

การประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้ในการทำสลาย  
มะเร็งในเซลล์เพาะเลี้ยงมะเร็ง

EFFICIENCY EVALUATION OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES TO  
MAXIMIZE OXIDATIVE STRESS ON THE CULTURED TUMOR CELLS



นางสาวรชญา วิเศษชัย

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาศิลปศึกษา ภาควิชาศิลปศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้ในการทำลาย  
มะเร็งในเซลล์เพาะเลี้ยงมะเร็ง

EFFICIENCY EVALUATION OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES TO  
MAXIMIZE OXIDATIVE STRESS ON THE CULTURED TUMOR CELLS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหานี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

EFFICIENCY EVALUATION OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES TO  
MAXIMIZE OXIDATIVE STRESS ON THE CULTURED TUMOR CELLS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN APPLIED PHYSICS

DEPARTMENT OF PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

หัวข้อโครงการพิเศษ การประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้ในการ  
ทำลายมะเร็งในเซลล์เพาะเลี้ยงมะเร็ง  
EFFICIENCY EVALUATION OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES TO  
MAXIMIZE OXIDATIVE STRESS ON THE CULTURED TUMOR  
CELLS

ชื่อนักศึกษา นางสาวรญา วัฒนชัย รหัสนักศึกษา 54050577

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์

ภาควิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กฤษกร โล่เจริญรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์  
ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์	ภัทรมณี ดำรงค์ศักดิ์
ดร.อาภาภรณ์ สุกุลการะเวก	
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข	
ดร.กฤษกร โล่เจริญรัตน์	 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประเมินประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้ในการทำลายมะเร็งในเซลล์เพาะเลี้ยงมะเร็ง		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรญา	วัฒนชัย	รหัสนักศึกษา 54050577
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. กฤษกร	โล่เจริญรัตน์	

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผ่านกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตเพื่อก่อให้เกิดพิษต่อเซลล์มะเร็งในเซลล์เพาะเลี้ยง ในการทดลองตอนที่ 1 จะเป็นการศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปผ่านกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสภายใต้แสงยูวีเพื่อทำลายเซลล์มะเร็งเพาะเลี้ยง และวัดค่าความสามารถในการทำลายเซลล์ด้วย ZnO โดยนำ ZnO ที่เหลือจากการทำลายเซลล์มาทำปฏิกิริยากับ  $FeCl_2$  อีกครั้งจะได้ค่าการดูดกลืนของ  $Fe_2O_3$  พบว่าเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการจับอนุมูลอิสระของ Fe จะลดลง จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การตรวจจับ Ferrous กับอนุมูลอิสระ และค่าเปอร์เซ็นต์จำนวนเซลล์มีชีวิตในแต่ละความเข้มข้นของ ZnO ซึ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความเข้มข้นสูงจะมีประสิทธิภาพความสามารถในการทำลายเซลล์มะเร็งได้

**คำสำคัญ :** โฟโตคะตะไลซิส , อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Title** EFFICIENCY EVALUATION OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES TO  
MAXIMIZE OXIDATIVE STRESS ON THE CULTURED TUMOR CELLS

**Students** Miss. Rayar Wattanachai Students ID 54050577

**Degree** Bachelor of Science in Applied Physics

**Department** Physics

**Academic Year** 2014

**Advisor** Dr. Kitsakorn Locharoenrat

### Abstract

The objective of this special project is to study the efficiency of zinc oxide nanoparticles to maximize oxidative stress on the cultured tumor cells. The first experiment is to study the absorption spectra of ZnO nanoparticles at different concentration. Then, we release ZnO nanoparticles into the cultured tumor cells under UV conditions to destroy the cells. The rest ZnO will then react with  $\text{FeCl}_2$  to check the cell killing effects. The absorption spectra from  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  show that the high concentration of ZnO nanoparticles will weakly react with  $\text{FeCl}_2$ . Finally, the percentage of ferrous iron chelating and the percentage of cell viability shows unidirectional results in which concentration-dependent ZnO nanoparticles has a good cell killing ability.

**Keyword :** Photocatalytic , ZnO nanoparticles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและการช่วยเหลือสนับสนุนจากบุคคลหลายท่าน และขอขอบคุณ ดร.กฤษกร โส้เจริญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ถ่ายทอดวิชาความรู้ทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ คอยชี้แนะแนวทางการทำงาน ตลอดจนแนวทางการแก้ไขสิ่งต่างๆ เพื่อให้ผลงานออกได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์ ทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้ มีแนวคิด มีความกระตือรือร้น และมีทักษะในการทำโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ภัทธริยา กิตติเดชาชาญ ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการทดลอง รวมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำทดลองครั้งนี้ ขอขอบคุณ คณะกรรมการการสอบโครงการพิเศษ ได้แก่ ผศ.ดร.ภัทธริยา ดำรงค์ศักดิ์ , ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข , ดร.อาภาภรณ์ สกฤการะเวก ที่ให้คำแนะนำ ดิชม ปัญหาข้อบกพร่องและช่วยเสนอแนะแนวทางวิธีการทดลองในด้านใหม่ๆ เพื่อประโยชน์ในอนาคตต่อไป ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรี และปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำแนวทางในการนำเสนอรูปเล่มรายงานเล่มนี้ คอยบอกข่าวสารและให้ความช่วยเหลือในหลายๆด้าน สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดาและครอบครัวที่คอยให้การสนับสนุน อบรมสั่งสอน ว่ากล่าวตักเตือน อีกทั้งคอยให้กำลังใจและเข้าใจในการทำงานและการเรียนเป็นอย่างดี จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

รญา วัฒนชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อและสัญลักษณ์	ฌ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	4
2.1 สมบัติทั่วไปของซิงค์ออกไซด์	4
2.2 วิธีการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์	5
2.3 ประโยชน์ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์	11
2.4 เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง	14
2.5 มะเร็ง	19
2.6 อนุมูลอิสระ	25
2.7 สารต้านอนุมูลอิสระ	28
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	29
3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี	29
3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์	30
3.3 ขั้นตอนการนับเซลล์	32
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	33
4.1 การทดลองวัดสเปกตรัมการดูดกลืนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์	33
4.2 การทดลองวัดค่าความสามารถในการตรวจจับอนุมูลอิสระ	35

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การตรวจจับของ Ferrous กับอนุมูลอิสระในแต่ละความเข้มข้น	40
4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเซลล์ที่มีชีวิต (%Cell viability)	43
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	48
5.1 สรุปผลการวิจัย	48
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	49
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	50
<b>ภาคผนวก</b>	
วิธีการใช้ UV-Vis Spectrophotometer	52
วิธีใช้โปรแกรม Avasoft 7.5.0 Basic	54
ตารางแสดงข้อมูลดิบ	62



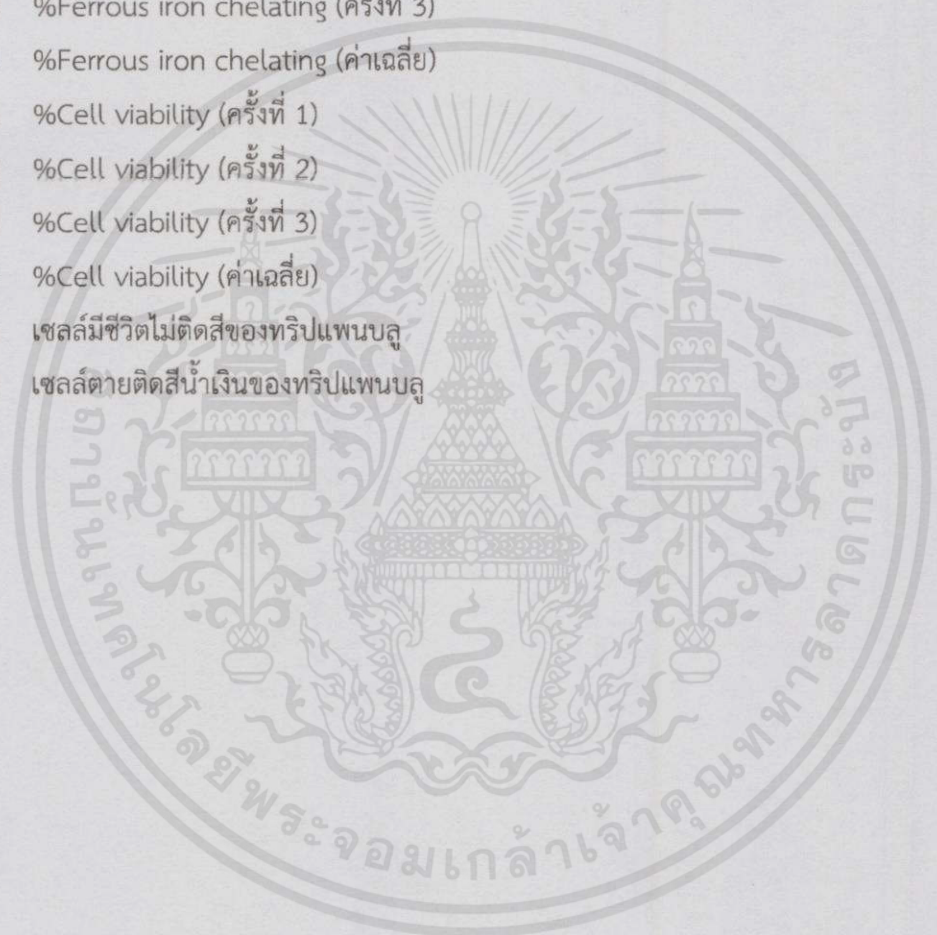
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างผลึกของซิงค์ออกไซด์	5
2.2	ไดอะแกรมแสดงลำดับของวิธีการสังเคราะห์ผงด้วยวิธีการตกตะกอน	7
2.3	ลักษณะของเครื่องที่ใช้ในการสังเคราะห์ผงด้วยวิธีไฮโดเทอร์มอล	8
2.4	กลไกการเกิดอนุภาคโดยทำให้แห้งแบบละออง	9
2.5	กลไกการเกิดอนุภาคโดยวิธี โซล - เจล	10
2.6	กลไกการเกิดอนุภาคโดยวิธี เฟลมสเปิร์นไฟโรลิซิส	11
2.7	เครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์กันแดดที่มีซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนประกอบ	12
2.8	การใช้ซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมผลิตยาง	13
2.9	การใช้ซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมเซรามิก	13
2.10	เครื่อง UV-VIS spectrophotometer	14
2.11	แสดงค่า UV-VIS spectrum	15
2.12	การดูดกลืนแสงของสารละลาย	16
2.13	Single - Beam spectrophotometer	17
2.14	Double - Beam spectrophotometer	18
2.15	ลักษณะของเซลล์ปกติและเซลล์มะเร็ง	19
2.16	กลไกการเกิดอนุมูลอิสระ	25
2.17	กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน	27
3.1	อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	30
3.2	อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเติมลงในเซลล์และใช้เป็นตัวควบคุม	30
3.3	ลักษณะของ As' และ Ac' เมื่ออยู่ใน UV - chamber	31
3.4	Ac ที่มีความเข้มข้นต่างๆ	31
3.5	As ที่มีความเข้มข้นต่างๆ	31
3.6	แสดงเลขที่ของช่องใหญ่ทั้ง 5 ช่อง ใน 1 chamber ที่ต้องนับจำนวน	32
4.1.1	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ	33
4.2.1	Fe Chelating Profile (ครั้งที่ 1)	35
4.2.2	Fe Chelating Profile (ครั้งที่ 2)	36
4.2.3	Fe Chelating Profile (ครั้งที่ 3)	36
4.2.4	Fe Chelating Profile (ค่าเฉลี่ย)	37
4.2.5	Fe Chelating Profile ในช่วงความยาวคลื่นของ ZnO	38

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2.6 Fe Chelating Profile ที่ความเข้มข้นสูง	38
4.2.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของซิงค์ออกไซด์	39
4.3.1 %Ferrous iron chelating (ครั้งที่ 1)	40
4.3.2 %Ferrous iron chelating (ครั้งที่ 2)	41
4.3.3 %Ferrous iron chelating (ครั้งที่ 3)	41
4.3.4 %Ferrous iron chelating (ค่าเฉลี่ย)	42
4.4.1 %Cell viability (ครั้งที่ 1)	44
4.4.2 %Cell viability (ครั้งที่ 2)	45
4.4.3 %Cell viability (ครั้งที่ 3)	45
4.4.4 %Cell viability (ค่าเฉลี่ย)	46
4.4.5 เซลล์มีชีวิตไม่ติดสีของทริปแทนบลู	47
4.4.6 เซลล์ตายติดสีน้ำเงินของทริปแทนบลู	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินงาน	2
4.1 จำนวนเซลล์มีชีวิตที่นับได้	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
T	ค่าการทะลุผ่าน
A	ค่าการดูดกลืนของแสง
$\alpha$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืน
b	ระยะทางที่รังสีเคลื่อนที่ในสารละลาย
c	ความเข้มข้นของสารละลาย
I	ความเข้มของแสงตกกระทบ
L	ระยะทางที่แสงเดินทางผ่านตัวกลาง
$\omega$	ค่าความถี่ของแสง
E	ค่าสนามไฟฟ้า
$\lambda$	ความยาวคลื่น
As	ค่าการดูดกลืนที่ความเข้มข้น 0-2560 $\mu\text{g/mL}$
Ac	ค่าการดูดกลืนที่ความเข้มข้น 0 $\mu\text{g/mL}$
Ns	จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตที่ความเข้มข้น 0-2560 $\mu\text{g/mL}$
Nc	จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตที่ความเข้มข้น 0 $\mu\text{g/mL}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่มีการนำมาใช้งานในรูปแบบของวัสดุนาโน ตัวอย่างการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่ การใช้ในการบำบัดสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีสมบัติที่ดีในด้านการดูดซับแสง และสมบัติด้านการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง นอกจากนี้ยังใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับคนได้โดยตรง เช่น ใช้ในเครื่องสำอางค์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโลชั่นกันแดดที่เริ่มมีการนิยมนำซิงค์ออกไซด์ขนาดนาโนเมตรมาใช้เป็นส่วนประกอบ เนื่องจากนาโนซิงค์ออกไซด์มีระดับความสามารถในการป้องกันรังสียูวีได้ในระดับเดียวกันกับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่กว่า และการส่งผ่านแสงที่ต่ำกว่า อีกทั้งยังไม่ทิ้งร่องรอยให้เห็นเป็นสีขาวได้อย่างชัดเจนบนผิวหนัง

ในด้านการแพทย์ ซิงค์ออกไซด์จัดเป็นสารในการยับยั้งและกำจัดแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันและยับยั้งการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียในระยะเริ่มแรกเพื่อลดโอกาสในการเปลี่ยนรูปของแบคทีเรีย ด้วยเหตุผลนี้ซิงค์ออกไซด์จึงเป็นหนึ่งในสารที่สำคัญในการใช้เป็นยาต้านแบคทีเรีย

จากสาเหตุที่ซิงค์ออกไซด์ได้รับความสนใจในการนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นในด้านการแพทย์ จึงทำให้เกิดโครงการงานวิจัยพิเศษขึ้นนี้ขึ้นมา โดยการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาใช้ในการทำลายอนุมูลอิสระในเซลล์มะเร็ง อนุภาคซิงค์ออกไซด์ในระดับนาโนเมตรคาดว่าจะสามารถที่จะแทรกผ่านไปยังเซลล์มะเร็งได้ดี และนำไปสู่การเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสผ่านแสงอัลตราไวโอเล็ตภายในเซลล์มะเร็ง เพื่อจะได้เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตและทำลายเซลล์มะเร็งในการรักษาผู้ป่วยมะเร็งต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อการศึกษาผลของการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผ่านกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส โดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตเพื่อก่อให้เกิดพิษต่อเซลล์มะเร็งในเซลล์เพาะเลี้ยง และทำให้เซลล์มะเร็งถูกทำลายต่อไป
2. เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการทำลายเซลล์มะเร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้อุณหภูมิโนซิงค์ออกไซด์เพื่อใช้ในการทำลายเซลล์มะเร็งโดยเทคนิคการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต การทำลายเซลล์มะเร็งได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปด้วยความรวดเร็วขึ้นอยู่กับความลึกหรือชั้นของเซลล์มะเร็ง กล่าวคือ อุณหภูมิโนซิงค์ออกไซด์ผ่านกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสโดยการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตจะมีประสิทธิภาพในการทำลายเซลล์มะเร็งผ่านกลไกการให้ความร้อนจากแสงอัลตราไวโอเล็ตในระดับของเซลล์ที่อยู่ลึกลงไป

ตัวอย่างเซลล์มะเร็งที่จะนำมาใช้ในการศึกษา คือ เซลล์มะเร็งเพาะเลี้ยง สุดท้ายจะเป็นการศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของอุณหภูมิโนซิงค์ออกไซด์ต่อความว่องไวและความเป็นพิษในเซลล์ที่ใช้ในการทดลองต่อการทำลายเซลล์มะเร็ง เพื่อจะใช้เป็นข้อมูลสำหรับการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์อุณหภูมิโนซิงค์ออกไซด์ให้เหมาะสมกับสิ่งมีชีวิตในระยะยาวต่อไป

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาจัดทำรวมทั้งสิ้น 1 ปี โดยเริ่มตั้งแต่เดือน 2 มกราคม 2557 ถึง 30 ธันวาคม 2557 ซึ่งมีการดำเนินการข้างต้นสามารถแสดงระยะเวลาดำเนินงานได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

ผลงาน/กิจกรรม	เดือน 1-2	เดือน 3-4	เดือน 5-6	เดือน 7-8	เดือน 9-10	เดือน 11-12
1.ศึกษากระบวนการเกิดและการทำลายเซลล์มะเร็งในเซลล์สิ่งมีชีวิต	←→					
2.เตรียมเซลล์ทดลอง, ตรวจสอบสภาพของเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์	←→					
3.ทริทเมนต์เซลล์ทดลองด้วยอุณหภูมิโนซิงค์ออกไซด์ผ่านการบวนการโฟโตคะตะไลซิส, ทดสอบตัวบ่งชี้การทำลายเซลล์ทดลอง			←→			

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 สมบัติทั่วไปของซิงค์ออกไซด์

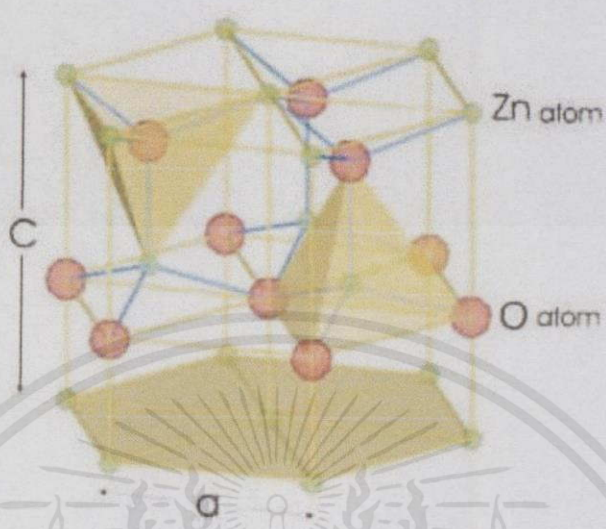
ชื่อ	ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) หรือ ซิงค์ (II) ออกไซด์ (zinc (II) oxide) หรือ ซิงค์ไวท์ (zinc white)
สูตรโมเลกุล	ZnO
น้ำหนักโมเลกุล	81.37 amu
สถานะและลักษณะ	ของแข็งผงอสัณฐาน (amorphous) สีขาวหรือสีเหลืองอ่อนๆ ไม่มีกลิ่น
ความหนาแน่น	5.606 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	1975 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	ระเหิดที่ 1800 องศาเซลเซียส
ความถ่วงจำเพาะ	5.607 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์	8.656
ดัชนีหักเห	2.008 , 2.029
ความสามารถละลายน้ำ	ไม่ละลายน้ำ (ละลายได้ในกรดอ่อน ไม่ละลายในแอลกอฮอล์)
pH	6.95
แถบช่องว่างพลังงาน	3.2 อิเล็กตรอนโวลต์
การดูดกลืนรังสี	รังสีที่อยู่ในย่านของรังสีอุตราไวโอเล็ต ซึ่งมีความยาวคลื่น 360 นาโนเมตร

#### 2.1.1 โครงสร้างผลึกของซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างแบบเวอร์ตไซต์ โดยมีผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล และเป็นสารประกอบที่สามารถพบเห็นได้ในธรรมชาติ แต่อนุภาคซิงค์ออกไซด์อาจมีรูปร่างเป็นทรงกลมรูปเข็ม (acicular) หรือเป็นก้อนกลมๆ (modular) ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับกระบวนการในการสังเคราะห์

ซิงค์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบเวอร์ตไซต์ (wurtzite) จากรูปที่ 2.1 จะมีค่าคงที่แลตทิซ (lattice constants) ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน เท่ากับ  $a = 0.32495$  นาโนเมตร  $c = 0.52069$  นาโนเมตร และมีค่า  $c/a = 1.602$  หรือมีค่า  $c/a = 1.633$  สำหรับโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม โครงสร้างเวอร์ตไซต์มีปริมาณสัมพันธ์ (stoichiometry) เป็น MX โดย M แทนไอออนบวก คือ  $Zn^{2+}$  และ X แทนไอออนลบ คือ  $O^{2-}$  การจัดเรียงตัวกันของไอออนลบหรือ  $O^{2-}$  เป็นแบบ hexagonal

close packing (HCP) โดยมีไอออนบวกครอบครองครึ่งหนึ่งของตำแหน่งเตตระฮีดรัล (tetrahedral sites) ทั้งไอออนบวกและไอออนลบต่างก็มีไอออนชนิดตรงข้ามล้อมรอบอยู่ 4 ไอออน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างผลึกของซิงค์ออกไซด์

## 2.2 วิธีการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

### 2.2.1 วิธีการตกตะกอน (Precipitation method)

การตกตะกอนเป็นการทำให้โมเลกุลหรือไอออนที่ละลายอยู่ในสารละลายแยกตัวออกมาจากสารละลายอย่างช้าๆโดยอาศัยปริมาณสารเคมีที่พอเหมาะ ที่เรียกว่าตัวตกตะกอน (precipitant) หรือมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความดัน เพื่อทำให้ความสามารถในการละลายของระบบลดลงจึงทำให้เกิดการตกตะกอนของระบบขึ้นได้

วิธีการตกตะกอนเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์ผงเซรามิกกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากความสามารถทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง และสามารถควบคุมสัณฐานวิทยา (morphology) และการแจกแจงขนาดของอนุภาค (particle size distribution) ได้เป็นอย่างดี วิธีการตกตะกอนมีข้อเสียคือ จะต้องมีการแยกตะกอนออกจากสารละลาย การทำให้แห้งและการให้ความร้อนแก่ตะกอนและผงเซรามิกที่มักเกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (agglomerate)

สิ่งที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ของการตกตะกอนในสมดุเคมี ได้แก่ ธรรมชาติของการตกตะกอน ความบริสุทธิ์ของสาร อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าพีเอช และอัตราส่วนในการผสม สามารถทำการตกตะกอนได้ทั้งกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ส่วนการที่ตกตะกอนได้นั้นจะมีความเหมาะสมหรือไม่เพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ภายนอก การค้า  
ไม่มีการรับประกันความถูกต้องของข้อมูลใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารนั้นต้องมีการละลายต่ำ (low solubility) เพื่อให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์และไม่เกิดการสูญเสียตะกอนไปในขณะที่ล้างตะกอน
2. สารที่ตกตะกอนได้ต้องมีความบริสุทธิ์สูง
3. ตะกอนที่ได้ต้องมีขนาดพอเหมาะเพื่อที่จะสามารถกรองออกได้ง่าย
4. สารที่ตกตะกอนได้ต้องไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีขณะทำให้แห้งหรือขณะเผา และสารที่เตรียมได้ต้องมีส่วนประกอบที่แน่นอน

สำหรับการเตรียมสารนั้น ต้องใช้สารที่มีสมบัติของการแยกตัวเป็นไอออนและการรวมตัวเพื่อเกิดสารใหม่ นั่นคือสารตัวหนึ่งต้องเป็นตัวให้อิเล็กตรอน และสารอีกตัวหนึ่งต้องเป็นตัวรับอิเล็กตรอน จากนั้นจึงนำตะกอนที่ได้ไปอบให้แห้งแล้วนำไปเผาแคลไซน์ ซึ่งการทำดังกล่าวนี้ทำให้ได้ผลละเอียดที่มีความสม่ำเสมอของเนื้อสาร แต่โดยทั่วไปแล้วสารที่ได้จากการเผาแคลไซน์มักจะเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน ทำให้ความแม่นยำในการวัดขนาดของอนุภาคที่ได้น้อยลง

การทำให้สารที่เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนกันดั้ข้างต้นแยกออกมาเป็นอนุภาคเดี่ยวๆ นั้นทำได้โดยการบด (milling) ซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนขึ้นได้ หรือใช้การบดโดยอาศัยอัลตราโซนิค (ultrasonic mixing) ซึ่งจะทำให้อนุภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ

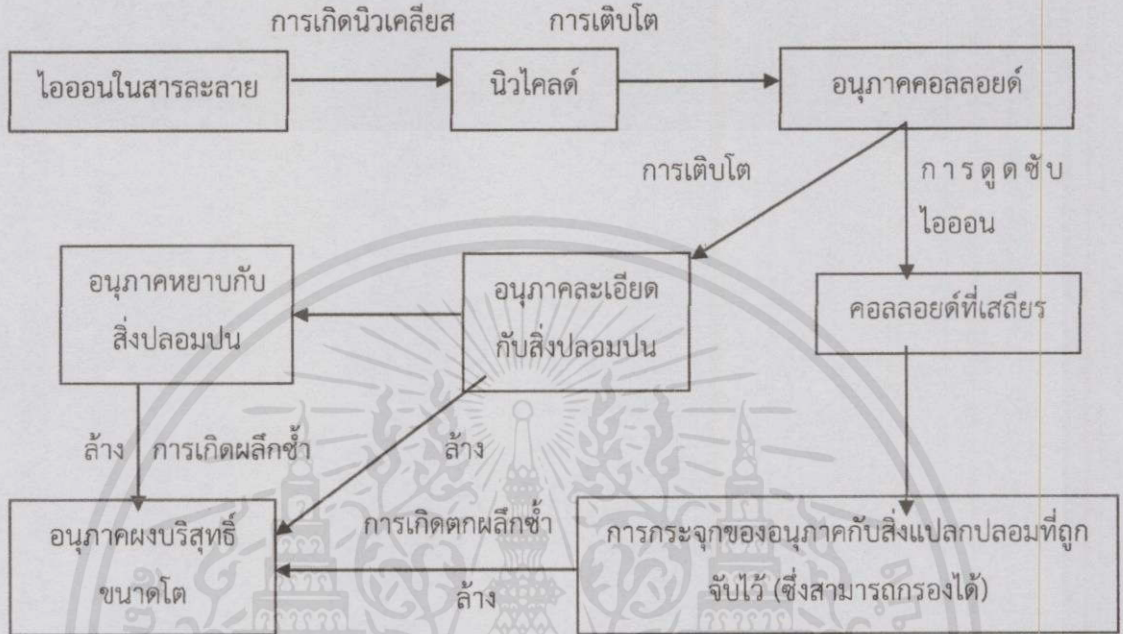
เทคนิคที่นิยมในการเตรียมผงเซรามิกโดยการตกตะกอนสารตั้งต้นที่อยู่ในรูปของเกลือด้วยการใช้สารช่วยตกตะกอน แล้วผ่านกระบวนการแคลไซน์เพื่อให้ได้เป็นสารประกอบออกไซด์ เรียกว่าเทคนิคการตกตะกอนร่วม ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถผสมสารให้เข้ากันในระดับอะตอมได้โดยเริ่มจากการผสมสารละลายของโลหะที่ต้องการเตรียม หลังจากนั้นจึงเติมสารช่วยตกตะกอน เช่น ออกซาลิก กรดซิตริก หรือ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น เนื่องจากสารประกอบของโลหะเหล่านี้มีความสามารถในการละลายต่ำ และจะเรียกชื่อของแต่ละเทคนิคตามชนิดของสารช่วยตกตะกอนที่ใช้ เช่น เทคนิคออกซาลेट หรือ เทคนิคซิเตรต เป็นต้น

กลไกของการตกตะกอนประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. สารละลายอิ่มตัวยิ่ง เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้นได้ โดยที่สารละลายอิ่มตัวยิ่งนี้เป็นสารละลายที่เกิดจากการตกตะกอนละลายเข้าไปอยู่ในวัฏภาคที่เป็นของเหลว จนความเข้มข้นของสารที่เป็นตะกอนมากกว่าความเข้มข้นของสารนั้นอยู่ในสภาวะสมดุล สารละลายนี้จะมีค่าการอิ่มตัวยิ่งสัมพัทธ์มากขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นของทั้งสองปริมาณนี้แตกต่างกันมากขึ้น
  2. การเกิดนิวเคลียส เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติจากสารละลายที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่ง โดยเริ่มเกิดจากไอออนหรือโมเลกุลที่น้อยที่สุดรวมกันจนเกิดเป็นอนุภาคที่เล็กที่สุดวัฏภาคที่เป็นของตะกอนของแข็ง ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
- ไม่ว่ากรณี 3. การเจริญเติบโตของผลึก เกิดหลังจากขั้นตอนการเกิดนิวเคลียส โดยไอออนต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของตะกอนจะมาจับเกาะกันบนผิวของอนุภาคที่เล็กที่สุดจนมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้

นิวเคลียสมีขนาดใหญ่ขึ้นกลายเป็นอนุภาคคอลลอยด์ แล้วจึงรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าแยกตัวออกจากสารละลาย

สามารถแสดงกระบวนการเตรียมผงและกลไกของการตกตะกอนได้ดังแผนภาพดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมแสดงลำดับของวิธีการสังเคราะห์ผงด้วยวิธีการตกตะกอน

### 2.2.2 วิธีการปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (Solid-state reaction)

วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดเนื่องจากเตรียมได้ง่าย โดยเริ่มจากการนำสารตั้งต้นที่อยู่ในสถานะของแข็งตามปริมาณที่ต้องการมาบดคลุกเคล้าจนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งอาจใช้เครื่องเขย่าหรือเครื่องบด จากนั้นนำไปอบให้แห้ง แล้วเผาที่อุณหภูมิและเวลาตามที่ต้องการ แต่วิธีการนี้มีข้อเสียคือ ผลผลิตที่ได้มักมีความบริสุทธิ์ต่ำ ได้สารเนื้อหยาบ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และอาจมีสารประกอบรูปอื่นๆ เจือปนจากสารตั้งต้นหรือจากชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการบด เช่น อะลูมินา เป็นต้น สิ่งเจือปนเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ ของสารที่ต้องการเตรียม โดยเฉพาะสมบัติทางไฟฟ้า

การเตรียมผงจากปฏิกิริยาสถานะของแข็งมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างน้อย แต่ผงที่สังเคราะห์ได้มักจะมีปัญหาเรื่องการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนโต ทำให้ต้องมีการบดย่อยลดขนาดอยู่เสมอ ถ้าการลดขนาดนั้นใช้ลูกบดก็ยิ่งทำให้ผงที่ได้ถูกปนเปื้อนมากขึ้น นอกจากนั้นการบดย่อยลดขนาดที่จำเป็นต่อนำมาใช้ก็ทำให้ไม่สามารถควบคุมรูปร่างของอนุภาคที่เตรียมได้อีกต่อไป

### 2.2.3 วิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น วิธีไฮโดรเทอร์มอลเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในการสังเคราะห์ผงเซรามิก เนื่องจากผลที่ได้

มีลักษณะโดดเด่นเป็นพิเศษคือ มีความสม่ำเสมอทั้งองค์ประกอบทางเคมีและขนาดของอนุภาค มีการ

กระจายตัวของขนาดอนุภาคน้อย ส่วนใหญ่เป็นพวกอนุภาคของผลึกเชิงเดี่ยว และเนื่องจากการสังเคราะห์สารจากวิธีไฮโดรเทอร์มอลนี้ต้องทำให้สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูง จึงทำให้ผงเซรามิกที่ได้ปราศจากน้ำ (anhydrous powders)

การสังเคราะห์ผงเซรามิกด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลดังรูปที่ 2.3 สามารถกระทำได้เพียงขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิและความดันสูงปานกลางอยู่ในช่วงประมาณถึง 20 เมกะปาสคาล โดยไม่ต้องผ่านการแคลไซน์ และมีอุณหภูมิที่ใช้ในการซินเตอร์ต่ำเมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์ผงวิธีอื่นๆ เพราะขนาดของอนุภาคผงที่ได้มีขนาดเล็กกว่า แต่การสังเคราะห์ผงโดยวิธีนี้จะต้องมีการควบคุมที่เอช อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากันในอโตเคลฟ (autoclave) ทำด้วยเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรงทนทาน และความสามารถทนอุณหภูมิสูงได้ตามต้องการ โดยปกติแล้วจะมีการบุผนังภายในของหม้อนึ่งอัดไอนี้ด้วยพลาสติก เช่น เทฟลอน อีกชั้นหนึ่งเพื่อลดปัญหาเรื่องการกัดกร่อนของผนังหม้อจากสารละลาย



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเครื่องที่ใช้ในการสังเคราะห์ผงด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

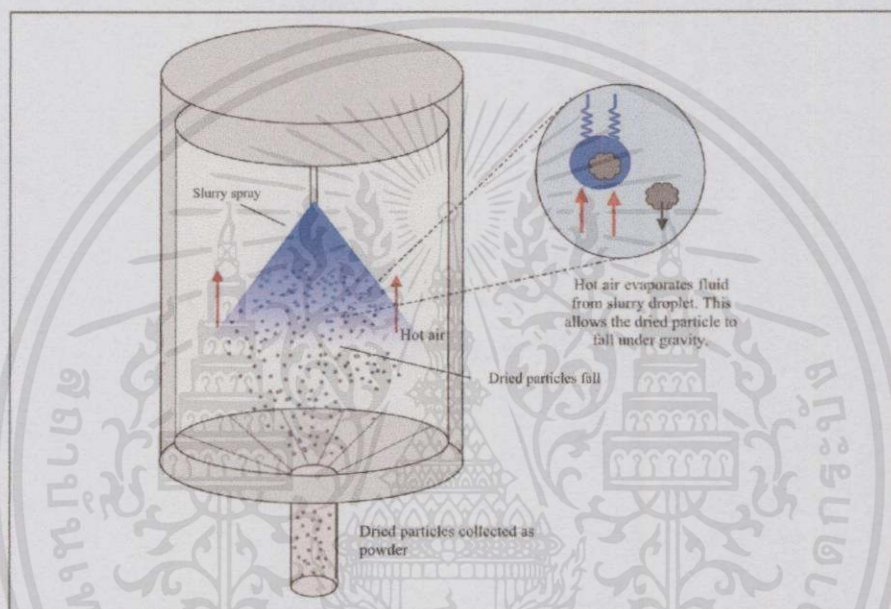
#### 2.2.4 วิธีการทำให้แห้งแบบละออง (Spray-drying method)

การสังเคราะห์ผงเซรามิกด้วยวิธีการทำให้แห้งแบบละอองดังรูปที่ 2.4 นี้ต้องอาศัยเครื่องทำละออง (atomizer) ช่วยทำให้สารละลายแตกกระจายเป็นละอองหยดเล็กๆ พร้อมกับฉีดผ่านเข้าไปในห้องอบที่ร้อนจัด เพื่อทำให้ของเหลวในหยดละอองระเหยตัวออกไปอย่างรวดเร็ว จากนั้นจึงกักเก็บผงอนุภาคที่ได้ซึ่งปกติจะเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาค

ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อผงเซรามิกที่สังเคราะห์ได้โดยวิธีนี้คือ รูปแบบของตัวทำละลายได้แก่ เครื่องทำละอองแบบจานหมุน เครื่องทำละอองแบบลมอัด เครื่องทำละอองแบบอัสตราไซนิค ไม่ว่าจะใช้ใดๆ นั้นก็ขึ้น กับการเลือกชนิดของวัสดุที่จะทำผงเซรามิก ซึ่งต้องอ้างอิงถึงค่าของเอกสารที่กล่าวไปใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างการไหลของลมร้อนกับลักษณะการเคลื่อนที่ของละอองในห้องอบแห้งซึ่ง

ธรรมชาติของลมร้อนที่ปล่อยออกมา นี้จะเป็นสิ่งกำหนดความเร็วในการระเหยของสารละลายและความชื้นตกค้างในอนุภาคซึ่งจะส่งผลให้รูปร่างของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีหลายรูปแบบ เช่น รูปทรงกลมที่มีข้างในกลวงเหมือนโดนัท หรือรูปทรงกลมตัน เป็นต้น

การเตรียมผงโดยวิธีนี้ ส่วนใหญ่จะใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ซึ่งจะช่วยให้พลาสมาอนุภาคผงให้เคลื่อนที่ ข้อดีของการใช้น้ำคือ มีความปลอดภัยสูง มีต้นทุนต่ำในการสังเคราะห์ ใช้งานได้สะดวก นอกจากนี้เกลือของโลหะยังสามารถละลายน้ำได้ดีอีกด้วย แต่ในการสังเคราะห์ผงบางชนิดที่ทำปฏิกิริยากับน้ำนั้นต้องใช้แอลกอฮอล์มาเป็นตัวทำละลายแทนน้ำ



รูปที่ 2.4 กลไกการเกิดอนุภาคโดยทำให้แห้งแบบละออง

### 2.2.5 วิธีระเหยแห้ง (Evaporation method)

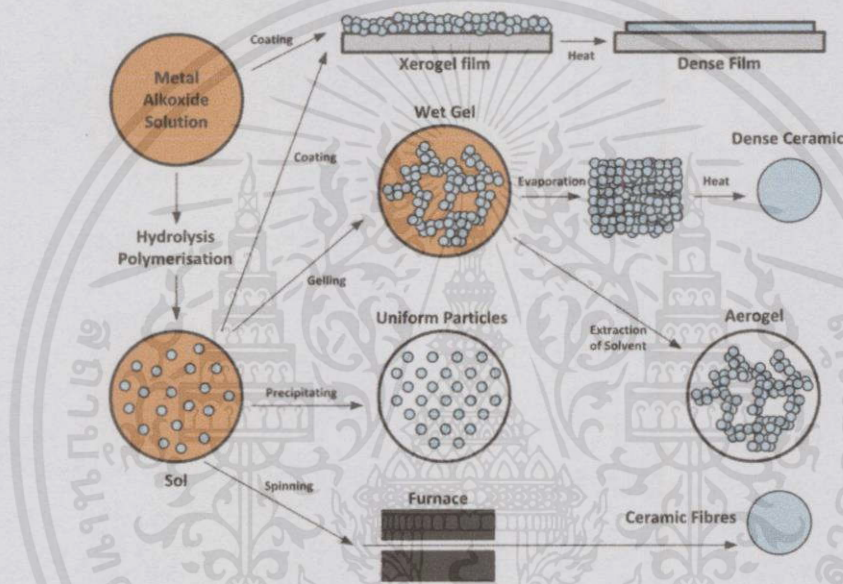
การสังเคราะห์ผงโดยวิธีนี้ต้องอาศัยการระเหยสารที่เป็นตัวทำละลาย หรือสารที่ไม่ต้องการให้ออกไปจนเหลือแต่ตะกอนของสารที่ต้องการเท่านั้น วิธีนี้ทำได้โดยการนำสารละลายของโลหะต่างๆที่ต้องการมาผสมกัน ซึ่งคาดว่าส่วนผสมเหล่านี้จะเกิดจากการผสมกันในระดับโมเลกุลเพราะสารทั้งหมดอยู่ในเฟสเดียวกัน เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายผสมจนถึงอุณหภูมิที่พอเหมาะช่วงหนึ่งจะสามารถกำจัดตัวทำละลายหรือสารที่ไม่ต้องการออกไปได้ เหลือไว้เพียงตะกอนของสารที่ยังคงมีส่วนผสมในระดับโมเลกุลเหมือนเดิม วิธีการสังเคราะห์ผงแบบนี้จึงน่าจะเป็นวิธีที่ให้ผลดีกว่าการสังเคราะห์ผงโดยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง

### 2.2.6 วิธีโซล-เจล (Sol-gel method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การสังเคราะห์ผงโดยวิธีโซล-เจลดังรูปที่ 2.5 นี้ทำได้โดยใช้สารตั้งต้นที่อยู่ในรูปของไอสารละลายซึ่งผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดีและสามารถทำปฏิกิริยากันในระดับโมเลกุล โมเลกุลที่เป็นสาย

โซ่ยาวจึงสามารถเกิดขึ้นได้ หรือสามารถเกิดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในของเหลวที่เรียกว่า โซล (sol) หลังจากนั้นเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น สารละลายจะมีความหนืดมากขึ้นจน กลายเป็นสารกึ่งแข็งกึ่งเหลวที่เรียกว่า เจล (gel) จากนั้นนำเจลที่ได้ไปทำให้แห้งสนิทโดยการอบแห้ง แล้วบดให้เป็นผงละเอียดก่อนที่จะนำไปเผาแคลไซน์ต่อไป ณ อุณหภูมิที่เหมาะสม

ข้อดีของวิธีโซล-เจลคือ ผงที่ได้จากวิธีนี้จะมีขนาดเล็กและมีความบริสุทธิ์สูงมาก และ เนื่องจากการรวมตัวกันทุกโมเลกุลเป็นเนื้อเดียวกันของสารตั้งต้นที่ใช้สังเคราะห์ จึงทำให้เจลมีพื้นที่ ผิวมาก มีผลทำให้การตกผลึกและการซินเตอร์ทำได้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ สาร ตั้งต้นที่นำมาใช้มักมีราคาสูง และวิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยากกว่าวิธีปฏิบัติโรงงานของแข็งอยู่มาก

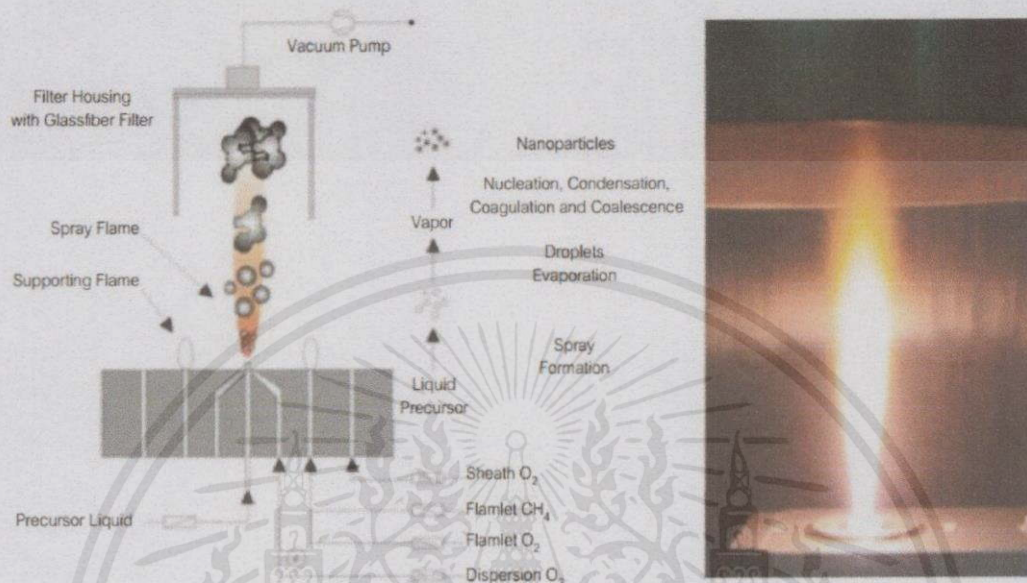


รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดอนุภาคโดยวิธีโซล-เจล

## 2.2.7 เฟลมสเปรย์ไพโรลิซิส (Flame spray pyrolysis หรือ FSP)

เฟลมสเปรย์ไพโรลิซิสดังรูปที่ 2.6 เป็นวิธีการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโน โดยการเผาไหม้ ปรอทฟเลทขนาดเล็ก ซึ่งประกอบด้วยสารตั้งต้นและเชื้อเพลิงเหลว (fuel-droplet) ที่ถูกพ่นออกมา ด้วยแก๊สดีสเปอร์ชัน (dispersion gas) ทางแอนนูลาร์แกพ เฟลมสเปรย์ไพโรลิซิสสามารถใช้สารตั้ง ต้นและเชื้อเพลิงเหลวได้หลากหลาย นอกจากนี้ยังสามารถเจือสารอื่นๆไปในอนุภาคได้อีกด้วย เมื่อ ปรอทฟเลทถูกพ่นและเผาไหม้จะสลายตัวเป็นโมโนเมอร์ ซึ่งโมโนเมอร์นี้จะชนและจับตัวกัน (coagulate) เป็นอนุภาคทรงกลม จากนั้นอนุภาคทรงกลมนี้จะผ่านกระบวนการซินเตอร์ทำให้อนุภาค เชื่อมติดกัน (coalescence) เมื่อเวลาผ่านไปการรวมตัวของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นและยึดเหนี่ยวด้วยแรง แบบฟลิกส์ (agglomerate) และสุดท้ายจะได้กลุ่มอนุภาคที่ยึดเหนี่ยวด้วยพันธะทางเคมี (aggregates) ซึ่งมีพื้นที่ผิวเฉพาะ (specific surface area) สูง ในขั้นตอนต่อนี้จากนี้อาจมีการก่อตัว ของโลหะ (nucleation) ที่ต้องการเจือมาเกาะที่ผิวอนุภาคที่ทำการสังเคราะห์ นอกจากนี้สารตั้งต้น

สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้เป็นสารประกอบออกไซด์ โดยมีแก๊สมีเทน และแก๊สออกซิเจน เป็นเปลวไฟซัพพอร์ต (supporting flame) ซึ่งกลไกการเกิดอนุภาคโดยเฟลมสเปรย์ไฟโรลิซิสนี้แสดง ดังรูป



รูปที่ 2.6 กลไกการเกิดอนุภาคโดยเฟลมสเปรย์ไฟโรลิซิส

ข้อได้เปรียบของเฟลมสเปรย์ไฟโรลิซิสรวมถึงความสามารถในการละลายสารตั้งต้นเข้าไปในเชื้อเพลิง ความง่ายของการนำสารตั้งต้นเข้าไปในโซนของการเกิดปฏิกิริยาที่ร้อนและความยืดหยุ่นในการใช้เจตสเปรย์ที่มีความเร็วสูงทำให้เกิดแอโรซอลอย่างรวดเร็ว ที่สำคัญที่สุดของกระบวนการเฟลมสเปรย์ไฟโรลิซิส คือความสามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนภายในขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิสูงโดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค และขนาดของอนุภาคโลหะในกระบวนการแอนนิลลิงซึ่งจำเป็นในกระบวนการสเปรย์ไฟโรลิซิส ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงการสังเคราะห์ด้วยสารละลาย

## 2.3 ประโยชน์ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

### 2.3.1 ด้านเภสัชกรรม

นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารที่สามารถเติมในอาหารได้โดยมีความปลอดภัยสูง สามารถใช้ได้ทั้งในอาหารคนและอาหารสัตว์ เนื่องจากธาตุสังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยปกติร่างกายผู้ใหญ่ต้องการสังกะสีวันละ 15 มิลลิกรัม และเพิ่มขึ้นเป็น 25 มิลลิกรัม ในสตรีที่ให้นมบุตร ซิงค์ออกไซด์

นอกจากนี้ เป็นยาสามัญแผน ลดการอักเสบ และยับยั้งแบคทีเรียได้ดี โดยนำมาใช้เป็นยาสามัญผิว และรักษาโรคผิวหนังที่ไม่อาจรักษาได้ เช่น โรคเรื้อรังผิวหนัง เช่น โรคผิวหนังเป็นตุ่มพุพองจากเชื้อแบคทีเรีย โรคกลาก ใช้เกลือ ผิ อากาศคันตามผิวหนังและผิวหนังระคายเคือง โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้

จะอยู่ประมาณ 10 ถึง 20 นาโนเมตร จากการสังเกตภายใต้กล้องกำลังขยายสูง พบว่ามีลักษณะเป็น ผงอนุภาคละเอียด มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาวและไม่เปลี่ยนสี

### 2.3.2 ด้านเครื่องสำอางค์และผลิตภัณฑ์กันแดด



รูปที่ 2.7 เครื่องสำอางค์และผลิตภัณฑ์กันแดดที่มีซิงค์ออกไซด์เป็นส่วนประกอบ

นาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันรังสี UVA แล UVB นอกจากนี้ยังมี อนุภาคเล็กละเอียด มีความบริสุทธิ์สูง และปลอดภัย เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ กันแดดสำหรับผิวเพื่อปกป้องรังสี UV ซิงค์ออกไซด์มีความปลอดภัยและอ่อนโยนต่อร่างกาย โดย ได้รับการยืนยันจาก Food and Drug Administration (FDA) USA. ว่าเป็น 1 ใน 2 ชนิดของสารกัน แดดที่เป็นส่วนผสมในประเภทผลิตภัณฑ์ดูแลผิวซึ่งสามารถป้องกันได้ทั้ง UVA และUVB

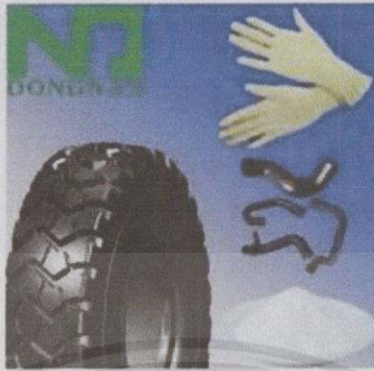
อนุภาคปกติของซิงค์ออกไซด์จะมีสีขาวเมื่อนำมาทาลงบนผิว ดังนั้นจึงนิยมนำซิงค์ออกไซด์ มาใช้ในการเป็นครีมหรือผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผิวดังรูปที่ 2.7 อย่างไรก็ตามนาโนซิงค์ออกไซด์ได้รับการ ทดสอบโดย Australian commonwealth scientific & industrial research organization (CSIRO) พบว่านาโนซิงค์ออกไซด์เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมของครีมหรือโลชั่นกันแดดจะให้สัมผัสนุ่ม ลื่น โปร่งใส และไม่มีสีหลังจากที่ทาลงบนผิว นาโนซิงค์ออกไซด์จึงเหมาะที่จะนำมาผสมเป็นสารกัน แดดในเครื่องสำอางค์

### 2.3.3 ด้านอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และยา

อาหารสัตว์ที่มีนาโนซิงค์ออกไซด์จะให้ผลดีกว่าการเติมไมโครซิงค์ออกไซด์ โดยจะทำให้ อัตรา

การดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้สูงกว่า ทำให้ลดปริมาณการเติมซิงค์ออกไซด์ในอาหารได้ ไปด้วยประโยชน์ด้านกรค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 ด้านอุตสาหกรรมการผลิตยาง



รูปที่ 2.8 การใช้ซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมผลิตยาง

นาโนซิงค์ออกไซด์ถูกใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยางดังรูปที่ 2.8 เพื่อเป็นสารลดแรงดึงผิว ช่วยในการยืดอายุการใช้งานของยางและใช้ในการผลิตยางที่สามารถป้องกันรอยขีดข่วน

### 2.3.5 ด้านอุตสาหกรรมเซรามิก



รูปที่ 2.9 การใช้ซิงค์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมเซรามิก

ปกติในอุตสาหกรรมเซรามิกจะใช้ซิงค์ออกไซด์ดังรูปที่ 2.9 ในการให้สีขาวจากการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์พบว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิการเผาเซรามิกให้เหลือเพียง 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส โดยหลังการเผาพบว่าผิวของเซรามิกที่ได้มีความมันวาวราวกับกระจก

### 2.3.6 ด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอและอุตสาหกรรมเคมีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารผลิตภัณฑ์สิ่งทอป้องกันแบคทีเรียและเชื้อราการกำจัดกลิ่นของเสื้อผ้า เสื้อผ้าทำความสะอาดด้านการค้าไม่ว่ากรณีตัวเองผลิตเส้นใยและสิ่งทอที่สามารถป้องกันรังสี UV ได้จนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

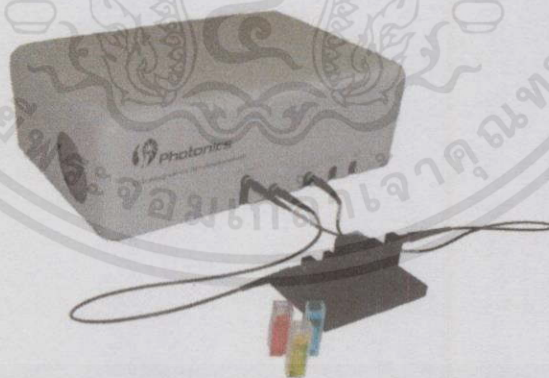
### 2.3.7 ด้านอุตสาหกรรมสี

นาโนซิงค์ออกไซด์เป็นสารป้องกันไฟฟ้าสถิตชนิดใหม่ ซึ่งมีความสามารถเป็นสารกึ่งตัวนำ การเติมนาโนซิงค์ออกไซด์ในเรซินจะสามารถนำมาใช้ป้องกันไฟฟ้าสถิตได้ ทั้งยังสามารถผลิตสีป้องกันรังสี UV สีที่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้

### 2.3.8 กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของนาโนซิงค์ออกไซด์

กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของนาโนซิงค์ออกไซด์ใช้หลักการโฟโตคะตะลิสต์ (Photocatalytic) โดยมีกลไก คือ เมื่อแสงทำปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์จึงทำให้อิเล็กตรอนขึ้นไปยังสถานะกระตุ้น (excited state :  $e^-$ ) และเกิดช่องว่างของอิเล็กตรอน (hole :  $h^+$ ) บริเวณของสถานะเดิม (ground state) เมื่อ  $h^+$  ทำปฏิกิริยาน้ำ ( $H_2O$ ) ได้ hydroxyl radicals ( $\cdot OH$ ) กับไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ส่วนอิเล็กตรอน ( $e^-$ ) จะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน ได้ superoxide radical anion ( $\cdot O_2^-$ ) และทำปฏิกิริยาต่อไปกับไฮโดรเจนไอออน ได้ hydrogen superoxide ( $HO_2\cdot$ ) และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องระหว่าง hydrogen superoxide กับไฮโดรเจนไอออนและอิเล็กตรอนได้ hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) โดยพบว่า hydrogen peroxide จะผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ของแบคทีเรียเกิดอันตรกิริยากับ organic materials จนเกิดการเสื่อมสลายและฆ่าแบคทีเรีย ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และน้ำ ( $H_2O$ )

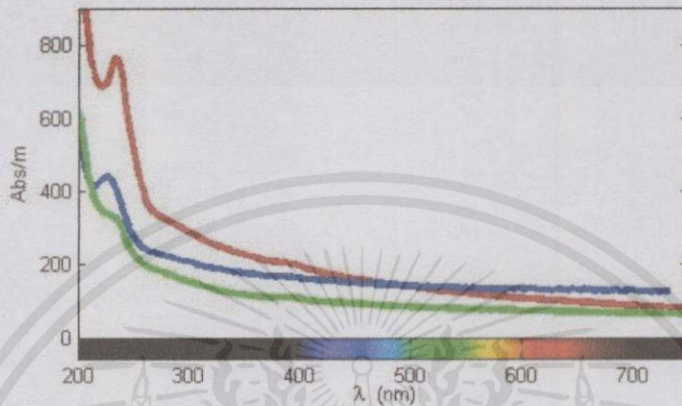
## 2.4 เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (UV-VIS spectrophotometer)



รูปที่ 2.10 เครื่อง UV-VIS spectrophotometer

UV-VIS spectrophotometer ดังรูปที่ 2.10 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-800 nm ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับ

กับความเข้มของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่างๆเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ เป็นเทคนิคที่ให้สภาพไวที่ดี และใช้กันอย่างแพร่หลาย ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่า Spectrum ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงค่า UV-VIS spectrum

#### 2.4.1 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

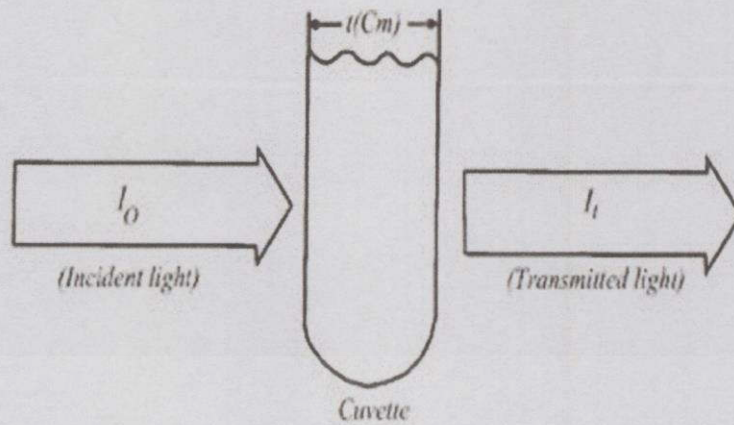
##### กฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law)

“เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว (monochromatic light) ผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”

##### กฎของเบียร์ (Beer's law)

“เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การดูดกลืนแสงของสารละลาย

จากรูปที่ 2.12 เมื่อเราวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน จึงจำเป็นต้องรวมกฎของเบียร์และกฎของแลมเบิร์ต เรียกเป็น “กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)”

#### 2.4.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer

##### 1. Light source

แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่องและคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ความยาวคลื่นในช่วงอัลตราไวโอเลตจะใช้หลอดดีวเทอเรียม (deuterium lamp) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งให้แสงในช่วง 185-375 nm หลักการคือทำให้อะตอมดีวเทอเรียมที่อยู่ในสภาวะเร้าคายพลังงานออกมา ส่วนหลอดทังสเตน (tungsten filament lamp) จะให้ความยาวคลื่นครอบคลุมช่วงแสงที่มองเห็นได้ คือตั้งแต่ 320-2500 nm หลักการจะคล้ายกับหลอดไฟทังสเตนธรรมดา คือให้กระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปจนกระทั่งหลอดทังสเตนร้อนและเปล่งรังสีออกมา โดยปกติจะเปิดเครื่องทิ้งไว้ก่อนใช้งานประมาณ 30 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าหลอดดีวเทอเรียมหรือหลอดทังสเตนให้แสงที่มีความเข้มสม่ำเสมอ

##### 2. Monochromator

เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียว ใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือเกรตติ้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. Cell sample

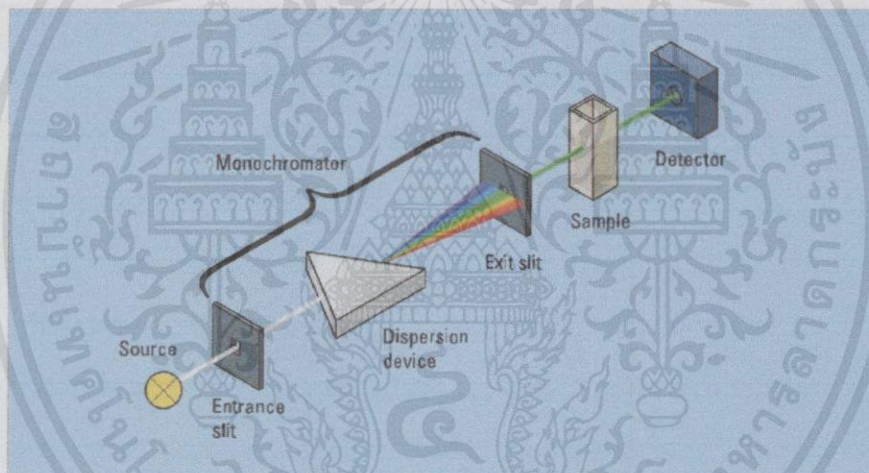
เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกาและควอร์ตซ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

### 4. Detector

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด Silicon diode detector

#### 2.4.3 ประเภทของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

##### 2.4.3.1 Single-Beam spectrophotometer (รูปที่2.13)

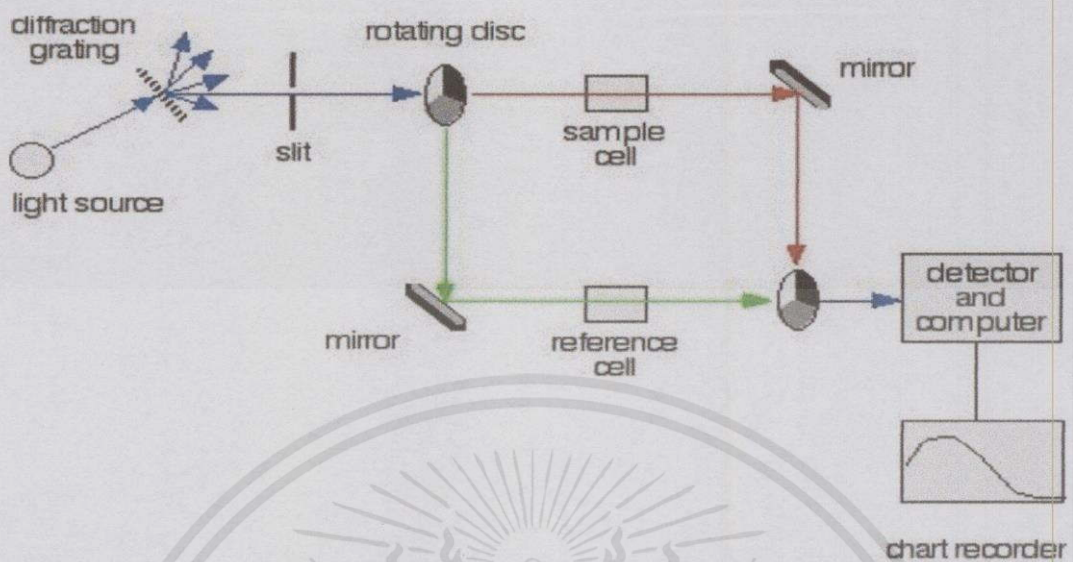


รูปที่2.13 Single-Beam spectrophotometer

เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์ โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับ สัญญาณ เนื่องจาก สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดลำรังสีนี้จะไปสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณเลย การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3.2 Double-Beam Spectrophotometer (รูปที่ 2.14)



รูปที่ 2.14 Double-Beam Spectrophotometer

ลำรังสีจะผ่านโมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้ว ลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะสะท้อนไปผ่านสารตัวอย่าง ในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดียวที่ผ่านโมโนโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไปในการใช้สเปคโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำรังสีคู่

#### 2.4.4 การประยุกต์ใช้งานเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

2.4.1.1 การวัดการดูดกลืนและการทะลุผ่านของคลื่นแสง เช่น ชิ้นตัวอย่างกระจก แก้ว แวนตากันแดด คอนเทคเลนส์ กระจกเคลือบด้วยฟิล์มบาง หมึกพิมพ์ เครื่องสำอาง ตัวอย่างทางด้าน ชีวภาพ เป็นต้น

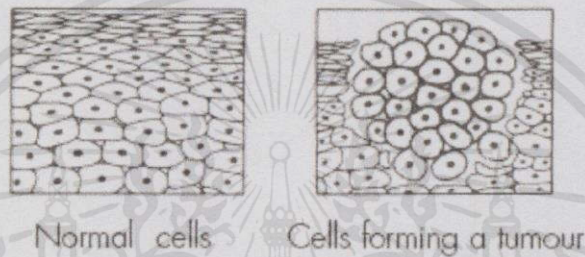
2.4.1.2 การหาค่าการสะท้อนของแสงในชั้นตัวอย่างฟิล์มและการเคลือบบนพื้นผิว ผ้า ผงโลหะ ผงออกไซด์ของโลหะ ผงสี พลาสติก และเซรามิก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 มะเร็ง

### 2.5.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะเร็ง

ร่างกายเราประกอบไปด้วยอวัยวะต่างๆ อวัยวะจะประกอบด้วยเซลล์ กลุ่มของเซลล์ที่มีรูปร่างและทำหน้าที่เหมือนกันรวมตัวกันจะเป็นอวัยวะ หลายอวัยวะมาทำงานร่วมกันเป็นระบบหลายๆระบบทำงานร่วมกันเป็นร่างกายของเรา เซลล์ต่างๆจะมีอายุเมื่อตายก็จะมีเซลล์ใหม่เจริญทดแทนเซลล์เก่า เซลล์ที่สร้างใหม่ไม่หยุดเราเรียก “เนื้องอก” ซึ่งแบ่งเป็นเนื้องอกชนิดไม่ร้ายแรงหรือทางการแพทย์เรียก Benign tumor ส่วนมะเร็งที่แพร่กระจายไปอวัยวะอื่นๆเรียก “มะเร็ง”



รูปที่ 2.15 ลักษณะของเซลล์ปกติและเซลล์มะเร็ง

มะเร็งดังรูปที่ 2.15 หรือทางการแพทย์ว่า เนื้องอกร้าย เป็นกลุ่มโรคที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของเซลล์ที่ผิดปกติ คือ เซลล์จะแบ่งตัวและเจริญอย่างควบคุมไม่ได้ ก่อเป็นเนื้องอกร้าย และรุกรานร่างกายส่วนข้างเคียง มะเร็งอาจแพร่กระจายไปยังร่างกายส่วนที่อยู่ห่างไกลได้ผ่านระบบน้ำเหลืองหรือกระแสเลือด ไม่ใช่ว่าเนื้องอกทุกชนิดจะเป็นมะเร็ง เพราะเนื้องอกไม่ร้ายไม่ลุกลามอวัยวะข้างเคียงและไม่กระจายไปทั่วร่างกาย มีมะเร็งที่ส่งผลต่อมนุษย์ที่ทราบแล้วกว่า 200 ชนิด สาเหตุของมะเร็งนั้นมีหลากหลาย ซับซ้อนและเข้าใจเพียงบางส่วนเท่านั้น มีหลายปัจจัยที่ทราบแล้วว่าเพิ่มปัจจัยเสี่ยงมะเร็ง ได้แก่ การสูบบุหรี่ ปัจจัยด้านอาหาร การติดเชื้อบางอย่าง การสัมผัสรังสี ไรโคอันและมลภาวะสิ่งแวดล้อม ปัจจัยเหล่านี้สามารถทำให้ยีนเสียหายโดยตรงหรืออาจประกอบกับความบกพร่องทางพันธุกรรมที่มีอยู่เดิมในเซลล์ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์เป็นมะเร็งได้ มะเร็งราว 5–10% สามารถติดตามไปยังความบกพร่องทางพันธุกรรมแต่กำเนิดโดยตรง มะเร็งหลายชนิดสามารถป้องกันได้โดยการไม่สูบบุหรี่ ทานผัก ผลไม้และธัญพืชเต็มเมล็ด (whole grain) มากขึ้น ทานเนื้อและคาร์โบไฮเดรตขัดสี (refined) น้อยลง ควบคุมน้ำหนัก ออกกำลังกาย จำกัดการรับแสงอาทิตย์ และรับวัคซีนป้องกันโรคติดเชื้อบางชนิด

มะเร็งสามารถตรวจพบได้หลายวิธี รวมทั้งการมีอาการและอาการแสดงบางอย่าง การตรวจคัดกรองโรค หรือการสร้างภาพทางการแพทย์ เมื่อตรวจพบว่ามีโอกาสเป็นมะเร็งแล้ว จะมีการวินิจฉัยไม่ผ่านการโดยการตรวจตัวอย่างเนื้อเยื่อด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยปกติ มะเร็งรักษาด้วยเคมีบำบัด รังสีบำบัดและการผ่าตัด โอกาสการรอดชีวิตของโรคมียากหลายมากขึ้นอยู่กับชนิดและตำแหน่งของมะเร็งและ

ขอบเขตของโรคเมื่อเริ่มต้นการรักษา มะเร็งสามารถเกิดในบุคคลทุกช่วงอายุ แต่ความเสี่ยงการกลายเป็นมะเร็งนั้นโดยปกติจะเพิ่มขึ้นตามอายุ ยกเว้นมะเร็งน้อยชนิดที่พบมากกว่าในเด็ก ในปี 2550 มะเร็งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของมนุษย์ 13% ทั่วโลก (7.9 ล้านคน) อัตรานี้เพิ่มสูงขึ้นเพราะมีผู้รอดชีวิตถึงวัยชรามากขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตครั้งใหญ่ในประเทศกำลังพัฒนา

### 2.5.2 ระยะของโรคมะเร็ง

ระยะโรคมะเร็ง คือ ตัวบอกความรุนแรงของโรค (การลุกลามและแพร่กระจาย) บอกแนวทางการรักษา และแพทย์ใช้ในการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโรคมะเร็ง โดยทั่วไปโรคมะเร็งมี 4 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1-4 ซึ่งทั้ง 4 ระยะ อาจแบ่งย่อยได้อีกเป็น เอ (A) บี (B) หรือ ซี (C) หรือ เป็นหนึ่ง หรือ สอง เพื่อแพทย์โรคมะเร็งจะใช้ช่วยประเมินการรักษา ส่วนโรคมะเร็งระยะศูนย์ (0) ยังไม่จัดเป็นโรคมะเร็งอย่างแท้จริง เพราะเซลล์เพียงมีลักษณะเป็นมะเร็ง แต่ยังไม่มีการรุกราน (Invasive) เข้าเนื้อเยื่อข้างเคียง

- ระยะที่ 1: ก้อนเนื้อหรือแผลมะเร็งมีขนาดเล็ก ยังไม่ลุกลาม
- ระยะที่ 2: ก้อนเนื้อหรือแผลมะเร็งขนาดใหญ่ขึ้น เริ่มลุกลามภายในเนื้อเยื่อหรืออวัยวะ
- ระยะที่ 3: ก้อนเนื้อหรือแผลมะเร็งขนาดใหญ่ขึ้น เริ่มลุกลามเข้าเนื้อเยื่อ/อวัยวะข้างเคียง และลุกลามเข้าต่อมน้ำเหลืองที่อยู่ใกล้เนื้อเยื่อหรืออวัยวะที่เป็นมะเร็ง
- ระยะที่ 4: ก้อนเนื้อหรือแผลมะเร็งขนาดใหญ่โตมาก และลุกลามเข้าเนื้อเยื่อหรืออวัยวะข้างเคียง จนทะลุ และ/หรือ เข้าต่อมน้ำเหลืองที่อยู่ใกล้ก้อนมะเร็ง โดยพบต่อมน้ำเหลืองโตคล้ำได้ และ/หรือ มีหลายหลายต่อม และ/หรือ แพร่กระจายเข้ากระแสโลหิต และ/หรือ หลอดน้ำเหลือง/กระแสโลหิต ไปยังเนื้อเยื่อ/อวัยวะที่อยู่ไกลออกไป เช่น ปอด ตับ สมอง กระดูก ไชกระดูก ต่อมน้ำนมโต ต่อมน้ำเหลืองในช่องท้อง ในช่องอก และ/หรือ ต่อมน้ำเหลืองเหนือกระดูกไหปลาร้า

### 2.5.3 สาเหตุและปัจจัยเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง

สาเหตุและปัจจัยเสี่ยงของการเกิดมะเร็งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทที่สำคัญ คือ

1. เกิดจากสิ่งแวดล้อมหรือ ภายนอกร่างกาย ซึ่งปัจจุบันนี้เชื่อกันว่ามะเร็ง ส่วนใหญ่ เกิดจากสาเหตุ ได้แก่

1.1. สารก่อมะเร็งที่ปนเปื้อนในอาหารและเครื่องดื่ม เช่น สารพิษจากเชื้อราที่มีชื่อ อัลฟาทอกซิน (Aflatoxin) สารก่อมะเร็งที่เกิดจากการปิ้งย่าง พวกไฮโดรคาร์บอน

เอ็กซานเป็นเอก (Hydrocarbon) สารเคมีที่ใช้ในขบวนการถนอมอาหาร ชื่อไนโตรซามีน (Nitrosamine) สีสันการกำไมว่ากรณีใดๆทั้งหมดยุคอาหารที่มาจากสัตว์อ้อมผ้า เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. รังสีเอ็กซ์เรย์ อัลตราไวโอเล็ตจากแสงแดด

- 1.3. เชื้อไวรัส ไวรัสตับอักเสบบี ไวรัสฮิวแมนแพพพิลโลมา
- 1.4. การติดเชื้อพยาธิใบไม้ในตับ
- 1.5. จากพฤติกรรมบางอย่าง เช่น การสูบบุหรี่และดื่มสุรา เป็นต้น
2. เกิดจากความผิดปกติภายในร่างกาย ซึ่งมีเป็นส่วนน้อย เช่น เด็กที่มีความพิการ มาแต่ กำเนิดมี โอกาสเป็นมะเร็งเม็ดเลือดขาว เป็นต้น การมีภูมิคุ้มกันที่บกพร่องและภาวะ ทุพโภชนาการ เช่น การขาดวิตามินบางชนิด เช่น วิตามินเอ ซี เป็นต้น จะเห็นว่า มะเร็งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจาก สิ่งแวดล้อม ดังนั้น มะเร็งก็น่าจะเป็นโรคที่สามารถ ป้องกัน ได้เช่นเดียวกับโรคติดเชื้ออื่นๆ

#### 2.5.4 การรักษาโรคมะเร็ง

จากรายงานของสมาคมต่อต้านโรคมะเร็งของอเมริกาได้เคยรายงานไว้ว่า ในปัจจุบันนี้มี ประชากรชาวอเมริกันเป็นจำนวนมากกว่า 5 ล้านคน ซึ่งเคยเป็นโรคมะเร็งมาก่อน และได้รับการรักษา ให้หายเรียบร้อยดีแล้ว เป็นเวลาเกินกว่า 5 ปี และทุกรายที่รอดชีวิตนี้ เป็นผู้ป่วยมะเร็งในระยะ แรกเริ่มทั้งสิ้น ผู้ป่วยมะเร็งที่มีชีวิตรอดหลังการรักษาเกินกว่า 5 ปี ถือว่า “หาย” การกำหนด ระยะเวลา 5 ปี เพราะว่าโรคมะเร็งส่วนใหญ่มักจะกำเริบ หรือกลับเป็นใหม่อีกภายในระยะเวลา 5 ปี หลังรักษา สำหรับในประเทศไทย จากรายงานของสถาบันมะเร็งโรงพยาบาลศิริราช พบว่า ผู้ป่วย มะเร็งในระยะแรกเริ่มได้รับการรักษาจนหายขาด และยังมีชีวิต และปฏิบัติกรงานได้อย่างสมบูรณ์ เหมือนบุคคลทั่วๆ ไปเป็นจำนวนมากภายหลังกการรักษา 10-20 ปี และต่อมาอาจจะเสียชีวิต จาก สาเหตุ หรือโรคอื่นที่มีสาเหตุจากโรคมะเร็ง อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ป่วยโรคมะเร็ง ทั้งหมด ผลของการรักษาให้หายขาดยังอยู่ในอัตราน้อยมาก ทั้งนี้เพราะผู้ป่วยชาวไทยที่เป็นโรคมะเร็ง มักจะมาพบแพทย์ และได้รับการรักษาอย่างถูกต้อง ก็ต่อเมื่อโรครอยู่ในระยะที่เป็นมากแล้วเสมอ ซึ่ง อาจจะเป็นเพราะผู้ป่วยไม่ได้รับคำแนะนำที่ถูกต้อง การเชื่อถือโศกลางขนบธรรมเนียมประเพณีแต่ โบราณบางอย่าง ความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ และปัญหาที่สำคัญอีกประการก็คือ ปัญหาในด้านฐานะของ ครอบครัวผู้ป่วยเอง สิ่งต่างๆ เหล่านี้ ทำให้ผู้ป่วยมาหาแพทย์ช้า และโรครอยู่ในระยะที่เป็นมากแล้ว ทำ ให้การรักษาไม่ได้ผลดี และมักจะเสียชีวิตเสมอ

ในการรักษาผู้ป่วยโรคมะเร็ง แพทย์มีจุดมุ่งหมายของการรักษา 2 ประการ คือ

1. การรักษาเพื่อมุ่งหวังให้โรครหายขาด

การรักษาจะอยู่ในวงจำกัดที่โรคมะเร็งยังอยู่ในระยะเพิ่งเริ่มเป็นเท่านั้น วิธีการรักษาไม่ว่าจะ เป็นการผ่าตัด หรือการใช้รังสีรักษาก็ตาม จะต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ โดยเฉพาะอาศัยเครื่องมือ และเทคนิคของการรักษาอย่างละเอียด และแม่นยำ

2. การรักษาเพื่อบรรเทาอาการชั่วคราว

สำหรับผู้ป่วยอยู่ในระยะที่เป็นมากแล้ว (ซึ่งสำหรับผู้ป่วยชาวไทย แพทย์จะให้การรักษาแบบ นี้มากกว่าร้อยละ 90) การรักษาไม่ได้มุ่งหวัง ที่จะทำให้โรครหายขาด แต่เพื่อทำให้ผู้ป่วยสบายขึ้น

ชั่วคราว หรือทุเลาจากอาการต่างๆ เท่านั้น ซึ่งอาจจะยืดอายุผู้ป่วยออกไปอีกเล็กน้อย เช่น ในรายที่มีเลือดออกจากแผลมะเร็งมากๆ หรือในรายที่มีก้อนมะเร็งโปกต หรืออุดช่องทางเดินอาหาร หรือทางเดินหายใจ ในรายที่มีอาการปวดอย่างมาก หรือเพื่อลดอัตราการโตของก้อนมะเร็ง ให้ช้าลงชั่วคราว การรักษาแบบนี้มีหลายวิธี แต่ควรยึดหลัก ของการรักษาโดยใช้วิธีการ เครื่องมือที่ง่าย และสะดวกที่สุด และใช้เวลาสั้นที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้สิ้นเปลือง และเกิดผลแทรกซ้อนจากการรักษา

วิธีการรักษาโรคมะเร็งในปัจจุบันมีใช้กันอยู่ 6 วิธี คือ

#### 2.5.4.1 การผ่าตัด

การผ่าตัดเป็นวิธีการรักษาที่ได้ทั้งการมุ่งหวังให้โรครายขาดในกรณีที่โรครังยังเป็นน้อย และเพื่อเป็นการบรรเทาอาการชั่วคราว ในกรณีที่โรคเป็นมากแล้ว มีรายงานทางการแพทย์ที่กล่าวถึงประวัติของการรักษาโรคมะเร็งโดยวิธีผ่าตัดมาตั้งแต่ 5 ศตวรรษ ก่อนคริสตกาล ในปัจจุบันนี้ศัลยแพทย์ผู้ผ่าตัดรักษาโรคมะเร็งจะต้องชำนาญ และฝึกฝนมาทางด้านนี้โดยเฉพาะ และจะต้องรู้ประวัติธรรมชาติของโรคมะเร็งเป็นอย่างดี วิธีการผ่าตัด อาจจะต้องตัดเอาเฉพาะก้อนมะเร็งออกเท่านั้น หรือเลาะเอาต่อมน้ำเหลือง และเนื้อเยื่อที่ติดบริเวณใกล้เคียงออกไปด้วย นอกจากจะผ่าตัดโดยใช้มีดผ่าตัดธรรมดาแล้วในปัจจุบันยังได้มีวิวัฒนาการ โดยการผ่าตัดด้วยมีดไฟฟ้า การผ่าตัดโดยใช้ความเย็น ระหว่าง -20 ถึง -150 องศาเซลเซียส การผ่าตัดร่วมกับการใช้ยาให้ผิวหนังใหม่ในการรักษามะเร็งผิวหนัง และการใช้แสงเลเซอร์แทนมีดผ่าตัด การผ่าตัดเหล่านี้ทำให้ศัลยแพทย์สามารถผ่าตัดเอาก้อนมะเร็งออกได้ง่ายขึ้น เสียเลือดน้อยลง และใช้เวลาในการผ่าตัดน้อยลงด้วย

การผ่าตัดนอกจากจะมีบทบาทในด้านการรักษาแล้ว ยังมีบทบาทในด้านการวินิจฉัย โดยเอาชิ้นเนื้อมาตรวจ ในด้านการผ่าตัด เพื่อบริหารยาเข้าทางหลอดเลือดเฉพาะที่ และในด้านการผ่าตัดเพื่อแก้ไขความพิการภายหลังการรักษาด้วย

#### 2.5.4.2 รังสีรักษา

การฉายรังสีเป็นวิธีการรักษาที่ใช้ได้ทั้งการมุ่งหวังให้โรครายขาด และเพื่อการบรรเทาอาการชั่วคราว ผู้ป่วยชาวไทยส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 60-80 ของผู้ป่วยมะเร็งทั้งหมดมักจะได้รับการรักษาด้วยรังสี เพราะอยู่ในระยะที่เป็นมากแล้ว และการรักษาด้วยรังสี เพื่อบรรเทาอาการ จะสะดวกสบายมากกว่า รังสีที่ใช้รักษาโรคมะเร็งมี 2 กลุ่มใหญ่ คือ

##### 1. รังสีโฟตอน

รังสีโฟตอนซึ่งมีพลังงานทะลุทะลวงระหว่าง 1.24 กิโลวัตต์ ถึง 12.4 เมกะวัตต์ มีขนาดของคลื่นรังสีระหว่าง 10-0.001 อังสตรอม อาทิเช่น รังสีเอกซ์ จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ รังสีแกมมาจากสารกัมมันตรังสีต่าง ๆ ทั้งที่เกิดโดยธรรมชาติ เช่น จากแร่เรเดียม (226 radium) หรือที่มนุษย์

ประดิษฐ์ขึ้นมา เช่น โคบอลต์60 (60 cobalt) ซีเซียม137 (137 Cs) ไอโอดีน131 (131 I) ทอง198 (198 Au) ฯลฯ

## 2. รังสีอนุภาค

ส่วนใหญ่ได้จากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี หรือจากเตาปฏิกรณ์ปรมาณู และโดยทั่วไปแล้ว รังสีพวกนี้จะมีพลังงานทะลุทะลวงน้อยกว่ารังสีโฟตอน อาทิเช่น อนุภาคแอลฟา จากแร่เรเดียม ก๊าซเรดอน และอนุภาคเบตา จากแร่สตรอนเตียม90 (strontium-90) ฟอสฟอรัส32 (phosphorus-32)

รังสีต่างๆ ที่กล่าวมานี้ นำมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง โดยมีเทคนิคใหญ่ๆ 2 แบบ คือ ในรูปของต้นกำเนิดรังสีอยู่ภายนอกร่างกายของผู้ป่วย ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของการฉายรังสีลึก เช่น จากเครื่องฉายรังสีเอกซ์ชนิดลึก (ซึ่งแตกต่างไปจากเครื่องเอกซเรย์สำหรับการถ่ายภาพ เพื่อการวินิจฉัยโรค) เครื่องโคบอลต์60 ซึ่งมีการติดตั้งการใช้รักษาโรคมะเร็งในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2502 และเครื่องเร่งอนุภาค เป็นต้น และอีกแบบหนึ่ง อยู่ในรูป ของต้นกำเนิดรังสี อยู่ในร่างกายของผู้ป่วย ได้แก่ การฝังแร่เรเดียมในการรักษามะเร็งในช่องปาก การสอดใส่แร่เรเดียมในการรักษามะเร็งปากมดลูก หรือการใช้ไอโอดีน131 รับประทานในการรักษามะเร็งต่อมไทรอยด์ เป็นต้น

### 2.5.4.3 การใช้สารเคมีบำบัด

การรักษาในรูปของการใช้รักษามะเร็งกำลังเป็นที่สนใจ และมีบทบาทสำคัญ ในปัจจุบันนี้มีมะเร็งหลายชนิด ที่อาจรักษาให้หายขาดด้วยยา แต่ส่วนใหญ่จะใช้เฉพาะในรายที่เป็นมากแล้ว เพื่อเป็นการรักษา เพื่อบรรเทาอาการเท่านั้น ชนิดของยา อาจจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ไมโซซอร์โอมิน และฮอโรโมน หรือจะแบ่งตามลักษณะการออกฤทธิ์ของยา ทางจลนศาสตร์ของเซลล์ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ออกฤทธิ์ต่อเซลล์ได้ทุกระยะในวงชีพของเซลล์ โดยไม่จำกัดเวลา อาทิเช่น ยาประเภทไนโตรเจน มัสตาร์ด เป็นต้น
2. ออกฤทธิ์จำกัดได้เฉพาะระยะใดระยะหนึ่ง ในวงชีพของเซลล์เท่านั้น เช่น ยาประเภทอัลคาลอยด์ จากพืชบางอย่าง ออกฤทธิ์ได้เฉพาะเซลล์ที่กำลังอยู่ในระยะแบ่งตัวหรือยามะโรเทรกสจะออกฤทธิ์เฉพาะเซลล์ที่กำลังมีการสร้าง ดีเอ็นเอ เท่านั้น

การใช้ยารักษามะเร็ง อาจจะแบ่งได้ตามวิธีใช้ คือ

1. การใช้ยาเฉพาะที่ เช่น ในรูปของการใช้ทา การฉีดเข้าไขสันหลัง

2. การใช้ยาให้ซึมซาบทั่วร่างกาย เช่น ในรูปของการรับประทาน การใช้ฉีดยาเข้าหลอดเลือด หรือ อาจจะแบ่งตามรูปแบบการรักษา คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้เป็นการรักษาหลัก คือ ไข้ยา (ชนิดเดียวหรือหลายชนิดก็ได้) รักษาเพียงวิธีเดียว อาทิเช่น การรักษามะเร็งเม็ดเลือดขาว
- ใช้ร่วมกับการรักษาวิธีอื่น เพื่อหวังผลการรักษามากขึ้น เช่น การให้ยารักษามะเร็ง ภายหลังจากการผ่าตัด เพื่อหวังในการป้องกันการแพร่กระจาย

การใช้ยา อาจจะใช้ยาเพียงชนิดเดียว หรือหลายชนิดร่วมกันก็ได้ สำหรับในประเทศไทย การรักษาโดยวิธีนี้ยังอยู่ในวงจำกัด เพราะยาพวกนี้ ส่วนใหญ่มีราคาแพงมาก บางชนิดก็ยังไม่มียาจำหน่ายในประเทศไทย และมีพิษรุนแรง และมีผลแทรกซ้อน จากการรักษามาก โดยเฉพาะการกดไขกระดูก จึงมักจะใช้โดยแพทย์ที่ชำนาญทางยารักษามะเร็งโดยเฉพาะ

#### 2.5.4.4 การใช้การรักษาทั้ง 3 วิธีกล่าวมาแล้วร่วมกัน

ในปัจจุบันนี้การรักษาโรคมะเร็ง ได้ก้าวผ่านการรักษาตามอาการ และการรักษา เพื่อบรรเทาเข้ามาสู่การรักษา เพื่อมุ่งหวังให้โรคหายขาดมากขึ้น แต่เดิมการรักษา มักจะกระทำโดยแพทย์เฉพาะทางฝ่ายเดียว เมื่อการรักษาล้มเหลวจากวิธีใดวิธีหนึ่งแล้ว จึงเปลี่ยนมาเป็นอีกวิธีหนึ่ง ทำให้ผลการรักษาไม่ดีเท่าที่ควร ในปัจจุบันนี้ จึงนิยมใช้วิธีการรักษาหลายๆ วิธีร่วมกัน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ผลการรักษาดีขึ้น หรือสะดวกขึ้น อาทิเช่น การผ่าตัดร่วมกับรังสีรักษา เช่น มะเร็งเต้านม มะเร็งปอด โดยการผ่าตัดเอามะเร็งปอดออกมา และฉายรังสีไปที่มะเร็งทุติยภูมิ ที่ต่อมน้ำเหลือง การผ่าตัดร่วมกับสารเคมีบำบัด เช่น มะเร็งปอด การผ่าตัดร่วมกับรังสีรักษา และสารเคมีบำบัด เช่น มะเร็งของไตในเด็ก รังสีรักษาร่วมกับสารเคมีบำบัด เช่น มะเร็งของอวัยวะต่างๆ ที่อยู่ในระยะที่เป็นมากแล้ว เป็นต้น

#### 2.5.4.5 การรักษาโดยการเสริมภูมิคุ้มกัน

เป็นวิธีการรักษาที่เพิ่งจะสนใจ และเริ่มใช้กันในวงการแพทย์เมื่อไม่นานมานี้ และนับวันจะยังมีบทบาทมีความสำคัญในการรักษาโรคมะเร็งมากขึ้นเรื่อยๆ โดยอาศัยหลักที่ว่า ผู้ที่เป็นมะเร็งนั้น เนื่องจากว่าร่างกายไม่สามารถที่จะค้นพบว่า ที่ผิวของผนังด้านนอกของเซลล์มะเร็งมีแอนติเจนที่เรียกว่า ทีเอเอ อยู่ หรือในกรณีที่ร่างกายสามารถจะค้นพบแอนติเจนนี้ได้ แต่ร่างกายไม่สามารถจะสร้างภูมิคุ้มกัน หรือแอนติบอดีไปต่อต้าน หรือทำลายแอนติเจนนี้ จะเป็นเพราะระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายล้มเหลว หรือมีอะไรไปยับยั้งในการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย ฉะนั้น การกระตุ้นให้ร่างกายสามารถจะค้นหาแอนติเจนจากเซลล์มะเร็งได้ หรือการกระตุ้นให้ร่างกายมีการสร้างภูมิคุ้มกันเพิ่มขึ้น จะโดยทางตรง หรือทางอ้อมก็ตาม ก็น่าที่จะให้มะเร็งที่กำลังเป็นผู้อยู่ในบุคคลผู้นั้นมีการฝ่อตัวลง หรือหยุดการเจริญเติบโต หรือโตช้าลง

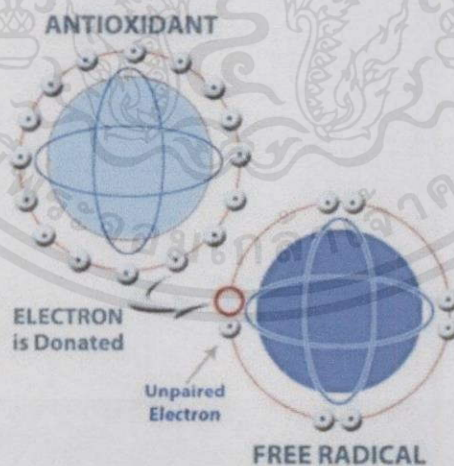
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.5.4.6 การรักษาทางด้านจิตวิทยา

มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับผู้ป่วยมะเร็งมาก เพราะว่าเพียงแต่รู้ว่าตนเองเป็นมะเร็งเท่านั้น ผู้ป่วยก็จะหมดกำลังใจเสียแล้วผู้ป่วยมะเร็งในประเทศไทยส่วนใหญ่ก่อนจะมารับการรักษาที่ถูกต้องนั้น มักจะหมดทั้งกำลังใจ กำลังใจ และกำลังทรัพย์ และโดยเฉพาะในระยะสุดท้ายของโรค นอกจากผู้ป่วยจะมีอาการไม่สบาย เจ็บปวดทางกายแล้ว ผู้ป่วยยังมีความรู้สึกอ้างว้าง รู้สึกว่า ถูกทอดทิ้ง หรือเป็นที่รังเกียจแม้แต่กับญาติสนิท ฉะนั้นการให้การรักษาในด้านจิตวิทยา และการกระทำใดๆ ก็ตาม ที่ทำให้ผู้ป่วยมีจิตใจสบายขึ้น ก็จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ป่วยเป็นอย่างมาก ผู้ป่วยอาจจะมียุติยานยาวขึ้นอีกเล็กน้อย โดยมีความสุขใจพอสมควร แม้ว่าจะจะเป็นความสุข ความพอใจเล็กๆ น้อยๆ ในช่วงสุดท้ายของชีวิตก็ตาม ผลของการรักษาโรคมะเร็งไม่ว่าจะใช้วิธีใดก็ตาม จะดีหรือเลวนั้นมีได้ขึ้นอยู่กับแพทย์ผู้รักษาเพียงฝ่ายเดียว หากแต่ยังขึ้นอยู่กับตัวผู้ป่วยเอง ชนิดของมะเร็ง และที่สำคัญที่สุดคือ ระยะของโรค การรักษาโดยอาศัยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญทางโรคมะเร็งโดยเฉพาะ และการมีเครื่องมือในการรักษาพร้อม เป็นเพียงส่วนหนึ่งที่ทำให้การรักษาได้ผลดี แต่จะดีขึ้นถ้าหากว่า ผู้ป่วยได้สนใจต่อตนเอง หรือมารับการรักษา ในขณะที่โรคยังเป็นน้อย และให้ความร่วมมือในการรักษาเป็นอย่างดีด้วย

## 2.6 อนุมูลอิสระ

### 2.6.1 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระ



รูปที่ 2.16 กลไกการเกิดอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ(รูปที่ 2.16) คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนไม่เป็นคู่ อยู่ในวงอิเล็กตรอนวงนอกสุด (out orbital) เนื่องจากการมีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (unpaired electron) อยู่ในวงโคจรของโมเลกุลทำให้ไม่เสถียร ทำให้อนุมูลอิสระเป็นสารที่มีความไวในการเข้าทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่น

สูงมาก โดยอนุมูลอิสระจะไปแย่งจับหรือดึงเอาอิเล็กตรอนจากโมเลกุลหรืออะตอมสารที่อยู่ข้างเคียง เพื่อให้ตัวมันเสถียร โมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนี้จะไปทำปฏิกิริยากับสารโมเลกุลอื่นต่อไป เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ต่อกันไปเรื่อยๆ โดยที่อนุมูลอิสระก็มีสมบัติเหมือนสารต่างๆไป ตรงที่ความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง (pH) และความชื้น เป็นต้น

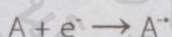
อนุมูลอิสระมีทั้งที่อยู่ในสถานะที่เป็นกลางทางไฟฟ้า และอนุมูลในสถานะที่มีประจุไฟฟ้า โดยมีทั้งประจุบวกและประจุลบ สัญลักษณ์ทางเคมีของอนุมูลอิสระ คือ อิเล็กตรอนเดี่ยวของอนุมูลอิสระ จะแสดงด้วยจุดในตำแหน่งข้างบนของสัญลักษณ์ทางเคมี เช่น อนุมูล R<sup>•</sup> แทนอะตอมหรือโมเลกุลของอนุมูลอิสระที่ไม่จำเพาะเจาะจง ซึ่งอนุมูลอิสระมีทั้งที่เป็นประจุบวก (R<sup>+</sup>) เช่น อนุมูล pyridinyl (NAD<sup>+</sup>) และประจุลบ(R<sup>-</sup>) เช่น อนุมูล superoxide (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) หรือเป็นกลาง เช่น อนุมูล peroxy (ROO<sup>•</sup>) หรืออนุมูล thiyl (RS<sup>•</sup>) เป็นต้น ซึ่งจากคำจำกัดความนี้ส่งผลให้อะตอมของธาตุและสารละลายหลายชนิดถูกจัดเป็นอนุมูลอิสระด้วย เช่น คลอรีนอะตอม (Cl<sup>•</sup>) และซิลเวอร์อะตอม (Ag<sup>•</sup>) เป็นต้น

อนุมูลอิสระที่มีความสำคัญในทางชีวภาพ ได้แก่ Hydroxyl radical (HO<sup>•</sup>), Superoxide anion radical (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) เป็นต้น อนุมูลเหล่านี้จัดเป็นอนุมูลที่ไวในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับสารอื่นสูงมาก การเกิดอนุมูลอิสระมีได้หลายกลไกที่ต่างกันไป ดังนี้

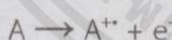
1) การแตกของพันธะโควาเลนต์แบบโฮโมลิซิส (Homolysis)



2) การเพิ่มอิเล็กตรอน 1 ตัว ให้แก่อะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้า



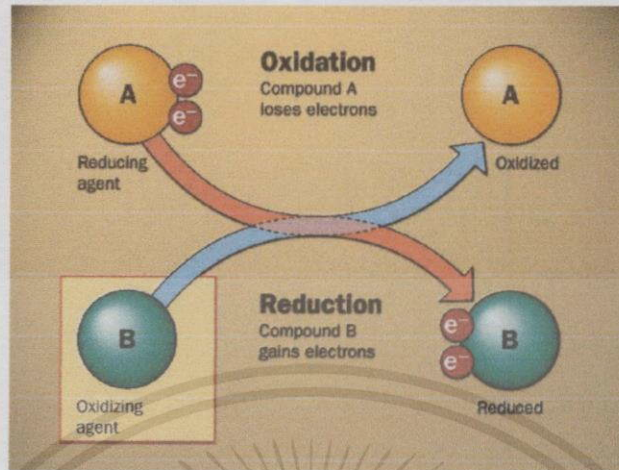
3) การสูญเสียอิเล็กตรอน 1 ตัว จากอะตอมที่เป็นกลางทางไฟฟ้า



อนุมูลอิสระและสารที่เกี่ยวข้องต่างๆในทางชีววิทยาที่สามารถเป็นตัวตั้งต้นที่ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระได้อีกหลายชนิดได้อีกหลายชนิด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (reactive oxygen species, ROS) กลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (reactive nitrogen species, RNS) และกลุ่มที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบสำคัญ (reactive chlorine species, RCS) สารบางชนิดสามารถจัดอยู่ได้ 2 กลุ่ม เช่น เปอร์ออกซีไนไตรท์ (Peroxy nitrite)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 ปฏิกริยาออกซิเดชัน (Oxidation)



รูปที่ 2.17 กลไกการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชัน

ปฏิกริยาออกซิเดชัน(รูปที่ 2.17) หมายถึง ปฏิกริยาที่โมเลกุลหรืออะตอมมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจากวงโคจรให้กับโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เรียกว่าที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนว่า ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) และเรียกรสารที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนตอนนี้ว่า ตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) โดยปฏิกริยาออกซิเดชันมักจะเกี่ยวข้องกับออกซิเจน นอกจากนี้ ออกซิเดชันยังหมายถึงการเสียไฮโดรเจนอะตอมออกจากโมเลกุลอีกด้วย ปฏิกริยาออกซิเดชันและอนุมูลอิสระนั้นมีความเกี่ยวข้อง เนื่องจากปฏิกริยานี้ทำให้เกิดอนุมูลอิสระของสารต่างๆได้มากมายหลายชนิด และอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชันกับสารอื่นๆเป็นปฏิกริยาลูกโซ่ต่อไป

### 2.6.3 ปฏิกริยาของอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระจะเกิดปฏิกริยาที่เป็นแบบปฏิกริยาลูกโซ่ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกเป็นขั้นที่อนุมูลอิสระถูกสร้างหรือผลิตขึ้น เรียกขั้นตอนนี้ว่าขั้นตอนอินิทิเอชัน (initiation step) ขั้นที่สองเป็นขั้นที่อนุมูลอิสระถูกเปลี่ยนไปเป็นอนุมูลอิสระตัวอื่นต่อกันไป เรียกว่าขั้นพรอพาเกชัน (propagation step) และขั้นสุดท้ายเรียกว่าขั้นเทอร์มิเนชัน (termination step) เป็นขั้นหยุดปฏิกริยาของอนุมูลอิสระ เป็นขั้นตอนที่มีการรวมกันของอนุมูลอิสระ 2 อนุมูลได้เป็นสารที่มีความเสถียร โดยที่ว่าการที่โมเลกุลหรืออะตอมของสารที่มีอิเล็กตรอนเข้าคู่กันครบเสียอิเล็กตรอนไปกลายเป็นอนุมูลอิสระได้นั้น ต้องอยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูง แต่ก็มีโมเลกุลอีกหลายชนิดที่กลายเป็นอนุมูลอิสระได้ เมื่ออยู่ในสภาวะปกติ ซึ่งรวมถึงสารชีวโมเลกุลต่างๆที่พบในสิ่งมีชีวิตด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระคือสารปริมาณน้อยที่สามารถป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยอนุมูลอิสระชนิดต่างๆได้ สารเหล่านี้มีกลไกการทำงานต้านอนุมูลอิสระด้วยกันหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับเหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) ป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ เป็นต้น ปกติร่างกายคนเรานั้นจะมีสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติหลากหลายชนิดทั้งที่เป็นเอนไซม์เช่น superoxide dismutase, catalase และ glutathione peroxidase เป็นต้น และสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ เช่น urate, bilirubin และ transferrin เป็นต้น เนื่องจากสารเหล่านี้มีจำนวนจำกัด ดังนั้นเมื่อใดก็ตามที่มีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นเกินกว่าจะกำจัดได้หมด อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ ดังที่กล่าวมาแล้วนอกจากนี้พวกวิตามินบางชนิด เช่น บีตาแคโรทีน (Beta carotene) วิตามินซี (vitamin C) วิตามินอี (vitamin E) รวมทั้งสารประกอบกลุ่ม polyphenols ต่างๆ ซึ่งมีรายงานพบมากในพืช ผัก ผลไม้ ทั่วไปยังจัดเป็นสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากแหล่งธรรมชาติที่อยู่อีกกลุ่มหนึ่ง

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการออกฤทธิ์คือ

### 2.7.1 สารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ

เป็นสารที่หยุดปฏิกิริยาอนุมูลอิสระโดยการให้อนุมูลไฮโดรเจน ( $H^{\cdot}$ ) หรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระโดยตรงเป็นผลให้อนุมูลนั้นกลายเป็นสารที่มีเสถียรขึ้นสารออกฤทธิ์ในลักษณะดังกล่าว ได้แก่ สารประกอบกลุ่ม phenolic เช่น flavonoids, eugenol และ vanillin เป็นต้น สารต้านอนุมูลอิสระชนิดนี้จะทำหน้าที่ได้ดีที่ความเข้มข้นต่ำๆ แต่เมื่อมีความเข้มข้นสูงขึ้นอาจกลายเป็นสารเสริมฤทธิ์ออกซิเดชันได้

### 2.7.2 สารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิ

สารต้านอนุมูลอิสระประเภทนี้ไม่ทำปฏิกิริยาโดยตรงกับอนุมูลอิสระแต่จะช่วยการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระปฐมในลักษณะต่างๆ เช่น จับกับ  $Fe^{2+}$  ดักจับออกซิเจน ดูดซับรังสียูวีไว้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี

##### 3.1.1 เครื่องมือ

- เครื่อง UV-Vis spectrophotometer
- เครื่องซังสาร
- Hemacytometer
- กล้องจุลทรรศน์

##### 3.1.2 เครื่องแก้ว

- บีกเกอร์ ขนาด 25 mL , 50 mL
- ปิเปต ขนาด 10 mL , 100-1000  $\mu$ L
- ขวดชมพู

##### 3.1.3 วัสดุ

- ถุงมือ
- จุกอุดสารเคมี
- คิวเวท (cuvtte)
- แผ่นพาราฟินด์
- หน้ากากปิดจมูก
- กระจกครอบสาร
- กระจกทึบ

##### 3.1.4 สารเคมี

- MCF-7 Cells (100,000 cells/mL)
- น้ำ DI
- น้ำกลั่น
- Zinc oxide nanoparticles
- Ferrozine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี

##### 3.1.1 เครื่องมือ

- เครื่อง UV-Vis spectrophotometer
- เครื่องชั่งสาร
- Hemacytometer
- กล้องจุลทรรศน์

##### 3.1.2 เครื่องแก้ว

- บีกเกอร์ ขนาด 25 mL , 50 mL
- ปิเปต ขนาด 10 mL , 100-1000  $\mu$ L
- ขวดชมพู

##### 3.1.3 วัสดุ

- ถังมือ
- จุกดูดสารเคมี
- คิวเวท (cuvtte)
- แผ่นพาราฟินด์
- หน้ากากปิดจมูก
- กระจดาขรongsาร
- กระจดาขททชช

##### 3.1.4 สารเคมี

- MCF-7 Cells (100,000 cells/mL)
- น้ำ DI
- น้ำกลั่น

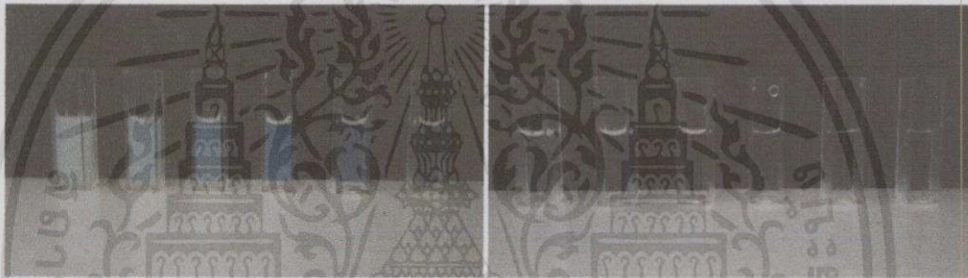
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้สำหรับการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  หัดดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ferrozine

- Typsin
- Tripen blue
- PBS

### 3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

- 3.2.1 เตรียมสารละลายอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 2560, 1280, 640, 320, 160, 80, 40, 20, 10, 5, 2.5, 0  $\mu\text{g}/\text{mL}$
- 3.2.2 นำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆอย่างละ 2 ml มาวัดค่าการดูดกลืนจากเครื่อง UV-Vis spectrophotometer



รูปที่3.1 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

- 3.2.3 นำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆอย่างละ 1 mL เติมลงในเซลล์ (1mL) ที่เตรียมไว้ (As') และใช้เป็นตัวควบคุม (Ac') 2 mL



รูปที่3.2 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเติมลงในเซลล์และใช้เป็นตัวควบคุม

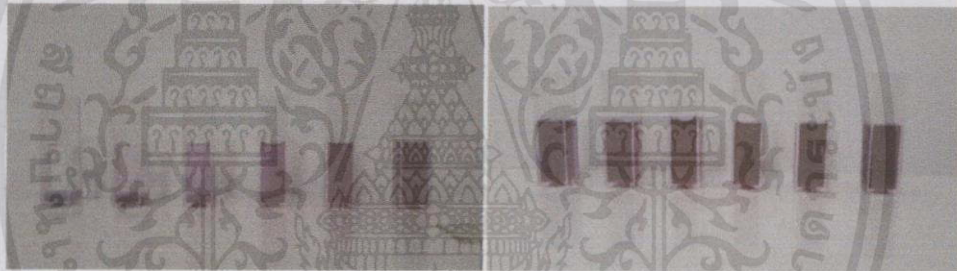
- 3.2.4 นำ As' และ Ac' เข้าใน UV-chamber ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

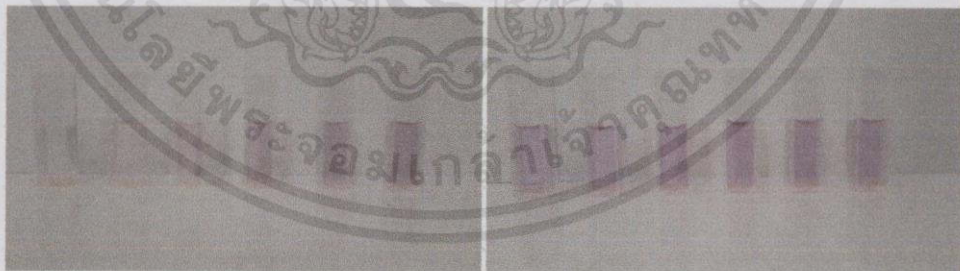


รูปที่3.3 ลักษณะของ As' และ Ac' เมื่ออยู่ใน UV-chamber

- 3.2.5 เมื่อเวลาผ่านไป จะได้เป็น As และ Ac ที่ความเข้มข้นต่างๆ
- 3.2.6 นำ As 2 ml + DI 0.9 mL +  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.033 mL + Ferrozine 0.067 mL  
 Ac 2 ml + DI 0.9 mL +  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.033 mL + Ferrozine 0.067 mL
- 3.2.7 นำมาวัดค่าการดูดกลืนโดยใช้ตัว control คือ Ac-As จะได้ค่าการดูดกลืนของ As ที่ความเข้มข้นต่างๆ อย่างละ 2 mL



รูปที่3.4 Ac ที่ความเข้มข้นต่างๆ



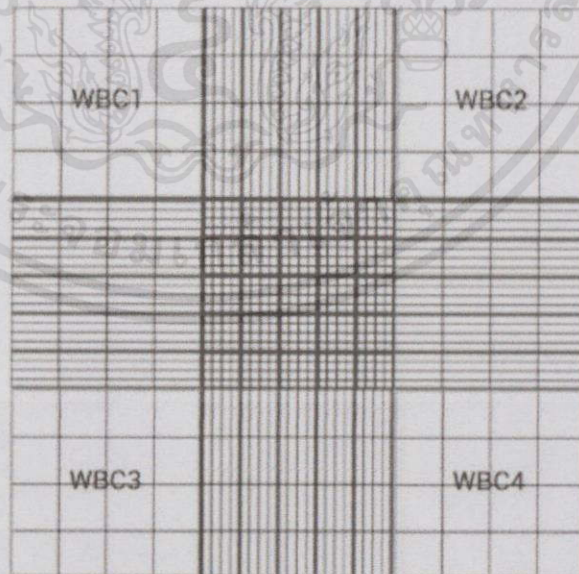
รูปที่3.5 As ที่ความเข้มข้นต่างๆ

- 3.2.8 คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การตรวจจับของ Ferrous กับอนุมูลอิสระในแต่ละความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนการนับเซลล์

- 3.3.1 ดูดสารละลาย ZnO,  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , Ferrozine, DI ออกจากเซลล์แต่ละหลุม (1 mL)
- 3.3.2 เติม PBS 500  $\mu\text{L}$  เพื่อชะล้างและหยุดการทำงานของสารละลายต่างๆกับเซลล์ จากนั้นดูดสารออก
- 3.3.3 เติมทริปซิน 500  $\mu\text{L}$  เพื่อย่อยเซลล์ที่เกาะอยู่ที่พื้นหลุมให้หลุดออกทิ้งไว้ในเวลาที่เหมาะสมประมาณ 5-10 นาที เพื่อให้เซลล์ก็หลุด จากนั้นดูดสารออก
- 3.3.4 เติมอาหารเซลล์ 1000  $\mu\text{L}$  ในเซลล์แต่ละหลุมเพื่อนำเซลล์ออกมานับ
- 3.3.5 ดูดพ้นภายในหลุมเพื่อให้เซลล์หลุดออกจากพื้นผิว จากนั้นดูดเซลล์แต่ละหลุมมา 400  $\mu\text{L}$  ใส่ในหลอดทดลอง
- 3.3.6 เติมทริปเพนบลู 100  $\mu\text{L}$  ผสมกับเซลล์ที่เตรียมไว้
- 3.3.7 นำเซลล์ที่ผสมสีแล้วมาโหลดใส่แผ่นฮีมาไซโตมิเตอร์
- 3.3.8 นำไปส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อทำการนับเซลล์
- 3.3.9 นำจำนวนเซลล์มีชีวิต โดยนับทั้งหมด 5 ช่องใหญ่ คือ ช่องที่ 1 2 3 4 และช่องกลาง ดังรูปที่ 3.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยฯ จะถือว่าผิดกฎหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยฯ จะถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

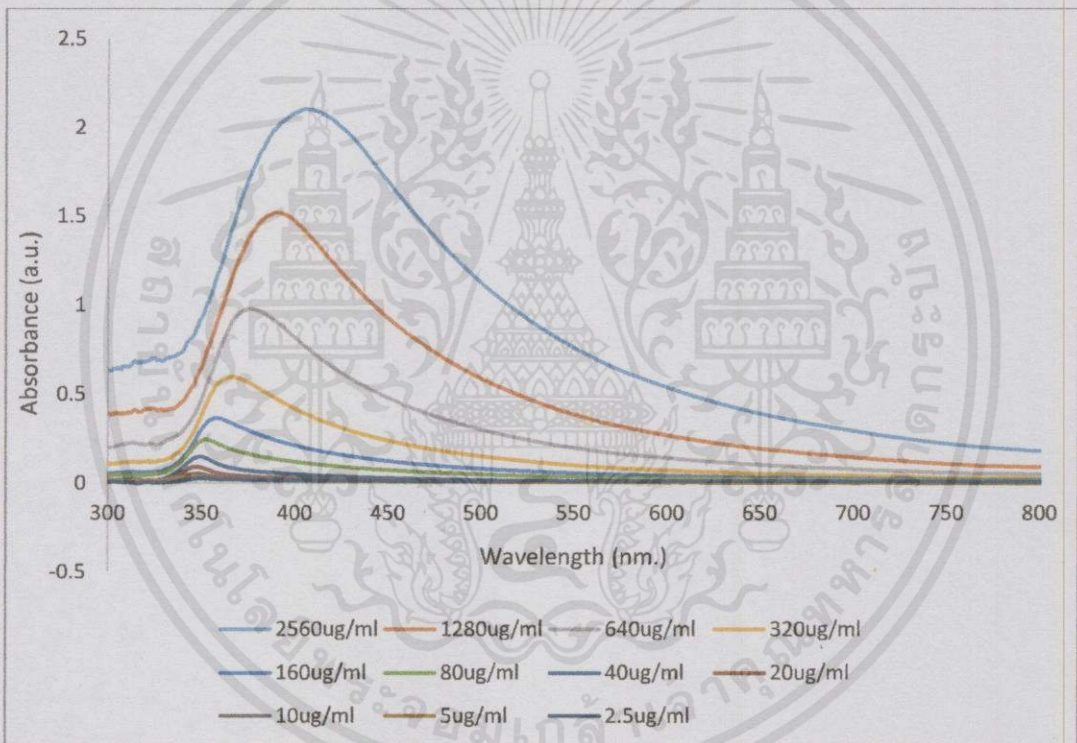
- 3.3.9 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์จำนวนเซลล์มีชีวิต (%Cell viability) ในแต่ละความเข้มข้น

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

สำหรับโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผ่านกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตเพื่อก่อให้เกิดพิษต่อเซลล์มะเร็งในเซลล์เพาะเลี้ยง และทำให้เซลล์มะเร็งถูกทำลาย ดังนั้นจึงต้องทำการวัดสเปกตรัมการดูดกลืนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ก่อนเพื่อความแม่นยำในการทดลองต่อไป และทำการวัดค่าการตรวจจับของ Fe กับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อวัดค่าความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

#### 4.1 การทดลองวัดสเปกตรัมการดูดกลืนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์



รูปที่4.1.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

การศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ดังรูปที่4.1.1 พบค่าการดูดกลืนในช่วงยูวี และมีข้อสังเกตว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น พีคของซิงค์ออกไซด์ไม่คงที่ ซึ่งการเลื่อนของพีคสามารถอธิบายได้จากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระของโลหะภายใต้สนามไฟฟ้า ค่าความเข้มข้นของสารละลาย และค่าความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทศสวณ ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารละลายเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าการดูดกลืนตามหลักการวิเคราะห์กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต ดังสมการ

$$\text{ค่าการทะลุผ่าน (Transmittance)} \quad T = I/I_0 \quad (4.1)$$

$$\text{ค่าการดูดกลืน (Absorbance)} \quad A = -\log I/I_0 \quad (4.2)$$

$$\text{และ} \quad A = \alpha bc \quad (4.3)$$

โดยที่ T คือ ค่าการทะลุผ่านของแสง

A คือ ค่าการดูดกลืนของแสง

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน

b คือ ระยะทางที่รังสีเคลื่อนที่ในสารละลาย

c คือ ความเข้มข้นของสารละลาย

ดังนั้นเมื่อค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซึ่งคือออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วยตามสมการ 4.3 และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงนั้นมีความสัมพันธ์กับความเข้มแสงเข้าและแสงออก

$$I/I_0 = \exp(-\alpha L) \quad (4.4)$$

โดยที่ I คือ ความเข้มของแสงตกกระทบ

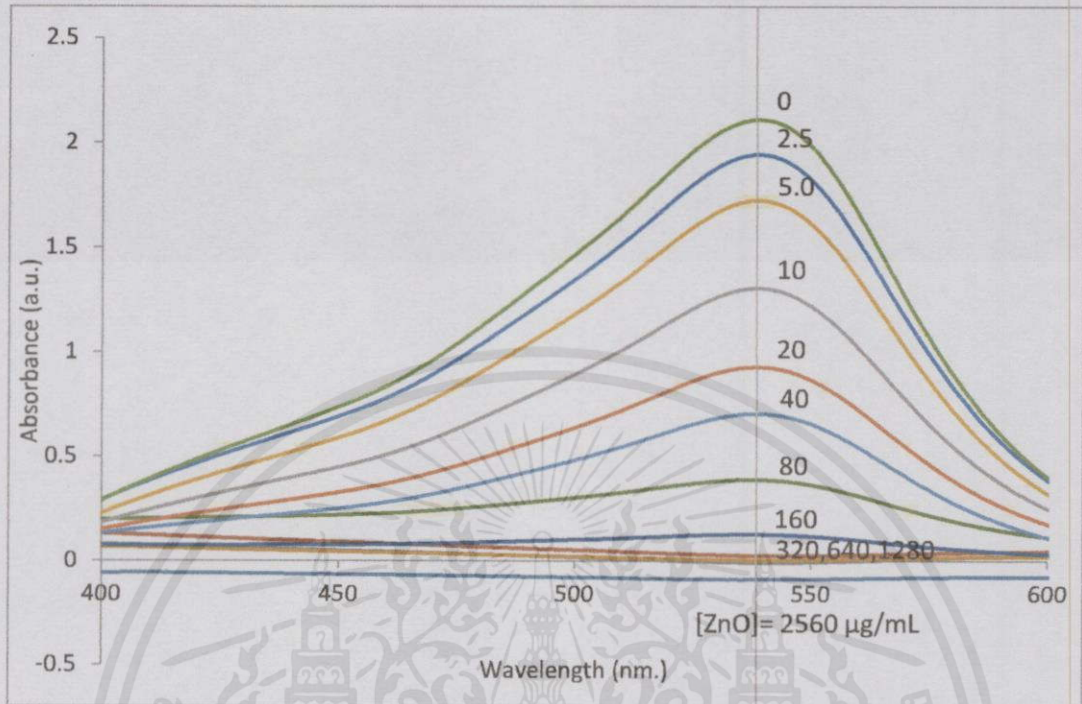
$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน

L คือ ระยะทางที่แสงเดินทางผ่านตัวกลาง

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเข้มแสงน้อยลงตามสมการ 4.4 ส่งผลให้ค่าสนามไฟฟ้าลดลง เนื่องจากค่าความเข้มแสง (I) เป็นปริมาณโดยตรงกับค่าสนามไฟฟ้ากำลังสอง และจากค่าสนามไฟฟ้า  $E = E_0 e^{-i\omega t}$  เมื่อ  $\omega$  คือ ค่าความถี่ของแสงซึ่งมีค่าเท่ากับ  $2\pi f$  โดยที่  $f = \frac{c}{\lambda}$  ทำให้ทราบว่าค่าสนามไฟฟ้า (E) เป็นปริมาณผกผันกับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ดังนั้นเมื่อค่าสนามไฟฟ้าลดลง ค่าความยาวคลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

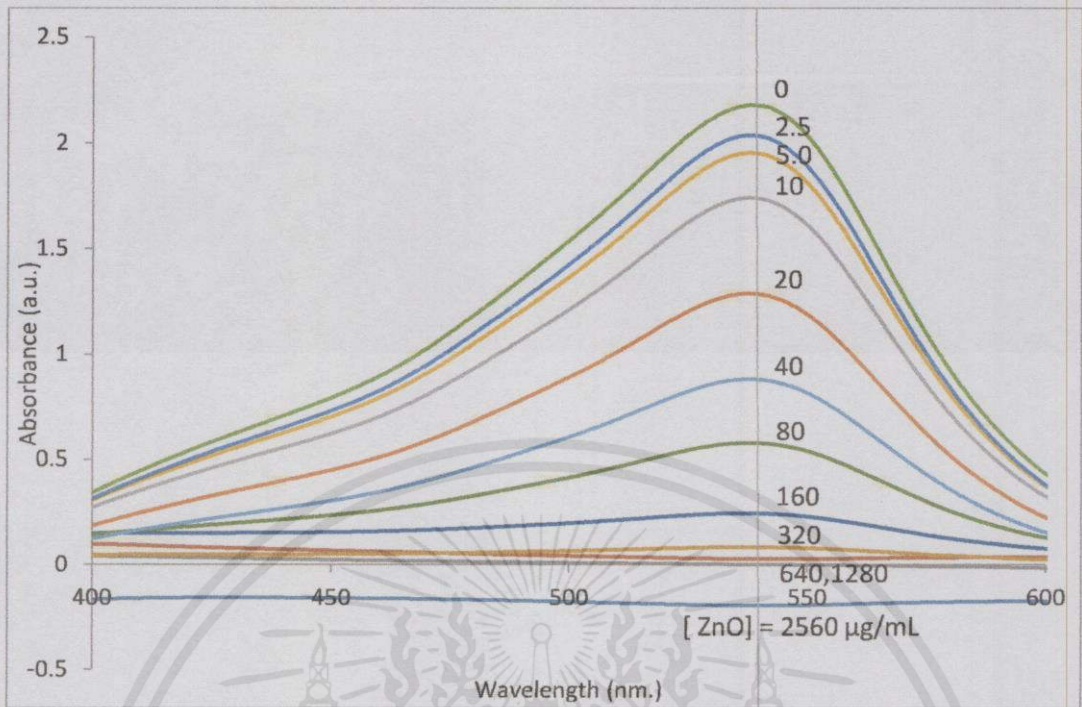
## 4.2 การทดลองวัดค่าความสามารถในการตรวจจับอนุมูลอิสระ



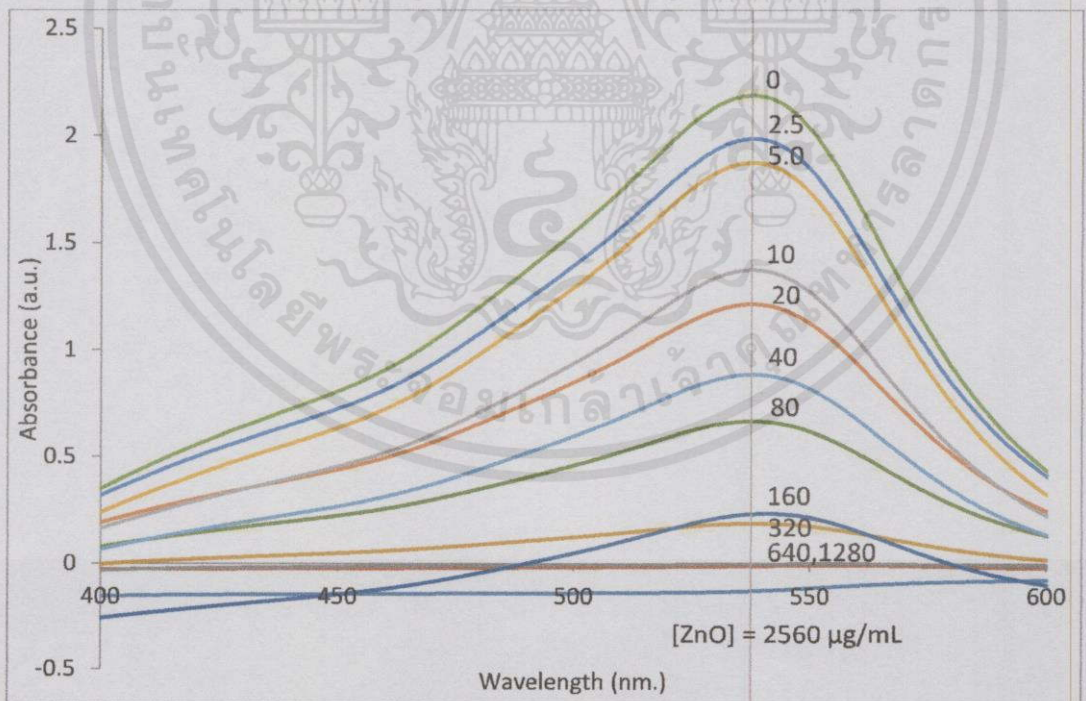
รูปที่ 4.2.1 Fe Chelating Profile (ครั้งที่ 1)

จากรูปที่ 4.2.1 เมื่อเราใช้ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้น ค่าความสามารถในการตรวจจับอนุมูลอิสระของ Fe จะลดลง ซึ่งแสดงถึงออกไซด์ของโลหะซิงค์นั้นสามารถจับกับอนุมูลอิสระได้มากหรือสามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้มากนั่นเอง จึงมีโลหะ ZnO เหลือน้อยที่จะเข้ามาจับกับ Fe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

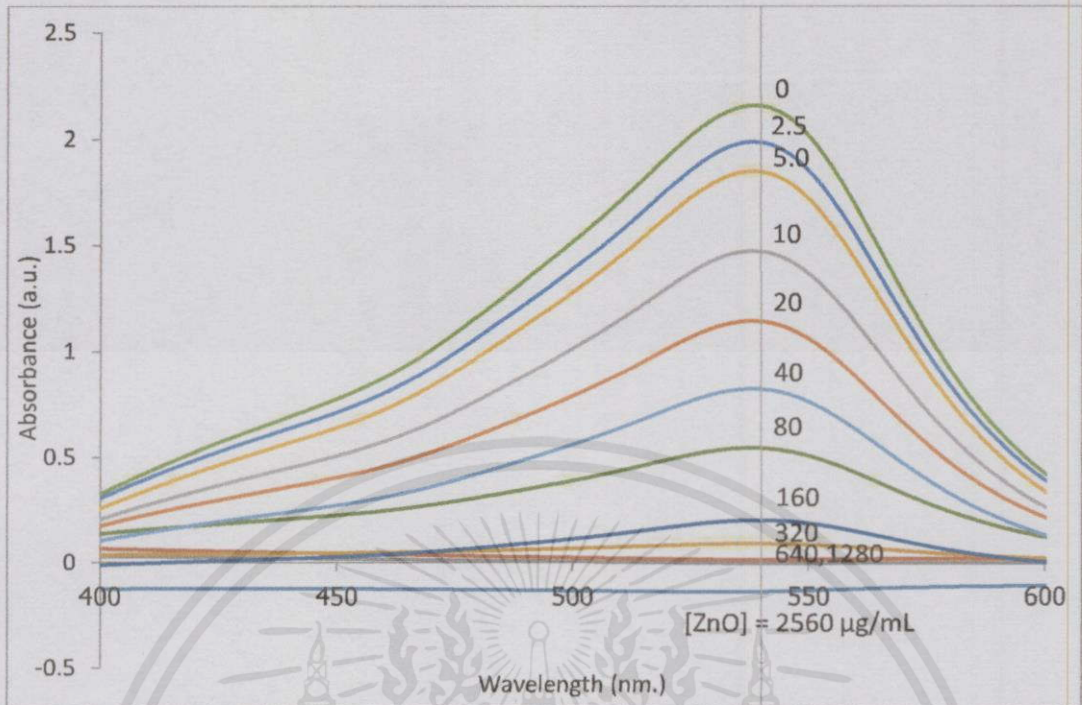


รูปที่ 4.2.2 Fe Chelating Profile (ครั้งที่ 2)



รูปที่ 4.2.3 Fe Chelating Profile (ครั้งที่ 3)

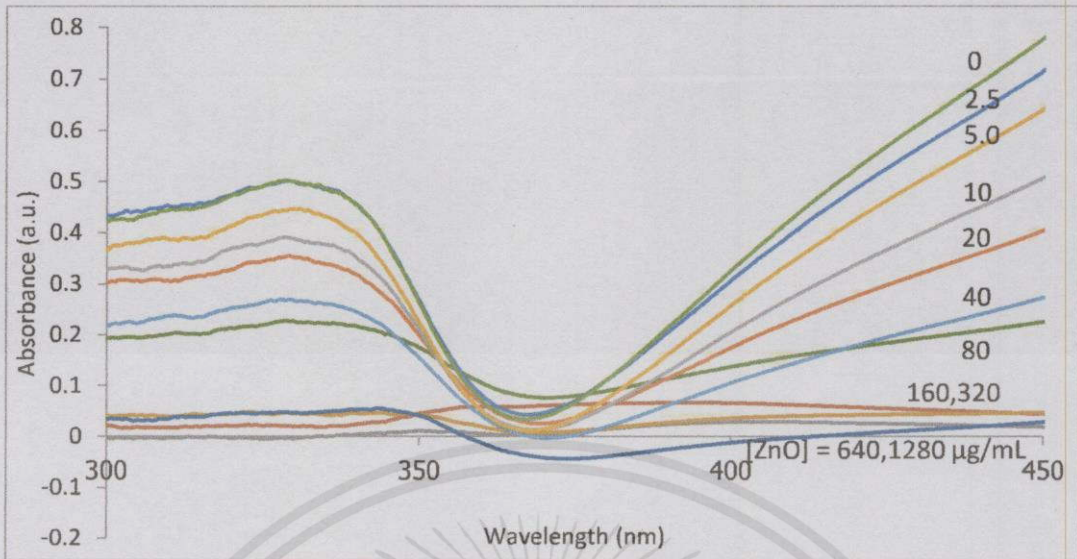
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.4 Fe Chelating Profile (ค่าเฉลี่ย)

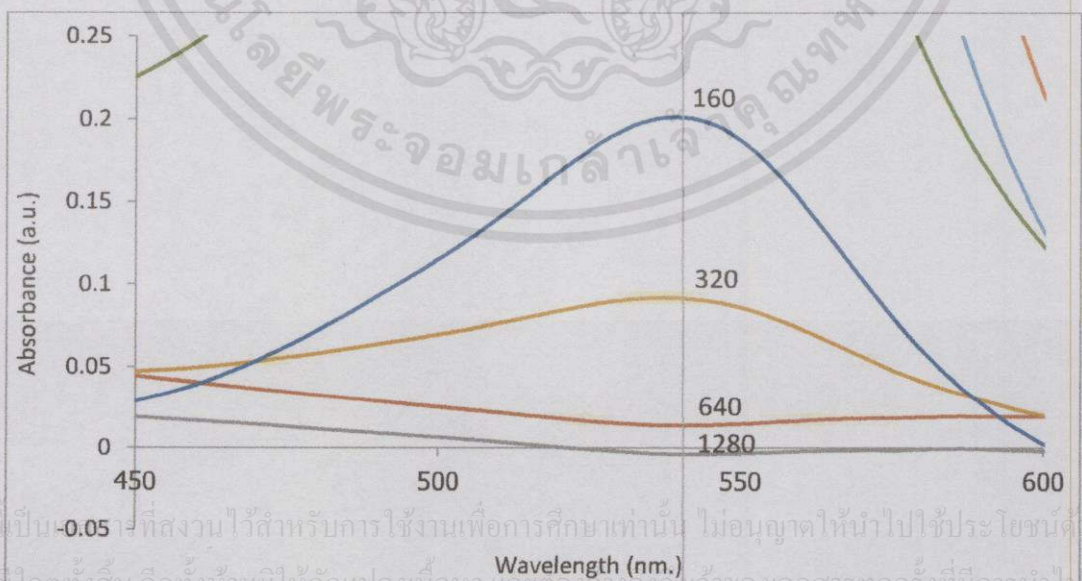
เพื่อความแม่นยำของข้อมูลเราทำการทดลองทั้งหมดสามครั้งดังรูปที่ 4.2.1-4.2.3 และทำการหาค่าเฉลี่ยแสดงดังรูปที่ 4.2.4 ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการจับอนุมูลอิสระของ Fe จะลดลง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าที่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงสามารถทำลายอนุมูลอิสระได้มีประสิทธิภาพมากกว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2.5 Fe Chelating Profile ในช่วงความยาวคลื่นของ ZnO

จากกราฟ Fe Chelating Profile ในช่วงความยาวคลื่นของ ZnO ดังรูปที่ 4.2.5 พบว่าค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์กับ Fe มีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก ดังนั้นจึงหาความสามารถในการทำละลายเซลล์ด้วย ZnO โดยสามารถตรวจสอบกลับได้จากการนำ ZnO ที่เหลือจากการทำลายเซลล์มาทำปฏิกิริยากับ  $\text{FeCl}_2$  เพื่อให้ได้  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และนำมาวัดค่าการดูดกลืนของ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

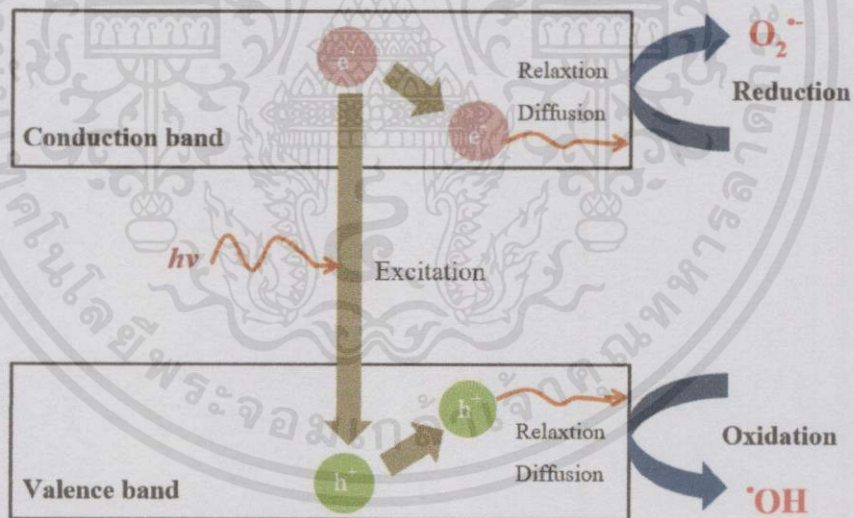


รูปที่ 4.2.6 Fe Chelating Profile ที่ความเข้มข้นสูง

เอกสารนี้เป็น -0.05 เปรที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2.6 เมื่อเราทำการขยายสเกลค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสูงตั้งแต่ 160-1280  $\mu\text{g}/\text{mL}$  พบว่าเรายังสามารถมองเห็นพีคของค่าการดูดกลืนอยู่เพียงแต่อาจจะน้อยมาก

จากการทดลองที่ 4.2 กลไกที่ทำให้เกิดการทำลายเซลล์ด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์นั้นเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ดังรูปที่ 4.2.7 เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีแถบช่องว่างพลังงาน 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งต้องใช้แหล่งพลังงานจากแสงยูวีในการกระตุ้น  $e^-$  ที่อยู่ใน Valence band (VB) ให้เคลื่อนที่ไปยัง Conduction band (CB) โดย  $e^-$  จะเคลื่อนที่อย่างอิสระใน CB และเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับโมเลกุลของออกซิเจนที่ถูกดูดซับไว้บนผิวของ Zn ทำให้เกิดเป็น Superoxide radicals ( $\text{O}_2^-$ ) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง สามารถเกิดปฏิกิริยาลดสลายสารอินทรีย์ที่เป็นมลพิษให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ ในขณะที่ VB จะเกิดเป็นโฮล ( $\text{Hole}, h^+$ ) ซึ่งมีประจุบวกและเคลื่อนที่อย่างอิสระใน VB ไปที่ผิวของ Zn และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลของน้ำที่ดูดซับอยู่บนผิวของ Zn เกิดเป็น Hydroxyl radicals ( $\cdot\text{OH}$ ) ซึ่งมีความว่องไวในปฏิกิริยามาก และสามารถย่อยสลายสารมลพิษให้อยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้เช่นกัน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “การเกิดคู่อิเล็กตรอนโฮล” ทั้งสองนี้เป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรงดังนั้นจึงเป็นตัวกลางในการทำลายโครงสร้าง DNA ของเซลล์ทำให้เซลล์ตาย



รูปที่ 4.2.7 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การตรวจจับของ Ferrous กับอนุมูลอิสระในแต่ละความเข้มข้น

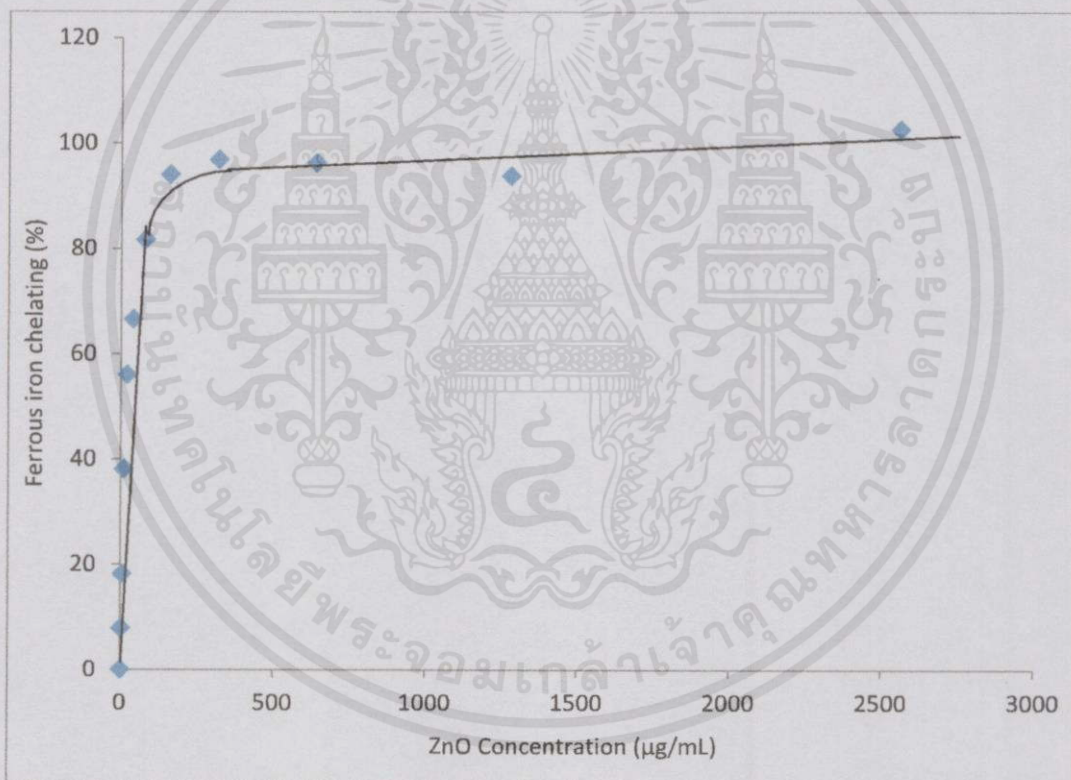
จากการทดลองวัดค่า Fe Chelating Profile จากการทดลองที่ 4.2 ทำให้เราสามารถคิดค่าเปอร์เซ็นต์การตรวจจับของ Ferrous กับอนุมูลอิสระได้จาก

$$\% \text{Ferrous iron chelating} = \left[ 1 - \frac{A_s}{A_c} \right] \times 100 \quad (4.5)$$

เมื่อ  $A_s$  คือ ค่าการดูดกลืนที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0 – 2560  $\mu\text{g/mL}$

$A_c$  คือ ค่าการดูดกลืนที่ความเข้มข้น 0  $\mu\text{g/mL}$

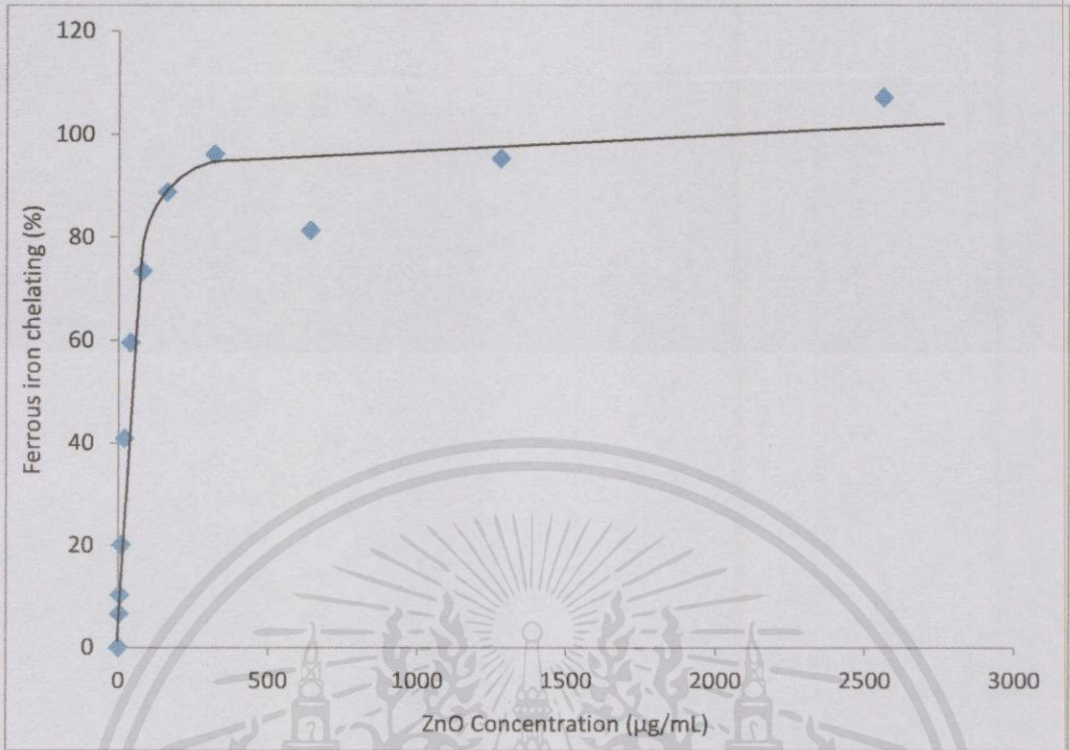
ซึ่งแต่ละค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถนำมาเขียนกราฟ % Ferrous iron chelating ได้ดังนี้



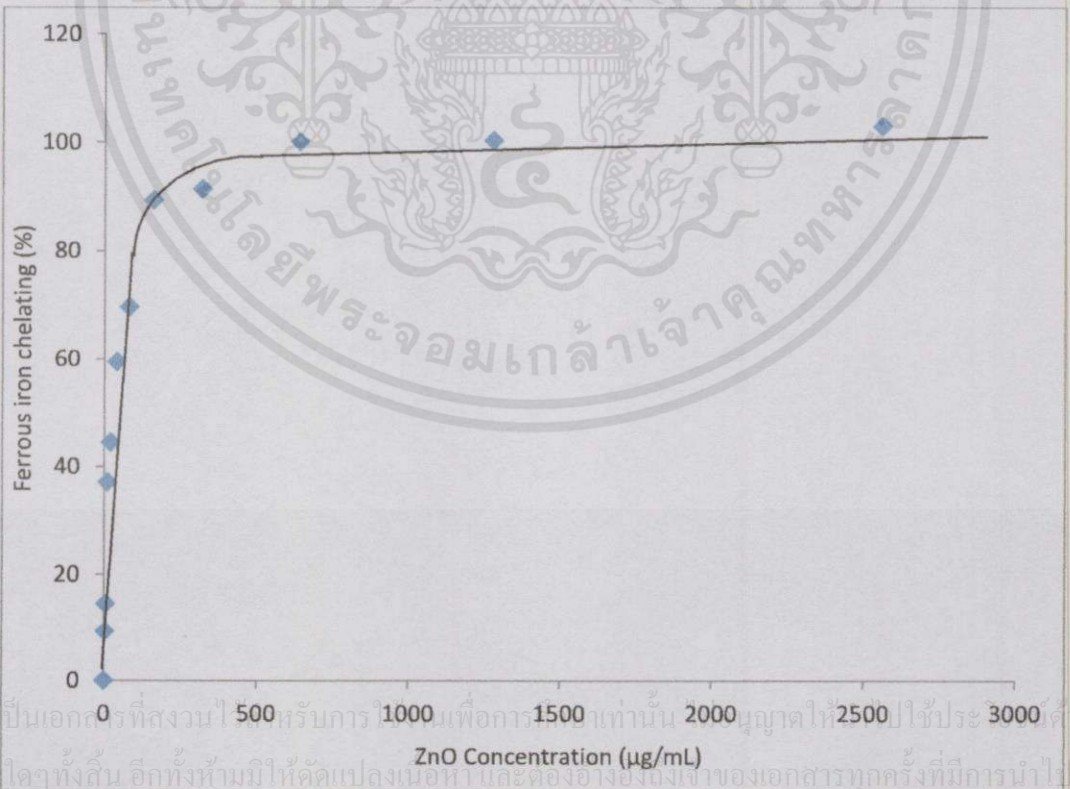
รูปที่ 4.3.1 %Ferrous iron chelating (ครั้งที่ 1)

จากรูปที่ 4.3.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %Ferrous iron chelating กับ ZnO Concentration พบว่าเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการจับ

ออกไซด์ของโลหะซิงค์นั้นสามารถจับกับอนุมูลอิสระได้มาก และลดลงเรื่อยๆ เมื่อความเข้มข้นมีค่าลดลง

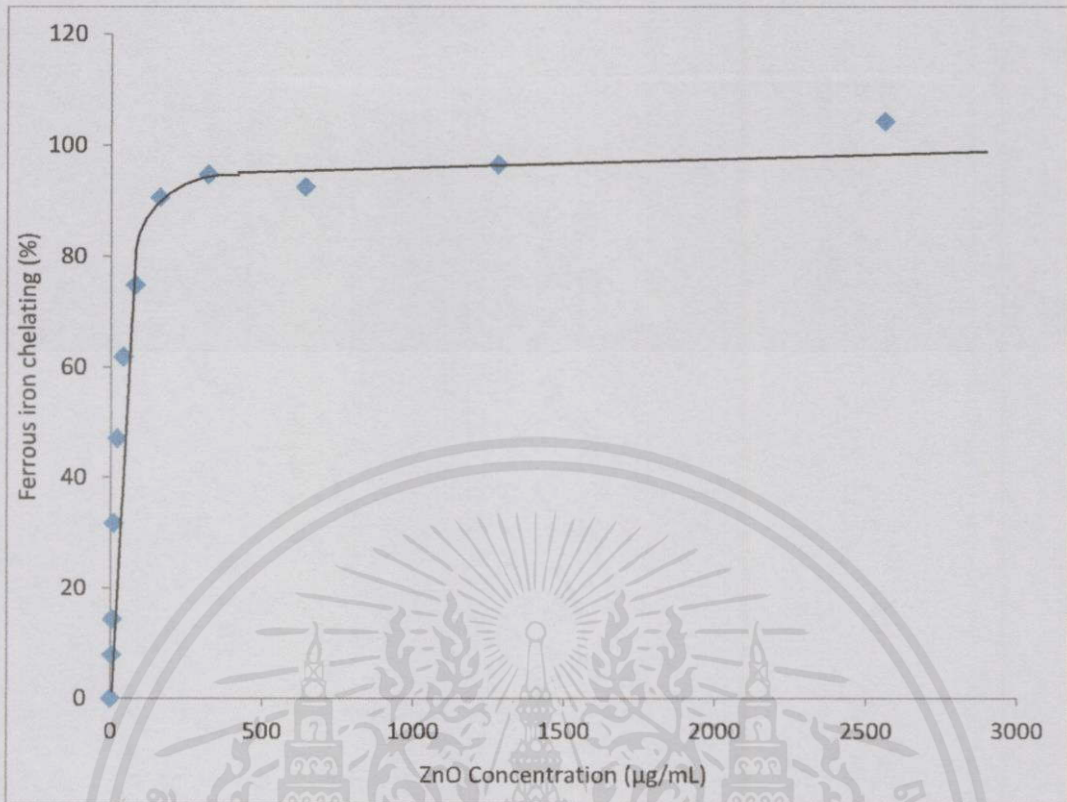


รูปที่ 4.3.2 %Ferrous iron chelating (ครั้งที่ 2)



รูปที่ 4.3.3 %Ferrous iron chelating (ครั้งที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ได้เฉพาะในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้าหรือการโฆษณาได้



รูปที่ 4.3.4 %Ferrous iron chelating (ค่าเฉลี่ย)

เพื่อความแม่นยำของข้อมูลเราทำการทดลองทั้งหมดสามครั้งตั้งรูปที่ 4.3.1-4.4.3 และทำการหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 4.3.4 ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สูงขึ้นโอกาสที่ออกไซด์ของซิงค์จะไปจับอนุมูลอิสระได้มากถึง 100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ของเซลล์ที่มีชีวิต (%Cell viability)

เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองในทางหลักชีววิทยาเราจึงทำการนับจำนวนเซลล์มะเร็งเพาะเลี้ยงเพื่อยืนยันว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในแต่ละความเข้มข้นสามารถทำลายเซลล์มะเร็งเพาะเลี้ยงได้จริงหรือไม่ซึ่งเราสามารถคำนวณจำนวนเซลล์ที่มีชีวิตดังกล่าวได้จากสูตร

$$\text{จำนวนเซลล์มีชีวิต/มล.} = \text{จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตเฉลี่ย} \times 10^4 \times \text{ค่าความเจือจาง} \quad (4.6)$$

$$\text{ค่าความเจือจาง} = (\text{ปริมาตรเซลล์แขวนลอยที่ดูดออกมา} + \text{ปริมาตรสีย้อม}) / \text{ปริมาตรเซลล์แขวนลอยที่ดูดออกมา} \quad (4.7)$$

ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ของเซลล์ที่มีชีวิตจึงมีค่าเท่ากับ

$$\% \text{ Cell viability} = \frac{N_s}{N_c} \times 100 \quad (4.8)$$

เมื่อ  $N_s$  คือ จำนวนเซลล์ตัวอย่างที่มีชีวิตที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เท่ากับ  $2560 \mu\text{g/mL}$

$N_c$  คือ จำนวนเซลล์ควบคุมที่มีชีวิตที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เท่ากับ  $0 \mu\text{g/mL} = 1.05 \times 10^5$  เซลล์

ตัวอย่างจำนวนเซลล์มีชีวิตที่นับได้ดังตารางที่ 4.1 เป็นรายละเอียดเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ของเซลล์ที่มีชีวิตที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เท่ากับ  $2560 \mu\text{g/mL}$

ตารางที่ 4.1 จำนวนเซลล์มีชีวิตที่นับได้

	นับเซลล์ครั้งที่	นับเซลล์ครั้งที่
	1	2
ช่องนับเซลล์เบอร์ 1	3	1
ช่องนับเซลล์เบอร์ 2	2	4
ช่องนับเซลล์เบอร์ 3	3	3
ช่องนับเซลล์เบอร์ 4	0	2
ช่องนับเซลล์เบอร์ 5	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการตีพิมพ์ครั้งนี้เป็นการนำเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้  
 $\text{จำนวนเซลล์ตัวอย่างที่มีชีวิต/มล.} = \frac{19}{10} \times 10^4 \text{ mL} \times \frac{400+100 \mu\text{L}}{400 \mu\text{L}}$  เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนเซลล์ตัวอย่างที่มีชีวิต/มล. =  $2.375 \times 10^4$  เซลล์

ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ของเซลล์ที่มีชีวิตจึงมีค่าเท่ากับ

$$\% \text{ Cell viability} = (2.375 \times 10^4 / 1.05 \times 10^5) \times 100 = 22.62$$

นำค่า % Cell viability = 22.62 ที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เท่ากับ 2560  $\mu\text{g/mL}$  ไปพล็อตจะได้ตำแหน่งสุดท้ายในกราฟรูปที่ 4.4.3

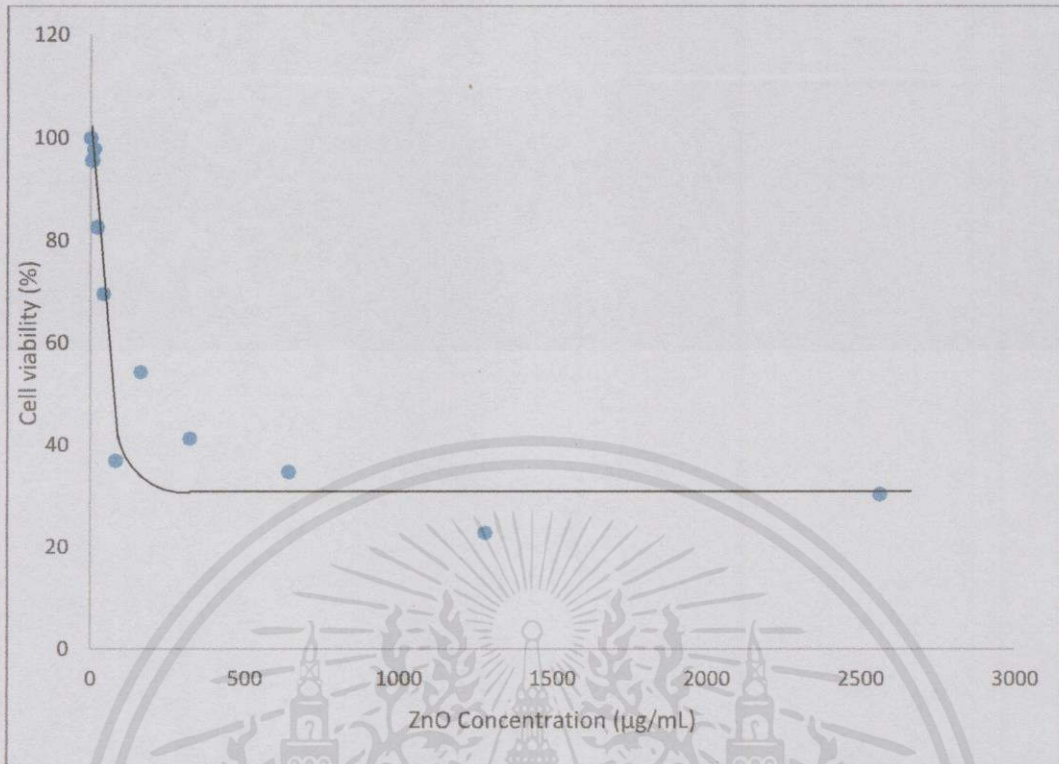
จากนั้นนำแต่ละค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เหลื่อมมาพล็อตเทียบกับ %Cell viability ที่เหลือทั้งหมดก็จะได้กราฟตัวอย่างดังรูปต่อไปนี้



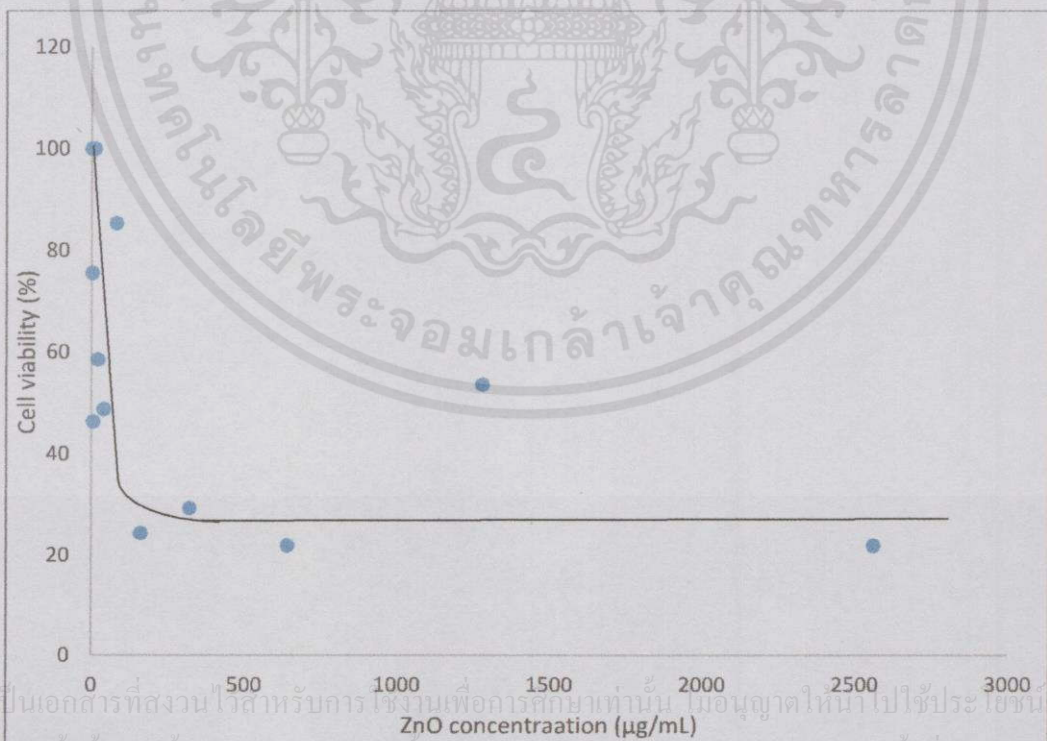
รูปที่ 4.4.1 %Cell viability (ครั้งที่ 1)

จากรูปที่ 4.4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %Cell viability กับ ZnO Concentration พบว่าที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่ำจะมีเซลล์มีชีวิตจำนวนมาก และลดลงเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

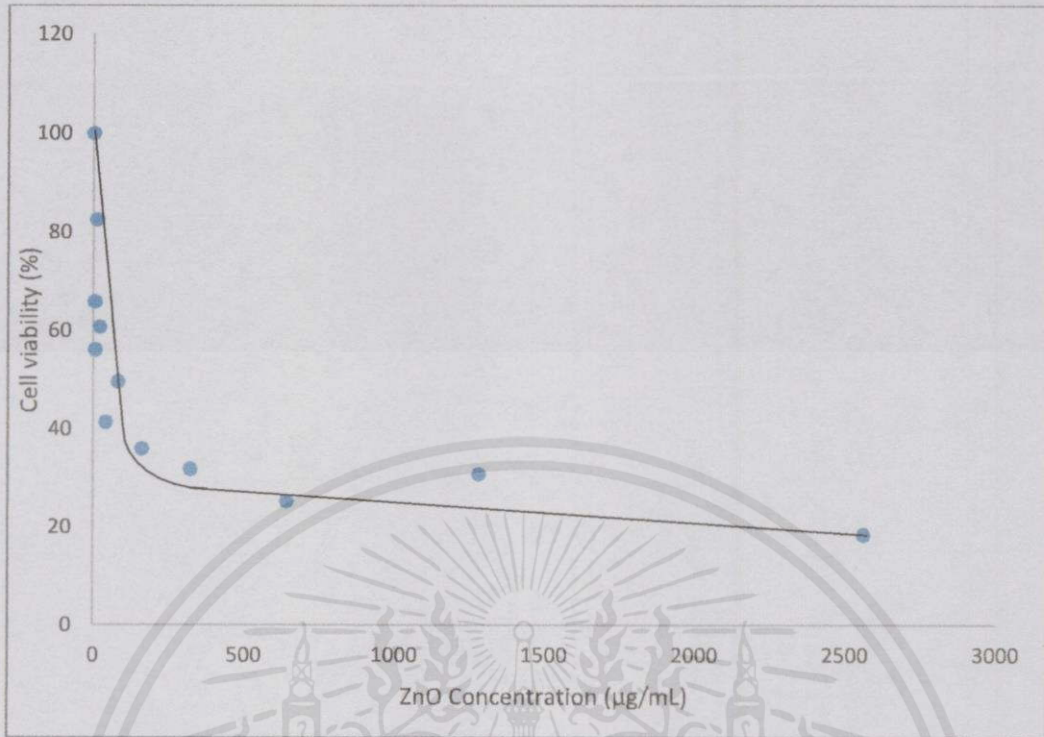


รูปที่4.4.2 %Cell viability (ครั้งที่ 2)



รูปที่4.4.3 %Cell viability (ครั้งที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



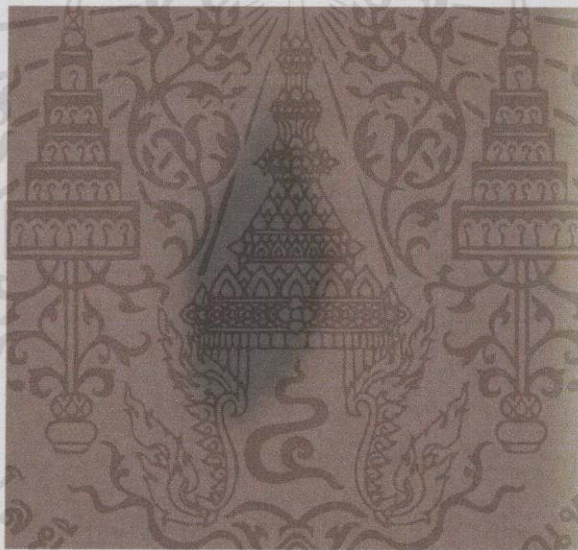
รูปที่ 4.4.4 %Cell viability (ค่าเฉลี่ย)

เพื่อความแม่นยำของข้อมูลเราทำการทดลองทั้งหมดสามครั้งดังรูปที่ 4.4.1-4.4.3 และทำการหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 4.4.4 ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่ำจะเหลือเซลล์มีชีวิตอยู่ 100% แต่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นเซลล์ที่มีชีวิตจะเหลือน้อยลงเรื่อยๆ นั่นหมายความว่าเมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สูงจะสามารถทำลายเซลล์มะเร็งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.5 เซลล์มีชีวิตไม่ติดสี



รูปที่ 4.4.6 เซลล์ตายติดสีน้ำเงินของทริปแฟนบูล

จากรูปที่ 4.4.5 และ 4.4.6 การสังเกตเซลล์ว่ามีชีวิตหรือไม่ชีวิตนั้นทำได้จากการตรวจสอบรูปร่าง สีของเซลล์ ซึ่งเซลล์มีชีวิตจะมีลักษณะกลมใส ภายในบริเวณเซลล์จะไม่ติดสีของทริปแฟนบูล แต่ถ้าเป็นเซลล์ที่ตายแล้วจะมีลักษณะเป็นวงรี และบริเวณเซลล์จะเป็นสีน้ำเงินของทริปแฟนบูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

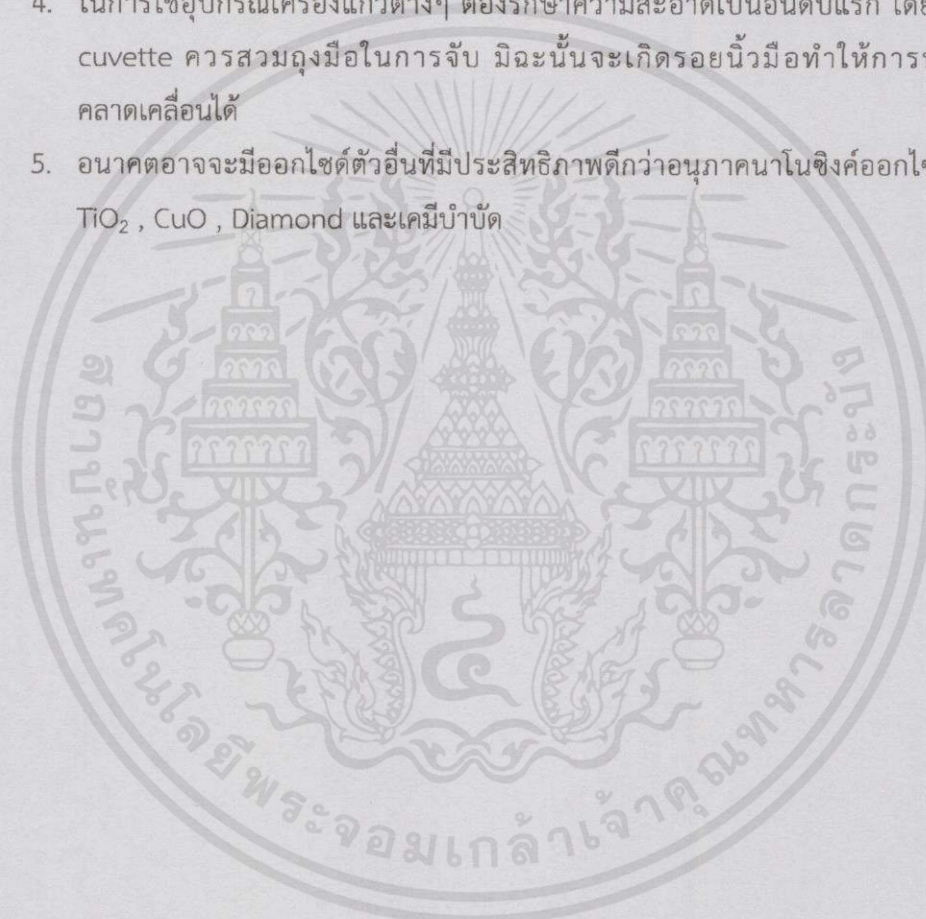
ในการทดลองพิเศษนี้ ผู้ทดลองได้ทำการศึกษาเพื่อการศึกษาผลของการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผ่านกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตเพื่อก่อให้เกิดพิษต่อเซลล์มะเร็งในเซลล์เพาะเลี้ยง และทำให้เซลล์มะเร็งถูกทำลายต่อไป และศึกษาผลของความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการทำลายเซลล์มะเร็ง โดยในการทดลองตอนที่ 1 เรานำค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ตั้งแต่ 2560  $\mu\text{g/mL}$ , 1280  $\mu\text{g/mL}$ , 640  $\mu\text{g/mL}$ , 320  $\mu\text{g/mL}$ , 160  $\mu\text{g/mL}$ , 80  $\mu\text{g/mL}$ , 40  $\mu\text{g/mL}$ , 20  $\mu\text{g/mL}$ , 10  $\mu\text{g/mL}$ , 5  $\mu\text{g/mL}$ , 2.5  $\mu\text{g/mL}$ , 0  $\mu\text{g/mL}$  เพื่อเป็นการยืนยันค่าการดูดกลืนความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ จากสเปกตรัมการดูดกลืนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อค่าความเข้มข้นของสารละลาย ZnO nanoparticles มีค่าความเข้มข้นมาก ค่าการดูดกลืนของสารละลายนั้นก็สูง และลดลงเป็นเท่าตัวตามความเข้มข้นของสารละลาย และทำให้เราทราบว่าสารละลาย ZnO nanoparticles สามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นของแสงอัลตราไวโอเล็ต

จากกราฟ Fe Chelating Profile เป็นการวัดความสามารถในการจับ Fe ใช้ตรวจจับว่ามีอนุมูลอิสระมากเพียงใดจากกราฟพบว่าที่ความเข้มข้นสูงคือตั้งแต่ที่ความเข้มข้น 2560  $\mu\text{g/mL}$ , 1280  $\mu\text{g/mL}$ , 640  $\mu\text{g/mL}$  ค่าที่ได้จะเข้าใกล้ศูนย์นั่นหมายถึงอนุมูลอิสระที่ยังหลงเหลืออยู่นั้นมีน้อยมาก และมีมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายลดลง นั่นเกิดจากกลไกการยับยั้งเซลล์มะเร็งของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้หลักการโฟโตคะตะไลซิสที่นั่นเกิดจากเมื่อแสง UV ทำปฏิกิริยากับ ZnO nanoparticles อิเล็กตรอนที่อยู่ใน VB ให้เคลื่อนที่ไปยัง CB โดย  $e^-$  จะเคลื่อนที่อย่างอิสระใน CB และเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับโมเลกุลของออกซิเจนทำให้เกิดเป็น Superoxide radicals ( $\text{O}_2^-$ ) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง สามารถเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นมลพิษให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ ในขณะที่ VB จะเกิดเป็นโฮล ( $\text{Hole}, h^+$ ) ซึ่งมีประจุบวกและเคลื่อนที่อย่างอิสระใน VB เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลของน้ำ เกิดเป็น Hydroxyl radicals ( $^{\bullet}\text{OH}$ ) ซึ่งมีความว่องไวในปฏิกิริยามาก และสามารถย่อยสลายสารมลพิษให้อยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้เช่นกัน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดคู่อิเล็กตรอนโฮล ทั้งสองนี้เป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรงดังนั้นจึงเป็นตัวกลางในการทำลายโครงสร้าง DNA ของเซลล์ทำให้เซลล์ตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. การนับเซลล์ที่มีชีวิตอาจมีการผิดพลาดได้เนื่องจากเซลล์ยังสามารถเคลื่อนที่ได้ ในขณะที่นับเซลล์ต้องทำด้วยความเร็วและตรวจเช็คให้รอบครอบ
2. ในขณะที่ทำการทดลองต้องมีความระมัดระวังอย่างมากเพราะทำกับเซลล์มะเร็งที่มีชีวิตอาจทำให้เกิดอันตรายได้
3. ควรควบคุมปัจจัยต่างๆให้ครอบคลุมเนื่องจากสารละลายและเซลล์ที่ใช้ในการทดลองมีความไวต่อสิ่งแวดล้อมมากอาจทำให้การทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนได้
4. ในการใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ ต้องรักษาความสะอาดเป็นอันดับแรก โดยเฉพาะ cuvette ควรสวมถุงมือในการจับ มิฉะนั้นจะเกิดรอยนิ้วมือทำให้การทดลองคลาดเคลื่อนได้
5. อนาคตอาจจะมีออกไซด์ตัวอื่นที่มีประสิทธิภาพดีกว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เช่น  $\text{TiO}_2$  ,  $\text{CuO}$  ,  $\text{Diamond}$  และเคมีบำบัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] M. T. Htay, Y. Hashimoto, and K. Ito: Jpn. J.Appl. Phys. 476 (2007) 440-448
- [2] M. T. Htay, M. Itoh, Y. Hashimoto, and K. Ito: Jpn. J.Appl. Phys. 46 (2008) 541-545
- [3] M. T. Htay, Y. Tani, Y. Hashimoto, and K. Ito: J Mater. Sci.: Mater. Electron. DOI: 10.1007/s10854-008-9613-58
- [4] The Anti-Cancer Diet: Foods to Fight Cancer, American Institute for Cancer Research, 1759 R Street, NW, Washington, DC 20009
- [5] Y.D. Hou, X.C. Wang, L Wu, X.F. Chen, Z.X. Ding, X.X. Wang and X.Z. Fu, "N-doped SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> mesoporous nanoparticles with enhanced photocatalytic activity under visiblelight irradiation", Chemosphere, Vol.72, No.4,pp.414-421,Jun.,2008.
- [6] M. Pelaez, N.T. Nolan, S.C. Pillai, M.K. Seery, P.Falaras, A.G. Konton, P.S.M. Dunlop, J.W.J. Hamilton, J.A. Byrne, K. O'Shea, M.H. EnterZari and D.D> Dionysiou, "A review on the visible light active titanium dioxide photocatalytic for enviornmentel application", Applied Catalysis B:Enviornmentel, Vol.125,pp.331-349,Aug.,2012.
- [7] K. Nakata and A. Fujishima, "TiO<sub>2</sub> photocatalysis: Designand application",Journal of photochemistry and photobiology C:photochemistry Reviews, Vol.13,No.3, pp.169-189,Sep.,2012.
- [8] G.C. Collazzo, E.L. Foletto, S.L. Jahn and M.A. Villetti, "Degradation of direct black 38 dye under visible light and sunlight irradiation by N-doped anatase Tio2 as photocatalyst", Journal of Enviornmentel management, Vol.98,pp.107-111, May,2012.
- [9] E.Borgarello, J. Kiwi and M. Graetzel, "Visible light induced water cleavage in colloidal solutions of chrom-doped titanium dioxide particles",Jornal of the American Chemical Society, Vol.104,No.11,pp.2996-3002,Jun.,1982.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] K.E. Karakitsou and X.E. Verykios, "Effects of altermvalent ction doping of titania on its performance as a photocatalyst for water cleavage", The Journal of Physical Chemistry, Vol.97, No.6, pp.1184-1189, Feb., 1993.
- [11] H.Irie, Y. Watanabe and K. Hashimoto, "Nitrogen concentration dependence on photocatalytic activity o  $TiO_2-x N_x$  powders", Journal of physical Chemistry B, Vol.107, No.23, pp.5483-5486. Jun., 2003.
- [12] X. Cheng, X. Yu and Z. Xing, "Enhanced photoelectric property and visible activity of nitrogen doped  $TiO_2$  synthesized from different nitrogen dopants ", Applied Surface Science, Vol.268, pp.204-208, Mar., 2013



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการใช้ UV-Vis Spectrophotometer

1. ต่อสายไฟจากหลอด tungsten (SCHOTT) เข้ากับแท่นวางสาร

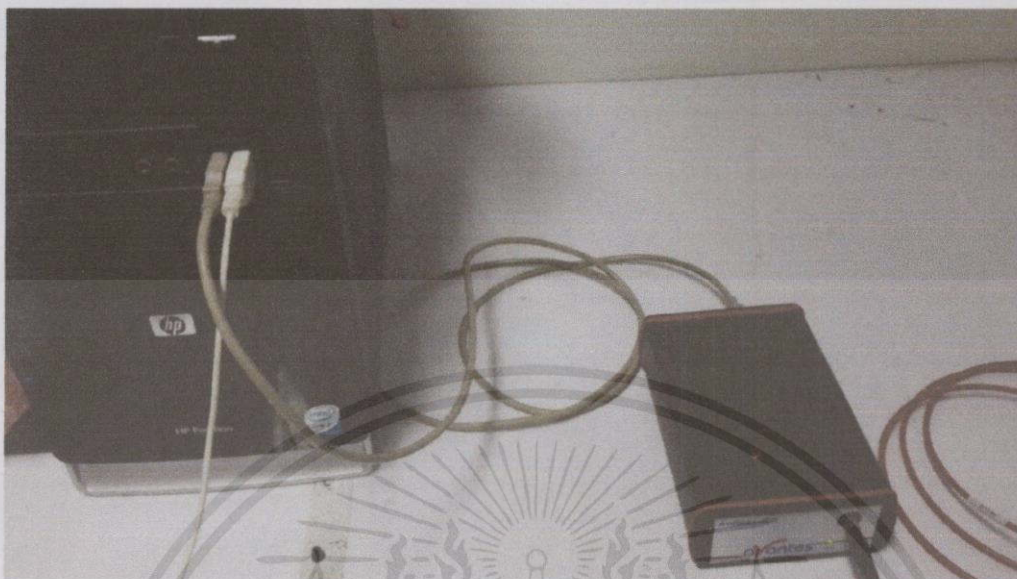


2. ต่อสาย optic fiber model #FC-UV200-2 เข้าระหว่างแท่นวางกับเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

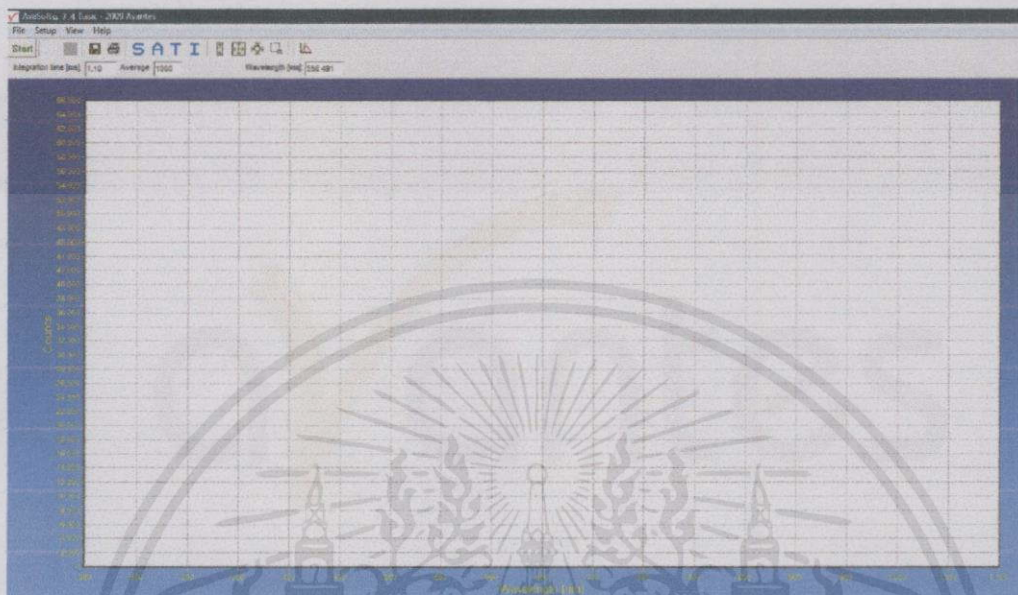
3. ต่อสาย USB จากตัวเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เข้ากับคอมพิวเตอร์



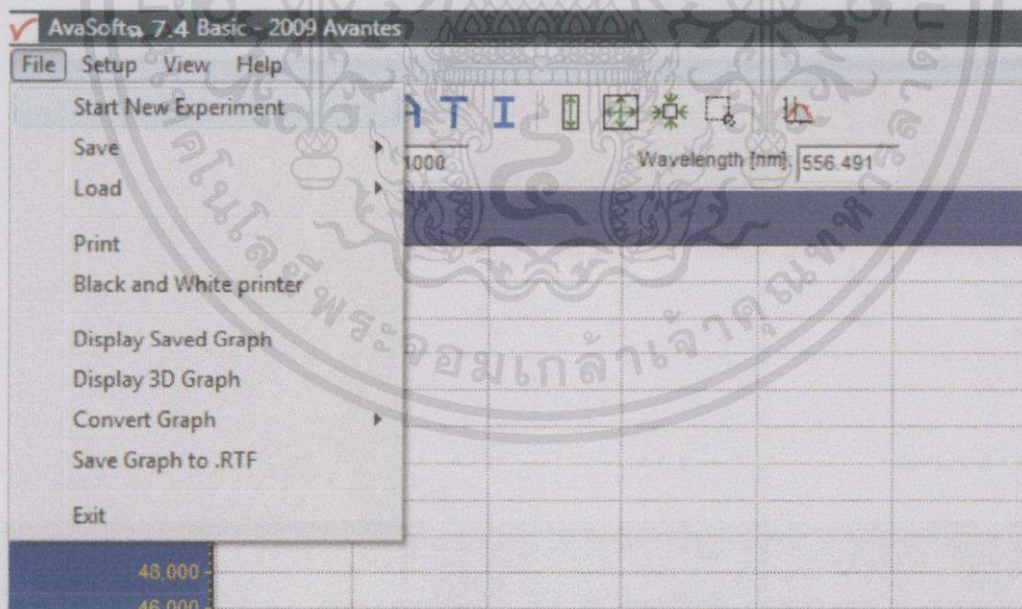
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการใช้โปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic

1. เปิดโปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic

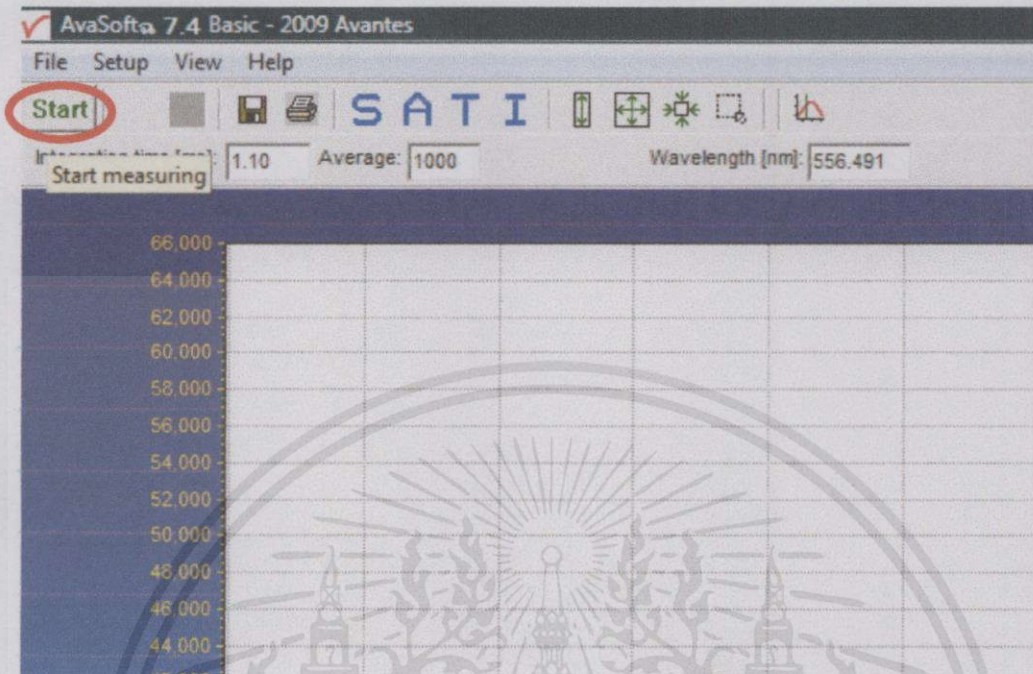


2. สร้าง Folder ที่ต้องการใช้บันทึกงาน
3. เปิดโปรแกรมแล้วไปที่ File กด Start New Experiment แล้วเลือก Folder ที่สร้างไว้

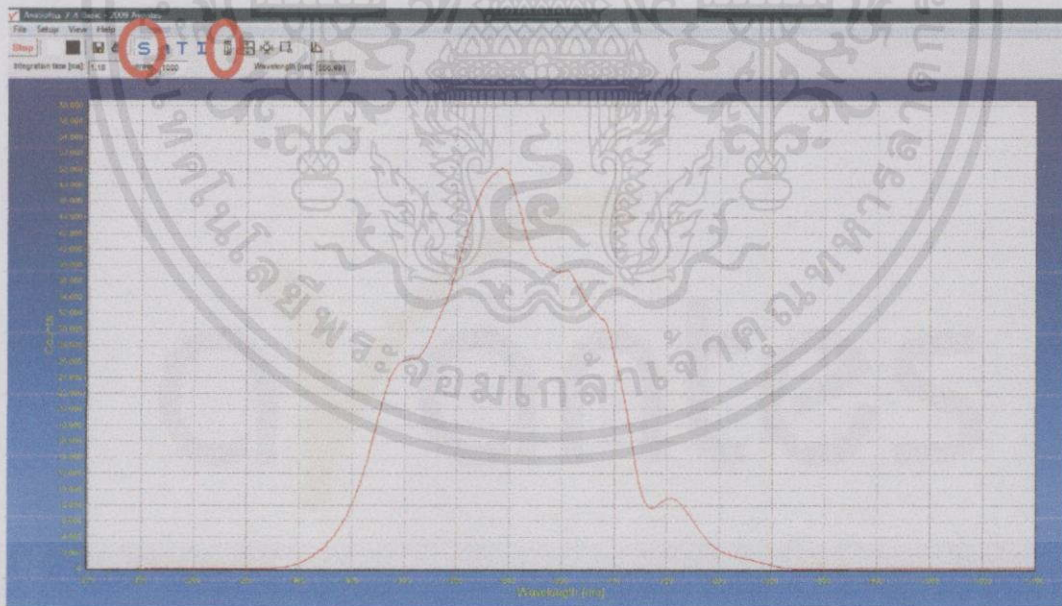


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กดปุ่ม Start ที่โปรแกรม Avasoft 7.4.0 Basic

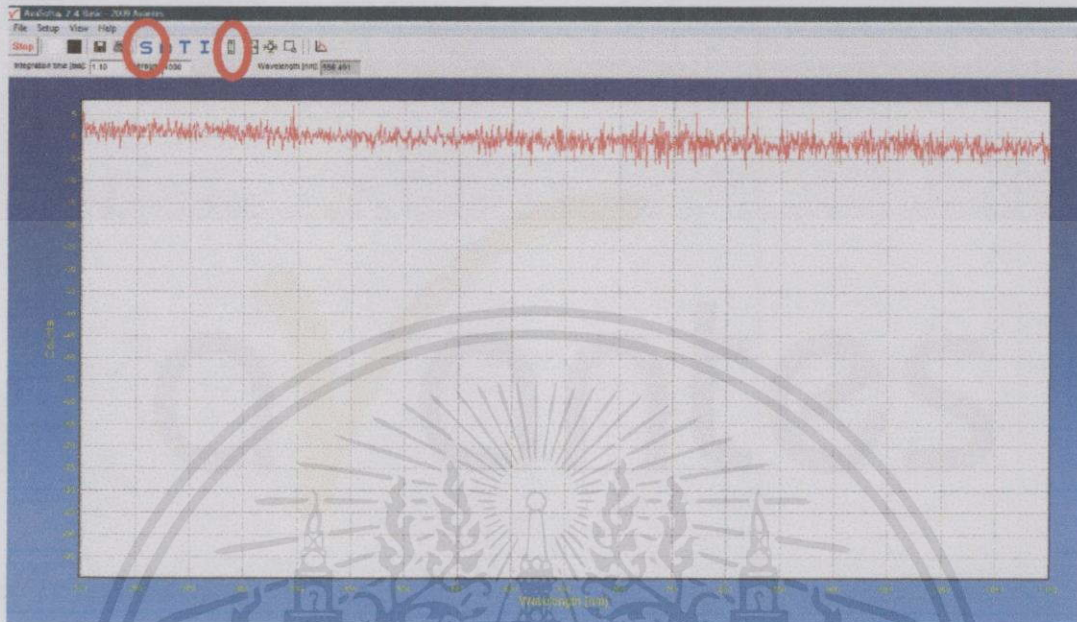


5. กด S และ Auto scale เพื่อปรับความเข้มแสงของหลอด tungsten ที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง จนได้ความเข้มแสง 50,000 counts

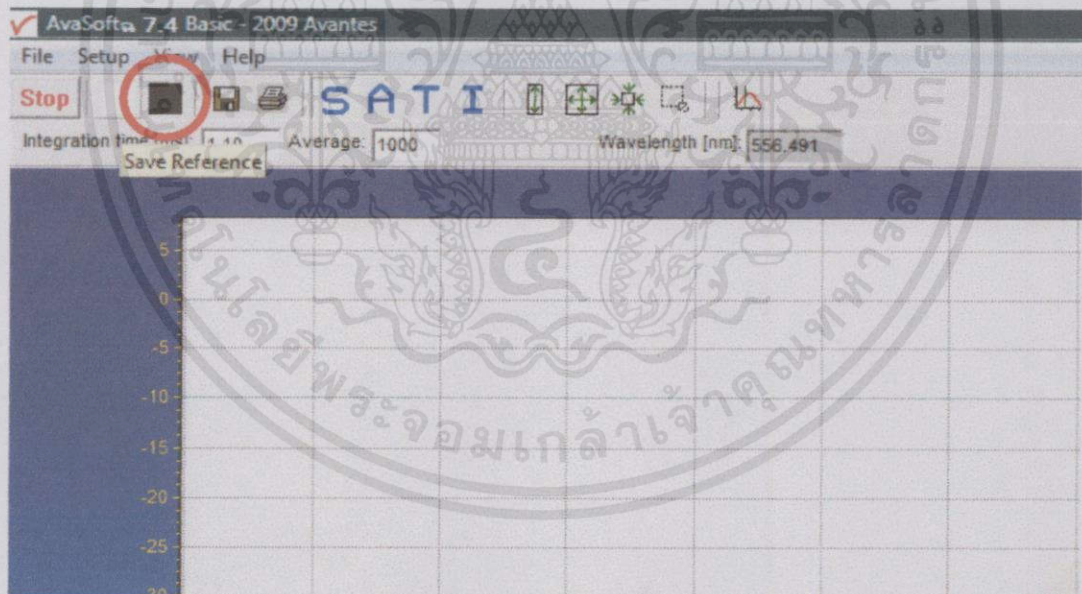


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปิดทางเดินแสงที่เข้าเครื่อง UV-Vis Spectrometer (ถอดสาย Optic fiber ออกแล้วปิดฝาจุกแดง) พร้อมกับเช็คคว่าไม่มีแสงเข้าไปในตัวเครื่องโดยกด S และ Auto scale



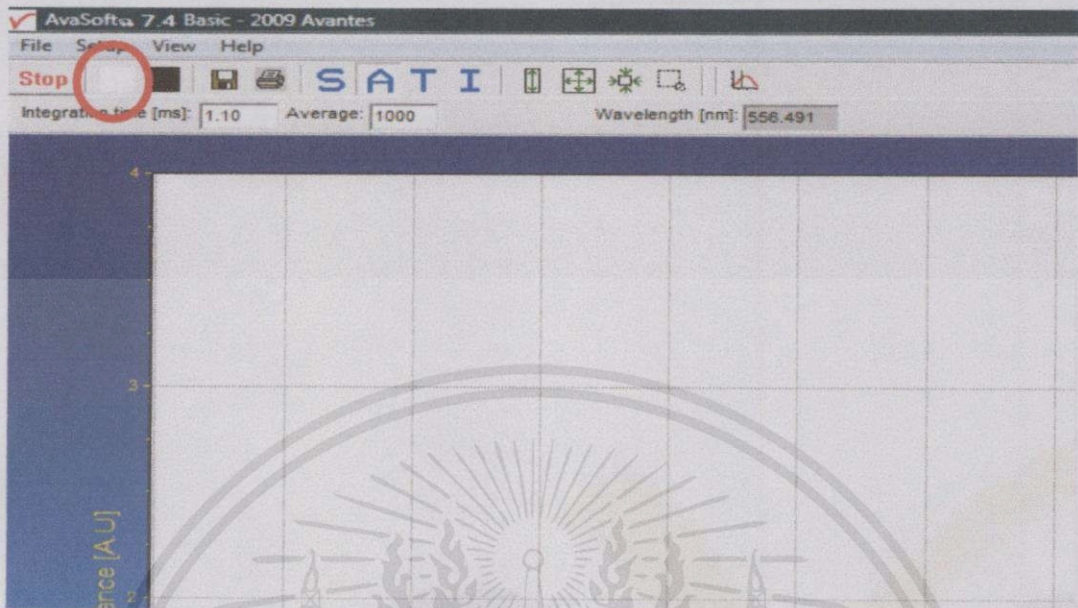
7. วัด Dark mode (ปุ่มรูปสี่เหลี่ยมสีดำ) แล้วต่อสาย Optic fiber เข้าที่เดิม



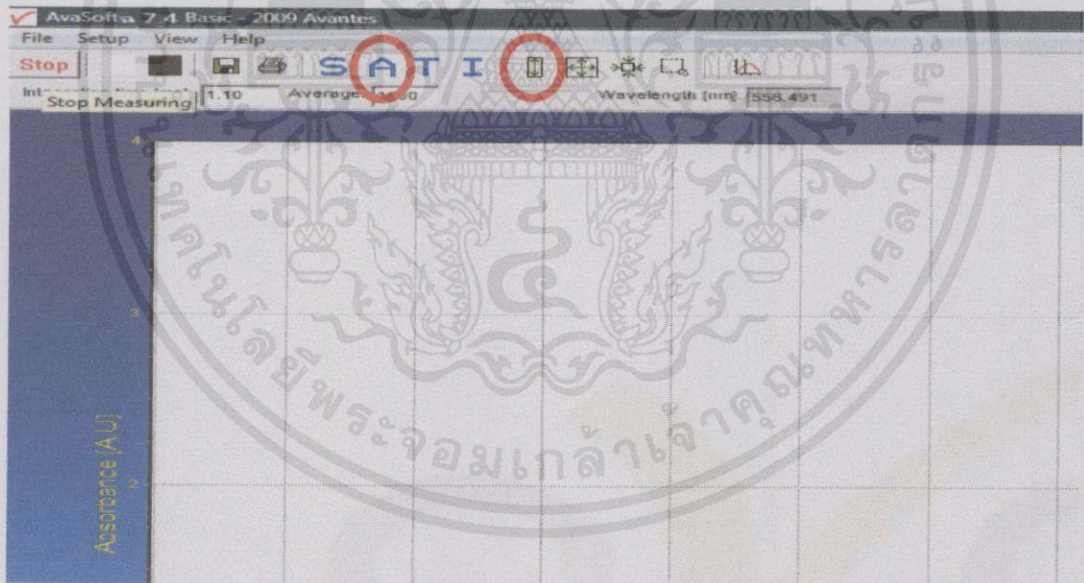
8. นำสารละลายที่ต้องการวัดโดยที่ไม่มีสายตัวอย่างหรือน้ำ DI ใส่ cuvette เพื่อเป็นตัว blank มาใส่บนแท่นวางสารโดยให้ด้าน cuvette ที่มีลูกศรหันเข้าแหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ทำการวัด White mode (ปุ่มรูปสี่เหลี่ยมสีขาว)

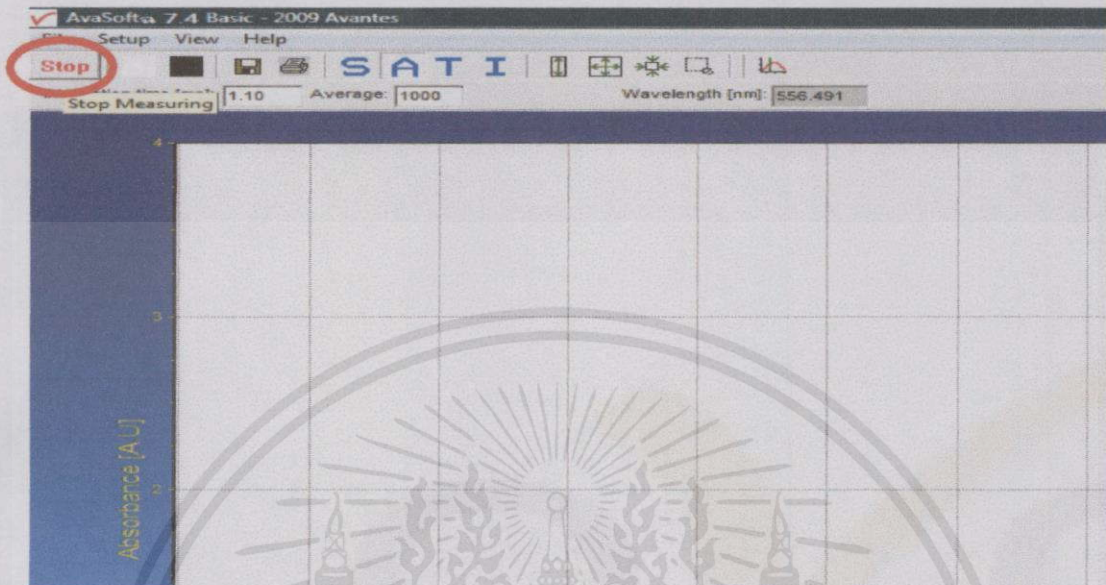


10. นำสารละลายตัวอย่างที่ต้องการวัดที่บรรจุอยู่ใน cuvette ใส่บนแท่งวางสาร เพื่อวัดค่า Absorbance โดยกดปุ่มตัวเอใหญ่ A และกดปุ่ม Auto scale

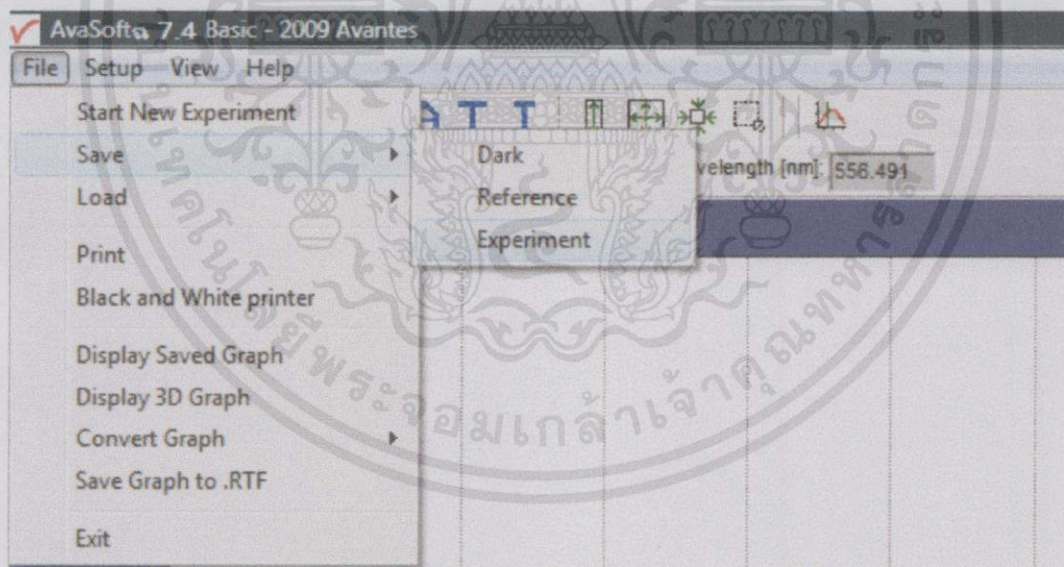


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เมื่อได้ขนาดกราฟที่เหมาะสมให้กดปุ่ม stop และหากต้องการนำสารละลายตัวอื่นมาวัดให้กด Start อีกครั้ง

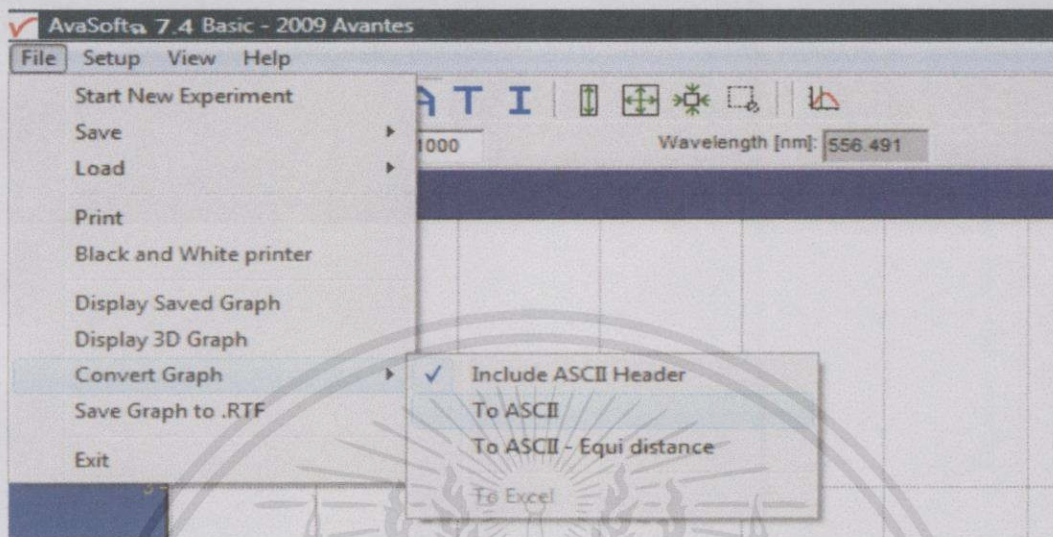


12. ทำการ save file โดยกด File แล้วกด Save เลือก Experiment แล้วตั้งชื่อตามต้องการให้สอดคล้องกับสารละลาย ซึ่งไฟล์ที่ได้จะเป็น .ABS

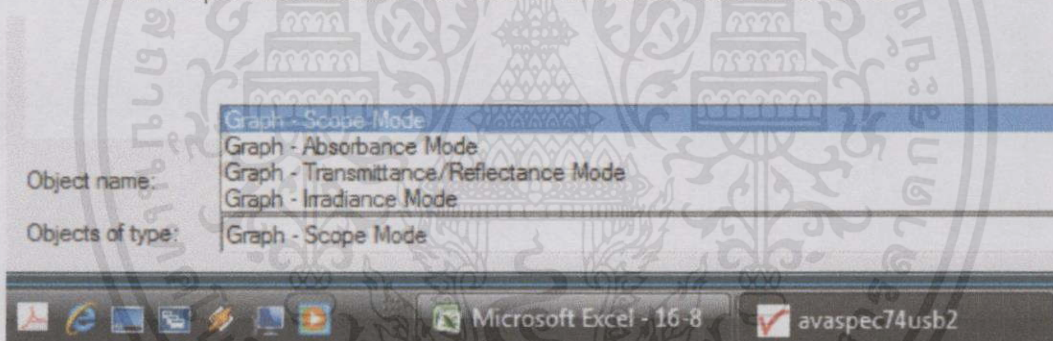


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

13. ทำการแปลงไฟล์จาก .ABS เป็น .tat โดยไปที่ File เลือก Convert Graph และเลือก To ASCII

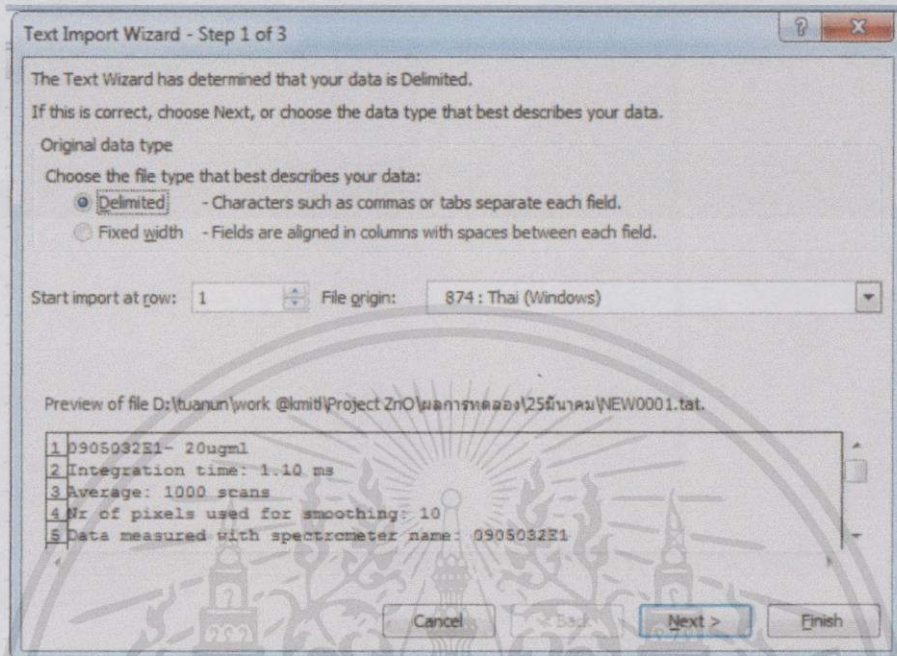


14. จากนั้นเลือก Object of type เป็น Graph-Absorbance Mode เลือกไฟล์ .ABS ที่ต้องการ แล้วกด Open จะได้ไฟล์เป็น .tat เพื่อนำไฟล์ที่ได้ไปเปิดในโปรแกรม Excel

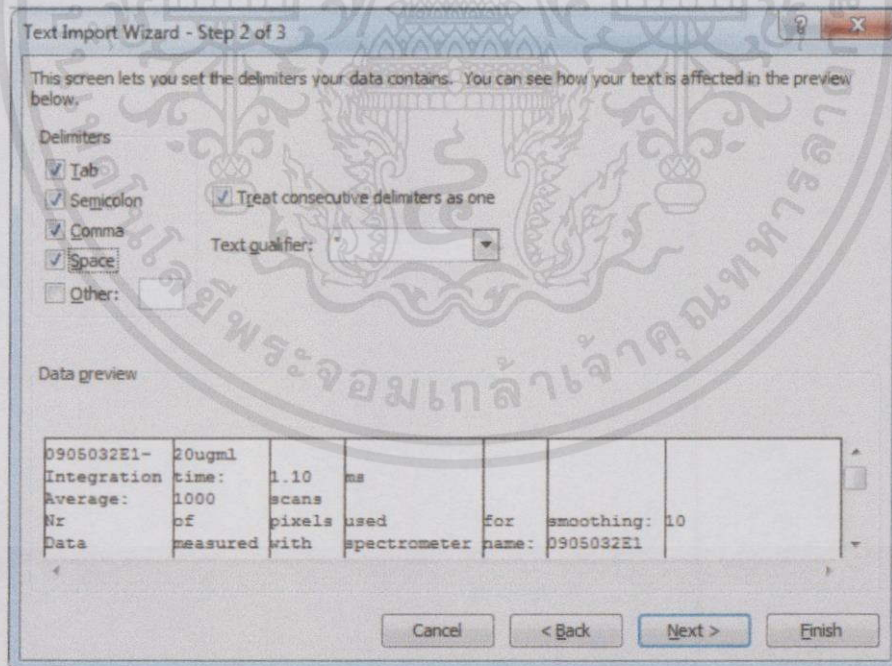


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

15. เปิดโปรแกรม Excel แล้วไปที่ Open file เลือกไฟล์ .tat ที่ต้องการ แล้วเลือก Delimited และกด next

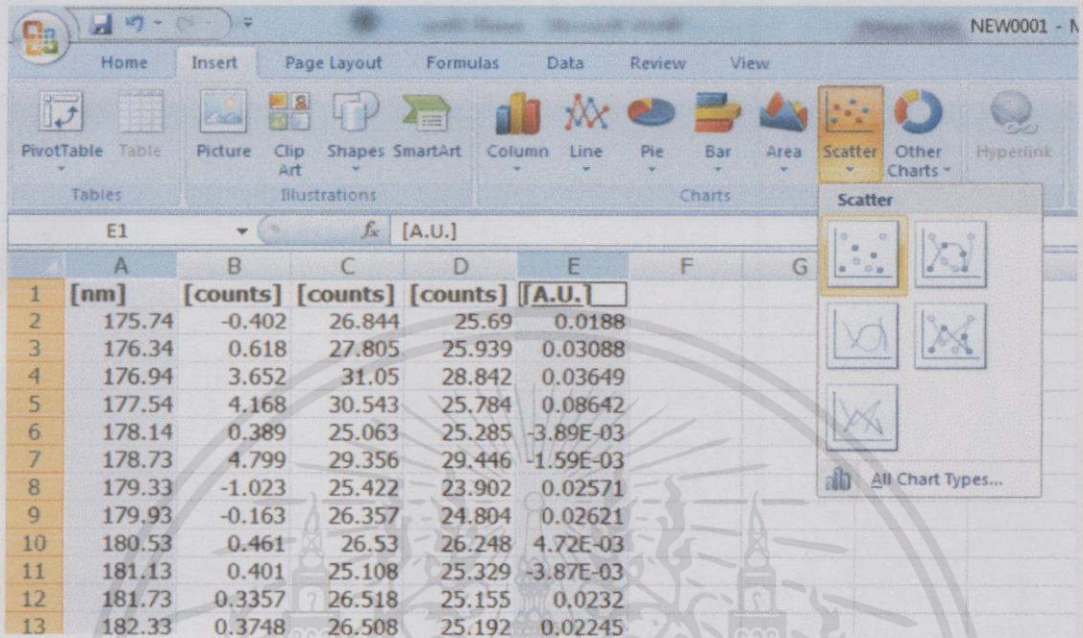


16. เลือก Tab , Semicolon , Comma , Space แล้วกด next และ finish



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Wavelength กับ Absorbance โดยใช้กราฟแบบการกระจาย



The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G
1	[nm]	[counts]	[counts]	[counts]	[A.U.]		
2	175.74	-0.402	26.844	25.69	0.0188		
3	176.34	0.618	27.805	25.939	0.03088		
4	176.94	3.652	31.05	28.842	0.03649		
5	177.54	4.168	30.543	25.784	0.08642		
6	178.14	0.389	25.063	25.285	-3.89E-03		
7	178.73	4.799	29.356	29.446	-1.59E-03		
8	179.33	-1.023	25.422	23.902	0.02571		
9	179.93	-0.163	26.357	24.804	0.02621		
10	180.53	0.461	26.53	26.248	4.72E-03		
11	181.13	0.401	25.108	25.329	-3.87E-03		
12	181.73	0.3357	26.518	25.155	0.0232		
13	182.33	0.3748	26.508	25.192	0.02245		

The 'Scatter' chart type selection menu is open, showing various options for plotting the data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางแสดงข้อมูลดิบ

ชื่อไฟล์	ตารางและรูป
AbsZnO.xlsx	รูปที่ 4.1.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ
AbsFe001.xlsx	รูปที่ 4.2.1 Fe Chelating Profile (ครั้งที่ 1)
AbsFe002.xlsx	รูปที่ 4.2.2 Fe Chelating Profile (ครั้งที่ 2)
AbsFe003.xlsx	รูปที่ 4.2.3 Fe Chelating Profile (ครั้งที่ 3)
AbsFe004.xlsx	รูปที่ 4.2.4 Fe Chelating Profile (ค่าเฉลี่ย)
%Ferrous.xlsx	รูปที่ 4.3.1 – 4.3.4 %Ferrous iron chelating (ครั้งที่ 1,ครั้งที่2,ครั้งที่3,ค่าเฉลี่ย)
จำนวนเซลล์.xlsx	รูปที่ 4.4.1 – 4.4.4 %Cell viability (ครั้งที่ 1,ครั้งที่2,ครั้งที่3,ค่าเฉลี่ย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้