มิวแทนส์ (Streptococcus Mutans หรือ S.Mutans) เชื้อสเตร็ปโตคอคคัส ซอบรินัส (Streptococcus Sobrinus หรือ S.Sobrinus) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของแลคโตบาซิลไล และกลุ่มของยีสต์ โดยในกลุ่มที่สัมพันธ์ต่อการเกิดโรคฟันผุมากที่สุด คือเชื้อ S.Mutans ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะของสเตร็ปโตคอคคัส มิวแทนส์ (S.Mutans)

สเตร็ปโตคอคคัส มิวแทนส์ (Streptococcus Mutans หรือ S.Mutans) เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างกลม (Gram positive cocci) ขนาด 0.50-0.75 ไมครอน เรียงตัวเป็นสายสั้น ๆ ถึงยาวปานกลาง เมื่อได้รับอาหารเหลือที่เป็นกรดจะมีรูปร่างเปลี่ยนเป็นแท่งสั้น ๆ ขนาด 1.5-3.0 ไมครอนโดยประมาณและเชื้อลักษณะนี้พบมากในช่องปาก เชื้อชนิดนี้สามารถสร้างกรดและทนในสภาวะที่เป็นกรดได้ดี สามารถสร้างสารยึดเกาะบนผิวฟันหรือบริเวณอื่น ๆ ในช่องปากได้เป็นอย่างดี กระบวนการของเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้ ในระยะเริ่มเริ่มต้นยังไม่ใช้น้ำตาล ต่อมาใช้โมเลกุลของกลูโคสจากน้ำตาล ในการสร้างสารประกอบที่ละลายและไม่ละลายน้ำ คือ เด็กซ์แทรน (Dextran) และมิวแทน (Mutan) ซึ่งสารเหล่านี้จะช่วยให้มีการยึดเกาะบนผิวของฟันมากขึ้น และยังส่งผลให้คราบจุลินทรีย์มีสภาวะเป็นกรด ทำให้เหลือเฉพาะแบคทีเรียที่สามารถทนสิ่งแวดล้อมสภาวะที่เป็นกรดได้ เชื้อที่ทนกรดจึงเข้าแทนที่และเอื้อให้เชื้ออื่นที่มีความเป็นกรดเจริญได้ดี ทำให้เกิดฟันผุได้ง่ายเนื่องจาก

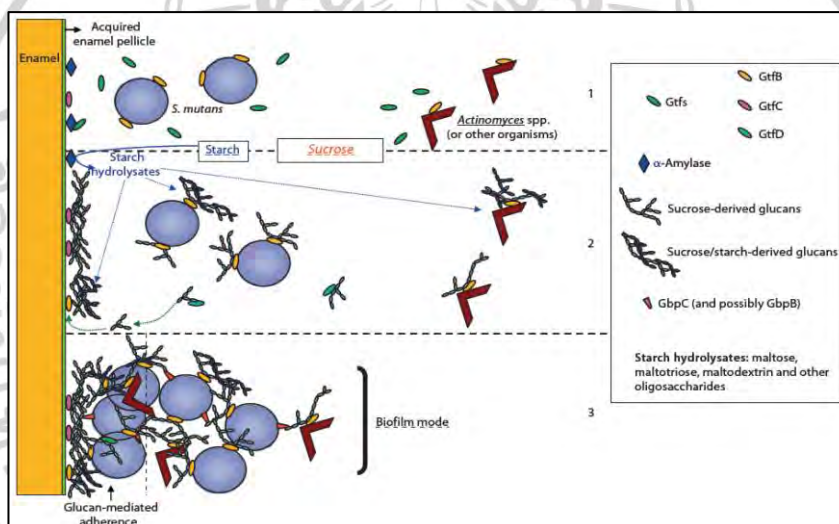
ช่องปากมีสภาวะเป็นกรดอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คราบจุลินทรีย์ (Biofilm)

คราบจุลินทรีย์ที่สังสมจนเกิดเป็นกลุ่มของแบคทีเรีย ซึ่งเป็นลักษณะคราบ โดยอาศัยหลักการ การยึดเกาะ โดยใช้โปรตีนที่เรียกว่า Antigen I/II โดยใช้ Alanine-rich และ Proline-rich เป็นที่ยึดเกาะกับเยื่อผิวหรือ Pellicle เป็นโปรตีนที่พบมากในเชื้อ Streptococci ที่อยู่ในช่องปาก S.Mutans สร้างเอนไซม์ Glucosyltransferase (gtf) โดยมี 3 ชนิด ได้แก่ gtfB ควบคุมการสังเคราะห์ glucan ที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble glucan), gtfC ควบคุมการสังเคราะห์ Glucan ที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ และ gtfD ควบคุมการสังเคราะห์ Glucan ที่ละลายน้ำ (Soluble glucan) ยีนเหล่านี้เป็นตัวควบคุมในการย่อยสลายน้ำตาลจากซูโคส เป็น กลูโคสและฟลักซ์โตส ที่เชื่อมต่อกันเป็น Polymer เพื่อสังเคราะห์ Glucan ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญและเป็นตัวกลางในการยึดเกาะและตั้งถิ่นฐานของแบคทีเรียบนผิวฟัน ซึ่งมีโปรตีนที่ยึดเกาะคือ Glucan binding protein (GBP) และโปรตีนที่สำคัญที่เป็นตัวสร้างคราบแบคทีเรีย ได้แก่ GBP A, GBP B และ GBP D ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงกระบวนการสร้างคราบจุลินทรีย์ (Biofilm)

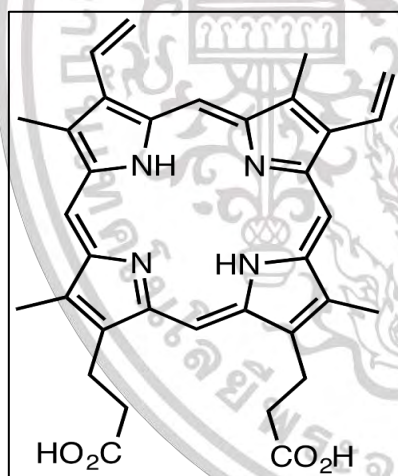
แบคทีเรียชนิดกลุ่มสเตรปโตคอคโค ไมวแทนส์ มีการหลั่งสาร โฟโตพอร์ไพรีน 9 (PPIX) ออกมาภายนอก (Endogenous) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ประเภทฟลูออโรฟอร์ (Fluorophore) โดยที่รวมกลุ่มกับคราบจุลินทรีย์ (Biofilm) เมื่อมีการกระตุ้นด้วยแสง สารที่หลั่งเหล่านี้จะเกิดการเรืองแสงแบบอัตโนมัติ (Autofluorescence)

4. สารประกอบอินทรีย์เรืองแสงในคราบจุลินทรีย์

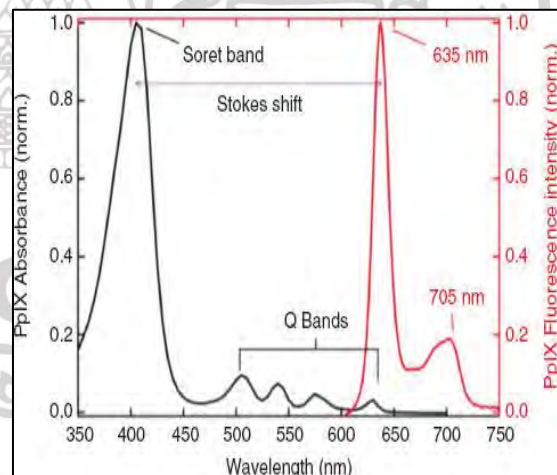
สารประกอบอินทรีย์ (Organic compound) คือ สารประกอบที่มีอะตอมหรือโมเลกุลของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และมีธาตุอื่น ๆ เป็นองค์ประกอบร่วม เช่น ธาตุ H , O, N, P, S, Cl, และ Br เป็นสารประกอบที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต เกิดจากสิ่งมีชีวิตเท่านั้น อาจเกิดขึ้นในธรรมชาติหรือสังเคราะห์จากสารอินทรีย์ด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพรโทพอร์ไฟริน 9 (Protoporphyrin-IX หรือ PPIX) เป็นสารประกอบอินทรีย์เรืองแสง มีการดูดกลืนในย่านตามองเห็น (Visible light) ทั้งหมด 5 ความยาวคลื่น ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรก (Soret band) มีความยาวคลื่นเดี่ยวอยู่ที่ประมาณ 400 nm และช่วงที่สอง (Q band) ความยาวคลื่นประมาณ 450-700 nm เมื่อให้พลังงานกระตุ้นในย่านสเปกตรัมแสงสีม่วง (Violet spectra) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานและปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสง หรือมีคุณสมบัติการเรืองแสง อยู่ที่ความยาวคลื่น 600-700 nm ดังแสดงในรูปที่ 2.12 PPIX เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มเลกุลของพอร์ไฟรินที่มีขนาดเล็ก (Macromolecules or phyrin) เป็นผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลาย โพรโทพอร์ไฟริโนเจน 9 (Protoporphyrinogen IX) โดยเอนไซม์ Protoporphyrinogen oxidase (ดังรูปที่ 2.13 และตารางที่ 2.5-2.6) มีโครงสร้างแบบเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic - เป็นสารประกอบแบบวงอะตอมของคาร์บอนและมีสารอื่นประกอบอยู่ด้วย) โดย PPIX ประกอบด้วยวงแหวนไพโรล (Pyrrole) 4 วง ทำหน้าที่เป็นตัวกลางสุดท้ายในการสังเคราะห์ มีโครงสร้างเป็นลักษณะเป็นแบบ เตตระไพโรล (Tetrapyrrole) ซึ่งเป็นสารคีเลต (Chelating agent - สารคีเลต จะล้อมแคทไอออน (Cation) หรือ ประจุบวกของธาตุที่เป็นโลหะ ทำให้ธาตุโลหะไม่สามารถทำปฏิกิริยากับประจุลบอื่นได้ ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า คีเลชัน (Chelation))



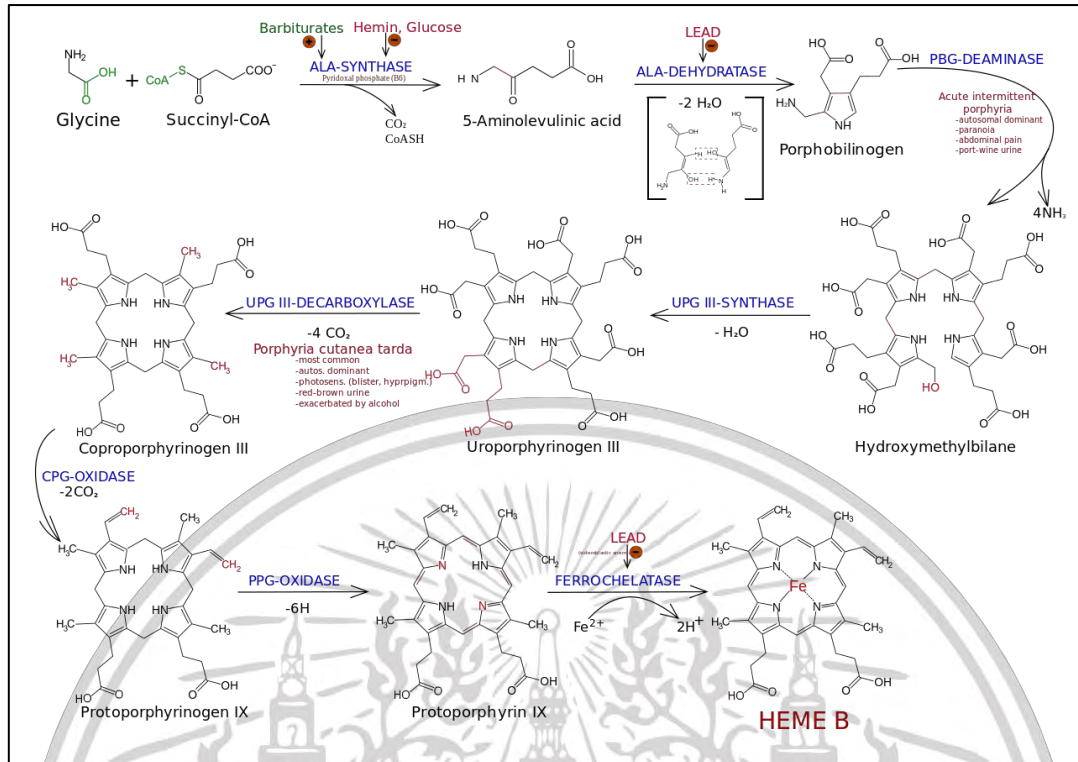
(ก)



(ข)

รูปที่ 2.12 (ก) โครงสร้างทางเคมีของ PPIX
(ข) สเปกตรัมการเรืองแสงของ PPIX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 กระบวนการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์ประเภท Porphyrin

ตารางที่ 2.5 แสดงกระบวนการเกิดของโพโตพอร์ไฟริน 9 (Protoporphyrin-IX)

เอนไซม์ (Enzyme)	สารตั้งต้น (Substrate)	สารผลิตภัณฑ์ (Product)
ALA synthase	Glycine and succinyl CoA	δ -Aminolevulinic acid
ALA dehydratase	δ -Aminolevulinic acid	Porphobilinogen
PBG deaminase	Porphobilinogen	Hydroxymethyl bilane
Uroporphyrinogen III synthase	Hydroxymethyl bilane	Uroporphyrinogen III
Uroporphyrinogen III decarboxylase	Uroporphyrinogen III	Coproporphyrinogen III
Coproporphyrinogen III oxidase	Coproporphyrinogen III	Protoporphyrinogen IX
Protoporphyrinogen oxidase	Protoporphyrinogen IX	Protoporphyrin IX
Ferrochelatase	Protoporphyrin IX	HEME

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของโพรโทพอร์ไฟริน 9 (Protoporphyrin-IX)

ชื่อสารเคมี	รายละเอียด
สูตรทางเคมี	$C_{34}H_{34}N_4O_4$
มวลโมเลกุล	562.66 g/mol
ความหนาแน่น	1.27 g/cm ³
ตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพ	DMSO - Dimethyl sulfoxide HCl - Hydrochloric acid Methanol

2.1.6 วิธีตรวจและการรักษาโรคของฟัน [19-21]

มีการพัฒนาและวิธีการรักษาโรคในช่องปากมาทุกยุคสมัย โดยเริ่มที่วัฒนธรรมของชาวอัสซีโร บาบิโลน (Assyro-Babylonian) ได้เริ่มมีการรักษาสุขภาพในช่องปากโดยใช้ผ้าผืนนี้เพื่อขูดทำความสะอาดตามซอกฟัน การตัดแปรงไม้มาทำอุปกรณ์จิ้มฟัน และทำน้ำยาบ้วนปากเพื่อดับกลิ่นปาก โดยมีส่วนประกอบเป็นสมุนไพรพืชชาติ มีนัท (Mint) มดยอบ (Myrrh) สตอเร็ก (Storax) และเกลือ (Salt) นอกจากนี้ฟันที่หลุดออก จะนำเรซินกัลบานัม (Galbanum resin) ที่ได้จากรากและลำต้นของต้นไม้เปอร์เซีย (Persian tree) มาถูบริเวณเหงือกที่ฟันหลุดออกไป เพราะจะทำให้บาดแผลหายเร็วขึ้นและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เรียกวิธีการนี้ว่า ธรรมชาติบำบัด ซึ่งต่อมาในตอนปลายศตวรรษที่ 15 ชาวจีนได้มีการนำแปรงสีฟันมาทำความสะอาดฟันแทนนี้ ชาวอียิปต์โบราณมีความรู้ทางด้านกายวิภาค เนื่องจากได้ศึกษาเพื่อการทำมัมมี่ (Mummification of bodies) มีหลักฐานเมื่อประมาณ 3000-2500 ปีก่อนคริสตศักราช มีการผ่าตัดทันตกรรม และเมื่อประมาณ 1500 ปีก่อนคริสตศักราช มีการเจาะตรวจฟันผุ โดยมีใบสั่งยาเป็นหลักฐานสำคัญ นอกจากนี้ไม่มีหลักฐานการดูแลรักษาความสะอาดของชาวอียิปต์โบราณ อาทิ แปรงสีฟัน และมีการคาดเดาถึงการบริโภคโดยเคี้ยวบางสิ่งเพื่อให้เกิดความสดชื่นในช่องปาก นักบวชชาวอิสลามทำพิธีการล้างบาป โดยเคี้ยวเม็ดแตรอน (Natron pellets) ซึ่งเป็นเกลือแร่ที่มีส่วนประกอบของโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) นอกจากนี้ยังมีการใช้ไม้ถูฟันที่ด้านปลายมีไม้หลุดลุ่ยซึ่งต่อมาเรียกว่า มิสวาก (Miswak) ทำมาจากต้น *Salvadora persica* หรือ Arak ในไม้มิสวากมีสารแทนนิน (Tannin) ที่ทำหน้าที่ในการยับยั้งแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ และขจัดคราบหินปูน ตลอดจนลดความรุนแรงของกลิ่นปาก โดยองค์ประกอบแบ่งออกเป็น Alkaloids salvadorine trimethylamine ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่สะสมภายในช่องปาก, Silica natural abrasive ทำให้สีของฟันมีความขาวมากขึ้น, Calcium ช่วยให้ฟันมีความแข็งแรง, Chloride ปกป้องและขจัดคราบแบคทีเรียที่สะสม, Sulphur และ Vitamin C รักษาบาดแผลและซ่อมแซมเซลล์, Resins ห่อหุ้มเคลือบฟันและป้องกันฟันผุ, Tannin ช่วยในการลดคราบจุลินทรีย์ที่เกาะตัวอยู่บนผิวฟันและอาการอักเสบของอวัยวะปริทันต์, Saponins และ Essential oils

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันหอมระเหยช่วยในการกระตุ้นการหลั่งของน้ำลาย ลดความเป็นกรดในช่องปาก ในช่วงอารยธรรมจีนโบราณ ได้มีตำราการรักษาทางทันตกรรม อาทิ การรักษาอาการปวดและการอักเสบของเหงือก เป็นต้น และมีการใช้สารหนู (Arsenic) ในการรักษาอาการปวด ในศตวรรษที่ 15 มีการพัฒนาแปรงสีฟัน ด้ามแปรงทำมาจากกระดูกงูและขนแปรงจากขนบริเวณคอหมูป่า ต่อมาในศตวรรษที่ 16 เฮอรัณนคอร์เตส (Hernan Cortes) ผู้ค้นพบหลักทันตแพทย์ขั้นสูง พบว่าทันตแพทย์สมัยโบราณ มีการทำทันตกรรมด้วยการอุดฟันผุ ถอนฟัน และขจัดหินปูน ด้วยเครื่องมือที่ทำมาจากทองแดง และภายหลังจากที่ทำทันตกรรมเสร็จแล้ว จึงบ้วนปากด้วยน้ำเกลือ และการทำความสะอาดฟันและการรักษาฟันผุด้วยการเคี้ยวหมากฝรั่ง ที่เรียกว่า "ซิคเคิล"

ในศตวรรษที่ 19 มีการพัฒนาในการทำยาสีฟัน โดยมีองค์ประกอบ 5 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ องค์ประกอบที่หนึ่งคือ สารกัดกร่อน (Abrasive) ที่มีอนุภาคเล็กมากไม่ส่งผลต่อการกัดกร่อนสารเคลือบฟันหรือทำให้สารเคลือบฟันเสียหายน้อยที่สุด องค์ประกอบที่สองคือ สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) องค์ประกอบที่สามคือ สารป้องกันจุลินทรีย์ (Anti-microbial agent) องค์ประกอบที่สี่คือ ฟลูออไรด์ (Fluoride) องค์ประกอบที่ห้าคือ สารแต่งกลิ่น สี และรสชาติ (Flavoring, sweetening, and coloring agents) และขณะเดียวกัน มีการพัฒนาแปรงสีฟัน (Toothbrush) โดย H. N. Wadsworth ชาวอเมริกันคนแรกที่จดสิทธิบัตรแปรงสีฟัน (หมายเลขสิทธิบัตร 18653) และมีการพัฒนาแปรงสีฟันโดยทำมาจากไนลอนและด้ามพลาสติก ซึ่งได้รับการออกแบบโดย Dupont de Nemours โดยการพัฒนาที่มีประสงค์เพื่อใช้แปรงสีฟันร่วมกับยาสีฟัน ในการขจัดคราบจุลินทรีย์ เศษที่อยู่พื้นผิวฟัน และระงับกลิ่นปาก น้ำยาล้างปาก (Mouth washes) ที่นอกจากจะช่วยขจัดเศษตามซอกฟันที่แปรงสีฟันเข้าถึงไม่ได้ และหากน้ำยาบ้วนปากที่มีฟลูออไรด์ ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ในช่องปาก ป้องกันโรคฟันผุหรืออาจบรรเทาอาการเสียวฟันได้ และมีการพัฒนาหลากหลายสูตร ให้น้ำยาล้างปากมีรสชาติและให้ความรู้สึกสดชื่น ในปี ค.ศ. 1990 P. Dobl และ H.Nossek ได้พัฒนาน้ำยาบ้วนปากโดยการเติมสังกะสีคลอไรด์ (Zinc Chloride) แล้วส่งผลให้การลดลงของแบคทีเรียลดลง

1. การตรวจโรคฟันผุโดยวิธีทั่วไป

การสังเกตด้วยตาเปล่า เป็นวิธีตรวจสอบเบื้องต้น สามารถทำได้เอง โดยการสังเกตความผิดปกติในช่องปาก ลักษณะสีของฟันที่เปลี่ยนไปจากสีขาวกลายเป็นสีดำหรือคราบของจุลินทรีย์ ดังรูปที่ 2.14 ขนาดของฟันที่เล็กลง หรือลักษณะของฟันที่เป็นหลุมลึก

วิธีการเคาะ (Percussion) อาการตึงที่เกิดจากการเคาะ บนตัวฟันแสดงถึงอาการอักเสบของอวัยวะปริทันต์ ซึ่งอาจเกิดจากการลุกลามของ โรคเนื้อเยื่อในสู่อวัยวะปริทันต์หรือมีสาเหตุอื่น ๆ เช่น การบาดเจ็บเหตุสบฟัน (Occlusal trauma) โรคโพรงอากาศอักเสบ (Sinusitis) และโรคปริทันต์



รูปที่ 2.14 การตรวจด้วยตาเปล่า

2. การทดสอบโดยใช้ไฟฟ้า (Electric pulp tester; EPT)

เทคนิคการใช้ไฟฟ้านี้ เพื่อทดสอบการมีชีวิตของฟัน ทำได้โดยจะต้องกันน้ำลายรอบฟันและใช้ผ้าก๊อชและก้อนสำลีเช็ดฟันให้แห้ง นำส่วนปลายของด้ามตรวจมาแตะกับยาสีฟัน แล้วจึงนำไปแตะบริเวณปลายฟัน พร้อมทั้งให้ผู้ป่วยใช้มือจับที่ด้ามจับของเครื่องตรวจเพื่อให้กระแสไฟฟ้าครบวงจร ฟันที่มีชีวิต จะตอบสนองมีความรู้สึกเหมือนถูกไฟฟ้าจี้เบา ๆ หรืออาจรู้สึกซ่า ๆ แต่ถ้าไม่มีการตอบสนองต่อการตรวจ การทดสอบนี้ไม่สามารถบอกถึงระยะการอักเสบของฟันได้

3. การทดสอบโดยอาศัยอุณหภูมิ

3.1 การทดสอบด้วยความเย็น (Cold test) โดยการใช้แท่งน้ำแข็ง ที่แช่ไว้ในหลอดพลาสติก ละลายน้ำแข็งส่วนนอกออก ประมาณ 2-3 ส่วนในการทดสอบจะต้องเช็ดฟันให้แห้ง จากนั้นนำแท่งน้ำแข็งไปแตะผิวของฟันประมาณ 5 วินาที หรือจนกว่าจะมีอาการตอบสนอง

3.2 การทดสอบด้วยความร้อน ใช้กัณฑ์ทาเปอร์ชาแท่ง ในการทดสอบต้องเคลือบผิวฟันด้วยวาสลีนบาง ๆ เพื่อป้องกันกัณฑ์ทาเปอร์ชาติดที่ผิวฟัน นำแท่งกัณฑ์ทาเปอร์ชาไปลงไฟจนกระทั่งอ่อนตัวและมีลักษณะมันวาว ตามวิธีของกรอสแมน (Grossman's method) แล้วนำแท่งกัณฑ์ทาเปอร์ชาไปแตะผิวฟันที่ตัวฟัน ประมาณ 2-5 วินาที หรือจนกว่าจะมีอาการตอบสนองในระดับต่าง ๆ ดังนี้

- การตอบสนองในระดับปกติคือ อาการตอบสนองหายไปอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาสั้น ๆ 1-2 วินาที หลังจากที่เอาสิ่งกระตุ้นออก
- การตอบสนอง ในระดับต่ำคือ อาการตอบสนองอย่างรวดเร็วมากกว่าฟันปกติ แต่หายไปภายในระยะเวลาสั้น ๆ 1-2 วินาที หลังจากที่เอาสิ่งกระตุ้นออก
- การตอบสนองในระดับปานกลางถึงมากและปวดต่อเนื่อง (Lingering pain) เป็นการปวดที่ยาวนาน ภายหลังจากที่เอาสิ่งกระตุ้นออก เป็นลักษณะเฉพาะของการอักเสบ
- ไม่ตอบสนอง ส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่าฟันซี่นั้นไม่มีชีวิตแล้ว

4. การรักษาโรคฟันผุโดยการกระตุ้นแสง

เป็นวิธีที่อาศัยเทคนิคการกระตุ้นแสงด้วยพลังงาน เครื่องเลเซอร์เครื่องแรกผลิตขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1990 ซึ่งใช้สำหรับการผ่าตัดเนื้อเยื่อช่องปาก วิธีเรียกเทคนิคนี้ว่า ทันตกรรมเลเซอร์ (Laser dentistry) ดังรูปที่ 2.15 เป็นวิธีที่ช่วยลดระยะเวลาในการรักษาลง ไม่มีเลือดออก ไม่ทำให้เกิดความเจ็บปวด ไม่ต้องใช้เวลาในการพักฟื้น และไม่มีผลข้างเคียงโดยมี 3 ประเภทของเลเซอร์ทางทันตกรรม



รูปที่ 2.15 การรักษาทางทันตกรรมโดยใช้เลเซอร์

4.1 เลเซอร์ความเข้มสูง

ใช้ในการผ่าตัดเนื้อเยื่อภายในช่องปาก เช่น การตัดกระดูก ฟัน เนื้อเยื่ออ่อนส่วนเกิน ผ่าตัดลดขนาด ตกแต่งรูปร่างเหงือก และตัดแต่งเนื้อเยื่อก่อนทำฟันปลอม ห้ามเลือด

4.2 เลเซอร์ที่มีผลต่อเนื้อเยื่อแบบเฉพาะเจาะจง

เนื้อเยื่อแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานจากเลเซอร์ที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถเจาะจงทำลายเนื้อเยื่อเป้าหมายโดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยที่เนื้อเยื่อข้างเคียงไม่ได้รับผลกระทบ เช่นการรักษาโรคมะเร็งในช่องปาก

4.3 เลเซอร์ความเข้มต่ำ

ใช้ในการกระตุ้นเพื่อหาตำแหน่งของคราบจุลินทรีย์ และลดอาการเจ็บปวดกล้ามเนื้อบดเคี้ยว และข้อต่อขากรรไกร รวมถึงยังสามารถลดการอักเสบเรื้อรัง การบวมจากการผ่าตัด การติดเชื้อ โดยมีการใช้เลเซอร์แสงสีฟ้า ดังรูปที่ 2.16 ใช้ในการกระตุ้นแสง คราบแบคทีเรีย และให้วัสดุอุดฟัน Composite resin ชนิด Light activated (กระตุ้นด้วยแสง) เพื่อให้เกิดการแข็งตัวหลังจากนำวัสดุอุดฟันใส่เข้าไปในรูฟัน และการใช้เลเซอร์ลดบวมหลังผ่าตัด คือเลเซอร์ LED ประกอบด้วย แสงสีแดง, แสงสีน้ำเงิน, แสงสีเหลือง, แสงสีเขียว และอินฟราเรด โดยแสง LED ผ่านผิวหนังไปยังเซลล์ต่าง ๆ ไปกระตุ้นไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นหน่วยเล็ก ๆ ของเซลล์ ให้สร้างพลังงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เซลล์กลับมา

ทำงานเสมือนเป็นเซลล์ใหม่ สามารถช่วยซ่อมแซมแผลหลังจากการผ่าตัด ลดอาการปวด บวม รอย
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แดง รอยจำเลือด ลดระยะเวลาการเกิดเม็ดสี ลดการเกิดแผล กระตุ้นระบบไหลเวียนโลหิต ช่วยเพิ่ม การสร้างเส้นใยคอลลาเจนและอีลาสติน ลดริ้วรอย



รูปที่ 2.16 การใช้เลเซอร์สีฟ้าในทางทันตกรรม

5. การตรวจโดยใช้ภาพถ่ายรังสี (Radiographic examination)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจทางเอ็นโดดอนติกส์ ทำได้โดยการถ่ายภาพรอบปลายราก (Periapical film) ไม่ว่าจะ เป็นแบบขนาน (Parallel technique) หรือแบบแบ่งระนาบเป็นสองแนว (Bisecting plane) โดยให้ฟันซี่ที่สนใจอยู่ตรงกลางภาพถ่ายรังสี ถ้าเป็นฟันหน้าให้ใช้ภาพถ่ายแนวตั้ง ถ้าเป็นฟัน หลังให้ใช้ภาพถ่ายแนวอน ถ้าสงสัยว่าฟันซี่ที่สนใจมีมากกว่า 1 คลองรากฟันให้ทำการตรวจสอบโดยการเอียงกระบอกฉายรังสีไปทางด้านใกล้กลางหรือไกลกลาง ประมาณ 15 องศา (Shift tube) ที่สำคัญภาพถ่ายรังสีที่ได้ควรมีความชัดเจนมากพอที่จะมองเห็นตัวฟันและกระดูกรอบปลายรากฟัน ไม่ควรดำหรือขาวเกินไป

6. การตรวจโรคฟันผุโดยการสแกน

ใน ค.ศ. 1895 มีการค้นพบการถ่ายภาพด้วยรังสี โดยวิลเฮล์ม คอนราด เรินต์เกน (Wilhelm Conrad Röntgen) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน โดยการค้นพบนี้ถูกนำมาใช้กับทุกส่วนของอวัยวะของสิ่งมีชีวิต การนำมาใช้เพื่อตรวจหาโรคฟันผุ โรคฟันผุจะทำให้สูญเสียเนื้อเยื่อของฟันบริเวณสารเคลือบฟันและเนื้อฟัน ดังนั้นจึงปรากฏเป็นบริเวณที่มีการแผ่รังสีบนภาพถ่ายรังสี โดยทั่วไปแล้ว การถ่ายภาพด้วยรังสีนี้จะให้ภาพฟัน แต่เมื่อเกิดโรคฟันผุขึ้น จะมีการฉายรังสีไปยังบริเวณนั้นในลักษณะของทรงสามเหลี่ยมบนชั้นสารเคลือบฟันและตัวฟัน มีการพัฒนาการตรวจสอบเพื่อนำมาใช้งานทางด้านทันตกรรม ด้วยเทคนิคการฉายรังสีไบทิง (Bitewing radiographic examination) หรือ แบบพานอรามา 2 มิติ ซึ่งในปี ค.ศ. 1997 Ricketts และคณะ ได้ศึกษาข้อดีของวิธีการนี้และสรุปว่า สามารถตรวจและเก็บข้อมูลระดับความรุนแรงของรอยโรคที่มีค่าความจำเพาะสูง (0.96-1) แต่ในปี ค.ศ. 1998 บทความของ Chadwick and Dummer ได้กล่าวถึงข้อจำกัดบางประการ อาทิ หากมีการซ้อนทับกันก็จะไม่สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดฟันผุได้ หากมุมในการถ่ายภาพไม่ถูกต้องอาจส่งผลให้ภาพมีขนาดที่ต่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความเป็นจริง ดังนั้นในการถ่ายต้องตั้งค่าเครื่องในการถ่ายและระยะเวลาในการล้างฟิล์มที่เหมาะสมเป็นมาตรฐาน และการตรวจสอบการฉายรังสีแบบ 3 มิติ เป็นการถ่ายภาพฉายรังสีส่วนตัดขวางด้วยคอมพิวเตอร์เป็นลำรังสีรูปกรวย (Cone beam computed tomography, CBCT) โดยรังสีเอกซ์รูปกรวยจะหมุนรอบศีรษะ 1 รอบ ผังตรงข้ามกับแหล่งกำเนิดรังสีเป็นพื้นที่รับภาพ (Area detector) โดยคอมพิวเตอร์เป็นตัวประมวลผลและสร้างภาพของระนาบตามแกน (Axial plane) โดยแบ่งเป็น ระนาบแบ่งหน้าหลัง (Coronal plane) และระนาบแบ่งซ้ายขวา (Sagittal plane) และสร้างเป็นภาพถ่ายรังสี 3 มิติ และมีข้อจำกัดในการถ่ายภาพรังสี หากรอยโรคมีขนาดเล็กจะไม่สามารถตรวจพบได้ ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การตรวจฟันผุด้วยการสแกน Cone beam computed tomography

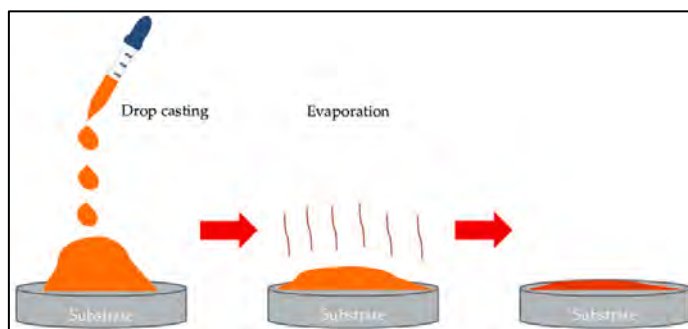
2.2 แบบจำลองฟันโดยเทคนิคการทำฟิล์ม (Teeth model by film technique) [22-25]

การสร้างแบบจำลองวิทยาศาสตร์ (Science model) เป็นการสร้างสิ่งทดแทนวัตถุ กระบวนการ ความสัมพันธ์ของสสาร ทำให้ง่ายต่อการทดลอง วิเคราะห์และคาดคะเน เป็นวัตถุเสมือนนำมาใช้งานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงาน หรือสารเคมี เป็นที่นิยมในวงการสถาปัตยกรรม วิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ เนื่องจากทำให้ความผิดพลาดน้อยที่สุดเมื่อมีการไปใช้งานจริง นอกจากนี้ยังหมายถึงการคำนึงถึงความปลอดภัยต่อชีวิต และในแวดวงวิทยาศาสตร์ นิยมทำแบบจำลองในรูปของฟิล์มหรือฟิล์มบาง ซึ่งเป็นเทคนิคการจำลองชิ้นงานอีกวิธีหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงในปัจจุบัน

2.2.1 การทำฟิล์มแบบหยด (Drop casting)

เป็นเทคนิคการทำฟิล์มบางเพื่อให้ผิวหน้าของแผ่นฟิล์มไม่สม่ำเสมอ ทำได้โดยการหยดสารเคมีที่เตรียมในรูปของเหลวลงบนแผ่นรองชิ้นงาน เพื่อให้สารในรูปของเหลวซึ่งมีคุณสมบัติของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สว่นไ้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหล ไหลไปทั่วแผ่นรองตามขนาดที่ต้องการ รอให้สารกระจายละจับตัวเป็นแผ่นฟิล์ม (แสดงดังรูปที่ 2.18) และปริมาณสารที่ใส่สัมพันธ์กับปริมาตรของสาร ซึ่งสามารถบอกได้ถึงความหนาของแผ่นฟิล์ม

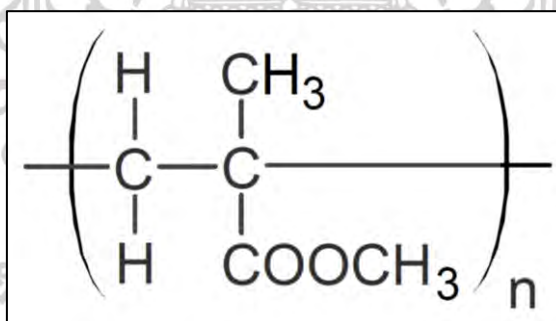


รูปที่ 2.18 เทคนิคการทำฟิล์มแบบ Drop casting

2.2.2 สารเคมีสำหรับทำแบบจำลองฟัน (Chemical for teeth model)

1. โพลีเมทธีนเมตาอะคริเลต (Polymethymethacrylate หรือ PMMA)

PMMA หรือ อะคริลิก (Acrylics) ชื่อทางการค้าว่าเพลคซิกกลาส (Plexiglass) ลูไซต์ (Lucite) โพลีกลาส (Polyglass) เป็นพลาสติกโปร่งใส มีความแข็งแรง แต่เป็นรอยง่าย มีความทนต่อแสงอุลตราไวโอเลตได้ดี สามารถทนความร้อนและความเย็นได้ เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ทนต่อสารเคมีพอสมควร ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.19 และคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 2.7



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของโพลีเมทธีนเมตาอะคริเลต (Polymethymethacrylate หรือ PMMA)

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของ โพลีเมทธีนเมตาอะคริเลต (PMMA)

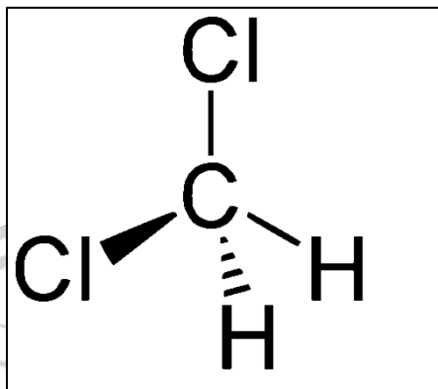
ชื่อสารเคมี	รายละเอียด
สูตรทางเคมี	$(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2)_n$
ความหนาแน่น	1,188 g/mL at 25 ^o
ดัชนีหักเห	1.49
ตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพ	DCM - Dichloromethane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ไคลอโรมีเทน (Dichloromethane หรือ DCM)

DCM หรือเมทิลีนคลอไรด์ Methylene chloride เป็นสารประกอบ เป็นของเหลวไม่มีสี ระเหยได้ง่าย มักใช้เป็นตัวทำละลาย มีคุณสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 2.8 และรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane หรือ DCM)

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติของไดคลอโรมีเทน (DCM)

ชื่อสารเคมี	รายละเอียด
สูตรทางเคมี CH_2Cl_2	CH_2Cl_2
มวลโมเลกุล	84.93 g/mol
ความหนาแน่น	1.33 g/cm ³ at 20 ^o
ความหนืด	0.43mPas

2.2.3 วัสดุสำหรับทำแบบจำลองฟัน

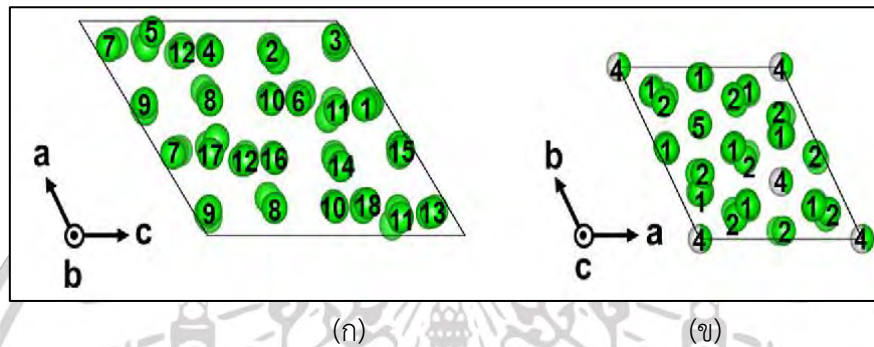
วัสดุในกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟต (Calcium phosphate) อาทิ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite หรือ HA) และไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Tri-calcium phosphate) ซึ่งกลุ่ม HA มีส่วนประกอบคล้ายกับแร่ธาตุที่อยู่ในฟันและกระดูกมนุษย์ (รูปที่ 2.21 และตารางที่ 2.9)

ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Tri-calcium phosphate หรือ TCP) มีสูตรทางเคมีที่คล้ายกับ HA คือ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่ทนต่อแรงอัดและมีการสลายตัวง่าย เมื่อเทียบกับ HA ที่มีความคงทนต่อแรงอัดและการสลายตัวที่เกิดขึ้นน้อยมาก โดยรูปแบบของ TCP ที่นำมาใช้เป็นแบบจำลองกระดูกเทียมสังเคราะห์มี 2 รูปแบบคือ แอลฟาไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Alpha-tri-calcium phosphate หรือ α -TCP) และเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Beta-tri-calcium phosphate หรือ β -TCP) โดยที่ β -TCP เข้าไปอยู่ในร่างกายจะมีการสลายตัวที่ช้ากว่า α -TCP โดย β -TCP จะถูกสลายได้หมด 8-12 เดือน และถูกแทนที่ด้วยกระดูกทั้งหมด TCP เป็นองค์ประกอบของ

แคลเซียมฟอสเฟต มีความเสถียรในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 1,000-1,500 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้เกิด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของ α -TCP และ β -TCP โดยมีการเปลี่ยนแปลงจาก β -TCP เป็น α -TCP เริ่มที่ อุณหภูมิ 1,125 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงเฟสมีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเป็นอย่างมาก เนื่องจาก α -TCP มีความแข็งแรงและความหนาแน่นที่ต่ำกว่า β -TCP ทำให้นักวิจัยส่วนใหญ่ศึกษา และสังเคราะห์ β -TCP มากกว่า α -TCP เพราะโดยองค์ประกอบเฟสเทียบกับอุณหภูมิแล้ว สามารถเปลี่ยนแปลงจาก β -TCP ไปเป็น α -TCP นอกจากนี้ยังนิยมนำมาใช้ในงานทางด้านการศัลยกรรมช่องปาก (Oral surgery) และการผ่าตัดแก้ไขความบกพร่องบนใบหน้า (Craniofacial surgery)



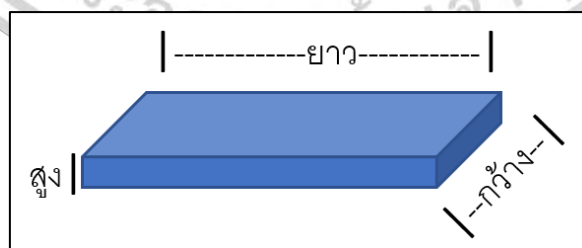
รูปที่ 2.21 โครงสร้างผลึกของ (ก) α -TCP (ข) β -TCP

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของและเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Beta-tri-calcium phosphate)

ชื่อสารเคมี	รายละเอียด
สูตรทางเคมี	$\text{Ca}_3\text{O}_8\text{P}_2$
มวลโมเลกุล	310.18 g/mol

2.2.4 ความหนาของฟิล์ม (Thickness)

พิจารณาจากปริมาตรของวัตถุ ในสมการปริมาตร 3 มิติ เท่ากับผลคูณของ ความกว้าง ความยาว และความสูงหรือความหนา ดังรูปที่ 2.22 และสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.22 การแสดงขนาดของฟิล์ม

$$V = W \times L \times H \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	V	คือ	ปริมาตรของวัตถุ (m^3)
	W	คือ	ความกว้างของวัตถุ (m^3)
	L	คือ	ความยาวของวัตถุ (m^3)
	H	คือ	ความสูงหรือความหนาของวัตถุ (m^3)

พิจารณาปริมาตรของสารในหน่วย ลิตร (L) หรือมิลลิลิตร (mL) โดยพิจารณาการเท่ากันของปริมาตร

$$V(m^3) = V(L) \quad (2.2)$$

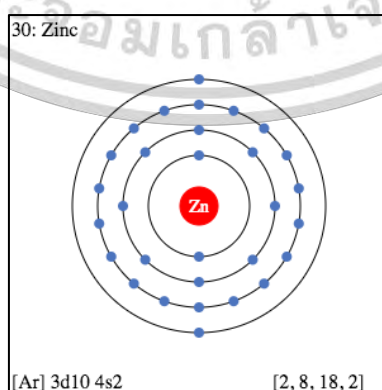
$$1m^3 = 10^3L \quad (2.3)$$

$$1m^3 = 10^6mL \quad (2.4)$$

2.3 สารเคมี [26-33]

2.3.1 วัสดุ (Materials)

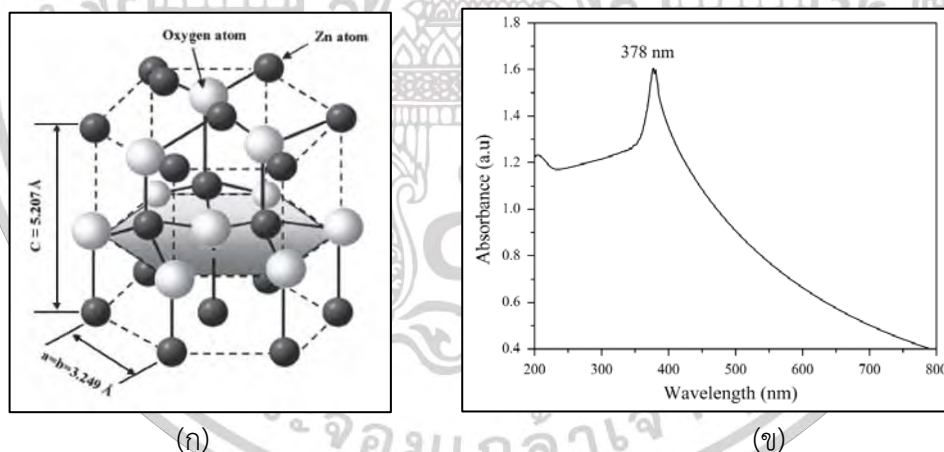
1) **ซิงค์ (Zinc)** คือ ธาตุที่มีเลขอะตอมเท่ากับ 30 ดังรูปที่ 2.23 อยู่ในตารางธาตุในหมู่ 12 เป็นธาตุประเภทโลหะ มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีของออกซิเจนและธาตุที่ไม่ใช่โลหะ มีลักษณะที่เป็นสีเงิน มีน้ำหนัก และยังเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นในร่างกายมนุษย์ และสัตว์ ช่วยกระตุ้นการสังเคราะห์คอลลาเจน สร้าง และการซ่อมแซมหนังกำพร้า ซ่อมแซมบาดแผล ตลอดจนช่วยในกระบวนการสร้างเอนไซม์ ของระบบภูมิคุ้มกัน และสารพันธุกรรม และเมื่อ Zn ที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอน หรือมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอน จากเลขอะตอม 30 มีจำนวนอิเล็กตรอน 30 มีการให้อิเล็กตรอนไป 2 อิเล็กตรอน เหลือ 28 อิเล็กตรอน จัดอยู่ใน d-orbital เกิดเป็นลักษณะของไอออน เรียกว่า ซิงค์ไอออน (Zinc ion หรือ Zn(II)) มีบทบาทที่สำคัญในโครงสร้างทางชีวภาพ โดยมักจะเข้าไปในโครงสร้างเพื่อทำให้เกิดพันธะแล้วเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานทางชีวภาพ รวมถึงเป็นตัวช่วยในการทำงานของแบคทีเรียบางชนิด เป็นตัวช่วยสำหรับการลำเลียงขนส่งสารและแร่ธาตุหลายชนิด เป็นตัววัดความเข้มข้นของเซลล์ที่มี เป็นอินดิเคเตอร์ตรวจจับสาร



รูปที่ 2.23 ลักษณะของการจัดเรียงอิเล็กตรอนของซิงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide nanoparticles หรือ ZnO NPs) โครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) มีค่าคงที่ผลึก (Lattice constants) $a = b = 3.249$ อังสตรอม และ $c = 5.207$ อังสตรอม โดยโครงสร้างมีออกซิเจนไอออน (Oxygen ions : O^{2-}) แทรกอยู่กึ่งกลางระหว่างซิงค์ไอออน (Zinc ions : $Zn(II)$) ซึ่งทำพันธะกันแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) เรียกว่าเวิร์ตไซต์ (Wurtzite structure) ดังรูปที่ 2.24 เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็น (Semiconductor n-type) มีช่องว่างของแถบพลังงาน (Energy gap หรือ E_g) เท่ากับ 3.37 eV มีคุณสมบัติการดูดกลืนแสงที่รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet หรือ UV) สองช่วง ได้แก่ ช่วง UVA และ UVB ที่ความยาวคลื่นแสงเท่ากับ $315-400$ nm และ $289-315$ nm ตามลำดับ มีค่าความเป็นกลางในธรรมชาติอยู่ที่ pH 7.2 และสามารถละลายได้ดีในกรดที่มีค่า pH ต่ำกว่า 6 เป็นสารที่ถูกจัดว่าปลอดภัยต่อเซลล์ เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตในปริมาณที่ต่ำกว่า 2.5 mg/mL และยังสามารถทำลายเซลล์มะเร็งของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพเชิงแสงของการเรืองแสงถูกเรียกว่า ควอนตัมดอท (Quantum dots) รวมถึงมีควอนตัมยิวต์ (Quantum yield) สูงถึงร้อยละ 85 และคุณสมบัติที่กล่าวมาทำให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Optoelectronic devices) โฟโตแคตตาไลสต์ (Photocatalyst) เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ผลิตภัณฑ์กันแดด (Sunscreen product) น้ำยาบ้วนปาก (Mouthwash) ตลอดจนงานด้านอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์และการแพทย์

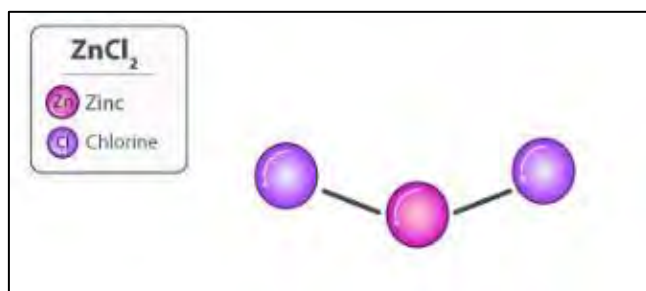


รูปที่ 2.24 (ก) โครงสร้างคริสตัลของ ZnO แบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal)
(ข) สเปกตรัมการดูดกลืนของ ZnO

3) ซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride : $ZnCl_2$)

Zinc chloride เป็นสารประกอบระหว่าง Zn และ Cl ดังรูปที่ 2.25 ในรูปของสารละลาย จะแตกตัวให้อิออนของซิงค์ ($Zn(II)$) และ คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ในการผลิตยาสีฟัน ใช้ในการกำจัดกลิ่นปาก และเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยาบ้วนปาก ที่มีประสิทธิภาพในการลดคราบแบคทีเรียและลดอาการอักเสบของอวัยวะในช่องปาก โดยที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จะมีประสิทธิภาพในการทำส่วนผสมของน้ำยาบ้วนปาก



รูปที่ 2.25 โครงสร้างของซิงค์คลอไรด์

ตารางที่ 2.10 คุณสมบัติสารเคมี

ชื่อสารเคมี	สัญลักษณ์	มวลโมเลกุล (g/mol)	ความหนาแน่น (g/mL)
Zinc	Zn	65.39	7.133
Zinc oxide	ZnO	81.39	1.7 สำหรับสารละลาย
Zinc ion	Zn ²⁺ , Zn(II)	65.39	7.133
Zinc chloride	ZnCl ₂	136.29	2.91

2.3.2 สารละลาย (Solution)

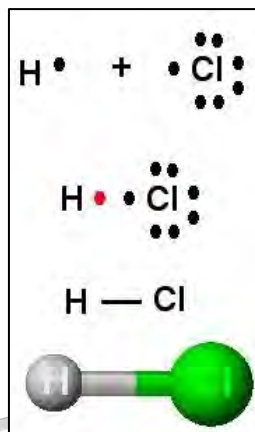
1. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)

กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) หรือ กรดเกลือ เป็นสารประกอบทางเคมีประเภทกรดที่ละลายในน้ำ ซึ่งเป็นกรดแก่ ในธรรมชาติสามารถพบได้จากควันของภูเขาไฟและแก๊สจากใต้ดิน นอกจากนี้ยังพบในระบบร่างกายของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม บริเวณกระเพาะอาหาร ซึ่งมีความเข้มข้นอยู่ที่ 0.1 โมลาร์ เป็นสารพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ และนิยมนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากคุณสมบัติการกัดกร่อนที่สูง มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.26 และคุณสมบัติดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 คุณสมบัติของกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)

ชื่อสารเคมี	รายละเอียด
สูตรทางเคมี	HCl
มวลโมเลกุล	562.66 g/mol
ความหนาแน่น	1.27 g/cm ³

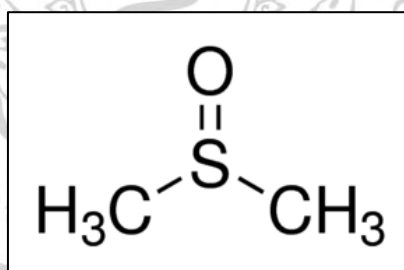
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 โครงสร้างลิวอิสของกรดไฮโดรคลอริก

2. ไดเมทิลซัลไฟไซด์ (Dimethyl sulfoxide : DMSO)

ในปี ค.ศ.1866 DMSO ถูกสังเคราะห์ขึ้นเป็นครั้งแรก มีประโยชน์ด้านการแพทย์ในการรักษาโรค ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อรา เป็นตัวกลางในการพายาเข้าสู่ร่างกายโดยไม่อาศัยการฉีดยา และเป็นตัวทำละลายที่ดี DMSO มีคุณภาพอยู่ 2 ระดับ ได้แก่ระดับใช้สำหรับด้านเภสัชกรรม การใช้งาน DMSO 100% อาจทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนังได้ เพื่อลดการระคายเคืองควรใช้เพียง 70% และระดับใช้เพื่อเป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรม โดยเป็นตัวทำละลายอะโพรติกที่ไม่มีขั้ว (Polar Aprotic Solvent) ละลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้หลายชนิด โดยประโยชน์การใช้งานที่หลากหลาย อาทิ ทำความสะอาดส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นตัวทำละลายในปฏิกิริยาทางเคมีสำหรับยา สารเคมีทางการเกษตร เป็นตัวทำละลายไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.27 และคุณสมบัติตามตารางที่ 2.12



รูปที่ 2.27 โครงสร้างลิวอิสของไดเมทิลซัลไฟไซด์ (Dimethyl sulfoxide : DMSO)

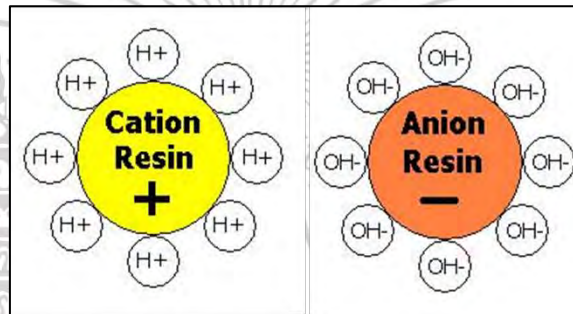
ตารางที่ 2.12 คุณสมบัติของไดเมทิลซัลไฟไซด์ (Dimethyl sulfoxide : DMSO)

ชื่อสารเคมี	รายละเอียด
สูตรทางเคมี	HCl
มวลโมเลกุล	562.66 g/mol
ความหนาแน่น	1.27 g/cm ³

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. น้ำปลอดประจุ (Deionized water : DI water)

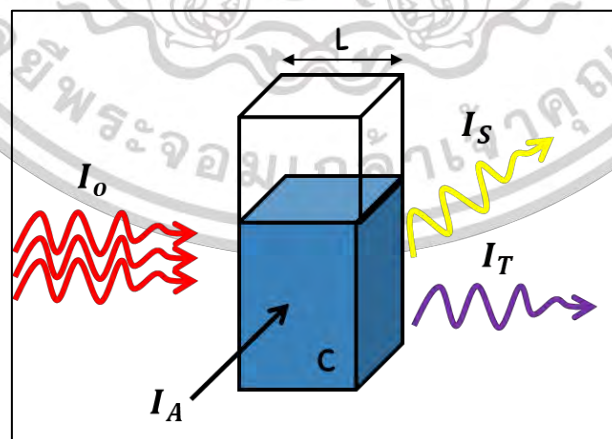
DI Water หรือน้ำปลอดประจุ โดยกระบวนการกำจัดไอออนของสารละลายทั้งหมด เหลือโมเลกุลของน้ำบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว ปราศจากเกลือแร่ และสารอื่น ๆ หรือสามารถเรียกอีกอย่างว่า น้ำดีมีน (Demineral water) ไม่เหมาะต่อการบริโภค ใช้ประโยชน์ในทางด้านเภสัชกรรม อุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ การผลิตน้ำ DI คือ การกรองไอออนต่าง ๆ ออกจากน้ำ โดยอาศัยเรซิน (Resin) เป็นตัวกรอง ซึ่งนิยมใช้กันอยู่ 3 ชนิดได้แก่ แคทไอออนเรซิน (Cation resin) พื้นผิวเรซินมีไอออนบวกหรือประจุบวกเกาะอยู่ ดักจับประจุลบ แอนไอออนเรซิน (Anion resin) พื้นผิวเรซินมีไอออนลบหรือประจุลบเกาะอยู่ ดักจับประจุบวก และมิกซ์เบดเรซิน (Mixed bed resin) เป็นการผสมเรซินระหว่างแคทไอออน แอนไอออน ดักจับทั้งประจุบวกและประจุลบ (รูปที่ 2.28)



รูปที่ 2.28 เรซินที่ดักจับประจุของน้ำ

2.4 คุณสมบัติทางแสงของวัสดุ [34-35]

2.4.1 หลักการสเปกโตรสโกปี (Spectroscopy principles)



รูปที่ 2.29 ความสัมพันธ์ของแสงผ่านตัวอย่างสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ปราบกฎการดูดกลืน (Absorbance)

เมื่อรังสีลำแสงตกกระทบบที่วัตถุใด ๆ ก่อให้เกิดการดูดกลืนแสงด้วยความถี่ค่าหนึ่งหรือความยาวคลื่นหนึ่ง การส่องผ่าน การกระจาย การสะท้อนและการเปล่งแสง ดังรูปที่ 2.32 แต่การพิจารณาตามกฎของแสง โดยไม่คำนึงถึงแสงรบกวน (Stray light) มีเฉพาะแสงตกกระทบบ (Incident light : I_0) แสงดูดกลืน (Absorbed light : I_A) แสงที่ส่องผ่าน (Transmitted light : I_T) แสงสะท้อน (Reflected light : I_R) ดังสมการที่ (2.5)

$$I_0 = I_A + I_T + I_R \quad (2.5)$$

1.1) กฎของเบียร์ (Beer's Law) : ลำแสงรังสีแบบขนาน (Parallel beam) หรือรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic radiation) ส่องผ่านตัวอย่างสารที่เป็นสารละลายประกอบเนื้อเดียว (Homogeneous solution) โดยมีระยะทางที่แสงส่องผ่านสารตัวอย่างเท่ากัน (Pathlength) จะส่งผลให้ค่าการดูดกลืน (Absorbance) แปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายนั้น ดังสมการที่ (2.6)

$$A \propto C \quad (2.6)$$

1.2) กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) : ลำแสงรังสีแบบขนาน (Parallel beam) หรือรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic) ส่องผ่านตัวอย่างสารที่เป็นสารละลายประกอบเนื้อเดียว (Homogeneous solution) โดยความเข้มข้นเท่ากัน จะส่งผลให้ค่าการดูดกลืน (Absorbance) แปรผันกับระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่าง (Pathlength) ดังสมการที่ (2.7)

$$A \propto l \quad (2.7)$$

1.3) กฎการดูดกลืนแสงเบียร์แลมเบิร์ต (Beer-Lambert Law) : ลำแสงรังสีแบบขนาน (Parallel beam) หรือรังสีที่มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic) ส่องผ่านตัวอย่างสารที่เป็นสารละลายประกอบเนื้อเดียว (Homogeneous solution) จะส่งผลให้ค่าการดูดกลืน (Absorbance) แปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย และระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่างดังสมการที่ (2.8)

$$A = \epsilon l C \quad (2.8)$$

เมื่อแสงผ่านกระบวนการทางแสงแล้วจะเกิดการส่องผ่านแสง และถ้าความเข้มข้นของตัวอย่างเป็นโมลาริตี (Molarity; mol.L⁻¹) เราเรียกสภาพการดูดกลืนว่า ค่าคงที่ของการดูดกลืนแสงของสารละลาย ซึ่งเป็นค่าจำเพาะของระบบการดูดกลืนหรือเป็นหมู่โครโมฟอร์ (Chromophore) ที่ใช้ในการระบุโครงสร้างของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = \log \frac{I_0}{I} \quad (2.9)$$

$$A = -\log T \quad (2.10)$$

Transmittance (%T) ดังนั้น

$$\%T = 100 \frac{I}{I_0} \quad (2.11)$$

$$\log \%T = \log 100 \frac{I}{I_0} = 2 + \log \frac{I}{I_0} \quad (2.12)$$

$$A = 2 - \log \%T = \epsilon lc \quad (2.13)$$

เมื่อ	A	คือ	ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (a.u.)
	T	คือ	ค่าการส่งผ่านของแสง (%)
	C	คือ	ความเข้มข้นของตัวอย่าง (mol/L)
	ϵ	คือ	ค่าคงที่ของการดูดกลืนแสงของสารละลายเข้มข้น 1 โมลาร์ (L.cm ⁻¹ .mol ⁻¹)
	l	คือ	ความหนา ความกว้างของเซลล์ หรือระยะทางที่แสงส่องผ่านตัวอย่าง (cm)

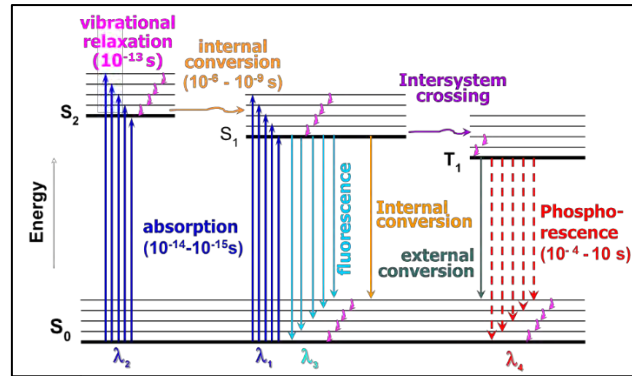
2. การกระเจิงของแสง

ปรากฏการณ์ทางแสงที่เกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการแผ่รังสี เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ไม่ใช่เอกพันธ์ มีค่าดัชนีหักเหแตกต่างกัน ทำให้สารนั้นเปล่งแสงออกมาเรียกว่า การกระเจิงของแสง และจะไม่เกิดการกระเจิงของแสงในตัวกลางที่เป็นสารเอกพันธ์ (สารที่มีเนื้อเดียว) เนื่องจากมีดัชนีหักเหเท่ากันตลอดทุกส่วนของสารนั้น สำหรับสารไม่ใช่เอกพันธ์มีดัชนีหักเหไม่เท่ากันตลอดเนื้อสาร โดยเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่น ๆ การกระเจิงของแสงในของเหลวขุ่นเกิดขึ้นเนื่องจากมีอนุภาคต่างชนิดกันที่มีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของแสง

3. การเรืองแสง (Luminescence)

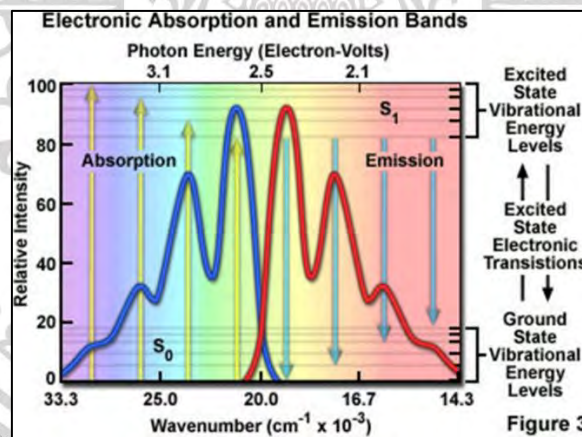
3.1 Photoluminescence คือ การที่โมเลกุลของสารมีการดูดกลืนพลังงานโฟตอนเข้าไปทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับพลังงานไปยังชั้นพลังงานที่สูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพของโมเลกุลไม่เสถียร และทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมาเพื่อลดระดับพลังงานกลับสู่สถานะพื้น (Ground state) ในรูปของพลังงานแสง การเรืองแสงมี 2 ชนิด คือ ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) คือ การเรืองแสงชนิดที่มีการปลดปล่อยแสงออกมาเกิดขึ้นทันทีทันใดภายในเวลาประมาณ 10⁻⁸ วินาที และหยุดทันทีเมื่อเลิกการกระตุ้น และ ฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence) คือ การเรืองแสงชนิดที่มีการปลดปล่อยแสงออกมาเกิดขึ้นหลังจากได้รับการกระตุ้นแล้วนานกว่า 10⁻⁸ วินาที และการเรืองแสงดำเนินต่อไปอีกนานกว่าสัดส่วนของวินาทีเมื่อหยุดการกระตุ้นแล้ว เหตุการณ์นี้เรียกว่า After glow หรือ lag (รูปที่ 2.30)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานและการปลดปล่อยพลังงาน

Fluorescence bands ส่วนใหญ่ประกอบด้วย Lines ที่มีความยาวคลื่นมากกว่า ความยาวคลื่นของรังสีที่ถูกดูดกลืนเพื่อให้เกิด Excitation เรียกการเลื่อนที่ของความยาวคลื่นนี้ว่า Stokes shift เนื่องจากผลต่างของพลังงานระหว่าง Vibrational states ทั้งใน Ground state และ Excited states มีค่าใกล้เคียงกัน Absorption spectrum หรือ Excitation spectrum และ Fluorescence spectrum ของสารประกอบจึงอาจมีลักษณะเป็น Mirror images ของกันและกัน (ดังรูปที่ 2.31) และซ้อนกันที่ความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานระหว่าง Vibrational level 0 ของ E1 กับ Vibrational level 0 ของ E0



รูปที่ 2.31 ความสัมพันธ์ของการดูดกลืนพลังงานและการเปล่งแสง

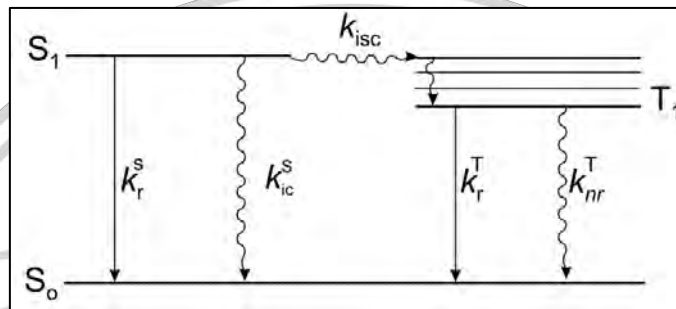
3.2 Chemiluminescence เป็นการกระตุ้นที่เกิดจากอะตอมหรือโมเลกุลถูกกระตุ้นโดยปฏิกิริยาเคมี แล้วกลับสู่ Ground state โดยปล่อยพลังงานส่วนเกินในรูปของโฟตอน ในบางกรณี อะตอมหรือโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาระหว่าง Analyte กับรีเอเจนต์ที่เหมาะสม (โดยปกติใช้ Strong oxidant เช่น Ozone หรือ Peroxide) สเปกตรัมที่ได้จึงเกิดจากการปล่อยพลังงานของผลิตภัณฑ์ ไม่ใช่ของ Analyte เอง นอกจากนี้ Analyte อาจไม่เกี่ยวข้องใน Chemiluminescent reaction โดยตรง แต่เร่งหรือยับยั้งการเกิด Chemiluminescence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ฟลูออเรสเซนส์ควอนตัมยิวต์ [38]

ฟลูออเรสเซนส์ควอนตัมยิวต์ (Fluorescence quantum yield หรือ FQY) เป็นค่าที่ใช้สำหรับวัดประสิทธิภาพทางแสงเชิงปริมาณของวัสดุ โดยค่าฟลูออเรสเซนส์ควอนตัมยิวต์หาได้จาก ค่าอัตราส่วนจำนวนโมเลกุลที่ให้ฟลูออเรสเซนส์ต่อจำนวนโมเลกุลที่ถูกกระตุ้น หรือ จำนวนโฟตอนที่คายออกมาต่อจำนวนโฟตอนที่ถูกดูดกลืน โดยสารที่มีการเรืองแสงที่ดีควรมีค่าอัตราส่วนเท่าหรือใกล้เคียง 1 แต่ถ้าสารไม่มีการเรืองแสงจะให้อัตราส่วนเท่ากับ 0 ซึ่งสามารถอธิบายได้ถึงความสัมพันธ์และแสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานสำหรับฟลูออเรสเซนส์

$$\Phi_F = \frac{k_r}{k_r + k_{nr}} = \frac{\text{Photon}_{em}}{\text{Photon}_{abs}} \quad (2.14)$$

- เมื่อ
- k_r คือ ปลดปล่อยโฟตอน
 - k_{nr} คือ ไม่ปลดปล่อยโฟตอน
 - k_r^S คือ ปลดปล่อยโฟตอนจากระดับพลังงาน $S_1 - S_0$ หรือปลดปล่อยแสงฟลูออเรสเซนส์
 - k_{ic}^S คือ แผลผันภายในจากระดับพลังงาน $S_1 - S_0$ และไม่ปลดปล่อยโฟตอน
 - k_{isc} คือ ลดระดับพลังงานข้ามสถานะและไม่มีการปลดปล่อยโฟตอน
 - k_r^T คือ ปลดปล่อยโฟตอนในระดับพลังงาน $T_1 - S_0$ หรือเรียกว่าฟอสฟอริสเซนส์
 - k_{nr}^T คือ แผลผันภายในในระดับพลังงาน $T_1 - S_0$ และไม่ปลดปล่อยโฟตอน

การหาค่าฟลูออเรสเซนส์ควอนตัมยิวต์ของสารละลายจะใช้เทคนิค Relative เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าฟลูออเรสเซนส์ควอนตัมยิวต์ของสารเรืองแสงที่เราสนใจเปรียบเทียบกับสารเรืองแสงที่ทราบค่าฟลูออเรสเซนส์ควอนตัมยิวต์ ได้แก่ วิธีที่หนึ่ง การคำนวณทุกจุดที่อาจเกิดการเรืองแสง (Single-point) การคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับความเข้มแสงฟลูออเรสเซนส์และนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับสารอ้างอิงที่มีความเข้มข้นเดียว วิธีที่สองการเปรียบเทียบ (Comparative) จะกำหนดความเข้มข้นของสารที่ต้องการวัดและ

ความเข้มข้นของสารอ้างอิงหลายโดยมีรายละเอียดดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.14) สามารถเขียนได้เป็น

$$\Phi_F = \frac{(\alpha) \text{Photon}_{em}}{(\beta) \text{Photon}_{abs}} \quad (2.15)$$

สมการของพีการดูดกลืนแสงของสาร (Fraction of light adsorbed: A)

$$A = 1 - 10^{-b} \quad (2.16)$$

สมการสำหรับค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารตัวอย่าง (X) และสารอ้างอิง (R)

$$\Phi_{F(X)} = \left[\frac{\alpha \times I}{\beta \times A} \right] \quad (2.17)$$

$$\Phi_{F(R)} = \left[\frac{\alpha \times I_R}{\beta \times A_R} \right] \quad (2.18)$$

จากสมการที่ (2.15) และ (2.16) โดยไม่พิจารณา α และ β จะได้ว่า

$$\Phi_{F(X)} = \Phi_{F(R)} \left[\frac{I}{I_R} \frac{A_R}{A} \right] \quad (2.19)$$

เมื่อใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ดังนั้นสมการควอนตัมฟลูออเรสเซนซ์โดยวิธีการเปรียบเทียบได้เป็น

$$\Phi_F = \Phi_{F(R)} \frac{I}{I_R} \frac{A_R}{A} \frac{n^2}{n_R^2} \quad (2.20)$$

เมื่อ α	คือ	ค่าคงที่ของจำนวนโฟตอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา
β	คือ	ค่าคงที่ของจำนวนโฟตอนที่ถูกดูดกลืน
b	คือ	การดูดกลืนแสงของความยาวคลื่นที่ได้รับการกระตุ้น
$\Phi_{F(X)}$	คือ	ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารตัวอย่าง
$\Phi_{F(R)}$	คือ	ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารอ้างอิง
I	คือ	พื้นที่ใต้กราฟความเข้มแสงของการเปล่งแสงของสารตัวอย่าง
I_R	คือ	พื้นที่ใต้กราฟความเข้มแสงของการเปล่งแสงของสารอ้างอิง
A	คือ	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารตัวอย่าง
A_R	คือ	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารอ้างอิง
n	คือ	ค่าดัชนีหักเหแสงของสารตัวอย่าง
n_R	คือ	ค่าดัชนีหักเหแสงของสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 อุปกรณ์การทดลอง [36-38]

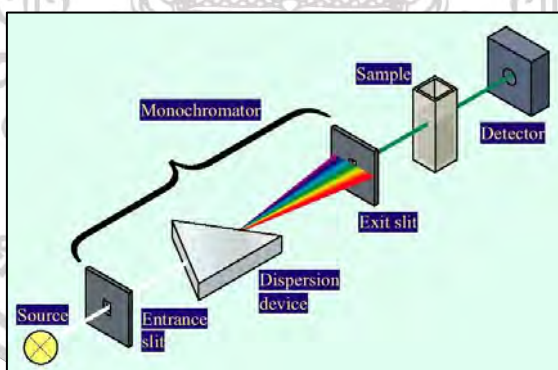
2.5.1 สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)

1. หลักการทำงานของสเปกโตรมิเตอร์

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์แสงด้านคุณภาพและปริมาณ เช่น ตรวจวัดปริมาณแสงและค่าความเข้มแสงในช่วงรังสียูวี (Ultraviolet : UV ที่ความยาวคลื่นประมาณ 200-400 nm) จนถึงช่วงแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible Light : VIS ที่ความยาวคลื่นประมาณ 400-800 nm) โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสาร มีหลักการโดยโมเลกุลดูดกลืนพลังงานในช่วง UV หรือ VIS เพื่อให้อิเล็กตรอนวงนอกสุดเคลื่อนที่ไปในระดับพลังงานที่สูงขึ้น ตามหลักการสเปกโตรสโกปี นิยมใช้ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะมีการดูดกลืนรังสีในย่านของความถี่และความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและขึ้นอยู่กับส่วนโดยตรงกับค่าความเข้มข้นของสารนั้น ตามสมการของ เบียร์แลมเบิร์ต

2. ส่วนประกอบของสเปกโตรมิเตอร์

- 1) แหล่งกำเนิดแสง ในช่วงความยาวคลื่น 200-1100 nm
- 2) Monochromator ทำหน้าที่แยกลำแสงที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องเป็นความยาวคลื่นเดียว
- 3) ช่องใส่สารตัวอย่าง เพื่อเป็นฐานรองให้ตัวอย่างไม่มีการเคลื่อนในขณะวัดปริมาณทางแสง
- 4) Detector ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งไประบบประมวลผล

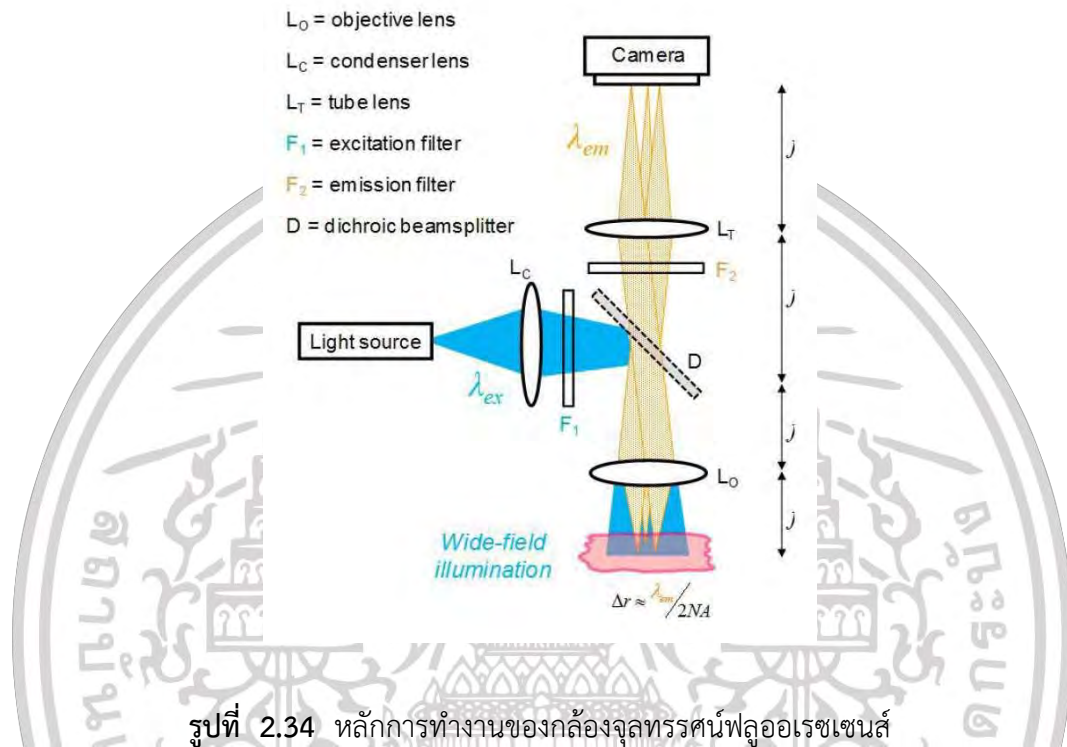


รูปที่ 2.33 การทำงานและส่วนประกอบของ UV-VIS Spectrophotometer

2.5.2 กล้องจุลทรรศน์เรืองแสง (Fluorescence Microscope)

Fluorescence microscope ใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นอัลตราไวโอเล็ต ส่องดูจุลินทรีย์ที่ย้อมด้วยสารเรืองแสง ซึ่งเมื่อกระทบกับแสง UV จะเปลี่ยนเป็นแสงช่วงที่มองเห็นได้ แสง UV ซึ่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำทำให้เป็นแสงที่มีพลังงานสูง เมื่อถูกยิงไปยังกระทบกับวัตถุที่มีความสามารถดูดกลืนแสง วัตถุนั้นก็จะปลดปล่อยพลังงานออกมาเป็นแสงที่ตาเราสามารถมองเห็นได้ Visible light เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการดังกล่าวนี้เอง จึงถูกนำไปใช้กับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่สามารถทำการย้อมสี (สีที่มีปฏิกิริยากับแสง UV) แล้วทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้นได้ โดยมีหลักการทำงาน คือ แสงจาก Light source จะส่องผ่านระบบเลนส์ และจะถูกส่องผ่านลงไปยัง Sample หลังจากนั้น Sample จะเรืองแสง ทำให้สามารถมองเห็นได้ที่กล้องไมโครสโคป ดังรูปที่ 2.34



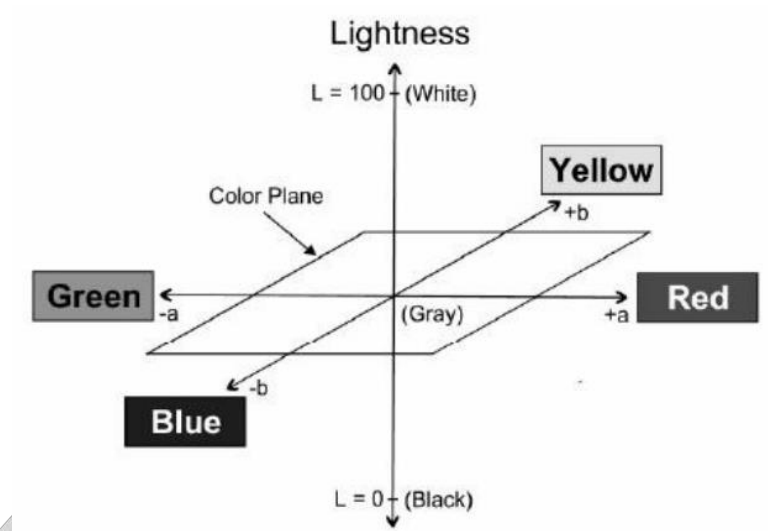
รูปที่ 2.34 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนส์

2.5.3 เครื่องวัดสี (Colorimeter)

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสี โดยอาศัยหลักการสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ซึ่งสามารถวัดสีของวัตถุออกมาเป็นค่าปริมาณตัวเลขได้ โดยวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิง (Reflectance curve) เมื่อวัตถุมีสีที่แตกต่างกันจะให้ค่ามาตรฐานทำให้เกิดการสะท้อนของแสงออกมาที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ซึ่งตามหลักการของ RGB ดังนี้ สีน้ำเงิน มีความยาวคลื่นเท่ากับ 430-460 nm สีเขียว มีความยาวคลื่นเท่ากับ 500-580 nm และสีแดง มีความยาวคลื่นเท่ากับ 620-780 nm ได้รับการพัฒนาจากองค์กรนานาชาติเกี่ยวกับแสงและสี International Commission on Illumination (CIE) โดยระบบที่แพร่หลายคือ $L^*a^*b^*$ color space โดยอาศัยทฤษฎีสีตรงข้าม การรับรู้สี 3 คู่สี ได้แก่ สว่าง-มืด, แดง-เขียว และ เหลือง-น้ำเงิน

ระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ (CIELAB) เป็นระบบสีที่มีการพัฒนามาจากระบบ CIE Tristimulus value (x,y และ z) ทำให้สามารถแยกความแตกต่างของสีได้ใกล้เคียงกับสีที่ตามองเห็น โดยระบบ CIE $L^*a^*b^*$ มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสง (Light source) วัตถุมีสี (Color object) และผู้สังเกตการณ์ (Observer) ซึ่งมีลักษณะของพื้นที่สี (Color space) ดังรูปที่ 2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

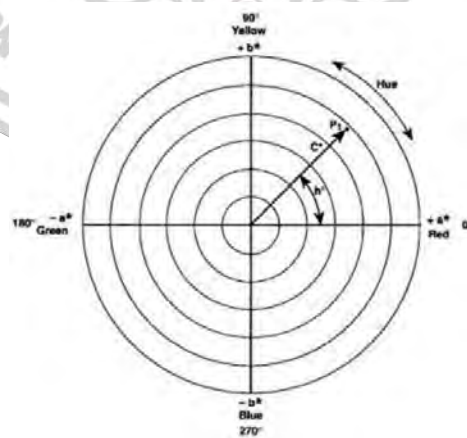


รูปที่ 2.35 Color space

เมื่อ

- L* คือ ใช้กำหนดปริมาณค่าความสว่าง
L = 0 ลักษณะสีดำ L = 100 ลักษณะสีขาว
- a* คือ ใช้กำหนดปริมาณค่าสีแดงหรือสีเขียว
a เป็นค่า + วัตถุสีแดง a เป็นค่า - วัตถุสีเขียว
- b* คือ ใช้กำหนดปริมาณค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน
b เป็นค่า + วัตถุสีเหลือง b เป็นค่า - วัตถุสีน้ำเงิน

การพัฒนาโดยการปรับปรุง โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า a และ b เป็น 2 ส่วนได้แก่ hue (h*) ซึ่งค่า (hue angle) เป็นตัวเลขที่สามารถระบุถึงตำแหน่งสีในกราฟ โดยหาค่ามุมองศา และ chroma (c*) ดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 Color chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h^* = \tan^{-1}\left[\frac{b^*}{a^*}\right] \quad (2.21)$$

$$c^* = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad (2.22)$$

เมื่อ $h^* = 0^\circ$ แสดงถึงตำแหน่ง สีแดง
 $h^* = 90^\circ$ แสดงถึงตำแหน่ง สีเหลือง
 $h^* = 180^\circ$ แสดงถึงตำแหน่ง สีเขียว
 $h^* = 270^\circ$ แสดงถึงตำแหน่ง สีน้ำเงิน

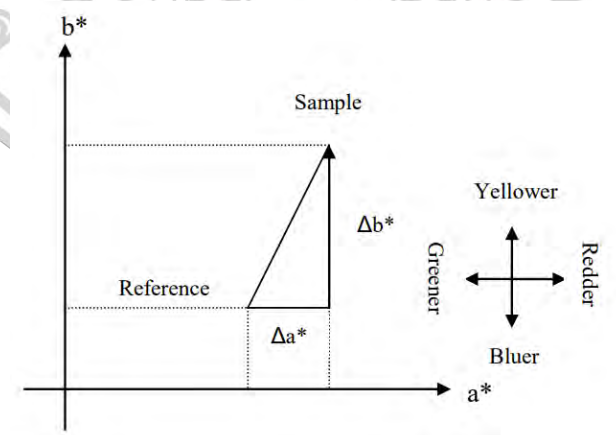
การวัดความแตกต่างของ (Color differences) โดยสมการดังนี้ (ดังรูปที่ 2.37)

$$\Delta L = L^*_{\text{sample}} - L^*_{\text{standard}} \quad (2.23)$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{sample}} - a^*_{\text{standard}} \quad (2.24)$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{sample}} - b^*_{\text{standard}} \quad (2.25)$$

ถ้าผลลัพธ์	ΔL	เป็นบวก	สว่าง	ΔL	เป็นลบ	ดำ/มืด
	Δa^*	เป็นบวก	สีแดง	Δa^*	เป็นลบ	สีเขียว
	Δb^*	เป็นบวก	สีเหลือง	Δb^*	เป็นลบ	สีน้ำเงิน



รูปที่ 2.37 การแสดงค่า Δa^* Δb^*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ปริมาณสารสัมพันธ์ [39]

2.6.1 ความเข้มข้นของสารละลาย

ความเข้มข้นของสารละลาย แสดงถึงปริมาณของสสารที่ผสมรวมกันอยู่ในอัตราส่วนของปริมาณตัวถูกละลายและปริมาณตัวทำละลาย หรือ ปริมาณของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย โดยมีสมการหาความเข้มข้นดังนี้คือ

$$n = \frac{m}{M_w} \quad (2.26)$$

$$n = C \times V \quad (2.27)$$

$$\frac{m}{M_w} = C \times V \quad (2.28)$$

$$\frac{m}{M_w \times V} = C \quad (2.29)$$

เมื่อ	n	คือ	โมลอะตอม (mol)
	m	คือ	มวลสสาร (g)
	m_w	คือ	น้ำหนักโมเลกุลหรือมวลโมเลกุล (g/mol)
	C	คือ	ความเข้มข้นของสสาร (M หรือ mol/L)
	V	คือ	มวลตัวถูกละลาย (L)

1. ร้อยละโดยมวล (Percent by weight)

$$\%wt = \frac{m_{\text{Solute}}}{m_{\text{Solvent}}} \times 100, \quad (2.30)$$

$$m_{\text{Solute}} = \frac{\%wt \times m_{\text{Solvent}}}{100}, \quad (2.31)$$

แทนสมการที่ (2.31) ในสมการที่ (2.29) จะได้ว่า

$$\frac{\frac{\%wt \times m_{\text{Solvent}}}{100}}{M_w \times V} = C \quad (2.32)$$

จากความสัมพันธ์ของความหนาแน่น $\rho = \frac{m}{V}$

$$\frac{\frac{\%wt \times m_{\text{Solvent}}}{100}}{M_w \times \frac{m_{\text{solvent}}}{\rho}} = C \quad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	m_{Solute}	คือ มวลตัวถูกละลาย (g)
	m_{Solvent}	คือ มวลตัวทำละลาย (g)
	ρ	คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (g/L)

2. การเจือจางความเข้มข้น (Dilute process)

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (2.34)$$

เมื่อ	C_1	คือ	ความเข้มข้นเริ่มต้นในหน่วยโมลาร์ (M)
	V_1	คือ	ปริมาตรเริ่มต้นในหน่วยลิตร (L)
	C_2	คือ	ความเข้มข้นสุดท้ายในหน่วยโมลาร์ (M)
	V_2	คือ	ปริมาตรสุดท้ายในหน่วยลิตร (L)

2.6.2 ความเป็นกรด-เบส

กรด คือ สารประกอบที่มี H และเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ H^+ หรือ H_3O^+ หรือ สามารถให้โปรตอน (Proton donor) แก่สารอื่น หรือ สารที่สามารถรับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (Electron pair acceptor) จากสารอื่น โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ กรดแก่ (Strong acid) คือกรดที่สามารถแตกตัวได้ 100% ในน้ำ และกรดอ่อน (Weak acid) คือกรดที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้เพียงบางส่วน และ เบส คือ สารประกอบที่มี OH และเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ OH^- หรือ สารที่สามารถรับโปรตอน (Proton acceptor) จากสารอื่น หรือ สารที่สามารถให้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (Electron pair donor) แก่สารอื่น แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ เบสแก่ (Weak base) คือกรดที่สามารถแตกตัวได้ 100% ในน้ำ และ เบสอ่อน (Weak base) คือเบสที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้เพียงบางส่วน

ค่า pH คือ ค่าที่แสดงความเป็นกรด-เบส ของสารที่ โดยค่า pH จะอยู่ในช่วง 1-14 ถ้าค่า pH น้อยกว่า 7 สารชนิดนั้นก็มีฤทธิ์เป็นกรด และถ้าค่า pH มากกว่า 7 สารชนิดนั้นก็มีฤทธิ์เป็นเบส หรือต่าง แต่ถ้าค่า pH นั้นมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารชนิดนั้นเป็นกลางหรือที่เรียกว่า pH balance หรือไม่เป็นกรดหรือเบส สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$pH = -\log[H_3O^+] \quad (2.35)$$

เมื่อ	pH	คือ	ค่าแสดงความเป็นกรดเบส 1-14
	$[H_3O^+]$	คือ	ความเข้มข้นของกรดแก่

2.7 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย [40-44]

2.7.1 Plaques Staining เป็นการตรวจหาคราบจุลินทรีย์โดยอาศัยคุณสมบัติของใช้สีย้อม เพื่อเป็นกลไกการเปลี่ยนสีของคราบจุลินทรีย์ ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างคราบจุลินทรีย์และสารสี โดยส่งผลให้เห็นความแตกต่างกันระหว่างส่วนประกอบของคราบจุลินทรีย์และสีย้อม โดยอนุภาคของสีจะจับพันธะกับคราบจุลินทรีย์โดยอาศัยแรง Electrostatic interaction (Proteins) และแรง Hydrogen bonds (Polysaccharides)

ใน ค.ศ. 1967 H. Brilliant และคณะ ได้มีการศึกษานำสีย้อมเรืองแสงมาใช้ในงานทันตกรรมเพื่อตรวจหาคราบจุลินทรีย์ ต่อมา บริษัท Colgate-Palmolive ได้ศึกษาและมีการจดสิทธิบัตรการใช้สีแดงจาก Sugar beets root ซึ่งเป็นสีย้อมอินทรีย์จากธรรมชาติ สารสีของ Sugar beets อยู่ในกลุ่มที่มีชื่อว่า Betalaines มีโครงสร้างเป็นแบบ Quaternary ammonium amino acids โดยสีที่สกัดออกมาจาก Beet juice จะมีชื่อว่า Color-Treme R-111 และ R-333 ที่ให้สารสีชมพูเข้มถึงสีแดง โดยข้อดีของสีคือจะไม่ย้อมสีบริเวณเหงือกและสามารถล้างออกได้ง่าย

ใน ค.ศ. 2016 J. March และคณะ ได้อธิบายการเกิด Red autofluorescence ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะของคราบจุลินทรีย์และค่าการเปล่งแสงสีแดงที่ความยาวคลื่นสีแดงเท่ากับ 630 nm

ใน ค.ศ. 2017 D. Datta และคณะ ได้เผยถึงนวัตกรรมการย้อมคราบจุลินทรีย์โดยใช้สีเรืองแสง (Fluorescent dyes) สีที่ใช้ได้แก่ Sodium fluorescein โดย Fluorescein เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงสีน้ำเงินจะเรืองแสงสีเหลือง-เขียวออกมาในช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ 500 nm โดยวิธีการย้อมจะเริ่มจากการกรอแล้ว สารละลายสีเรืองแสงให้ทั่วช่องปาก แล้วล้างออกด้วยน้ำ ต่อมาทดสอบบริเวณติดสีคราบจุลินทรีย์โดยการส่องแสงยูวี โดยแสงยูวีจะทำให้เห็นคราบจุลินทรีย์เป็นสีเหลืองเรืองแสง

ใน ค.ศ. 1970 มีการพัฒนาการตรวจรอยโรคฟันผุด้วยเทคนิค ไฟเบอร์ออปติก ทรานซิลลูมิเนชัน (Fiber optics transillumination หรือ FOTI) เป็นวิธีที่มีความสะดวกและรวดเร็ว สามารถทำซ้ำได้หลายครั้ง ไม่เป็นอันตรายหรือส่งผลกระทบต่อเซลล์ โดยอาศัยหลักการการกระเจิงของแสง (Scatter) เมื่อกระทบฟัน ซึ่งหากแสงผ่านฟันที่มีรอยโรคฟันผุ จะทำให้ค่าดัชนีการส่องผ่านของแสง (Light transmission) ต่ำกว่าฟันที่ไม่มีรอยโรคฟันผุ อย่างไรก็ตามมีนักวิจัยอีกหลายรุ่นทำการทดลองและพบว่า วิธีนี้ยังไม่ได้ให้ความแม่นยำตามมาตรฐาน

ใน ค.ศ. 1982 B. Bjelkhagen และคณะ มีการพัฒนากระบวนการตรวจสอบด้วยเทคนิคการเรืองแสงเพื่อหาตำแหน่งของแบคทีเรีย และเริ่มมีการใช้ในการตรวจสอบฟันผุครั้งแรก โดยหลักการการกระเจิงของแสงโฟตอนที่แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ การกระเจิงแบบสะท้อนกลับ/การกระเจิงแบบแพร่กระจาย และการส่องผ่านแบบแพร่กระจาย/การการดูดกลืนแสง การเลือกความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมต่อการกระตุ้นระดับพลังงานของสารฟลูออโรฟอร์ ให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน กล่าวคือ สารฟลูออโรฟอร์ จะมีดูดกลืนแสงที่ความถี่หนึ่ง ส่งผลให้พลังงานภายในโมเลกุลสูงขึ้น หรือมีการย้ายระดับพลังงานไปยังระดับพลังงานที่สูงขึ้นเพื่อสลายพันธะ และเกิดการปลดปล่อยพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือคายพลังงานในรูปของพลังงานแสงและพลังงานความร้อนเพื่อให้สามารถสร้างพันธะได้เสถียร เนื่องจากแสงที่เปล่งออกมาในช่วงความถี่ที่ไม่เท่ากันของคราบจูลินทรีย์ ดังนั้นจำเป็นต้องทำการกระตุ้นด้วยพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เฉพาะและต่ำกว่าช่วงการเปล่งแสง อาทิ การกระตุ้นด้วยแสงสีม่วง ส่งผลให้เกิดการเรืองแสงในย่านสีเขียว ส้ม หรือแดง ซึ่งเป็นในย่านที่ตามองเห็นได้ (Visible light) ทำนองเดียวกันหากมีการกระตุ้นด้วยแสงสีแดง การเปล่งแสงจะเกิดขึ้นย่านอินฟราเรด (Infrared) การกระตุ้นสารฟลูออโรฟอร์ด้วยไดโอดเปล่งแสงสีม่วงช่วง 390-420 nm โดยช่วงที่ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 405 nm และทำให้ในช่วงนั้นเป็นช่วงที่มีการนำมาใช้ในงานทางด้านทันตกรรม อาทิ อุปกรณ์การตรวจสอบรอยโรคฟันผุ เป็นต้น

2.7.2 การนำเทคนิคการเรืองแสงมาใช้ในการตรวจสอบหารอยโรคของฟันผุนี้ มีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ วิธีที่หนึ่ง Quantitative laser fluorescence (QLF) หลักการทำงานของ QLF คือ แสงที่ความยาวคลื่น 488 nm จากแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์อาร์กอน (Argon laser) เป็นพลังงานในการกระตุ้น จะถูกปล่อยไปที่บริเวณผิวฟัน ทำให้เกิดการกระเจิงของแสง ซึ่ง QLF จะมีตัวกรองแสง (Filter) ไม่ให้เกิดการรบกวนจากคลื่นแสงอื่น ๆ มีเฉพาะแสงที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงาน (Fluorescence) เท่านั้นที่ถูกตรวจจับได้ และนำข้อมูลมาประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ วิธีการนี้เหมาะใช้สำหรับการตรวจหารอยผุที่มีความลึกไม่เกิน 300-400 ไมโครเมตร

ใน ค.ศ. 2001 จากการศึกษาของ Ando และคณะ พบว่า QLF สามารถหาปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุของรอยผุในระยะเริ่มต้นของด้านเรียบฟัน และมีค่าความไวในการตรวจพบรอยผุในระยะเริ่มต้นทางด้านเรียบของฟันสูง (0.94 – 0.98) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาและพบข้อจำกัด QLF ไม่สามารถตรวจฟันผุระดับของชั้นเนื้อฟันได้

วิธีที่สอง DIAGNOdent ® เริ่มมีการใช้ในหลายประเทศ โดยมีหลักการทำงานดังนี้ แหล่งกำเนิดแสงคือ เลเซอร์ไดโอดที่ให้แสงสีแดงมีความยาวคลื่น 655 nm ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากไฟเบอร์ออปติกซึ่งเป็นศูนย์กลาง (Central fiber optic) ในหัววัดที่กำเนิดแสงของเครื่อง (Light probe) วัตถุประสงค์คือ ฟัน ที่บริเวณผิวชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน ซึ่งจะประกอบด้วย คาร์บอเนตไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Carbonate hydroxyapatite) เหมือนกัน แต่ในระดับเนื้อฟันจะมีองค์ประกอบนี้น้อยกว่าเนื่องจากที่ชั้นเนื้อฟันมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 25% โดยปริมาตร ซึ่งชั้นเคลือบฟันมีเพียง 12% จากสัดส่วนองค์ประกอบนี้ส่งผลโดยตรงกับการดูดกลืนแสงและการกระเจิงของแสง ชั้นเนื้อฟันจะสามารถดูดกลืนและกระเจิงแสงได้มากกว่าผิวเคลือบฟัน เมื่อฟันได้รับพลังงานจากแสงเลเซอร์ จะดูดกลืนพลังงานแสงนี้ไป และส่งผลให้สารอินทรีย์ในฟันเกิดการเรืองแสงและปล่อยความยาวคลื่นออกมาในย่านที่ใกล้เคียงอินฟราเรด

ใน ค.ศ. 2000 P. Hibst and P. Paulus พบว่า นอกจากแสงฟลูออเรสเซนส์ที่มีความเข้มของแสงเพิ่มมากขึ้น เกิดจากสารพอร์ไฟริน (Porphyrin) ซึ่งเกิดจากกระบวนการเมตาโบไลต์ (Metabolite) ของแบคทีเรีย ในส่วนของตัวรับคลื่นแสงและการแปลผล เมื่อฟันรับแสงแล้วจะดูดกลืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และส่งผ่านแสงออกมาในลักษณะที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น (Emission wavelength) โดยในการรับและการแปลผลเครื่อง DIAGNOdent® มีความสามารถในการกำจัดคลื่นแสงรบกวนอื่น ๆ และแปลผลเฉพาะค่าของความยาวคลื่นมากกว่า 680 nm ซึ่งแปลผลเป็นระบบตัวเลขค่าที่อ่านได้ตั้งแต่ 0-99 โดยค่าต่ำแสดงถึงฟันปกติ และค่าสูงแสดงถึงมีฟันผุ

ใน ค.ศ. 2012 H. Golan ได้กล่าวถึงการนำเลเซอร์มาใช้ในงานด้านทันตกรรมเพื่อหารอยโรคของฟันผุ ด้วยการใช้พลังงานเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นเฉพาะกระตุ้นให้สารฟลูออโรฟอร์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายจากแบคทีเรียที่เรียกว่าพอร์ไฟรินจะเรืองแสงเป็นสีแดง ทำให้สามารถวัดความเข้มของการเรืองแสงได้เป็นความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดและขนาดของฟันผุ ดังนั้นยังกรดทำร้ายฟันมากเท่าใดก็จะทำให้สามารถวัดความเข้มได้มากเท่านั้น

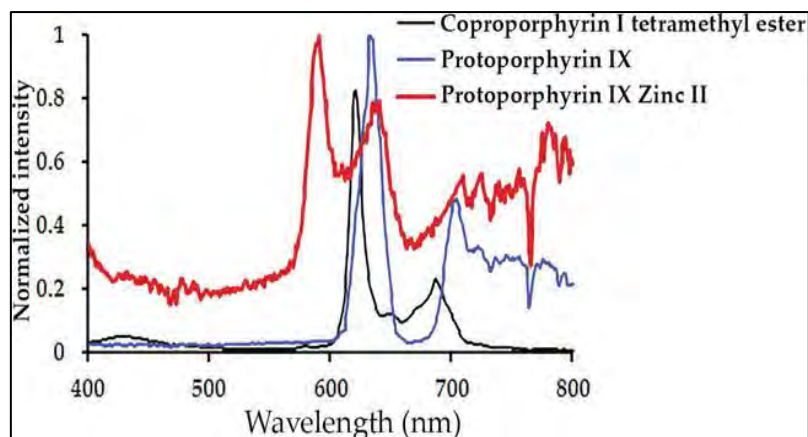
ใน ค.ศ. 2013 T. Gimenez และคณะ วิเคราะห์การเกิดโรคของฟันผุ แสดงให้เห็นว่าวิธีการเรืองแสงมีความแม่นยำและใกล้เคียงกันสำหรับฟันทุกประเภท มีแนวโน้มในการตรวจสอบหารอยโรคฟันผุได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ดี

ใน ค.ศ. 2015 Y.K. Lee ได้ข้อสรุปสำหรับเทคนิคการเรืองแสงของฟันมนุษย์ เป็นสองรูปแบบคือ รูปแบบที่หนึ่ง การบูรณะฟันด้วยแสงยูวีเมื่อฟันของมนุษย์ ถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวีจะเห็นการเรืองแสงที่ 440 nm ดังนั้นในการบูรณะหรือหาวัสดุมาทดแทนตัวฟัน ควรมีการเรืองแสงที่คล้ายกับฟันในธรรมชาติ และรูปแบบที่สอง การตรวจหาโรคฟันผุและหินปูนด้วยแสงยูวี โดยใช้เทคนิคทางแสงที่เพิ่งนำมาใช้เช่นการถ่ายภาพสเปกตรัมที่รวมการถ่ายภาพแบบเดิมและสเปกโทรสโกปีเพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งเชิงพื้นที่และสเปกตรัมจากวัตถุหรือการถ่ายภาพสเปกตรัมของวัตถุ ที่ได้รับชุดข้อมูลสามมิติ เรียกว่าไฮเปอร์คิวบ์ที่มีสองมิติเชิงพื้นที่และมิติสเปกตรัมหนึ่งมิติ จากงานวิจัยที่ผ่านมา เป็นที่ทราบกันดีในวงการทันตกรรมเรืองของสารฟลูออโรโพลีในช่องปาก PPIX ที่มีคุณสมบัติการเรืองแสง และนำคุณสมบัตินี้มาตรวจสอบรอยโรคของฟันผุนิวฟัน

ใน ค.ศ. 2015 F. Shakibaie และคณะ มีการศึกษาเทคนิคการตรวจสอบการเรืองแสงของ PPIX โดยการกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 405 nm และเกิดการเรืองแสงหรือเปล่งแสงฟลูออเรสเซนส์ในย่านที่ใกล้อินฟราเรด

ใน ค.ศ. 2016 F. Shakibaie และ L.J. Walsh ระบุว่า ฟันผุส่วนใหญ่ในการทดลอง พบว่ามี การเรืองแสงสูงสุดที่ 635 nm และมีฟันผุน้อยกว่า 10% ที่ตรวจพบว่ามีค่าสูงสุดเพิ่มขึ้นประมาณ 590 และ 620 nm ค่าสูงสุดที่เปล่งแสงออกมาเหล่านี้สอดคล้องกับการปล่อยโปรโตพอร์ไฟริน (633 nm), โคโรพอร์ไฟริน (623 nm) และ Zn โปรโตพอร์ไฟริน (593 nm) ดังรูปที่ 2.38 สายพันธุ์แบคทีเรีย เช่น Bacteroides intermedius และ Pseudomonas aeruginosa ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับโรคฟันผุเมื่อปลูกบนแผ่นวุ้นและตื่นต้นด้วยแสง 407 nm นอกจากนี้ยังแสดงการปล่อยสูงสุดที่ 636 และ 708 nm ดังตารางที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 สเปกตรัมการเรืองแสงปกติของสารละลายอนุพันธ์ของพอร์ไฟรินต่าง ๆ ที่การกระตุ้น 350 nm ในตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์

ตารางที่ 2.13 การเรืองแสงสูงสุดของแบคทีเรียที่เรียกการกระตุ้นด้วยแสง 407 nm

Bacteria	Peak fluorescence
Actinomyces odontolyticus	635 nm
Bacteroides intermedius	636, 708 nm
Pseudomonas aeruginosa	636, 618, 703 nm
Streptococcus mutans	Non-fluorescent
Streptococcus faecalis	Non-fluorescent
Lactobacterium casei	Non-fluorescent
Lactobacterium acidophilus	Non-fluorescent
Candida albicans	620 nm
Corynebacterium	620 nm

การเรืองแสงสำหรับคราบจุลินทรีย์ทางทันตกรรม มีความยาวคลื่นที่ดังตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 การกระตุ้นและการเปล่งแสงของคราบจุลินทรีย์

Excitation wavelengths	Major peaks	Minor peaks
400 nm	—	—
425 nm	—	610 nm.
450 nm	614 nm	625, 704 nm
475 nm	610 nm	708 nm
500 nm	610 nm	625, 740, 800, 822 nm
525 nm	—	706, 733, 768, 798, 800, 822 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Excitation wavelengths	Major peaks	Minor peaks
550 nm	—	708, 748, 759, 783, 824 nm
575 nm	—	708, 742, 765, 779, 822, 849 nm
600 nm	—	757, 766, 794, 828 nm
625 nm	825 nm	762 nm
650 nm	825 nm	761, 794 nm

ปี ค.ศ. 2018 Eun-Ha Jung และคณะได้มีการศึกษาการตรวจสอบความน่าเชื่อถือในการประเมินด้วยการสร้างภาพโดยเทคนิคฟลูออเรสเซนส์ สามารถประเมินความรุนแรงและสถานะรอยโรคได้ค่อนข้างดี มีความสะดวกและง่าย

จากการรวบรวมวรรณกรรมที่ผ่านมา นับตั้งแต่สมัยก่อนจนถึงปัจจุบัน จะเห็นถึงความพยายามในการรักษาโรคในช่องปากที่เกี่ยวข้องกับฟัน ซึ่งถือว่า ฟัน เป็นอวัยวะที่สำคัญ และมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก นอกจากนี้ยังเห็นได้ถึงระบบทันตกรรมที่มีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาพัฒนาในการรักษา และตรวจสอบรอยโรคฟันอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนการคิดค้นนวัตกรรมเพื่อดูแลรักษาฟัน และในทำนองเดียวกันงานวิจัยฉบับนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญและตระหนักถึงผลกระทบของโรคในช่องปาก จึงจัดทำงานวิจัยนี้ขึ้นโดยมีจุดประสงค์ในการพัฒนาการตรวจหารอยโรคฟันผุ ด้วยการนำสารอินทรีย์เป็นตัวช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างภาพทางชีวภาพด้วยเทคนิคการจำลองแบบชั้นเนื้อฟันและคราบจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาภายในบทนี้จะแนะนำและอธิบายถึงหน้าที่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง สารเคมี และบรรยายถึงหลักการ วิธีในการเตรียมสารเพื่อใช้ในการทดลอง ตลอดจนการจัดระบบการทดลองที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยรวมถึงกระบวนการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ โดยมีเนื้อหาหลักดังนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.2 การเตรียมสารเคมีและระบบวัด

3.2.1 กระบวนการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นในรูปของสารละลาย

3.2.2 กระบวนการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นในรูปของและฟิล์ม

3.2.3 ระบบการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

ในงานวิจัยฉบับนี้มีการใช้วัสดุอุปกรณ์ดังตารางที่ 3.1 และสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์	รายละเอียด
 รูปที่ 3.1 เครื่องสเปกโตรมิเตอร์	เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Avantes) ทำหน้าที่วัดปริมาณแสงและความเข้มแสง ในช่วงความยาวคลื่นที่กำหนดคือ 200-1100 nm พร้อมสาย USB ที่เชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์
 รูปที่ 3.2 เส้นใยแก้วนำแสง 0.6 mm	เส้นใยแก้วนำแสง 0.6 mm นำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวตรวจรับ
 รูปที่ 3.3 เส้นใยแก้วนำแสง 0.8 mm	เส้นใยแก้วนำแสง 0.8 mm นำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังตัวตรวจรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานในวงจำกัดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังระบบออนไลน์ใด ๆ


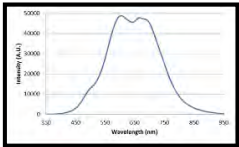




ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

วัสดุอุปกรณ์	รายละเอียด
 <p>รูปที่ 3.4 อุปกรณ์จับยึด</p>	<p>อุปกรณ์จับยึดคิ่วเวท จับยึดคิ่วเวท เพื่อใช้ในการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสง และการเปล่งแสงของสารละลาย</p>
 <p>รูปที่ 3.5 แท่นวางฟิล์ม</p>	<p>แท่นวางฟิล์ม ที่วางแผ่นกระจกสไลด์ เพื่อใช้ในการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของฟิล์ม</p>
 <p>รูปที่ 3.6 อุปกรณ์เชื่อมต่อ LED</p>	<p>อุปกรณ์เชื่อมต่อไดโอดเปล่งแสง LED เชื่อมต่อไดโอดเปล่งแสง โดยด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับสายไฟเบอร์ออปติกเพื่อนำแสงจากไดโอดเปล่งแสงไปทำการวัดระบบวัดการเรืองแสง</p>
 <p>รูปที่ 3.7 อุปกรณ์จับยึดคอนเดนเซอร์</p>	<p>อุปกรณ์จับยึดคอนเดนเซอร์ จับยึด LED เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง</p>
 <p>รูปที่ 3.8 (ก) ไดโอดเปล่งแสงสีม่วง</p>	<p>ไดโอดเปล่งแสงสีม่วง กระตุ้นสารละลาย ให้เกิดการเรืองแสง มีสเปกตรัมของแสงที่มีความยาวคลื่น 400 nm</p>
 <p>รูปที่ 3.8 (ข) สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงสีม่วง</p>	







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

วัสดุอุปกรณ์	รายละเอียด
 <p>รูปที่ 3.9 (ก) แหล่งกำเนิดแสงขาว</p>	<p>แหล่งกำเนิดแสงขาว (MEGA LIGHT 50-SCHOTT) ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงขาวจากหลอดไฟทั้งสแตนด์ โดยมีสเปกตรัมอยู่ที่ช่วง 400-700 nm</p>
 <p>รูปที่ 3.9 (ข) สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงขาว</p>	
 <p>รูปที่ 3.10 ซ้อนตักสาร</p>	<p>ซ้อนตักสาร ใช้สำหรับตักสารรูปของของแข็ง</p>
 <p>รูปที่ 3.11 เครื่องชั่งสาร</p>	<p>เครื่องชั่งสาร (Pioneer) ใช้สำหรับชั่งสารให้ได้ปริมาณที่ต้องการ</p>
 <p>รูปที่ 3.12 ขวดแก้ว</p>	<p>ขวดแก้ว บรรจุสารละลายขนาด 10 มิลลิลิตร โดยมีฝาปิดเพื่อป้องกันการระเหยของสารละลายออกจากขวด</p>
 <p>รูปที่ 3.13 ไมโครปิเปตต์และทิป</p>	<p>ไมโครปิเปตต์ ทำหน้าที่วัดดูดสารละลายที่ใช้ในการทดลอง มีความแม่นยำสูง ใช้ร่วมกับทิปสำหรับดูดสารละลาย</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

วัสดุอุปกรณ์	รายละเอียด
 <p>รูปที่ 3.14 เครื่องอัลตราโซนิก</p>	<p>เครื่องอัลตราโซนิก (CMT-50) ทำความสะอาดอุปกรณ์การทดลองด้วยคลื่นความถี่</p>
 <p>รูปที่ 3.15 คิวเวท</p>	<p>คิวเวท ใช้บรรจุสารละลายเพื่อทำการทดลอง มีขนาดกว้าง ยาว และสูง เท่ากับ 1.0 x 1.0 x 4.0 cm</p>
 <p>รูปที่ 3.16 ปีกเกอร์</p>	<p>ปีกเกอร์ (Beaker) สำหรับบรรจุสารละลาย ซึ่งมีขนาด 50 100 200 และ 500 mL</p>
 <p>รูปที่ 3.17 กระดาษทิชชู</p>	<p>กระดาษ Kimwipes สำหรับเช็ดทำความสะอาดอุปกรณ์</p>
 <p>รูปที่ 3.18 กระจกสไลด์</p>	<p>กระจกสไลด์ สำหรับเป็นฐานรองชั้นฟิล์ม</p>
 <p>รูปที่ 3.19 เครื่องวัดสี</p>	<p>เครื่องวัดสี (3NH-NR200) วัดความแตกต่างของเฉดสี</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)



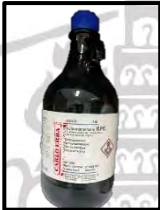



วัสดุอุปกรณ์	รายละเอียด
<p>รูปที่ 3.20 เครื่องเขย่าสาร</p>	<p>Vortex mixer (G560E) เขย่าสารให้เป็นสารเนื้อเดียวกัน มีระดับความแรง 1-10</p>
<p>รูปที่ 3.21 เครื่องวัดความหนา</p>	<p>Thickness gauges วัดความหนาของแผ่นฟิล์ม มีความละเอียดที่ 0.001 mm</p>

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	รายละเอียด	สถานะ
<p>รูปที่ 3.22 Protoporphyrin-IX</p>	<p>ชื่อ : Protoporphyrin-IX สัญลักษณ์/ย่อ : PPIX บริษัท : TRC Canada</p>	ของแข็ง
<p>รูปที่ 3.23 Zinc oxide</p>	<p>ชื่อ : Zinc oxide สัญลักษณ์/ย่อ : ZnO บริษัท : Sigma Aldrich</p>	ของเหลว
<p>รูปที่ 3.24 Hydrochloric</p>	<p>ชื่อ : Hydrochloric สัญลักษณ์/ย่อ : HCl บริษัท : Sigma Aldrich</p>	ของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

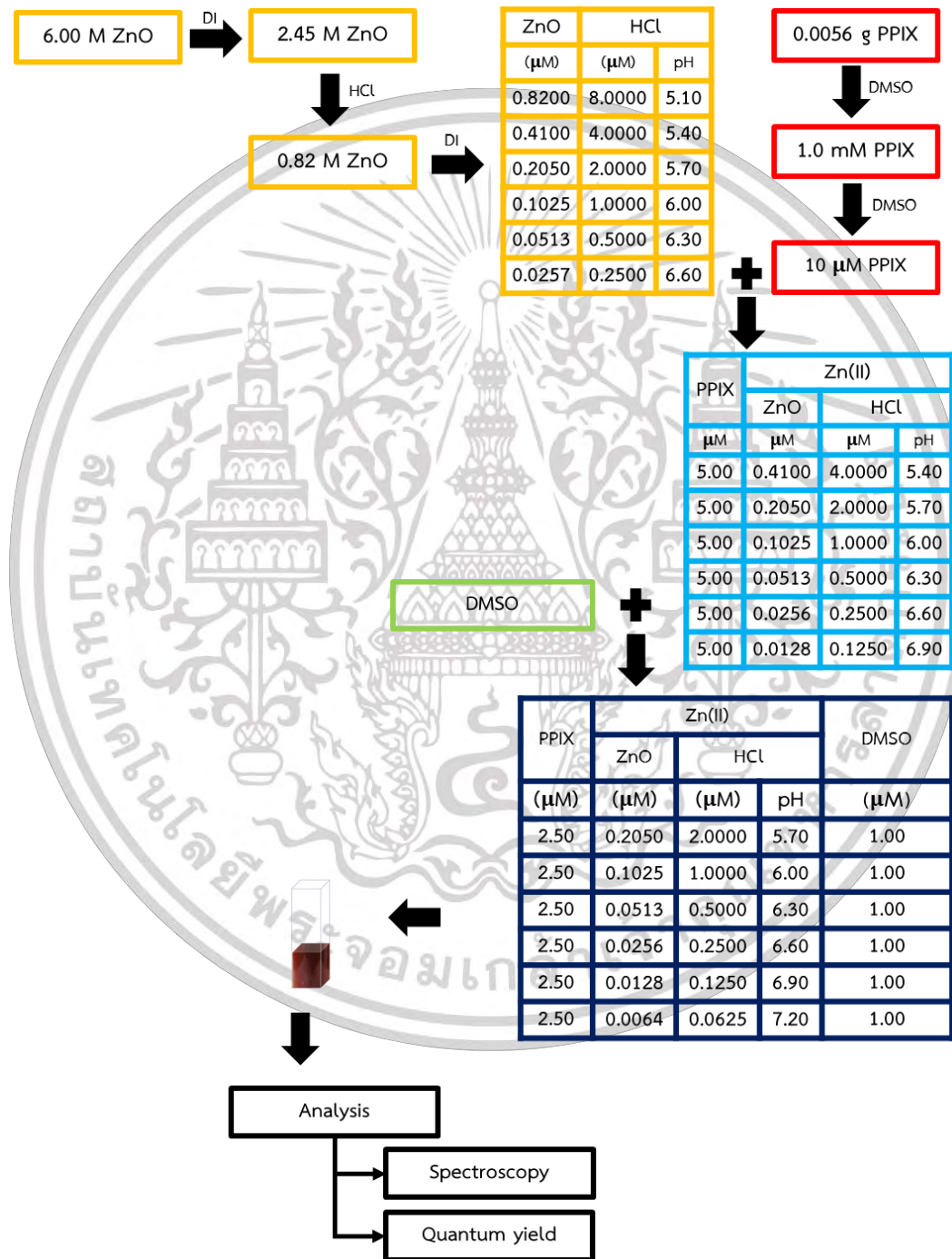
ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

สารเคมี	รายละเอียด	สถานะ
 รูปที่ 3.25 Dimethyl sulfoxide	ชื่อ : Dimethyl sulfoxide สัญลักษณ์/ย่อ : DMSO บริษัท : Sigma Aldrich	ของเหลว
 รูปที่ 3.26 Polymethymethacrylate	ชื่อ : Polymethymethacrylate สัญลักษณ์/ย่อ : PMMA บริษัท : Sigma Aldrich	ของแข็ง
 รูปที่ 3.27 Dichloromethane	ชื่อ : Dichloromethane สัญลักษณ์/ย่อ : DCM บริษัท : Sigma Aldrich	ของเหลว
 รูปที่ 3.28 Deionization water	ชื่อ : Deionized water สัญลักษณ์/ย่อ : DI บริษัท : -	ของเหลว
 รูปที่ 3.29 Acetone	ชื่อ : Acetone สัญลักษณ์/ย่อ : - บริษัท : -	ของเหลว
 รูปที่ 3.30 Ethanol	ชื่อ : Ethanol สัญลักษณ์/ย่อ : - บริษัท : -	ของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

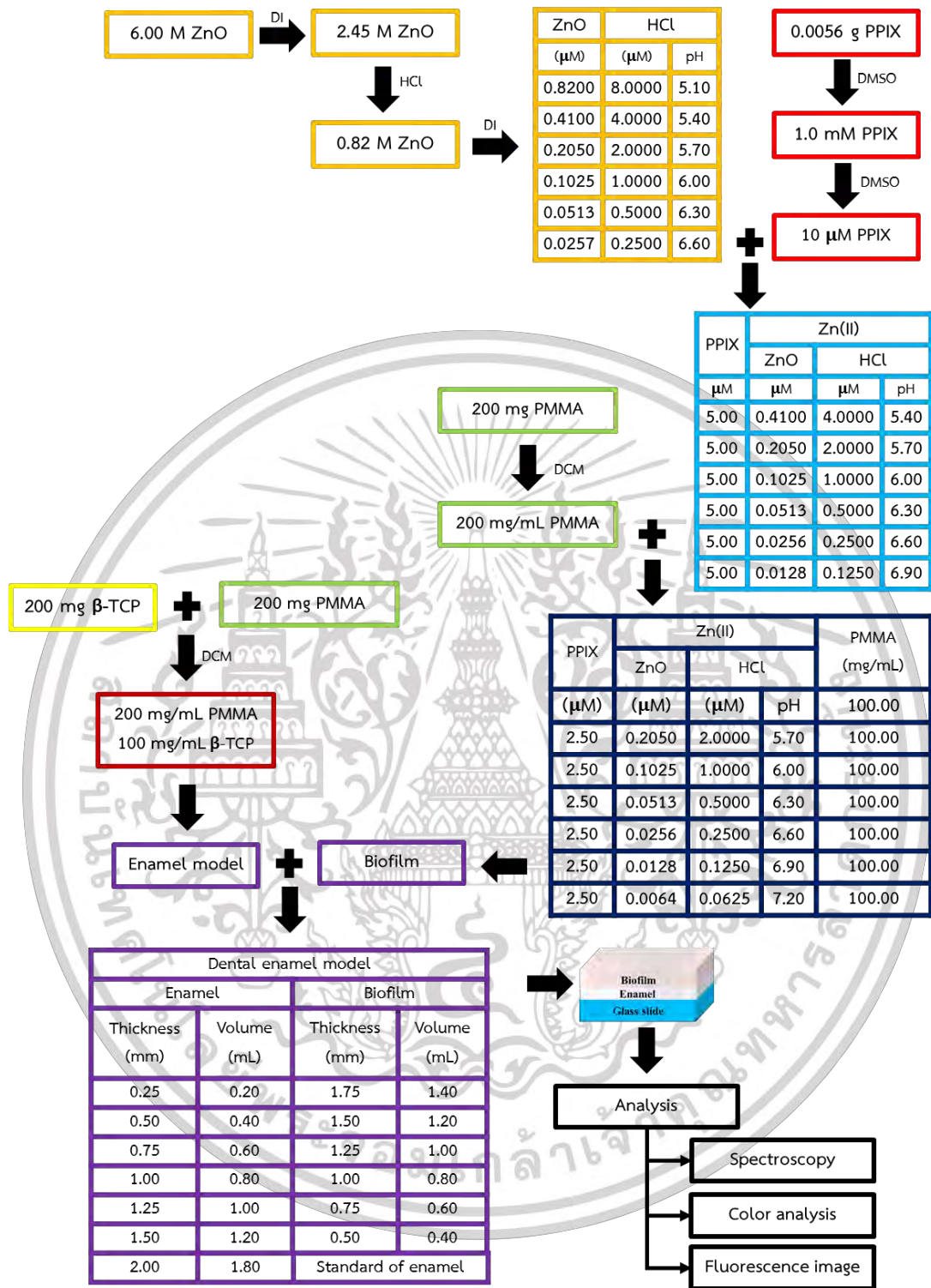
3.2 การเตรียมสารเคมีและระบบวัด

ในกระบวนการเตรียมสารเคมีแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อใหญ่เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ การเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นในรูปของสารละลาย ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังรูปที่ 3.31 และการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นในรูปของฟิล์ม แสดงภาพรวมดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.31 ภาพรวมการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นในรูปของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 ภาพรวมการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบฟันในรูปของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 กระบวนการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นในรูปของสารละลาย

1. การเตรียมโพโตพอร์ไฟริน-9 (PPIX)

ขั้นตอนที่ 1 ชั่งสาร PPIX ให้ได้ในปริมาณเท่ากับ 0.0056 g

ขั้นตอนที่ 2 ละลาย PPIX ด้วยตัวทำละลาย DMSO ในปริมาณ 1.0 mL นำไปเขย่าสารด้วยเครื่อง Vortex mixer ที่ความแรงระดับที่ 5 เป็นเวลา 120 s จะได้สารละลาย PPIX ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.0 mM

ขั้นตอนที่ 3 เจือจางสารละลาย PPIX ด้วยตัวทำละลาย DMSO และนำไปเขย่าสารด้วยเครื่อง Vortex mixer ที่ความแรงระดับ 5 เป็นเวลา 120 s จะได้สารละลาย PPIX ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 10 μM เก็บไว้เป็น Stock เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2. การเตรียมซิงค์ไอออน (Zinc ion or Zn(II))

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ในขวด 50%wt ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับ 6.0 M

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเจือจาง ZnO โดยการเติมน้ำปอดประจุ (DI) ในปริมาตรเท่ากับ 1.53 mL ต่อ 0.47 mL ของ 6.0 M ZnO จากนั้นกระตุ้นด้วยความร้อนในห้องอนุภาคแตกตัวได้เร็วขึ้นด้วยเครื่องอัลตราโซนิกส์ เป็นเวลา 15 min จะได้ความเข้มข้นของ ZnO เท่ากับ 2.45 M

ขั้นตอนที่ 3 ละลาย ZnO ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ด้วยการเติม 2.0 mL ของ 12.0 M HCl ต่อ 1.0 mL ของ 2.45 M ZnO และเขย่าสารให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex mixer ที่ระดับความแรงที่ 5 เป็นเวลา 120 s ได้ปริมาตรสุทธิที่ 3.0 mL มีความเข้มข้นสุดท้ายที่ 0.82 M ZnO และ 8.0 M HCl จากการทำปฏิกิริยาจะได้ Zn(II) เป็นสารผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนที่ 4 ทำการเจือจาง Zn(II) ซึ่งมี 0.82 M ZnO และ 8.0 M HCl ด้วยการเติม DI และนำไปเขย่าสารให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Vortex mixer ความแรงระดับ 5 เป็นเวลา 120 s ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 0.82 μM ZnO และ 8.0 μM HCl ซึ่งมีค่า pH 5.10 เก็บไว้เป็นสารตั้งต้น

ขั้นตอนที่ 5 นำสารตั้งต้น Zn(II) ที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 4 มาเจือจางด้วย DI และนำไปเขย่าสารให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง Vortex mixer ที่ความแรงระดับ 5 เป็นเวลา 120 s จะได้ความเข้มข้น Zn(II) ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของ Zn(II)

ZnO	HCl		ปริมาตร (mL)
(μM)	(μM)	pH	
0.8200	8.0000	5.10	2.0
0.4100	4.0000	5.40	2.0
0.2050	2.0000	5.70	2.0
0.1025	1.0000	6.00	2.0
0.0513	0.5000	6.30	2.0
0.0257	0.2500	6.60	2.0

3. การเตรียมสารประกอบของ PPIX และ Zn(II)

นำสารละลาย Zn(II) ที่เตรียมไว้ในความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.3 ใส่ลงในขวดแก้ว จากนั้นใส่สารละลาย PPIX ที่ความเข้มข้น $10 \mu\text{M}$ ลงในขวดของ Zn(II) แต่ละขวด และนำไปเขย่าสารด้วยเครื่อง Vortex mixer ที่ความแรงระดับ 5 เป็นเวลา 120 s จะได้ความเข้มข้นของ PPIX และ Zn(II) ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นของสารประกอบของ PPIX และ Zn(II)

PPIX	Zn(II)		
	ZnO	HCl	
μM	μM	μM	pH
5.00	0.4100	4.0000	5.40
5.00	0.2050	2.0000	5.70
5.00	0.1025	1.0000	6.00
5.00	0.0513	0.5000	6.30
5.00	0.0256	0.2500	6.60
5.00	0.0128	0.1250	6.90

จากนั้นทำการเติม DMSO ลงในสารละลายที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน 1:1 เพื่อให้ความเข้มข้นสุทธิสารละลายเท่ากับความเข้มข้นของการเตรียมฟิล์มในหัวข้อ 3.2.2 ซึ่งมีความเข้มข้นของ PPIX และ Zn(II) ดังตารางที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นสุดท้ายของสารประกอบของ PPIX และ Zn(II)

PPIX	Zn(II)			Molar ratio of PPIX : ZnO
	ZnO	HCl		
(μM)	(μM)	(μM)	pH	
2.50	0.2050	2.0000	5.70	1:0.0820
2.50	0.1025	1.0000	6.00	1:0.0410
2.50	0.0513	0.5000	6.30	1:0.0205
2.50	0.0256	0.2500	6.60	1:0.0103
2.50	0.0128	0.1250	6.90	1:0.0051
2.50	0.0064	0.0625	7.20	1:0.0026

3.2.2 กระบวนการเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นในรูปของฟิล์ม

1. การเตรียมฟิล์มชั้นคราบจูลินทรี

ขั้นตอนที่ 1 เตรียม 200 mg โพลีเมทิลเมทาอะครีเลต (PMMA) ทำละลายด้วยสารละลาย 1.0 mL ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane หรือ DCM)

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมสารละลายเช่นเดียวกับตารางที่ 3.4

ขั้นตอนที่ 3 ผสมสารละลายในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 เข้าด้วยกัน จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ความเข้มข้นสุดท้ายสำหรับทำฟิล์มชั้นคราบจูลินทรี

PPIX	Zn(II)			PMMA (mg/mL)	Molar ratio of PPIX : ZnO
	ZnO	HCl			
(μM)	(μM)	(μM)	pH	100.00	
2.50	0.2050	2.0000	5.70	100.00	1:0.0820
2.50	0.1025	1.0000	6.00	100.00	1:0.0410
2.50	0.0513	0.5000	6.30	100.00	1:0.0205
2.50	0.0256	0.2500	6.60	100.00	1:0.0103
2.50	0.0128	0.1250	6.90	100.00	1:0.0051
2.50	0.0064	0.0625	7.20	100.00	1:0.0026

2. การเตรียมฟิล์มชั้นเนื้อฟัน

ขั้นตอนที่ 1 ตักสารเบตาไตรแคลเซียมฟอสเฟต (Beta-tri-calcium phosphate หรือ β -TCP) ให้ได้ปริมาณเท่ากับ 0.1000 g

ขั้นตอนที่ 2 ชั่ง PMMA ให้ได้ปริมาณเท่ากับ 0.2000 g

ขั้นตอนที่ 3 นำสาร PMMA ในขั้นตอนที่ 2 ลงในขวดของ β -TCP ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 4 ละลายสารด้วยตัวทำละลาย DCM

3. การเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

การเตรียมแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน โดยจำลองความหนาของชั้นเคลือบฟันที่ 2.0 mm ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของชั้นเคลือบฟันจริง และออกแบบการทำฟิล์มให้มีขนาดที่สามารถวัดงานได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยมีความกว้าง 20.0 mm และความยาว 40.0 mm โดยภาพรวมของแบบจำลองมีปริมาตรเท่ากับ 1.60 mL และมีขั้นตอนการเตรียมด้วยเทคนิคการ Drop casting ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หยดสารในหัวข้อการเตรียมฟิล์มชั้นเนื้อฟันลงในกระจกสไลด์ที่เตรียมไว้ ในปริมาณที่สัมพันธ์กับความหนาของชั้นเคลือบฟัน ดังตารางที่ 3.7

ขั้นตอนที่ 2 รอให้ฟิล์มของชั้นเนื้อฟันเกือบจะแห้งสนิท เป็นเวลา 5 นาที

ขั้นตอนที่ 3 หยดสารที่ในหัวข้อการเตรียมฟิล์มชั้นคราบจุนทรีย์ ลงในกระจกสไลด์ที่หยดสารของชั้นเนื้อฟันในขั้นตอนที่ 1 ลงในปริมาณที่สัมพันธ์กับความหนาของชั้นเคลือบฟัน ดังตาราง 3.7

ขั้นตอนที่ 4 ใช้ Thickness gauge วัดความหนาของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

ตารางที่ 3.7 ความหนาของฟิล์มหรือแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

แบบจำลองชั้นเคลือบฟัน				Volume ratio of Enamel : Biofilm
ชั้นเคลือบฟัน		คราบจุนทรีย์		
ความ หนา (mm)	ปริมาตร (mL)	ความ หนา (mm)	ปริมาตร (mL)	
0.25	0.20	1.75	1.40	1 : 7.00
0.50	0.40	1.50	1.20	1 : 3.00
0.75	0.60	1.25	1.00	1 : 1.33
1.00	0.80	1.00	0.80	1 : 1.00
1.25	1.00	0.75	0.60	1 : 0.67
1.50	1.20	0.50	0.40	1 : 0.33
2.00	1.60	-	-	*ใช้เป็นมาตรฐานของสภาพฟันที่สมบูรณ์

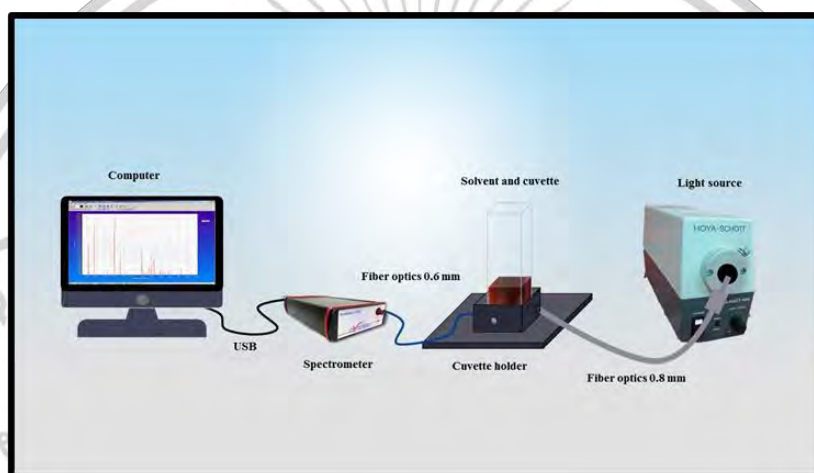
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ระบบการทดลอง

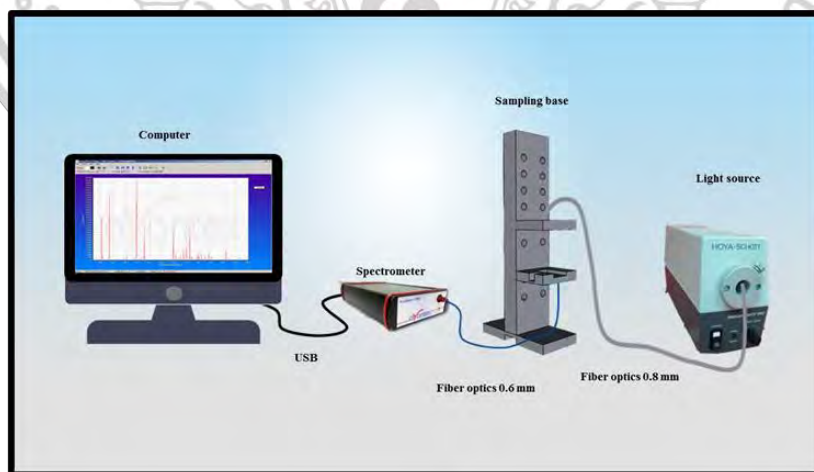
ในการทดลองแบ่งระบบวัดเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การวัดทางแสงด้วยเครื่องมือสเปกโตรมิเตอร์ กล้องจุลทรรศน์เรืองแสง และเครื่องวัดความแตกต่างของสี

1. เครื่องสเปกโตรมิเตอร์

1) ระบบวัดการดูดกลืนแสง การจัดระบบให้ลำแสงแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์ตรวจจับแสงอยู่ในตำแหน่งที่ขนานกันหรือทำมุมกัน 0° โดยการวัดแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบได้แก่ การวัดการดูดกลืนแสงในรูปของสารละลาย (เตรียมสารละลายตามตารางที่ 3.5) และการวัดการดูดกลืนแสงในรูปของฟิล์ม (เตรียมฟิล์มดังตารางที่ 3.7) โดยมีการจัดระบบวัดดังรูปที่ 3.33 และ 3.34 ตามลำดับ



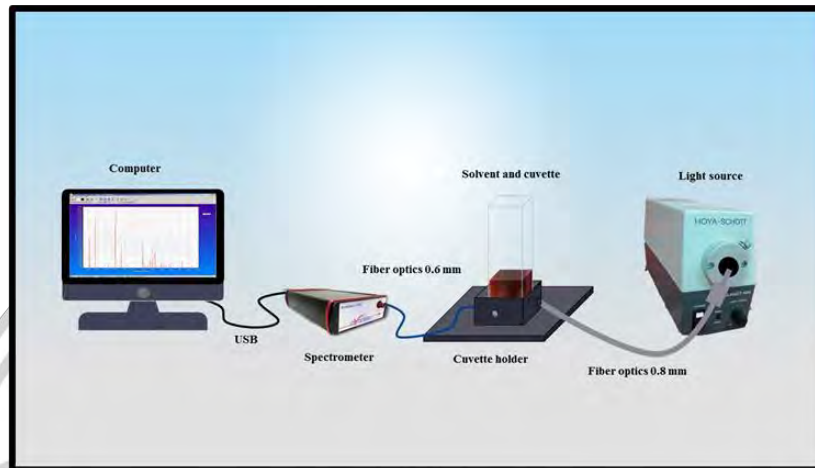
รูปที่ 3.33 ระบบวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย



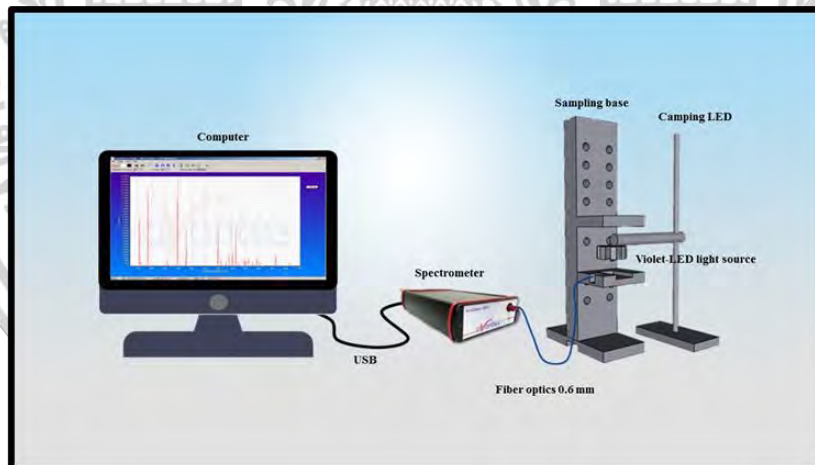
รูปที่ 3.34 ระบบวัดการดูดกลืนแสงของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ระบบวัดการเปล่งแสง การจัดระบบให้ลำแสงแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์ตรวจจับแสง อยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกันหรือทำมุมกัน 90° โดยการวัดแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบได้แก่ การวัดการเปล่งแสงในรูปของสารละลาย (เตรียมสารละลายตามตารางที่ 3.5) และการวัดการเปล่งแสงในรูปของฟิล์ม (เตรียมฟิล์มดังตารางที่ 3.7) โดยมีการจัดระบบวัดดังรูปที่ 3.35 และ 3.36 ตามลำดับ



รูปที่ 3.35 ระบบวัดการเปล่งแสงของสารละลาย



รูปที่ 3.36 การจัดระบบวัดการเปล่งแสงของฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เครื่องวัดค่าดัชนีหักเห

ขั้นตอนที่ 1 หยดสารละลาย PPIX ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงลงในเครื่องวัดค่าดัชนีหักเห

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าดัชนีหักเหของสารตัวอย่างแต่ละตัวตามตารางที่ 3.5

ขั้นตอนที่ 3 หาค่าพื้นที่ใต้กราฟการดูดกลืนแสงและการเปล่งของสารจากผลของการวัดเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

ขั้นตอนที่ 4 นำข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณ Quantum yield ดังสมการที่ 3.1

$$\Phi_F = \Phi_{F(R)} \frac{I}{I_R} \frac{A_R}{A} \frac{n^2}{n_R^2} \quad (3.1)$$

เมื่อ	α	คือ ค่าคงที่ของจำนวนโฟตอนที่ถูกปลดปล่อยออกมา
	β	คือ ค่าคงที่ของจำนวนโฟตอนที่ถูกดูดกลืน
	b	คือ การดูดกลืนแสงของความยาวคลื่นที่ได้รับการกระตุ้น
	$\Phi_{F(X)}$	คือ ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารตัวอย่าง
	$\Phi_{F(R)}$	คือ ค่าฟลูออเรสเซนซ์ควอนตัมยิลด์ของสารอ้างอิง
	I	คือ พื้นที่ใต้กราฟความเข้มแสงของการเปล่งแสงของสารตัวอย่าง
	I_R	พื้นที่ใต้กราฟความเข้มแสงของการเปล่งแสงของสารอ้างอิง
	A	คือ ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารตัวอย่าง
	A_R	คือ ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารอ้างอิง
	n	คือ ค่าดัชนีหักเหแสงของสารตัวอย่าง
	n_R	คือ ค่าดัชนีหักเหแสงของสารอ้างอิง

2. กล้องจุลทรรศน์เรืองแสง

ขั้นตอนที่ 1 นำฟิล์มตามตารางที่ 3.7 ส่งวัดการเรืองแสงของฟิล์มตัวอย่างที่ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ สจล. (Excitation = 380nm และ Emission = 630 nm)

ขั้นตอนที่ 2 ประมวลผลภาพ

3. เครื่องวัดความแตกต่างของสี

ขั้นตอนที่ 1 นำแบบจำลองชั้นเคลือบพินตามตารางที่ 3.7 วัดด้วย Colorimeter

ขั้นตอนที่ 2 วัดค่าความต่างสี (ΔE) ของชั้นเคลือบพินเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง

ขั้นตอนที่ 3 วัดค่าความต่างสี (ΔE) ของแบบจำลองชั้นเคลือบพินเพื่อนำไป

วิเคราะห์สภาพพินผู้จำลองในช่องปาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เนื้อหาภายในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงผลการศึกษา การวิจัยและการวิเคราะห์ผลการทดลองจากการทดลองที่กล่าวไปในบทที่ 3 ผลของซิงค์ไอออน (Zinc ion, Zn(II)) ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางแสงของ Protoporphyrin-IX (PPIX) ในรูปของสารละลาย (Solution) และในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน (Enamel model) เพื่อหาความเข้มข้นของ Zn(II) ที่เหมาะสมกับ 2.5 μ M PPIX และการทดลองหาประสิทธิภาพทางแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา (Thickness) ของชั้นเคลือบฟัน (Enamel) และชั้นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) เพื่อเปรียบเทียบกับระดับความรุนแรงของการสูญเสียเนื้อฟันจากการเกิดโรคฟัน (Level of dental caries)

การทดลองที่กล่าวมาทั้งหมด ผู้วิจัยได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้งต่อการทดลอง เพื่อตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องของข้อมูลและนำมาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล โดยในเนื้อหาบทนี้จะแสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประกอบการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งหัวข้อการรายงานผลการทดลองไว้ 3 ส่วนได้แก่ ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของสารละลาย ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน และ ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงของความหนาของชั้นเคลือบฟัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (ดังรูปที่ 4.1)

4.1 ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของสารละลาย

- 1) การดูดกลืนแสงของ 2.5 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ
- 2) การเปล่งแสงของ 2.5 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ
- 3) ควอนตัมยิวของ 2.5 μ M PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

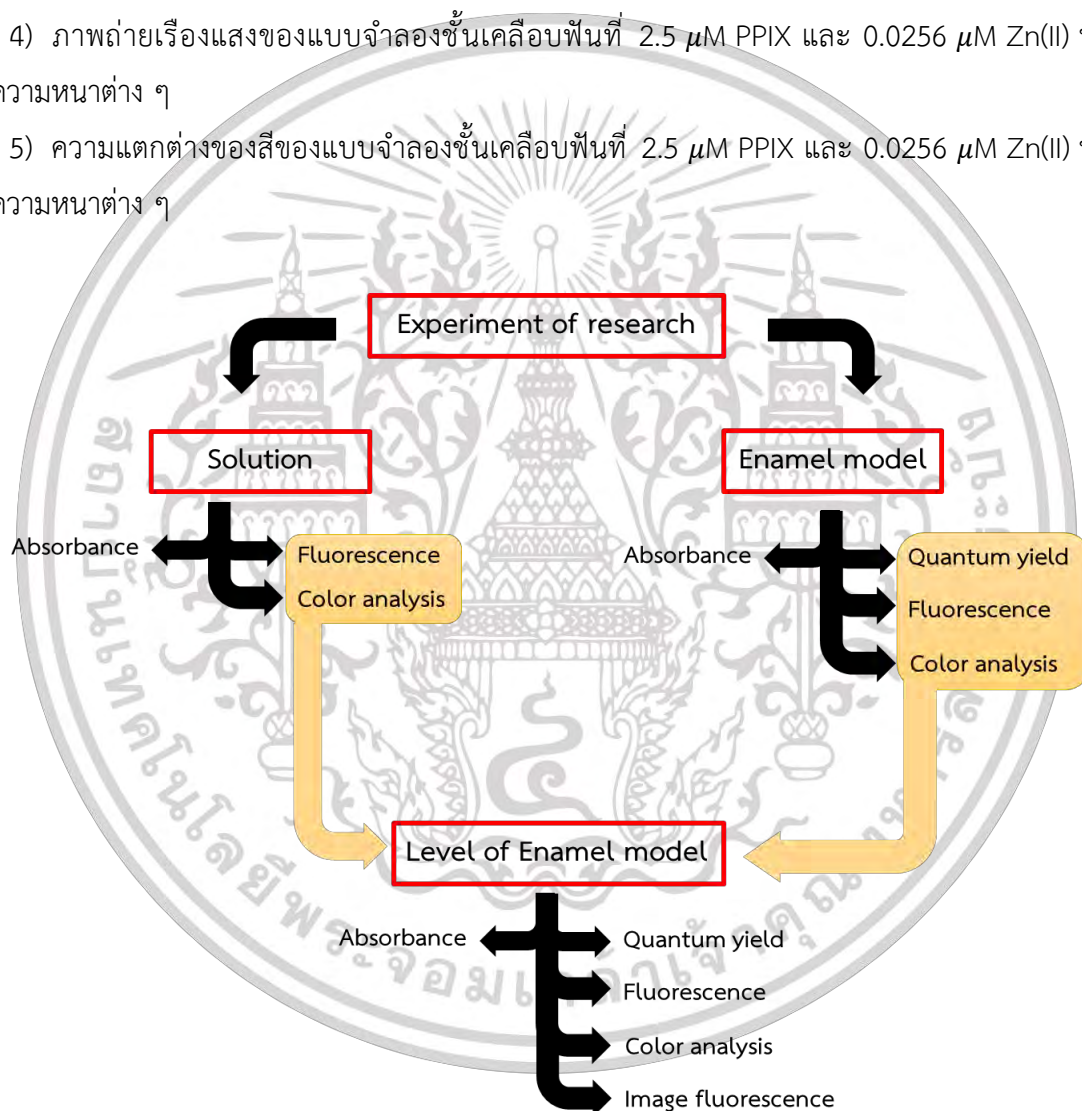
4.2 ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

- 1) การดูดกลืนแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μ M PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ
- 2) การเปล่งแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μ M PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ
- 3) ควอนตัมยิวของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μ M PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ
- 4) การวิเคราะห์สีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μ M PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงของความหนาของชั้นเคลือบฟัน

- 1) การดูดกลืนแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ
- 2) ผลของการเปล่งแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ
- 3) ความเข้มยิวของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ
- 4) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ
- 5) ความแตกต่างของสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ

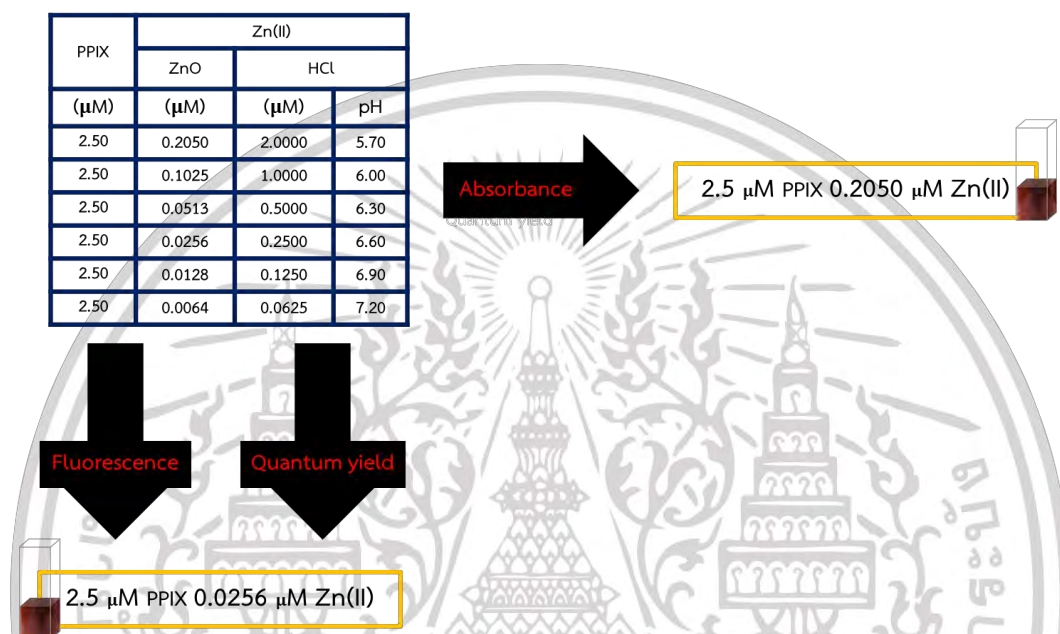


รูปที่ 4.1 แผนภาพแนวทางการศึกษาสมบัติทางแสงของ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มชั้นต่าง ๆ ของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของสารละลาย

จากการศึกษาสมบัติทางแสงของ PPIX และ Zn(II) ในรูปของสารละลาย ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาหาคุณสมบัติทางแสงของสารละลาย 3 สมบัติ ได้แก่ การศึกษาการดูดกลืนแสงของสารละลาย PPIX และ Zn(II) การศึกษาการเปล่งแสงของสารละลาย PPIX และ Zn(II) และการศึกษาควอนตัมยิวของสารละลาย PPIX และ Zn(II) ซึ่งได้ผลการศึกษา เป็นดังนี้ (ดังรูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 แผนภาพสรุปผลการศึกษาสมบัติทางแสงของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในรูปของสารละลายของงานวิจัย

1) การดูดกลืนแสงของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

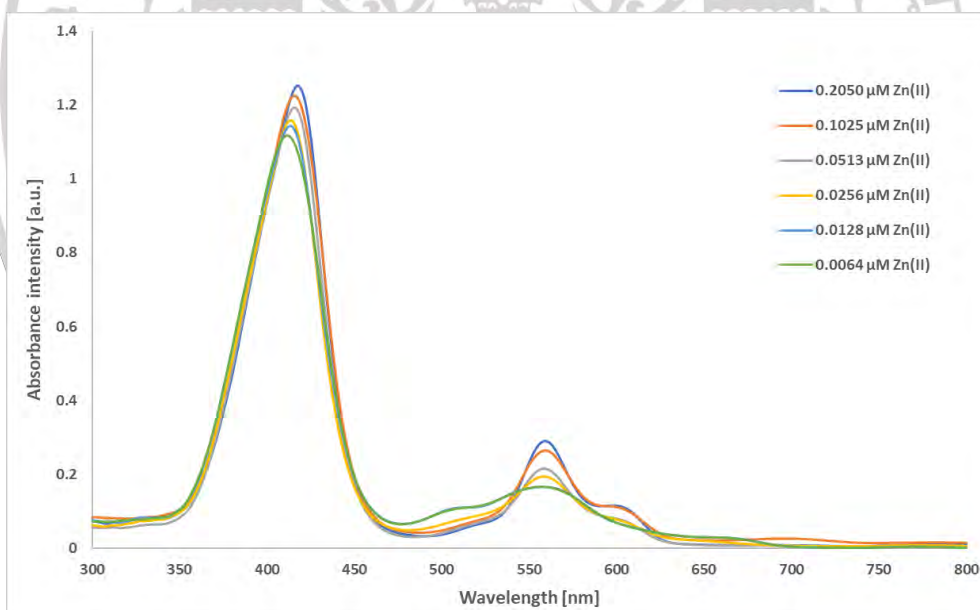
จากผลการทดลองในการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นระหว่างของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในรูปของสารละลาย (อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) พบว่า สารละลาย 2.5 μM PPIX ที่มีการเติม Zn(II) น้อยที่สุด ($[\text{Zn(II)}] = 0.0064 \mu\text{M}$) มีค่าดูดกลืนแสงน้อยที่สุด โดยมีค่าดูดกลืนแสงเพียง 1.1266 ± 0.0021 อยู่ที่ความยาวคลื่นแสง 411.71 นาโนเมตร ($\text{pH} = 7.20$) และหากเติม Zn(II) มากที่สุด ($[\text{Zn(II)}] = 0.2050 \mu\text{M}$) มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด โดยมีค่าการดูดกลืนแสง 1.2691 ± 0.0042 อยู่ที่ความยาวคลื่น 417.58 นาโนเมตร ($\text{pH} = 5.70$)

จากการวิเคราะห์การศึกษาสมบัติทางแสงของการดูดกลืนแสงพบว่า แนวโน้มของค่าการดูดกลืน เมื่อเติม Zn(II) ในปริมาณที่เท่ากันแต่ความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้น ลงใน 2.5 μM PPIX จะส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงมากขึ้นตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงในตารางที่ 4.1 และกราฟข้อมูลเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์ ดังสมการที่ 2.6 “ค่าการดูดกลืนแสงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย” กล่าวคือ หากทำการเติม Zn(II) ในความเข้มข้นสูงขึ้นไป ลงใน 2.5 μM PPIX ส่งผลให้ความเข้มข้นโดยรวมมากขึ้น ทำให้เกิดการดูดกลืนแสงได้มากขึ้น

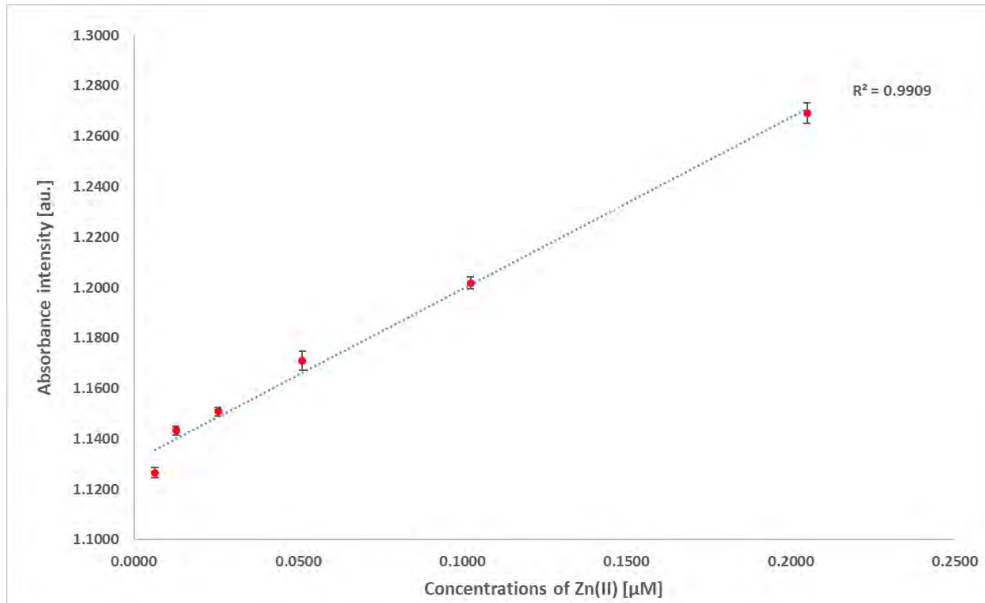
ตารางที่ 4.1 สมบัติการดูดกลืนแสงของสารละลาย PPIX และ Zn(II)

Concentrations (μM)		pH	Intensity (a.u.)	Integrated intensity	Wavelength (nm)
PPIX	Zn(II)				
2.50	0.0064	7.20	1.1266 ± 0.0021	74.4288 ± 0.6613	411.71
2.50	0.0128	6.90	1.1432 ± 0.0018	75.8216 ± 0.6277	413.47
2.50	0.0256	6.60	1.1507 ± 0.0017	77.2171 ± 0.2154	414.06
2.50	0.0513	6.30	1.1710 ± 0.0037	79.0683 ± 0.4598	415.82
2.50	0.1025	6.00	1.2018 ± 0.0023	82.7415 ± 0.3403	415.82
2.50	0.2050	5.70	1.2691 ± 0.0042	89.7204 ± 0.4588	417.58

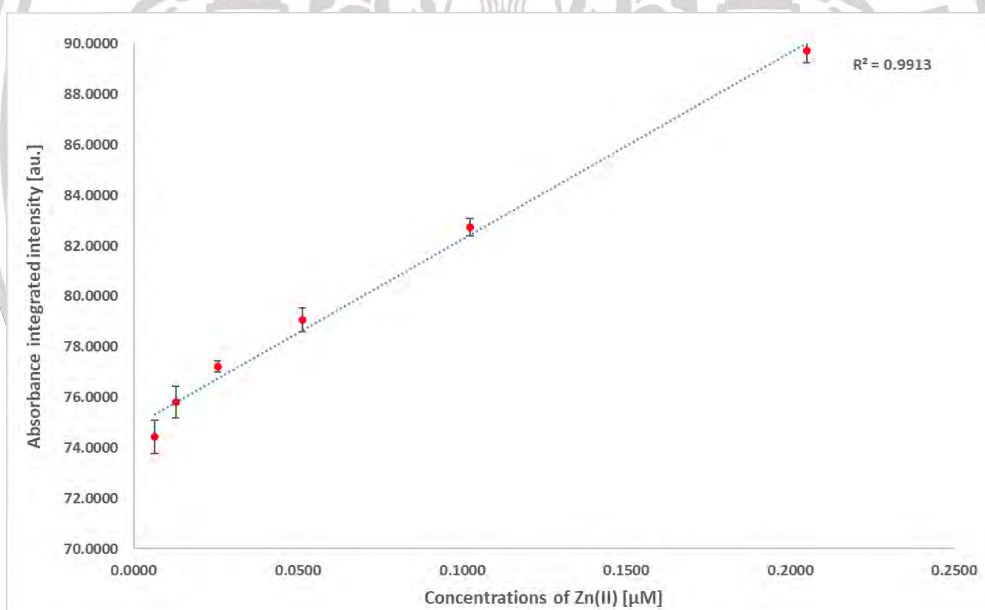


รูปที่ 4.3 (ก) กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



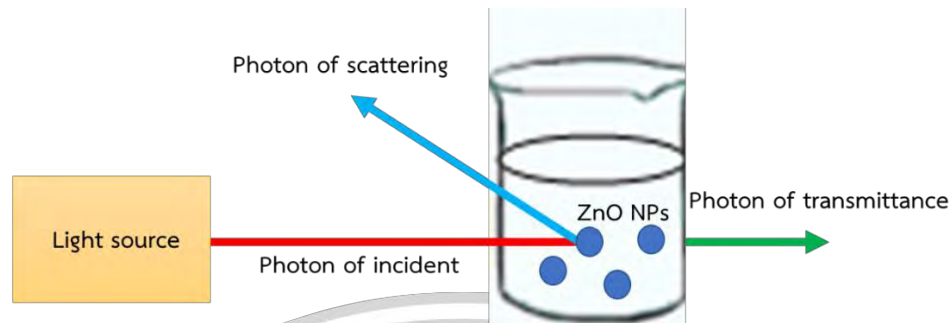
รูปที่ 4.3 (ข) กราฟแสดงค่าดูดกลืนแสงสูงสุดสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 4.3 (ค) กราฟแสดงค่า Integrated absorbance สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ในทำนองเดียวกัน แสงนอกจากจะมีสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วนั้น ยังมีสมบัติเป็นอนุภาค เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางในสารละลายที่มีตะกอนจะเกิดการกระเจิงของแสงออกไปในทิศทางต่าง ๆ ได้ นั่นคือ การเติม Zn(II) ในรูปของ ZnO + HCl เกิดตะกอนบางส่วนของ Zn(II) หากมีการเติมในความเข้มข้นที่มากหรือปริมาณที่มาก ก็จะส่งผลให้มีตะกอนมากเช่นกัน ดังนั้น เมื่ออนุภาคฟอโอสสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

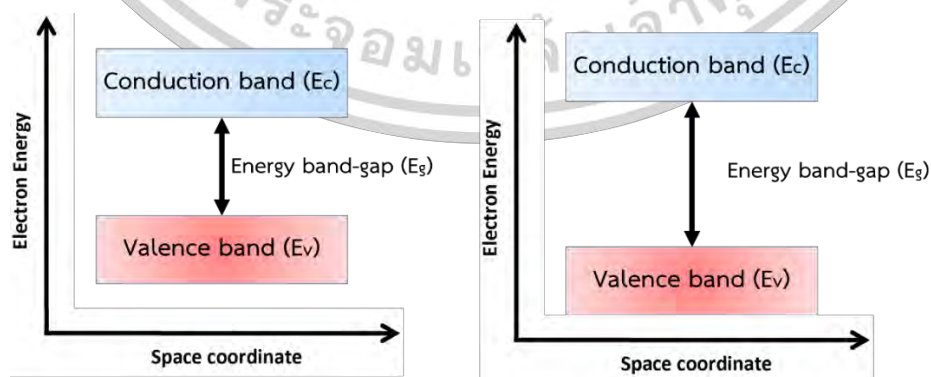
ตอนของแสงเคลื่อนที่ไปพบกับตะกอน ส่วนหนึ่งจึงเกิดการกระเจิงของแสง (Scattering) และส่วนหนึ่งถูกดูดกลืนแสงไว้ ส่งผลทำให้แสงที่ส่องผ่าน (Transmission) ออกมามีค่าน้อย แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงการกระเจิงและการส่องผ่านของแสงเมื่อผ่านสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนช่วงความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสง โดยเปรียบเทียบช่วงความยาวคลื่น สามารถสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นของสารละลาย PPIX เมื่อมีการเติม Zn(II) ในความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า หากมีการเติม Zn(II) เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสงเปลี่ยนไปดังตารางที่ 4.1 เป็นผลมาจาก 2 สาเหตุได้แก่

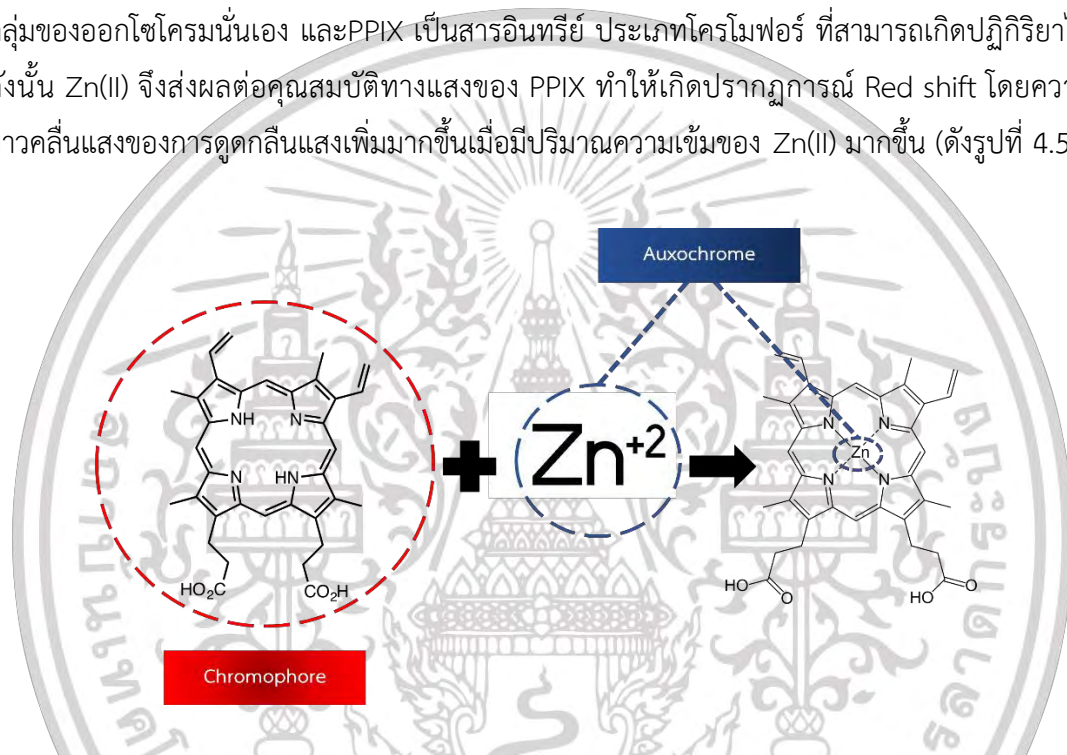
1. การเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ จากการเตรียมในหัวข้อที่ 3.2.1 ในรูปของ ZnO + HCl ซึ่งเกิดตะกอนของ ZnO ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ส่งผลให้ค่าพลังงาน Energy band gap เปลี่ยนไป ทำให้ช่วงความยาวคลื่นแสงของการดูดกลืนแสงเปลี่ยนไปเช่นกัน จากความสัมพันธ์ ดังสมการ $E_{(eV)} = \frac{1240}{\lambda_{nm}}$ โดยอธิบายจากความสัมพันธ์ของความเข้มข้นและ Energy band gap หากความเข้มข้นของ Zn(II) มากขึ้นจะได้ค่า Energy band gap ที่ต่ำ ส่งผลให้ความยาวคลื่นแสงมีค่าสูง และในทางกลับกันความเข้มข้นของ Zn(II) น้อยลงจะได้ค่า Energy band gap ที่สูง ส่งผลให้ความยาวคลื่นแสงมีค่าต่ำ ดังรูปที่ 4.4



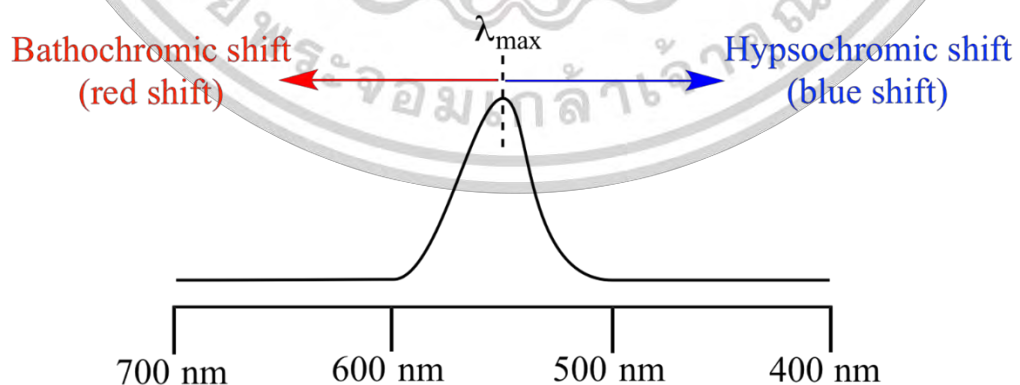
รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงระดับพลังงาน (Energy level)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เกิดจากออกโซโครม (Auxochrome) ซึ่งเป็นกลุ่มของธาตุที่ไม่มีการดูดกลืนแสงแต่ส่งผลต่อความยาวของการดูดกลืนแสงของโครโมฟอร์ (Chromophore) ซึ่งเป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันไม่อิ่มตัว (Unsaturated functional group) หรือสามารถเกิดปฏิกิริยาได้และมีการดูดกลืนแสงในย่าน UV-Visible light โดยออกโซโครมนั้นจะส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ Red shift หรือปรากฏการณ์ที่สเปกตรัมเคลื่อนไปยังความยาวคลื่นที่มากขึ้น (λ_{max} มากขึ้น) และ Blue shift หรือปรากฏการณ์ที่สเปกตรัมเคลื่อนไปยังความยาวคลื่นที่น้อยลง (λ_{max} น้อยลง) กล่าวคือ $ZnO + HCl$ แยกตัวให้ $Zn(II)$ แต่เมื่อนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่า $Zn(II)$ ไม่มีช่วงในการดูดกลืนแสง หรือเป็นกลุ่มของออกโซโครมนั้นเอง และ PPIX เป็นสารอินทรีย์ ประเภทโครโมฟอร์ ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ ดังนั้น $Zn(II)$ จึงส่งผลต่อคุณสมบัติทางแสงของ PPIX ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Red shift โดยความยาวคลื่นแสงของการดูดกลืนแสงเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของ $Zn(II)$ มากขึ้น (ดังรูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.6 (ก) แผนภาพแสดงการทำปฏิกิริยาของสารประเภทออกโซโครมและโครโมฟอร์



รูปที่ 4.6 (ข) แผนภาพแสดงการเกิดปรากฏการณ์ Red shift และ Blue shift

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การเปล่งแสงของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

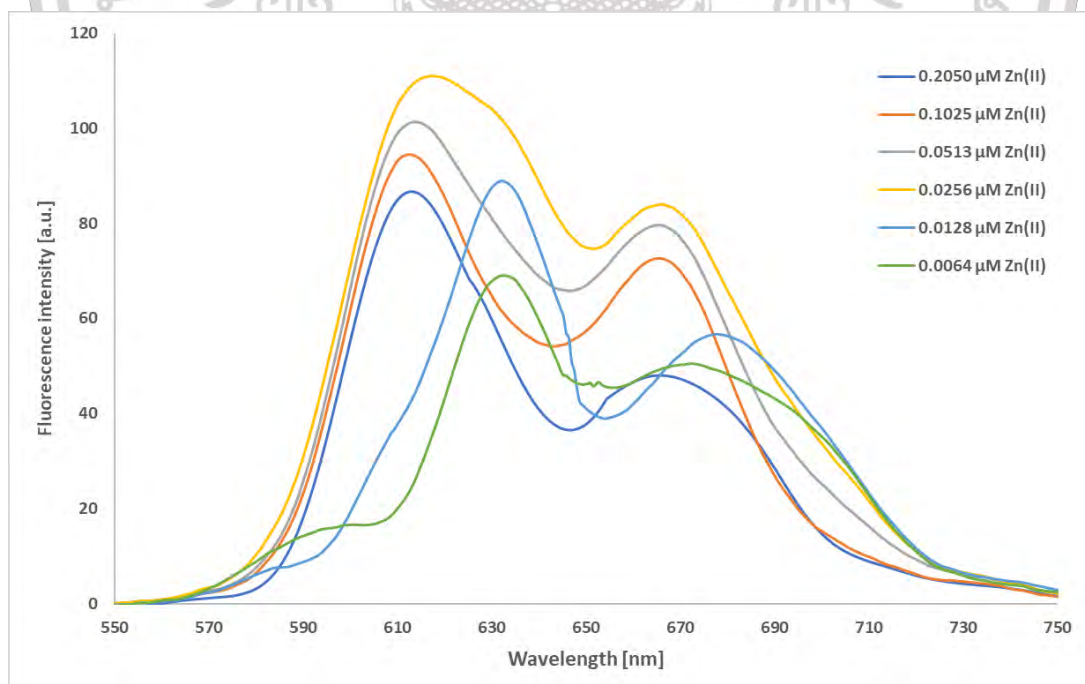
จากผลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของความเข้มข้นระหว่างของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันในรูปของสารละลาย (ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) พบว่า สารละลาย 2.5 μM PPIX ที่มีการเติม Zn(II) มีย่านการเปล่งแสงด้วยกัน 2 ย่าน ได้แก่ Major peak และ Minor peak โดยย่าน Major peak มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดที่มีการเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.0256 μM มีค่าความเข้มของการเปล่งแสงอยู่ที่ 112.5892 ± 2.4645 ในช่วงความยาวคลื่น 613.78 นาโนเมตร (pH=6.60) และย่าน Minor peak มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดที่มีการเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.0256 μM มีค่าความเข้มของการเปล่งแสงอยู่ที่ 85.4248 ± 2.2499 ในช่วงความยาวคลื่น 665.82 นาโนเมตร (pH=6.60) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และข้อมูลกราฟเปรียบเทียบในรูปที่ XX จะเห็นได้ว่าที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) มีค่าการเปล่งแสงของ Major peak และ Minor peak สูงสุด ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.6

จากข้อมูลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของการเปล่งแสงพบว่า หากมีการเติม Zn(II) ลงในสารละลาย 2.5 μM PPIX จะส่งผลทำให้สเปกตรัมการเปล่งแสงของ PPIX มีค่าความเข้มของการเปล่งแสงสูงขึ้นและลดลง หรือกล่าวคือ Zn(II) ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเปล่งแสงของ PPIX แต่เมื่อศึกษาจากการทดลองพบว่า เมื่อมีการเติม Zn(II) ลงในสารละลาย 2.5 μM PPIX โดยการเพิ่มความเข้มข้นของ Zn(II) ขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าที่ความเข้มข้นถึงจุดหนึ่งที่มีค่าสเปกตรัมของการเปล่งแสงค่าหนึ่ง (จากภาพของสเปกตรัม รูปที่ 4.7 ตำแหน่งที่มีความเข้มแสงสูงสุด) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Zn(II) ขึ้นไปอีกส่งผลให้ค่าความเข้มของการเปล่งแสงลดลง เป็นผลทำให้เกิดจุด Optimization แบ่งเป็นส่วนที่เป็น Enhancement และ Quenching ของสารละลาย โดยมีจุด Optimization เป็นจุดที่มีความเข้มของการเปล่งแสงสูงสุด Enhancement เป็นส่วนที่ค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นและ Quenching เป็นส่วนที่ค่าความเข้มของแสงลดลง

จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าจุดที่เป็น Optimization หรือจุดที่มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดอยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0256 μM Zn(II) ซึ่งถือว่าเป็นตำแหน่งที่แบ่งผลการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีการเพิ่มขึ้นของการเปล่งแสง หรือ Enhancement (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0064 - 0.0128 μM Zn(II)) และส่วนที่มีการลดลงของการเปล่งแสง Quenching (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0513 - 0.2050 μM Zn(II))

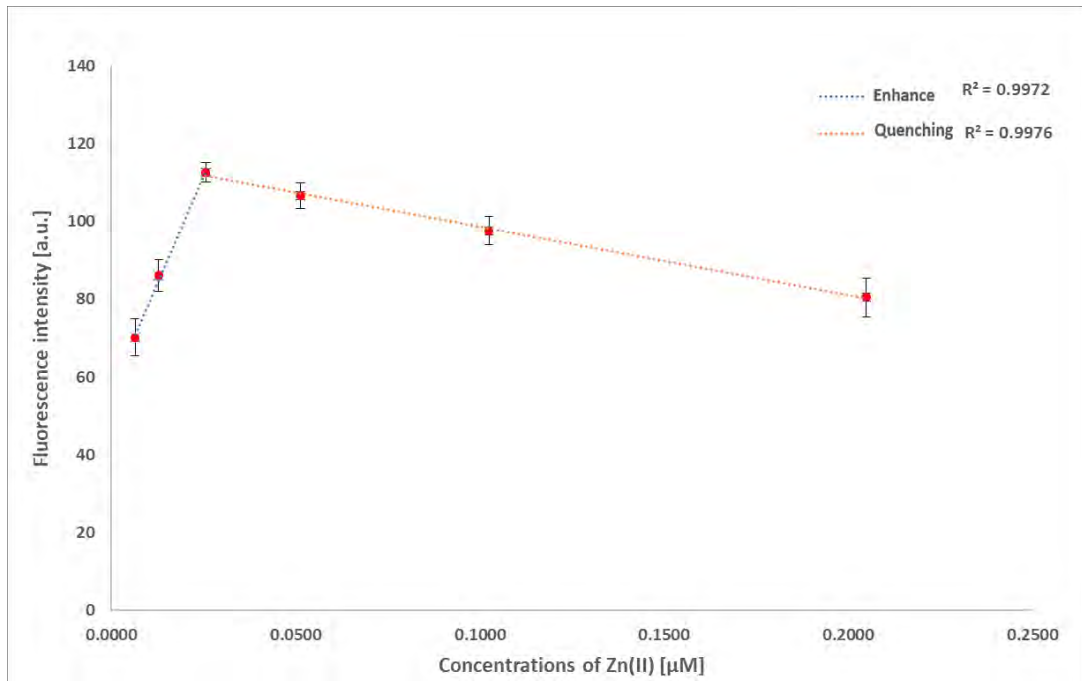
ตารางที่ 4.2 สมบัติการเปล่งแสงของสารละลาย PPIX และ Zn(II)

ความเข้มข้น (μM)		pH	ค่าการเปล่งแสง				Integrated intensity
PPIX	Zn(II)		Major peak	ความยาว คลื่น (nm)	Minor peak	ความยาว คลื่น (nm)	
2.50	0.0064	7.20	70.1302 \pm 4.9249	632.68	49.3640 \pm 4.8779	673.23	5653.1500 \pm 12.0827
2.50	0.0128	6.90	86.1238 \pm 4.1035	629.81	58.2851 \pm 3.6133	678.75	7312.4600 \pm 12.4236
2.50	0.0256	6.60	112.5892 \pm 2.4645	613.78	85.4248 \pm 2.2499	665.82	9653.4800 \pm 8.1764
2.50	0.0513	6.30	106.5498 \pm 3.3096	613.46	80.7475 \pm 2.8467	666.39	9320.6033 \pm 10.0162
2.50	0.1025	6.00	97.5431 \pm 3.6360	611.18	73.5117 \pm 3.1480	666.39	8041.0000 \pm 7.8776
2.50	0.2050	5.70	80.4342 \pm 4.9249	610.89	56.0077 \pm 3.0699	666.39	6332.9300 \pm 14.6398

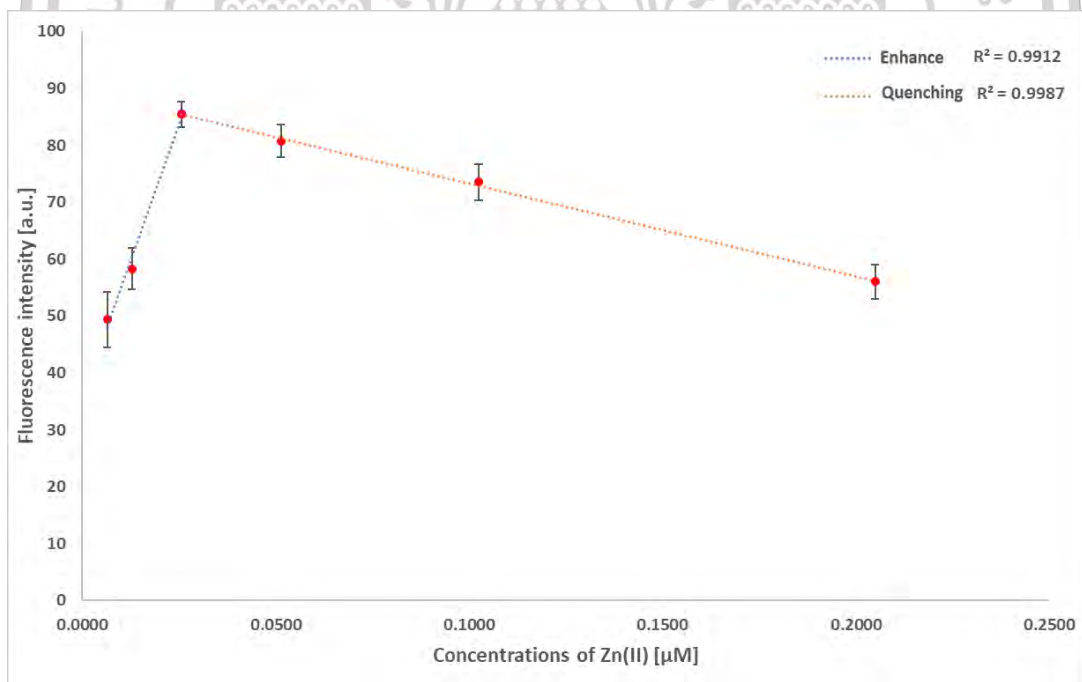


รูปที่ 4.7 (ก) กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

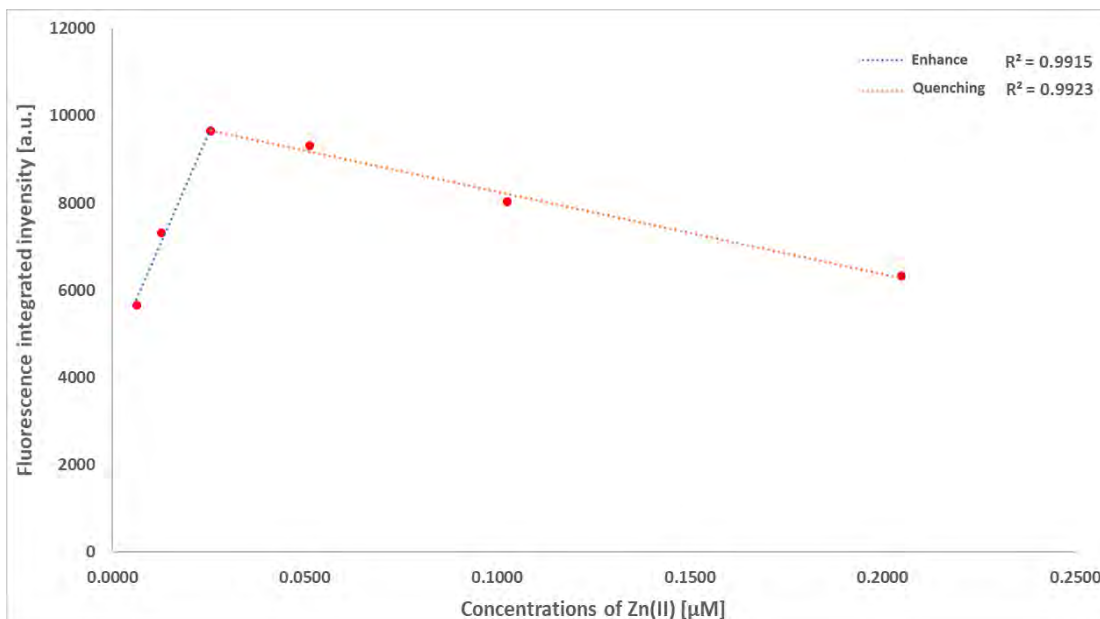


รูปที่ 4.7 (ข) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Major peak สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย $2.50 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 (ค) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Minor peak สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย $2.50 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 (ง) กราฟแสดงค่า Integrated fluorescence สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

3) ควอนตัมยิวต์ของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากผลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงและค่าดัชนีหักเหของแสง ของความเข้มข้นระหว่างของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันในรูปของสารละลาย (ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) เมื่อนำมาหาค่าควอนตัมยิวต์ของสารละลายพบว่า สารละลาย 2.5 μM PPIX ที่มีการเติม Zn(II) มีค่าควอนตัมยิวต์สูงสุดที่มีการเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.0256 μM มีค่าควอนตัมยิวต์อยู่ที่ 0.3754 ± 0.0007 ซึ่งมีค่าดัชนีหักเหของแสงเท่ากับ 1.3851 ± 0.0010 (pH=6.60) ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.8

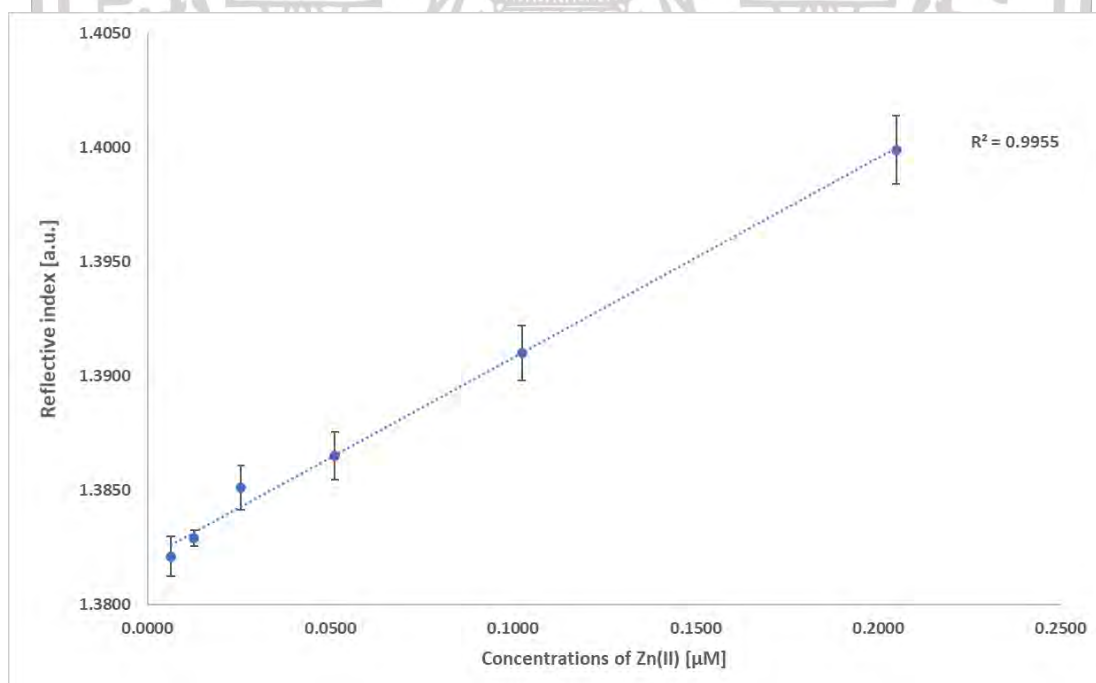
จากข้อมูลการศึกษาค่าควอนตัมยิวต์พบว่า หากมีการเติม Zn(II) ลงในสารละลาย 2.5 μM PPIX จะส่งผลทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงของสารละลายเพิ่มขึ้น นั่นคือ การเพิ่มความเข้มข้นของ Zn(II) ทำให้ค่าดัชนีหักเหเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าควอนตัมยิวต์ของ PPIX มีค่าสูงขึ้นและลดลง หรือกล่าวคือ Zn(II) ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางแสงของ PPIX แต่เมื่อศึกษาจากการทดลองพบว่า เมื่อมีการเติม Zn(II) ลงในสารละลาย 2.5 μM PPIX โดยการเพิ่มความเข้มข้นของ Zn(II) ขึ้นเรื่อย ๆ พบว่า ที่ความเข้มข้นถึงจุดหนึ่งที่มีค่าควอนตัมยิวต์ค่าหนึ่ง (จากภาพของค่าควอนตัมยิวต์ รูปที่ 4.8 ตำแหน่งที่มีค่าควอนตัมยิวต์สูงสุด) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Zn(II) ขึ้นไปอีกส่งผลให้ค่าควอนตัมยิวต์ลดลง เป็นผลทำให้เกิดจุด Optimization แบ่งเป็นส่วนที่เป็น Enhancement และ Quenching ของสารละลาย โดยมีจุด Optimization เป็นจุดที่มีค่าควอนตัมยิวต์สูงสุด Enhancement เป็นส่วนที่ค่าควอนตัมยิวต์เพิ่มขึ้นและ Quenching เป็นส่วนที่ค่าควอนตัมยิวต์ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าจุดที่เป็น Optimization หรือจุดที่มีค่าควอนตัมยิวต์สูงสุดอยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0256 μM Zn(II) ซึ่งถือว่าเป็นตำแหน่งที่แบ่งผลการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีการเพิ่มขึ้นของค่าควอนตัมยิวต์ หรือ Enhancement (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0064 - 0.0128 μM Zn(II)) และส่วนที่มีการลดลงของค่าควอนตัมยิวต์ Quenching (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0513 - 0.2050 μM Zn(II))

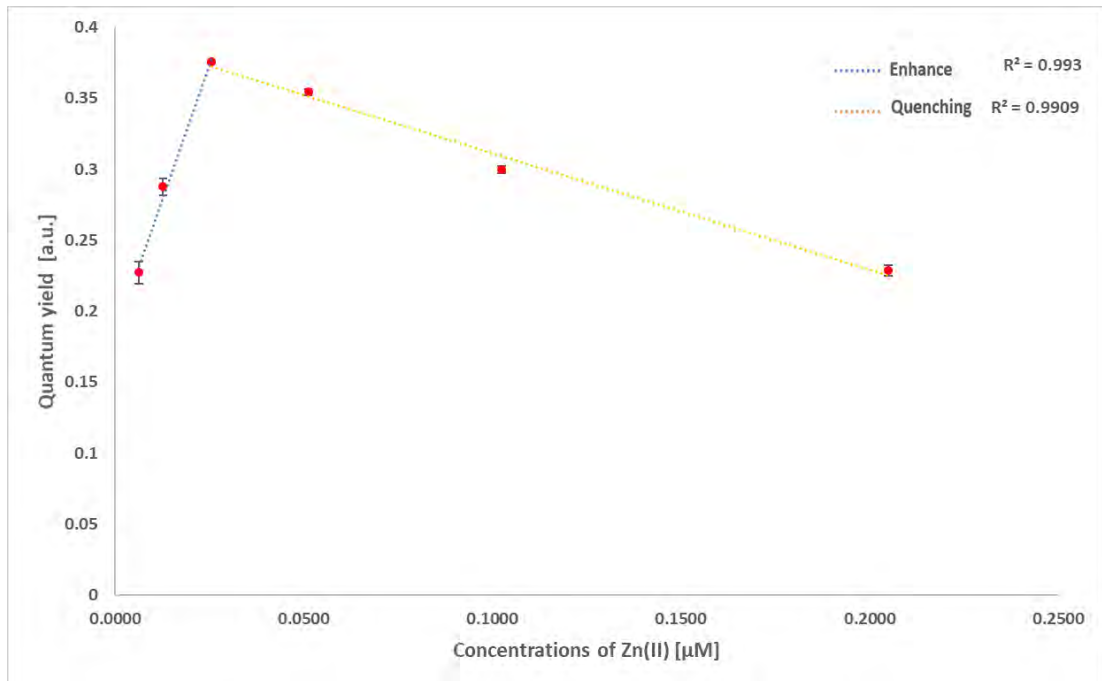
ตารางที่ 4.3 ควอนตัมยิวต์ของสารละลาย PPIX และ Zn(II)

Concentrations (μM)		pH	Reflective index	Quantum yield
PPIX	Zn(II)			
2.50	0.0064	7.20	1.3821 ± 0.0009	0.2272 ± 0.0078
2.50	0.0128	6.90	1.3829 ± 0.0004	0.2876 ± 0.0059
2.50	0.0256	6.60	1.3851 ± 0.0010	0.3754 ± 0.0007
2.50	0.0513	6.30	1.3865 ± 0.0010	0.3543 ± 0.0022
2.50	0.1025	6.00	1.3910 ± 0.0012	0.2999 ± 0.0026
2.50	0.2050	5.70	1.3999 ± 0.0015	0.2286 ± 0.0039



รูปที่ 4.8 (ก) กราฟแสดงค่าดัชนีหักเหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

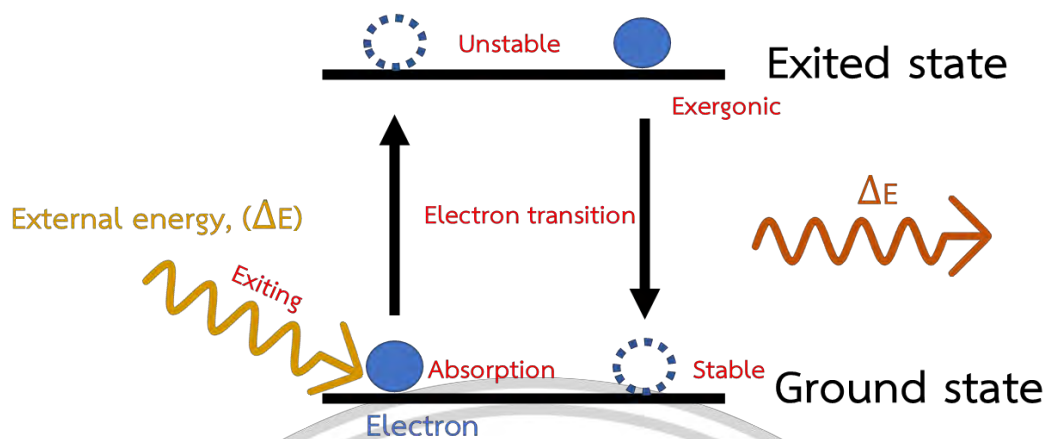
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 (ข) กราฟแสดงค่าควอนตัมยิวต์สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากผลการศึกษาสมบัติของการเปล่งแสงและควอนตัมยิวต์พบว่า ประสิทธิภาพทางแสงที่เปล่งออกมาในเชิงปริมาณคือค่าการเปล่งแสง และควอนตัมยิวต์ ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ ส่วนที่เป็น Optimization หรือจุดที่มีประสิทธิภาพทางแสงค่าสุดท้ายอยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0256 μM Zn(II) ส่วนที่มีการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพทางแสงหรือ Enhancement (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0064 - 0.0128 μM Zn(II)) และส่วนที่มีการลดลงของประสิทธิภาพทางแสง Quenching (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0513 - 0.2050 μM Zn(II))

การวิเคราะห์โดยอาศัยทฤษฎี “การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสัมพันธ์กับการเพิ่มของจำนวนโมเลกุลหรือจำนวนอนุภาคของสารละลาย (เมื่อปริมาตรคงที่ จากสมการความสัมพันธ์ $\frac{N}{6.02 \times 10^{23}} = CV$ จะได้ว่า $N \propto C$ (เมื่อ N คือ จำนวนโมเลกุล, C คือ ความเข้มข้น และ V คือ ปริมาตร)) ซึ่งจำนวนโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นนั้น จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในชั้นพื้น (Ground state) หรือส่งผลในการถูกกระตุ้นให้ระดับพลังงานนั้นสูงขึ้นนั่นเอง” ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (Electron transition)

เนื่องจากโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์เรืองแสง เมื่อได้รับพลังงานภายนอก (External energy) จากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างตัวมันเองกับธาตุ หรือไอออนอื่น ๆ (Chemical and bode energy) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุล โดยโมเลกุลมีพลังงานเพิ่มขึ้น จะย้ายจากระดับพลังงานหนึ่งไปอีกระดับพลังงานหนึ่งที่สูงขึ้นหรือเคลื่อนย้ายจากระดับพลังงานชั้นพื้นไปยังระดับพลังงานชั้นกระตุ้น (Exiting state) แต่ขณะการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจะเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ อาทิ พลังงานความร้อน (Heat energy) จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานมีความแตกต่างกันไม่มากไป แต่โมเลกุลในระดับพลังงานในระดับชั้นกระตุ้นเกิดความไม่เสถียร จึงมีการลดระดับพลังงาน ด้วยการปลดปล่อยพลังงานหรือคายพลังงานออกมาในรูปของ โฟตอน (Photon) (ประสิทธิภาพของแสงเชิงปริมาณ) หรือพลังงานแสง (ประสิทธิภาพของแสงเชิงคุณภาพ) โดยค่าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมามีค่าเท่ากับ พลังงานภายนอกที่มากกระตุ้นหรือเท่ากับ ความแตกต่างของระดับพลังงานชั้นพื้นและระดับพลังงานชั้นกระตุ้น หรือ ΔE

จากการศึกษาการดูดกลืนแสง เมื่อเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นขึ้นส่งผลให้ความยาวคลื่นเคลื่อนมายังความยาวคลื่นที่ยาวกว่าเกิดปรากฏการณ์ Red shift (พลังงานลดลง) เนื่องจากเมื่อมีพลังงานภายนอกไปกระตุ้นโมเลกุลมีการดูดกลืนพลังงานภายในโมเลกุล ส่งผลให้โมเลกุลมีพลังงานที่สูงขึ้น จึงมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานดังรูปที่ 4.8 แต่จากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นสารละลายสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของโมเลกุลทำให้ปริมาณแสงที่กระตุ้นเท่าเดิมแต่โมเลกุลที่ดูดกลืนเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจึงลดลง ในทำนองเดียวกันการศึกษการเปล่งแสง เมื่อเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นขึ้นความยาวคลื่นเคลื่อนมายังความยาวคลื่นสั้นกว่า เกิดปรากฏการณ์ Blue shift (พลังงานเพิ่มขึ้น) เนื่องจากเมื่อโมเลกุลมีการดูดกลืน ทำให้โมเลกุลมีระดับพลังงานที่สูงขึ้น เกิดความไม่เสถียร

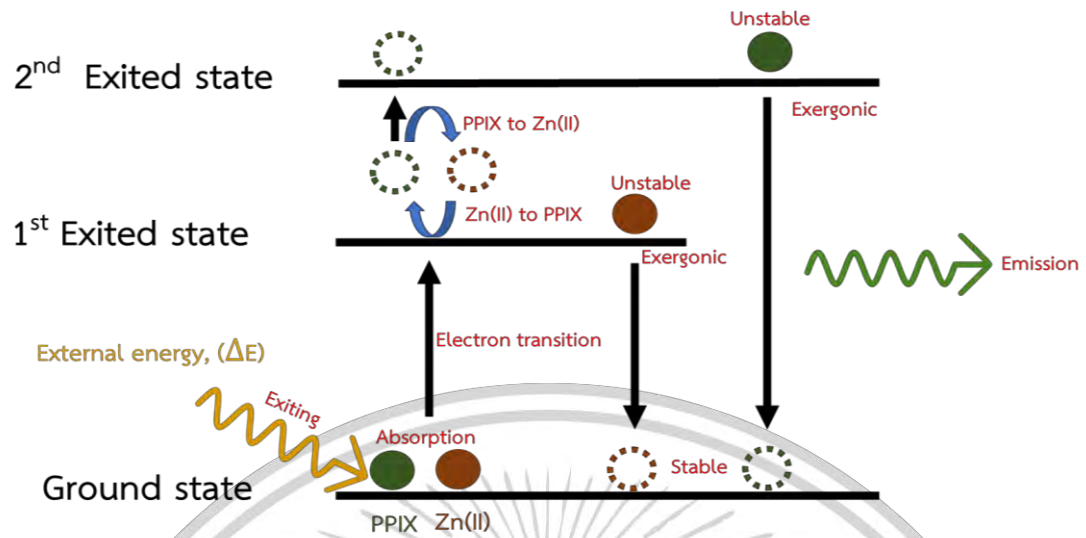
ขึ้นในโมเลกุลจึงมีการคายพลังงานออกมา แต่เนื่องจากความเข้มที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับจำนวนโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้น พลังงานที่คายออกมาจากโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นจึงมีพลังงานที่มาก (ดังรูปที่ 4.10)



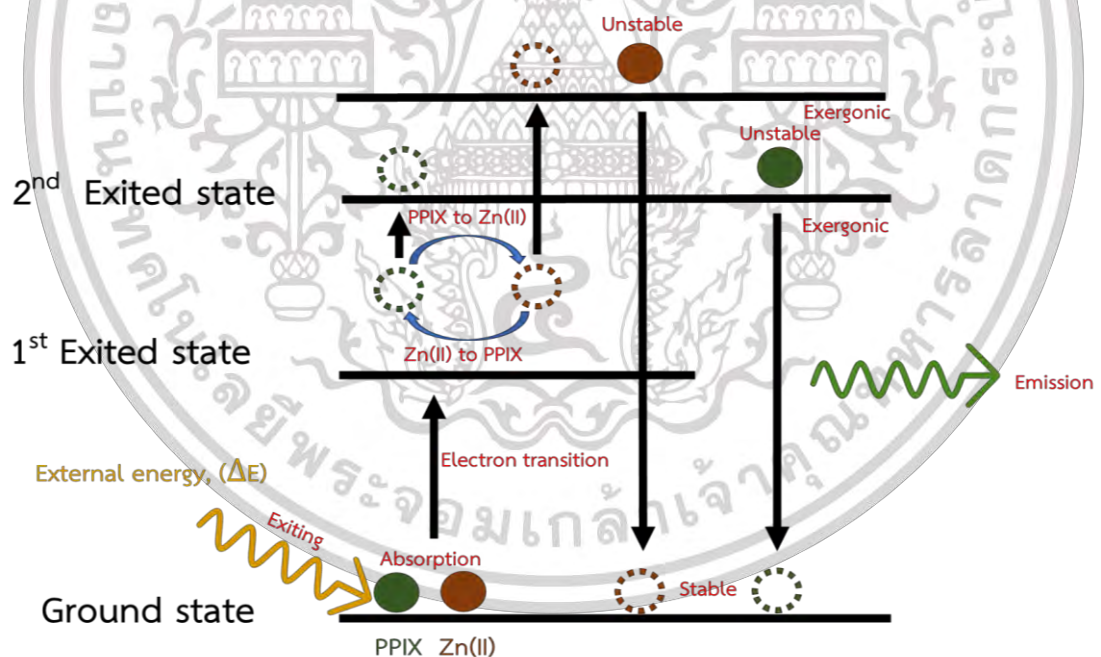
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ค่าการดูดกลืนและขบวนการเปล่งแสงที่ตำแหน่งพลังงานและความยาวคลื่นกับความเข้มข้นของสารละลาย

เมื่อพิจารณาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลพบว่า Zn(II) เป็นไอออนจึงเกิดการแตกตัวได้ง่ายไวต่อการรับและให้พลังงาน เนื่องจากอิเล็กตรอนวงนอกสุด (Valence electron) ไม่ครบตามกฎออกเตต (Octet rule) โดยช่วงที่เกิดการเพิ่มขึ้นของการเปล่งแสง (Enhancement) อยู่ในช่วงความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX กับ $0.0064 - 0.0128 \mu\text{M}$ Zn(II) จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานภายในจาก Zn(II) ไปยัง PPIX มากกว่าพลังงานจาก PPIX ไปยัง Zn(II) ทำให้ PPIX มีพลังงานที่สูงกว่าปกติ (เมื่อเทียบกับ PPIX ที่ยังไม่เติม Zn(II)) และเกิดการคายพลังงานที่มากกว่าปกติเช่นกัน จนถึงจุดที่มีการเปล่งแสงสูงสุด (Optimization) ซึ่งเป็นช่วงที่มีการถ่ายโอนพลังงานภายในมากที่สุดจาก Zn(II) ไปยัง PPIX แต่เมื่อถึงช่วงของการลดลงของการเปล่งแสง (Quenching) อยู่ในช่วงความเข้มข้น $0.0513 - 0.2050 \mu\text{M}$ Zn(II) จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานภายในจาก PPIX ไปยัง Zn(II) มากกว่า Zn(II) ไปยัง PPIX ทำให้ PPIX มีพลังงานที่สูงกว่าปกติ (เมื่อเทียบกับ PPIX ที่ยังไม่เติม Zn(II)) แต่น้อยกว่าช่วง Enhancement เกิดการคายพลังงานที่มากกว่าปกติเช่นกัน (ดังรูปที่ 4.11)

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่าพลังงานที่ถูกถ่ายโอนระหว่าง Zn(II) และ PPIX พิจารณาได้ว่าการถ่ายโอนพลังงานนี้เกิดขึ้นจริงจากการเลื่อนของตำแหน่งการเปล่งแสงสูงสุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นจากหลักการ Red shift และ Blue shift ที่กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.11 (ก) แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของ Zn(II) และ PPIX ช่วง Enhancement

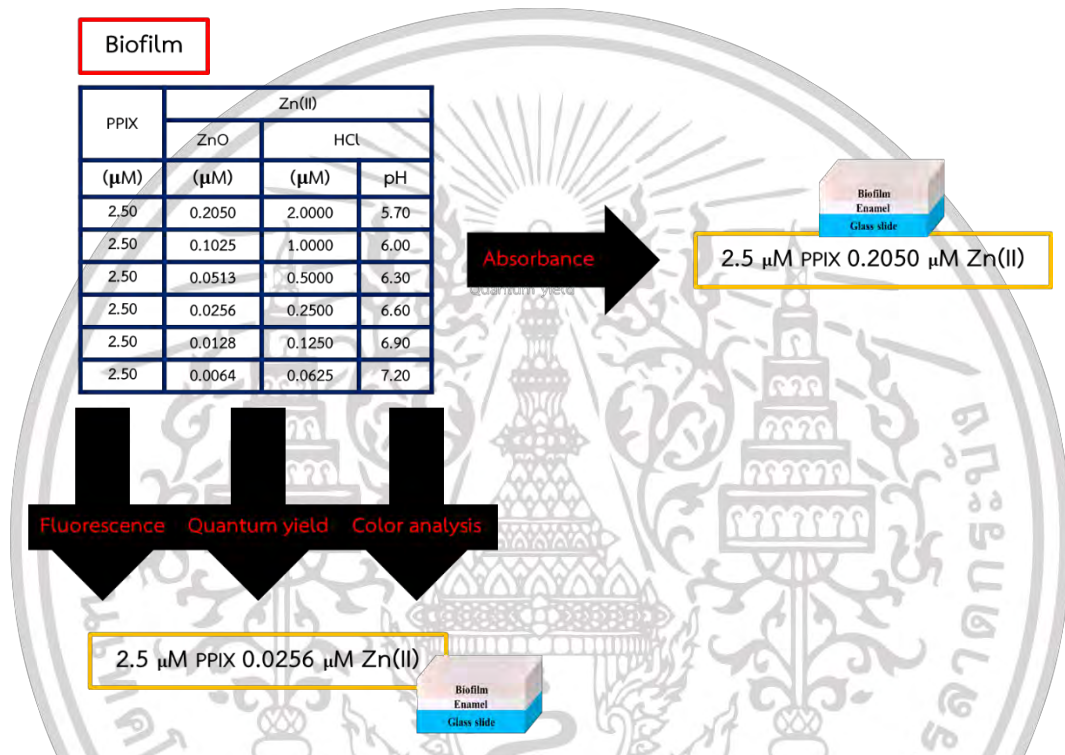


รูปที่ 4.11 (ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของ Zn(II) และ PPIX ช่วง Quenching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

จากการศึกษาสมบัติทางแสงของ PPIX และ Zn(II) ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน ผู้วิจัยทำการทดลองเพื่อศึกษาหาคุณสมบัติทางแสงของสารละลาย 4 สมบัติ ได้แก่ การศึกษาการดูดกลืนแสงของสารละลาย PPIX และ Zn(II) การศึกษาการเปล่งแสงของสารละลาย PPIX และ Zn(II) การศึกษาควอนตัมยิวของสารละลาย PPIX และ Zn(II) และการศึกษา ความแตกต่างของสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งได้ผลการศึกษา เป็นดังนี้ (ดังรูปที่ 4.12)



รูปที่ 4.12 แผนภาพสรุปผลการศึกษาสมบัติทางแสงของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันของงานวิจัย

1) การดูดกลืนแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากผลการทดลองในการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นระหว่างของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่มีความหนา 2.00 มิลลิเมตร โดยการทดลองวัดความหนาเพื่อหาความผิดพลาดดังตารางที่ 4.4 (อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) พบว่า สารละลาย 2.5 μM PPIX ที่มีการเติม Zn(II) น้อยที่สุด ([Zn(II)] = 0.0064 μM) มีค่าดูดกลืนแสงน้อยสุด โดยค่าดูดกลืนแสงเพียง 1.4395 ± 0.0847 ที่ความยาวคลื่น 408.19 นาโนเมตร (pH=7.20) และหากเติม Zn(II) มากที่สุด ([Zn(II)] = 0.2050 μM) มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด โดยมีค่าการดูดกลืนแสง 2.0131 ± 0.0829 ที่ความยาวคลื่น 405.08 นาโนเมตร (pH=5.70)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์การศึกษาสมบัติทางแสงของการดูดกลืนแสงพบว่า แนวโน้มของค่าการดูดกลืน เมื่อเติม Zn(II) ในปริมาณที่เท่ากันแต่ความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้น ลงใน 2.5 μM PPIX จะส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงมากขึ้นตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงในตารางที่ 4.5 และกราฟข้อมูลเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็นไปตามกฎของเบียร์ ดังสมการที่ 2.6 “ค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย” กล่าวคือ หากทำการเติม Zn(II) ในความเข้มข้นสูงขึ้นลงใน 2.5 μM PPIX ส่งผลให้ความเข้มข้นโดยรวมมากขึ้น ทำให้เกิดการดูดกลืนแสงได้มากขึ้น

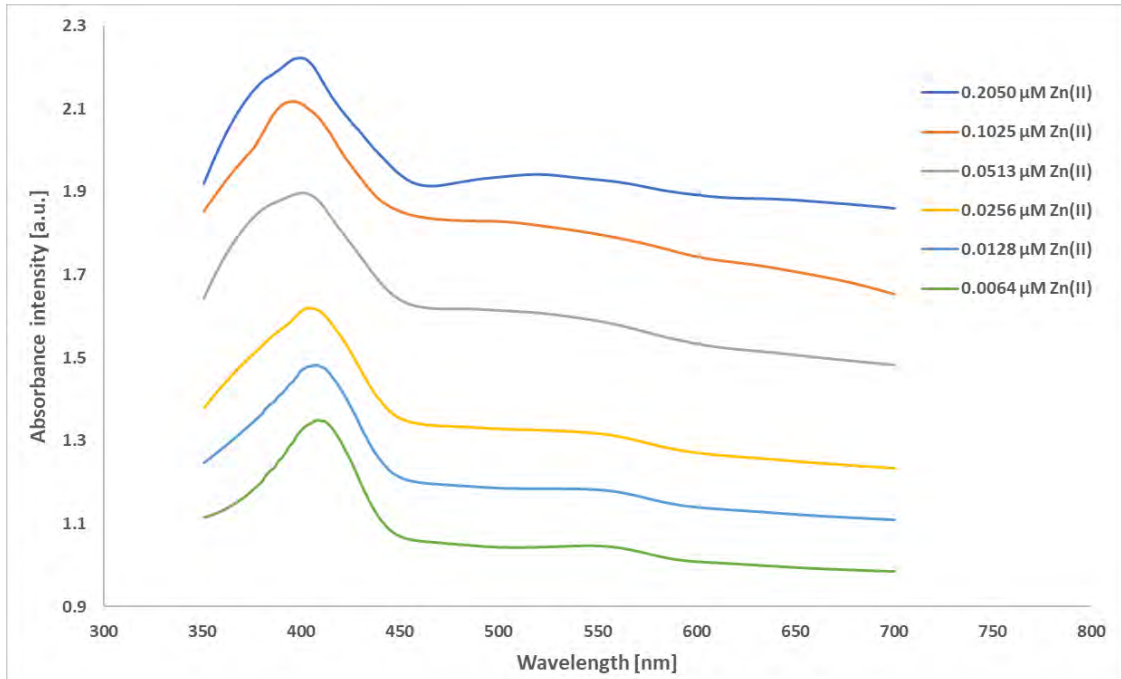
ตารางที่ 4.4 ความหนาของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์มเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน 2.00 มิลลิเมตร

Concentrations (μM)		Thickness (Thickness gauge instrument error \pm 0.001)	
PPIX	Zn(II)	Theoretical 2.00 mm Enamel : Biofilm ; (1:1) Measurement	Error and difference of percentage
2.50	0.0064	2.0007 \pm 0.0066	0.0333
2.50	0.0128	2.0003 \pm 0.0045	0.0167
2.50	0.0256	2.0037 \pm 0.0038	0.1833
2.50	0.0513	2.0013 \pm 0.0033	0.0667
2.50	0.1025	2.0007 \pm 0.0025	0.0333
2.50	0.2050	2.0013 \pm 0.0026	0.0667

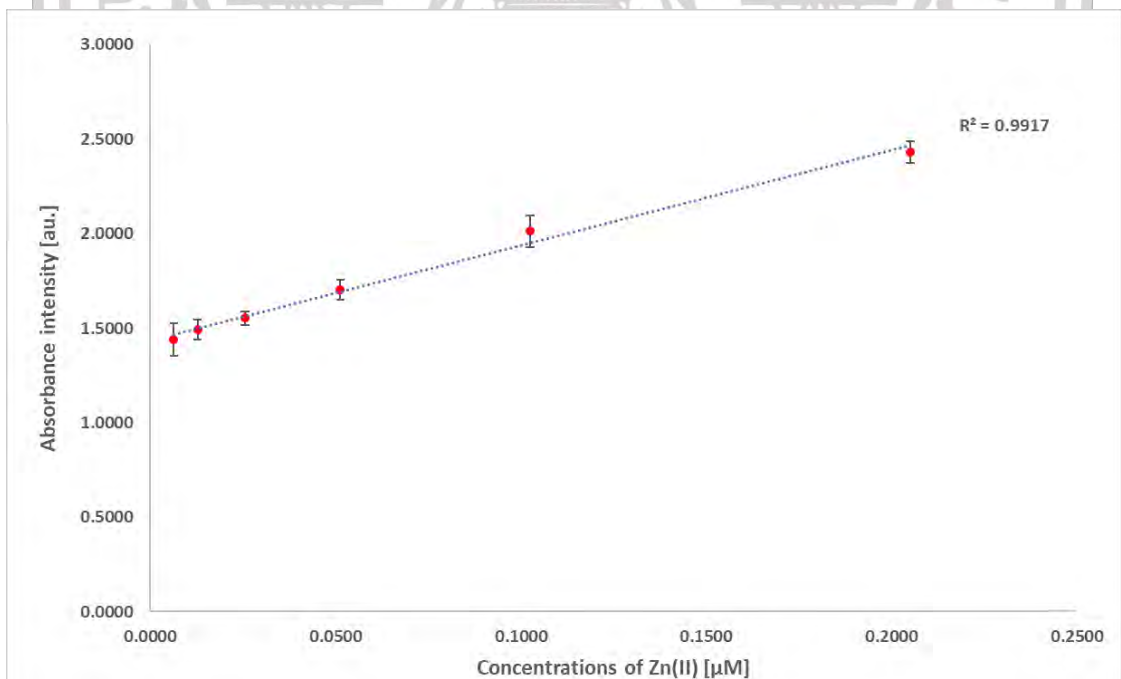
ตารางที่ 4.5 สมบัติการดูดกลืนแสงของ PPIX และ Zn(II) ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม

Concentrations (μM)		pH	Intensity (a.u.)	Integrated intensity	Wavelength (nm)
PPIX	Zn(II)				
2.50	0.0064	7.20	1.4395 \pm 0.0847	145.3490 \pm 4.1317	408.19
2.50	0.0128	6.90	1.4920 \pm 0.0519	155.8980 \pm 4.2010	408.19
2.50	0.0256	6.60	1.5519 \pm 0.0358	165.5570 \pm 3.1952	407.02
2.50	0.0513	6.30	1.7028 \pm 0.0520	175.5470 \pm 5.1167	407.02
2.50	0.1025	6.00	2.0131 \pm 0.0829	200.3870 \pm 6.2731	405.08
2.50	0.2050	5.70	2.4324 \pm 0.0573	247.3460 \pm 2.2155	405.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

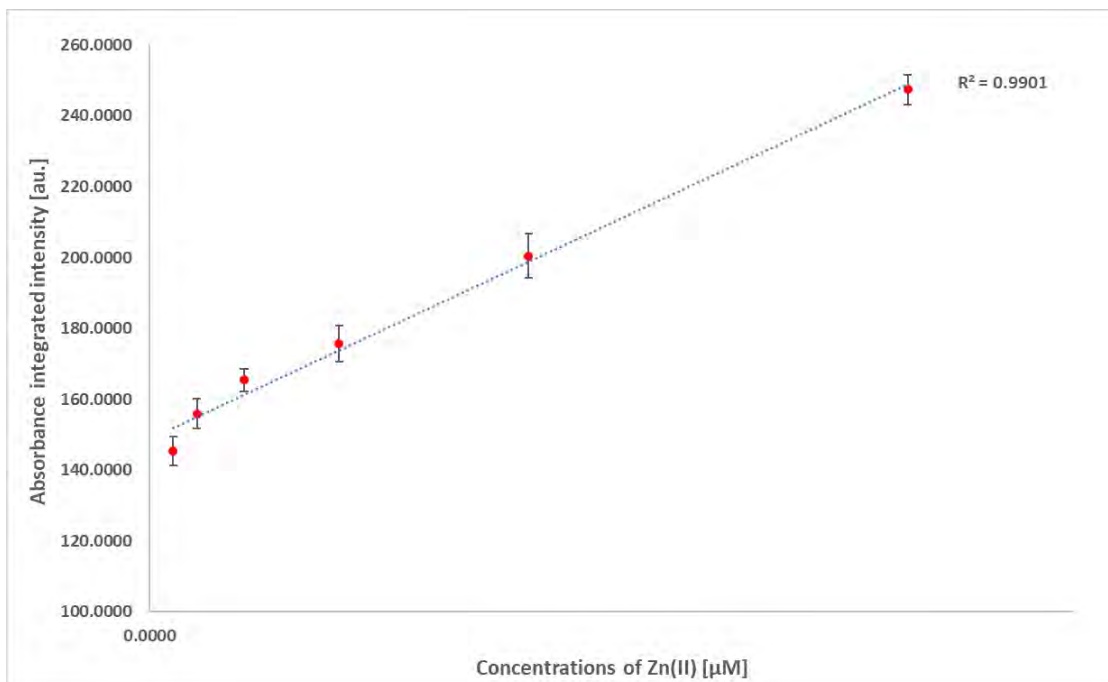


รูปที่ 4.13 (ก) กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นที่ความหนา 2.00 mm.



รูปที่ 4.13 (ข) กราฟแสดงค่าดูดกลืนแสงสูงสุดสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นที่ความหนา 2.00 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 (ค) กราฟแสดงค่า Integrated absorbance สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 2.00 mm.

การทดลองในแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม พบว่าค่าการดูดกลืนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับผลการทดลองของสารละลายในหัวข้อ 4.1 เนื่องจากแบบจำลองชั้นเคลือบฟันมีทั้งหมด 2 ชั้นที่ความหนา 2.00 มิลลิเมตร ในอัตราส่วน 1:1 ได้แก่ ชั้นเคลือบฟัน (Enamel) ซึ่งเป็นส่วนที่มี β -TCP และชั้นฟิล์มชีวภาพหรือชั้นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดฟันผุ (Biofilm) สาเหตุนี้ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากค่าการดูดกลืนแสงของชั้น Biofilm มีค่าการดูดกลืนที่เป็นลำดับตามผลการทดลองของสารละลาย ทำให้ค่าดูดกลืนของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความเข้มข้นของ Zn(II) น้อย มีค่าการดูดกลืนต่ำและที่ความเข้มข้นต่ำมีค่าการดูดกลืนสูงตามสมการของเบียร์-แลมเบิร์ต

เนื่องจากผลของ β -TCP ที่ทำให้การดูดกลืนเพิ่มขึ้นนั้น ส่งผลต่อความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสง พบว่า ในการทดลองไม่ได้แสดงถึงปรากฏการณ์ Red shift หรือ Blue shift สาเหตุจากค่าการดูดกลืนของ β -TCP ชั้นเคลือบฟันมีค่าสูงมากกว่าชั้น Biofilm โดยสังเกตจากความยาวคลื่นแสงที่ดูดกลืนอยู่ที่ตำแหน่งต่างกันไม่มากนัก ตามตารางที่ 4.5

2) การเปล่งแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบพื้น 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ

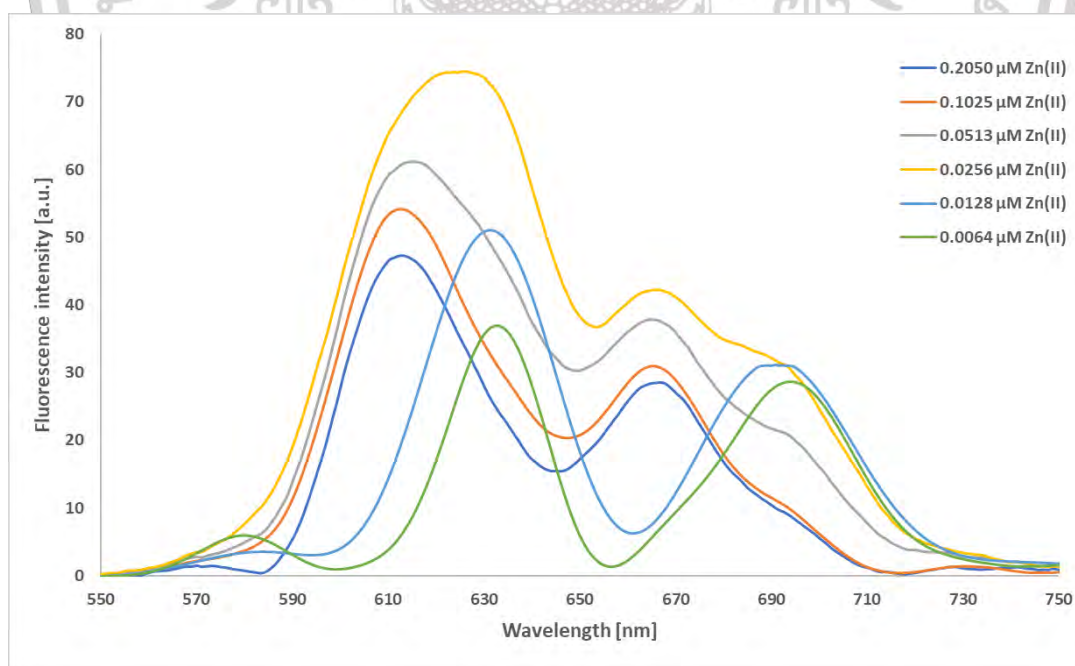
จากผลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของความเข้มข้นระหว่างของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบพื้น (ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) พบว่าที่ 2.5 μM PPIX ที่มีการเติม Zn(II) มีย่านการเปล่งแสงด้วยกัน 2 ย่าน ได้แก่ Major peak และ Minor peak โดยย่าน Major peak มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดที่มีการเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.0256 μM มีค่าความเข้มของการเปล่งแสงอยู่ที่ 74.1639 ± 1.6505 ในช่วงความยาวคลื่น 626.38 นาโนเมตร (pH=6.60) และย่าน Minor peak มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดที่มีการเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.0256 μM มีค่าความเข้มของการเปล่งแสงอยู่ที่ 42.0793 ± 0.8242 ในช่วงความยาวคลื่น 666.39 นาโนเมตร (pH=6.60) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และข้อมูลกราฟเปรียบเทียบในรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) มีค่าการเปล่งแสงของ Major peak และ Minor peak สูงสุด ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.14

จากข้อมูลการศึกษาสมบัติทางแสงของการเปล่งแสงพบว่า หากมีการเติม Zn(II) ลงใน 2.5 μM PPIX จะส่งผลทำให้สเปกตรัมการเปล่งแสงของ PPIX มีค่าความเข้มของการเปล่งแสงสูงขึ้นและลดลง หรือกล่าวคือ Zn(II) ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเปล่งแสงของ PPIX แต่เมื่อศึกษาจากการทดลองพบว่า เมื่อมีการเติม Zn(II) ลงใน 2.5 μM PPIX โดยการเพิ่มความเข้มข้นของ Zn(II) ขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าที่ความเข้มข้นถึงจุดหนึ่งที่มีค่าสเปกตรัมของการเปล่งแสงค่าหนึ่ง (จากภาพของสเปกตรัม รูปที่ 4.14 ตำแหน่งที่มีความเข้มแสงสูงสุด) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Zn(II) ขึ้นไปอีกส่งผลให้ค่าความเข้มของการเปล่งแสงลดลง เป็นผลทำให้เกิดจุด Optimization แบ่งเป็นส่วนที่เป็น Enhancement และ Quenching ของสารละลาย โดยมีจุด Optimization เป็นจุดที่มีค่าความเข้มของการเปล่งแสงสูงสุด Enhancement เป็นส่วนที่ค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นและ Quenching เป็นส่วนที่ค่าความเข้มของแสงลดลง

จากรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าจุดที่เป็น Optimization หรือจุดที่มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดอยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0256 μM Zn(II) ซึ่งถือว่าเป็นตำแหน่งที่แบ่งผลการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีการเพิ่มขึ้นของการเปล่งแสง หรือ Enhancement (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0064 - 0.0128 μM Zn(II)) และส่วนที่มีการลดลงของการเปล่งแสง Quenching (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0513 - 0.2050 μM Zn(II))

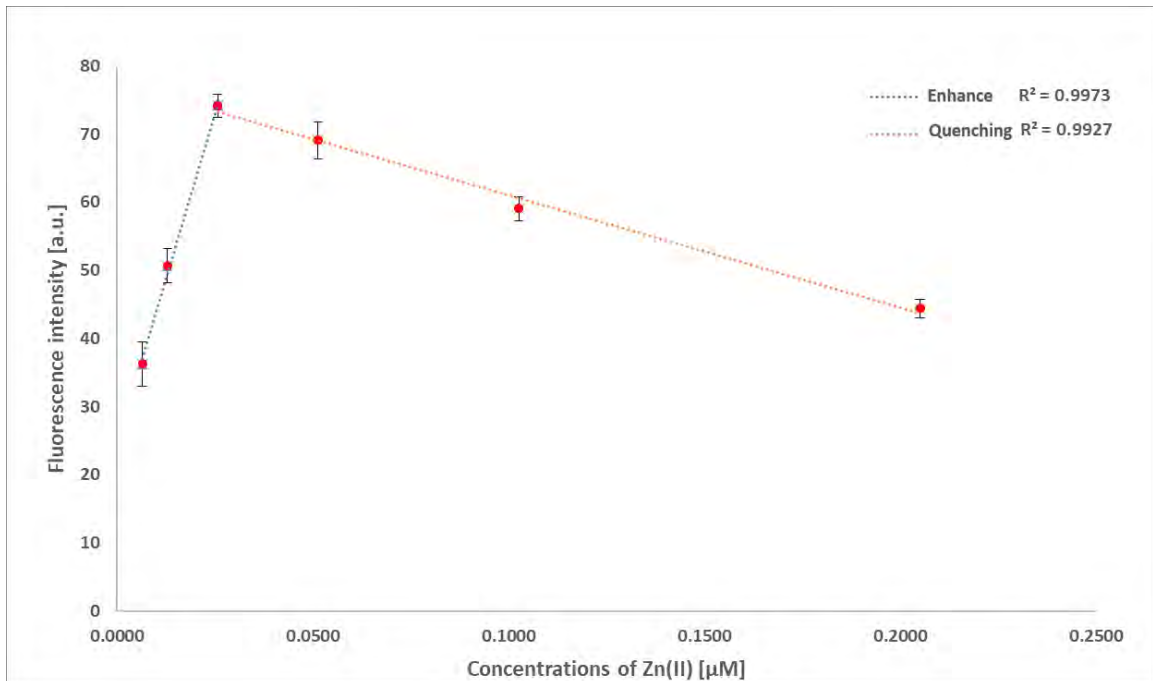
ตารางที่ 4.6 สมบัติการเปล่งแสงของ PPIX และ Zn(II) ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม

ความเข้มข้น (μM)		pH	ค่าการเปล่งแสง				Integrated intensity
PPIX	Zn(II)		Major peak	ความยาว คลื่น (nm)	Minor peak	ความยาว คลื่น (nm)	
2.50	0.0064	7.20	36.2924 \pm 3.2713	632.68	27.8759 \pm 0.6702	694.28	1968.7500 \pm 10.6907
2.50	0.0128	6.90	50.6798 \pm 2.4910	631.53	31.7240 \pm 0.7473	690.87	2964.5000 \pm 9.6810
2.50	0.0256	6.60	74.1639 \pm 1.6505	626.38	42.0793 \pm 0.8242	666.39	5567.3900 \pm 6.2548
2.50	0.0513	6.30	69.0600 \pm 2.6789	614.91	39.9532 \pm 0.9115	664.68	4906.6200 \pm 10.8190
2.50	0.1025	6.00	59.0361 \pm 1.7355	613.18	35.6428 \pm 0.4555	665.25	3898.7700 \pm 10.2018
2.50	0.2050	5.70	44.4204 \pm 1.3641	612.61	29.5100 \pm 0.4408	666.96	2206.8700 \pm 9.5806

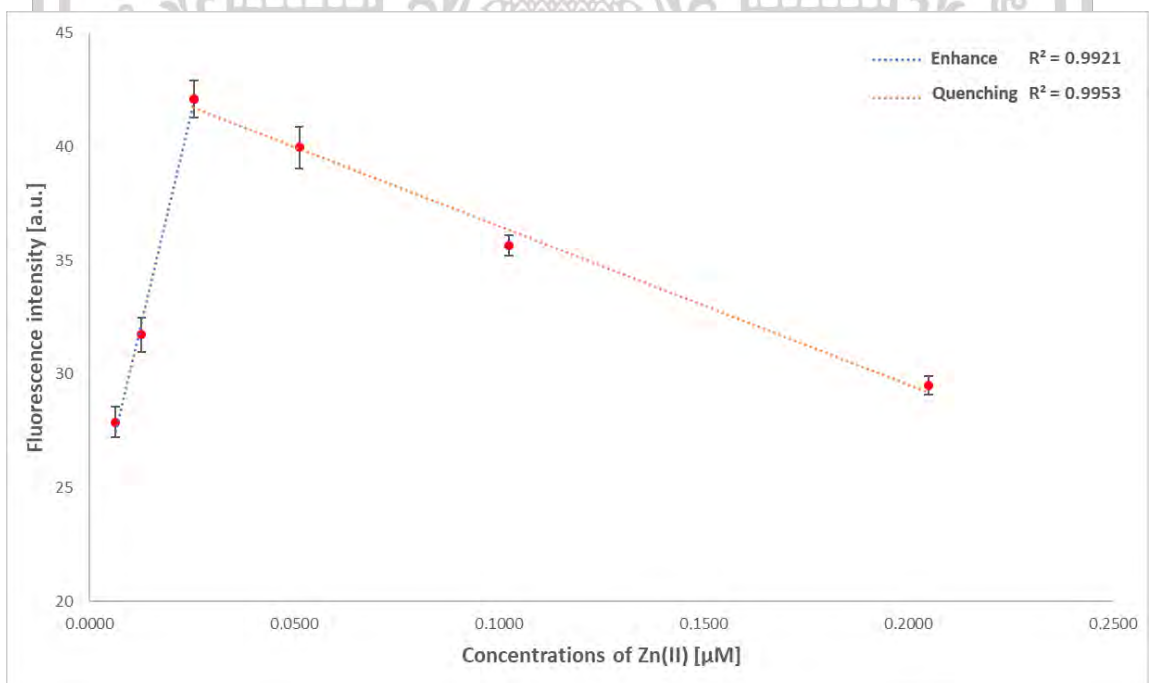


รูปที่ 4.14 (ก) กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์มที่มีความหนา 2.00 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

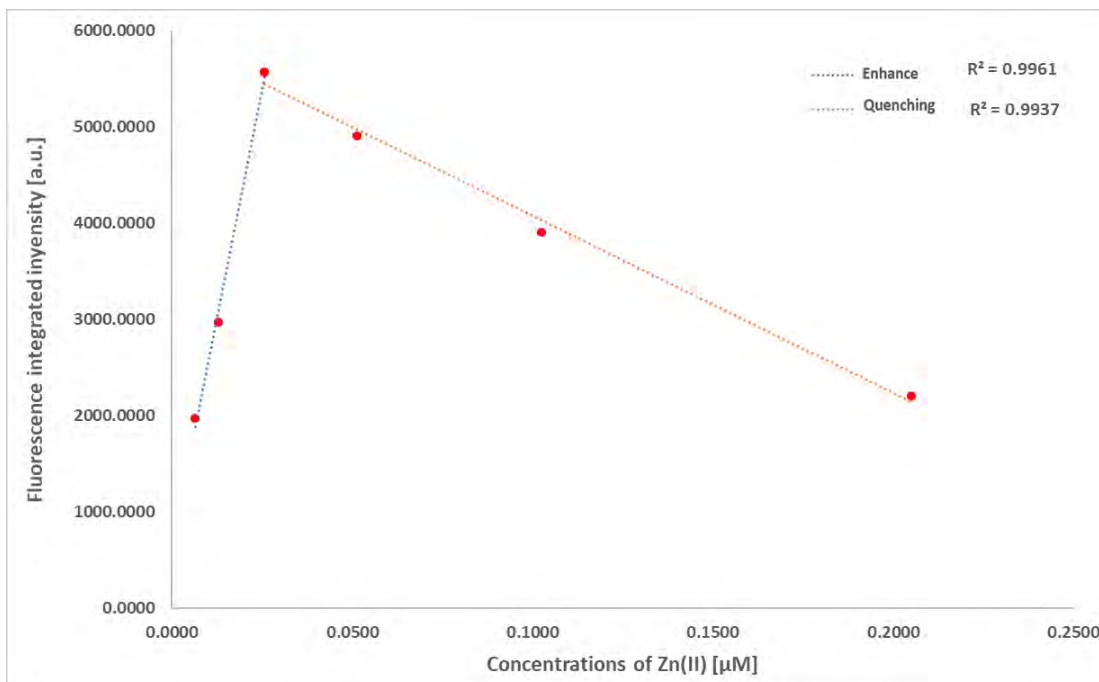


รูปที่ 4.14 (ข) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Major peak สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย $2.50 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 2.00 mm.



รูปที่ 4.14 (ค) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Minor peak สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย $2.50 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 2.00 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 (ง) กราฟแสดงค่า Integrated fluorescence สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย $2.50 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่มีความหนา 2.00 mm .

จากการทดลองสเปกตรัมการเปล่งแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันนี้ มีความสัมพันธ์กับการทดลองในรูปของสารละลายอย่างชัดเจนและเป็นแนวโน้มเดียวกัน นั่นคือ จุดที่เป็น Optimization หรือจุดที่มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดอยู่ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) โดยมีส่วนที่มีการเพิ่มขึ้นของการเปล่งแสง หรือ Enhancement (อยู่ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0064 - 0.0128 \mu\text{M}$ Zn(II)) และส่วนที่มีการลดลงของการเปล่งแสง Quenching (อยู่ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0513 - 0.2050 \mu\text{M}$ Zn(II))

3) ควอนตัมยิวของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ

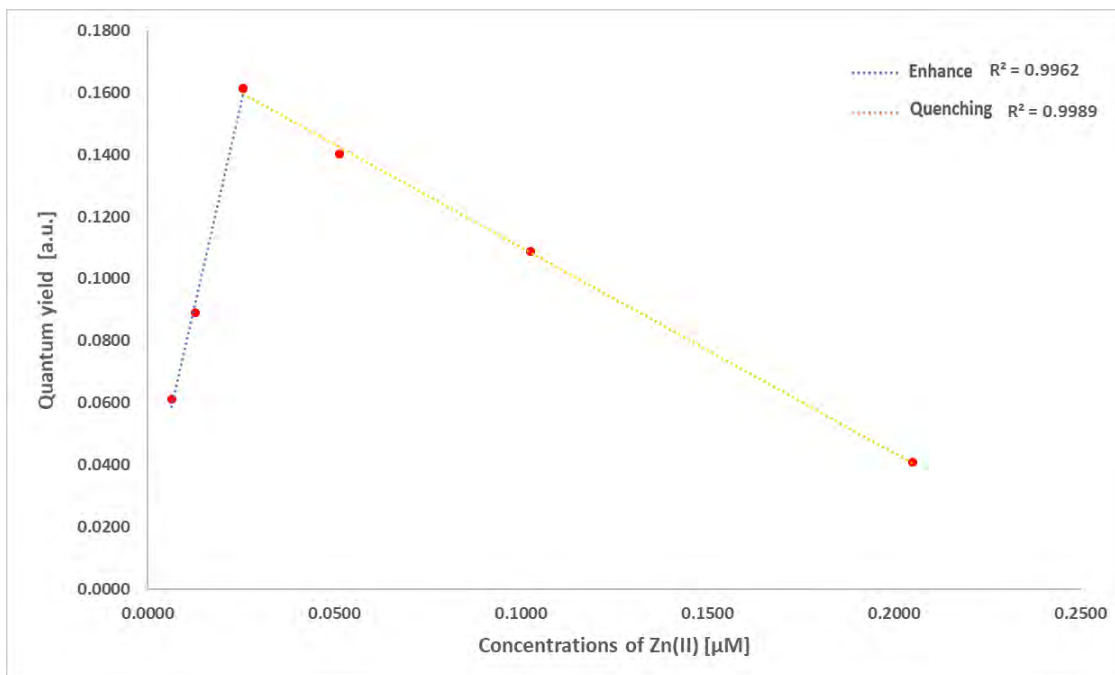
จากผลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงและค่าดัชนีหักเหของแสง ของความเข้มข้นระหว่างของ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน (ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) เมื่อนำมาหาค่าควอนตัมยิวต์ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน พบว่าแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ที่มีการเติม Zn(II) มีค่าควอนตัมยิวต์สูงสุดที่มีการเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ $0.0256 \mu\text{M}$ (pH=6.60) ค่าควอนตัมยิวต์อยู่ที่ 0.1614 ± 0.0003 ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.8

จากข้อมูลการศึกษาในหัวข้อการศึกษาค่าควอนตัมยิวต์ของสารละลายพบว่า หากมีการเติม Zn(II) ลงในสารละลาย 2.5 μM PPIX จะส่งผลทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงของสารละลายเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันกับแบบจำลองชั้นเคลือบพื้น นั่นคือ การเพิ่มความเข้มข้นของ Zn(II) ทำให้ค่าดัชนีหักเหเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าควอนตัมยิวต์ของ PPIX มีค่าสูงขึ้นและลดลง หรือกล่าวคือ Zn(II) ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางแสงของ PPIX แต่เมื่อศึกษาจากการทดลองพบว่า เมื่อมีการเติม Zn(II) ลงในสารละลาย 2.5 μM PPIX โดยการเพิ่มความเข้มข้นของ Zn(II) ขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าที่ความเข้มข้นถึงจุดหนึ่งที่มีค่าควอนตัมยิวต์ค่าหนึ่ง (จากภาพของค่าควอนตัมยิวต์ รูปที่ 4.15 ตำแหน่งที่มีค่าควอนตัมยิวต์สูงสุด) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Zn(II) ขึ้นไปอีกส่งผลให้ค่าควอนตัมยิวต์ลดลง เป็นผลทำให้เกิดจุด Optimization แบ่งเป็นส่วนที่เป็น Enhancement และ Quenching ของสารละลาย โดยมีจุด Optimization เป็นจุดที่มีค่าควอนตัมยิวต์สูงสุด Enhancement เป็นส่วนที่ค่าควอนตัมยิวต์เพิ่มขึ้นและ Quenching เป็นส่วนที่ค่าควอนตัมยิวต์ลดลง

จากรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าจุดที่เป็น Optimization หรือจุดที่มีค่าควอนตัมยิวต์สูงสุดอยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0256 μM Zn(II) ซึ่งถือว่าเป็นตำแหน่งที่แบ่งผลการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีการเพิ่มขึ้นของค่าควอนตัมยิวต์ หรือ Enhancement (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0064 - 0.0128 μM Zn(II)) และส่วนที่มีการลดลงของค่าควอนตัมยิวต์ Quenching (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0513 - 0.2050 μM Zn(II))

ตารางที่ 4.7 ควอนตัมยิวต์ของ PPIX และ Zn(II) ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม

Concentrations (μM)		pH	Quantum yield
PPIX	Zn(II)		
2.50	0.0064	7.20	0.0612 \pm 0.0002
2.50	0.0128	6.90	0.0889 \pm 0.0003
2.50	0.0256	6.60	0.1614 \pm 0.0003
2.50	0.0513	6.30	0.1402 \pm 0.0003
2.50	0.1025	6.00	0.1088 \pm 0.0004
2.50	0.2050	5.70	0.0408 \pm 0.0004



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าควอนตัมยิวต์สัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย 2.50 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากการทดลองหาค่าควอนตัมยิวต์ของแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นนี้ มีความสัมพันธ์กับการทดลองในรูปของสารละลายอย่างชัดเจนและเป็นแนวโน้มเดียวกัน นั่นคือ จุดที่เป็น Optimization หรือจุดที่มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดอยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0256 μM Zn(II) โดยมีส่วนที่มีการเพิ่มขึ้นของการเปล่งแสง หรือ Enhancement (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0064 - 0.0128 μM Zn(II)) และส่วนที่มีการลดลงของการเปล่งแสง Quenching (อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0513 - 0.2050 μM Zn(II))

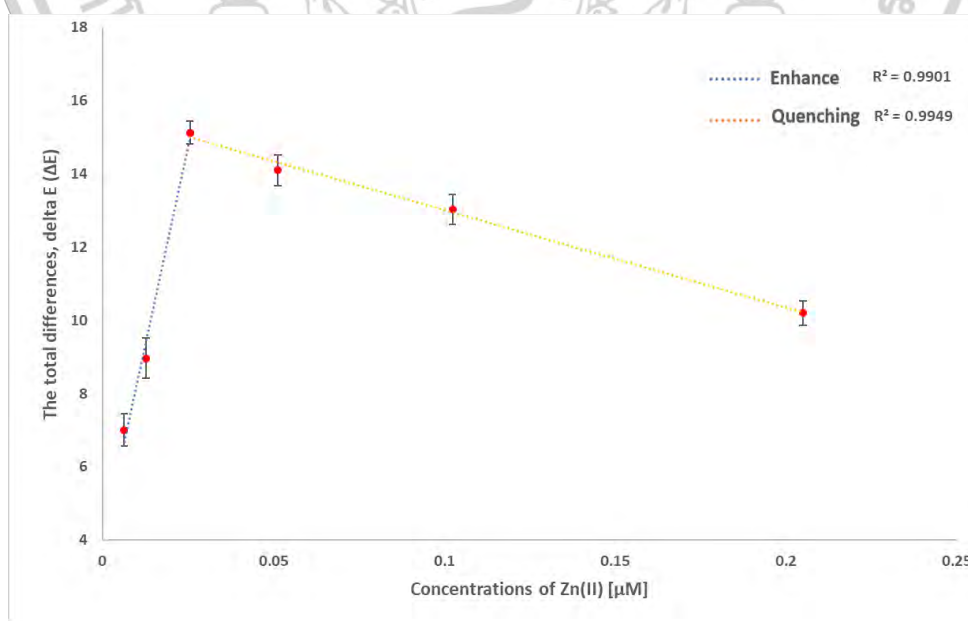
จะเห็นได้ว่า จากการทดลองที่ผ่านมาในหัวข้อ การเปล่งแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบพื้น μM PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ และควอนตัมยิวต์ของแบบจำลองชั้นเคลือบพื้น 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าผลการทดลองทั้งสองมีตำแหน่ง Optimization ที่ตำแหน่งเดียวกันที่ ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0256 μM Zn(II) โดยมีตำแหน่ง หรือ Enhancement อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0064 - 0.0128 μM Zn(II) และตำแหน่ง Quenching อยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0513 - 0.2050 μM Zn(II) นอกจากนี้ยังสัมพันธ์กับผลการทดลองในหัวข้อ 4.1 ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของสารละลาย

4) การวิเคราะห์สีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ

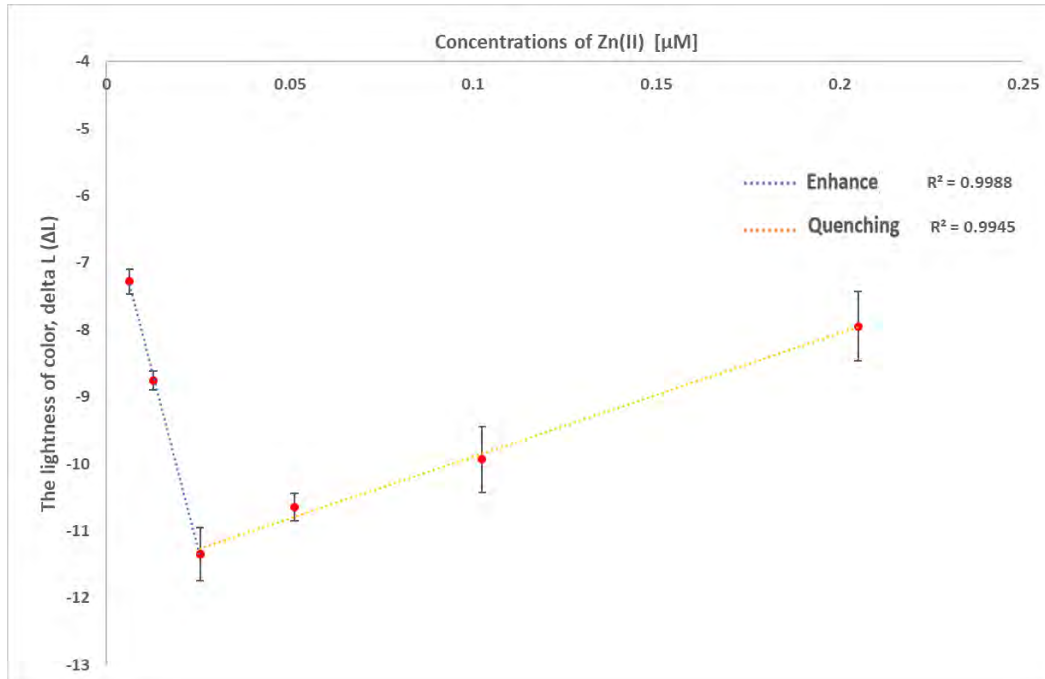
จากผลการศึกษาการวิเคราะห์สีด้วยเครื่อง Colorimeter ที่สามารถอ่านค่าความแตกต่างของสี ความสว่างของสีและความเป็นสีแดงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม โดยเปรียบเทียบระหว่างฟันที่เป็นมาตรฐาน (β -TCP) และแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน (Enamel model) ความเข้มข้นระหว่างของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) พบว่าแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ 2.5 μM PPIX ที่มีการเติม 0.0256 μM Zn(II) (pH=6.60) มีค่าความแตกต่างของสีมากที่สุด ซึ่งอยู่ที่ 15.1230 ± 0.3111 โดยมีค่าความสว่างต่ำสุดอยู่ที่ -11.3479 ± 0.3977 และมีค่าความเป็นสีแดงสูงสุดอยู่ที่ 8.7437 ± 0.1128 ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์สีของ PPIX และ Zn(II) ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม

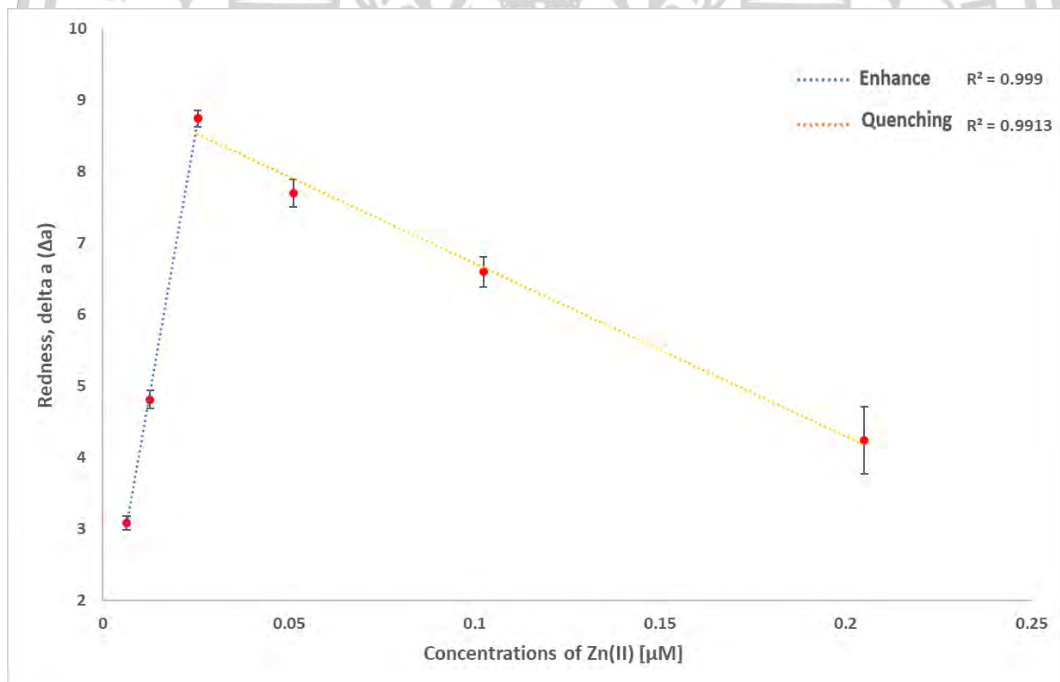
Concentrations (μM)		pH	Color analysis		
PPIX	Zn(II)		ΔE	ΔL	Δa
2.50	0.0064	7.20	7.0024 ± 0.4463	-7.2787 ± 0.1842	3.0820 ± 0.1014
2.50	0.0128	6.90	8.9659 ± 0.5421	-8.7610 ± 0.1407	4.8072 ± 0.1267
2.50	0.0256	6.60	15.1230 ± 0.3111	-11.3479 ± 0.3977	8.7437 ± 0.1128
2.50	0.0513	6.30	14.0988 ± 0.4270	-10.6471 ± 0.2020	7.6973 ± 0.1942
2.50	0.1025	6.00	13.0297 ± 0.4152	-9.9340 ± 0.4915	6.5965 ± 0.2115
2.50	0.2050	5.70	10.2072 ± 0.3339	-7.9480 ± 0.5198	4.2371 ± 0.4716



รูปที่ 4.16 (ก) ความแตกต่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 (ข) ความสว่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน



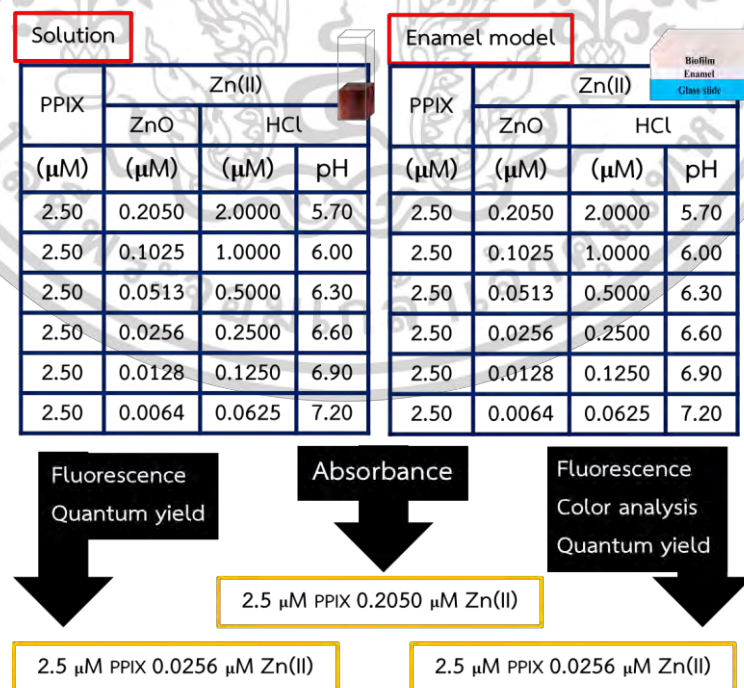
รูปที่ 4.16 (ค) ความเป็นสีแดงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการวิเคราะห์สีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม จะพบว่าแนวโน้มในความแตกต่างของ ความแตกต่างสีหรือความแตกต่างโดยรวม ความแตกต่างของความสว่าง และความเป็นสีแดงหรือความแตกต่างของสีแดง เมื่อเทียบกับฟิล์มที่เป็นแบบจำลองฟันที่ไม่พบการเกิดโรคของฟัน โดยการเติม Zn(II) จะเห็นได้ว่า ผลการทดลองมีตำแหน่งความแตกต่างสีสูงสุด ความสว่างต่ำสุดและความเป็นสีแดงสูงสุด ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่ง Optimization จากการทดลองหาสเปกตรัมทั้งในรูปของสารละลายและแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน ซึ่งอยู่ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0256 μM Zn(II) นอกจากนี้ผลการทดลองยังสัมพันธ์กับช่วง Enhancement และ Quenching ในผลการทดลองในหัวข้อ 4.1 และ 4.2

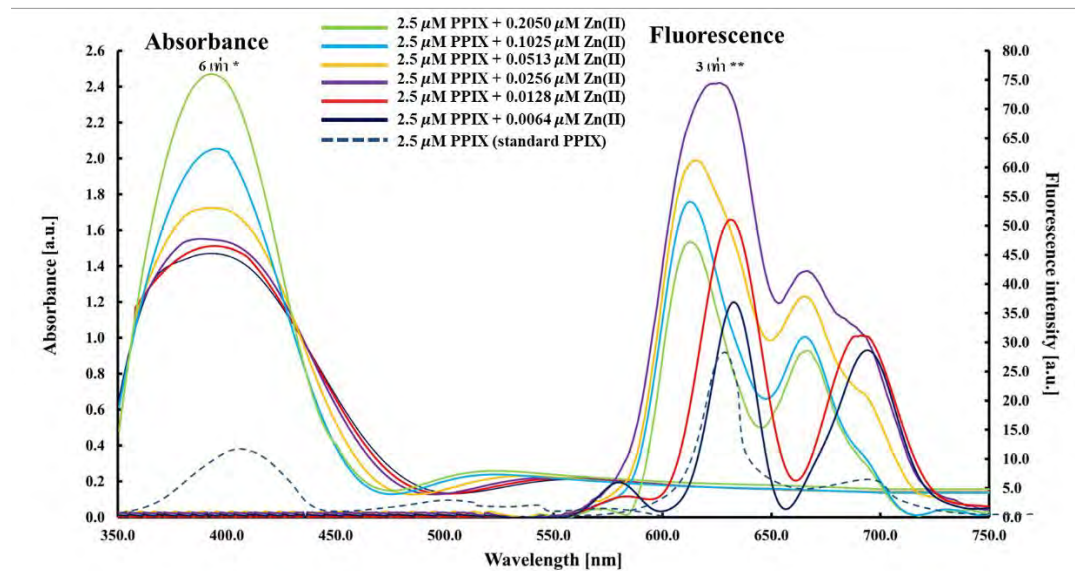
ความสัมพันธ์ระหว่างการทดลองในรูปของสารละลายและแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

การทดลองในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่า Zn(II) เป็นตัวแปรสำคัญที่เพิ่มประสิทธิภาพทางแสงของ PPIX โดยค่าการดูดกลืนแสงจะสัมพันธ์กันในเทอมของความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น และในส่วนของ การเปล่งแสง จากผลของการเปล่งแสงและควอนตัมยิวต์ เห็นได้ชัดเจนว่า ที่ความเข้มข้น 2.5 μM PPIX ผสมกับ 0.0256 μM Zn(II) มีประสิทธิภาพทางแสงสูงสุดทั้งในรูปของสารละลายและแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน นั่นคือการยืนยันผลการทดลองได้ว่า Zn(II) ที่ความเข้มข้นที่กล่าวมาส่งผลให้ประสิทธิภาพการเรืองแสงของ PPIX สูงสุด นอกจากนี้ยังมีผลของความแตกต่างของสี ซึ่งเป็นผลที่ยืนยันความถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับผลที่กล่าวข้างต้น และยังเป็นผลที่แสดงความชัดเจนของการแยกฟันที่ดีและฟันที่พบแบคทีเรียได้ (ดังรูปที่ 4.17)



รูปที่ 4.17ก ความสัมพันธ์ระหว่างการทดลองในรูปของสารละลายและแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการที่เติมและไม่เติม Zn(II) จะพบว่าการดูดกลืนแสงของ PPIX ในแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน มีค่าสูงขึ้นเมื่อเติม Zn(II) โดยการเพิ่มขึ้นของการดูดกลืนแสงสูงสุดถึง 6 เท่า (*) เมื่อเทียบกับ PPIX standard นั้นแสดงถึงคุณสมบัติที่ดีของการเติม Zn(II) ลงใน PPIX สังเกตได้จากรูปที่ 4.17 (ข)



รูปที่ 4.17 (ข) การเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมระหว่างการเติมและไม่เติม Zn(II) ลงใน PPIX ในแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

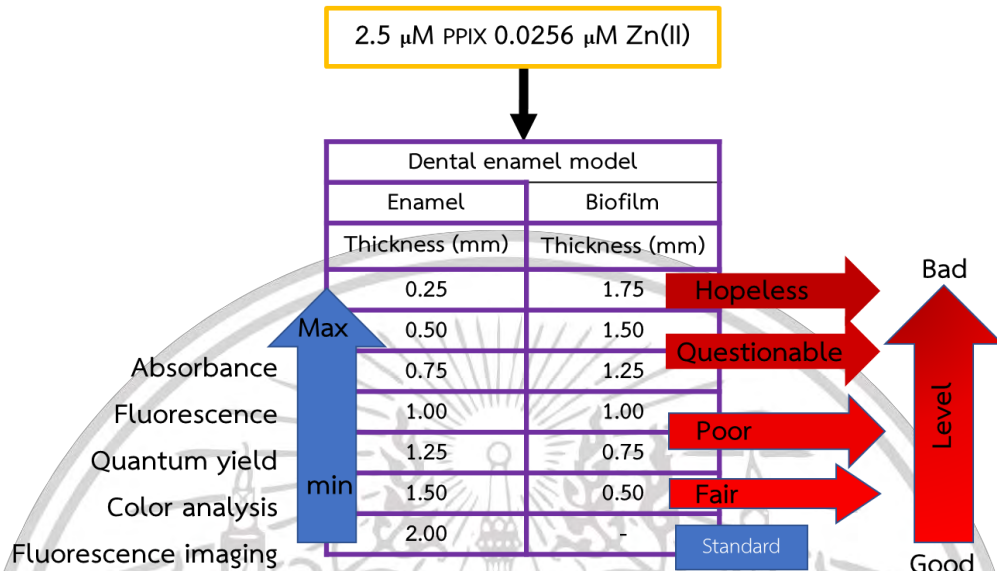
นอกจากนั้นยังพบว่าการเติม Zn(II) ส่งผลให้การเปล่งแสงของ PPIX เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) จะทำให้การเปล่งแสงเพิ่มขึ้น 3 เท่า (***) เมื่อเทียบกับ PPIX standard ในแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน และผลลัพธ์ดังกล่าว ทำให้เกิดความแตกต่างของฟันมาตรฐานและฟันที่พบแบคทีเรีย (Biofilm) ได้อย่างชัดเจนที่สุด

4.3 ผลของการศึกษาสมบัติทางแสงของความหนาของชั้นเคลือบฟัน

จากการศึกษาสมบัติทางแสงของ PPIX และ Zn(II) ในรูปของสารละลายและแบบจำลองชั้นเคลือบฟันในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 ได้ข้อสรุปของการใช้ Zn(II) ที่ความเข้มข้น $0.0256 \mu\text{M}$ ในการเพิ่มประสิทธิภาพทางแสงและความแตกต่างของสีใน $2.5 \mu\text{M}$ PPIX โดยในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาหาคุณสมบัติทางแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 5 สมบัติ ได้แก่ การศึกษาการดูดกลืนแสงของสารละลาย PPIX และ Zn(II) การศึกษาการเปล่งแสงของสารละลาย PPIX และ Zn(II) การศึกษาควอนตัมยิวของสารละลาย PPIX และ Zn(II) การศึกษาความแตกต่างของสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันและการศึกษาภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ $2.5 \mu\text{M}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PPIX กับ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) การทดลองความหนาโดยรวม 2.00 mm. โดยชั้นของฟันมาตรฐานหรือชั้นเนื้อฟันกับชั้นเคลือบฟันที่พบแบคทีเรีย (Biofilm) มีความหนาแตกต่างกันดังตารางที่ 4.9 ซึ่งได้ผลการศึกษา เป็นดังนี้ (ดังรูปที่ 4.18)



รูปที่ 4.18 แผนภาพสรุปผลการศึกษาสมบัติทางแสงของ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์มที่ระดับชั้นต่าง ๆ

ตารางที่ 4.9 ความหนาของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับต่าง ๆ

Enamel model detail			Thickness (Thickness gauge instrument error ± 0.001)	
Enamel	Biofilm	Ratio of Enamel : Biofilm	Theoretical 2.00 mm Enamel : Biofilm Measurement	Error and difference of percentage
1.50	0.50	1.00 : 0.33	2.0033 ± 0.0062	0.1667
1.25	0.75	1.00 : 0.60	2.0023 ± 0.0055	0.1167
1.00	1.00	1.00 : 1.00	2.0010 ± 0.0080	0.0500
0.75	1.25	1.00 : 1.67	2.0020 ± 0.0033	0.1000
0.50	1.50	1.00 : 3.00	2.0040 ± 0.0050	0.2000
0.25	1.75	1.00 : 7.00	2.0042 ± 0.0047	0.2133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

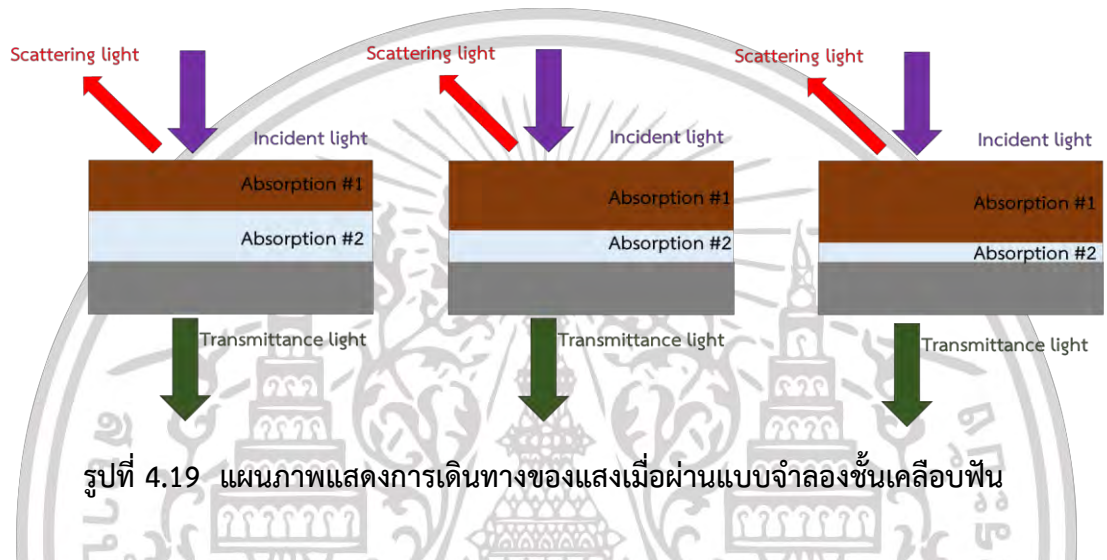
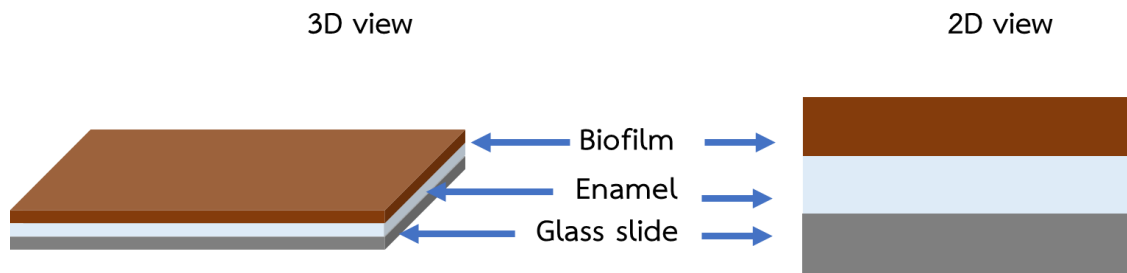
1) การดูดกลืนแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ

จากผลการทดลองในการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของความเข้มข้นระหว่าง $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน (อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) พบว่าแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่มีความหนาของชั้นแบคทีเรีย (Biofilm) น้อยที่สุดหรือในอัตราส่วน 1.00 : 0.33 (Enamel : Biofilm) มีค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุด โดยมีค่าดูดกลืนแสงเพียง 1.5989 ± 0.0012 อยู่ที่ความยาวคลื่นแสง 403.49 นาโนเมตร และชั้นที่มีความหนาของ Biofilm มากที่สุด มีค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุด โดยมีค่าการดูดกลืนแสง 1.6189 ± 0.0012 อยู่ที่ความยาวคลื่น 404.67 นาโนเมตร

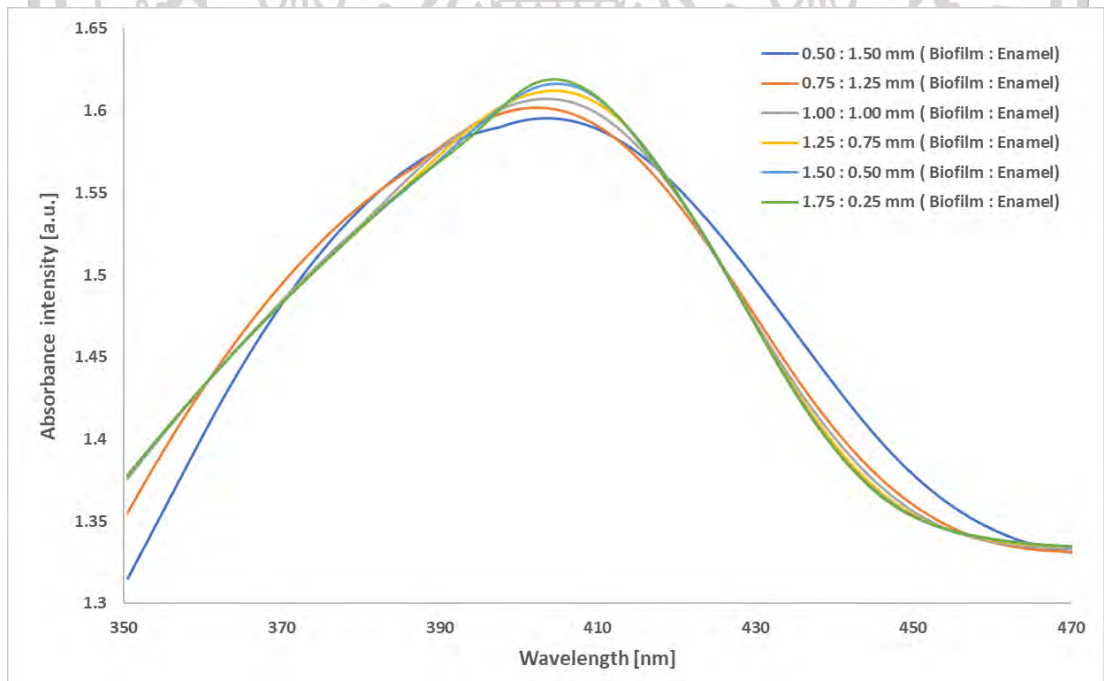
จากการวิเคราะห์การศึกษาสมบัติทางแสงของการดูดกลืนแสงพบว่า แนวโน้มของค่าการดูดกลืน เมื่อเติม Zn(II) ในปริมาณที่ความเข้มข้นเท่ากัน ($0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II)) ลงใน $2.5 \mu\text{M}$ PPIX จะส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงมากขึ้นตามลำดับ ดังแสดงข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงในตารางที่ 4.10 และกราฟข้อมูลเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.20 ซึ่งเป็นไปตามกฎของแลมเบิร์ต ดังสมการที่ 2.7 “ค่าการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับความหนาของเซลล์” กล่าวคือ ในระดับชั้นที่เพิ่มขึ้นของชั้น Biofilm จะส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามลำดับของความหนา นอกจากนี้เนื่องวัสดุแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่เป็นลักษณะของแข็ง ส่งผลให้เกิดการกระเจิงของแสงที่มากกระทบอีกเช่นกัน ดังรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.10 การดูดกลืนแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนาระดับต่าง ๆ

Ratio of Enamel : Biofilm	Intensity (a.u.)	Integrated intensity	Wavelength (nm)
1.00 : 0.33	1.5989 ± 0.0012	165.0012 ± 0.0010	403.49
1.00 : 0.60	1.6020 ± 0.0012	165.1499 ± 0.0022	402.32
1.00 : 1.00	1.6072 ± 0.0030	165.3080 ± 0.0017	403.49
1.00 : 1.67	1.6119 ± 0.0022	165.4011 ± 0.0018	403.49
1.00 : 3.00	1.6163 ± 0.0016	165.5098 ± 0.0025	404.67
1.00 : 7.00	1.6189 ± 0.0012	165.6066 ± 0.0016	404.67

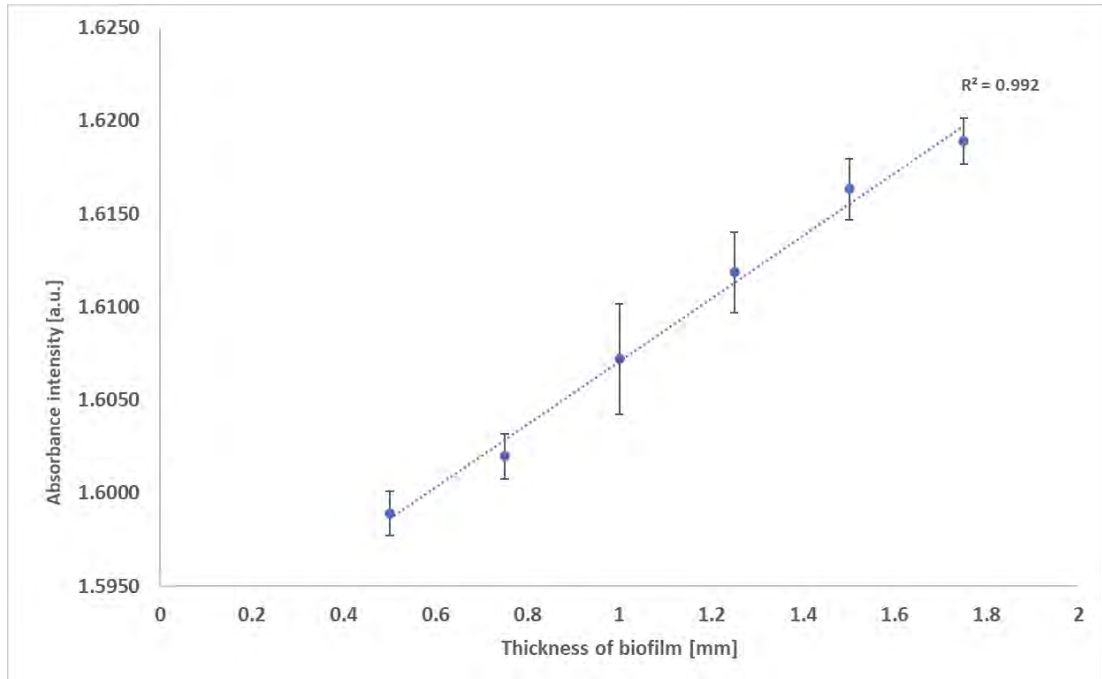


รูปที่ 4.19 แผนภาพแสดงการเดินทางของแสงเมื่อผ่านแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

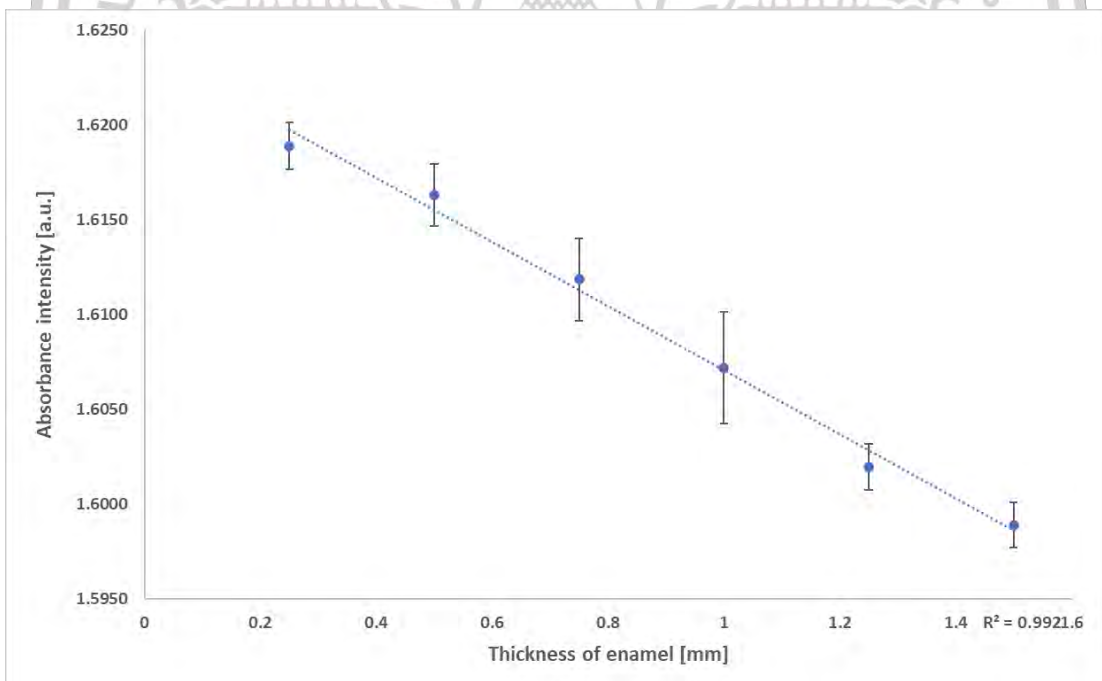


รูปที่ 4.20 (ก) กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

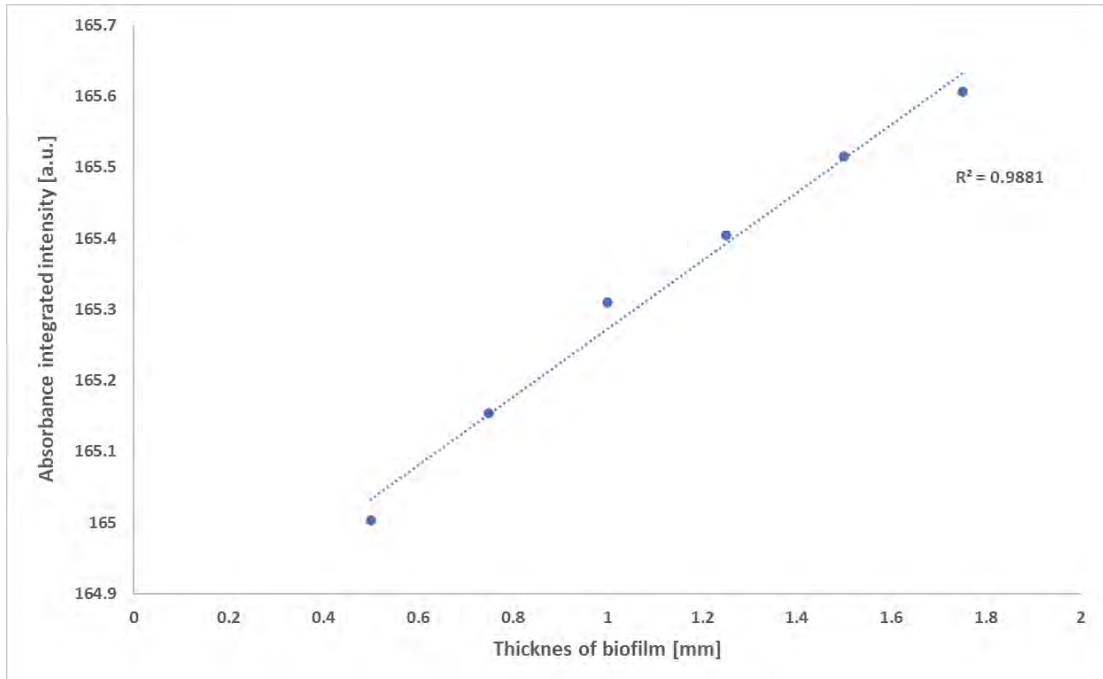


รูปที่ 4.20 (ข) กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ

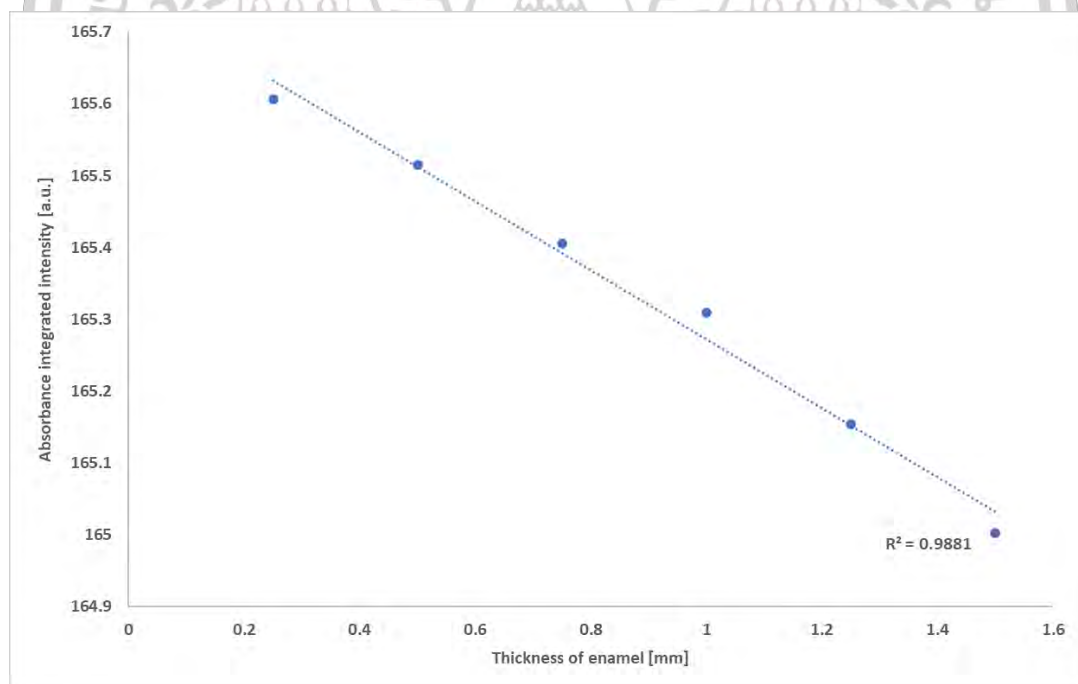


รูปที่ 4.20 (ค) กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความหนาของชั้นเนื้อฟันของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 (ง) กราฟแสดงค่า Integrated absorbance สัมพันธ์กับความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน $2.50 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ



รูปที่ 4.20 (จ) กราฟแสดงค่า Integrated absorbance สัมพันธ์กับความหนาของชั้นเนื้อฟันของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน $2.50 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การเปล่งแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ

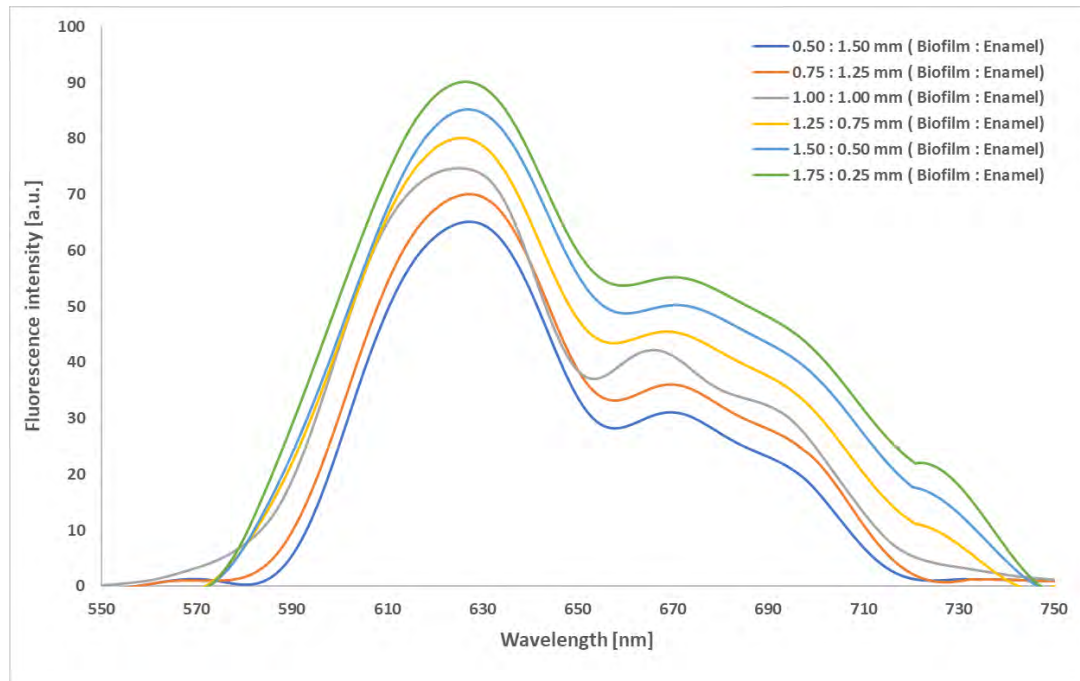
จากผลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงของความเข้มข้นระหว่างของ 2.5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน (ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) พบว่าที่ 2.5 μM PPIX ที่มีการเติม Zn(II) มีย่านการเปล่งแสงด้วยกัน 2 ย่าน ได้แก่ Major peak และ Minor peak โดยย่าน Major peak ที่ความหนา 1.00 : 7.00 มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดที่มีการเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.0256 μM มีค่าความเข้มของการเปล่งแสงอยู่ที่ 74.6443 ± 1.2895 ในช่วงความยาวคลื่น 626.38 นาโนเมตร (pH=6.60) และย่าน Minor peak ที่ความหนา 1.00 : 0.33 มีค่าการเปล่งแสงสูงสุดที่มีการเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.0256 μM มีค่าความเข้มของการเปล่งแสงอยู่ที่ 42.1664 ± 1.6349 ในช่วงความยาวคลื่น 666.39 นาโนเมตร (pH=6.60) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และข้อมูลกราฟเปรียบเทียบในรูปที่ 4.21

จากข้อมูลการศึกษาสมบัติทางแสงของการเปล่งพบว่า หากระดับความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพมีความบางมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเปล่งแสงได้น้อย แต่หากมีความหนามากจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเปล่งแสงได้มาก

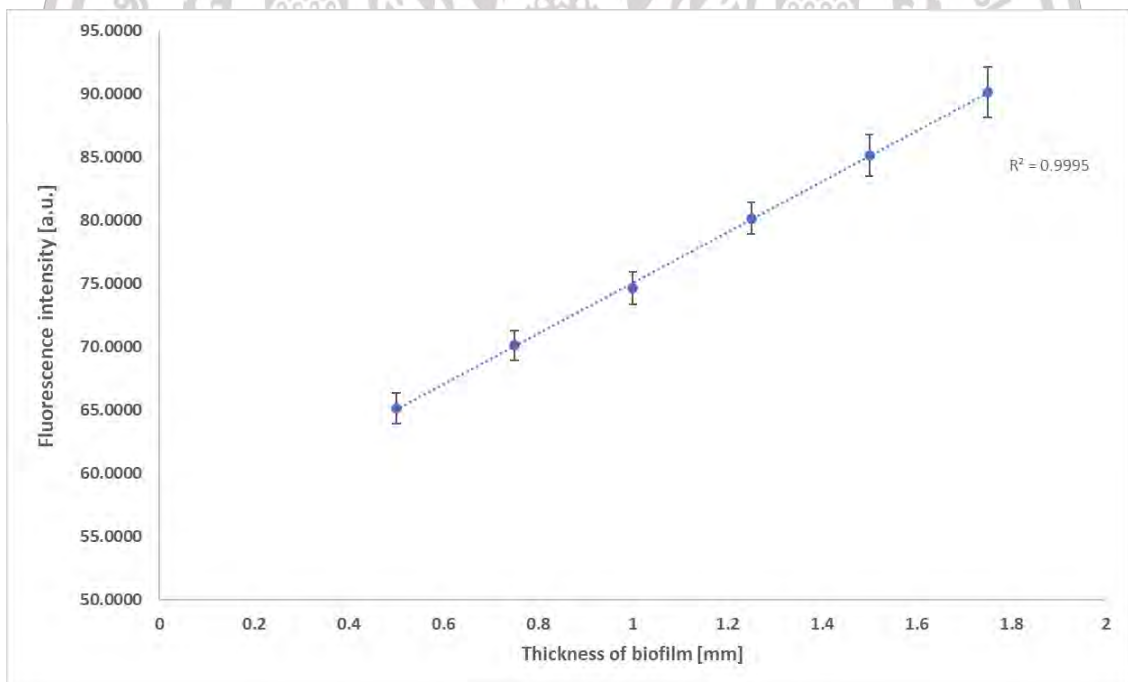
ตารางที่ 4.11 สมบัติการเปล่งแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนาระดับต่าง ๆ

Ratio of Enamel : Biofilm	ค่าการเปล่งแสง				Integrated intensity
	Major peak	ความยาวคลื่น (nm)	Minor peak	ความยาวคลื่น (nm)	
1.00 : 0.33	65.1124 \pm 1.2077	626.38	31.0191 \pm 1.2455	666.95	4317.7401 \pm 10.0034
1.00 : 0.60	70.1124 \pm 1.1973	626.95	36.0201 \pm 1.5349	666.39	4974.9502 \pm 9.4375
1.00 : 1.00	74.6443 \pm 1.2895	626.38	42.1664 \pm 1.6349	666.39	5771.8799 \pm 11.1373
1.00 : 1.67	80.1653 \pm 1.2349	626.23	45.5585 \pm 1.0623	666.08	6496.8495 \pm 11.1877
1.00 : 3.00	85.1772 \pm 1.6429	626.38	51.1533 \pm 1.2356	666.39	7274.7407 \pm 10.4531
1.00 : 7.00	90.1762 \pm 1.9884	626.38	31.0191 \pm 1.2455	666.39	4317.7401 \pm 10.0034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

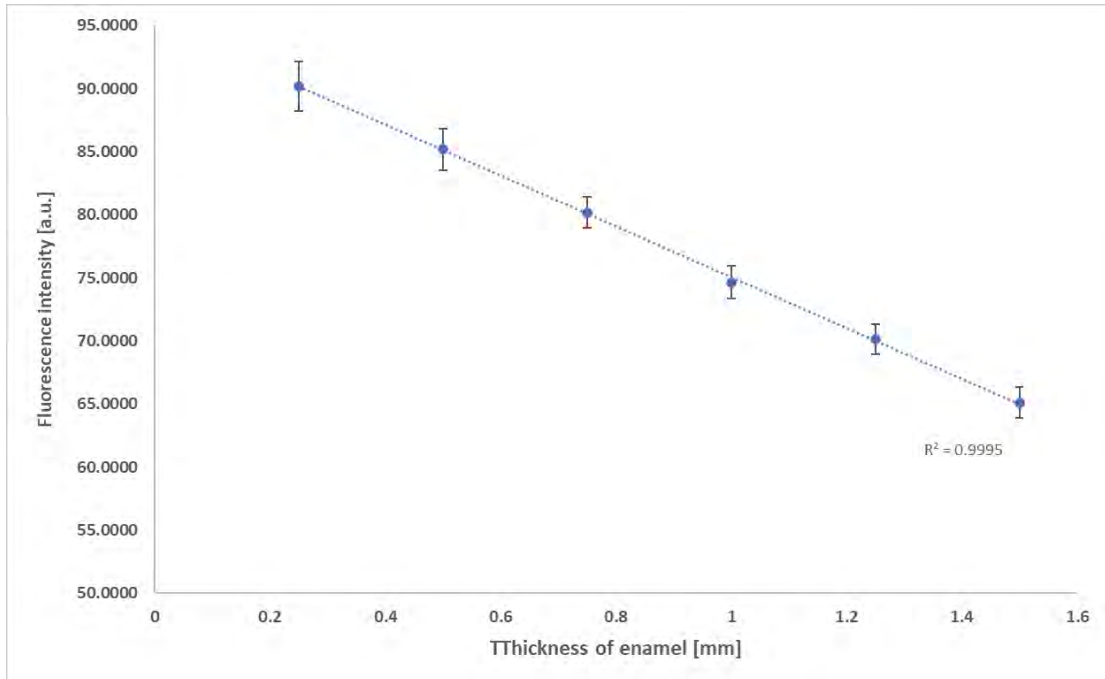


รูปที่ 4.21 (ก) กราฟสเปกตรัมการเปล่งแสงสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน $2.50 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ

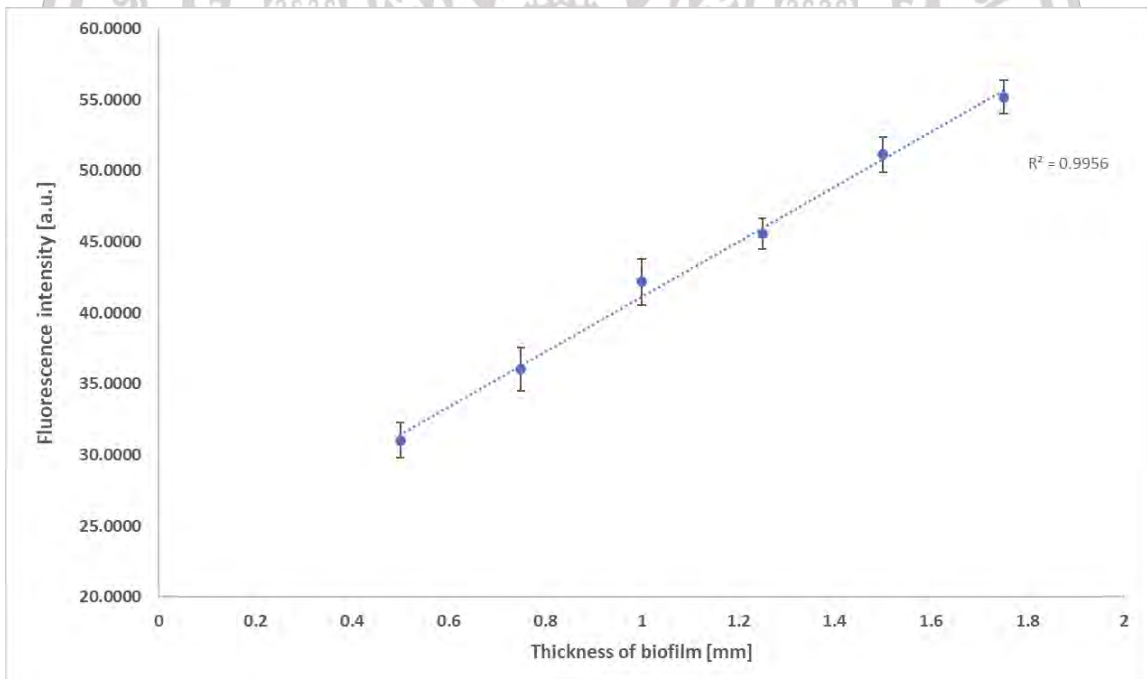


รูปที่ 4.21 (ข) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Major peak สัมพันธ์กับชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน $2.50 \mu\text{M}$ PPIX และ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

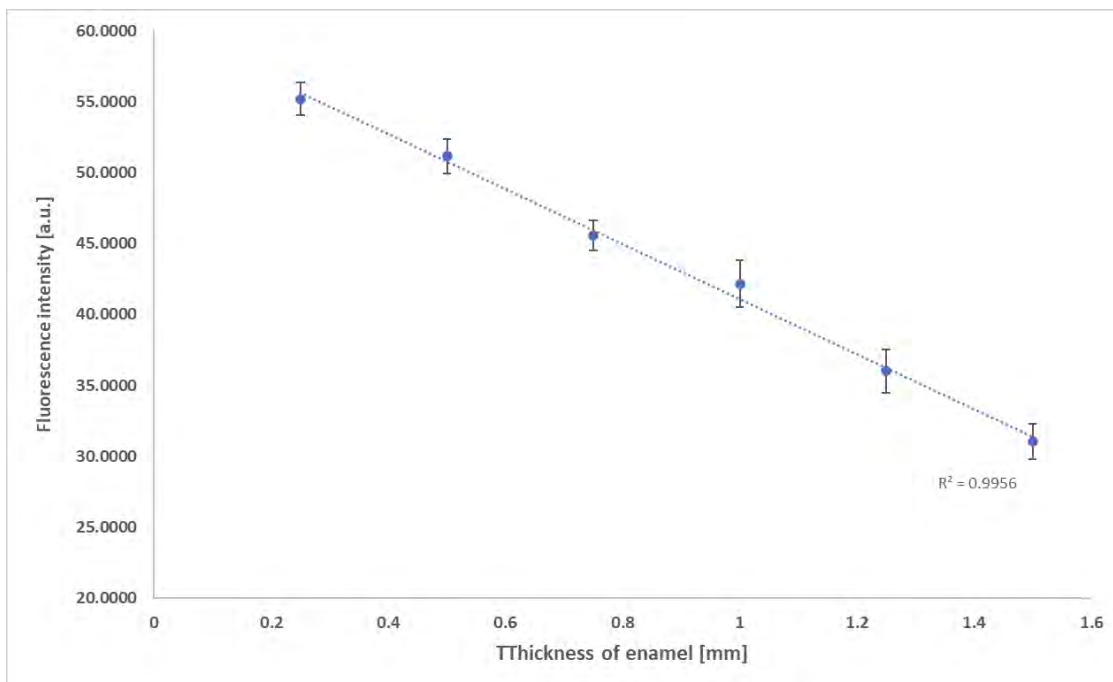


รูปที่ 4.21 (ค) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Minor peak สัมพันธ์กับชั้นเนื้อฟิล์มของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ

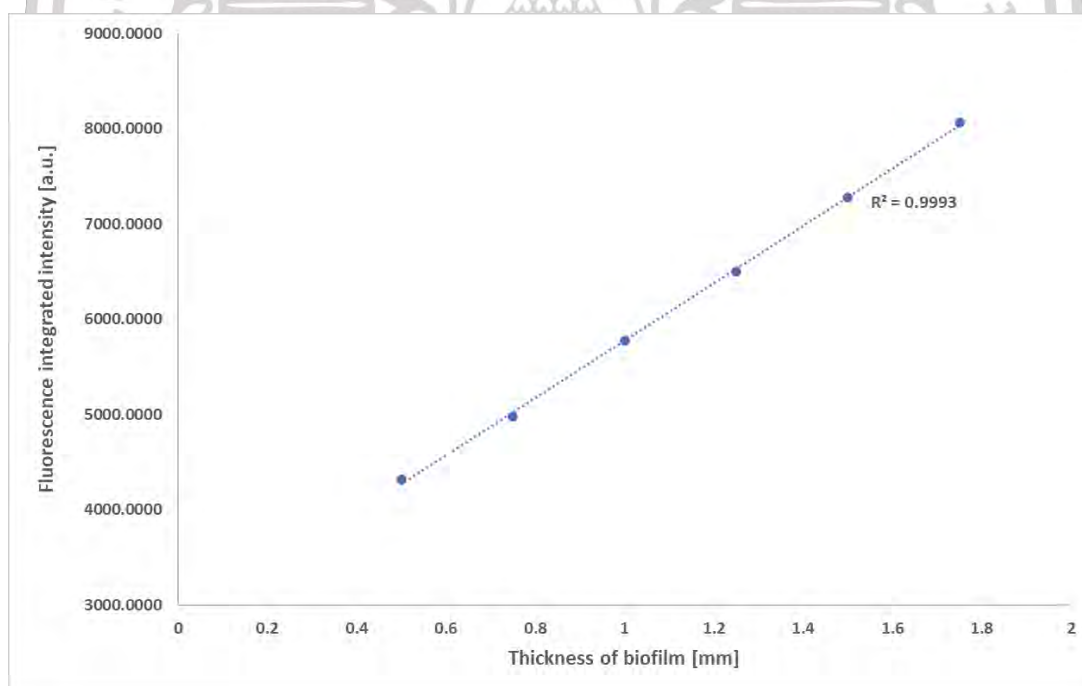


รูปที่ 4.21 (ง) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Major peak สัมพันธ์กับชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

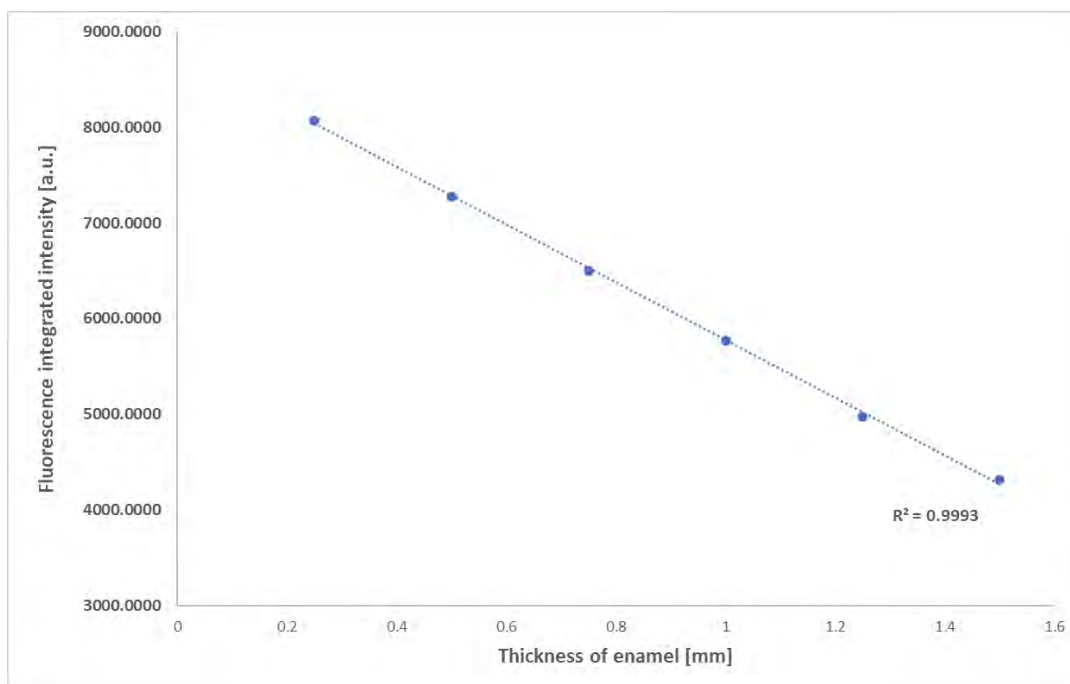


รูปที่ 4.21 (จ) กราฟแสดงค่าการเปล่งแสงสูงสุดของ Minor peak สัมพันธ์กับชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ



รูปที่ 4.21 (ข) กราฟแสดงค่า Integrated fluorescence ของ Major peak สัมพันธ์กับชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 (ณ) กราฟค่า Integrated fluorescence ของ Minor peak สัมพันธ์กับชั้นเนื้อฟันของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ระดับความหนาต่าง ๆ

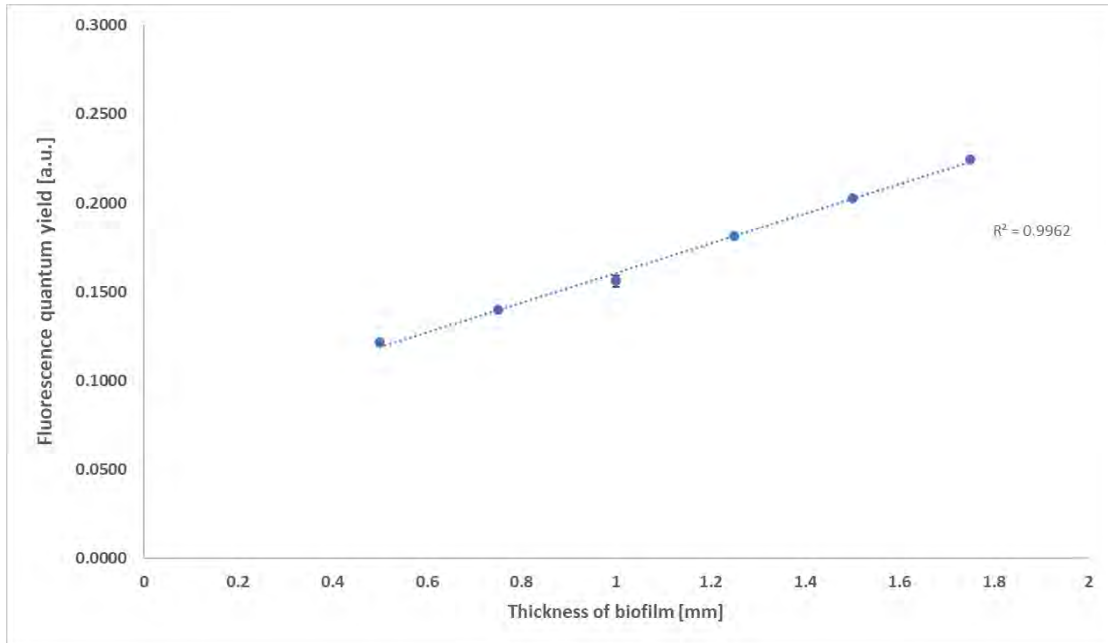
3) ควอนตัมยิวของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ

จากผลการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงและค่าดัชนีหักเหของแสง ของความเข้มข้นระหว่างของ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ในรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน (ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) เมื่อนำมาหาค่าควอนตัมยิวต์ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน พบว่าแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 0.33 มีค่าควอนตัมยิวต์ต่ำสุดอยู่ที่ 0.1216 ± 0.0004 และหากเพิ่มความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพค่าควอนตัมยิวต์จะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งที่ความหนา 1.00 : 7.00 มีค่าควอนตัมยิวต์สูงสุดอยู่ที่ 0.2244 ± 0.0003 ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.8

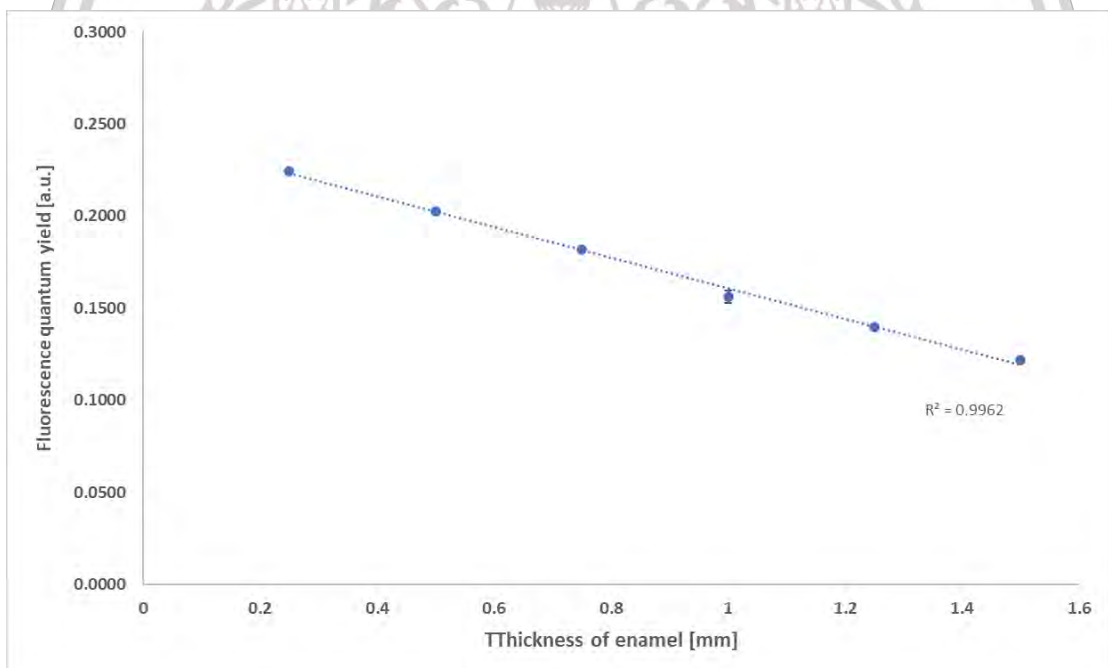
ตารางที่ 4.12 ควอนตัมยิวต์ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนาระดับต่าง ๆ

Ratio of Enamel : Biofilm	Quantum yield
1.00 : 0.33	0.1216 ± 0.0004
1.00 : 0.60	0.1398 ± 0.0003
1.00 : 1.00	0.1561 ± 0.0032
1.00 : 1.67	0.1815 ± 0.0004
1.00 : 3.00	0.2026 ± 0.0004
1.00 : 7.00	0.2244 ± 0.0003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 (ก) กราฟแสดงค่าควอนตัมยิวต์สัมพันธ์กับชั้นฟิล์มชีวภาพของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ



รูปที่ 4.22 (ข) กราฟแสดงค่าควอนตัมยิวต์สัมพันธ์กับเนื้อฟันของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน 2.50 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ระดับความหนาต่าง ๆ

จากข้อมูลการศึกษาสมบัติทางแสงควอนตัมยิวต์ของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันพบว่า หากระดับความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพมีความบางมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทางแสงได้น้อย แต่หาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

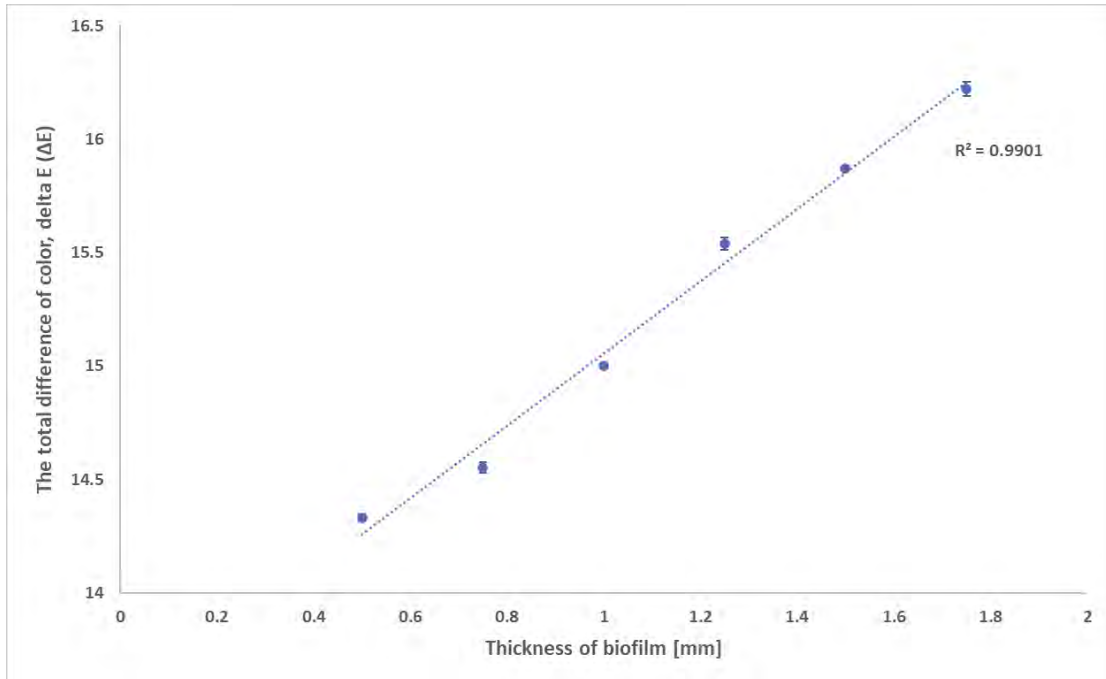
มีความหนาจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทางแสงได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองสเปกตรัมการเปล่งแสงจากการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมา

4) ความแตกต่างของสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ

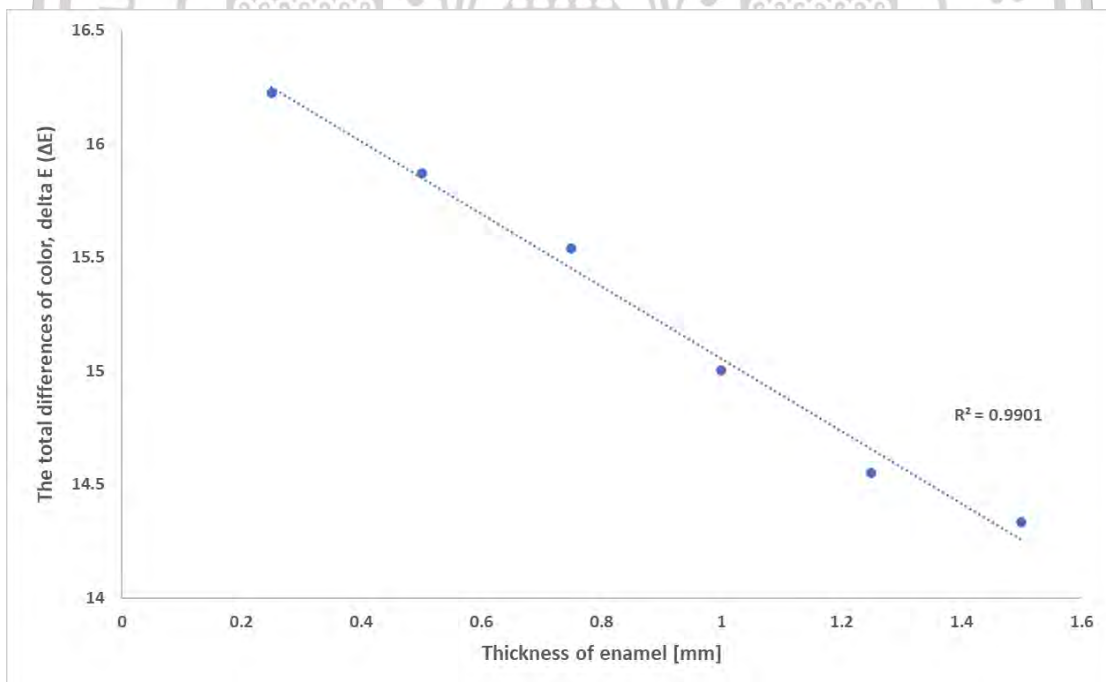
จากผลการศึกษาการวิเคราะห์สีด้วยเครื่อง Colorimeter ที่สามารถอ่านค่าความแตกต่างของสี ความสว่างของสีและความเป็นสีแดงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน โดยเปรียบเทียบระหว่างฟันที่เป็นมาตรฐาน (β -TCP) และแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน (Enamel model) ความเข้มข้นระหว่างของ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) (ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) พบว่าแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่มีความหนา 1.00 : 0.33 มีค่าความแตกต่างของสีน้อยที่สุด ซึ่งอยู่ที่ 14.3321 ± 0.0155 โดยมีค่าความสว่างสูงสุดอยู่ที่ -10.7772 ± 0.0156 และมีค่าความเป็นสีแดงน้อยที่สุดอยู่ที่ 7.6152 ± 0.0157 และที่ความหนา 1.00 : 5.00 มีค่าความแตกต่างของสีมากที่สุด ซึ่งอยู่ที่ 16.2216 ± 0.0324 โดยมีค่าความสว่างต่ำสุดอยู่ที่ -12.0123 ± 0.0322 และมีค่าความเป็นสีแดงสูงสุดอยู่ที่ 10.2464 ± 0.0324 ดังตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.23

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์สีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนาระดับต่าง ๆ

Ratio of Enamel : Biofilm	Color analysis		
	ΔE	ΔL	Δa
1.00 : 0.33	14.3321 ± 0.0155	-10.7772 ± 0.0156	7.6152 ± 0.0157
1.00 : 0.60	14.5521 ± 0.0246	-11.0021 ± 0.0242	8.2998 ± 0.0242
1.00 : 1.00	15.0022 ± 0.0112	-11.3081 ± 0.0113	8.6954 ± 0.0121
1.00 : 1.67	15.5399 ± 0.0273	-11.6252 ± 0.0274	9.4099 ± 0.0274
1.00 : 3.00	15.8711 ± 0.0121	-11.7729 ± 0.0121	9.7170 ± 0.0122
1.00 : 5.00	16.2216 ± 0.0324	-12.0123 ± 0.0322	10.2464 ± 0.0324

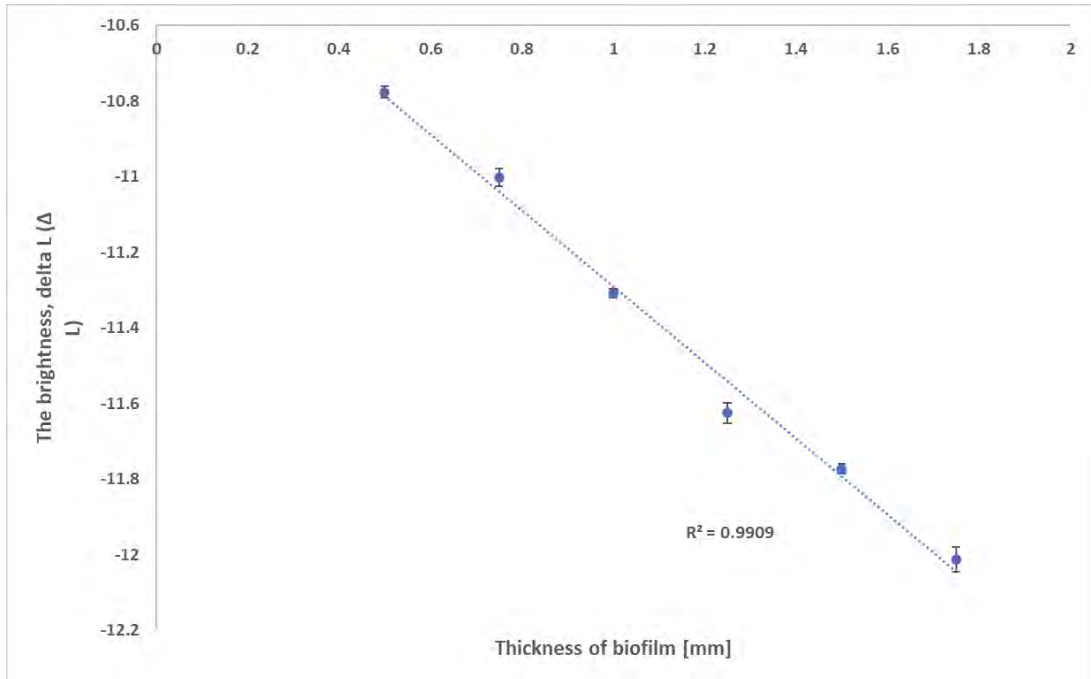


รูปที่ 4.23 (ก) ความแตกต่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ที่ระดับชั้นฟิล์มชีวภาพแตกต่างกัน

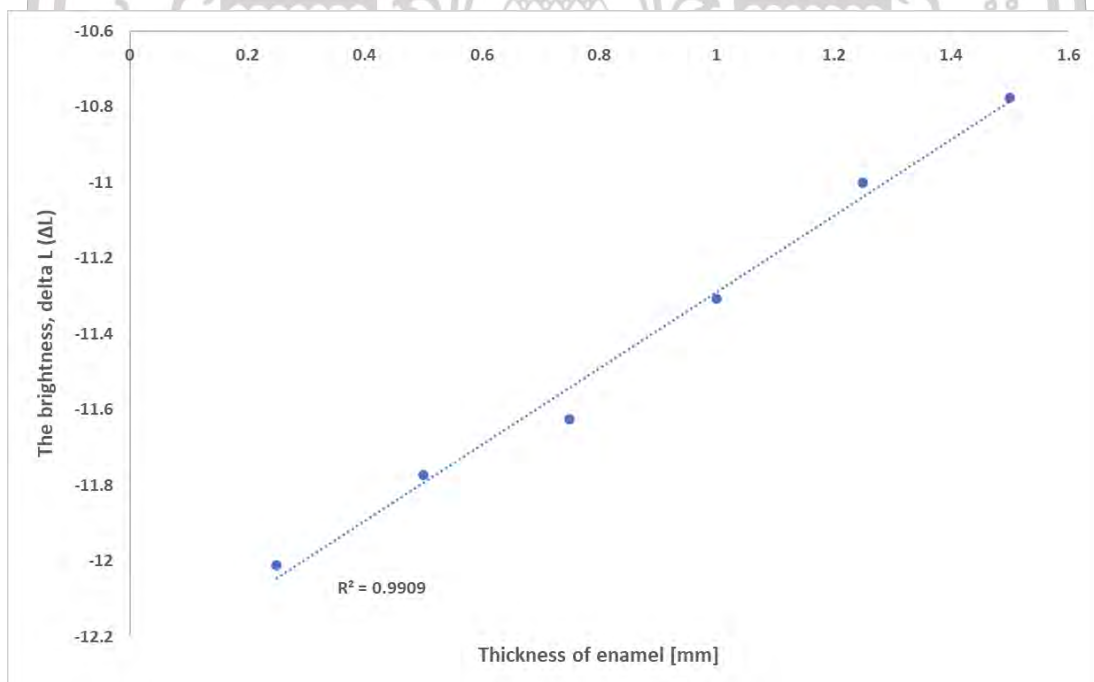


รูปที่ 4.23 (ข) ความแตกต่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ที่ระดับชั้นเนื้อฟันที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

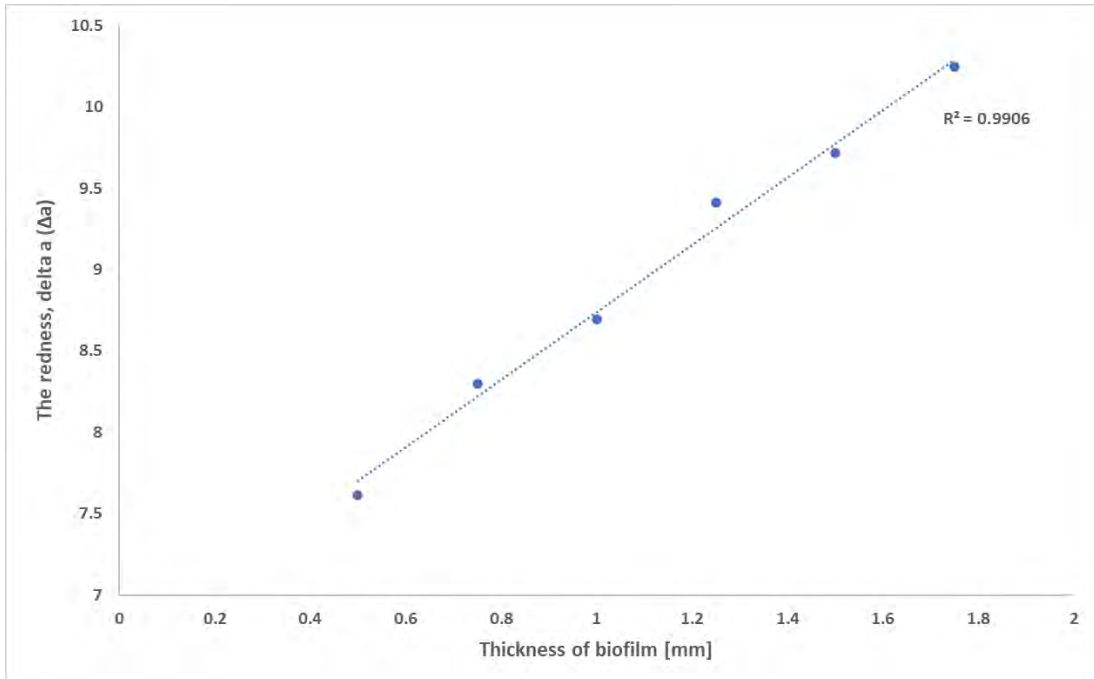


รูปที่ 4.23 (ค) ความสว่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ที่ระดับชั้นฟิล์มชีวภาพแตกต่างกัน

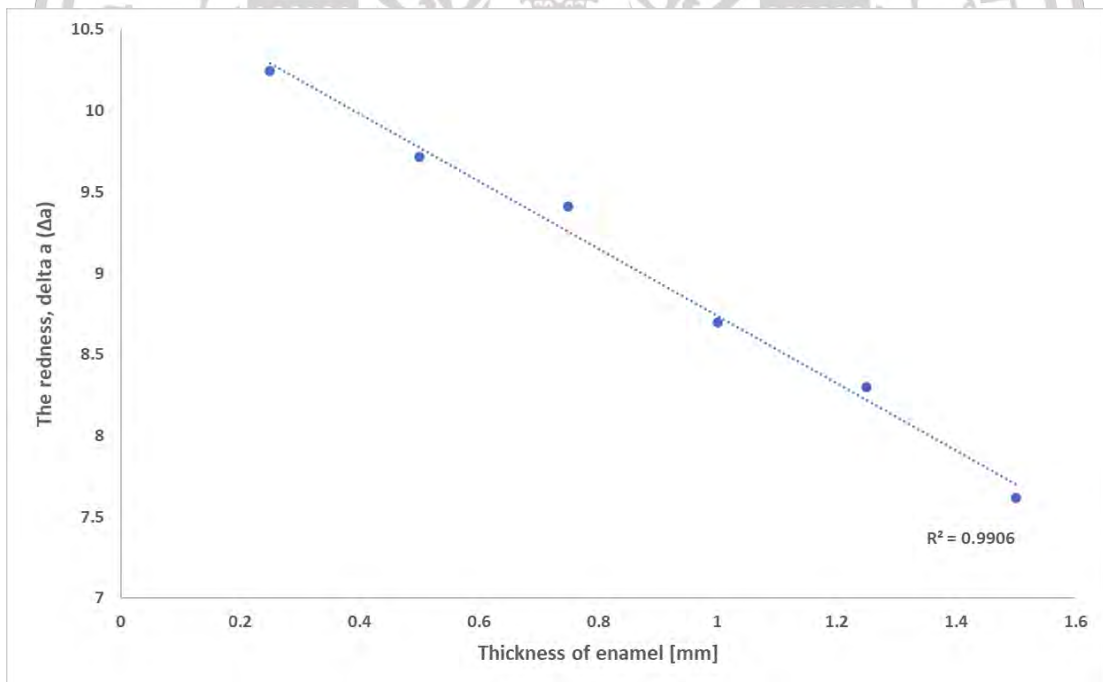


รูปที่ 4.23 (ง) ความสว่างสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ที่ระดับชั้นเนื้อฟันที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 (จ) ความเป็นสีแดงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ระดับชั้นฟิล์มชีวภาพแตกต่างกัน



รูปที่ 4.23 (ฉ) ความเป็นสีแดงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน เมื่อเทียบกับชั้นฟันมาตรฐาน ระดับชั้นเนื้อฟันที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองการวิเคราะห์สีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟิล์ม จะพบว่าแนวโน้มในความแตกต่างของ ความแตกต่างสีหรือความแตกต่างโดยรวม ความแตกต่างของความสว่าง และความเข้มสีแดงหรือความแตกต่างของสีแดง เมื่อเทียบกับฟิล์มที่เป็นแบบจำลองฟันที่ไม่พบการเกิดโรคของฟัน โดยการเติม Zn(II) จะเห็นได้ว่า ที่ความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพต่ำจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกสีต่ำ แต่หากว่าความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพหนามาก ประสิทธิภาพการแยกสีก็สูงเช่นกัน นอกจากนี้ การทดลองในหัวข้อนี้ยังสัมพันธ์กับการทดลองในหัวการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงและควอนตัมยิวต์ของแบบจำลองที่ผ่านมามากอีกด้วย

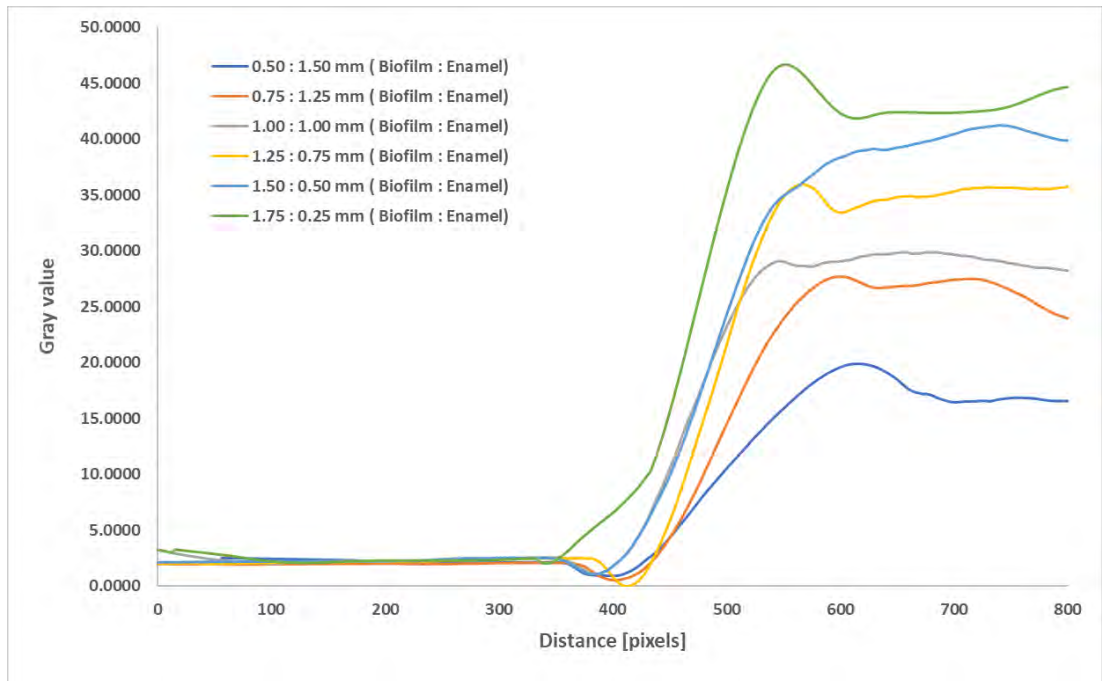
5) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ 2.5 μM PPIX และ 0.0256 μM Zn(II) ที่ความหนาต่าง ๆ

จากผลการศึกษาภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน (ที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.3) พบว่าภาพถ่ายเรืองแสงที่มีความชัดเจนมากที่สุดอยู่ที่ความหนา 1.00 : 7.00 (Enamel : Biofilm) ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ที่ 44.6970 ± 0.3545 เมื่อเทียบกับแบบจำลองชั้นเนื้อฟันมาตรฐาน และภาพถ่ายที่ความชัดเจนน้อยที่สุดอยู่ที่ความหนา 1.00 : 0.33 ค่าความแตกต่างอยู่ที่ 19.3110 ± 0.3040 ดังตารางที่ 4.14

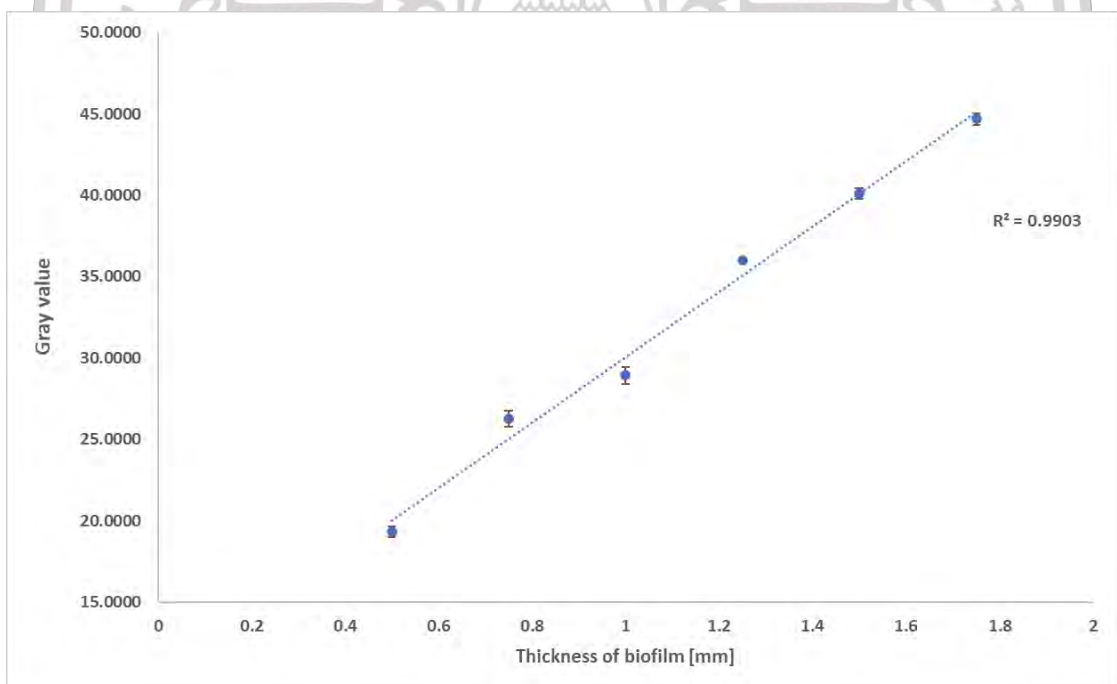
ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแตกต่างสีของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

Ratio of Enamel : Biofilm	Color analysis	
	Contrast	Integrated
1.00 : 0.33	19.3110 ± 0.3040	7839.8502 ± 17.3972
1.00 : 0.60	26.2688 ± 0.4792	10933.2989 ± 20.7839
1.00 : 1.00	28.9157 ± 0.5065	13010.8999 ± 12.3990
1.00 : 1.67	35.9940 ± 0.0965	14390.7002 ± 26.0405
1.00 : 3.00	40.1272 ± 0.3296	16815.8010 ± 15.2286
1.00 : 7.00	44.6970 ± 0.3545	19403.6020 ± 16.9274

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

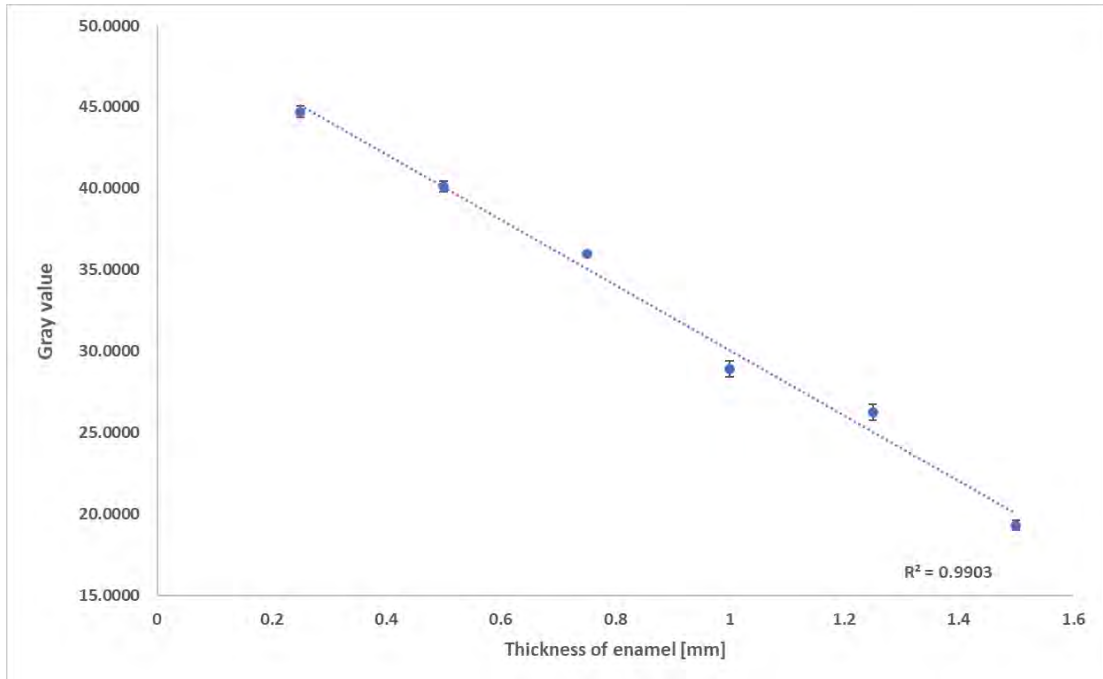


รูปที่ 4.24 (ก) ความแตกต่างสีของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับความหนาต่าง ๆ

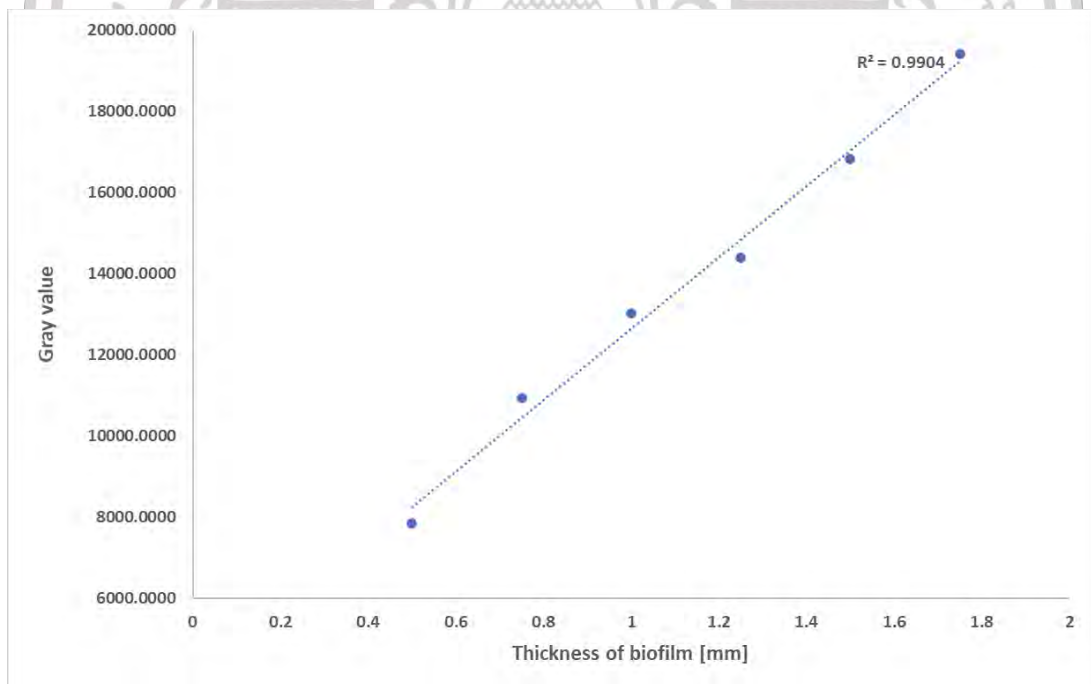


รูปที่ 4.24 (ข) ความแตกต่างสีของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับความหนาชั้นฟิล์มชีวภาพต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

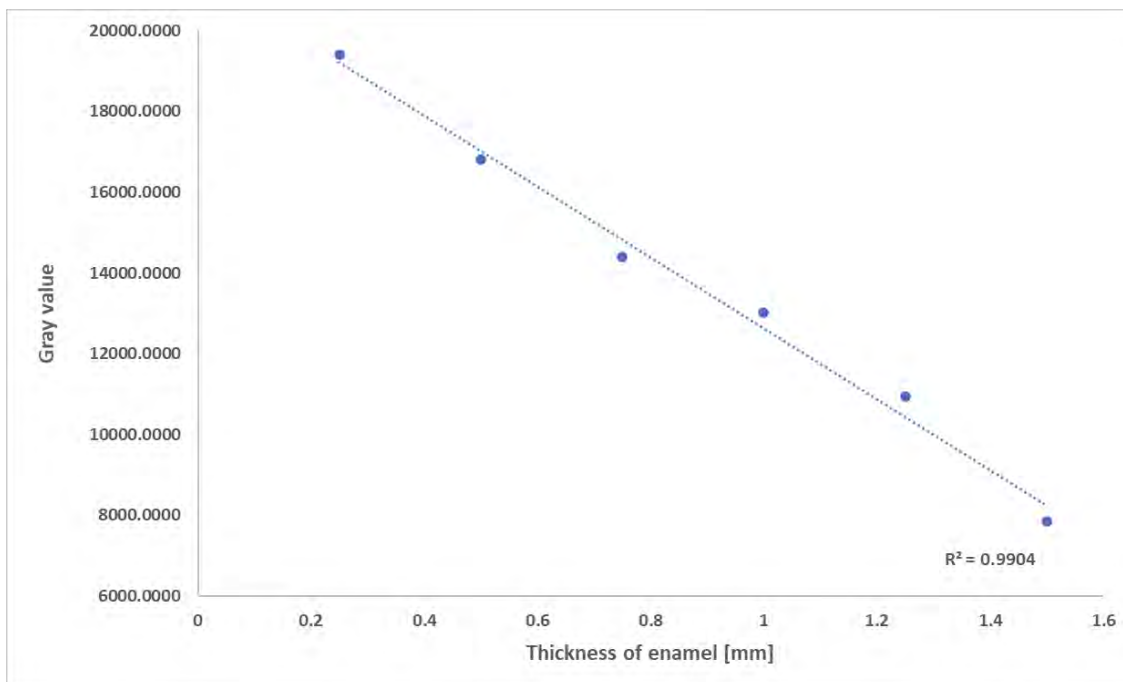


รูปที่ 4.24 (ค) ความแตกต่างสีของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับความหนาชั้นเนื้อฟันต่าง ๆ



รูปที่ 4.24 (ง) Integrated contrast ของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับความหนาชั้นฟิล์มชีวภาพต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

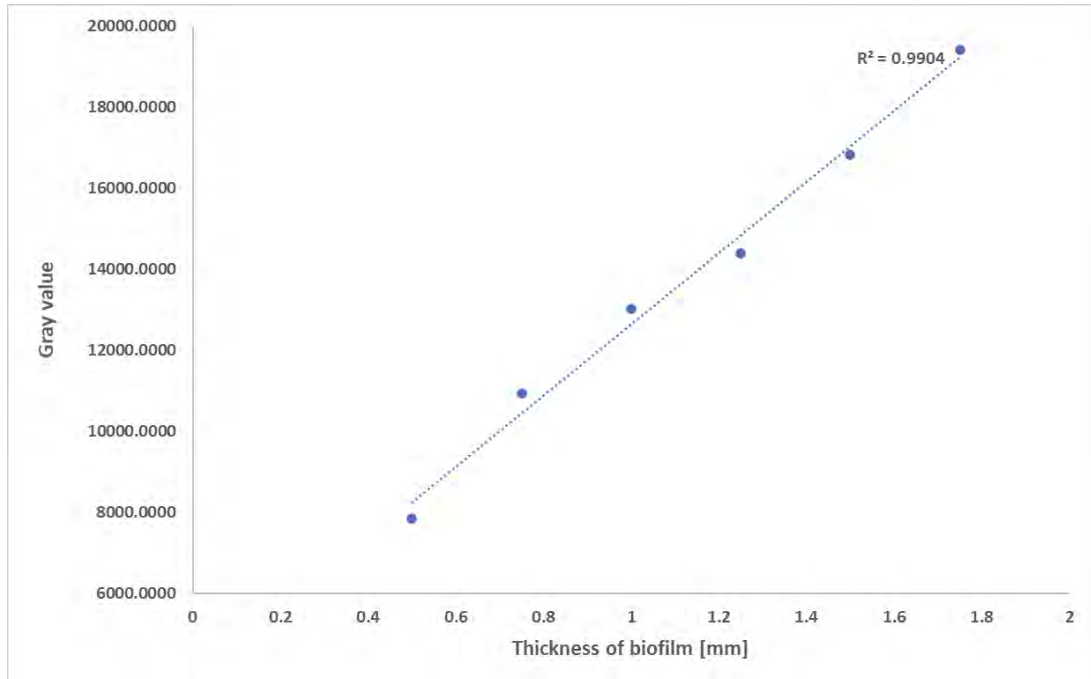


รูปที่ 4.24 (จ) Integrated contrast ของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับความหนาชั้นเนื้อฟันต่าง ๆ

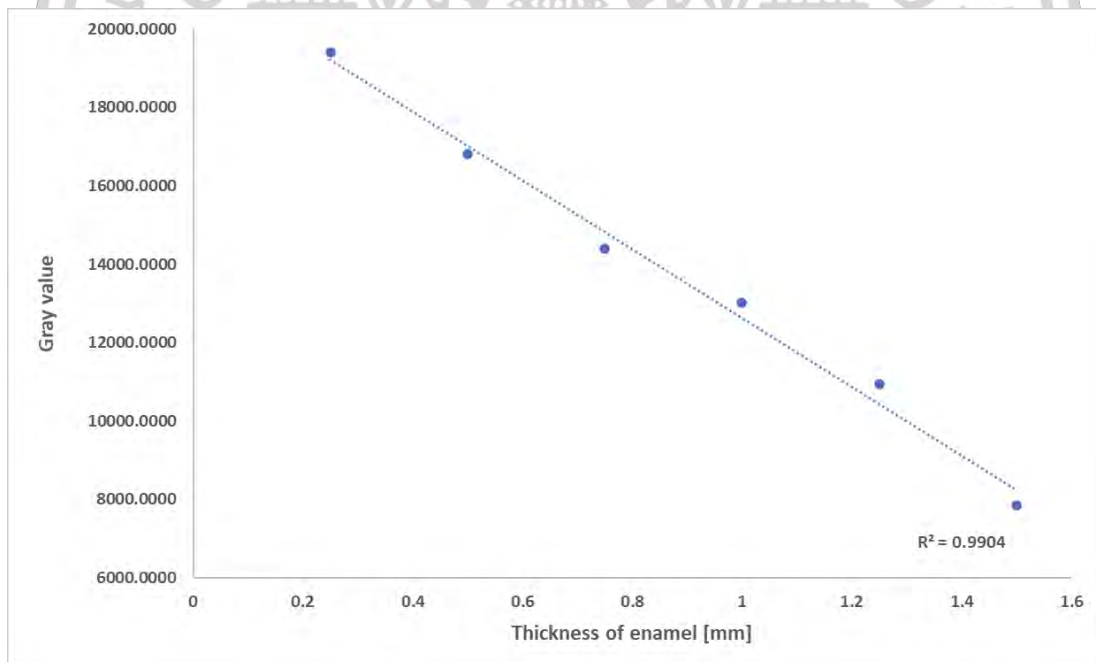
นอกจากนี้ เมื่อนำภาพถ่ายเรืองแสงมาหาค่า RGB พบว่า ค่าความเป็นสีแดงของภาพถ่ายเรืองแสงและค่า Gray scale สัมพันธ์กับข้อมูลการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมา โดยที่ความหนา 1.00 : 0.33 หรือระดับความหนาต่ำสุด จะแสดงค่าความเป็นสีแดงต่ำ อยู่ที่ 21.8490 แต่เมื่อความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพที่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่ความหนา 1.00 : 7.00 หรือระดับความหนาสูงสุด มีค่าความเป็นสีแดงสูงสุด อยู่ที่ 49.8380 ดังตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.25 ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ค่าสีของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

Ratio of Enamel : Biofilm	Color analysis			
	Red	Green	Blue	Grayscale
1.00 : 0.33	21.8490	0.7850	2.8110	8.4817
1.00 : 0.60	30.0790	0.6640	4.3510	11.6980
1.00 : 1.00	35.8660	0.7000	5.5870	14.0510
1.00 : 1.67	40.5090	0.5940	6.9110	16.0047
1.00 : 3.00	45.7150	0.5090	8.6790	18.3010
1.00 : 7.00	49.8380	0.6900	7.8310	19.4530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

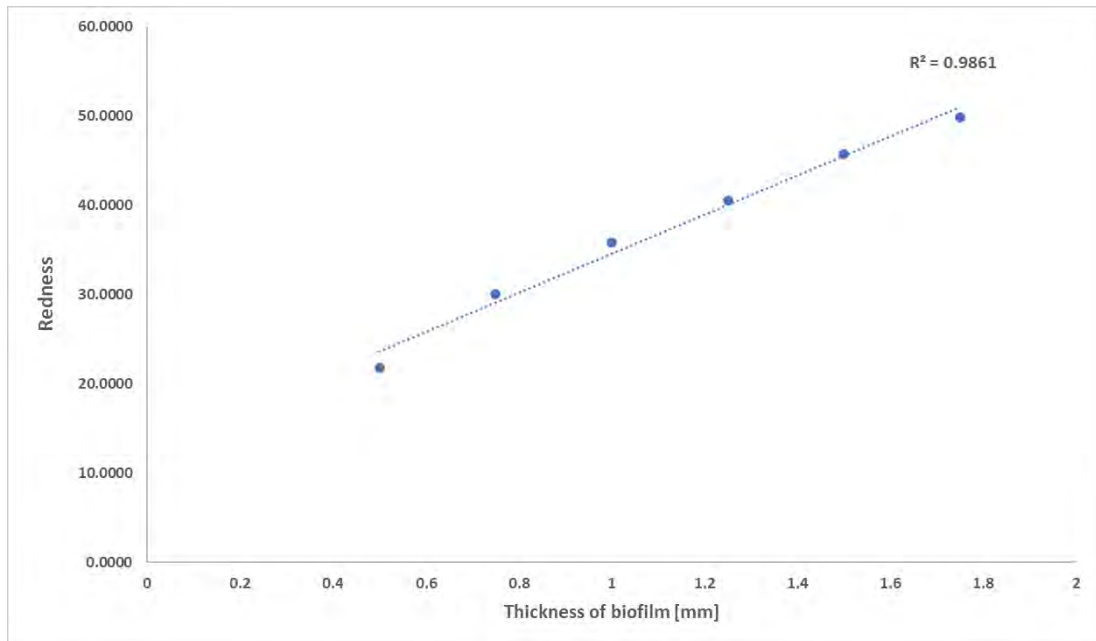


รูปที่ 4.25 (ก) Gray scale ของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับความหนาชั้นฟิล์มชีวภาพต่าง ๆ

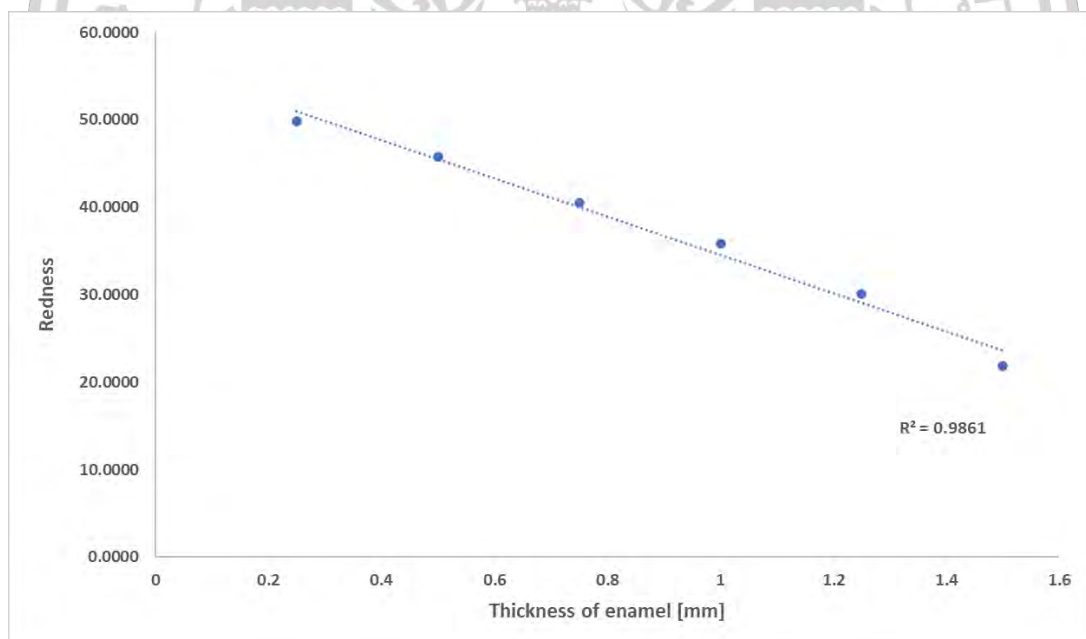


รูปที่ 4.25 (ข) Gray scale ของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับความหนาชั้นเนื้อฟันต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



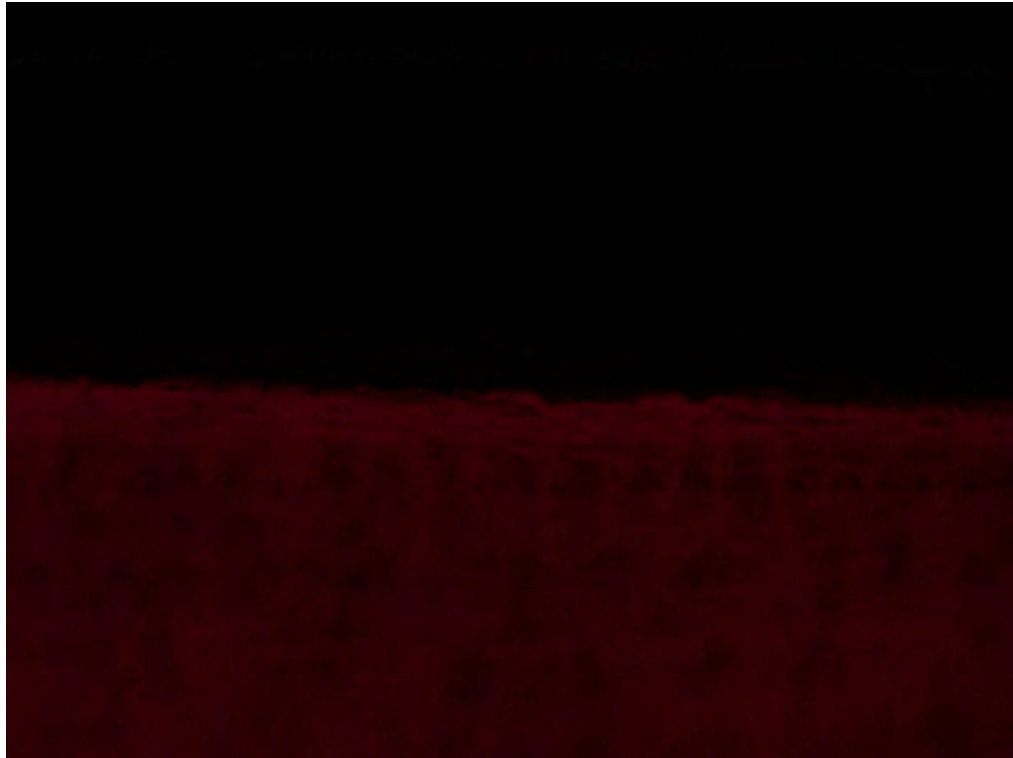
รูปที่ 4.25 (ค) ค่าความเป็นสีแดงของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับความหนาชั้นฟิล์มชีวภาพต่าง ๆ



รูปที่ 4.25 (ง) ค่าความเป็นสีแดงของภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ระดับความหนาชั้นเนื้อฟันต่าง ๆ

ทั้งนี้จากการทดลองที่ผ่านมาของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนาต่าง ๆ ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองภาพถ่ายเรืองแสงเป็นดังรูปที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

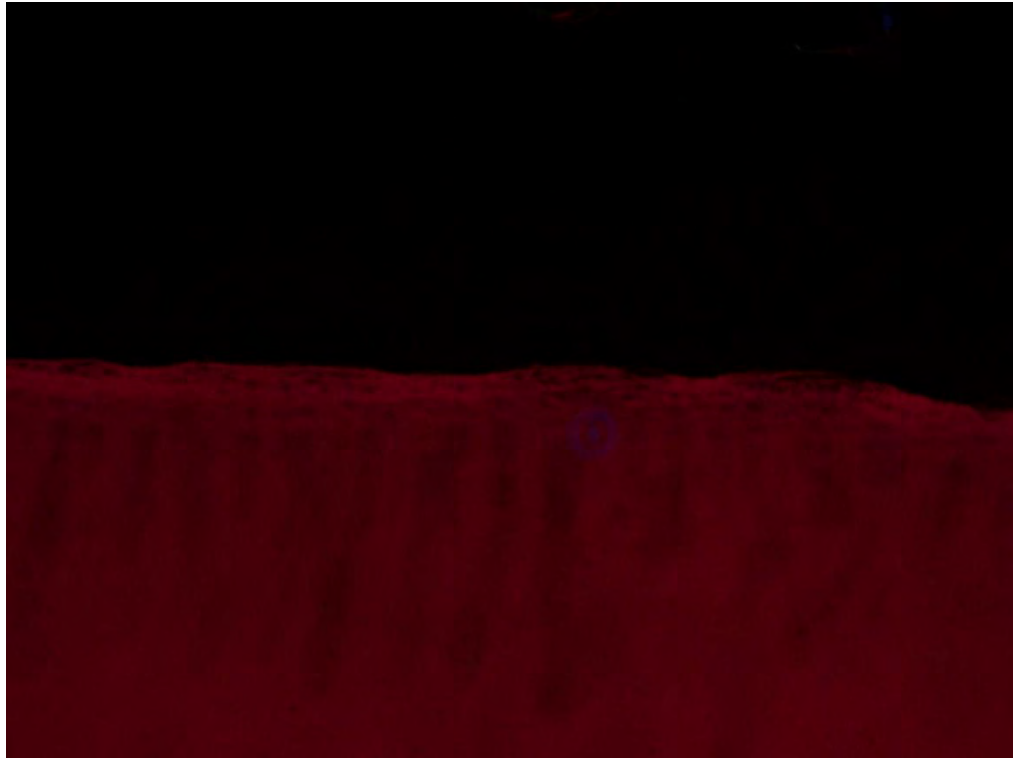


รูปที่ 4.26 (ก) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 0.33

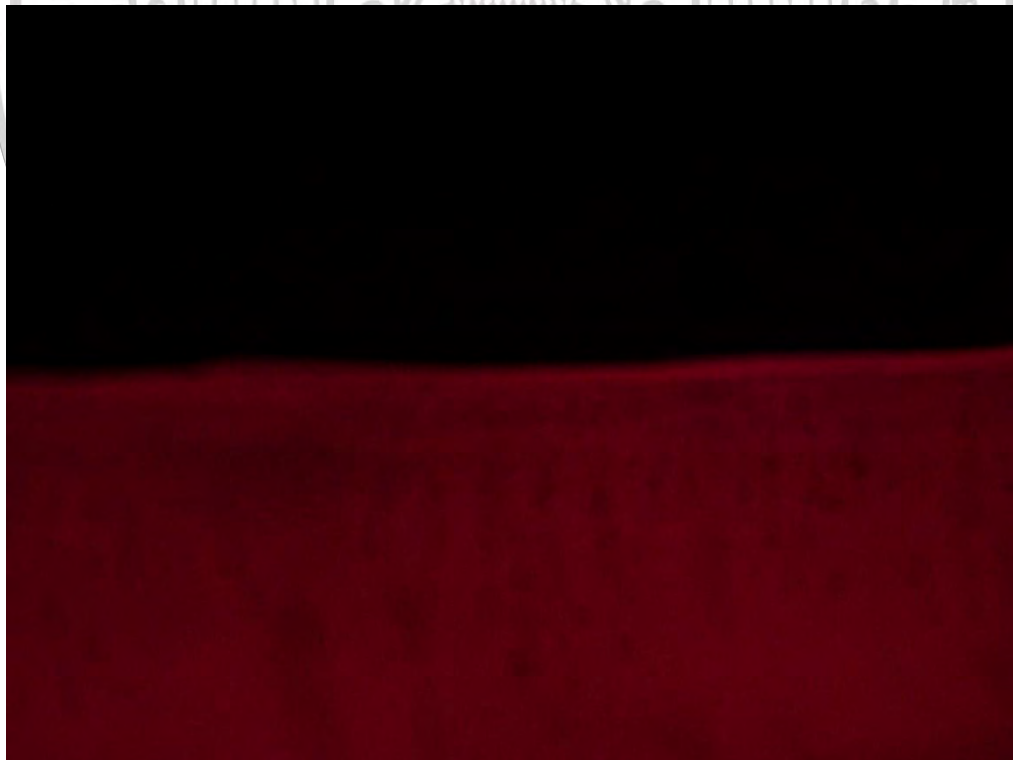


รูปที่ 4.26 (ข) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 (ค) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นที่มีความหนา 1.00 : 1.00

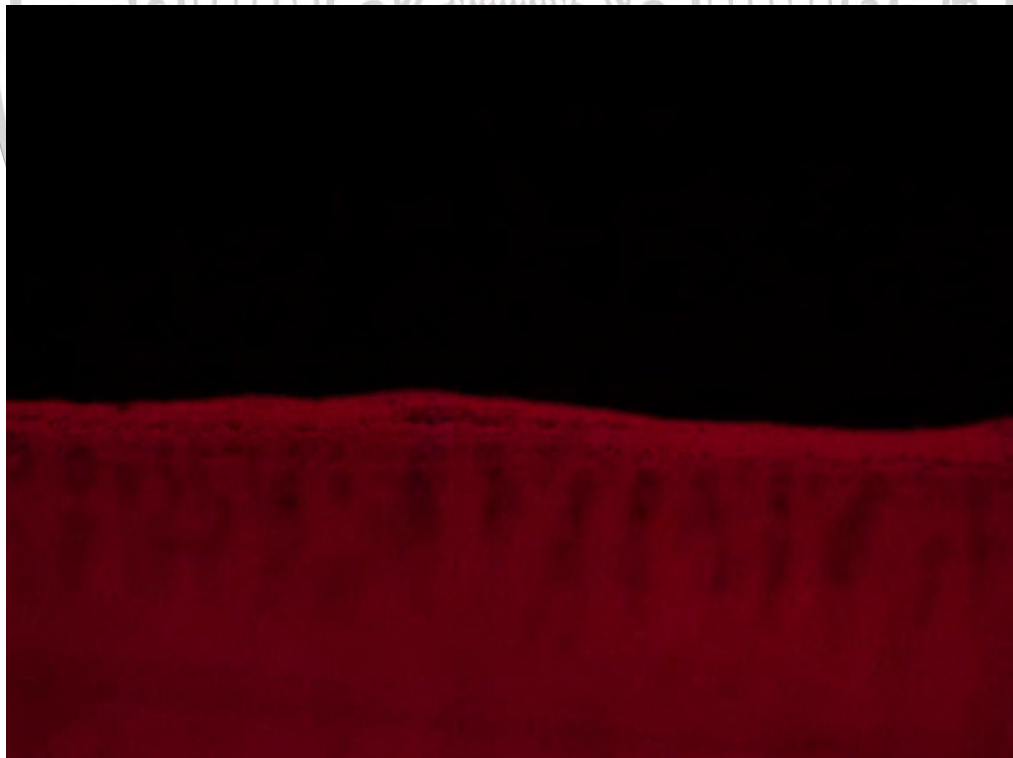


รูปที่ 4.26 (ง) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบพื้นที่มีความหนา 1.00 : 1.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 (จ) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 3.00



รูปที่ 4.26 (ข) ภาพถ่ายเรืองแสงของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนา 1.00 : 7.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สรุปความสัมพันธ์ของการศึกษาการทดลองในงานวิจัย

1) ความสัมพันธ์ของผลการทดลอง

จากการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมาในรูปแบบของสารละลายพบว่า Zn(II) เป็นตัวแปรสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพทางแสงของ PPIX อย่างเห็นได้ชัดเจน โดยการเติม Zn(II) ที่ความเข้มข้น 0.0256 μM เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพทางแสงของ 2.5 μM PPIX มากที่สุด เมื่อนำมาพิจารณาในส่วนของการทดลองซึ่งจะเห็นได้ว่า ณ ความเข้มข้น Zn(II) เดียวกันนั้นมีความเหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพทางแสงของ PPIX แต่เนื่องจากผลของ β -TCP ที่ไม่มีสมบัติการเปล่งแสงจึงทำให้ประสิทธิภาพลดลงน้อยกว่าสารละลายแต่ยังคงเป็นลำดับการเพิ่ม (Enhancement) ในช่วง Zn(II) = [0.0064 - 0.0128] μM และลด (Quenching) ในช่วง [0.0513 - 0.2050] μM ประสิทธิภาพทางแสงเช่นเดียวกับสารละลาย ในทำนองเดียวกันการทดลองความแตกต่างของสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันนี้ ยังให้ผลในทิศทางเดียวกันอีกด้วย

ทั้งนี้ เมื่อการทดลองที่ผ่านมาได้ยืนยันความเหมาะสมของการใช้ Zn(II) กับ PPIX ทั้งในรูปแบบของสารละลายและรูปของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน โดยที่ความเข้มข้น 0.0256 μM Zn(II) เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพ 2.5 μM PPIX การทดลองในตอนต่อไปคือการหาประสิทธิภาพทางแสงที่ระดับชั้นความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพต่าง ๆ เพื่อเป็นค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบระดับของการผุหรือการเสียหายของฟันเนื่องจากแบคทีเรีย โดยสามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบระดับความเสียหายของฟัน

Enamel model detail			Level of enamel model	
Enamel	Biofilm	Ratio of Enamel : Biofilm	%Loss of enamel model	Level
2.00	-	-	0.0	Good
1.50	0.50	1.00 : 0.33	25.0	Fair
1.25	0.75	1.00 : 0.60	37.5	Poor
1.00	1.00	1.00 : 1.00	50.0	
0.75	1.25	1.00 : 1.67	62.5	Questionable
0.50	1.50	1.00 : 3.00	75.0	
0.25	1.75	1.00 : 7.00	87.5	Hopeless

ระดับการสูญเสียฟัน

1. Good ระดับฟันปกติหรือฟันที่ดี ไม่มีการสูญเสียฟันในระดับนี้หรือร้อยละการสูญเสียเป็น 0 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Fair ระดับเริ่มต้นของการสูญเสียหรือมีการสูญเสียพื้นที่ร้อยละ 25.0 โดยในระดับจะไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า
3. Poor ระดับที่มีการสูญเสียของฟันประมาณหนึ่งหรือร้อยละ 25.0 – 50.0 โดยในระดับจะเริ่มสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า
4. Questionable ระดับที่มีการสูญเสียฟันค่อนข้างมากหรือร้อยละ 50 – 75 โดยในระดับจะสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน
5. Hopeless ระดับที่ฟันมีการสูญเสียฟันมากที่สุดหรือร้อยละ 75 ขึ้นไป โดยในระดับจะสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน ในระดับนี้หรือขั้นวิกฤติทางทันตกรรม

จากผลการทดลองจะพบว่า การทดลองแบบจำลองชั้นเคลือบฟันที่ความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพแตกต่างกันนั้น ครอบคลุมระดับของการสูญเสียฟันทั้ง 5 ระดับ เมื่อพิจารณาที่ระดับความเสียหายหรือการสูญเสียของฟันเนื่องจากแบคทีเรีย 5 ระดับ ได้แก่ Good, Fair, Poor, Questionable และ Hopeless ได้ผลดังตารางที่ 4.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบค่าของระดับการสูญเสียฟันในระดับต่าง ๆ

Level		Fluorescence Major peak		Fluorescence Minor peak		Integrated fluorescence	Quantum yield	Color analysis		Fluorescence Imaging	
% Loss	Level	Intensity	λ	Intensity	λ			ΔE	Δa	Contrast	Redness
25.0	Fair	65.1124 ±1.2077	626.38	31.0191 ±1.2455	666.95	4317.7401 ±10.0034	0.1216 ±0.0004	14.3321 ±0.0155	7.6152 ±0.0157	19.3110 ±0.3040	21.8490
37.5	Poor	70.1124 ±1.1973	626.95	36.0201 ±1.5349	666.39	4974.9502 ±9.4375	0.1398 ±0.0003	14.5521 ±0.0246	8.2998 ±0.0242	26.2688 ±0.4792	30.0790
50.0		74.6443 ±1.2895	626.38	42.1664 ±1.6349	666.39	5771.8799 ±11.1373	0.1561 ±0.0032	15.0022 ±0.0112	8.6954 ±0.0121	28.9157 ±0.5065	35.8660
62.5	Questionable	80.1653 ±1.2349	626.23	45.5585 ±1.0623	666.08	6496.8495 ±11.1877	0.1815 ±0.0004	15.5399 ±0.0273	9.4099 ±0.0274	35.9940 ±0.0965	40.5090
75.0		85.1772 ±1.6429	626.38	51.1533 ±1.2356	666.39	7274.7407 ±10.4531	0.2026 ±0.0004	15.8711 ±0.0121	9.7170 ±0.0122	40.1272 ±0.3296	45.7150
87.5	Hopeless	90.1762 ±1.9884	626.38	31.0191 ±1.2455	666.39	4317.7401 ±10.0034	0.2244 ±0.0003	16.2216 ±0.0324	10.2464 ±0.0324	44.6970 ±0.3545	49.8380

**ข้อมูลผลการทดลองจากการทดลองในหัวข้อที่ 4.3

จากข้อมูลตามตารางที่ 4.16 จะพบว่า ที่ระดับการสูญเสียฟันที่น้อยจะให้ค่าการเปล่งแสงที่ต่ำกว่าระดับการสูญเสียมาก หรือมีความชัดเจนของสีน้อยกว่านั่นเอง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยากในการแยกความแตกต่าง งานวิจัยนี้ทดลองเพิ่มประสิทธิภาพความชัดเจนและหาค่าเพื่อเปรียบเทียบเป็นค่ามาตรฐานในการตรวจสอบระดับของการสูญเสียฟันนี้ ซึ่งมีทั้งค่าเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพได้แก่ค่าการเปล่งแสงทั้งสองย่านของแบคทีเรีย ควอนตัมยิวต์ ความแตกต่างของสี และภาพถ่ายเรืองแสง

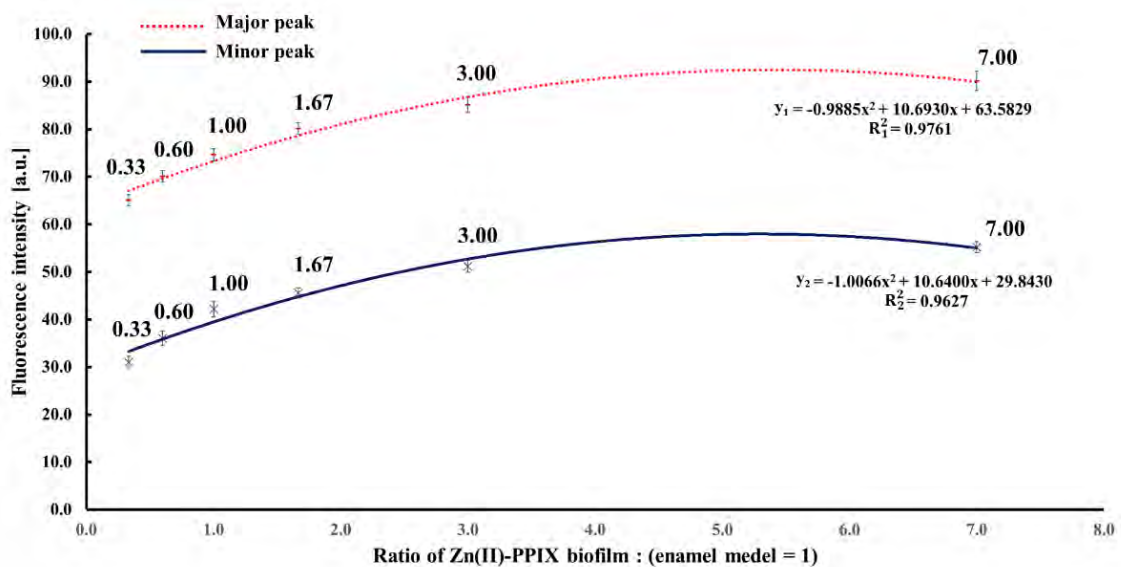
เราสามารถตรวจสอบการสูญเสียฟันเนื่องจากแบคทีเรีย ที่ระดับร้อยละ 25 ขึ้นไป ซึ่งในช่วงนี้เองเป็นช่วงที่สังเกตด้วยตาเปล่าได้ยาก นี่คือการหนึ่งนวัตกรรมที่ใช้ความรู้ทางด้านฟิสิกส์ทางการแพทย์ ฟิสิกส์ประยุกต์ แสงและเทคโนโลยีทางแสง ตลอดจนนาโนวัสดุมาใช้ในการพัฒนางานทางด้านทันตกรรมเกี่ยวกับการตรวจสอบการสูญเสียฟันเนื่องจากแบคทีเรียที่ระดับเริ่มต้นของการสูญเสียโดย Zn(II) ที่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งสังเคราะห์ได้จาก ZnO NPs มาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพให้เกิดความชัดเจนของการตรวจสอบร่องรอยการสูญเสียฟันได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม ในการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองโดยการสร้างแบบจำลองขึ้นมา อาจจะมีผลของเนื้อฟันที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์อื่น ๆ ทางแสงได้อีก ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดในงานทางทันตกรรมกับมนุษย์ เนื่องจากในปริมาณ ZnO ที่เกิน 0.15 – 3.06 mM และ HCl ที่ใส่ลงไปปริมาณที่ไม่ส่งผลเสียต่อเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ตลอดจนมีการควบคุมปริมาณ pH ให้เท่ากับช่องปากซึ่งไม่ส่งผลให้เกิดการสูญเสียฟันและไม่ทำลายเนื้อเยื่อภายในช่องปากอีกด้วย

2) ขีดจำกัดของการทดลอง (Limit of detector)

สมการกำลังสองที่ไม่เป็นเชิงเส้นของฟิต (y_1) และฟิตเล็ก (y_2) ของการเรืองแสงขึ้นงานทดสอบประมาณ $y_1 = -10.6930x + 63.5829$ และ $y_2 = -10.6400 + 29.8430$ ตามลำดับ โดย x คืออัตราส่วน ฟิล์มชีวภาพ Zn(II)-PPIX : ความหนาของเคลือบฟันแทนค่าคงที่ความไม่แน่นอน ($k=3$) ความชัน ($a=10.6930$ สำหรับ (y_1) และ 10.6400 สำหรับ (y_2)) SD (1.4268 สำหรับ (y_1) และ 1.3125 สำหรับ (y_2)) $n=3$ และความละเอียด (0.01) ขีดจำกัดการตรวจจับสำหรับ y_1 และ y_2 คือ 0.2311 และ 0.2137 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.27) ดังนั้นค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดการตรวจจับใช้สำหรับพิจารณารอยโรคฟันผุที่มีความลึกไม่เกิน 0.25 mm เหนือ 1.75 mm ของแบบจำลองเคลือบฟัน (ความหนารวมของชิ้นงานทดสอบคงที่ที่ 2.00 mm) ชิ้นเคลือบฟันคงที่ที่ 2.00 mm ด้วยเหตุผลสองประการ ประการที่หนึ่ง ตามทฤษฎีเคโมพาราไซติกหรือการเกิดกรด (Chemo – Parasitic theory, Acidogenic theory or Miller’s theory) ฟันผุเกิดจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหารของเชื้อแบคทีเรียภายในช่องปาก ทำให้แร่ธาตุหลุดออกจากผิวฟัน โดยการละลายของชิ้นเคลือบฟันจะเปราะเป็นรู ซึ่งมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่ประมาณ 4% ตามทฤษฎีโปรติโอไลซิส (Proteolytic theory) เริ่มแรกของการทำลายชิ้นฟันจะสลายสารอินทรีย์ก่อนโดยเอนไซม์โปรติโอไลติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Proteolytic enzyme) ทำให้เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์นั้นคือ PPIX และการปรับสภาพหลังการแยกของส่วนประกอบ β -TCP บริเวณข้อบกพร่องของโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น รอยแตก จะอุดมไปด้วยสารอินทรีย์สามารถช่วยให้ PPIX แทรกซึมเข้าไปในส่วนลึกของเคลือบฟันได้ ประการที่สองเนื่องจากอัตราการเรืองแสงที่ขึ้นฟิล์มชีวภาพมากกว่า 95% ของค่าบนพื้นผิวเคลือบฟันที่ระดับความลึก 1-2 mm แสงที่ถูกกระตุ้นสามารถเข้าไปในพื้นที่ของแบบจำลองเคลือบฟันได้อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่แสงปล่อยออกมาสามารถตรวจจับการเรืองแสงบริเวณพื้นผิวเคลือบฟันได้ อย่างไรก็ตามโฟตอนจะถูกดูดกลืนเกือบทั้งหมดที่ระดับความลึก 3-7 mm หลังดูดกลืนแสงแล้ว ทำให้โฟตอนของ PPIX fluorophore เรืองแสงและแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอและหลายทิศทาง โดย PPIX ปล่อยโฟตอนเรืองแสงมากขึ้นตามความลึกที่กำหนดในเคลือบฟัน การกระจายแบบกระจายแสงเป็นพารามิเตอร์หลักทางแสงในการพิจารณาการแพร่กระจายของแสงและการกระจายแสงในเคลือบฟัน (ความหนา=1-2mm) และเนื้อฟัน(ความหนา=3-7mm) ตามสัมประสิทธิ์การกระจายของ β -TCP ในการเคลือบฟัน ($\mu_s = 5-25 \text{ mm}^{-1}$) และท่อในเนื้อฟัน ($\mu_s = 100-140 \text{ mm}^{-1}$) ความหนาแน่นของโฟตอนในการกระจายแสงที่ถูกกระตุ้น (400nm) และหลังการเรืองแสงภายใน (630-660nm) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในบริเวณที่ผุร่อนอย่างกว้างขวางด้วยความลึกที่เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การกระจายจากเคลือบฟันไปเนื้อฟัน ดังนั้นการทดสอบนี้อาจจะล้มเหลวที่ความลึกมากกว่า 2 mm ส่วนหนึ่งเนื่องจากการสูญเสียสัญญาณการเรืองแสงข้างต้น โดยประสิทธิภาพการทำงานอาจเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มมากกว่า



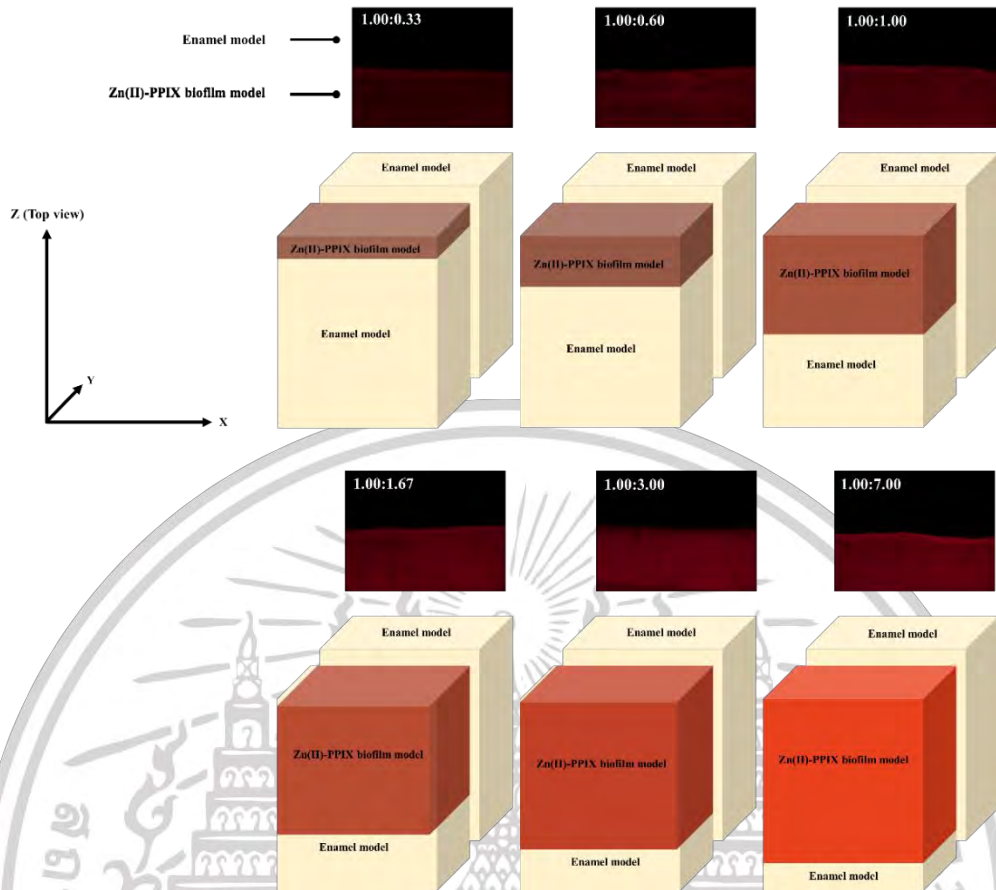
รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบการเปล่งแสงของ Major และ Minor peak (enamel = 1.00)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีการทดสอบผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการย่อยสลายด้วยแสง Zn(II)-PPIX มี การตรวจสอบแล้วว่าการสูญเสียสัญญาณทั้งหมดจากการสลายตัวของแสงในช่วงเวลา (10-500 ms, ขึ้นตอน 10 ms) ความเสถียรของแสงในการตอบสนองของ Zn(II)-PPIX จะต่ำกว่า 10% ในทุกกรณี สมมติว่าระยะเวลาการวัดจริง (เมื่อ Zn(II)สัมผัสกับแบบจำลองฟิล์มเคลือบชีวภาพ PPIX) ไม่ จำเป็นต้องเกิน 1 วินาทีเพื่อที่จะได้สัญญาณการเรืองแสงที่เพียงพอ ดังนั้นการสลายตัวของแสงจึงไม่ ควรเป็นปัจจัยที่จำกัด แม้ว่าจะมีการพิจารณาการรับแสงซ้ำๆ

3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ภาพถ่ายเรืองแสง

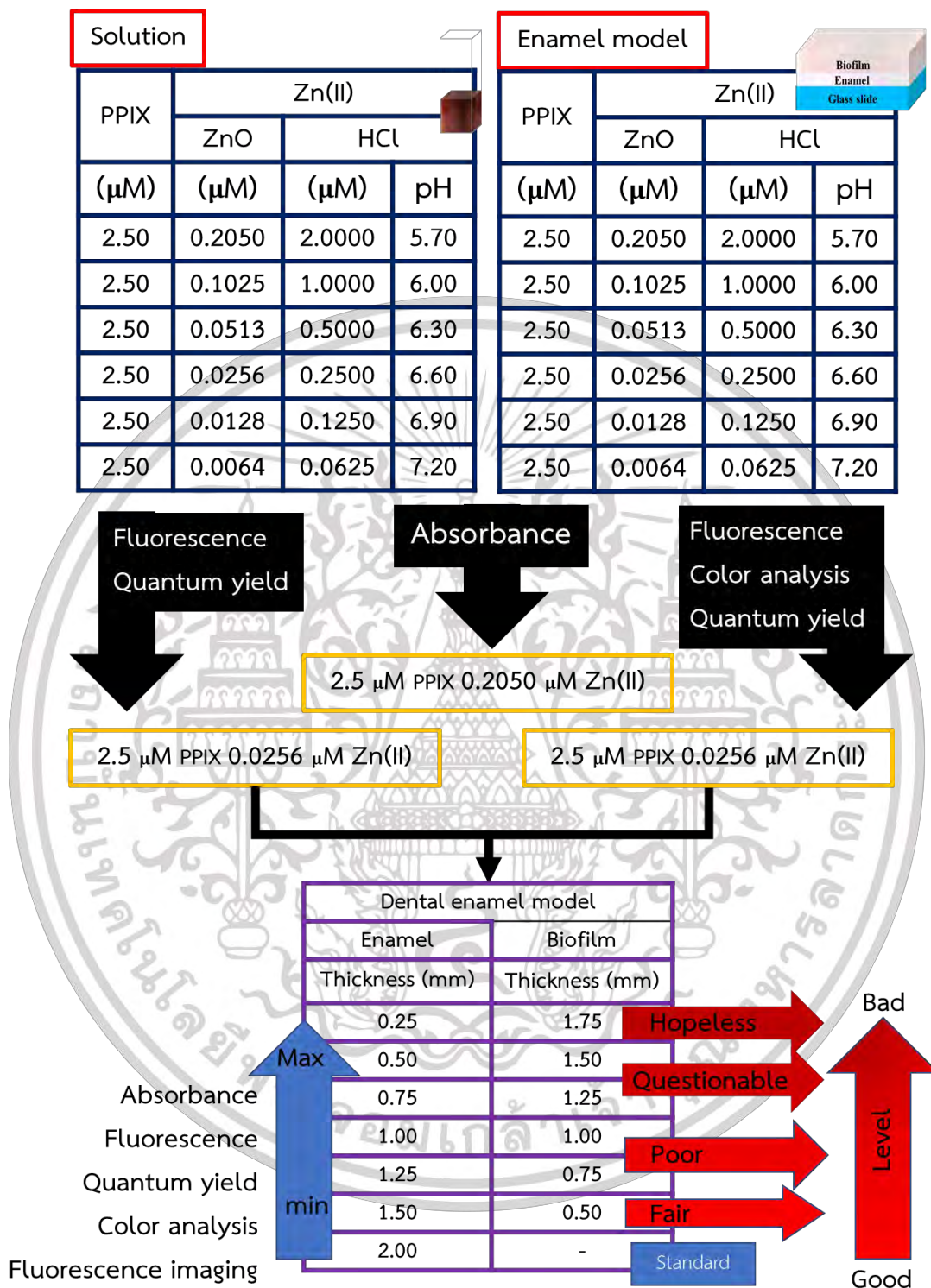
การกระตุ้นด้วย UV (ดังรูปที่ 2.28) ที่มีความสัมพันธ์กับการกระจายตัวของ Zn(II)-PPIX ใน พื้นที่ฉายรังสี UV ของฟิล์มชีวภาพ Zn(II)-PPIX + แบบจำลองเคลือบฟัน ในชั้นเคลือบฟันของมนุษย์ 1-2 mm เป็นไปได้ว่าการใช้สารละลาย Zn(II) จากภายนอก $0.0256 \mu\text{M}$ กับทันตกรรมของมนุษย์ จะทำให้เกิดความเข้มของการเรืองแสงเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพเรืองแสง Zn(II) อาจช่วยเพิ่มความ สะดวกในการแพร่ PPIX และการสะสมแบบเลือกเข้าสู่แบบจำลองเคลือบฟันต่อได้ Stokes shift (30nm) ของฟิล์มชีวภาพ Zn(II)-PPIX+แบบจำลองเคลือบฟัน เป็นข้อได้เปรียบที่ดีสำหรับการ ถ่ายภาพเรืองแสงเนื่องจาก Stokes shift ขนาดเล็กทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดเล็กน้อย เนื่องจากสัญญาณรบกวนจากการกระตุ้นและแสงที่กระจัดกระจายเนื่องจากแบบจำลองฟิล์มชีวภาพ Zn(II)-PPIX+แบบจำลองเคลือบฟันเปล่งแสงที่ความยาวคลื่นค่อนข้างยาวทำให้ทับซ้อนกัน ซึ่งเกิดจาก การดูดกลืนแสงและการเรืองแสงของโมเลกุล PPIX จะลดลง แต่สารเชิงซ้อน Zn(II)-PPIX เพิ่มขึ้น การทดลองนี้จะปรับปรุงระดับความแปรผันของสี (ΔE^*) สัมพันธ์กับความคมชัดของภาพเรืองแสง ยิ่ง ความคมชัดของภาพเกิดจากฟิล์มชีวภาพ Zn(II)-PPIX+แบบจำลองเคลือบฟันก็จะได้รับข้อมูลที่ ละเอียดยิ่งขึ้นเกี่ยวกับการแยกโครงสร้างตัวอย่างที่แตกต่างกันระหว่างแบบจำลองเคลือบฟัน (ซึ่งมี ค่าที่แน่นอน) และฟิล์มชีวภาพ Zn(II)-PPIX+แบบจำลองเคลือบฟัน



รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ภาพถ่ายกับระดับการสูญเสียฟันของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ภาพรวมของการทดลอง



รูปที่ 4.29 ผลการทดลองภาพรวมของงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ฟัน เป็นอวัยวะในช่องปากที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต และมักพบปัญหาสุขภาพในช่องปากที่ร้ายแรงต่อฟัน คือโรคฟันผุ (Caries) ซึ่งถูกอธิบายเป็นลักษณะของคราบจุลินทรีย์ (Biofilm) โดยแบคทีเรีย Streptococci Mutans ซึ่งมีคุณสมบัติออโตฟลูออเรสเซนส์ (Autofluorescence) ที่มีความยาวคลื่นแสงเฉพาะ เกิดจากฟลูออโรฟอร์ (Fluorophore) ของโพรโทพอร์ไฟริน-9 (Protoporphyrin IX หรือ PPIX) มีคุณสมบัติการดูดกลืนและการเปล่งแสง ในส่วนของทางทันตกรรมนำคุณสมบัติทางแสงมาใช้เพื่อระบุตำแหน่งของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคฟันผุ โดยจำลองการเกิดคราบจุลินทรีย์ เพื่อศึกษาคราบแบคทีเรียที่เกาะอยู่บริเวณผิวของฟัน ในโครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติทางแสงของโลหะไอออนที่แตกตัวจากอนุภาคนาโน เพื่อนำมาพัฒนาประสิทธิภาพการตรวจสอบตำแหน่งแบคทีเรียในช่องปากที่อยู่บริเวณผิวฟัน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองโดยแบ่งออกการทดลองเป็น 2 หัวข้อคือ **หัวข้อที่หนึ่ง** แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ **ส่วนที่หนึ่ง** การศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของสารละลายของ $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยการทดลองพบว่าคุณสมบัติของการเปล่งแสงและควอนตัมยิวต์ มีประสิทธิภาพทางแสงที่เปล่งออกมาในเชิงปริมาณที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ ส่วนที่เป็น Optimization หรือจุดที่มีประสิทธิภาพทางแสงค่าสูงสุดอยู่ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) ส่วนที่มีการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพทางแสงหรือ Enhancement (อยู่ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0064 - 0.0128 \mu\text{M}$ Zn(II)) และส่วนที่มีการลดลงของประสิทธิภาพทางแสง Quenching (อยู่ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0513 - 0.2050 \mu\text{M}$ Zn(II)) และ **ส่วนที่สอง** การศึกษาสมบัติทางแสงในรูปแบบของแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ การเปล่งแสงและควอนตัมยิวต์แบบจำลองชั้นเคลือบฟัน $2.5 \mu\text{M}$ PPIX และ Zn(II) ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าผลการทดลองทั้งสองมีตำแหน่ง Optimization ที่ตำแหน่งเดียวกันที่ ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) โดยมีตำแหน่ง หรือ Enhancement อยู่ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0064 - 0.0128 \mu\text{M}$ Zn(II) และตำแหน่ง Quenching อยู่ที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0513 - 0.2050 \mu\text{M}$ Zn(II) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองในรูปแบบสารละลาย ทั้งนี้เนื่องจากผลของ $\beta\text{-TCP}$ ที่ไม่มีสมบัติการเปล่งแสงจึงทำให้ประสิทธิภาพลดลงน้อยกว่าสารละลายแต่ยังคงเป็นลำดับประสิทธิภาพทางแสงเช่นเดียวกับสารละลาย ในทำนองเดียวกันการทดลองความแตกต่างของสีของแบบจำลองชั้นเคลือบฟันนี้ ยังให้ผล

ในทิศทางเดียวกันอีกด้วย **หัวข้อที่สอง** จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมา ได้รับการยืนยันจากการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองในความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0064 - 0.0128 \mu\text{M}$ Zn(II) ที่เหมาะสมที่สุด การศึกษาระดับชั้นความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพต่าง ๆ เพื่อเป็นค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบระดับของการผุหรือการเสียหายของฟันเนื่องจากแบคทีเรีย โดยสามารถจำแนกระดับความเสียหายหรือการสูญเสียของฟันเนื่องจากแบคทีเรีย 5 ระดับ ได้แก่ Good, Fair, Poor, Questionable และ Hopeless พบว่าที่ระดับการสูญเสียฟันที่น้อยจะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงและความอนตัมยิวต์ที่ต่ำกว่าระดับการสูญเสียมาก หรือมีความชัดเจนของสีน้อยกว่านั่นเอง รวมถึงความชัดของภาพถ่ายเรืองแสงที่จะเห็นได้ชัดเจนน้อยกว่าเช่นกัน

จากการทดลองในงานวิจัยนี้ เป็นนวัตกรรมใหม่ที่นำสารอินทรีมาเพิ่มประสิทธิภาพการเรืองแสงของสารอินทรีที่ความเข้มข้น $2.5 \mu\text{M}$ PPIX ผสมกับ $0.0256 \mu\text{M}$ Zn(II) และนอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบการสูญเสียฟันเนื่องจากแบคทีเรีย ที่ระดับต่าง ๆ โดยที่ระดับการสูญเสียฟันที่ต่ำที่สุดที่สามารถวัดได้อยู่ที่ร้อยละ 25 ขึ้นไป ซึ่งเป็นช่วงที่สังเกตด้วยตาเปล่าได้ยาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองขึ้นมา เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพความการเรืองแสง PPIX และภาพความแตกต่างของฟันที่พบและไม่พบแบคทีเรีย โดยอาศัยหลักการทางแสง ซึ่งในการทดลองผู้วิจัยได้พบปัญหาในการทดลองตลอดการวิเคราะห์ผลการทดลองต่าง ๆ ดังนี้

1. การทดลองนี้เป็นการสร้างแบบจำลองขึ้นมา ยังไม่ได้ใช้กับฟันของมนุษย์ ดังนั้นในงานนี้สามารถนำไปวิจัยในทางทันตกรรมมนุษย์ได้อีก
2. ในการวิเคราะห์การดูดกลืนจำเป็นต้องมีห้องที่สามารถปกปิดแสงจากภายนอกมากกว่าห้องที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้
3. การวัดการดูดกลืนและการเปล่งแสงบนตัวอย่าง อาจมีสิ่งแปลกปลอมที่เกิดจากสภาวะอากาศต่าง ๆ ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในการวิเคราะห์กราฟ
4. การถ่ายภาพต้องปรับระยะความชัดของภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีความชัดมากที่สุด
5. ในการวิเคราะห์ภาพจากโปรแกรม Image J จำเป็นต้องหาที่ตำแหน่งเดียวกันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์ต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน

อ้างอิง

- [1] Kurt, W.A. Friedrich, W.R. Nicola, M.T. 1998. **Dental Anthropology**. Vienna : Springer.
- [2] Richard, S.G. Christy, G.T.II. Grant, C.T. María, M.T. 2018. **The Anthropology of Modern Human Teeth**. Cambridge : Cambridge University Press.
- [3] Smith, T.M. Olejniczak, A.J. Reid, D.J. Ferrell, R.J. Hublin J.J. 2006. “Modern human molar enamel thickness and enamel-dentine junction shape” *Archives of Oral Biology*. 51 : 974-995.
- [4] ตีมา ไตรรัตน์วรกุล. 2554. **ทันตกรรมป้องกันในเด็กและวัยรุ่น**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] กระทรวงสาธารณสุข. 2555. **การสร้างเริ่มสุขภาพช่องปากประตู...สู่สุขภาพที่ดีในทุกช่วงวัยของชีวิต**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : สำนักงาน กิจการโรงพยาบาลองค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.
- [6] สุรเกียรติ อชานานภาพ. 2553. **หนังสือตำราการตรวจรักษาโรคทั่วไป 2**. กรุงเทพฯ : โฮลิสติก พับลิชชิ่ง.
- [7] Friedman, J.Y. 2011. “The Role of Streptococcus Mutans in the Formation of Dental Caries: An Ecological Perspective” *The Science Journal of the Lander College of Arts and Sciences*, 5 (1). 40-46.
- [8] Aas, J.A. Paster, B.J. Stokes, L.N. Olsen, I. Dewhirst, F.E. 2005. “Defining the Normal Bacterial Flora of the Oral Cavity.” *JOURNAL OF CLINICAL MICROBIOLOGY*, 43. 5721-5732.
- [9] Adhani, Widodo, B. Sukmana, I. and Suhartono E. 2015. “Effect pH on Demineralization Dental Erosion.” *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 6(2), 138-141.
- [10] Van der Veen, M.H. Thomas, R.Z. Huysmans, M.C.D.N.J.M. Fe Soet, J.J. 2006. “Red Autofluorescence of Dental Plaque Bacteria.” *Caries research*, 40, 542-545.
- [11] Yong-Keun, L. 2015. “Fluorescence properties of human teeth and dental calculus for clinical applications.” *Journal of Biomedical Optics*, 20(4), 040901-(1-7).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิง

- [12] Mualla, S.K. 2016. "Fluorescence and Dentistry." *Journal of Dental and Medical Sciences*, 15(3), 65-75.
- [13] Fyrestam, J. Bjurshammar, N. Paulsson, E. Johnansen, A. Qstman, C. 2015. "Determination of porphyrins in oral bacteria by liquid chromatography electrospray ionization tandem mass spectrometry" *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 407, 7013-7023.
- [14] Slimmani, A. Panayotov, I. Levallois, B. Cloitre, T. Gergely, C. Bec, N. Larroque, C. Tassery, H. Cuisinier, F. 2019. "Porphyrin involvement in red shift fluorescence in dentin decay" *Biophotonics : Photonics for better health care IV proceeding of SPIE*. 9129, 91291C-(1-8)
- [15] Rollakanti, K.R. Kanick, S.C. Davis, S.C. Pogue, B.W. and Maytin, E.V. 2013. "Techniques for fluorescence detection of protoporphyrin IX in skin cancers associated with photodynamic therapy" *Photonics & Lasers in Medicine*, 2(4), 287-303.
- [16] Uttamlal, M. Holmes-Smith AS. 2008. "The excitation wavelength dependent fluorescence of porphyrins." *Chemical Physics Letters*, 454:223-228.
- [17] National Center for Biotechnology Information. 2020. **PubChem Compound Summary for CID 4971, Protoporphyrin IX.** [online].
Available : <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Protoporphyrin-IX#section=InChI>
- [18] Rajiv, S. Santosh, S. Sugandha, S., editor. 2011. **Biofilm: A dental microbial infection.** *Journal of Natural Science, Biology and Medicine Maharashtra*, 2(1), 71-75.
- [19] ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2560. **คู่มือปฏิบัติการในคลินิก สาขาวิทยาเอ็นโดดอนต์.** เชียงใหม่ : คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [20] ฝ่ายทันตกรรม สถานพยาบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550. **คู่มือเทคนิคและวิธีการแก้ไขความผิดปกติที่พบบ่อยในการถ่ายภาพรังสีในช่องปาก.** กรุงเทพฯ : สถานพยาบาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิง

- [21] ภาควิชาทันตกรรมครอบคร้วและชุมชน สาขาวิชาทันตกรรมทั่วไป คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2561. **คู่มือและแนวทางการให้การรักษาผู้ป่วยทันตกรรมพร้อมมูล สำหรับนักศึกษาทันตแพทย์ ชั้นปีที่ 6**. เชียงใหม่ : คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [22] Edward, B. Yelena, B. and Mark, F. 2019. “Formation of Hierarchical Porous Films with Breath-Figures Self-Assembly Performed on Oil-Lubricated Substrates”. *Materials*, 12(3051) : 1-13.
- [23] Sigma-Aldrich. 2006. Safety data sheet (Poly (methyl methacrylate). USA.
- [24] Enax, J. and Epple, M. 2018. “Synthetic hydroxyapatite as a biomimetic oral care agent,” *Oral Health Prev. Dent.* 16(1), 7–19
- [25] JabrS, A.S. AhmedA, M. FadhelA, A.S., editor. 2013. **Application of Calcium Phosphate Materials in Dentistry** *International Journal of Biomaterial*, 1-12.
- [26] Takatoshi, M. Yuki, F. Anton, R. and Hideo, M. 2002. “Effect of 0.7% Zinc Chloride Mouthwash on Oral Malodor” *THE JOURNAL OF DENTAL HEALTH.* 52(3) : 190-195.
- [27] IRIS. 2005. **TOXICOLOGICAL REVIEW OF ZINC AND COMPOUNDS.** U.S. Environmental Protection Agency Washington D.C. USA
- [28] Laura, M. Plum, L.R. and Hajo, H. 2010. “The Essential Toxin: Impact of Zinc on Human Health” *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 7 : 1342-1365.
- [29] Ibrahim, K. Khalid, S. Idrees, K., editor. 2017. **Nanoparticles: Properties, applications and Toxicities.** *Arabian Journal of Chemistry*, Elsevier. 1-24.
- [30] Vandebriel, R.J. Wim, H.D.J., editor. 2012. **A review of mammalian toxicity of ZnO Nanoparticles.** *Nanotechnology, Science and Applications*, 61-71
- [31] Devashri, S. Kannan, G.M. Vijayaraghavan, R. Anand, T. and Khanum, F. 2013. Nanosized Zinc oxide induces toxicity in human lung cells. *ISRN Toxicology.* 1-8.

อ้างอิง

- [32] Zhen, S. Timothy, A.K. Washington, H.S. Michael, S.R. Jaro, R. Martin, F. and Andrei, V.Z. 2011. "Characterization of optical properties of ZnO nanoparticles for quantitative imaging of transdermal transport" *Biomedical optics express*. 156151. 3321-3333.\
- [33] Kahouli, M. Barhoumi, A. Bouzid, A. Al-Hajry, A. Guerhazi, S. 2015. "Structure and optical properties of ZnO nanoparticles prepared by direct precipitation method." *Superlattices and Microstructures*. 0749-6036. 8-22.
- [34] Materials Innocvatoin center. UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETER. [online]. 25 สิงหาคม 2562. Available : http://www.mic.eng.ku.ac.th/facilitiesdetail.php?id_sub=41&id=46
- [35] Jobin Yvon Ltd. A Guide to Recording Fluorescence Quantum Yields [online]. 25 สิงหาคม 2562.
Available : <https://www.chem.uci.edu/~dmitryf/manuals/Fundamentals/Quantum%20yield%20determination.pdf>
- [36] Jaraspankul N. "In Vitro Effectiveness of Rice Gel as Bleaching Carrier on Color Alteration of Human Tooth", *CM Dent J*, Vol. 39, No. 3, 2018.
- [37] ระบบสี. [online]. 22 สิงหาคม 2562.
Available : <https://sites.google.com/site/pongnuntipisek/3-rabb-si>
- [38] RGB Color สืบจากการผสมแม่สี. [online]. 22 มีนาคม 2561.
Available : <https://chanto.io/2018/07/why-hsl-color-design-programing/>
- [39] J. W. Moore, et al, 2008. Covalent Bonding. In David Hares (Editor), "Chemistry : The Molecular Science, 3rd Edition." Belmont, California : Thomson Higher Education.
- [40] Zühre, A. editor. 2018. "Dental Caries : Diagnosis, Prevention and Management." London, United kingdom : Intech Open book.
- [41] Nikolay, B. Anton, N. editor. 2018. "Photon Counting : Fundamentals and Applications." London, United kingdom : Intech Open book.
- [42] Efka, Z.B. editor. 2021. "Dental Caries." London, United kingdom : Intech Open book.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิง

- [43] Sadik, D. Melis, O.S. Afet, A. editor. 2020 “Bacterial Biofilms.” London, United kingdom : Intech Open book.
- [44] Sonia, B.B. editor. 2018 “Oral Microbiology in Periodontitis” London, United kingdom : Intech Open book.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การคำนวณการเตรียม PPIX

ในการเตรียมสารละลาย Protoporphyrin-IX (PPIX) ให้ได้ความเข้มข้น $10 \mu\text{M}$ มีวิธีการคำนวณความเข้มข้น ดังต่อไปนี้

1.1 เตรียมสารละลาย PPIX ที่ความเข้มข้น 1.0 mM PPIX เพื่อใช้เป็น Stock

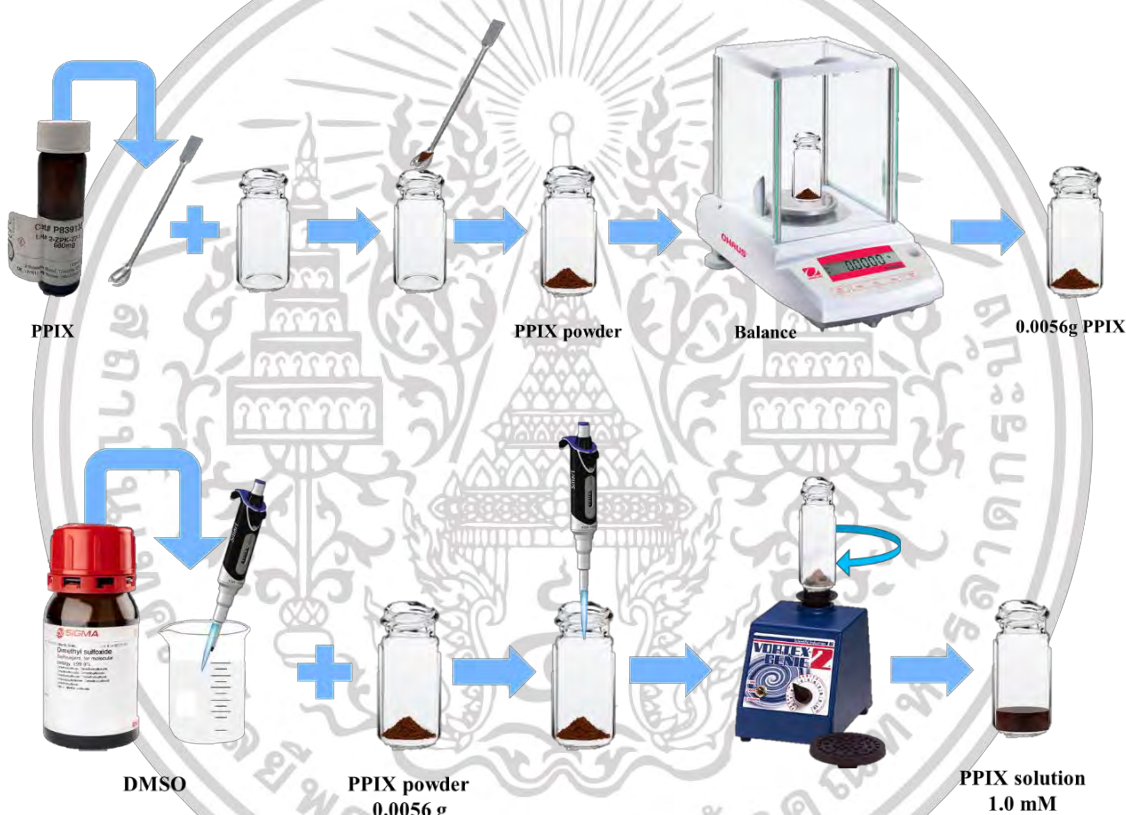
จากสมการ $n = g/Mw = CV$

จะได้ว่า $g/Mw = CV$

ดังนั้น $g = (CV) \times Mw$

$$g = (1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L})(1.0 \times 10^{-3} \text{ L}) \times 562 \text{ g/mol} = 0.562 \text{ mg}$$

ใช้ 0.562 mg PPIX ละลายในสารละลาย 1.0 mL



1.2 การเจือจางสารละลาย PPIX ให้เหลือความเข้มข้นที่ $10 \mu\text{M}$ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) เจือจางจากความเข้มข้น 1.0 mM ให้เหลือ $100 \mu\text{M}$ PPIX

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(1.0\text{mM})(V_1) = (100 \mu\text{M})(10\text{mL})$

$$V_1 = (100 \mu\text{M})(10\text{mL}) / (1.0\text{mM}) = 1.0 \text{ mL}$$

ใช้ 1mM PPIX ปริมาณ 1.0 mL ละลายในสารละลาย 9.0 mL DCM

- 2) เจือจางจากความเข้มข้น $100 \mu\text{M}$ ให้เหลือ $10 \mu\text{M}$ PPIX

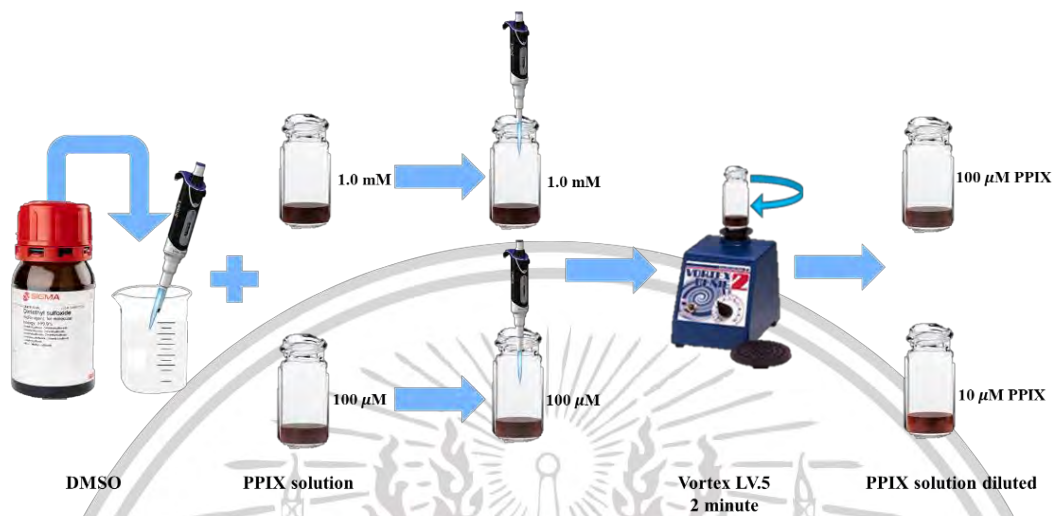
จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดังนั้น} \quad (100 \mu\text{M})(V_1) = (10 \mu\text{M})(10\text{mL})$$

$$V_1 = (10 \mu\text{M})(10\text{mL}) / (100 \mu\text{M}) = 1.0 \text{ mL}$$

ใช้ 100 μM PPIX ปริมาณ 1.0 mL ละลายในสารละลาย 9.0 mL DCM



2. การคำนวณการเตรียม Zn(II)

การเตรียม Zn(II) ซึ่งสามารถเตรียมได้จาก ZnO นำไปละลายใน HCl ซึ่งในการเตรียมจะต้องระวังเรื่องของปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมและค่า pH ที่เหมาะสมต่อช่องปาก โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 การคำนวณความเข้มข้นของ HCl

กรดไฮโดรคลอริก ในการทดลองนี้ใช้ที่ 37% ซึ่งคุณสมบัติมีความหนาแน่น 1.19 g/mL มีมวลโมเลกุลอยู่ที่ 36.46 g/mol โดยสามารถคำนวณความเข้มข้นได้ดังต่อไปนี้

1) หาจำนวนมวลของ HCl ใน 37%

$$\text{จากสมการ} \quad \%w/w = \%mass = m_{\text{solute}} / m_{\text{solvent}}$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad \%mass = m_{\text{solute}} / m_{\text{solvent}}$$

$$37\% = (m_{\text{solute}} / 100) \times 100$$

$$m_{\text{solute}} = 37\text{g}$$

ดังนั้น 37% HCl นั่นคือ ในสารละลาย 100g มี HCl 37g

2) หาความเข้มข้นของ 37% HCl

$$\text{จากสมการ} \quad n = g/Mw = CV ; g = m$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad g/Mw = CV$$

$$g/(Mw \times V) = C$$

$$\text{จาก } \rho = m/V$$

$$g/(Mw \times m/\rho) = C$$

$$g = m_{\text{solute}} \text{ และ } m = \text{มวลรวม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = 37 / (36.46 \text{g/mol} \times 100 \text{g} \times (1/1.19)) = 12 \text{ M}$$

ดังนั้น ที่ 37% HCl มีความเข้มข้นของ HCl อยู่ที่ 12 M

- 3) การคำนวณค่า pH ของสารละลายกรดแก่สามารถหาได้โดยตรงเนื่องจาก ความเข้มข้นของกรดแก่เท่ากับความเข้มข้นของ H_3O^+

จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}]$

$$\text{pH} = -\log[12] = -1.08$$

ดังนั้น ที่ความเข้มข้น 12M มีความเป็นกรดแก่มาก ซึ่งมี pH เท่ากับ -1.08

2.2 การคำนวณความเข้มข้นของ 50% ZnO

กรดไฮโดรคลอริก ในการทดลองนี้ใช้ที่ 37% ซึ่งคุณสมบัติมีความหนาแน่น 1.19 g/mL มีมวลโมเลกุลอยู่ที่ 36.46 g/mol โดยสามารถคำนวณความเข้มข้นได้ดังต่อไปนี้

- 1) หาจำนวนมวลของ ZnO ใน 50%

จากสมการ $\%w/w = \%mass = m_{\text{solute}} / m_{\text{solvent}}$

จะได้ว่า $\%mass = m_{\text{solute}} / m_{\text{solvent}}$

$$50\% = (m_{\text{solute}} / 100) \times 100$$

$$m_{\text{solute}} = 50 \text{g}$$

ดังนั้น 50% ZnO นั่นคือ ในสารละลาย 100g มี ZnO 50g

- 2) หาความเข้มข้นของ 50% ZnO

จากสมการ $n = g/Mw = CV ; g = m$

จะได้ว่า $g/Mw = CV$

$$g/(Mw \times V) = C$$

จาก $\rho = m/V$

$$g/(Mw \times m/\rho) = C$$

$g = m_{\text{solute}}$ และ $m = \text{มวลรวม}$

$$C = 50 / (81.39 \text{g/mol} \times 100 \text{g} \times (1/1.7)) = 10.4435 \text{ M}$$

ดังนั้น ที่ 50% ZnO มีความเข้มข้นของ ZnO อยู่ที่ 10.4435 M

2.3 การคำนวณความเหมาะสมของความเข้มข้นระหว่าง HCl และ ZnO stock

ในการละลายอนุภาคของ ZnO ให้แตกตัวเป็นไอออน จำเป็นต้องใช้กรดในการละลาย โดยในงานวิจัยนี้ใช้ HCl เป็นตัวทำละลายซึ่งต้องคำนึงถึงปริมาณความเหมาะสมของความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิดนี้จากสมการเคมี



จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนโมลในสมการ ZnO : HCl เป็น 1:2

การทดลองควรคำนึงถึง เนื่องจากสมการข้างต้น ZnO ในรูปของแข็ง ในงานวิจัยนี้ใช้ ZnO

ใน DI ดังนั้นการผสมส่งผลให้ความเข้มข้นของกรด HCl ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของ ZnO(s) : HCl = 1 : 2

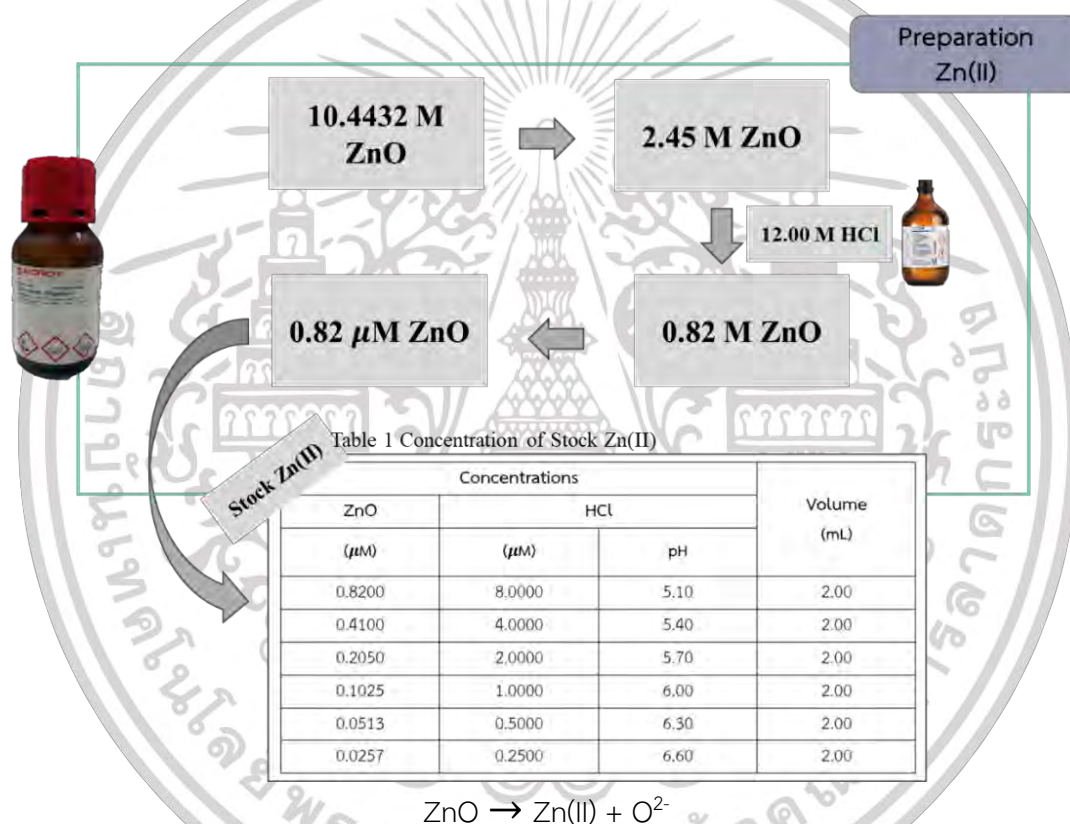
ความเข้มข้นของ ZnO(l) : HCl = 1 : 4

เนื่องจากการเจือจาง 1:1 ความเข้มข้นลดลงครึ่งหนึ่งของเดิม

ความเข้มข้นทางทฤษฎี ZnO(l) : HCl = 10.4432 : 48

5 : 24 = 2.61 : 12

จากความเข้มข้นที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎี ความเข้มข้นของ ZnO ใน DI ควรใช้ที่ 2.61M แต่เมื่อทำการทดลองเพื่อละลาย ZnO พบว่าที่ความเข้มข้น 2.45 ZnO แยกตัวให้ Zn(II) หมดพอดี โดยการสังเกตจากตะกอนของอนุภาค ZnO ที่ตกตะกอนในสารละลายหลังเติม 12 M HCl ดังนั้นความเข้มข้นที่ 2.45 M ZnO ใน DI ละลายใน 12 M HCl



เนื่องจากในอัตราส่วนของ ZnO และ Zn(II) 1:1 ดังนั้นสามารถคำนวณความเข้มข้นของ Zn(II) เท่ากับ ZnO ได้เลย

เมื่อได้ความเข้มข้นในอัตราส่วนตามที่คำนวณแล้ว ทำการละลาย ZnO ด้วย HCl ให้ได้ความเข้มข้น 0.82 μM โดยทำได้ดังนี้

- 1) เจือจาง 2.45 M ให้เหลือ 0.82 M ZnO โดยกรด HCl

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(2.45 \text{ M})(V_1) = (0.82 \text{ M})(5\text{mL})$

$V_1 = (0.82 \text{ M})(5\text{mL}) / (2.45 \text{ M}) = 1.67 \text{ mL}$

ใช้ 2.45 M ในปริมาณ 1.67 mL ละลายในสารละลาย 3.33 mL HCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนนี้อาจคำนวณความเข้มข้นของ HCl ได้โดย

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (12 \text{ M})(3.33) &= (C_2)(5\text{mL}) \\ C_2 &= (12 \text{ M})(3.33) / (5\text{mL}) = 8.0 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาค่า pH} \quad \text{จากสมการ} \quad \text{pH} &= -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \\ \text{จะได้ว่า} \quad \text{pH} &= -\log[\text{HCl}] \\ \text{pH} &= -\log[8] = -1.08 \end{aligned}$$

สรุป ได้ 0.82 M Zn(II) และ 8 M HCl มี pH = -1.08

- 2) เจือจาง 0.82 M ให้เหลือ 0.0082 M ZnO ด้วย DI

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.82 \text{ M})(V_1) &= (0.0082 \text{ M})(10\text{mL}) \\ V_1 &= (0.82 \text{ M})(10\text{mL}) / (0.82 \text{ M}) = 0.1 \text{ mL} \end{aligned}$$

ใช้ 0.82 M ในปริมาณ 0.1 mL และ 9.9 mL DI

ในตอนนี้อาจคำนวณความเข้มข้นของ HCl ได้โดย

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (8 \text{ M})(0.1) &= (C_2)(10\text{mL}) \\ C_2 &= (8 \text{ M})(0.1) / (10\text{mL}) = 0.08 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาค่า pH} \quad \text{จากสมการ} \quad \text{pH} &= -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \\ \text{จะได้ว่า} \quad \text{pH} &= -\log[\text{HCl}] \\ \text{pH} &= -\log[0.08] = 1.10 \end{aligned}$$

สรุป ได้ 0.0082 M Zn(II) และ 0.008 M HCl มี pH = 1.10

- 3) เจือจาง 0.0082 M ให้เหลือ 0.000082 M ZnO ด้วย DI

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.0082 \text{ M})(V_1) &= (0.000082 \text{ M})(10\text{mL}) \\ V_1 &= (0.000082 \text{ M})(10\text{mL}) / (0.0082 \text{ M}) = 0.1 \text{ mL} \end{aligned}$$

ใช้ 0.0082 M ในปริมาณ 0.1 mL และ 9.9 mL DI

ในตอนนี้อาจคำนวณความเข้มข้นของ HCl ได้โดย

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.08 \text{ M})(0.1) &= (C_2)(10\text{mL}) \\ C_2 &= (0.08 \text{ M})(0.1) / (10\text{mL}) = 0.0008 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาค่า pH} \quad \text{จากสมการ} \quad \text{pH} &= -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \\ \text{จะได้ว่า} \quad \text{pH} &= -\log[\text{HCl}] = -\log[0.0008] = 3.10 \end{aligned}$$

สรุป ได้ 0.000082 M Zn(II) และ 0.0008 M HCl มี pH = 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เจือจาง 0.000082 M ให้เหลือ 0.00000082 M ZnO ด้วย DI

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.000082 \text{ M})(V_1) = (0.00000082 \text{ M})(10\text{mL})$

$$V_1 = (0.00000082)(10\text{mL}) / (0.000082 \text{ M}) = 0.1 \text{ mL}$$

ใช้ 0.000082 M ในปริมาณ 0.1 mL และ 9.9 mL DI

ในตอนนี้สามารถคำนวณความเข้มข้นของ HCl ได้โดย

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.0008 \text{ M})(0.1) = (C_2)(10\text{mL})$

$$C_2 = (0.08 \text{ M})(0.1) / (10\text{mL}) = 0.000008 \text{ M}$$

หาค่า pH จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] = -\log[0.000008] = 5.10$

สรุป ได้ 0.82 μM Zn(II) และ 8 μM HCl มี pH = 5.10

2.4 การคำนวณความเข้มข้นของ Zn(II) ผสม PPIX

ในตอนนี้เรานำ Zn(II) ผสม PPIX ให้ได้ความเข้มข้นดังนี้

Preparation
Zn(II) + PPIX

10 μM PPIX
Stock PPIX

+

Zn(II)
Stock Zn(II)

↓

Table 2 Concentration of PPIX and Zn(II) compound

PPIX	Zn(II)		
	ZnO	HCL	
μM	μM	μM	pH
5.00	0.4100	4.0000	5.40
5.00	0.2050	2.0000	5.70
5.00	0.1025	1.0000	6.00
5.00	0.0513	0.5000	6.30
5.00	0.0256	0.2500	6.60
5.00	0.0128	0.1250	6.90

ความเข้มข้นของ PPIX ก่อนผสม 10 μM หลังผสมจะเหลือ 5 μM จาก

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(10 \mu\text{M})(5 \text{ mL}) = (C_2)(10\text{mL})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_2 = (10 \mu\text{M})(5) / (10\text{mL}) = 5.0000 \mu\text{M}$$

ใช้ 10 μM PPIX ปริมาณ 5 mL และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาณ 5 mL ซึ่งความเข้มข้นของ Zn(II) เป็นดังนี้

1) 0.8200 μM Zn(II) + 10 μM PPIX

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.8200 \mu\text{M})(V_1) = (0.4100 \mu\text{M})(10\text{mL})$

$$V_1 = (0.4100 \mu\text{M})(10\text{mL}) / (0.8200 \mu\text{M}) = 5 \text{ mL}$$

ใช้ 0.8200 μM Zn(II) ในปริมาณ 5 mL และ 10 μM PPIX ในปริมาณ 5 mL ในตอนนี้สามารถคำนวณความเข้มข้นของ HCl ได้โดย

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(8.0000 \mu\text{M})(5) = (C_2)(10\text{mL})$

$$C_2 = (8.0000 \mu\text{M})(5) / (10\text{mL}) = 4.0000 \mu\text{M}$$

หาค่า pH จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}]$

$$\text{pH} = -\log[4.0000 \mu\text{M}] = 5.40$$

สรุป ได้ 0.4100 μM Zn(II) + 5 μM PPIX และ 4.0000 μM HCl มี pH = 5.40

2) 0.4100 μM Zn(II) + 10 μM PPIX

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.4100 \mu\text{M})(V_1) = (0.2050 \mu\text{M})(10\text{mL})$

$$V_1 = (0.2050 \mu\text{M})(10\text{mL}) / (0.4100 \mu\text{M}) = 5 \text{ mL}$$

ใช้ 0.4100 μM Zn(II) ในปริมาณ 5 mL และ 10 μM PPIX ในปริมาณ 5 mL ในตอนนี้สามารถคำนวณความเข้มข้นของ HCl ได้โดย

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(4.0000 \mu\text{M})(5) = (C_2)(10\text{mL})$

$$C_2 = (4 \mu\text{M})(5) / (10\text{mL}) = 2.0000 \mu\text{M}$$

หาค่า pH จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}]$

$$\text{pH} = -\log[2.0000 \mu\text{M}] = 5.70$$

สรุป ได้ 0.2050 μM Zn(II) + 5 μM PPIX และ 2.0000 μM HCl มี pH = 5.70

3) 0.2050 μM Zn(II) + 10 μM PPIX

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.2050 \mu\text{M})(V_1) = (0.1025 \mu\text{M})(10\text{mL})$

$$V_1 = (0.1025 \mu\text{M})(10\text{mL}) / (0.2050 \mu\text{M}) = 5 \text{ mL}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ $0.2050 \mu\text{M Zn(II)}$ ในปริมาณ 5 mL และ $10 \mu\text{M PPIX}$ ในปริมาณ 5 mL
ในตอนนี้อาจคำนวณความเข้มข้นของ HCl ได้โดย

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (2.0000 \mu\text{M})(5) &= (C_2)(10\text{mL}) \\ C_2 &= (2.0000 \mu\text{M})(5) / (10\text{mL}) = 1.0000 \mu\text{M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาค่า pH} \quad \text{จากสมการ} \quad \text{pH} &= -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \\ \text{จะได้ว่า} \quad \text{pH} &= -\log[\text{HCl}] \\ \text{pH} &= -\log[1.0000 \mu\text{M}] = 6.00 \end{aligned}$$

สรุป ได้ $0.1025 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $1.0000 \mu\text{M HCl}$ มี $\text{pH} = 6.00$

4) $0.1025 \mu\text{M Zn(II)} + 10 \mu\text{M PPIX}$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.1025 \mu\text{M})(V_1) &= (0.0513 \mu\text{M})(10\text{mL}) \\ V_1 &= (0.0513 \mu\text{M})(10\text{mL}) / (0.1025 \mu\text{M}) = 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

ใช้ $0.1025 \mu\text{M Zn(II)}$ ในปริมาณ 5 mL และ $10 \mu\text{M PPIX}$ ในปริมาณ 5 mL
ในตอนนี้อาจคำนวณความเข้มข้นของ HCl ได้โดย

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (1 \mu\text{M})(5) &= (C_2)(10\text{mL}) \\ C_2 &= (2 \mu\text{M})(5) / (10\text{mL}) = 0.50 \mu\text{M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาค่า pH} \quad \text{จากสมการ} \quad \text{pH} &= -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \\ \text{จะได้ว่า} \quad \text{pH} &= -\log[\text{HCl}] \\ \text{pH} &= -\log[0.50 \mu\text{M}] = 6.30 \end{aligned}$$

สรุป ได้ $0.0513 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $0.5000 \mu\text{M HCl}$ มี $\text{pH} = 6.30$

5) $0.0513 \mu\text{M Zn(II)} + 10 \mu\text{M PPIX}$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.0513 \mu\text{M})(V_1) &= (0.0256 \mu\text{M})(10\text{mL}) \\ V_1 &= (0.0256 \mu\text{M})(10\text{mL}) / (0.0513 \mu\text{M}) = 5 \text{ mL} \end{aligned}$$

ใช้ $0.0513 \mu\text{M Zn(II)}$ ในปริมาณ 5 mL และ $10 \mu\text{M PPIX}$ ในปริมาณ 5 mL
ในตอนนี้อาจคำนวณความเข้มข้นของ HCl ได้โดย

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad C_1V_1 &= C_2V_2 \\ \text{ดังนั้น} \quad (0.5000 \mu\text{M})(5) &= (C_2)(10\text{mL}) \\ C_2 &= (2 \mu\text{M})(5) / (10\text{mL}) = 0.2500 \mu\text{M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาค่า pH} \quad \text{จากสมการ} \quad \text{pH} &= -\log[\text{H}_3\text{O}^+] \\ \text{จะได้ว่า} \quad \text{pH} &= -\log[\text{HCl}] = -\log [0.2500 \mu\text{M}] = 6.60 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป ได้ $0.0256 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $0.2500 \mu\text{M HCl}$ มี $\text{pH} = 6.60$

6) $0.0256 \mu\text{M Zn(II)} + 10 \mu\text{M PPIX}$

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.0256 \mu\text{M})(V_1) = (0.0128 \mu\text{M})(10\text{mL})$

$$V_1 = (0.0128 \mu\text{M})(10\text{mL}) / (0.0256 \mu\text{M}) = 5 \text{ mL}$$

ใช้ $0.0256 \mu\text{M Zn(II)}$ ในปริมาณ 5 mL และ $10 \mu\text{M PPIX}$ ในปริมาณ 5 mL

ในตอนนี้สามารถคำนวณความเข้มข้นของ HCl ได้โดย

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.2500 \mu\text{M})(5) = (C_2)(10\text{mL})$

$$C_2 = (2 \mu\text{M})(5) / (10\text{mL}) = 0.1250 \mu\text{M}$$

หาค่า pH

จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}]$

$$\text{pH} = -\log[0.1250 \mu\text{M}] = 6.90$$


สรุป ได้ $0.0128 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $0.1250 \mu\text{M HCl}$ มี $\text{pH} = 6.90$

3. การคำนวณความเข้มข้นเพื่อทำฟิล์ม

3.1 สารละลายในการเตรียมชั้นนี้จะทำการเติม DMSO เพื่อทดแทน PMMA+DCM ในอัตราส่วน 1:1 ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายจะลดลงอย่างละครึ่ง โดยแสดงการคำนวณดังนี้

Zn(II) + PPIX
USE

+



Preparation
Zn(II) + PPIX

↓

Table 3 Finite concentration of PPIX and Zn(II) compound for solution

PPIX (μM)	Zn(II)		Molar ratio of PPIX : ZnO	
	ZnO (μM)	HCl (μM)		
2.50	0.2050	2.0000	5.70	1:0.0820
2.50	0.1025	1.0000	6.00	1:0.0410
2.50	0.0513	0.5000	6.30	1:0.0205
2.50	0.0256	0.2500	6.60	1:0.0103
2.50	0.0128	0.1250	6.90	1:0.0051
2.50	0.0064	0.0625	7.20	1:0.0026

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของ PPIX ก่อนผสม 5 μM หลังผสมจะเหลือ 2.5 μM จากการเติม DMSO

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(5 \mu\text{M})(1 \text{ mL}) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (10 \mu\text{M})(5) / (10\text{mL}) = 2.5 \mu\text{M}$$

ใช้ 5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาณ 1 mL และเติม DMSO 1 mL ซึ่งความเข้มข้นของ Zn(II) เป็นดังนี้

1) 0.4100 μM Zn(II) + 5 μM PPIX และ 4.0000 μM HCl มี pH = 5.40 เติม 1 mL DMSO

1.1 [Zn(II)]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.4100 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (0.4100 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.2050 \mu\text{M}$$

1.2 [HCl]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(4.0000 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (4 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 2.0000 \mu\text{M}$$

หาค่า pH จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] = -\log [2.0000 \mu\text{M}] = 5.70$

2) 0.2050 μM Zn(II) + 5 μM PPIX และ 2.0000 μM HCl มี pH = 5.70 เติม 1 mL DMSO

2.1 [Zn(II)]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.2050 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (0.2050 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.1025 \mu\text{M}$$

2.2 [HCl]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(2.0000 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (2 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 1.0000 \mu\text{M}$$

หาค่า pH จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] = -\log [1.0000 \mu\text{M}] = 6.00$

3) 0.1025 μM Zn(II) + 5 μM PPIX และ 1.0000 μM HCl มี pH = 6.00 เติม 1 mL DMSO

3.1 [Zn(II)]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.1025 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (0.1025 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.0513 \mu\text{M}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 [HCl]

จากสมการ	$C_1V_1 = C_2V_2$
ดังนั้น	$(1.0000 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$
	$C_2 = (2 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.5000 \mu\text{M}$
หาค่า pH	จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$
	จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] = -\log[0.5000 \mu\text{M}] = 6.30$

4) $0.0513 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $0.5000 \mu\text{M HCl}$ มี pH = 6.30 เติม 1 mL DMSO

4.1 [Zn(II)]

จากสมการ	$C_1V_1 = C_2V_2$
ดังนั้น	$(0.0513 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$
	$C_2 = (0.0513 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.0256 \mu\text{M}$

4.2 [HCl]

จากสมการ	$C_1V_1 = C_2V_2$
ดังนั้น	$(0.5000 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$
	$C_2 = (0.5 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.2500 \mu\text{M}$
หาค่า pH	จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$
	จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] = -\log[0.2500 \mu\text{M}] = 6.60$

5) $0.0256 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $0.2500 \mu\text{M HCl}$ มี pH = 6.60 เติม 1 mL DMSO

5.1 [Zn(II)]

จากสมการ	$C_1V_1 = C_2V_2$
ดังนั้น	$(0.0256 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$
	$C_2 = (0.0256 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.0128 \mu\text{M}$

5.2 [HCl]

จากสมการ	$C_1V_1 = C_2V_2$
ดังนั้น	$(0.25 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$
	$C_2 = (0.25 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.1250 \mu\text{M}$
หาค่า pH	จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$
	จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] = -\log[0.1250 \mu\text{M}] = 6.90$

6) $0.0128 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $0.1250 \mu\text{M HCl}$ มี pH = 6.90 เติม 1 mL DMSO

6.1 [Zn(II)]

จากสมการ	$C_1V_1 = C_2V_2$
ดังนั้น	$(0.0128 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$
	$C_2 = (0.0128 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.0064 \mu\text{M}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 [HCl]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.125 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

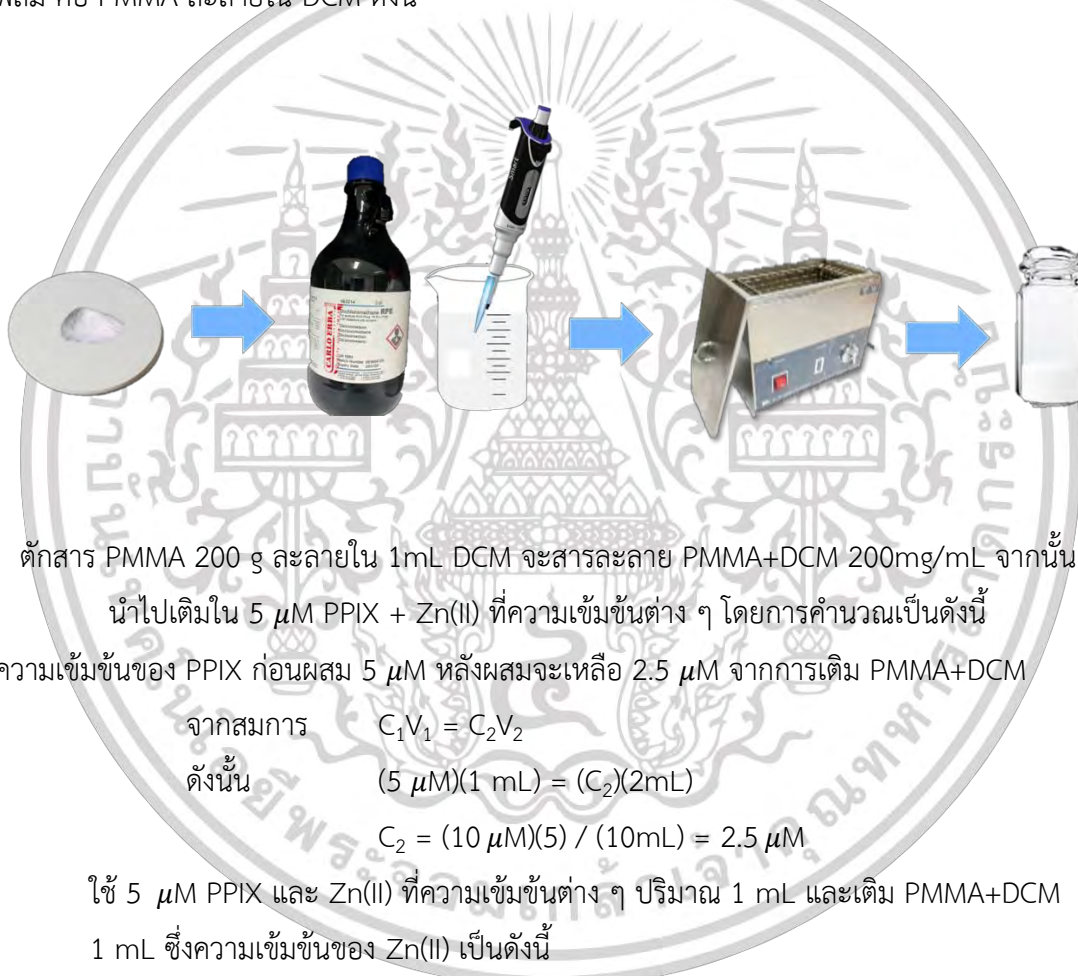
$$C_2 = (0.125 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.0625 \mu\text{M}$$

หาค่า pH

จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] = -\log[0.0625 \mu\text{M}] = 7.20$

3.2 พิล์ม ในการทำฟิล์มจะเติมอัตราส่วนของสารที่ทำฟิล์มไปในอัตราส่วน 1:1 โดยสารที่ทำฟิล์ม คือ PMMA ละลายใน DCM ดังนี้



จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(5 \mu\text{M})(1 \text{ mL}) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (10 \mu\text{M})(5) / (10\text{mL}) = 2.5 \mu\text{M}$$

ใช้ 5 μM PPIX และ Zn(II) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาณ 1 mL และเติม PMMA+DCM 1 mL ซึ่งความเข้มข้นของ Zn(II) เป็นดังนี้

1) 0.4100 μM Zn(II) + 5 μM PPIX และ 4.0000 μM HCl มี pH = 5.40 เติม 1 mL PMMA+DCM

1.1 [Zn(II)]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.4100 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (0.4100 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.2050 \mu\text{M}$$

1.2 [HCl]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $(4.0000 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$
 $C_2 = (4 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 2.0000 \mu\text{M}$

หาค่า pH

จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] = -\log[2.0000 \mu\text{M}] = 5.70$

2) $0.2050 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $2.0000 \mu\text{M HCl}$ มี pH = 5.70 เติม 1 mL PMMA+DCM

2.1 [Zn(II)]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.2050 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$C_2 = (0.2050 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.1025 \mu\text{M}$

2.2 [HCl]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(2.0000 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$C_2 = (2 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 1.0000 \mu\text{M}$

หาค่า pH

จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] = -\log[1.0000 \mu\text{M}] = 6.00$

3) $0.1025 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $1.0000 \mu\text{M HCl}$ มี pH = 6.00 เติม 1 mL PMMA+DCM

3.1 [Zn(II)]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.1025 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$C_2 = (0.1025 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.0513 \mu\text{M}$

3.2 [HCl]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(1.0000 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$C_2 = (1 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.5000 \mu\text{M}$

หาค่า pH

จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] - \log[0.5000 \mu\text{M}] = 6.30$

4) $0.0513 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $0.5000 \mu\text{M HCl}$ มี pH = 6.30 เติม 1 mL PMMA+DCM

4.1 [Zn(II)]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.0513 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$C_2 = (0.0513 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.0256 \mu\text{M}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 [HCl]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.5000 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (0.5 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.2500 \mu\text{M}$$

หาค่า pH จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] - \log[0.2500 \mu\text{M}] = 6.60$

5) $0.0256 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $0.2500 \mu\text{M HCl}$ มี pH = 6.60 เติม 1 mL PMMA+DCM

5.1 [Zn(II)]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.0256 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (0.0256 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.0128 \mu\text{M}$$

5.2 [HCl]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.25 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (0.25 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.1250 \mu\text{M}$$

หาค่า pH จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}] = -\log[0.1250 \mu\text{M}] = 6.90$

6) $0.0128 \mu\text{M Zn(II)} + 5 \mu\text{M PPIX}$ และ $0.1250 \mu\text{M HCl}$ มี pH = 6.90 เติม 1 mL PMMA+DCM

6.1 [Zn(II)]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.0128 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (0.0128 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.0064 \mu\text{M}$$

6.2 [HCl]

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

ดังนั้น $(0.125 \mu\text{M})(1) = (C_2)(2\text{mL})$

$$C_2 = (0.125 \mu\text{M})(1) / (2\text{mL}) = 0.0625 \mu\text{M}$$

หาค่า pH

จากสมการ $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$

จะได้ว่า $\text{pH} = -\log[\text{HCl}]$

$$\text{pH} = -\log[0.0625 \mu\text{M}] = 7.20$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

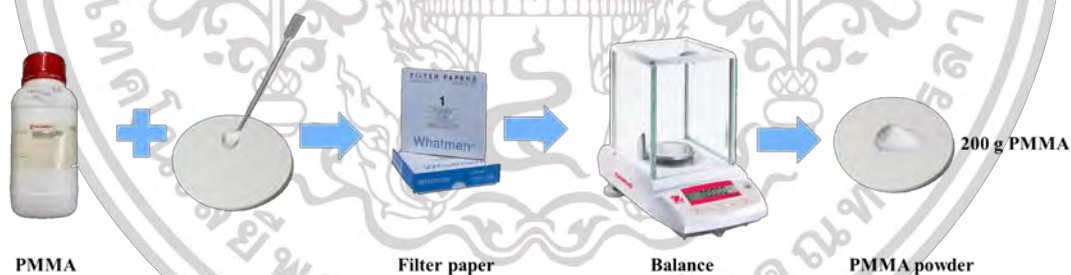
3. การคำนวณการเตรียมฟิล์มชั้นเนื้อฟัน

ในการทำแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน จะมีสองส่วน ส่วนแรกคือชั้นที่พบแบคทีเรีย ซึ่งได้อธิบายในหัวข้อที่ผ่านมา ในหัวข้อนี้จะอธิบายการเตรียมและความเข้มข้นของสารในการทำแบบจำลองชั้นเคลือบฟันในส่วนของชั้นเนื้อฟัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. เตรียมแคลเซียมฟอสเฟต beta-TCP 100mg



2. เตรียม PMMA 200mg

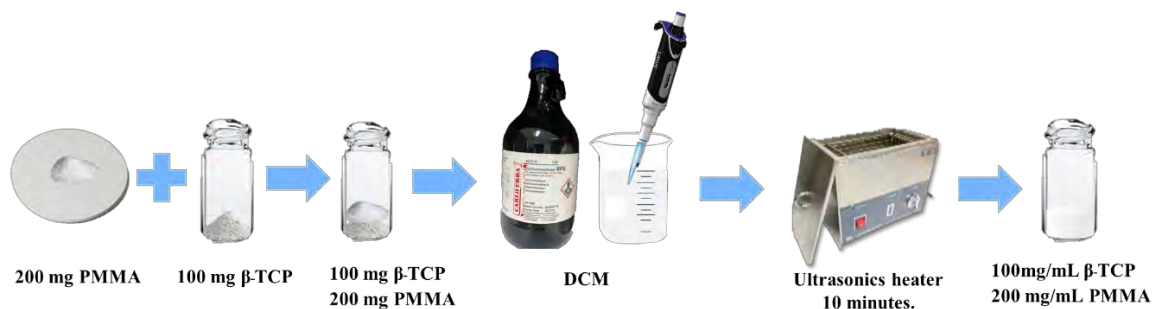


3. นำ PMMA ผสมกับ beta-TCP ละลายใน 1 mL DCM จะได้

3.1 ความเข้มข้นของ PMMA อยู่ที่ 200mg/mL

3.2 ความเข้มข้นของ beta-TCP อยู่ที่ 100mg/mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. การคำนวณความหนาของฟิล์ม

การทำฟิล์มทำได้จากสารละลายขึ้นรูป ในที่นี้ปริมาตรของเหลวและปริมาตรของแข็งมีหน่วยที่แตกต่างกันดังนั้น จึงต้องคำนวณเพื่อเปรียบเทียบในการทำฟิล์มเทียบปริมาตร

$$1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ L}$$

$$1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ mL}$$

$$1 \text{ V(m}^3\text{)} = 10^6 \text{ V(mL)}$$

จากการหาปริมาตรของวัตถุ $V(\text{m}^3) = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$

การออกแบบแบบจำลองฟัน

โดยกำหนดให้มีความยาว 40 mm กว้าง 20 mm และความหนา 2.0 mm

จะได้ว่า $V(\text{m}^3) = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$

$$V(\text{m}^3) = (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (2.0 \text{ mm})$$

$$V(\text{m}^3) = 1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$1 \text{ V(m}^3\text{)} = 10^6 \text{ V(mL)}$$

$$1.6 \times 10^{-6} \text{ V(m}^3\text{)} = \text{V(mL)}$$

จะได้ว่า $V(\text{mL}) = [1.6 \times 10^{-6} \text{ V(m}^3\text{)} \times 10^6 \text{ V(mL)}] / 1 \text{ V(m}^3\text{)}$

$$V(\text{mL}) = 1.6 \text{ mL}$$

ในการทดลองมีความหนาโดยรวมของแบบจำลองอยู่ที่ 2.0 mm แต่ไม่ใช่ความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพและชั้นเนื้อฟัน ดังนั้นอัตราส่วนของ ความหนาชั้นเนื้อฟัน (mm) : ชั้นฟิล์มชีวภาพ (mm) โดยกำหนดความกว้าง 20mm และความยาว 40mmไว้ สามารถคำนวณตามได้ดังนี้

1. 0.25 : 1.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของชั้นเนื้อฟัน คือ 0.25

$$\begin{aligned} \text{มีปริมาตร} \quad V(\text{m}^3) &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \\ V(\text{m}^3) &= (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (0.25 \text{ mm}) \\ V(\text{m}^3) &= 0.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$\begin{aligned} 1 V(\text{m}^3) &= 10^6 V(\text{mL}) \\ 0.2 \times 10^{-6} V(\text{m}^3) &= V(\text{mL}) \\ \text{จะได้ว่า} \quad V(\text{mL}) &= [0.2 \times 10^{-6} V(\text{m}^3) \times 10^6 V(\text{mL})] / 1 V(\text{m}^3) \\ V(\text{mL}) &= 0.20 \text{ mL} \end{aligned}$$

ใช้สารละลายทำชั้นเนื้อฟัน 0.2 mL

$$\text{คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้} \quad (0.25/2) \times 100 = 12.5\%$$

ความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพ คือ 1.75

$$\begin{aligned} \text{มีปริมาตร} \quad V(\text{m}^3) &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \\ V(\text{m}^3) &= (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (1.75 \text{ mm}) \\ V(\text{m}^3) &= 1.40 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$\begin{aligned} 1 V(\text{m}^3) &= 10^6 V(\text{mL}) \\ 1.40 \times 10^{-6} V(\text{m}^3) &= V(\text{mL}) \\ \text{จะได้ว่า} \quad V(\text{mL}) &= [1.40 \times 10^{-6} V(\text{m}^3) \times 10^6 V(\text{mL})] / 1 V(\text{m}^3) \\ V(\text{mL}) &= 1.40 \text{ mL} \end{aligned}$$

ใช้สารละลายทำชั้นฟิล์มชีวภาพ 1.40 mL

$$\text{คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้} \quad (1.75/2) \times 100 = 87.5\%$$

2. 0.50 : 1.50

ความหนาของชั้นเนื้อฟัน คือ 0.50

$$\begin{aligned} \text{มีปริมาตร} \quad V(\text{m}^3) &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง} \\ V(\text{m}^3) &= (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (0.50 \text{ mm}) \\ V(\text{m}^3) &= 0.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$\begin{aligned} 1 V(\text{m}^3) &= 10^6 V(\text{mL}) \\ 0.4 \times 10^{-6} V(\text{m}^3) &= V(\text{mL}) \\ \text{จะได้ว่า} \quad V(\text{mL}) &= [0.4 \times 10^{-6} V(\text{m}^3) \times 10^6 V(\text{mL})] / 1 V(\text{m}^3) \\ V(\text{mL}) &= 0.40 \text{ mL} \end{aligned}$$

ใช้สารละลายทำชั้นเนื้อฟัน 0.4 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้ $(0.50/2) \times 100 = 25\%$

ความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพ คือ 1.50

มีปริมาตร $V(m^3) = กว้าง \times ยาว \times สูง$
 $V(m^3) = (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (1.5 \text{ mm})$
 $V(m^3) = 1.20 \times 10^{-6} m^3$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$1 V(m^3) = 10^6 V(mL)$$

$$1.20 \times 10^{-6} V(m^3) = V(mL)$$

จะได้ว่า $V(mL) = [1.20 \times 10^{-6} V(m^3) \times 10^6 V(mL)] / 1 V(m^3)$
 $V(mL) = 1.20 \text{ mL}$

ใช้สารละลายทำชั้นฟิล์มชีวภาพ 1.20 mL

คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้ $(1.5/2) \times 100 = 75.0\%$

3. 0.75 : 1.25

ความหนาของชั้นเนื้อฟัน คือ 0.75

มีปริมาตร $V(m^3) = กว้าง \times ยาว \times สูง$
 $V(m^3) = (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (0.75 \text{ mm})$
 $V(m^3) = 0.6 \times 10^{-6} m^3$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$1 V(m^3) = 10^6 V(mL)$$

$$0.6 \times 10^{-6} V(m^3) = V(mL)$$

จะได้ว่า $V(mL) = [0.6 \times 10^{-6} V(m^3) \times 10^6 V(mL)] / 1 V(m^3)$
 $V(mL) = 0.60 \text{ mL}$

ใช้สารละลายทำชั้นเนื้อฟัน 0.6 mL

คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้ $(0.75/2) \times 100 = 37.5\%$

ความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพ คือ 1.25

มีปริมาตร $V(m^3) = กว้าง \times ยาว \times สูง$
 $V(m^3) = (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (1.25 \text{ mm})$
 $V(m^3) = 1.00 \times 10^{-6} m^3$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$1 V(m^3) = 10^6 V(mL)$$

$$1.00 \times 10^{-6} V(m^3) = V(mL)$$

จะได้ว่า $V(mL) = [1.00 \times 10^{-6} V(m^3) \times 10^6 V(mL)] / 1 V(m^3)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V(\text{mL}) = 1.00 \text{ mL}$$

ใช้สารละลายทำชั้นฟิล์มชีวภาพ 1.00 mL

$$\text{คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้} \quad (1.25/2) \times 100 = 62.5\%$$

4. 1.00 : 1.00

ความหนาของชั้นเนื้อฟัน คือ 1.00

$$\text{มีปริมาตร} \quad V(\text{m}^3) = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$$

$$V(\text{m}^3) = (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (1.00 \text{ mm})$$

$$V(\text{m}^3) = 0.8 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$1 \text{ V}(\text{m}^3) = 10^6 \text{ V}(\text{mL})$$

$$0.8 \times 10^{-6} \text{ V}(\text{m}^3) = \text{V}(\text{mL})$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad \text{V}(\text{mL}) = [0.8 \times 10^{-6} \text{ V}(\text{m}^3) \times 10^6 \text{ V}(\text{mL})] / 1 \text{ V}(\text{m}^3)$$

$$\text{V}(\text{mL}) = 0.80 \text{ mL}$$

ใช้สารละลายทำชั้นเนื้อฟัน 0.8 mL

$$\text{คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้} \quad (1.00/2) \times 100 = 50\%$$

ความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพ คือ 1.00

$$\text{มีปริมาตร} \quad V(\text{m}^3) = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$$

$$V(\text{m}^3) = (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (1.00 \text{ mm})$$

$$V(\text{m}^3) = 0.8 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$1 \text{ V}(\text{m}^3) = 10^6 \text{ V}(\text{mL})$$

$$0.8 \times 10^{-6} \text{ V}(\text{m}^3) = \text{V}(\text{mL})$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad \text{V}(\text{mL}) = [0.8 \times 10^{-6} \text{ V}(\text{m}^3) \times 10^6 \text{ V}(\text{mL})] / 1 \text{ V}(\text{m}^3)$$

$$\text{V}(\text{mL}) = 0.8 \text{ mL}$$

ใช้สารละลายทำชั้นฟิล์มชีวภาพ 0.8 mL

$$\text{คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้} \quad (1.00/2) \times 100 = 50\%$$

5. 1.25 : 0.75

ความหนาของชั้นเนื้อฟัน คือ 1.25

$$\text{มีปริมาตร} \quad V(\text{m}^3) = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$$

$$V(\text{m}^3) = (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (1.25 \text{ mm})$$

$$V(\text{m}^3) = 1.00 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$1 \text{ V(m}^3\text{)} = 10^6 \text{ V(mL)}$$

$$1.00 \times 10^{-6} \text{ V(m}^3\text{)} = \text{V(mL)}$$

จะได้ว่า $\text{V(mL)} = [1.00 \times 10^{-6} \text{ V(m}^3\text{)} \times 10^6 \text{ V(mL)}] / 1 \text{ V(m}^3\text{)}$

$$\text{V(mL)} = 1.00 \text{ mL}$$

ใช้สารละลายทำชั้นเนื้อฟัน 1.00 mL

คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้ $(1.25/2) \times 100 = 62.5\%$

ความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพ คือ 0.75

มีปริมาตร $\text{V(m}^3\text{)} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$

$$\text{V(m}^3\text{)} = (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (0.75 \text{ mm})$$

$$\text{V(m}^3\text{)} = 0.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$1 \text{ V(m}^3\text{)} = 10^6 \text{ V(mL)}$$

$$0.6 \times 10^{-6} \text{ V(m}^3\text{)} = \text{V(mL)}$$

จะได้ว่า $\text{V(mL)} = [0.6 \times 10^{-6} \text{ V(m}^3\text{)} \times 10^6 \text{ V(mL)}] / 1 \text{ V(m}^3\text{)}$

$$\text{V(mL)} = 0.6 \text{ mL}$$

ใช้สารละลายทำชั้นฟิล์มชีวภาพ 0.6 mL

คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้ $(0.75/2) \times 100 = 37.5\%$

6. 1.50 : 0.50

ความหนาของชั้นเนื้อฟัน คือ 1.50

มีปริมาตร $\text{V(m}^3\text{)} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$

$$\text{V(m}^3\text{)} = (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (1.5 \text{ mm})$$

$$\text{V(m}^3\text{)} = 1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$1 \text{ V(m}^3\text{)} = 10^6 \text{ V(mL)}$$

$$1.2 \times 10^{-6} \text{ V(m}^3\text{)} = \text{V(mL)}$$

จะได้ว่า $\text{V(mL)} = [1.2 \times 10^{-6} \text{ V(m}^3\text{)} \times 10^6 \text{ V(mL)}] / 1 \text{ V(m}^3\text{)}$

$$\text{V(mL)} = 1.20 \text{ mL}$$

ใช้สารละลายทำชั้นเนื้อฟัน 1.20 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้ $(1.50/2) \times 100 = 75.0\%$

ความหนาของชั้นฟิล์มชีวภาพ คือ 0.50

มีปริมาตร

$$V(\text{m}^3) = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{สูง}$$

$$V(\text{m}^3) = (20 \text{ mm}) \times (40 \text{ mm}) \times (0.5 \text{ mm})$$

$$V(\text{m}^3) = 0.4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

จากความสัมพันธ์การเทียบปริมาตร

$$1 \text{ V}(\text{m}^3) = 10^6 \text{ V}(\text{mL})$$

$$0.4 \times 10^{-6} \text{ V}(\text{m}^3) = \text{V}(\text{mL})$$

จะได้ว่า $\text{V}(\text{mL}) = [0.4 \times 10^{-6} \text{ V}(\text{m}^3) \times 10^6 \text{ V}(\text{mL})] / 1 \text{ V}(\text{m}^3)$

$$\text{V}(\text{mL}) = 0.4 \text{ mL}$$

ใช้สารละลายทำชั้นฟิล์มชีวภาพ 0.4 mL

คิดเป็นร้อยละของทั้งหมดได้ $(0.50/2) \times 100 = 25.0\%$

นั่นคือปริมาณที่ต้องหยดลงในกระจกสไลด์เพื่อทำแบบจำลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดสีและโปรแกรม

CQCS3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เตรียมเครื่องวัดสีให้พร้อมโดยตรวจสอบสภาพเครื่องก่อนใช้งานให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมและพร้อมใช้งานและตรวจสอบสายเชื่อมต่อก่อนใช้งาน
2. ต่อสาย USB ของเครื่องวัดสีเข้าสู่คอมพิวเตอร์ (ก่อนเปิดเครื่องวัดสี)



3. เมื่อต่อสายเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แล้ว ให้กดปุ่มเปิดเครื่อง ซึ่งปุ่มอยู่ด้านหลังของเครื่องและรอให้ระบบของเครื่องพร้อมที่จะทำงาน จะแสดงหน้าจอเครื่องขึ้นพร้อมใช้งาน



3. กดที่ปุ่ม Menu บนเครื่องและเลื่อนไปยังฟังก์ชันตัวเลือก Comm โดยกดลูกศรลง จากนั้นกดตกลงโดยกดที่ปุ่มเลื่อนขวา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

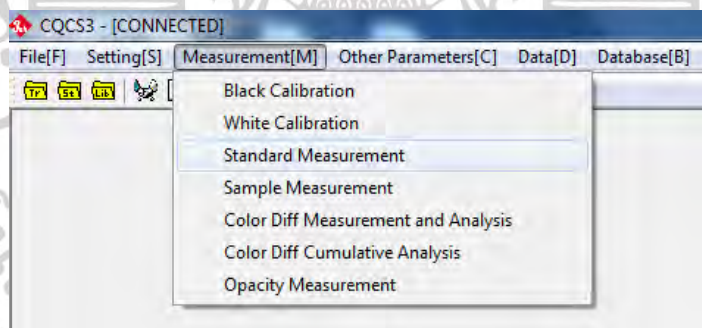
4. เมื่อเครื่องขึ้นคำว่า Communicating แสดงว่าได้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องวัดสีและคอมพิวเตอร์สำเร็จเรียบร้อยแล้ว



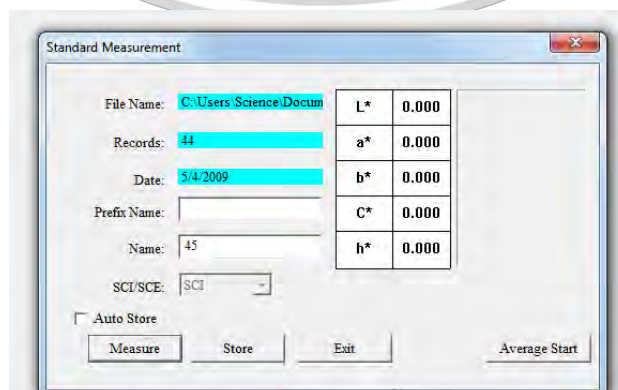
5. กดเปิดโปรแกรม CQCS3 ในคอมพิวเตอร์



6. ทำการสร้างไฟล์เพื่อวัดสีของชิ้นงานอ้างอิงในการเปรียบเทียบโดยไปที่ Measurement[M] > Standard Measurement

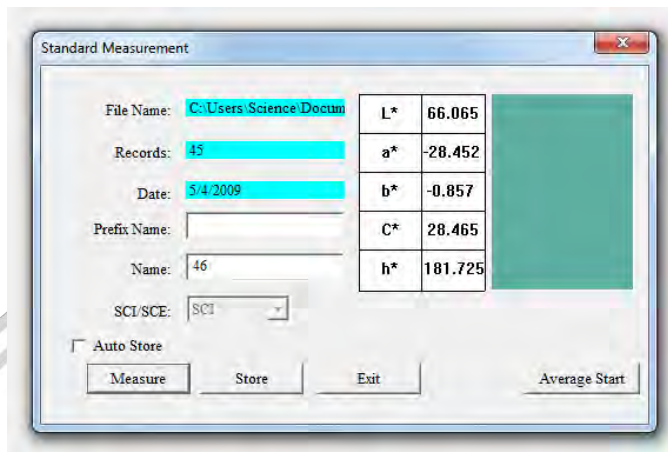


7. ใส่ชื่อที่ Prefix Name และ Name ถ้าต้องการบันทึกผลอัตโนมัติให้กดเครื่องหมายถูกที่ Auto store หรือถ้าต้องการให้โปรแกรมคำนวณค่าเฉลี่ยจากการวัดหลายครั้งให้กดที่ Average Start

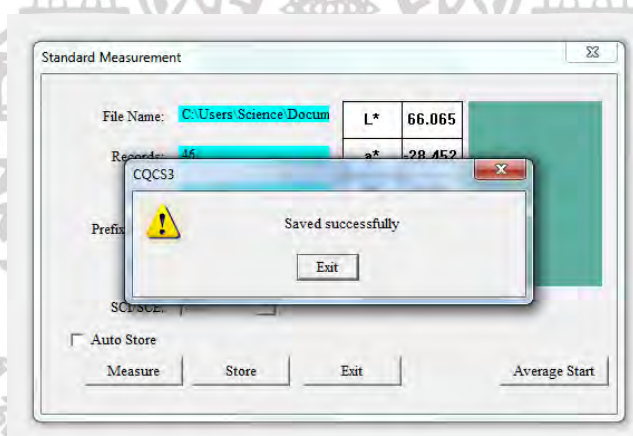


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

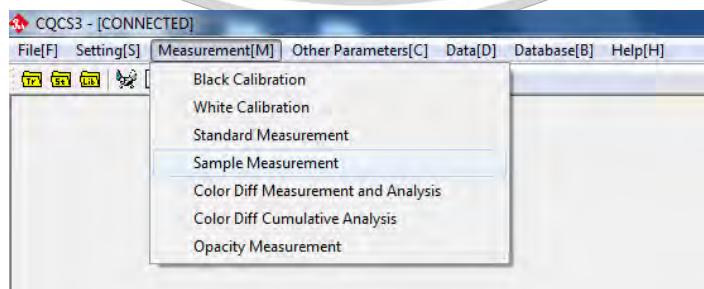
8. เมื่อวางชิ้นงานอ้างอิงลงไปที่ฉากวัดแล้ว ให้ขยับเครื่องวัดสีโดยให้กึ่งกลางของซิลิโคนสีขาววางลงบนด้านบนของชิ้นงานที่ต้องการวัด
9. กด Average start จากนั้นกด Measure เพื่อเริ่มวัดค่าสี เมื่อได้ค่าสีที่ต้องการแล้ว กดที่ Average end เพื่อหยุดคำนวณค่าเฉลี่ย และกด Store เพื่อบันทึกผลลงในไฟล์



10. เมื่อระบบขึ้นคำว่า Saved successfully แล้ว นั้นหมายความว่า การบันทึกผลข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ สามารถกด Exit ได้เลย



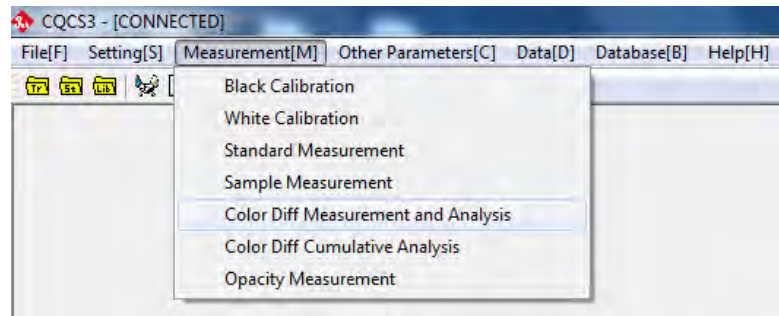
11. จากนั้นทำการสร้างไฟล์วัดสีของชิ้นงานตัวอย่างโดยไปที่ Measurement[M]>Sample Measurement



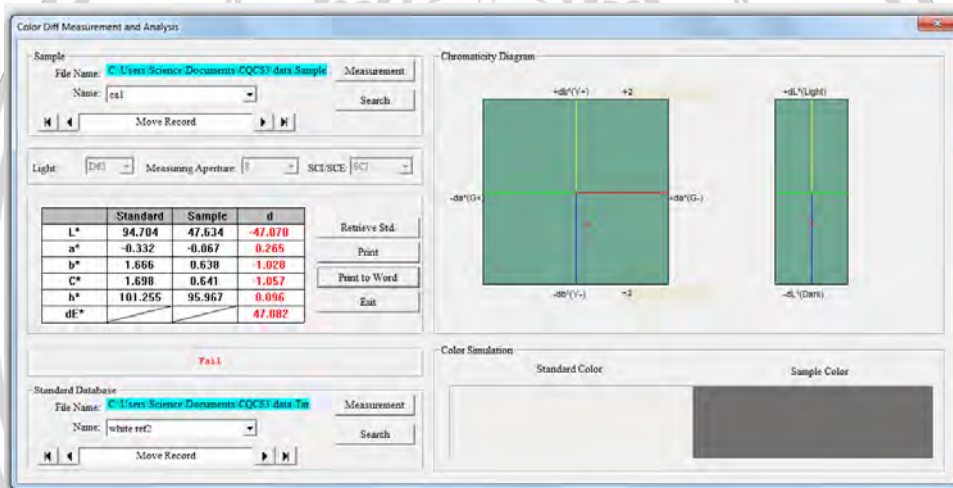
- 12 ทำเหมือนข้อที่ 7-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

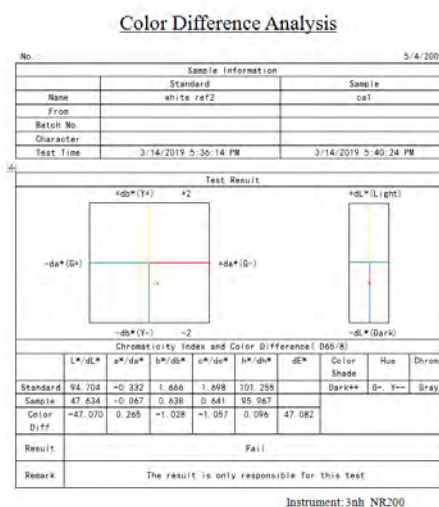
13. ไปที่ Measurement[M] > Color Diff Measurement and Analysis เพื่อวิเคราะห์ค่าความต่างสีของชิ้นงานระหว่างชิ้นงานอ้างอิงและชิ้นงานตัวอย่าง



14. กดเลือกไฟล์ชื่อที่เราต้องการวิเคราะห์ค่าความต่างสีทั้งชิ้นงานอ้างอิงและชิ้นงานตัวอย่าง ค่าความต่างสีจะขึ้นแสดงในแถว d จากนั้นหากต้องการ Export ค่าสีให้กดที่ print to word

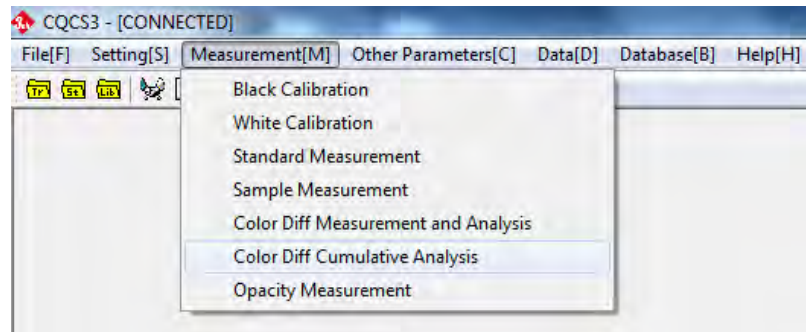


15. จะได้ไฟล์ Word ดังที่แสดงในรูปด้านล่าง

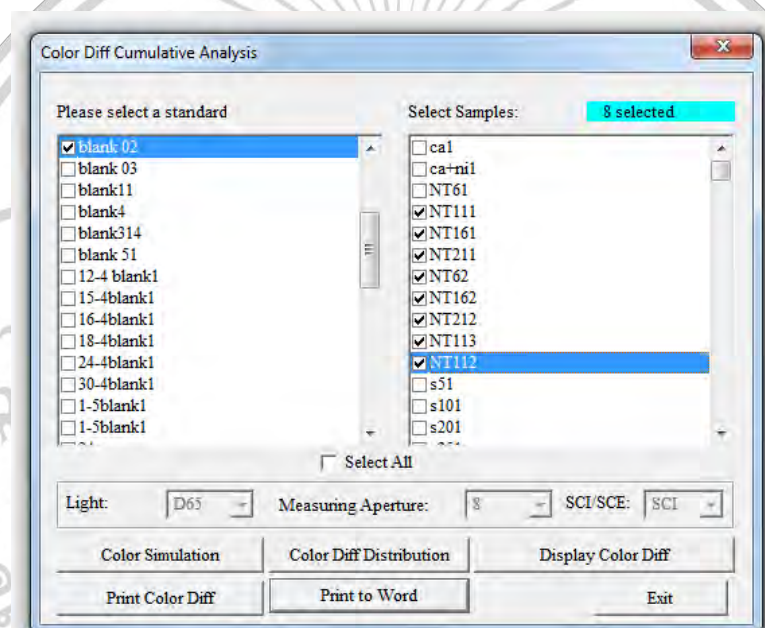


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์ค่าความต่างสีที่มากกว่า 2 สี ให้ไปที่ Measurement[M]>Color Diff Cumulative Analysis



16. จากนั้นเลือกไฟล์ชื่อชิ้นงานอ้างอิงและชิ้นงานตัวอย่างที่ต้องการ เมื่อได้แล้วกดที่ Print to word



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์
รุ่น AvaSpec-EDU
สำหรับโปรแกรม Avasoft 7.4 USB 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น AvaSpec-EDU สำหรับโปรแกรม Avasoft 7.4 USB 2

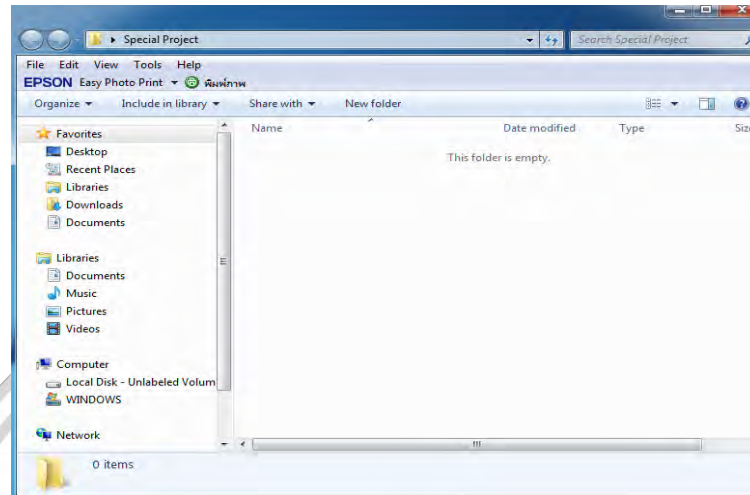
ขั้นตอนที่ 1 การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ก่อนการทดลอง



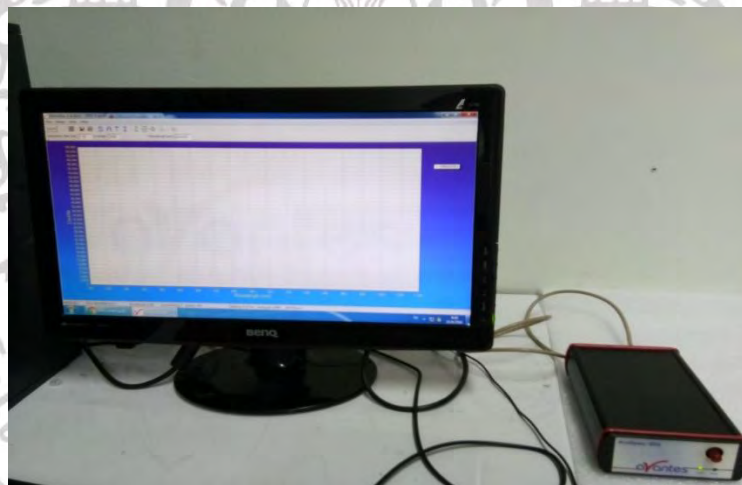
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ตั้งค่าโปรแกรม Avasoft 7.4 USB 2 กับเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

1. สร้างโฟลเดอร์สำหรับเก็บข้อมูล



2. ต่อสาย USB จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์เข้าสู่คอมพิวเตอร์



3. เปิดโปรแกรม Avasoft 7.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

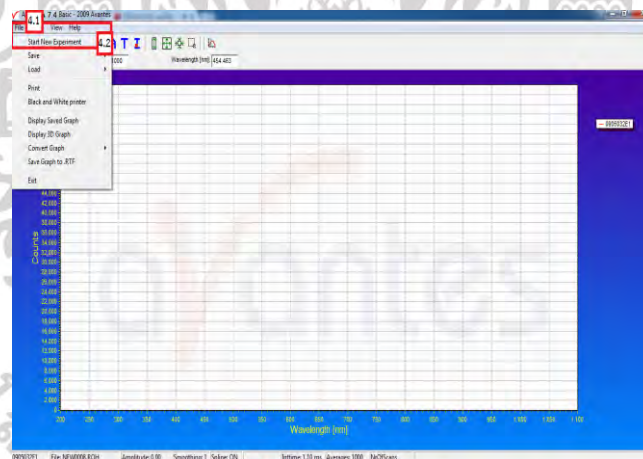
** ข้อ4 และข้อ5 ขณะที่ทำการตั้งค่าและวัด Dark เครื่องสเปกโตรมิเตอร์ปิดรูรับแสง



4. ตั้งค่าเครื่องและโปรแกรม

4.1 เลือก file บนแถบเมนู

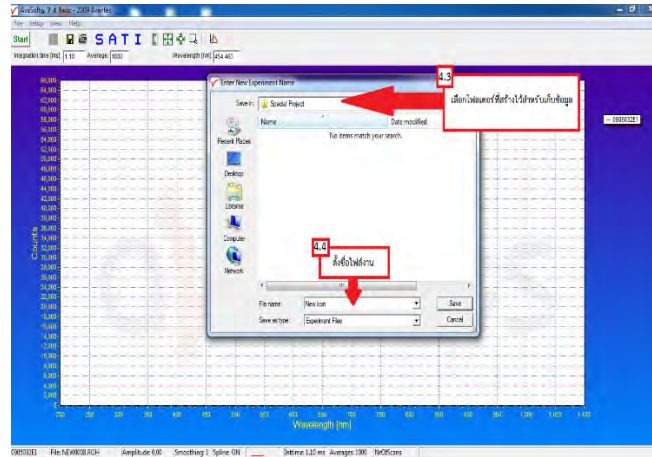
4.2 เลือก Start New Experiment



4.3 เลือกโฟลเดอร์ที่สร้างไว้สำหรับเก็บข้อมูล

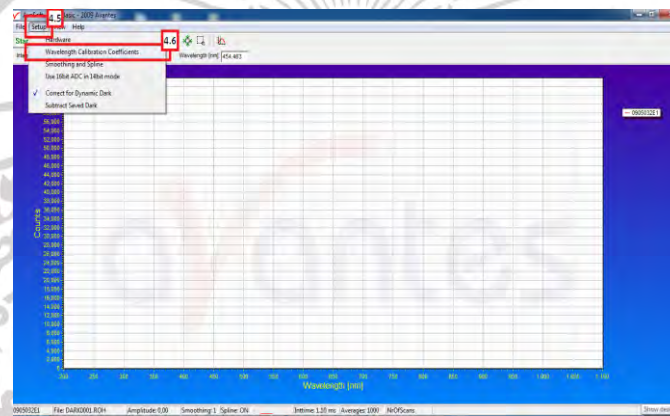
4.4 ตั้งชื่อไฟล์งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



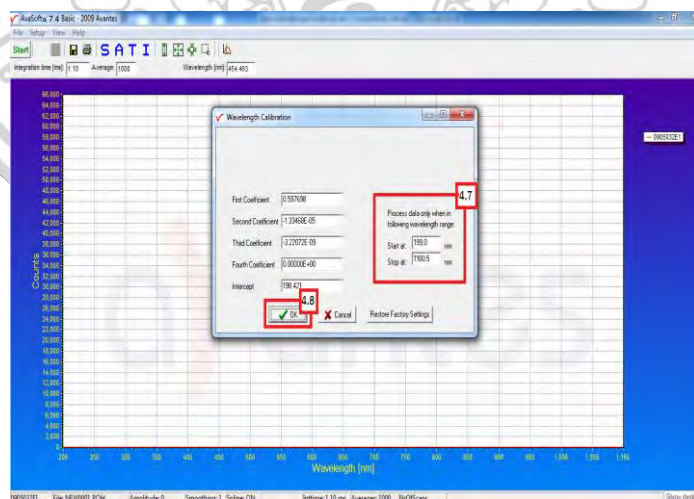
4.5 เลือก Setup บนแถบเมนู

4.6 เลือก Wavelength Calibration Coefficients



4.7 เลือกช่วงวัดที่ความกว้าง 200-1100nm

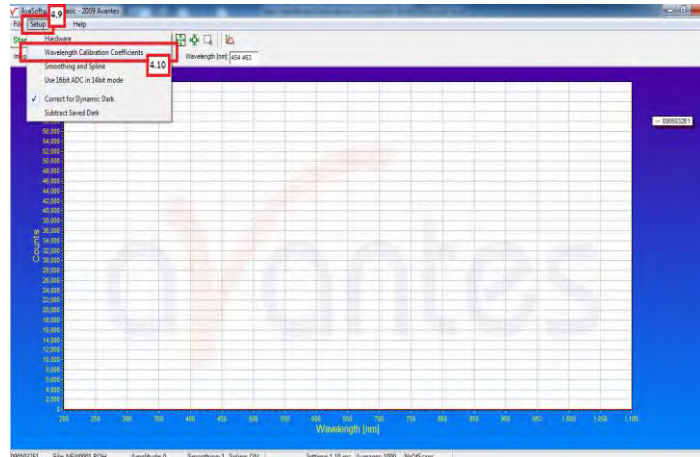
4.8 เลือก OK



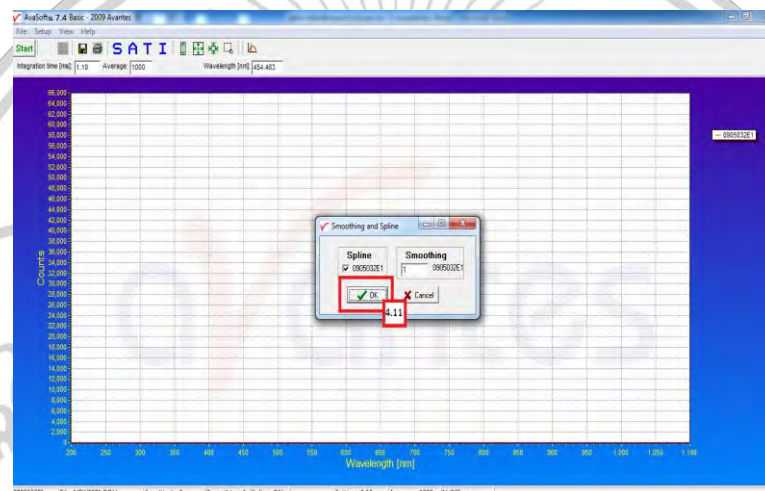
4.9 เลือก Setup บนแถบเมนูอีกครั้ง

4.10 เลือก Smoothing and Spline และใส่ข้อมูลดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

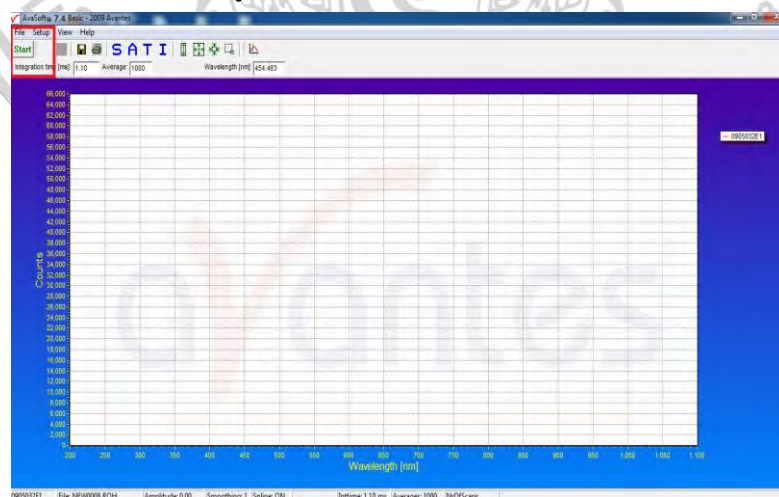


4.11 เลือก OK



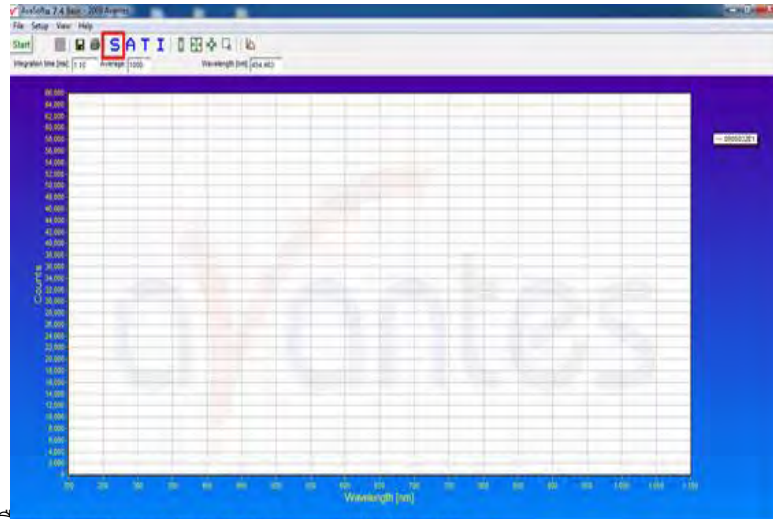
5. การวัด Dark (ทำการวัดในขณะที่เครื่องปิดรับแสงอยู่)

4.1 เลือก Start บนแถบเมนู



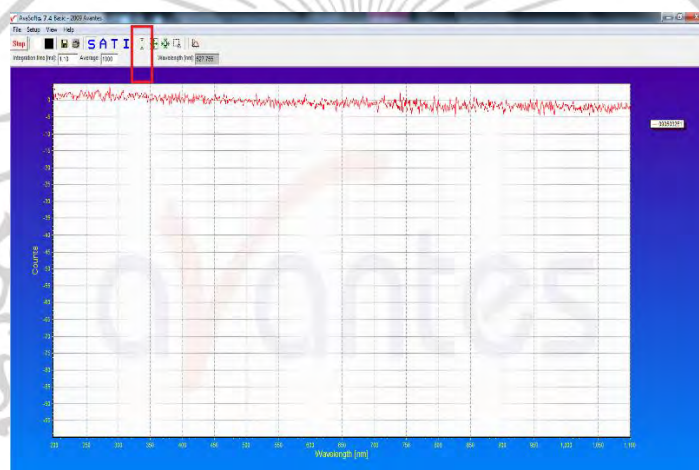
4.2 เลือก S (Scope Mode) บนแถบเมนู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



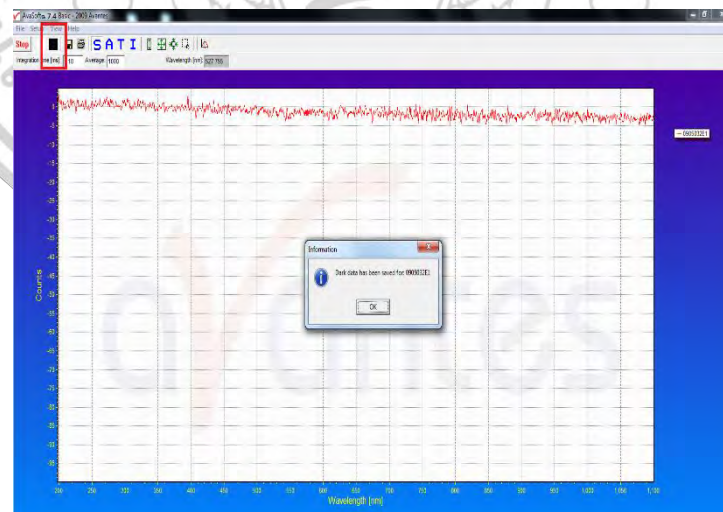
4.3

เลือก



4.4

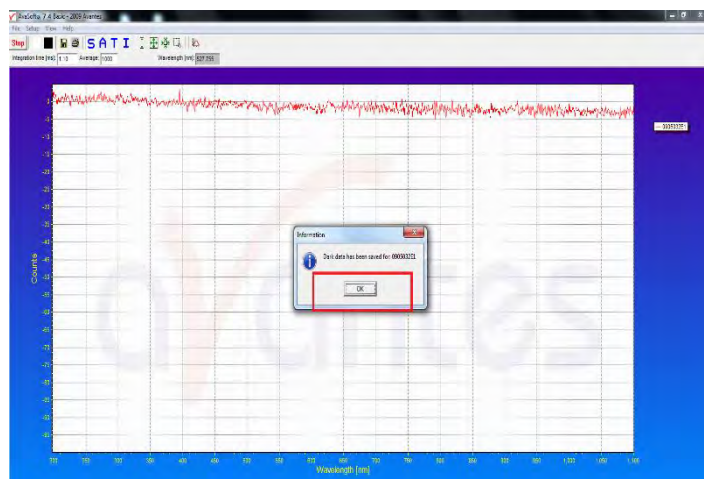
เลือก Save Dark (กล่องสี่เหลี่ยมสีดำ)



4.5

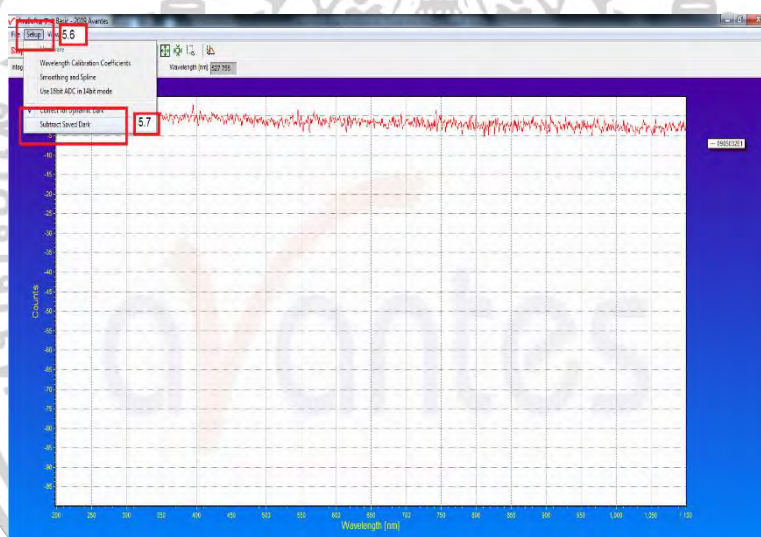
เลือก OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.6 เลือก Setup บนแถบเมนู

4.7 เลือก Subtract Saved Dark



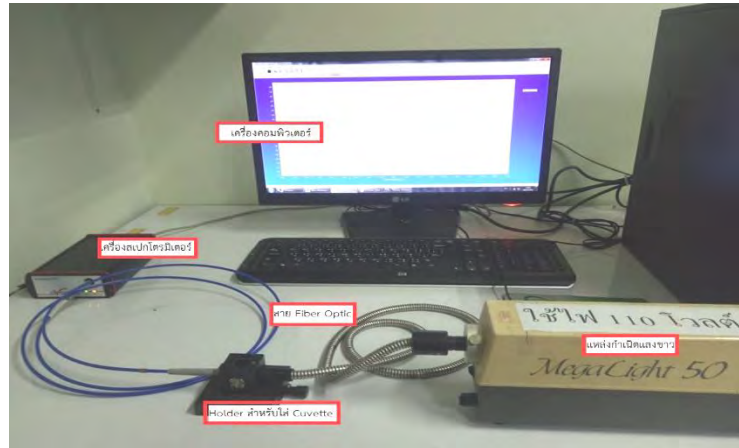
ขั้นตอนที่ 3 ทำการวัดการดูดกลืนและการเปล่งแสง

1. วัดการดูดกลืน

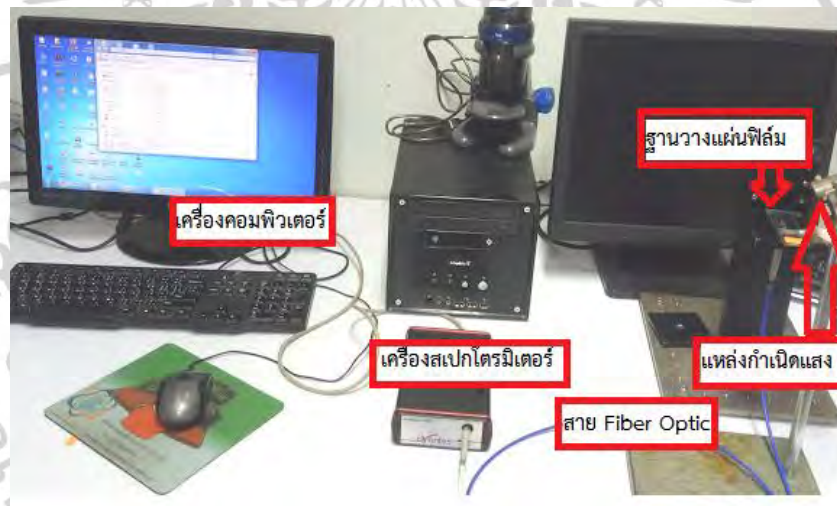
1.1 จัดอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับตัวอย่างที่ต้องการวัดดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.1 ตัวอย่างการวัดแสงสำหรับการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายในคิวเวท

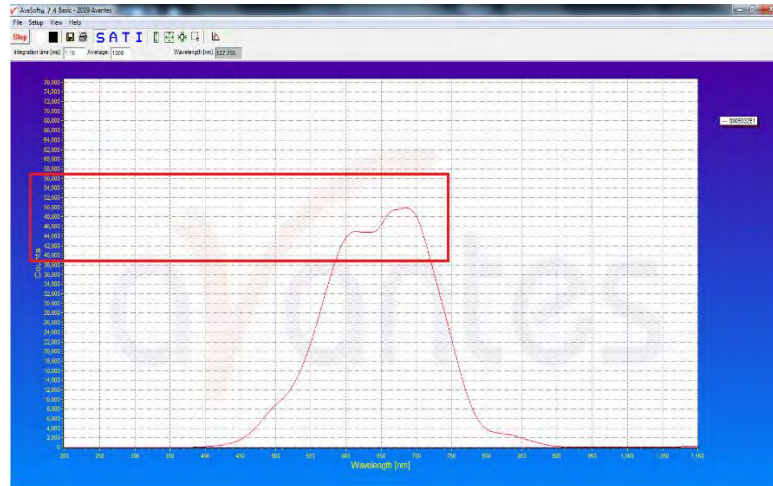


1.1.2 ตัวอย่างการวัดแสงสำหรับการวัดการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง

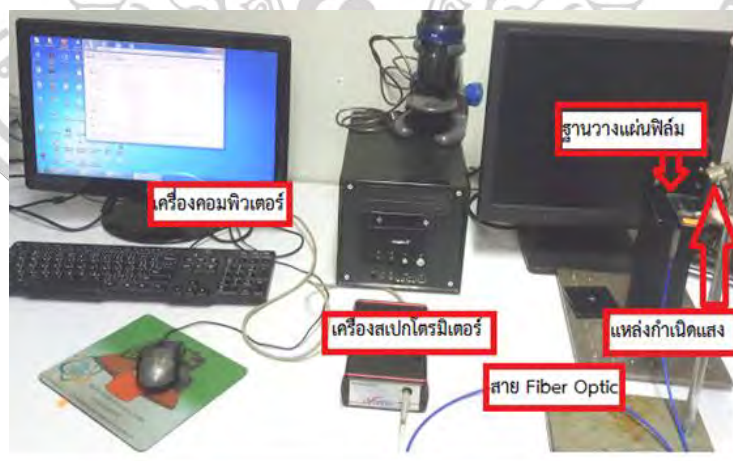
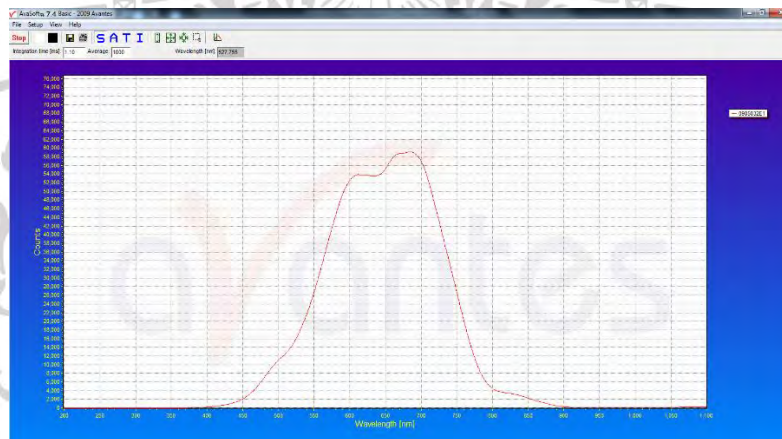


1.2 สำหรับการวัดแสงขาว (วัดโหมด S) โดยการใช้หลอดไฟทั้งสแตนด์ต้องปรับให้มีความเข้มสูงสุดประมาณ 50,000 (ดูที่แกน Y)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

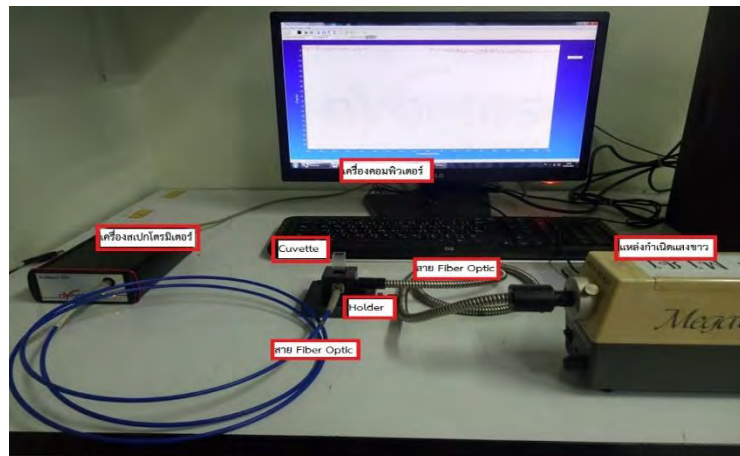


1.3 นำชิ้นงานที่ไม่มีการเจือสารมาวัดค่า blank โดยสังเกตได้ว่าเมื่อวัด blank ความเข้มของสเปกตรัมจะเปลี่ยนไป



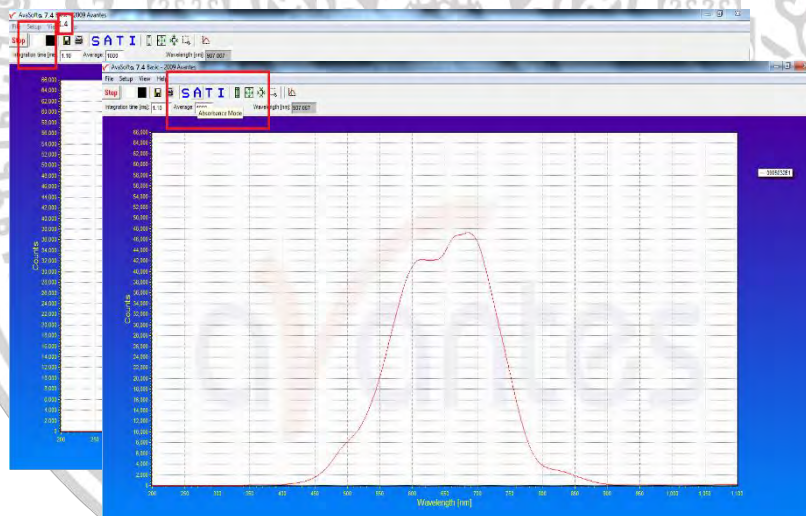
ภาพตัวอย่างการวัด blank สำหรับการวัดการดูดกลืนของสารละลายในคิวเวท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพตัวอย่างการวัด blank สำหรับการวัดการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง

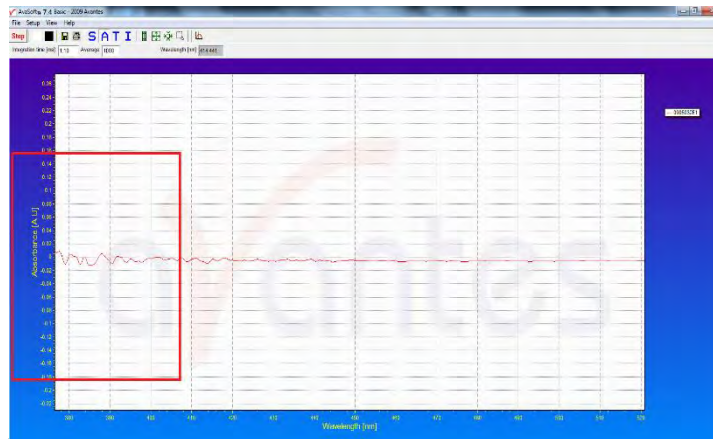
- 1.4 คลิก Save Reference (รูปสี่เหลี่ยมสีขาว)
- 1.5 คลิก OK



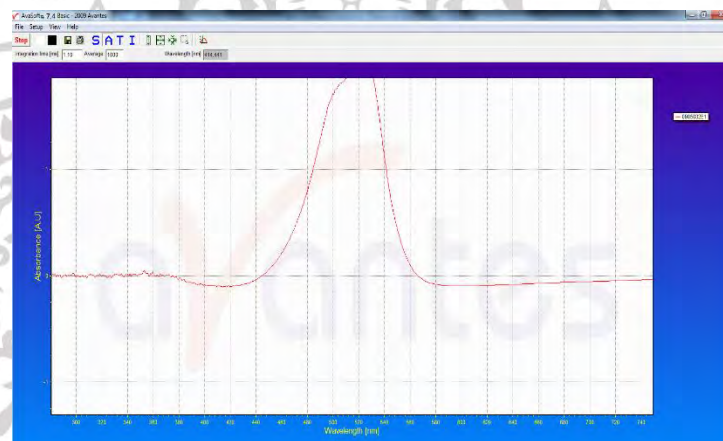
- 1.6 คลิกโหมด A (Absorbance Mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ทำให้สเปกตรัมการดูดกลืนมีความเข้มเท่ากับ 0

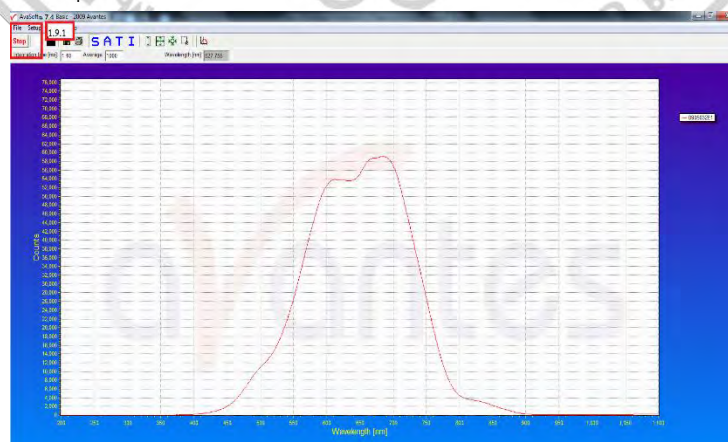


1.8 นำตัวอย่างที่ต้องการวัดใส่แทน blank จะทำให้ได้สเปกตรัมของตัวอย่างนั้น



1.9 ทำการ Save งาน

1.9.1 คลิกที่ปุ่ม Stop

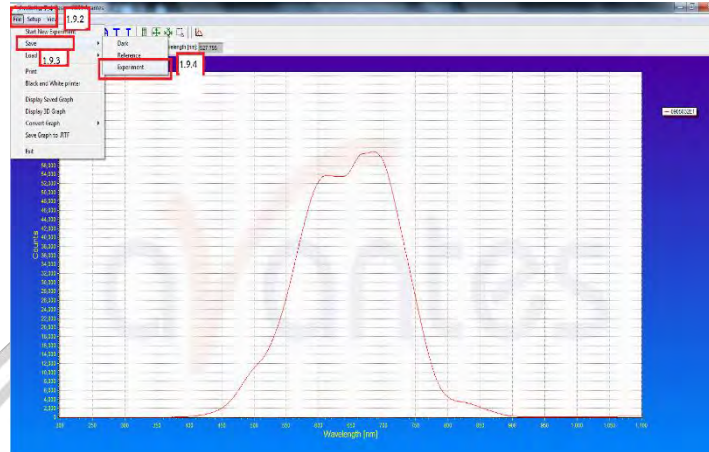


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

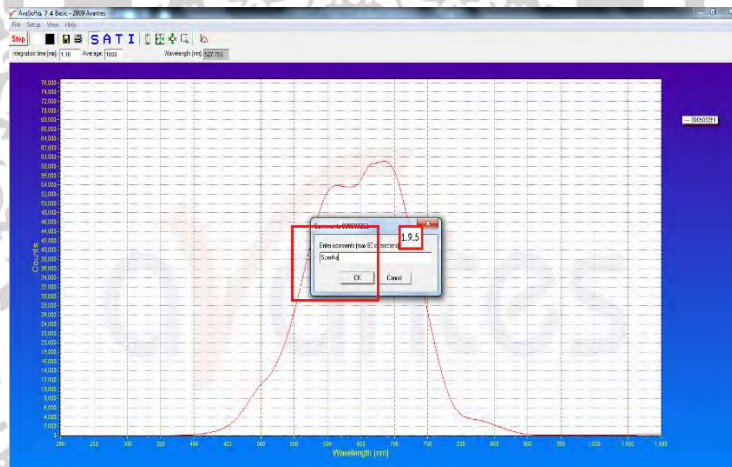
1.9.2 คลิก File

1.9.3 คลิก Save

1.9.4 คลิก Experiment



1.9.5 ทำการตั้งชื่อกราฟ จากนั้น คลิกที่ปุ่ม OK

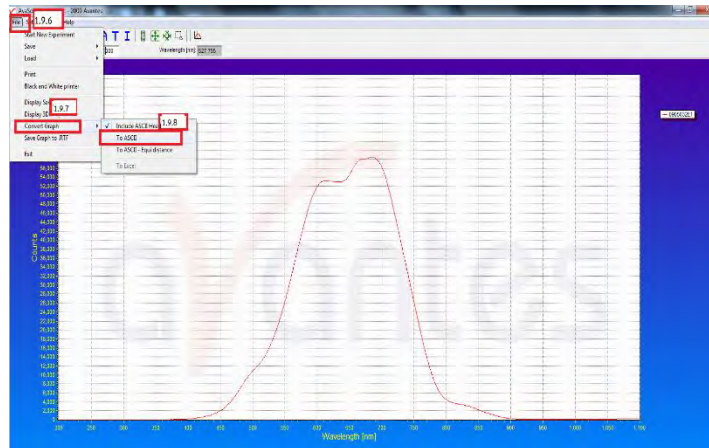


1.9.6 คลิกที่ปุ่ม File

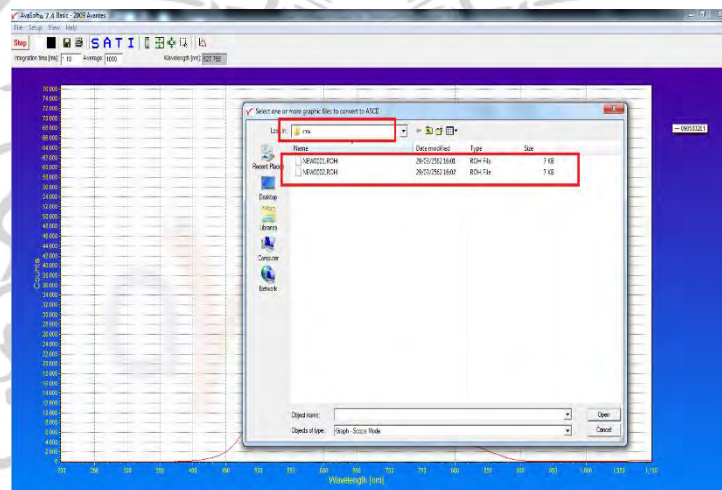
1.9.7 คลิก Convert Graph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

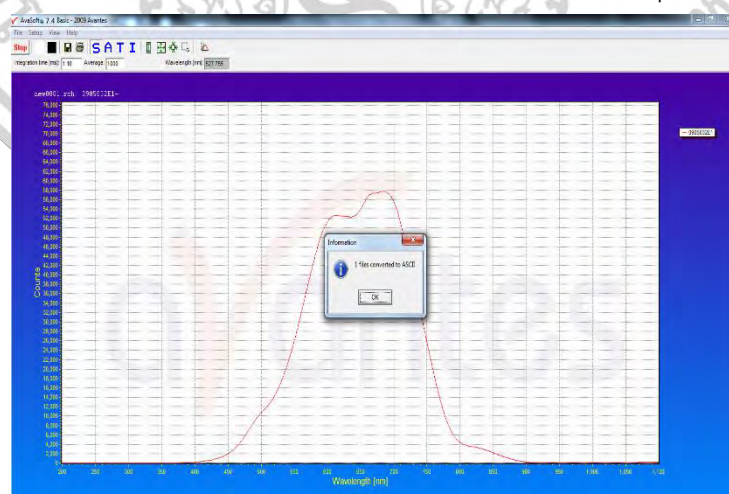
1.9.8 คลิก to ASCII



1.9.9 จากนั้นดูว่าใช้ Folder ที่ตั้งชื่อไว้แต่แรกหรือไม่



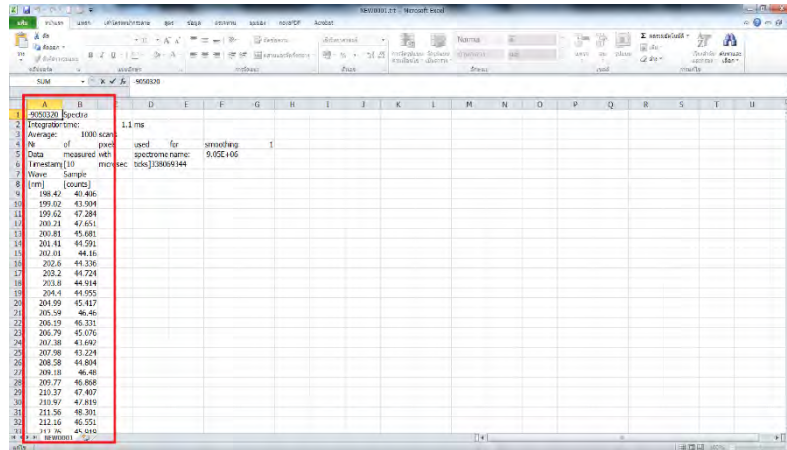
1.9.10 คลิกที่ไฟล์งานที่ตั้งชื่อไว้ จะขึ้นชื่อกราฟที่ตั้งชื่อไว้ จากนั้น คลิก Open > OK



1.10 ทำการเปิดไฟล์งานใน Excel

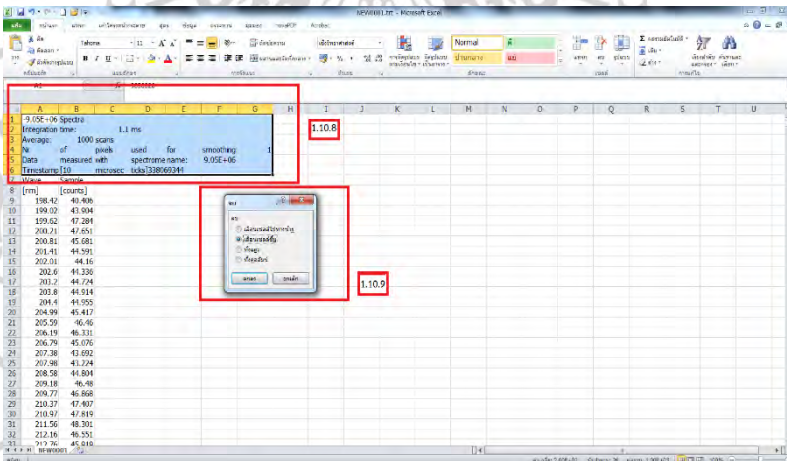
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.10.6 การวัดสเปกตรัมแสงจะมี 2 แกนคือค่าความยาวคลื่นและค่าความเข้มแสง

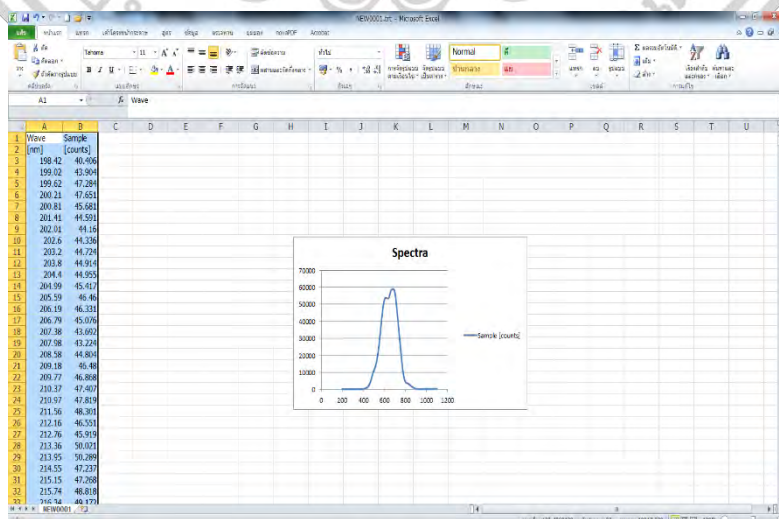


1.10.8 ลบข้อความตัวอักษรที่ไม่จำเป็นออก โดยใช้เมาท์ลากคลุมทั้งหมดตามภาพ

1.10.9 จากนั้นคลิกขวาเลือก เลื่อนเซลล์ขึ้น คลิก ตกลง



1.10.10 จากนั้นทำการสร้างกราฟตามปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดการเปล่งแสง

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดดัชนีหักเหของแสง

Refractometer PAL-RI



Refractometer PAL-RI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ลักษณะของกล่องหรือลักษณะภายนอกกล่อง



2. ตัวเครื่องวัดค่าดัชนีหักเหและรูปร่างภายในกล่อง



3. รายละเอียดเพิ่มเติม

- 3.1 เป็นเครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์ค่าการหักเหของแสง (Refractive Index) โดยสามารถแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การหักเหของแสงได้ในช่วง 1.3306 -1.5284
- 3.2 แสดงผลเป็นตัวเลขไฟฟ้า LCD
- 3.3 ค่าความถูกต้อง 0.0003
- 3.4 วัดตัวอย่างได้ในช่วงอุณหภูมิ 5to 45 ° C
- 3.5 มีระบบชดเชยอุณหภูมิได้โดยอัตโนมัติ (ATC)
- 3.6 มีระบบป้องกันน้ำตามมาตรฐาน IP 65
- 3.7 ใช้เวลาในการวัดแต่ละตัวอย่างประมาณ 3 วินาที
- 3.8 ขนาดสินค้า กว้าง 5.5 cm ยาว 3.1 cm สูง 10.9 cm และน้ำหนักตัวเครื่อง 0.1 กรัม

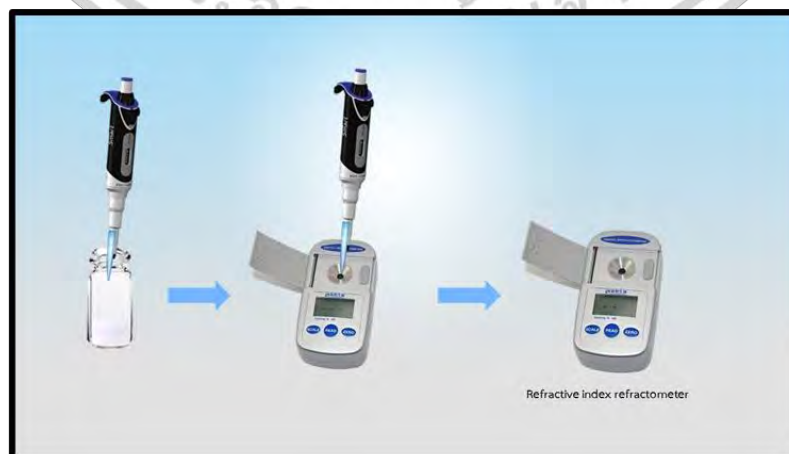
4. แนะนำส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAL-RI



5. เครื่องมือชนิดนี้จะวัดได้ในรูปของสารละลายเท่านั้น
6. ขั้นตอนการวัดค่าดัชนีหักเหของแสงดังนี้
 - 6.1 ใช้ผ้าเช็ดเลนส์ ชุบน้ำกลั่นบริสุทธิ์แล้วเช็ดที่ช่องใส่สารตัวอย่าง
 - 6.2 กดปุ่ม Start เพื่อเปิดเครื่องมือทดลอง
 - 6.3 ใส่สารที่ใช้เป็นสารอ้างอิงลงในช่องใส่สารตัวอย่าง เพื่อใช้เปรียบเทียบกับสารตัวอย่าง
 - 6.4 กด Zero เพื่อตั้งค่าให้เป็นค่าเริ่มต้น เพื่อใช้วัดสารตัวอย่างว่ามีค่าดัชนีหักเหแตกต่างจากเดิม
 - 6.5 ใช้ผ้าเช็ดเลนส์ ชุบน้ำกลั่นบริสุทธิ์แล้วเช็ดที่ช่องใส่สารตัวอย่าง ก่อนใส่สารตัวอย่างทุกครั้ง
 - 6.6 ใส่สารตัวอย่างลงในช่องใส่สารตัวอย่างแล้วกดปุ่ม Start
 - 6.7 อ่านค่าจากจอ LCD ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง/สารตัวอย่าง
 - 6.8 ทำซ้ำจากข้อ 6.5 - 6.7 จนครบทุกตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความหนา

Mitutoyo 547-401 Thickness gauge



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดความหนาของฟิล์มจะใช้เครื่องมือ 547-401 Thickness gauge วัดเพื่อให้ได้ความแม่นยำและน่าเชื่อถือ โดยเครื่องวัดนี้มีค่าความผิดพลาด 0.001 mm มีขั้นตอนการวัดดังนี้



1. เตรียมตัวอย่างสำหรับวัดให้พร้อม
2. เตรียมอุปกรณ์ให้พร้อมโดยกดปุ่มเปิดแล้วรอให้หน้าจอแสดงผลเป็นค่าศูนย์
3. กดคานเพื่อนำตัวอย่างวางไว้
4. เมื่อนำตัวอย่างวางไว้ จะแสดงค่าความหนาในหน้าจอแสดงผล LCD
5. ในการวัดตัวอย่าง ทดลอง 3 ครั้ง/ตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fluorescence Microscope

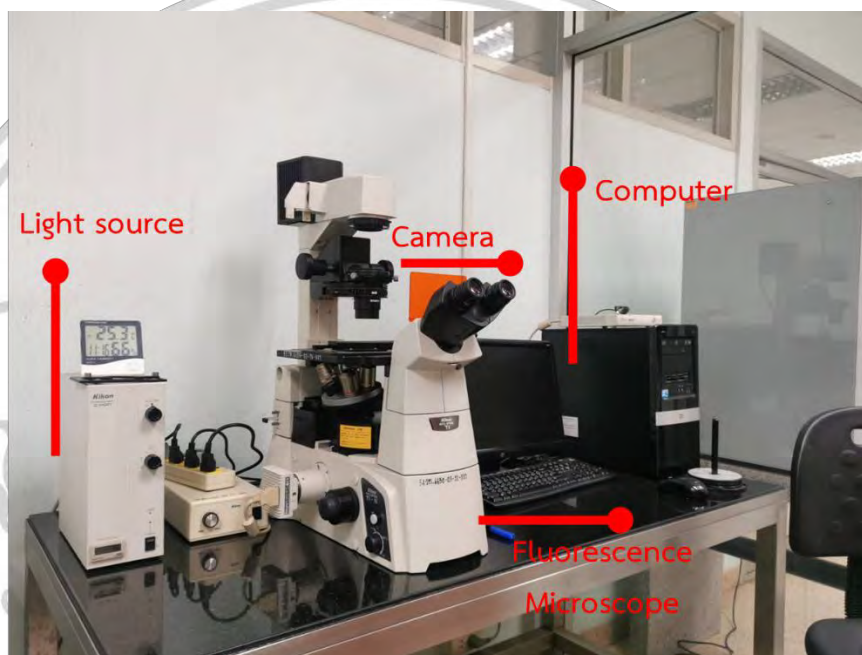
ECLIP TI



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

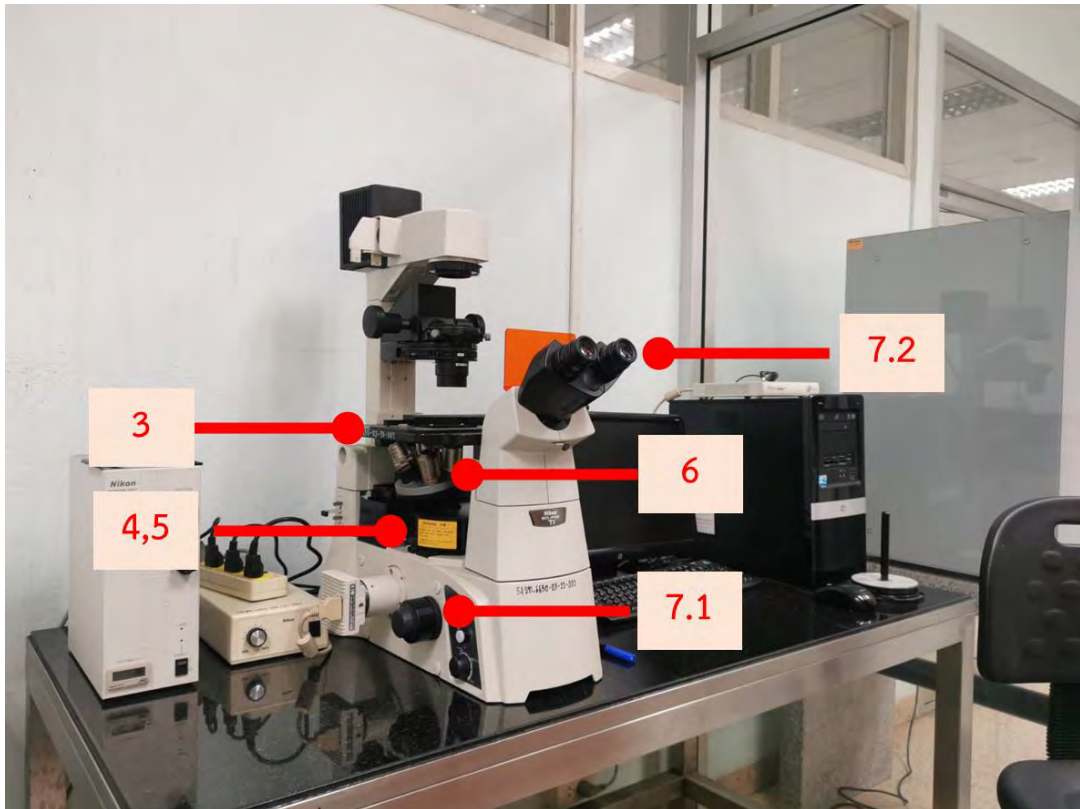
การทดลองการถ่ายภาพเรืองแสงด้วยเครื่องมือ Fluorescence Microscope การทดลองนี้
ทดลอง ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมตัวอย่างสำหรับถ่ายภาพให้พร้อม โดยห้ามมีความชื้น
2. เตรียมอุปกรณ์ให้พร้อม โดยเปิดเครื่อง Fluorescence Microscope และ เครื่องกำเนิดแสงอย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้เครื่องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังไม่ต้องเปิดฟิลเตอร์กรองแสง



3. นำตัวอย่างวางไว้ที่แท่นวางตัวอย่าง
4. เปิดฟิลเตอร์กรองแสงกระตุ้น ที่ UV filter
5. เปิดฟิลเตอร์รับแสงที่เปล่งออกมาจากตัวอย่าง ที่ Red filter
6. ปรับกำลังขยายไปที่ x4
7. ปรับความชัดของภาพ
 - 7.1 ตำแหน่งหมุนความชัด
 - 7.2 โดยสามารถสังเกตได้จากกล้องส่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



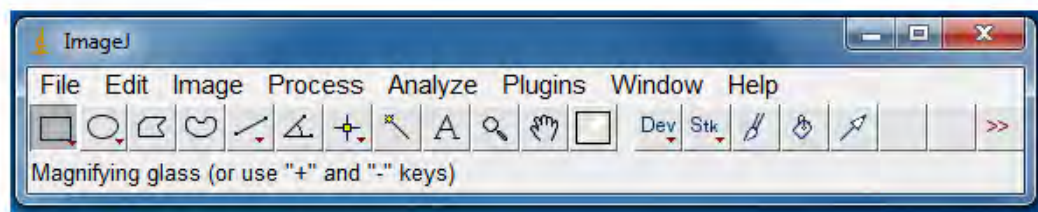
8. เลื่อนแท่นเพื่อเลือกตำแหน่งถ่ายภาพ

9. ถ่ายภาพแล้วบันทึกในโฟลเดอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้โปรแกรม ImageJ

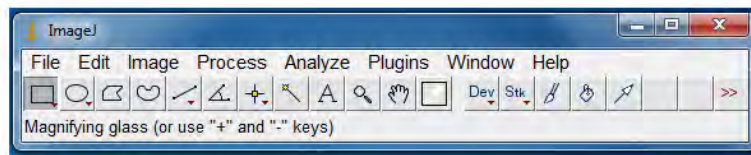


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

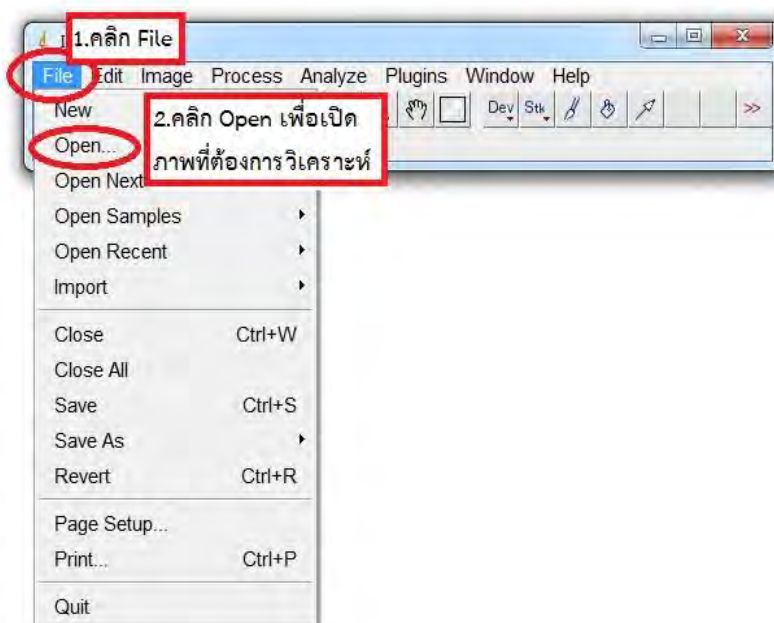
คู่มือการใช้โปรแกรม ImageJ

1. เปิดโปรแกรม ImageJ

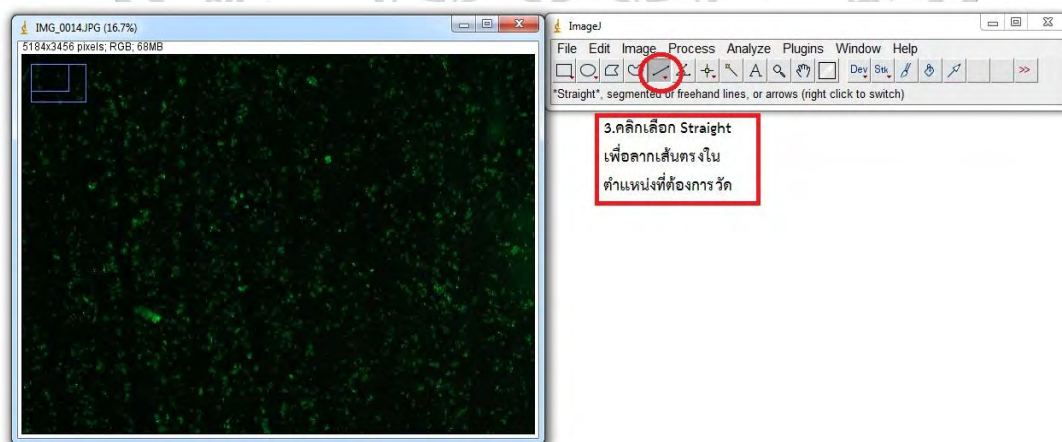
โดยหน้าต่างของโปรแกรม มีเฉพาะส่วนที่เป็นเมนูคำสั่งและไอคอนสัญลักษณ์เครื่องมือวัด



2. เปิดไฟล์ภาพโดยคลิก File > Open เพื่อเปิดภาพที่ต้องการวิเคราะห์

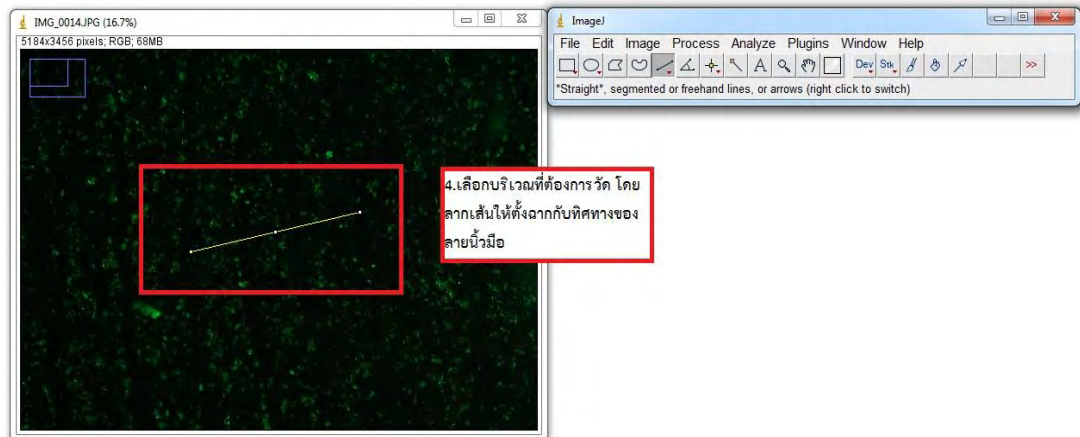


3. เลือกปุ่ม straight tool แล้วใช้เมาส์ลากเส้นตรงตามแนวเส้นตรงในตำแหน่งที่ต้องการวิเคราะห์



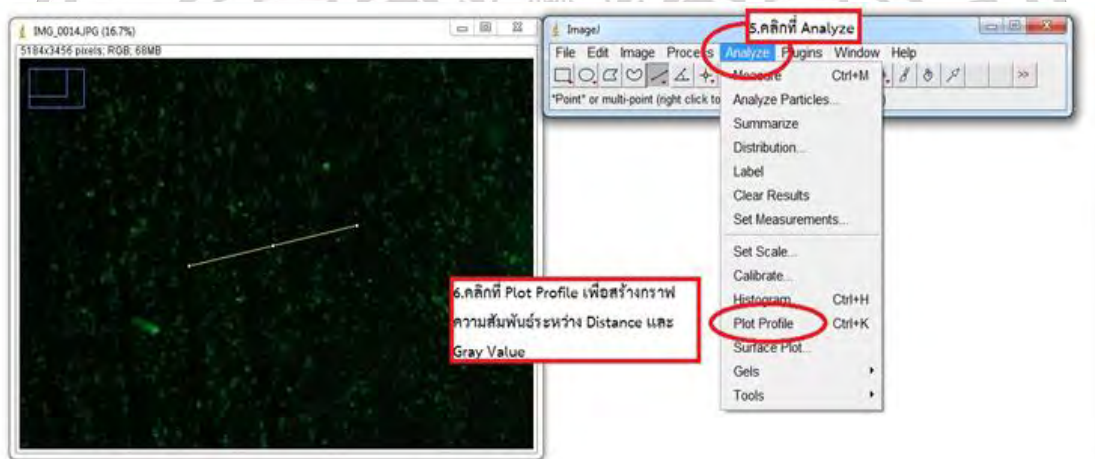
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้เครื่องมือ straight tool เลือกบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์ โดยลากเส้นให้ตั้งฉากกับทิศทางของลายนิ้วมือ

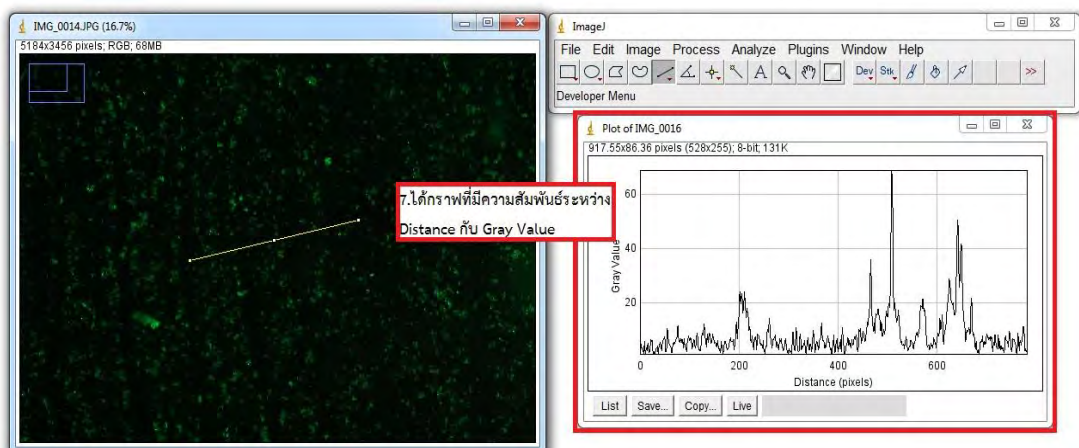


5. คลิกที่ Analyze

6. คลิกที่ Plot Profile เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Distance และ Gray Value

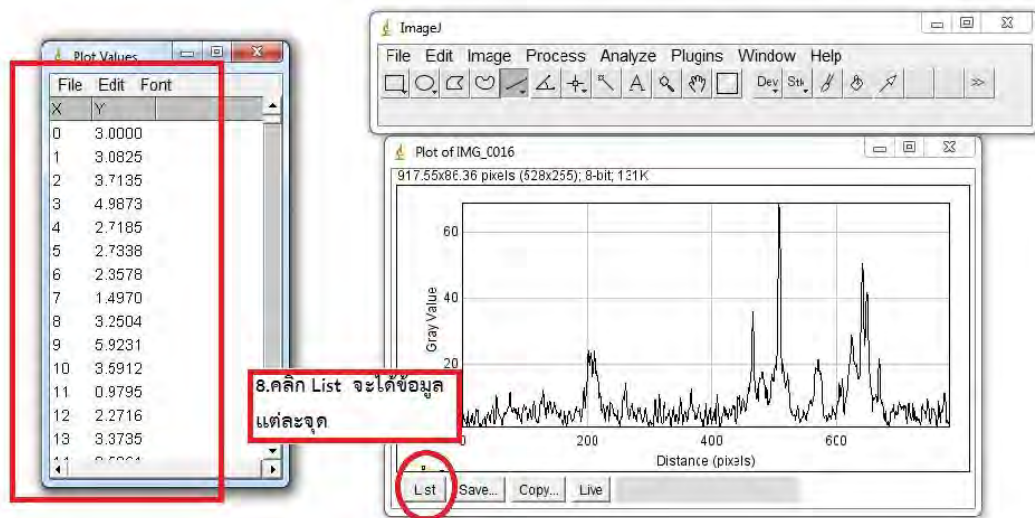


7. จะปรากฏกราฟที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง Distance และ Gray Value



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. คลิกที่ List จะได้ข้อมูลเพื่อไปทำการวิเคราะห์ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วิธีล้างอุปกรณ์

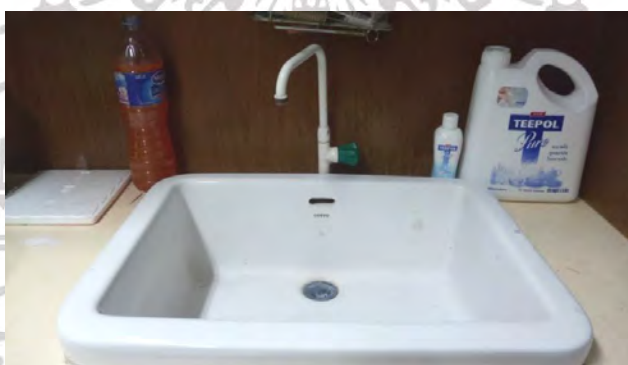
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการล้างอุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 1 ทิ้งสารที่ทำการทดลองลงในขวดหรือของเสียให้ถูกต้องตามสารที่เราใช้งาน โดยห้ามทิ้งสารรวมกับสารอื่นๆ



ขั้นตอนที่ 2 ทำความสะอาดเครื่องแก้วด้วยน้ำยาทำความสะอาด (น้ำยาล้างจาน) แล้วล้างน้ำเปล่าให้สะอาด โดยทำความสะอาดที่อ่าง



ขั้นตอนที่ 3 นำเครื่องแก้วมาล้างอะซิโตน(95) เพื่อขจัดสารเคมีที่ตกค้าง เป็นเวลา 10 นาที โดยเครื่องอัลตราโซนิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 นำเครื่องแก้วมาล้างเอทานอล (95) ต่ออีก 10 นาทีด้วย เครื่องอัลตราโซนิกเช่นเดียวกับการล้างอะซิโตน



ขั้นตอนที่ 5 นำเครื่องแก้วที่ล้างเสร็จมาวางบนผ้าเพื่อรอให้สารเคมีระเหยออกจนแห้ง



หมายเหตุ สำหรับ Cuvett กับ TIP หรืออุปกรณ์พลาสติกไม่ต้องล้างเอทานอลได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Use of zinc to increase fluorescence in an in vitro biofilm model as a tool for caries diagnosis

KITTITUSPONG WICHACHANG AND KITSAKORN LOCHAROENRAT^{*} 

Biomedical Physics Research Unit, Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

*kitsakorn.lo@kmitl.ac.th

Abstract: Artificial sound enamel and caries enamel lesions were prepared. The sound enamel did not emit fluorescence in the visible spectrum. The spectrum of Zn(II)-protoporphyrin-9 biofilm from caries enamel lesions showed the fluorescence emitted by Zn(II)-protoporphyrin-9, with two main peaks at 630 and 690 nm. The luminescence properties of protoporphyrin-9 change depended on the amount of Zn(II). The increase in fluorescence intensity as Zn(II)-protoporphyrin-9 penetrated deeper to 1.75 mm was appropriate for the diagnosis of caries enamel lesions. Fluorescence intensity was maximum when Zn(II) reached 0.0256 μM and significantly produced a high contrast of fluorescence image together with high fluorescence quantum efficiency and photostability.

© 2021 Optical Society of America under the terms of the OSA Open Access Publishing Agreement

1. Introduction

Porphyrins are the organic fluorophore components, which are naturally found in some oral anaerobic bacteria including *Prevotella intermedia*, *Actinomyces naeslundii*, and *Actinomyces israelii*, which could produce the bright-red fluorescence maxima at wavelengths of 635 and 700 nm under UV excitation. Biofilm development results in the dental plaque. The bacterial metabolism products so-called protoporphyrin-9 (PPIX) containing two carboxylic acid substituent groups, further give rise in dissolution of tooth minerals, resulting in the formation of micropores as initial-to-advanced dental caries [1,2]. PPIX fluorescence could therefore predict the maturation of microorganism in dental biofilm. The denser the bacterial colonies, the more intense the fluorescence signal will be. Practically, human dental as anisotropic medium limits distribution of this organic fluorophore, because the observed “red spots” represented PPIX accumulation is not homogeneously distributed over the surface lesions. In addition, the partial staining solution disqualifies PPIX fluorescence for the detection of smooth surface lesions. The stains also remain for some time. To help inform and improve the human dental healthcare, investigations on the developments of dental lesion screening motivate further studies on selective and sensitive substances on the existence PPIX, which deeply enhances the detection of PPIX fluorescence in the dental enamel or even in dentine.

So far, the noninvasive and sensitive imaging as well as spectroscopic methods has gained importance in biomedical applications [3]. As compared with conventional white light diffusion-based detection method, light-induced fluorescence-based detection method with exogenous organic chromophores including 5-aminolevulinic acid (5-ALA) and methyl aminolevulinic acid (MAL), are highly desirable. ALA-PPIX with the high-dose of 0.15 mM ALA emits the PPIX fluorescence in the meningioma [4] and in the low-to-high grade glioma [5], whereas MAL-PPIX at the same dose emits the PPIX fluorescence in the superficial basal cell carcinoma [6]. However, inorganic-induced PPIX with the low-dose to avoid any adverse effects has not been exploited especially for detection of the caries enamel lesions. In addition, there is another factor served as the fundamental limitation of the light-induced fluorescence-based technique. Since the Soret-absorption peak of PPIX (400-500 nm) is 20-30-fold larger as compared to Q-absorption band (500-750 nm), a blue light irradiation within Sorbet band is practically preferred for high

PPIX absorption. However, it induces the PPIX photodecomposition and has a poor penetration depth into the human dental. Thus, based on the light propagation theory, the light scattering of human dental affects the spectra for both fluorescence and diffuse reflectance with respect to path lengths of the collected photons. As such, the measured PPIX fluorescence in human dental is a modulated spectrum, which does not trivially reflect the true concentration of PPIX. One solution is to bound PPIX with the high-diffusible Zn(II) to observe the caries generally bound in the enamel layer of 1-2 mm. The red light and fluorescence radiation are therefore less absorbed and scattered by the enamel caries. In this case, the influence of scattering properties of sample and penetration depth could be neglected at 1-2 mm from the surface imaging system.

To the best of our knowledge, notwithstanding Zn(II) has wide applications in biomedical science [7]; their applications in dentistry are unknown. Zn(II) are therefore proposed as a suitable candidate detection probe in the imaging-guided caries lesions, owing to their strong formation with PPIX in the visible region and high reactivity towards pathogenesis responses. Irradiation Zn(II)-PPIX complexes under UV light would produce the strong and stable emission in the red wavelength regime. Zn(II)-PPIX complexes is also possible to improve the fluorescence intensity, quantum yield, and photostability.

Herein, we chose the beta-tricalcium phosphate to mimic the matter composition of dental enamel, whereas PPIX as a fluorescence medium was utilized to mimic formation of dental biofilm and microbial deposition. Caries lesions classification were controlled through PPIX content along with their underlying mechanism of action, through application of both qualitative (imaging and color) and quantitative (spectroscopy) methods. Fluorescence-based test would confirm the selective and sensitive combination of Zn(II) into the PPIX biofilm-enamel model as an ideal detection probe. Fluorescence characteristics between the healthy enamel model and Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model were clearly differentiated. The limit of detection of Zn(II)-PPIX biofilm in the enamel model was finally determined.

This study is novel because of four reasons. One, PPIX bound with non-organic Zn(II) is used as a novel material and fluorescence probe, achieving the enhance fluorescence for caries observation in the human enamel layer. Two, in comparison to the current organic-induced protoporphyrin-9, the remaining Zn(II) is easily removed through oral rinse after clinical diagnosis and treatment of the caries enamel lesions. Three, our observation is qualitative and quantitative analysis of the caries enamel lesions with help of fluorescence method in place of illumination method, such as digital imaging of fiber optic transillumination. Four, it is possible that on-line Zn(II)-protoporphyrin-9 autofluorescence measurement during the phototreatment would give the readers gain insight into the efficiency of photodynamic therapy in dentistry in the future.

2. Experimental

2.1. Materials

Polymethylmethacrylate (PMMA), zinc ions (Zn(II)), beta-tricalcium phosphate (β -TCP, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), protoporphyrin disodium salt (PPIX, $\text{C}_{34}\text{H}_{32}\text{N}_4\text{Na}_2\text{O}_4$), dichloromethane (DCM), and dimethyl sulfoxide (DMSO), were purchased from Sigma Aldrich, USA.

2.2. Preparation of the dental enamel model

To obtain the dental enamel model, 100 mg of β -TCP was diluted by 1 mL of DMSO and hence sonicated under ultrasonic bath (Model: CMT-50, USA) for 30 min at a room temperature of 25°C according to previous protocol [8]. The prepared solution was added with 200 mg of PMMA in 1 mL of DCM under vortex mixer for 2 min. The 1 mL of colloidal dispersion was dropped on a clean glass slide, using a homemade mold design to increase the evaporation time up to 1 hr. A typical phenomenon related to drying upon drop casting deposition so-called coffee ring effect would induce the accumulation of colloidal suspension at the edge of the drying

solvent. As a result, dental enamel model close to the dried edge typically contained the thicker layers of β -TCP, whereas the dental enamel model around the center was composed of thinner layers of β -TCP.

2.3. Preparation of the PPIX biofilm + enamel model

The 10 μ M of stock solution of PPIX was diluted by DMSO and added with 200 mg of PMMA in 1 mL DCM under vortex mixer for 2 min (Model: GENIE 2; G560E Scientific Industries, USA). PPIX biofilm model was set at 2.5 μ M to be close to *in vivo* concentration, onto the enamel model [9].

2.4. Preparation of the Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model

One of important applications of the fluorescence detection probe was as a fluorescence enhancer, which was normally realized by introducing the artificial defects into a prepared PPIX-biofilm + enamel model. Due to high requirement of fluorescence imaging efficiency in dental diagnostic and treatment, Zn(II) was sufficiently sensitive to the line and point defects. In this respect, 0.82 M of stock solution of Zn(II) was diluted by deionized water. Zn(II) was set no greater than 2.5 mg/mL similar to ZnO, which was safe for normal tissues [10]. After that, Zn(II) was fabricated the line by line or even point by point defects through a drop casting deposition onto PPIX-biofilm + enamel model. The dimension of specimen was 10 \times 10 mm² with different thicknesses of biofilm (0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, and 1.75 mm). If a total thickness of the specimen was maintained at 2.00 mm, the remaining enamel thickness was 1.50, 1.25, 1.00, 0.75, 0.50, and 0.25 mm, respectively. Cocktail sample solution expressed as μ M was detailed in Table 1 and effect of geometrical parameters on the Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model was detailed in Table 2. After 90 min of incubation period, maximum image contrast of each specimen was reached and ready for all tests of the fluorescence intensity and color.

Table 1. Optical properties and color analysis of 2.50 μ M of PPIX-biofilm with difference concentrations of Zn(II). Ratio of thickness of Zn(II)-PPIX biofilm and enamel model is 1 mm:1mm.

Sample#	Zn(II) [μ M]	pH	Absorbance	Absorption intensity	Fluorescence intensity		Integrated fluorescence intensity [a.u.]	Refractive index	Quantum yield [a.u.]	ΔE^*
					Major peak [a.u.]	Minor peak [a.u.]				
A	0.0064	7.20	1.4395 \pm 0.0847	145.3490 \pm 4.1317	36.2924 \pm 3.2713	27.8759 \pm 0.6702	1968.7500 \pm 10.6907	1.3821 \pm 0.0009	0.0636 \pm 0.0018	7.0024 \pm 0.4463
B	0.0128	6.90	1.4920 \pm 0.0519	155.8980 \pm 4.2010	50.6798 \pm 2.4910	31.7240 \pm 0.7473	2964.5000 \pm 9.6810	1.3829 \pm 0.0004	0.0897 \pm 0.0004	8.9659 \pm 0.5421
C	0.0256	6.60	1.5519 \pm 0.0358	165.5570 \pm 3.1952	74.1639 \pm 1.6505	42.0793 \pm 0.8242	5567.3900 \pm 6.2548	1.3851 \pm 0.0010	0.1566 \pm 0.0035	15.1230 \pm 0.3111
D	0.0513	6.30	1.7028 \pm 0.0520	175.5470 \pm 5.1167	69.0600 \pm 2.6789	39.9532 \pm 0.9115	4906.6200 \pm 10.8190	1.3865 \pm 0.0010	0.1215 \pm 0.0060	14.0988 \pm 0.4270
E	0.1025	6.00	2.0131 \pm 0.0829	200.3870 \pm 6.2731	59.0361 \pm 1.7355	35.6428 \pm 0.4555	3898.7700 \pm 10.2018	1.3910 \pm 0.0012	0.0861 \pm 0.0024	13.0297 \pm 0.4152
F	0.2050	5.70	2.4324 \pm 0.0573	247.3460 \pm 2.2155	44.4204 \pm 1.3641	29.5100 \pm 0.4408	2206.8700 \pm 9.5806	1.3999 \pm 0.0015	0.0447 \pm 0.0027	10.2072 \pm 0.3339

2.5. Fluorescence techniques

White light from a tungsten lamp (Model: Megalight-50Hoya-Schott, Japan) was incident on the Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model so that the absorbance spectra were detected with

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2. Optical properties and color analysis of 2.50 μM of PPIX-biofilm with different ratio of thickness of Zn(II)-PPIX biofilm and enamel model. Zn(II) concentration is 0.0256 μM .

Sample#	Thickness of biofilm : enamel	Thickness ratio of biofilm : enamel	Absorbance	Absorption intensity	Fluorescence intensity		Integrated fluorescence intensity [a.u.]	Quantum yield [a.u.]	Image contrast	ΔE^*
					Major peak [a.u.]	Minor peak [a.u.]				
C ₁	0.50 mm :	0.33 :	1.5989	165.0012	65.1124	31.0191	4317.7401	0.1216	19.3110	14.3321
	1.50 mm	1.00	± 0.0012	± 0.0010	± 1.2077	± 1.2455	± 10.0034	± 0.0004	± 0.3040	± 0.0155
C ₂	0.75 mm :	0.60 :	1.6020	165.1499	70.1124	36.0201	4974.9502	0.1398	26.2688	14.5521
	1.25 mm	1.00	± 0.0012	± 0.0022	± 1.1973	± 1.5349	± 9.4375	± 0.0003	± 0.4792	± 0.0246
C ₃	1.00 mm :	1.00 :	1.6072	165.3080	74.6443	42.1664	5771.8799	0.1561	28.9157	15.0022
	1.00 mm	1.00	± 0.0030	± 0.0017	± 1.2895	± 1.6349	± 11.1373	± 0.0032	± 0.5065	± 0.0112
C ₄	1.25 mm :	1.67 :	1.6119	165.4011	80.1653	45.5585	6496.8495	0.1815	35.9940	15.5399
	0.75 mm	1.00	± 0.0022	± 0.0018	± 1.2349	± 1.0623	± 11.1877	± 0.0004	± 0.0965	± 0.0273
C ₅	1.50 mm :	3.00 :	1.6163	165.5098	85.1772	51.1533	7274.7407	0.2026	40.1272	15.8711
	0.50 mm	1.00	± 0.0016	± 0.0025	± 1.6429	± 1.2356	± 10.4531	± 0.0004	± 0.3296	± 0.0121
C ₆	1.75 mm :	7.00 :	1.6189	165.6066	90.1762	55.1924	8069.0010	0.2244	44.6970	16.2216
	0.25 mm	1.00	± 0.0012	± 0.0016	± 1.9884	± 1.1619	± 14.1417	± 0.0003	± 0.3545	± 0.0324

UV-Vis spectrometer (Model: AvaSpec-ULS2048 Avantes, USA). After that, UV light was used in studying the component of fluorescence band of the specimen. The UV light with the excitation wavelength of 400 nm, which corresponded to the excitation wavelength of PPIX, was incident at a right angle on the specimen. Fluorescence maximum at wavelength of 630-660 nm of Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model as compared with the standard dental enamel model (control) was detected and recorded by the same spectrometer. The experiments were conducted in triplicate. All data were analyzed by one-way ANOVA test ($p < 0.001$). All specimens had the same color at the start of the interventions to mimic the human dental.

Dependence of the peak fluorescence intensity on Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model prepared at five thickness ratios of Zn(II)-PPIX biofilm and enamel model, 0.33, 0.60, 1.00, 3.00, and 7.00, was carried out. A polynomial plot was injected in triplicate. The resulting fluorescence peak (y) versus thickness ratio (x) was hence plotted and treated by least squares method of non-linear regression for determination of the limit of detection (LOD) according to Ref. [11].

If we defined that Q_{REF} is the quantum yield of the reference PPIX, n is the refractive index of the biofilm, I and A are the integrated fluorescence intensity and absorbance peak, respectively, the fluorescence quantum yield of Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model (Q) is calculated by [11]

$$Q = Q_{REF} = \frac{I}{A} \cdot \frac{A_{REF}}{I_{REF}} \cdot \left(\frac{n}{n_{REF}} \right)^2 \quad (1)$$

All specimens were kept in dark to avoid 400 nm excitation from the ambient light prior to detect the fluorescence imaging (Model: Nikon eclipse Ti5, Japan). The specimen was excited under UV light (Model: Nikon C-HGFI, Japan). A customized optical filter was designed to match the excitation and emission profiles of PPIX molecules. A charge-coupled device camera subsequently captured the high contrast fluorescence image emitted by Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model. If NA is the numerical aperture and λ is the wavelength, the resolution of fluorescence imaging (R) is calculated by [12]

$$R = \frac{0.5\lambda}{NA} \quad (2)$$

Substituting $NA = 0.95$ and $\lambda = 400$ nm into Eq. (2), the resolution of this method was 210 nm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6. Colorimetric technique

Coloration of Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model was identified by a colorimeter (Model: NR200 3NH, Hong Kong). According to CIE $L^*a^*b^*$ system, three-coordinate value ($L^*a^*b^*$) was present, in which L^* axis demonstrates the degree of lightness/darkness in a range of 0-100 (black-to-white), a^* axis represents the angle of green/red, and b^* axis refers between blue and yellow. The baseline of color is measured over the standard dental enamel model (control). The degree of color variation is calculated via the variations of the three values: ΔL , Δa , and Δb , as [8]

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}. \quad (3)$$

3. Results

3.1. Fluorescence spectra

Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model shows a strong Sorbet centered at 400 nm with varying the concentrations of Zn(II) as shown in Fig. 1. The spectrum of pure PPIX is employed as a reference system. The absorbance of all samples is proportional to the concentration of Zn(II) according to Beer-Lambert's law [11]. In the fluorescence spectrum as seen in Fig. 1(a), a blue shift of about 30 nm occurs due to the increase of Zn(II) ions from Sample# A to C. This shift is due to the entry of Zn(II) into the porphine core of PPIX and their binding [13]. This binding increases the quantum efficiency of the fluorescence of each PPIX molecule, which is responsible for the increase in the fluorescence intensity of sample# C. However, after 0.0256 μM of Zn(II), the binding saturates, and Zn(II) ions begin to be present in the enamel. The increase in absorbance from sample# D to F might be due to this increase in Zn(II) ions. The absorption of excitation light by these Zn(II) ions reduces the number of photons available to excite the bound Zn(II)-PPIX. It is therefore considered that the number of photons decrease from sample# D to F in the fluorescence spectrum. The sharp edge on the short wavelength side at 500 nm is caused by the cut-off below 500 nm of the optical long pass filter in front of the UV-Vis spectrometer. In this regard, the measured quantum yield is 0.0447-0.1566 when a ratio of thickness of Zn(II)-PPIX biofilm and enamel model is maintained at 1 mm:1 mm. The optimal concentration ratio of Zn(II) and PPIX is 0.0256:2.5 = 1:100. With increase in Zn(II)-PPIX biofilm:enamel thickness ratio from 0.33:1 to 7.00:1 by keeping the amount of Zn(II) and PPIX constant as shown in Fig. 1(b), a periodic enhancements of the absorption and fluorescence intensities are observed, whereas the fluorescence quantum yield of Sample# C₁-C₆ is significantly improved at 0.1216-0.2244, >3 times greater than that of Sample# A and B. These ratios are important parts for detecting the enamel caries and caries lesion depth is able to estimate in the diagnostic process. During the caries decay process under acidic conditions (pH=6.60), β -TCP in the enamel at biofilm-enamel interface is partially dissolved to form Ca^{2+} ions [14]. These ions tend to infiltrate through the entire depth of Zn(II)-PPIX with increasing biofilm thickness [15]. Therefore, it is possible that the presence of free calcium ions together with Zn(II)-PPIX leads to increase in the fluorescence intensity from sample# C₁ to C₆ [16].

3.2. Fluorescence imaging

The dotted lines are a boundary between the enamel model and Zn(II)-PPIX biofilm model observed from the z-direction. Dental enamel model and Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model observed in the upper (z) direction show the different red fluorescence colors under UV excitation as seen in Fig. 2(a) with their corresponding modeling geometry as seen in Fig. 2(b). It is noted that width, length, and thickness of the samples that mimic the enamel in the x-, y-, and z-direction are 10, 10, and 0-2 mm, respectively. Dental enamel model does not emit any fluorescence color on a white background. However, it is seen that there is a relationship between Zn(II)-PPIX fluorescence color and Zn(II)-PPIX biofilm thickness. There is an increase in the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

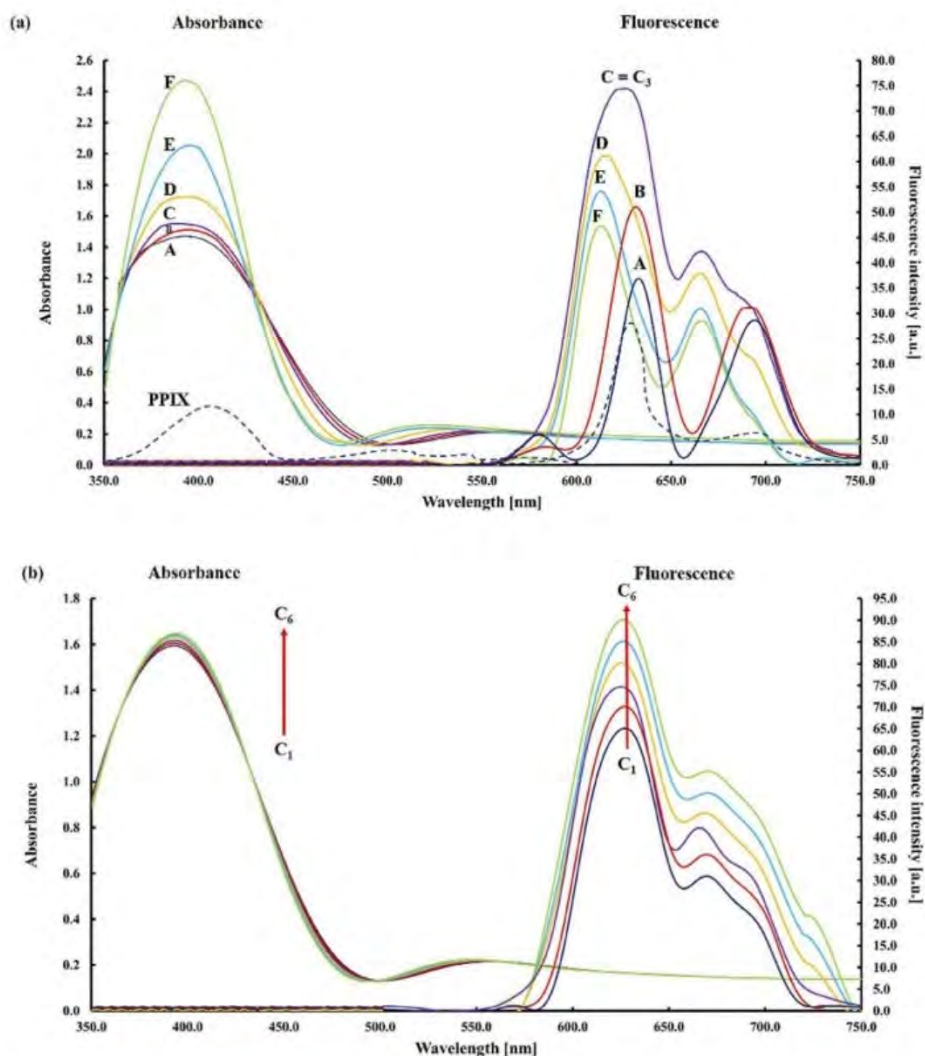


Fig. 1. (a) Correlation between the absorbance and fluorescence emission spectra of Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model to stepwise addition of Zn(II). Spectrum of PPIX alone is used as a reference system. Zn(II)-PPIX has two peaks in the absorbance spectra. The blue band is markedly larger as compared to the absorbance band at 500-550 nm. Excitation is provided near wavelength of 400 nm. A, B, C, D, E, and F represent 0.0064, 0.0128, 0.0256, 0.0513, 0.1025 and 0.2050 μM of Zn(II), respectively with constant concentration of 2.50 μM of PPIX. (b) Absorbance and fluorescence spectroscopic responses of Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model to stepwise of addition of Zn(II)-PPIX biofilm thickness. C₁, C₂, C₃, C₄, C₅ and C₆ represent thickness ratio of Zn(II)-PPIX biofilm:(enamel = 1), 0.33, 0.60, 1.00, 1.67, 3.00, and 7.00, respectively, with constant content of Zn(II) = 0.0256 μM and PPIX = 2.50 μM . Total thickness of specimen is kept constant at 2 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

red fluorescence color as the thickness of sample increases from Sample# C₁ to C₆ and it is maximal at Sample# C₆, conforming to the results from the fluorescence intensity in Fig. 1(b). In this respect, caries enamel lesions are therefore divided into two sets for the assessment of sensitivity and selectivity. That is, Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model of Sample# C₁-C₃ illuminates the weaker red fluorescence than that of Sample# C₄-C₆, due to the presence of Zn(II)-PPIX fluorophore with smaller density. Therefore, Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model with Zn(II)-PPIX biofilm: enamel thickness ratio of less than 1 (C₁ and C₂) is classified as the benign-like enamel lesions, whereas Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model with biofilm: enamel thickness ratio of higher than 1 (C₄-C₆) is classified as the malignant-like enamel lesions.

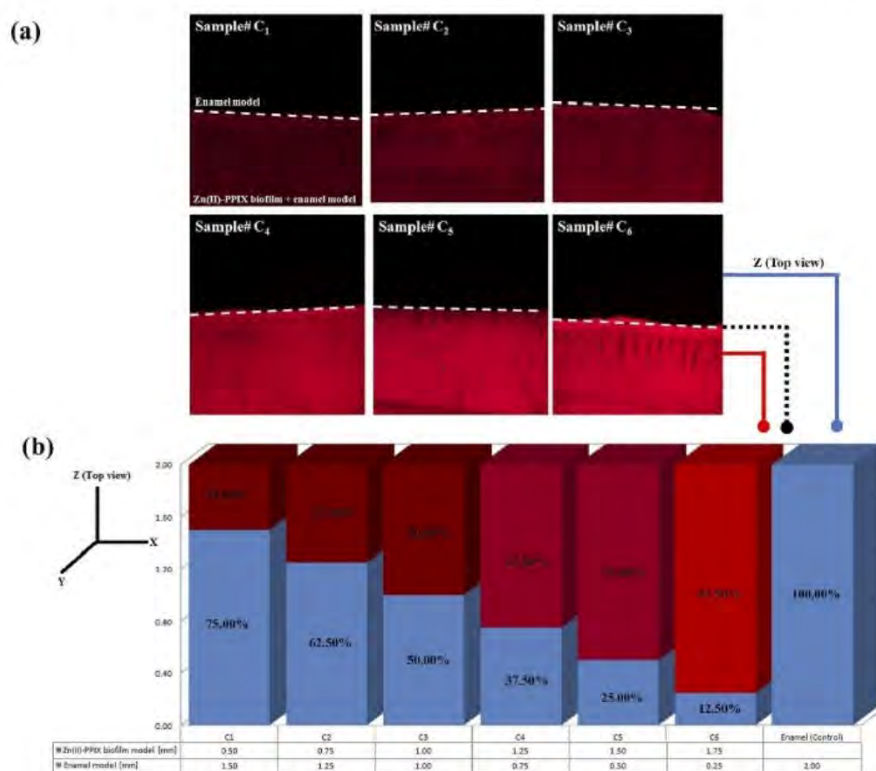


Fig. 2. (a) Fluorescence imaging of the enamel model (control) and Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model observed from the z-direction. The dotted lines are a boundary between the enamel model and Zn(II)-PPIX biofilm model. (b) Modeling geometry of the enamel model and Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model. Width, length, and thickness of the samples that mimic the enamel in the x-, y-, and z-direction are 10, 10, and 0-2 mm, respectively.

4. Discussion

4.1. Limit of detection

Fluorescence peak intensity versus the ratio of Zn(II)-PPIX biofilm and enamel model at a given concentration of Zn(II) (0.0256 μ M) and PPIX (2.5 μ M) indicates a non-linear regression line for the caries enamel lesions characteristics (Fig. 3). There is an increase in the fluorescence intensity as the ratio of biofilm to enamel model increases from Sample# C₁ to C₆ and it is maximal at Sample# C₆. The optimal concentration ratio of Zn(II) and PPIX is 0.0256:2.5 = 1:100. The

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

concentration of ZnO at this level is suggested no effect on the real dental enamel as long as it does not go over 0.15-3.06 mM [10,17]. The dose of Zn(II) under our study is also smaller than that of ALA and MAL [4–6]. Although the experimental model is simplified and controlled to refrain from interferences, the real human enamel specimen would be carried out to verify the relevance in a broad clinical future view. Nonlinear least-squares fit of major (y_1) and minor peaks (y_2) of fluorescence of the specimens are estimated as $y_1 = -10.6930x + 63.5829$ and $y_2 = -10.6400 + 29.8430$, respectively, where x is Zn(II)-PPIX biofilm: enamel thickness ratio. Substituting uncertainty constant ($k = 3$), slope ($a = 10.6930$ for y_1 and 10.6400 for y_2), SD (1.4268 for y_1 and 1.3125 for y_2), $n = 3$, and readout resolution (0.01), the detection limit for y_1 and y_2 are 0.2311 and 0.2137, respectively. Mean value of the limit of detection is therefore used for prediction of caries enamel lesions of no later than 0.25 mm in depth above 1.75 mm the dental enamel model (total thickness of specimen is kept constant at 2.00 mm). The layer of dental enamel is kept constant at 2.00 mm with two reasons. One, based on the acidogenic theory (Miller's theory) of dental caries, there is the interplay between the mineral contents of the dental enamel and dental caries. Enamel layer acts as a filtering membrane allowing the transition of any substances from the exterior to the interior. Enamel contains about 4% water and organic molecules, allowing the flow of PPIX, and then giving rise to disintegration of the organic matter and posteriorly conditioning demineralization of β -TCP component. These enamel areas with disintegration of the organic material, the existence of superficial cavitation, and large structural defect such as cracks, which are rich in organic material, could facilitate the penetration of PPIX into deep areas of the dental enamel [18]. Two, since the light fluence rate at the end of enamel layer is over 95% of the value on the enamel surface, at the depth of 1-2 mm, the excited light could completely penetrate into the enamel model's area for stimulation, whereas the emission light could escape to the enamel surface for the fluorescence detection. However, the photons are almost completely absorbed at the depth of 3-7 mm. After absorbing the excited light, PPIX fluorophore makes fluorescence photons more possible to propagate uniformly and multi-directionally. PPIX emits more fluorescence photon along a given depth in the dental enamel. The light multiple scattering is a main optical parameter in determining the light propagation and fluorescence distribution inside the dental enamel (thickness = 1-2 mm) and dentin (thickness = 3-7 mm) [19]. According to the scattering coefficient of β -TCP in enamel ($\mu_s = 5-25 \text{ mm}^{-1}$) and tubules in dentine ($\mu_s = 100-140 \text{ mm}^{-1}$) [20], the photon density of both diffusion transportation of excited light (400 nm) and following intrinsic fluorescence (630-660 nm) tend to extensive decay with the depth increment corresponding to the increase of scattering coefficient from dental enamel to dentine. Therefore, this test might fail at depths >2 mm, in part due to loss of the aforementioned fluorescence signal. The performance might be significantly enhanced using the stronger light source, such as high-power laser, and more sensitive camera, such as electron-multiplying CCD. Both options are currently being pursued.

The potential impact of Zn(II)-PPIX photodecomposition is also tested. It is verified that the total signal loss due to photodecomposition during the selected integration time (10-500 ms, a step of 10 ms) in photostability of Zn(II)-PPIX response is in any case below 10%. Assuming that the actual measurement period (when Zn(II) in contact with the PPIX biofilm-enamel model) does not have to be longer than 1 sec to get a sufficient fluorescence signal. Therefore, photodecomposition should not be a limiting factor, even if repeated light exposure is considered.

4.2. Fluorescence imaging

In Fig. 4(a), a gray value in a range of 0-50 (darkness-to-brightness) represents the intensity or brightness of the samples. This intensity distribution is observed in the same optical configuration as in Fig. 2 (z-direction). The dotted lines are confirmed as a boundary between the enamel model and Zn(II)-PPIX biofilm model as illustrated in Fig. 2(a). Notably high emission intensity at wavelength of 630 nm under UV excitation is correlated with Zn(II)-PPIX distribution in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

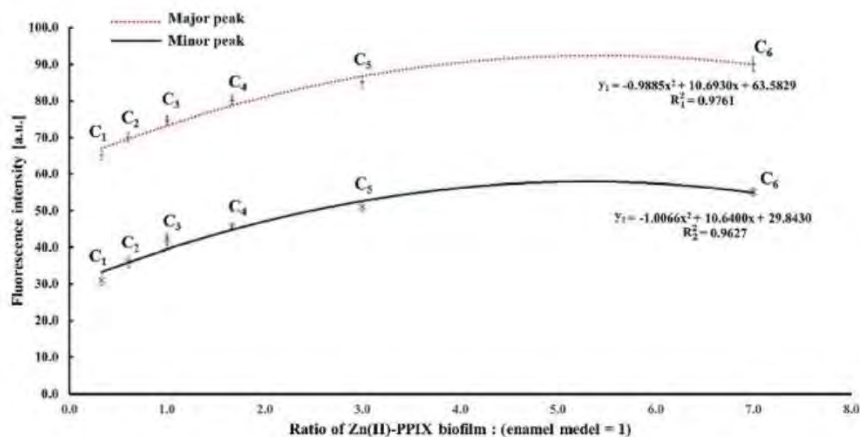


Fig. 3. Non-linear regression line for prediction of location and boundary of caries enamel lesions from Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model. The fluorescence intensity is observed in the same optical configuration as in Fig. 2 (*z*-direction). The vertical axis shows the fluorescence intensity, the horizontal axis shows the ratio of biofilm to enamel model, and the orange and blue plots show the fluorescence intensity of the major and minor peaks at each ratio of biofilm to enamel model, respectively. The orange point curve and the blue point curve are the least square fitting of the major and minor peak fluorescence intensities, respectively.

the UV-illuminated area of Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model. In the human enamel layer of 1-2 mm, it is possible that the exogenous application of 0.0256 μM of Zn(II) solution to human dental (by several routes, such as instillation and ointment), induces an enhancement of fluorescence intensity, leading to the high subjective fluorescence image contrast. Zn(II) presumably further facilitates the transportation of PPIX through the diffusion and selective accumulation, into the enamel model.

Stokes shift (30 nm) of Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model is a great advantage for fluorescence imaging, because a small Stokes shift causes a small measurement error due to noise from the excitation and scattered light. Since Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model emits at relatively long wavelength, overlapping caused by absorption and autofluorescence by PPIX molecules is reduced, potentially facilitating the transportation of PPIX fluorescence at deeper penetration in the enamel model.

In Fig. 4(b), with increased accumulation of Zn(II)-PPIX complexes, this test improves the degree of color variation (ΔE^*) correlated with the fluorescence image contrast. The better the image contrast caused by Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model, the more detailed information about discriminating different sample structures between enamel model (control) and Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model are gained.

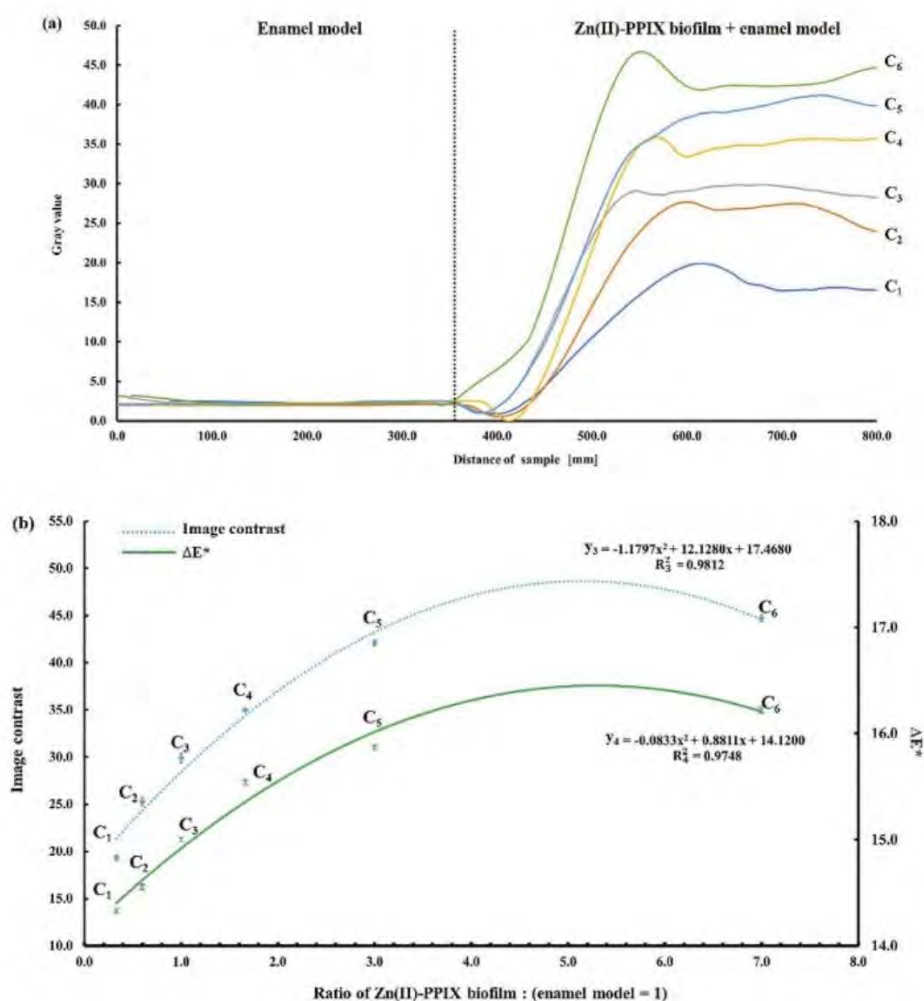


Fig. 4. (a) Gray value of Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model in a range of 0-50 (darkness-to-brightness) represents the intensity or brightness of the samples. This intensity distribution is observed in the same optical configuration as in Fig. 2 (z-direction). The dotted lines are confirmed as a boundary between the enamel model and Zn(II)-PPIX biofilm model as illustrated in Fig. 2(a). (b) Fluorescence image contrast and the degree of color variation (ΔE^*) of Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model.s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Conclusions

Application of both qualitative (fluorescence imaging) and quantitative (UV-Vis spectroscopy and colorimeter) methods offered a full understanding about the fluorescence enhancement of caries enamel lesions through Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model. When Zn(II)-selective binding units were attached to PPIX biofilm-enamel model, the developed PPIX biofilm-enamel model showed the unique optical performance characteristic of Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model in a comparison to a standard enamel model. Under the UV light source, fluorescence spectra of PPIX biofilm-enamel model at the different concentrations of Zn(II) were measured and the optimum dose of Zn(II) was then determined. Fluorescence maxima at wavelengths of 630 and 690 nm corresponded to the emission peaks of Zn(II)-PPIX complexes. Fluorescence imaging experiments showed that Zn(II) generated the excellent image contrast of the lesions-to-healthy enamel through fluorescence activation in PPIX-biofilm sites, which offered the information of location and boundary of caries enamel lesions. Our fluorescence detection probe confirmed a potential strategy for imaging-guided dental caries in Zn(II)-PPIX biofilm + enamel model.

Funding. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (2564-02-05-016).

Acknowledgments. The authors thank Prof. Pattareeya Damrongsak from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for providing some instruments. This research was funded by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand (grant number 2564-02-05-016).

Disclosures. The authors declare no conflicts of interest.

Data availability. Data underlying the results presented in this paper are not publicly available at this time but may be obtained from the authors upon reasonable request.

References

1. D. Bakhtmutov, "Fluorescence spectroscopy of dental calculus," *Laser Phys. Lett.* **7**(5), 384–387 (2010).
2. University of Wisconsin-Madison, "The normal bacterial flora of humans," (2021), <https://www.textbookofbacteriology.net/>.
3. M. C. Morris, *Fluorescence-based Biosensors: From Concepts to Applications* (Academic Press, 2012).
4. P. A. Valdes, K. Bekelis, B. T. Harris, B. C. Wilson, F. Leblond, A. Kim, N. E. Simons, K. Erkmens, K. D. Paulsen, and D. W. Roberts, "5-Aminolevulinic acid-Induced protoporphyrin IX fluorescence in meningioma: Qualitative and quantitative measurements in vivo," *Neurosurgery* **10**(1), 74–83 (2014).
5. L. Alston, L. Mahieu-Williams, M. Hebert, P. Kantapareddy, D. Meyronet, D. Rousseau, J. Guyotat, and B. Montcel, "Spectral complexity of 5-ALA induced PpIX fluorescence in guided surgery: a clinical study towards the discrimination of healthy tissue and margin boundaries in high and low grade gliomas," *Biomed. Opt. Express* **10**(5), 2478–2492 (2019).
6. R. M. Valentine, S. H. Ibbotson, T. A. Brown, K. Woody, and H. Moseley, "A quantitative comparison of 5-aminolaevulinic acid- and methyl aminolaevulinate-induced fluorescence, photobleaching and pain during photodynamic therapy," *Photochem. Photobiol.* **87**(1), 242–249 (2011).
7. T. Ishida, "Review on the role of Zn²⁺ ions in viral pathogenesis and the effect of Zn²⁺ ions for host cell-virus growth inhibition," *AJBSR* **2**(1), 28–37 (2019).
8. N. Lertsukprasert and K. Locharoenrat, "Efficiency of tooth bleaching agent on staining and discoloration characteristics of nicotine stained dental enamel model," *BMC Oral Health* **20**(1), 221 (2020).
9. J. Fyrestam, N. Bjurshammar, E. Paulsson, A. Johannsen, and C. Ostman, "Determination of porphyrins in oral bacteria by liquid chromatography electrospray ionization tandem mass spectrometry," *Anal. Bioanal. Chem.* **407**(23), 7013–7023 (2015).
10. S. Pairoj, P. Damrongsak, B. Damrongsak, N. Jinawath, R. Kaewkhaw, C. Ruttanasirawit, T. Leelawattananon, and K. Locharoenrat, "Antitumor activities of carboplatin-doxorubicin-ZnO complexes in different human cancer cell lines (breast, cervix uteri, colon, liver, and oral) under UV exposition," *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology* **49**(1), 120–135 (2021).
11. K. Locharoenrat, *Linear and Nonlinear Optics: Materials, Properties and Applications* (Jenny Stanford, 2021).
12. Nikon Microscopy, "Resolution," (2021), <https://www.microscopyu.com/microscopy-basics/resolution>.
13. R. Guilard, K. Kadish, and K. Smith, *The Porphyrin Handbook* (Academic Press, 2002).
14. J. Enax and M. Eppele, "Synthetic hydroxyapatite as a biomimetic oral care agent," *Oral Health Prev. Dent.* **16**(1), 7–19 (2018).
15. O. Fejerskov and E. Kidd, *Dental Caries: The Disease and Its Clinical Management* (Wiley 2009).
16. A. N. S. Rastelli, G. Nicolodelli, R. A. Romano, D. M. B. P. Milori, I. Lo. O. Perazzoli, E. J. Ferreira, A. C. B. Pedrosa, M. T. Souza, O. Peitl, and E. D. Zanotto, "After bleaching enamel remineralization using a bioactive glass ceramic (BioSilicate®)," *Biomed. Glasses* **2**, 1–9 (2016).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

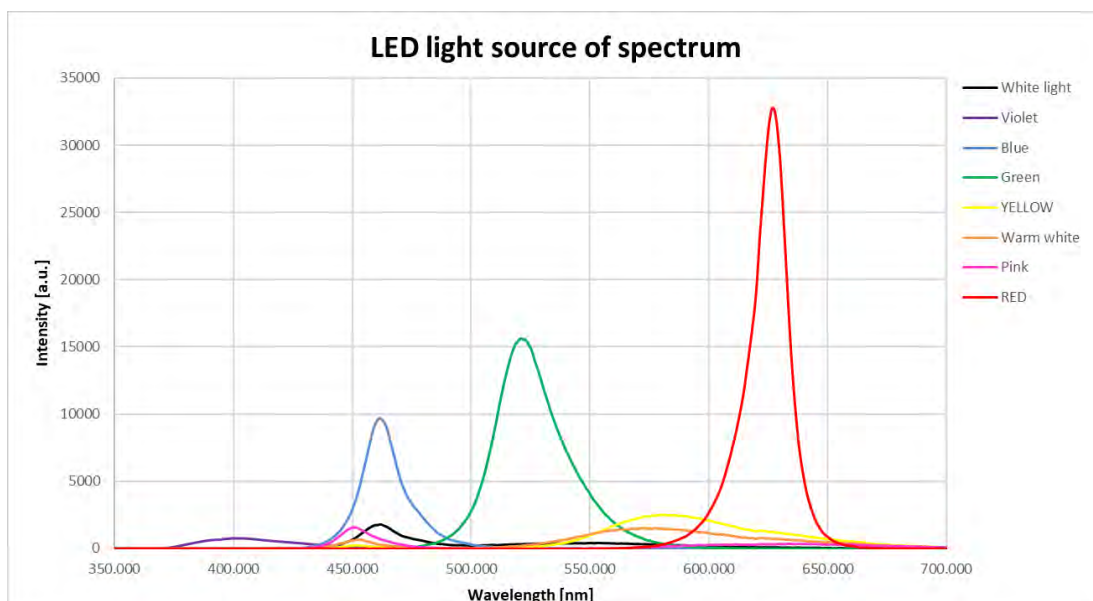
17. J. M. L. Richard, "Zinc in the mount, its interactions with dental enamel and possible effects on caries; A review of literature," *International Dental Journal* **61**, 46–54 (2011).
18. C. A. Amparo, A. Jimenez-Planas, E. Guerrero, M. Herrera, and R. Llamas, *How to Diagnose Hidden Caries? The Role of Laser Fluorescence* (InTech, 2012).
19. D. Fried, R. E. Glena, J. D. B. Featherstone, and W. Seka, "Nature of light scattering in dental enamel and dentin at visible and near-infrared wavelengths," *Appl. Opt.* **34**(7), 1278–1285 (1995).
20. Q. G. Chen, B. Lin B, and Z. B. Chen, "Numerical and experimental study of excited light and autofluorescence diffusion in teeth," *Laser Phys.* **20**, 1927–1934 (2010).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสง LED

ตาราง แสดงค่าความเข้มแสงและความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดแสง LED

LED	Peak I		Peak II	
	Intensity (a.u.)	Wavelength (nm)	Intensity (a.u.)	Wavelength (nm)
White light	1795.367	461.572	412.600	549.692
Violet	794.200	400.262	-	-
Blue	9699.533	461.572	-	-
Green	15648.600	520.994	-	-
Yellow	2515.633	580.633	-	-
Warm white	1514.300	572.470	651.433	452.717
Pink	1574.933	450.945	344.533	632.934
Red	32782.767	627.139	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย กิตติธัชพงษ์ วิชาช่าง
วัน เดือน ปีเกิด	7 มิถุนายน พ.ศ. 2539
ที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 1 หอพักนักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขต/แขวง ลาดกระบัง 10520
ประวัติการศึกษา	(2561) วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 3.21 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) (2564) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 3.77 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	1. Activities Grant SPIE at San Francisco, USA (2019) 2. Photonics west 2019 at San Francisco, USA (2019) 3. ผู้ช่วยวิจัยและผู้ช่วยสอน (ทุนศึกษาต่อระดับปริญญาโท) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 4. นักกิจกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	1. ประสิทธิภาพการตรวจสอบภาพถ่ายนิ้วมือแฝงด้วยสีย้อมโรดามีน 6 จี ร่วมกับอนุภาคนาโนทองคำเคลือบแพลเลเดียม 2. ผลของซิงค์ไอออนต่อการเรืองแสงของโฟโตพอร์ไฟริน-9 ในแบบจำลองชั้นเคลือบฟัน (EFFECT OF ZINC ION ON FLUORESCENCE OF PHOTOPORPHYRIN-IX IN DENTAL ENAMEL MODEL) 3. Use of zinc to increase fluorescence in an in vitro biofilm model as a tool for caries diagnosis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้