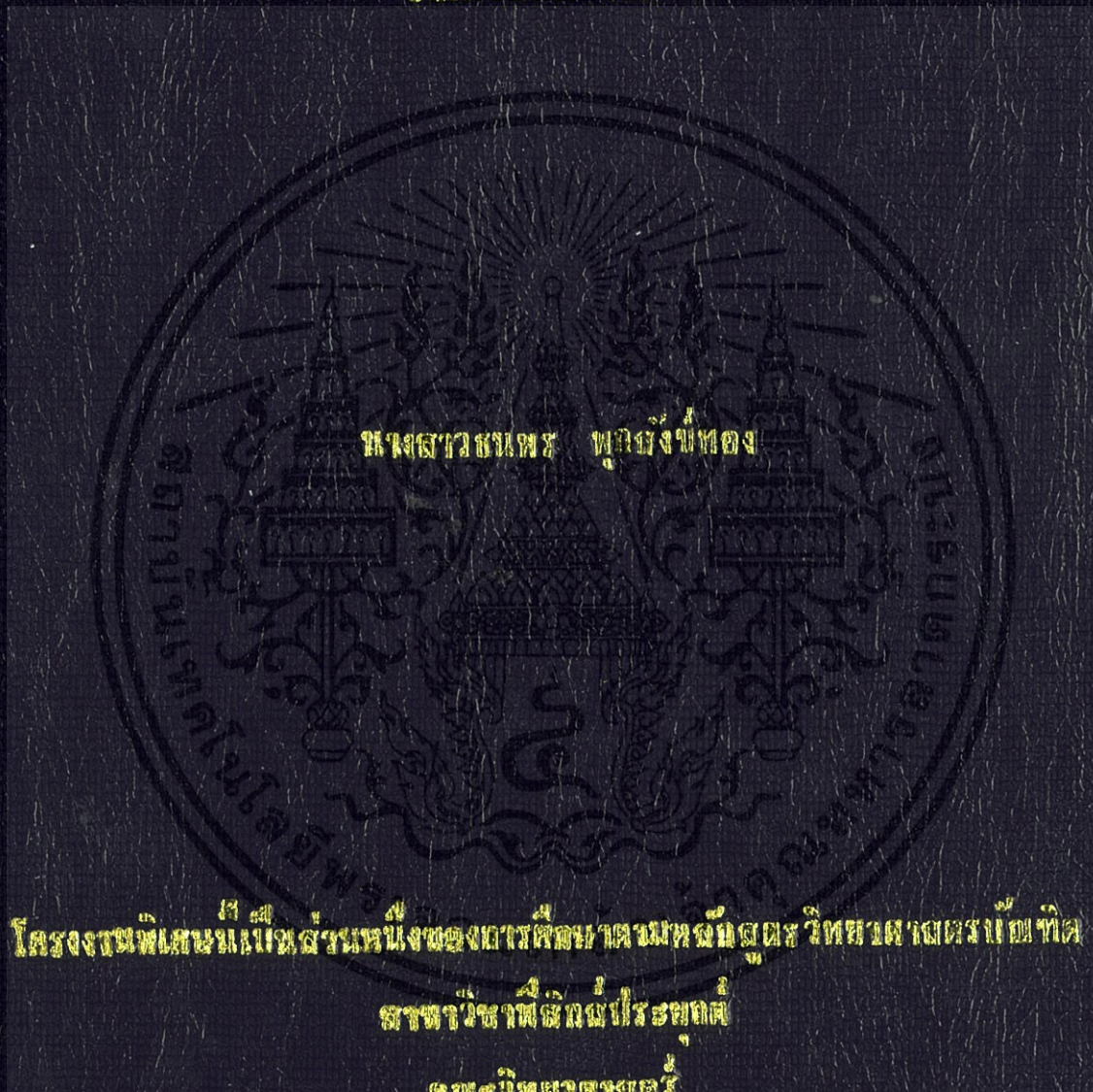


การศึกษาการย่อยสลายสีของโรดามีนบีโดยไททาเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโน
A STUDY OF RHODAMINE B DYE DEGRADATION BY TiO₂
NANOPARTICLES



โครงการพัฒนาแหล่งเรียนรู้ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรัม
สาขาวิชาเคมีประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาการย่อยสลายสีย้อมโรดามีนบีโดยไททาเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโน
A STUDY OF RHODAMINE B DYE DEGRADATION BY TiO₂
NANOPARTICLES



นางสาวชนพร พุกสังข์ทอง

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ **คณะวิทยาศาสตร์** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อความและข้อมูลข้างต้นลงในเอกสารหรือสิ่งพิมพ์ที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**A STUDY OF RHODAMINE B DYE DEGRADATION BY TiO₂
NANOPARTICLES**



MISS TANAPORN POOKSUNGTHONG

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

FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะภายในเท่านั้น และผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

หัวข้อโครงการ การศึกษาการสลายสีของโรดามีน บี โดยไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโน

A STUDY OF RHODAMINE B DYE DEGRADATION BY TiO₂ NANOPARTICLES

ชื่อนักศึกษา นางสาวธนพร พุกสังข์ทอง

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิชาญ เตชิตธีระ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.รัชก สมนพรเสน่ห์	
ดร.พิชชานันท์ ธีเศรษฐ์โสภณ	
อ.ธนภรณ์ ตีลาวัฒนานนท์	
รศ.วิชาญ เตชิตธีระ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ **ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์** เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการ	การศึกษาการสลายสีย้อม โรดามีน บี โดยไทเทเนียมไดออกไซด์อนุภาคนาโน
ชื่อนักศึกษา	นางสาวธนพร พุกสังข์ทอง
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิชาญ เตชิตธีระ

บทคัดย่อ

การย่อยสลายสีย้อมด้วยกระบวนการใช้แสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการย่อยสลายสีย้อมด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้แสงยูวีโดยการทดลองที่ภาวะความเข้มข้นของสีย้อมในอัตราส่วนความเข้มข้น 1 mg/L ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่การบอสมิตล์เวลาต่างๆที่ 0.2 และ 0.4 g ที่เวลา 0 -120 นาที จากภาพถ่าย SEM พบลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคมีขนาดเล็กลงตามระยะเวลาการบอสมิตล์เมื่อตรวจสอบสมบัติทางแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer จากเทคนิคการดูดกลืน (Absorbance) พบว่าการตอบสนองของแสงมีค่าความยาวคลื่นอยู่ที่ประมาณ 553 นาโนเมตรและสีย้อมมีการสลายตัวลง ถ้ามีการเพิ่มปริมาณสารไทเทเนียมไดออกไซด์ยิ่งทำให้สีย้อมย่อยสลายได้ดีและเร็วยิ่งขึ้น ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการบอสมิตล์ของสารไทเทเนียมไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ คำสำคัญ ไทเทเนียมไดออกไซด์ , ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส , การบอสมิตล์ , การย่อยสลายสีย้อม

Title	A STUDY OF RHODAMINE B DYE DEGRADATION BY TiO ₂ NANOPARTICLES
Student	Miss. Tanaporn Pooksungthong
Degree	Bachelor of science
Major Program	Physics
Academic year	2013
Advisor	Assoc. Prof. Wichan Techitdheera

ABSTRACT

Dye degradation by TiO₂ photocatalyst has been studied. By using Rhodamine B dye concentration 1 mg/L with TiO₂ 0.2 g and 0.4 g , under UV light exposure time from 0 – 120 minutes were observed. SEM pictures tentatively shown that when milling time increase particle size decrease. Absorbance characteristic at 553 nm. fairly shown that decay rate of Rhodamine B decrease when the milling time increase.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keyword Titanium Dioxide , Photocatalyst , Ball Mill , Dye degradation

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณ รศ.วิชาญ เดชิตธีระ อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้ให้คำแนะนำให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิดและเสนอแนวทางแก้ปัญหาเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณพี่ๆ ในภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนการช่วยเหลือในด้านต่างๆ ที่ทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็วในการใช้เครื่องมือต่างๆ

ขอขอบพระคุณผลงานวิจัยและเอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่ข้าพเจ้าใช้เป็นเอกสารอ้างอิงและทำการศึกษาจนทำให้การทำงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จ ซึ่งคาดว่ารายงานโครงการพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ

สุดท้ายขออุทิศความดีอันใดที่เกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดามารดาที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

ธนพร พุกสังข์ทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สมบัติพื้นฐานของไททานเนียมไดออกไซด์	3
2.2 สมบัติพื้นฐานของโรดามีน	4
2.3 กระบวนการการบดละเอียด	4
2.4 กระบวนการโฟโตแคตาไลสต์	6
2.5 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทาง	9
2.5.1 การวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือนกราด	9
2.5.2 การวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโคปี	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	14
3.1 วิธีการดำเนินงาน	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สง 3.1.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านก 14
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อี 3.2 การเตรียมไททานเนียมไดออกไซด์ในการทดลอง ึ่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 15

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 ขั้นตอนการวัดการสลายตัวของสีข้อมโดยใช้โรคามิน บี	16
3.3.1 การเตรียมสีข้อมโรคามิน บี	16
3.3.2 การทดสอบการสลายตัวของสีข้อมโรคามินบี	16
3.3.3 การทดสอบการสลายตัวของสีข้อมโรคามินบีโดยเพิ่มและลด ปริมาณสารไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อนำมาเปรียบเทียบ	17
3.4 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติต่างๆของสารไททาเนียมไดออกไซด์	17
3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยการวัดการสลายตัวของสีข้อม โดยใช้แสง ยูวี	17
3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลือน กราด	17
3.4.3 การวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโตรสโคปี	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	19
4.1 ผลการทดลองการลดขนาดของไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการบดมิลล์	19
4.2 ผลการทดลองการสลายตัวของสีข้อม โรคามินบีที่ปริมาณสารไทเทเนียมได ออกไซด์ 0.400 กรัม	23
4.3 ผลการทดลองการสลายตัวของสีข้อมโรคามินบี ที่ปริมาณสารไทเทเนียมได ออกไซด์ 0.200 กรัม	27
4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนทางแสงของสีข้อมที่ ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.400 กรัม	28
4.5 ผลการวิเคราะห์ทางเครื่องมือแสงของการสลายตัวของสีข้อม โรคามิน บี	32
4.6 ผลกราฟการวิเคราะห์ทางเครื่องมือแสงของการสลายตัวของสีข้อมโรคามินบี	35
4.7 ตารางเปรียบเทียบการดูดกลืนของสีข้อมโรคามิน บี	38
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	39
5.1 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งผู้พิมพ์เห็นควรขอสงวนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เอกสารอ้างอิง

หน้า

40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
4.1 ตารางการเปรียบเทียบการคุกคามของสี่ข้อมโรคามิน บี	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของไททาเนียมไดออกไซด์	4
2.2 โครงสร้างของโรดามีน บี	4
2.3 การบดละเอียด	5
2.4 การเกิดกระบวนการโฟโตแคตาลีซิส	6
2.5 การเกิดโฟโตแคตาลีซิส	8
2.6 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่อง SEM ที่เป็นจุดกำเนิดภาพ	10
2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบถื่นกราด	12
2.8 เครื่องยิวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโคปี	13
3.1 การเตรียมไททาเนียมไดออกไซด์กับสีย้อมโรดามีน บี	16
3.2 การทดลองโดยมีการฉายแสงยูวี	16
4.1 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 12 ชั่วโมง	19
4.2 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 18 ชั่วโมง	20
4.3 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง	20
4.4 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 30 ชั่วโมง	21
4.5 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 36 ชั่วโมง	21
4.6 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 42 ชั่วโมง	22
4.7 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง	22
4.8 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง	23
4.9 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 12 ชั่วโมง	23
4.10 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 18 ชั่วโมง	24
4.11 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง	24
4.12 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 30 ชั่วโมง	25
4.13 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 36 ชั่วโมง	25
4.14 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 42 ชั่วโมง	26
4.15 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง	26
4.16 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.200 กรัม	27
4.17 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.200 กรัม	27
4.18 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.200 กรัม	28

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.200 กรัม	28
4.20 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 12 ชั่วโมง	29
4.21 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 18 ชั่วโมง	29
4.22 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง	30
4.23 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 30 ชั่วโมง	30
4.24 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 36 ชั่วโมง	31
4.25 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 42 ชั่วโมง	31
4.26 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง	32
4.27 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.200 กรัม	32
4.28 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.400 กรัม	33
4.29 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.200 กรัม	33
4.30 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.400 กรัม	34
4.31 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.200 กรัม	34
4.32 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.400 กรัม	35
4.33 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.200 กรัม	35
4.34 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.400 กรัม	36
4.35 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.200 กรัม	36
4.36 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.400 กรัม	37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.37 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อม โรดามีน บี ที่การบอสมิลล์ 48 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.200 กรัม	37
4.38 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อม โรดามีน บี ที่การบอสมิลล์ 48 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO ₂ 0.400 กรัม	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การลดขนาดของสารมีความสำคัญต่อกระบวนการทางวัสดุ เช่น เพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยาของสารที่เป็นของแข็งให้มีขนาดตามที่ต้องการหรือเป็นการทำให้มีการผสมที่ดีขึ้นซึ่งการลดขนาดของวัสดุนั้นจะพบได้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเหมืองแร่ ปูนซีเมนต์ อาหาร และยา

วิธีการลดขนาดของแข็งโดยการบดละเอียด (Grinding) โดยใช้วิธีบอลมิล (Ball mill) สามารถบดละเอียดได้ถึง 200-350 เมช (mesh) และอาจทำได้มากกว่า 60 ไมครอนลง ไป (micron) ที่จำเป็นที่จะต้องบดอนุภาคของวัสดุบดให้มีขนาดละเอียดมากก็เพื่อที่จะช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างการเผาของวัสดุบดต่างๆที่อยู่ในสูตรของผลิตภัณฑ์เร็วขึ้นและสมบูรณ์ขึ้นเพื่อให้ได้คุณสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรงหลังเผา, เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ, ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน เป็นต้น ได้ตามที่ต้องการ กระบวนการบดจะเริ่มด้วยการป้อนวัสดุเข้าในหม้อบด ซึ่งจะเป็นของแข็งที่ผ่านการบดครั้งทีหนึ่งหรือครั้งที่สองมาแล้วโดยหลักในการบดตัวลูกบดจะเคลื่อนที่ไปตามผนังของหม้อบดจนถึงจุดหนึ่งแล้วตกลงมาซึ่งเกิดจากแรงสองแรงคือแรงเหวี่ยง (centrifugal force) ซึ่งจะทำให้สารที่อยู่ภายในเกาะกึ่งตัวเกาะติดกับผนังแต่เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกทำให้ตกลงมาและอีกแรงหนึ่งเกิดจากของลูกบดภายในหม้อบดทำให้เกิดการบดขึ้นซึ่งจะควบคุมแรงทั้งสองนี้โดยการปรับความเร็วรอบในการหมุนแกนของหม้อบด

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide : TiO_2) โครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ โครงสร้างแบบอนาเทส (Anatase) แบบรูไทล์ (Rutile) และแบบบรูคไท์ (Brookite) โดยไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบอนาเทสจะมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกได้ดีกว่าโครงสร้างแบบรูไทล์สาเหตุเนื่องมาจากการกลับมารวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮลเกิดได้ยากกว่าโครงสร้างแบบรูไทล์ในขณะที่โครงสร้างแบบรูไทล์มีค่ารีแฟรคทีฟอินเดกซ์ (Refractive Index) สูงกว่าโครงสร้างแบบอนาเทสและมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง จึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวเติมเพื่อสะท้อนแสงโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสและรูไทล์เป็นที่นิยมนำมาศึกษา สำหรับการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกโดยโครงสร้างผลึกอนาเทสให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกรูไทล์แต่อย่างไรก็ตามในบางปฏิกิริยาโครงสร้างผลึกรูไทล์หรือโครงสร้างผลึกผสมระหว่างแบบอนาเทสและแบบรูไทล์ (เช่น อนาเทส 70-75% และ รูไทล์ 30-25%) ถูกรายงานว่าให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่าโครงสร้างผลึกอนาเทสบริสุทธิ์ โดยทั้งนี้ทั้งนั้นมีตัวแปรหลายอย่างที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเร่ง

ปฏิกิริยาของแต่ละโครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ ได้แก่พื้นที่ผิว, การกระจายตัวของรูพรุน, ขนาดของอนุภาคผลึกและที่สำคัญมากคือวิธีการที่ใช้ในการสังเคราะห์ผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการลดขนาดผงไทเทเนียม ไดออกไซด์ โดยการบดละเอียดแบบบอลมิลล์
2. เพื่อศึกษาลักษณะทางพื้นผิวของผงไทเทเนียม ไดออกไซด์
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของสีช้อม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาการเตรียมผงไทเทเนียม ไดออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงระดับนาโนเมตร โดยวิธีการบดละเอียดแบบบอลมิลล์
2. วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของผงไทเทเนียม ไดออกไซด์ที่เตรียมได้ว่ามีขนาดเล็กและอยู่ในระดับนาโนเมตร
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของผงไทเทเนียม ไดออกไซด์กับประสิทธิภาพของการย่อยสลายสีช้อม

1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน
1.หาหัวข้องานวิจัยและศึกษาทำความเข้าใจ	มีนาคม – พฤษภาคม 2556
2.หาข้อมูลและศึกษาทฤษฎีเพิ่มเติม	มิถุนายน – สิงหาคม 2556
3.ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยและเตรียมการทดลอง	กันยายน – ตุลาคม 2556
4.ลงมือปฏิบัติทำการทดลอง	ตุลาคม 2556 – มกราคม 2557

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.สามารถนำไปใช้ในการบำบัดของน้ำเสียจากสีช้อมในธรรมชาติได้

2.มีความรู้เกี่ยวกับสมบัติของอนุภาคนาโนของไทเทเนียม ไดออกไซด์จากผงไทเทเนียม ไดออกไซด์ด้วยวิธีบอลมิลล์

3. มีความรู้เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือในการเตรียมอนุภาคนาโนด้วยวิธีบอลมิลล์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติพื้นฐานของไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide : TiO_2)

ไทเทเนียม (Ti) เป็นโลหะสีเทามีมวลอะตอมเท่ากับ 47.9 ทนต่อการกัดกร่อนสูงไม่เป็นสารไวไฟมีเลขออกซิเดชัน +4, +3, +2 แต่สภาพที่พบทั่วไปเป็น +4 ไทเทเนียมไดออกไซด์จะเป็นผงสีขาวมวลโมเลกุล 79.9 เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งซึ่งมีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบคือบรูคไคท์ (Brookite) อนาเทส (Anatase) และรูไทล์ (Rutile) โดยที่โครงสร้างผลึกที่นิยมนำมาใช้สำหรับกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำโดยวิธีกระตุ้นด้วยแสงคือโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสและรูไทล์ซึ่งมีการจัดเรียงตัวของอะตอมไทเทเนียมเป็นแบบ Orthorhombic และที่อะตอมออกซิเจนเข้าไปเติมเต็มในช่องว่างแบบ Octahedral โดยที่มุมระหว่างแกนของ Octahedral ในรูไทล์มีค่าเท่ากับ 90 และ 81.21 องศา ในขณะที่อนาเทสมีค่ามุมระหว่างแกนเท่ากับ 78.12 และ 92.43 องศาจากการที่ไทเทเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างผลึกที่แตกต่างกันนั้นส่งผลให้โครงสร้างผลึกแต่ละโครงสร้างมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันเมื่อพิจารณาทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์พบว่าพลังงานเสรีของกิบส์ของการเกิดที่ภาวะมาตรฐานสำหรับไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบรูไทล์ที่มีค่า -889.5 กิโลจูลต่อโมล อีกทั้งค่าความหนาแน่นของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสนั้นมีค่าเท่ากับ 3.894 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์นั้นมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 4.250 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร คุณสมบัติที่แตกต่างกันดังกล่าวจึงทำให้ผลึกของโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสมีค่าเท่ากับ 3.23 โวลต์ ในขณะที่รูไทล์มีค่าเท่ากับ 3.02 โวลต์จึงทำให้ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์และโครงสร้างผลึกแบบบรูคไคท์ การทำให้บริสุทธิ์นั้นทำได้ยากส่วนโครงสร้างผลึกแบบรูไทล์จะเกิดการรวมตัวใหม่ของ e^- และ h^+ ได้ง่ายทั้งยังมีความสามารถในการดูดซับต่ำกว่าโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสในปัจจุบันจึงเป็นที่นิยมใช้โครงสร้างผลึกแบบอนาเทสมากกว่าแบบอื่นรูปผลึกขนาดอนุภาคผิวหน้าผลึกปริมาณการรวมเป็นการรวมผลึกและความบริสุทธิ์ของกระบวนการผลิตถูกควบคุมให้เหมาะสมกับการใช้งานสารไทเทเนียมไดออกไซด์มีลักษณะทางเคมีที่ดีทำให้มีผลข้างเคียงต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากจึงปลอดภัยและใช้งานได้ง่าย

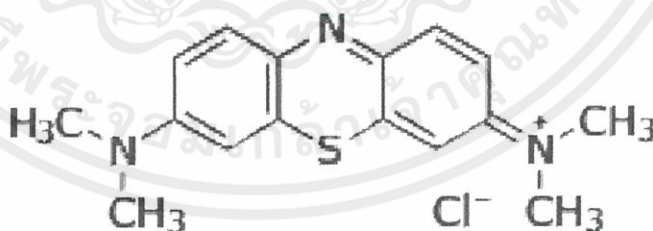
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์

2.2 สมบัติพื้นฐานของโรดามีน บี (RhodamineB:RhB)

มีสูตรโมเลกุล $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$ มีจุดหลอมเหลว $210-211^{\circ}C$ (ที่มีการสลายตัว) เป็นสารเคมีและสีย้อมประจวบกับสีชมพูโดยมีความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของโรดามีน บี

2.3 กระบวนการการบดละเอียด (Grinding or Milling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เป็นการบดวัตถุที่ผ่านการบดหยาบมาแล้วให้มีขนาดของอนุภาคเล็กลงจนถึงขั้นละเอียด
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 มาก (Pulverization) โดยใช้การกระทบ, กระแทก และการเสียดสีกันระหว่างวัตถุดิบ ตัวถูกลบ
 (Grinding Media) และตัวบุผนังของหม้อบด (Lining) การที่จำเป็นที่จะต้องบดอนุภาคของวัตถุดิบ

ให้มีขนาดละเอียดมาก (ต่ำกว่า 60 ไมครอนลงไป) ก็เพื่อที่จะช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างการเผาของวัสดุต่างๆที่อยู่ในสูตรของผลิตภัณฑ์ เร็วขึ้นและสมบูรณ์ขึ้น เพื่อให้ได้คุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรงหลังเผา, เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ, ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน, ปริมาณเนื้อแก้ว (glassy phase) ได้ตามที่ต้องการ

เราสามารถแบ่งวิธีการบดละเอียดได้ตามอุปกรณ์และหลักการในการบด (Milling) ได้ดังนี้

2.3.1 Ball Mill

เป็นการบดวัสดุโดยใช้หลักการหมุนของหม้อบด โดยมีลูกบดอยู่ภายในสามารถแบ่งได้เป็นการบดแบบเป็นครั้งคราว (Batch Mill) และการบดแบบต่อเนื่อง (Continuous Mill) โดยการบดทั้งสองแบบนี้ สามารถบดวัสดุได้ทั้งแบบเปียก (Wet Milling) และแบบแห้ง (Dry Milling)



2.3.2 Attrition Mill

เป็นการบดวัสดุให้มีความละเอียดมากและมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคต่ำ โดยอนุภาคที่ได้จากการบดโดยใช้ Attrition Mill นั้นจะมีขนาดต่ำกว่า $1\mu\text{m}$ (ขึ้นกับขนาดของวัสดุตั้งต้น, ความแข็งของวัสดุ, ชนิดและปริมาณของลูกบด, เวลาในการบด)

2.3.3 Jet Mill

เป็นการบดโดยไม่ใช้ลูกบดแต่อาศัยการบดกันเองของวัสดุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมาก

2.3.4 Vibro Mill or Vibration Mill

เป็นเครื่องมือบดที่อาศัยการสั่นให้แท่งเหล็กที่ใช้บดกระแทกเข้ากับวัสดุบด รวมทั้งการกระแทกกันเองของวัสดุบดเองด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 Pendula Mill

เป็นเครื่องบดวัตถุดิบแบบแห้ง โดยมีหัวค้อนตีในแนวนอนขนานกับพื้นโลกและใช้การ

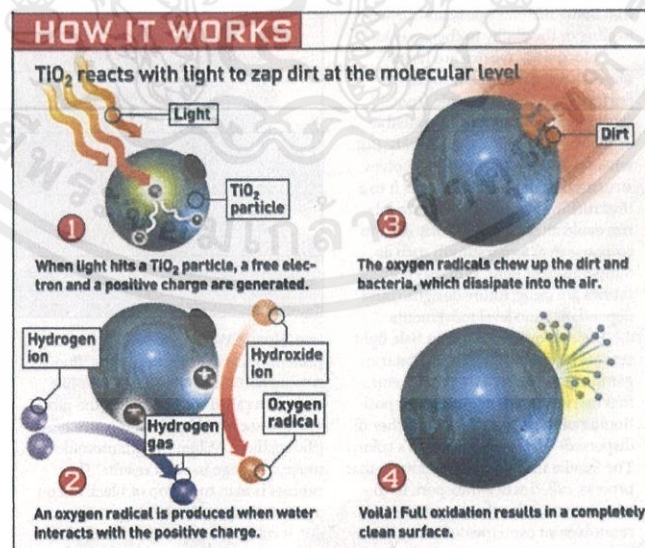
คัดขนาดด้วยลม

2.3.6 Edge Runner, Muller Mill

เป็นเครื่องบดที่ใช้ล้อเหล็กหรือล้อหินขนาดใหญ่หมุนไปในถาดขนาดใหญ่ซึ่งน้ำหนักของล้อจะเป็นตัวกดเพื่อให้วัตถุดิบย่อยเป็นขนาดเล็ก

2.4 กระบวนการโฟโตแคตาไลสต์ (Photocatalyst)

กระบวนการโฟโตแคตาไลติก (Photocatalytic Process) เป็นการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวคะตาลีสต์ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยการกระตุ้นด้วยแสงตัวcatalyst นี้จะทำให้หน้าที่ลดพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยาแสดงการเกิดออกซิเดชัน(Oxidation) ของสารอินทรีย์ที่มีและไม่มีตัว catalyst แสดงพลังงานกระตุ้น(Activation Energy, E_a) ของปฏิกิริยาที่ไม่มี catalyst ซึ่งมีค่ามากและพลังงานของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าพลังงานของสารอินทรีย์พลังงานกระตุ้นนี้จะลดลงในปฏิกิริยาที่มีตัว catalyst ถึงแม้ว่าพลังงานของสารอินทรีย์และผลิตภัณฑ์ยังคงเท่าเดิมตัว catalyst นี้จะเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาโดยการลดพลังงานกระตุ้นอีกทั้งตัวมันเองยังตอบสนองต่อแสงดังกล่าวก็จะเกิดการกระตุ้นได้โดยการถ่ายทอดพลังงานที่มีมากกว่าพลังงานแบนด์แกป (Band Gap)



รูปที่ 2.4 การเกิดกระบวนการโฟโตแคตาไลสต์

2.4.1 ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสต้องมีองค์ประกอบคือ

- 1) คตะตาลีสต์เช่นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)

- 2) พลังงานแสงซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานโฟตอนของตัวคะตาลีสต์
- 3) น้ำ
- 4) ออกซิเจนหรือตัวออกซิแดนท์ (Oxidants) อื่นๆ

2.4.2 ชนิดของโฟโตแคตาลีซิส

โฟโตแคตาลีซิสสามารถแยกได้ 2 ประเภทเมื่อพิจารณาจากสถานะของตัวคะตาลีสต์ดังนี้

1) โฟโตแคตาลีซิสแบบสถานะเดียว (Homogeneous Photocatalysis)

เป็นกระบวนการที่ใช้ catalyst ซึ่งมีสถานะเดียวกับสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัด (โดยทั่วไปแล้วจะเป็นของเหลว) เช่นการย่อยสลาย 2,4 Dinitrofluorene โดยใช้ UV/H_2O_2

2) โฟโตแคตาลีซิสแบบสถานะต่าง (Heterogeneous Photocatalysis)

เป็นกระบวนการที่ใช้ตัว catalyst ซึ่งมีสถานะต่างกับสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดเช่นย่อยสลาย 2-Chlorophenol โดยใช้ UV/TiO_2 สารกึ่งตัวนำมีมากมายหลายชนิดหนึ่งในจำนวนสารกึ่งตัวนำหลายๆชนิดที่นิยมใช้กันในปฏิกิริยาโฟโตแคตาลีซิสคือไทเทเนียมไดออกไซด์เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์มีราคาไม่แพงไม่เป็นพิษความสามารถในการละลายต่ำความเสถียรสูงนอกจากนั้นได้มีการศึกษาเปรียบเทียบสารกึ่งตัวนำหลายๆชนิดที่นำมาใช้ในปฏิกิริยาโฟโตแคตาลีซิสพบว่าการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์แบบแขวนลอยสามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วแต่เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์มีแบนด์แกปประมาณ 3.2 โวลต์ซึ่งมากกว่าสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆโดยส่วนใหญ่ทำให้ต้องใช้พลังงานแสงในช่วงของแสงยูวี (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 400 นาโนเมตร) ในแสงอาทิตย์ที่ส่องมาถึงพื้นโลกมีแสงยูวีน้อยกว่า 1% ทำให้ไม่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้จำเป็นต้องใช้แสงจากหลอดรังสียูวีเป็นแหล่งกำเนิดแสง

2.4.3 ชนิดของตัวคะตาลีสต์

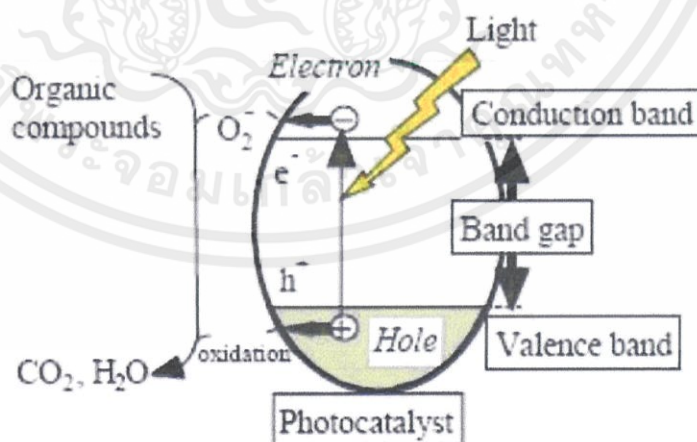
สารที่ใช้เป็นตัว catalyst ในปฏิกิริยา photocatalysis ได้แก่

- 1) โลหะตัวนำ (Transition Metal) เช่นทองแดง โคโรเมียม นิกเกิล เป็นต้น
- 2) สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่นไทเทเนียมไดออกไซด์แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS)

สังกะสีออกไซด์ (ZnO) เป็นต้น

องค์ประกอบของโลหะตัวนำและสารกึ่งตัวนำประกอบด้วยวาเลนซ์แบนด์ (Valence Band) และคอนดักชันแบนด์ (Conduction Band) ในโลหะตัวนำจะมีวาเลนซ์แบนด์และคอนดักชันแบนด์ติดกันแต่ในสารกึ่งตัวนำวาเลนซ์แบนด์และคอนดักชันแบนด์จะไม่ติดกันโดยเกิดเป็นช่องว่างซึ่งเรียกว่าแบนด์แกป (Band Gap) เมื่ออิเล็กตรอน (Electron, e^-) ที่อยู่ในวาเลนซ์แบนด์ได้รับพลังงานโฟตอนจากแสงอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังคอนดักชันแบนด์ในขณะเดียวกันที่บริเวณวาเลนซ์แบนด์จะเกิดโฮล (Hole, h^+) ซึ่งเป็นประจุบวกสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระในวาเลนซ์แบนด์ ส่วนคอนดักชันแบนด์อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่มาจากวาเลนซ์แบนด์เคลื่อนที่อย่างอิสระทั่วคอน

ดักจับแบรินด์เช่นกันปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน - โฮล (Electron - Hole Pairs, e^-/h^+) สามารถเคลื่อนที่ไปมาระหว่างวาเลนส์แบรินด์และคอนดักชันแบรินด์ได้ง่ายและรวดเร็วเพราะว่าไม่มีแบรินด์กัณฑ์เหตุนี้จึงเป็นสาเหตุให้ e^-/h^+ รวมตัวกันใหม่ได้ง่ายสำหรับโลหะตัวนำในทางตรงกันข้ามนั้นการรวมตัวกันใหม่ของ e^-/h^+ ในสารกึ่งตัวนำเกิดได้ยากเพราะว่ามีแบรินด์กัณฑ์อยู่ทำให้คู่อิเล็กตรอน e^-/h^+ แยกจากกันได้นานข้อแตกต่างของพลังงานแบรินด์กัณฑ์ของโลหะตัวนำสารกึ่งตัวนำและฉนวนแยกได้ยากขึ้นอยู่กัณฑ์ปัจจัยหลายปัจจัยได้แก่ระดับพลังงานแบรินด์กัณฑ์ระดับพลังงานคอนดักชันแบรินด์และระดับพลังงานวาเลนส์แบรินด์ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิสในน้ำประกอบด้วยแสงที่ส่องผ่านน้ำไปยังตัวคะตาลีซิสซึ่งมีพลังงานโฟตอนที่สูงกว่าพลังงานแบรินด์กัณฑ์ของตัวคะตาลีซิสซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นจากวาเลนส์แบรินด์ให้เคลื่อนที่ไปยังคอนดักชันแบรินด์ผลคือทำให้เกิด e^-/h^+ ซึ่งจะวิ่งกระจายอยู่ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำปฏิกิริยาที่เกิดบนผิวคอนดักชันแบรินด์และปฏิกิริยาที่เกิดในสารละลายเกิดขึ้นดังนี้อิเล็กตรอนจะเคลื่อนจากคอนดักชันแบรินด์ไปยังตัวรับอิเล็กตรอน (Electron Acceptor) ในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ส่วนอีกด้านหนึ่งคือวาเลนส์แบรินด์ซึ่งมี h^+ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยตัวสารละลายทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน (Electron Donor) ในสภาวะปกติความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของอิเล็กตรอนที่คอนดักชันแบรินด์ไม่มีศักยภาพพอที่จะบำบัดสารอินทรีย์ได้แต่เนื่องจากในระบบบำบัดมีออกซิเจนละลายน้ำอยู่ออกซิเจนนี้จะเป็นตัวรับ e^- เกิดปฏิกิริยารีดักชันได้เป็น Superoxide radical ซึ่งเป็นตัวออกซิเดนต์ที่แรงมากสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆได้แต่ในทางตรงกันข้าม h^+ ที่วาเลนส์แบรินด์เป็นตัวออกซิเดนต์ที่แรงมากเช่นกัน



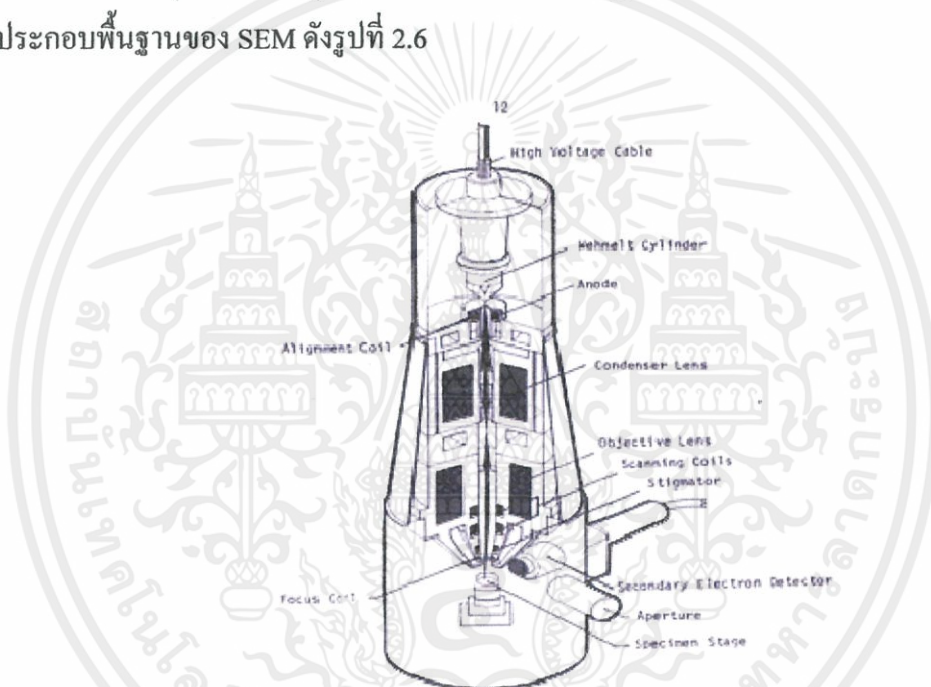
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหานี้และนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่ในสื่อสังคมออนไลน์
 รูปที่ 2.5 การเกิดโฟโตแคตาไลซิส

2.5 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเฉพาะทาง

2.5.1 การวิเคราะห์เชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด(Scanning Electron Microscope: SEM)

Scanning Electron Microscope เรียกโดยย่อว่า SEM หรือในภาษาไทยเรียกว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้อิเล็กตรอนในการสร้างภาพขยายเช่นเดียวกับเครื่อง Transmission Electron Microscopy (TEM) แต่มีความแตกต่างในรายละเอียดของกระบวนการในการสร้างภาพอย่างมาก เครื่อง SEM เครื่องแรกประดิษฐ์ขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 1960 จากนั้น เครื่อง SEM ก็ค่อยๆ กลายเป็นเครื่องมือที่นำไปประยุกต์ใช้แพร่หลายทั่วไป ทั้งในด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การแพทย์ อุตสาหกรรม นิติวิทยาศาสตร์ โบราณคดี และอื่นๆ อีกหลายด้าน ซึ่งอิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ Electron Gun จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสให้เข้มข้นและเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงโดย Condenser Lens จากนั้นจะถูกโฟกัสให้ตกลงบนผิวตัวอย่าง โดย Objective Lens ซึ่ง ณ ตอนนี อิเล็กตรอนที่ตกลงบนผิวตัวอย่างจะเป็นเพียงจุดที่เล็กมาก Scan Coil จะควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนให้กวาดจากซ้ายไปขวา เมื่อสุดก็เลื่อนลงอีกขั้นและกวาดจากซ้ายไปขวาอีกครั้ง เป็นเช่นนี้จนครบเฟรม การกวาดลำอิเล็กตรอนเช่นนี้เรียกว่า Raster scan และเมื่อครบเฟรม แล้วก็จะไปเริ่มสแกนที่จุดแรกใหม่ ในการกวาดลำอิเล็กตรอนในแต่ละเฟรมจะถูกกำหนดจำนวนจุดและแถวไว้อย่างแน่นอน โดยในภาพตัวอย่าง 1 เฟรม ตามเส้นตามแนวนอนจะประกอบด้วยจุด 1000 จุด และมีทั้งหมด 1000 เส้น ที่ผิวตัวอย่างที่อิเล็กตรอนตกใส่จะเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนขึ้นหลายรูปแบบซึ่งคล้ายกับการที่แสงตกกระทบวัตถุและสะท้อนออกจากผิววัตถุ ในที่นี้ถ้ากล่าวอย่างง่าย ๆ ว่าถ้าผิวตัวอย่างเรียบก็จะให้สัญญาณสะท้อนอิเล็กตรอนได้ดี แต่ถ้าผิวตัวอย่างเป็นหลุมลึกก็จะไม่ให้สัญญาณหรือให้ได้น้อยซึ่งเราสามารถรับสัญญาณได้โดยใช้ตัวตรวจจับที่เหมาะสมกับชนิดของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะนำมาขยายให้มีความแรงที่เหมาะสมแล้วนำมาสร้างเป็นภาพ ถ้าเราใช้หลอดรังสีแคโทด (Cathode ray tube, CRT) เพื่อแสดงภาพ ในหลอดรังสีแคโทดจะมีการสร้างลำอิเล็กตรอนและถูกบีบให้เป็นลำเล็กๆ แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าในกล้องของเครื่อง SEM มาก กล่าวคือในเครื่อง SEM ลำอิเล็กตรอนมีขนาดศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร แต่ในจอภาพมีขนาดศูนย์กลางประมาณ 0.1 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของลำอิเล็กตรอนของเครื่อง SEM ต่อ จอภาพจะพบว่าห่างกันถึง 20000 เท่า ทำให้เกิดเป็นอัตราส่วนของกำลังขยายที่จะให้ภาพที่มีรายละเอียดได้ดีซึ่งจะได้กล่าวต่อไป การสแกนในจอภาพจะถูกควบคุมให้มีการสแกนแบบ Raster scan พร้อม ๆ กับการสแกนของลำอิเล็กตรอนในกล้อง ขณะเดียวกันความสว่างของจุดอิเล็กตรอนในจอภาพจะขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณจาก Amplifier ที่ขยายสัญญาณจากตัวตรวจจับ รับสัญญาณอิเล็กตรอนในกล้อง ถ้าสัญญาณแรงก็จะให้ความสว่างของลำอิเล็กตรอนมาก เมื่อส่งลงบนจอภาพก็จะปรากฏเป็นจุดสว่าง ในทางกลับกันถ้า

สัญญาณเบาก็จะ ได้จุดที่มีความสว่างน้อย บนจอก็จะปรากฏเป็นจุดสว่างน้อยด้วยบนจอภาพจะทำการเรียงจุดของสัญญาณที่ได้นี้เป็นแถวจนครบเฟรมก็จะได้เป็นภาพออกมา ถ้าบนจอภาพมีขนาดกว้างและยาวเป็น 20 เซนติเมตร และเรากำหนดการกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้อง ให้ 1 เฟรมมีพื้นที่ขนาด กว้างยาวเป็น 20 เซนติเมตรด้วย อัตราส่วนการขยายของภาพก็จะเป็น 1 เท่า แต่ถ้าเราให้การกวาดลำอิเล็กตรอนในกล้องเป็นพื้นที่ 1 x 1 เซนติเมตร ก็จะขยายภาพเป็น 20 เท่า แต่ในความเป็นจริงขนาดของการสแกน 1 เฟรมในกล้องอาจควบคุมให้เล็กมากถึงระดับไมโครเมตร โดยที่การสแกนบนหน้าจอยังเท่าเดิม ดังนั้นการขยายจึงได้ถึงระดับหมื่นเท่าอิเล็กตรอนจาก Column ของเครื่อง SEM เราเรียกว่า Primary Electron เมื่อตกกระทบผิวตัวอย่างจะมีสัญญาณหลายอย่างเกิดขึ้น แต่พอจะแบ่งเป็นกลุ่มได้สองกลุ่มคือ Inelastic scattering และ Elastic scattering ซึ่งมี ส่วนประกอบพื้นฐานของ SEM ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่อง SEM ที่เป็นจุดกำเนิดภาพ

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun)

อยู่ด้านปลายบนสุดของ Column ซึ่งต่อกับสายไฟฟ้าแรงสูงที่ต่อจากหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงซึ่งแปลงจาก 110 โวลต์ หรือ 220 โวลต์ เป็นไฟฟ้าที่มีความดันไฟฟ้าสูงคือระหว่าง 1-30 กิโลโวลต์ ซึ่งเพียงพอสำหรับ SEM แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนประกอบด้วยลวดโลหะ Tungsten ที่บิดเป็นรูปตัววีเรียกว่า Filament และล้อมด้วยโลหะรูปกรวย (Wehnelt cylinder) มีรูอยู่ปลายกรวย เมื่อกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 1000 โวลต์ จะไปเข้ามาสู่ Filament ลวดตัววีดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูง ประจุอิเล็กตรอนก็จะกระจาย ออกมาในสถานะสุญญากาศภายใน Column ประจุอิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบจะถูกดึงดูดด้วยแผ่นขั้วบวก (Anode plate) ที่อยู่ด้านล่างของ Electron gun ประจุอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะถูกดึงผ่านรูของกรวยไปยังทิศทางที่กำหนด คือ บริเวณสนามแม่เหล็กที่

สามารถรวบรวมประจุ อิเล็กตรอนที่มีอยู่ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นเพียงพอสำหรับฉายลงบนตัวอย่าง Electron gun ซึ่งมี filament และ Wehnelt cylinder อยู่ภายในสามารถทำให้ขยับเขยื้อนได้ด้วยสกรูที่อยู่รอบๆ คำนนอก Electron gun ทั้งนี้เพื่อปรับให้ Electron gun อยู่ในแนวตรงได้ ศูนย์กลางหรือตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กของเลนส์สนามแม่เหล็กภายใน Column ใน SEM สมัยใหม่นอกจากจะมีปุ่มหรือสกรูที่ช่วยปรับ Electron gun ให้ได้ศูนย์แล้วยังมีขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณแผ่นขั้วบวก เพื่อจะช่วยปรับลำแสงอิเล็กตรอนให้อยู่ศูนย์กลางของสนามแม่เหล็กในเลนส์ชุดแรกขดลวดดังกล่าวเรียกว่า Alignment coil ซึ่งสามารถควบคุมและปรับได้ตามต้องการ โดยหมุนและปรับปุ่ม (Alignment knobs) บนแผงของ Console Unit เหตุที่ต้องปรับ Electron gun ก็เพื่อให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีความสมบูรณ์เป็นรูปทรง กระจบออกที่ไม่บิดเบี้ยวหรือเบี้ยวออกไปจากศูนย์กลางหากมีการบิดของลำแสงอิเล็กตรอนออกนอกทิศทางอิเล็กตรอนปฐมภูมิ (Primary electron) บางส่วนจะถูกกั้นออกไปซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron)

2. เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอน (Electromagnetic Lens & Scan coils)

เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยที่เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ลำแสงดังกล่าวไปตกกระทบ บนผิวตัวอย่างและจะใช้สนามแม่เหล็กขับหรือผลักให้ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิเคลื่อนไปบนผิวตัวอย่างในแนวที่ต้องการเป็นบริเวณ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเลนส์แต่ละชุดมี Aperture ซึ่งเป็นโลหะประเภททองขาวทองเหลืองมีรูปขนาดต่างๆกัน (50 – 400 μm) และสามารถ เปลี่ยนได้ตามขนาดที่ต้องการ Aperture ดังกล่าวมักจะจัดไว้ในเลนส์แต่ละชุดภายในบริเวณที่ไร้สนามแม่เหล็กของเลนส์ Aperture เหล่านั้น ทำหน้าที่กำหนดให้ลำแสงอิเล็กตรอนที่ผ่านสนามแม่เหล็กของเลนส์แต่ละชุดให้มีรูปกรวยที่สมมาตร Aperture ของเลนส์ชุดสุดท้ายก่อน ที่ลำแสงอิเล็กตรอนจะมาสัมผัสกับตัวอย่างเป็น Aperture พิเศษเรียกว่า Objective Aperture มีไว้เพื่อกรองลำแสงอิเล็กตรอนให้เป็นรูปกรวย ขนาดเล็กที่มีความสมมาตรที่สุดและกำหนดขนาดและปริมาณของอิเล็กตรอนให้กระทบจุดต่างๆบนผิวตัวอย่าง เพื่อให้ภาพที่มีความลึกมากกว่าปกติขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้กราดไปบนผิวของตัวอย่างชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์นี้เรียกว่า Scan coils ซึ่งควบคุมโดยระบบไฟฟ้าและยังควบคุมการกราดของลำแสงที่เป็นเส้นในจอร์รับภาพ ให้เคลื่อนที่ไปในทิศทาง และเวลาเดียวกันกับลำแสงอิเล็กตรอน

3. ช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง SEM (specimen chamber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายานาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ และต้องแจ้งไปยังเจ้าของเอกสารที่ตรงที่กรมฯ ไปใช้ควบคุมโดยใช้เพียงขนาดต่างๆเพื่อเลื่อนฐานนี้ให้เลื่อนไปมาภายในช่องตัวอย่างได้อย่างน้อย 6

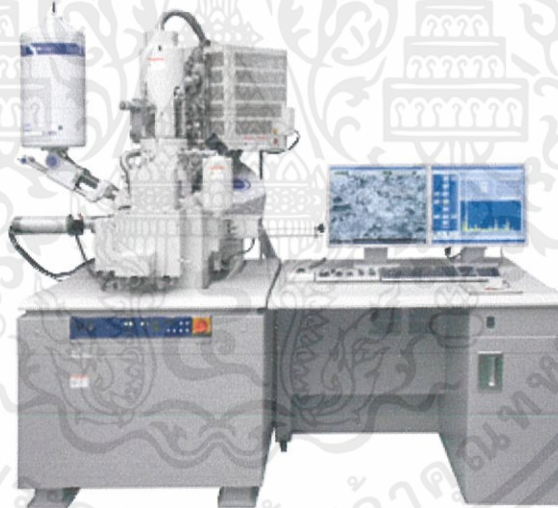
ทิศทางฐานวางตัวอย่างที่มีส่วนประกอบและคุณสมบัติเหล่านี้เรียกว่า Goniometer stage

4. อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Collector & Scintillator)

เป็นแท่งแก้วใสมีปลายมลทำด้วยพลาสติกฉาบผิวด้วยอูมิเนียมและส่วนปลายของแท่งนี้ล้อมด้วยตาข่ายโลหะที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าประจุบวกขนาด 30-250 โวลต์ เพื่อดึงดูดประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับผิวของตัวอย่าง

5. อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (Imaging & Photographic devices)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นภาพและภาพที่ปรากฏบนจอภาพ ก็พร้อมที่จะทำการบันทึกอุปกรณ์สร้างภาพประกอบด้วยท่อนำแสงและเครื่องขยายและเปลี่ยนสัญญาณอิเล็กตรอน ให้เป็นแสงไฟฟ้าการสร้างภาพเริ่มจากประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งประจุอิเล็กตรอนชุดนี้จะถูกจับและรวบรวมไว้แล้วนำสู่แท่งแก้วใสประเภทท่อนำแสงในลักษณะของแสงแสงที่ผ่านท่อแท่งแก้วนี้จะเคลื่อน ไปสู่เครื่องขยายแสง (Photomultiplier) ซึ่งจะเปลี่ยนแสงชนิดโฟตอนนี้ไปอิเล็กตรอนอีกครั้งหนึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะผ่านเครื่องขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้ปรากฏในจอภาพที่ติดตั้งไว้บน Console unit



รูปที่ 2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบเลื่อนกราด

2.5.2 การวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโตรสโคปี (UV – VIS

Spectrophotometer)

การวิเคราะห์สมบัติทางแสงโดยใช้เทคนิคการทะลุผ่านของแสง ด้วยเครื่อง UV – VIS Spectrophotometer จะเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารอินทรีย์ ในปัจจุบันเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและได้กลายมาเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญในปัจจุบัน เป็นเทคนิคที่ง่าย มีความรวดเร็ว มีความแม่นยำสูง และใช้ค่าใช้จ่ายไม่สูงอีกด้วยเทคนิคนี้เลือกใช้แสงในช่วง

อัลตราไวโอเล็ต (ความยาวคลื่น 160 – 380 นาโนเมตร) และ ช่วงแสงที่ตามองเห็น (ความยาวคลื่น 380 – 700 นาโนเมตร) อาศัยกระบวนการดูดกลืนและการส่งผ่านของแสง โดยเมื่อแสงผ่านไปยังตัวอย่าง ตัวอย่างจะมีการดูดกลืนแสงบางส่วนไว้และแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนก็จะสามารถผ่านตัวอย่างออกไปได้ ซึ่งช่วงแสงที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนไว้จะเป็นการแสดงถึงสมบัติทางแสงของตัวอย่างนั้น กล่าวคือตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้ออกมานั้นแสดงถึงสมบัติเฉพาะตัวของตัวอย่างนั้นด้วย เทคนิคนี้สามารถใช้ยืนยันตัวอย่างได้เบื้องต้นเท่านั้น องค์ประกอบสำคัญของเครื่อง UV-Vis Spectrometer แบ่งออกได้เป็น

1. Source หรือแหล่งกำเนิดแสงซึ่งให้กำเนิดแสงในช่วง UV และ visible โดยแหล่งกำเนิดแสงในช่วง UV ได้แก่ deuterium หรือ hydrogen lamps ซึ่งจะให้แสงในช่วง 160 - 380 นาโนเมตร ส่วนแหล่งกำเนิดแสงในช่วง visible จะนิยมใช้ tungsten filament lamp หรือ tungsten/halogen lamp ซึ่งจะให้แสงในช่วง 350 – 2500 นาโนเมตร

2. Monochromator (Wavelength Selector) ทำหน้าที่แยกลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง โดยแสงจะผ่านเข้าที่ entrance slit และจะถูกแยกด้วย grating หรือ prism จากนั้นแสงที่มีความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ เท่านั้นจะออกจาก Monochromator โดยผ่านทาง exit slit

3. Detector เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดแสงที่ผ่านสารตัวอย่างออกมา โดย detector ที่ใช้มีหลายชนิดได้แก่

a. Photomultiplier tube เป็น detector ที่ไวต่อแสงทั้งในช่วง UV และ visible โดยสามารถตรวจวัดได้อย่างรวดเร็ว และตรวจวัดสารที่มีปริมาณต่ำ ๆ ได้ดี ในช่วงความยาวคลื่น 190 – 900 นาโนเมตร

b. Photodiode array detector เป็น detector ที่สามารถตรวจวัดในทุกความยาวคลื่นของแสงได้ในเวลาเดียวกัน โดยมีราคาถูกและตรวจวัดได้ตั้งแต่ช่วง 190 – 1100 นาโนเมตร

นอกจากการวิเคราะห์ในรูปสารละลายแล้ว เทคนิคนี้ก็ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างในรูปของแข็งได้อีกด้วย เช่น การตรวจสอบวัสดุพอลิเมอร์ เช่น พลาสติก กระดาษ แก้ว ผ้า การตรวจสอบเพชร พลอย การวิเคราะห์ทางด้านโปรตีน DNA, RNA การวิเคราะห์ด้านสี ด้านอาหาร และด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น



รูปที่ 2.8 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรสโคปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการทำการศึกษาการทดลองจะเป็นการศึกษาการเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลง เพื่อดูการคะตะลิสต์ของปฏิกิริยาแสง (การสลายสีย้อม) โดยจะใช้อุปกรณ์ดังนี้

3.1.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)
- 2) เอทานอล (ethanol)
- 3) โรดามีน บี (Rhodamine B)
- 4) น้ำ DEIONIZED WATER
- 5) กระจกกรอง
- 6) แมกเนติกบาร์
- 7) เครื่องขังสาร
- 8) เครื่องแก้ว
- 9) เตาอบความร้อน
- 10) เม็ดบดเซอร์โคเนีย
- 11) เครื่องบด
- 12) ขวดพลาสติก
- 13) หลอดฉายแสงยูวี
- 14) เครื่องกวนสาร



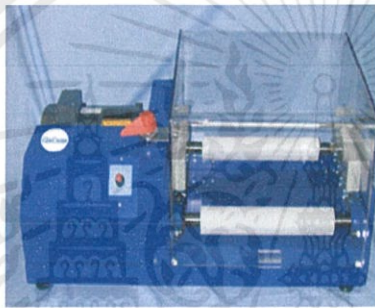
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงงานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาติให้เผยแพร่หรือใช้เกินกว่าการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้แมกเนติกบาร์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร เครื่องขังสารนำไปใช้



เตาอบความร้อน



เม็ดบดเซอร์โคเนีย



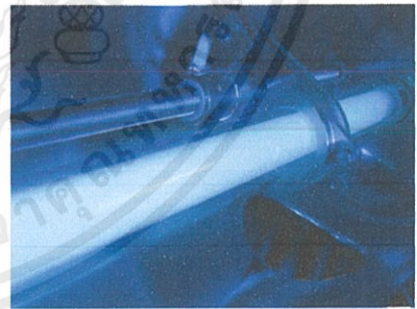
เครื่องบด



ขวดพลาสติก



เครื่องกวนสาร



หลอดฉายแสงยูวี

3.2 การเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์ ในการทดลอง

นำไทเทเนียมไดออกไซด์ ไปเข้ากระบวนการการบดละเอียดด้วยวิธีบอลมิลล์ (Ball mill) เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ที่เวลาต่างๆดังนี้ 0 , 12 , 18 , 24 , 30 , 36 , 42 , 48 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณสารไทเทเนียมได
 อกไซด์ 10 กรัมและเอทานอล 40 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องแล้วนำผล (ขนาด) มาเปรียบเทียบ

3.3 ขั้นตอนการวัดการสลายตัวของสีย้อมโดยใช้โรดามีน บี (Rhodamine B : RhB)

3.3.1 การเตรียมสีย้อมโรดามีน บี

นำสีย้อมโรดามีน บี ความเข้มข้น 1 mM 0.001 กรัม ผสมกับน้ำ DI 1 ลิตร

3.3.2 การทดสอบการสลายตัวของสีย้อมโรดามีน บี

1. นำไทเทเนียมไดออกไซด์ที่บดมิลล์ ณ เวลา 0 , 12 , 18 , 24 , 30 , 36 , 42 , 48 ชั่วโมง ที่ ปริมาณ 0.400 กรัม ผสมกับสารละลายสีย้อม โรดามีน บี ที่เตรียมไว้ในหัวข้อ 3.3.1 ในปริมาณ 200 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 การเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์กับสีย้อม โรดามีน บี

2. จับเวลาโดยทำในที่มืด 10 นาที จากนั้นฉายแสงยูวี โดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 20 นาทีเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



รูปที่ 3.2 การทดลองโดยมีการฉายแสงยูวี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง
 หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในงานวิจัยหรือการทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การทดสอบการสลายตัวของสีย้อมโรดามีนบีโดยเพิ่มและลดปริมาณสารไทเทเนียมไดออกไซด์เพื่อนำมาเปรียบเทียบ

1. นำไทเทเนียมไดออกไซด์ที่บดมิลล์ ณ เวลา 0 , 24 , 48 ชั่วโมง ที่ปริมาณ 0.200 และ 0.600 กรัม ผสมกับสารละลายสีย้อม โรดามีน บี ที่เตรียมไว้ในหัวข้อ 3.3.1 ในปริมาณ 200 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 3.3
2. จับเวลาโดยทำในที่มืด 10 นาที จากนั้นฉายแสงยูวี โดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 20 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3.4 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติต่างๆของสารไทเทเนียมไดออกไซด์

3.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยการวัดการสลายตัวของสีย้อมโดยใช้แสงยูวี เป็นการวัดการสลายของสีย้อมด้วยกระบวนการการใช้แสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้โรดามีน บี (สีชมพู) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสีย้อม โดยใช้หลักการโฟโตแคทาลิสต์

3.4.2 วิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

การวิเคราะห์สมบัติทางพื้นผิวเป็นการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างได้จากการบังคับอิเล็กตรอนให้กวาดไปบนพื้นผิวแล้วแสดงผลบนจอ (Cathode Ray Tube : CRT) มีลักษณะของภาพเป็นภาพขาวดำ มีกำลังขยาย 10 – 300,000 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง หลักการทำงาน คือ อันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับตัวอย่าง ทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron : SEM) และจับสัญญาณโดยตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector) นำสัญญาณที่ได้ไปขยายและสร้างภาพบนจอ

3.4.3 การวิเคราะห์การทะลุผ่านของแสงด้วยเครื่องยูวี-วิซิเบิลสเปกโตรสโคปี (UV – VIS Spectrophotometer)

การวิเคราะห์สมบัติทางแสงโดยใช้เทคนิคการทะลุผ่านของแสง ด้วยเครื่อง UV – VIS Spectrophotometer จะเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารอินทรีย์ ในปัจจุบันเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและได้กลายมาเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญในปัจจุบัน เป็นเทคนิคที่ง่าย มีความรวดเร็ว มีความแม่นยำสูง และใช้ค่าใช้จ่ายไม่สูงอีกด้วยเทคนิคนี้เลือกใช้แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (ความยาวคลื่น 160 - 380 นาโนเมตร) และ ช่วงแสงที่ตามองเห็น (ความยาวคลื่น 380 – 700 นาโนเมตร) อาศัยกระบวนการดูดกลืนและการส่งผ่านของแสง โดยเมื่อแสงผ่านไปยังตัวอย่าง ตัวอย่างจะมีการดูดกลืนแสงบางส่วนไว้และแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนก็จะสามารถผ่านตัวอย่างออกไปได้ ซึ่งช่วงแสงที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนไว้จะเป็นการแสดงถึงสมบัติทางแสงของตัวอย่างนั้น กล่าวคือตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นข้อมูลที่

ได้ออกมานั้นแสดงถึงสมบัติเฉพาะตัวของตัวอย่างนั้นด้วย เทคนิคก็สามารถใช้ยืนยันตัวอย่างได้ เบื้องต้นเท่านั้น องค์ประกอบสำคัญของเครื่อง UV-Vis Spectrometer แบ่งออกได้เป็น

1. Source หรือแหล่งกำเนิดแสงซึ่งให้กำเนิดแสงในช่วง UV และ visible โดยแหล่งกำเนิดแสง ในช่วง UV ได้แก่ deuterium หรือ hydrogen lamps ซึ่งจะให้แสงในช่วง 160 - 380 นาโนเมตร ส่วน แหล่งกำเนิดแสงในช่วง visible จะนิยมใช้ tungsten filament lamp หรือ tungsten/halogen lamp ซึ่ง จะให้แสงในช่วง 350 – 2500 นาโนเมตร

2. Monochromator (Wavelength Selector) ทำหน้าที่แยกลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสง โดยแสงจะ ผ่านเข้าที่ entrance slit และจะถูกแยกด้วย grating หรือ prism จากนั้นแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ เท่านั้นจะออกจาก Monochromator โดยผ่านทาง exit slit

3. Detector เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดแสงที่ผ่านสารตัวอย่างออกมา โดย detector ที่ใช้มีหลาย ชนิด ได้แก่

a. Photomultiplier tube เป็น detector ที่ไวต่อแสงทั้งในช่วง UV และ visible โดยสามารถตรวจวัด ได้อย่างรวดเร็ว และตรวจวัดสารที่มีปริมาณต่ำ ๆ ได้ดี ในช่วงความยาวคลื่น 190 – 900 นาโนเมตร

b. Photodiode array detector เป็น detector ที่สามารถตรวจวัดในทุกความยาวคลื่นของแสงได้ใน เวลาเดียวกัน โดยมีราคาถูกและตรวจวัดได้ตั้งแต่ช่วง 190 – 1100 นาโนเมตร

นอกจากการวิเคราะห์ในรูปสารละลายแล้ว เทคนิคนี้ก็ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการ วิเคราะห์ตัวอย่างในรูปของแข็งได้อีกด้วย เช่น การตรวจสอบวัสดุพอลิเมอร์ เช่น พลาสติก กระดาษ แก้ว ผ้า การตรวจสอบเพชร พลอย การวิเคราะห์ทางด้าน โปรตีน DNA, RNA การวิเคราะห์ด้านสี ด้านอาหาร และด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

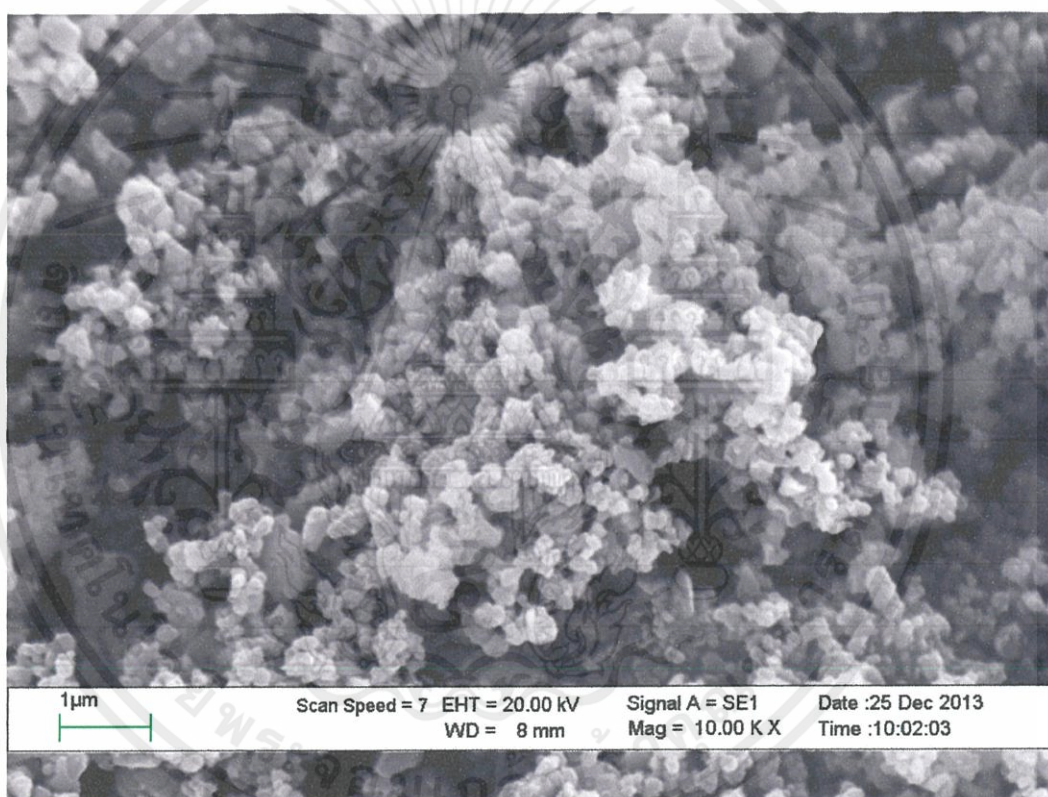
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

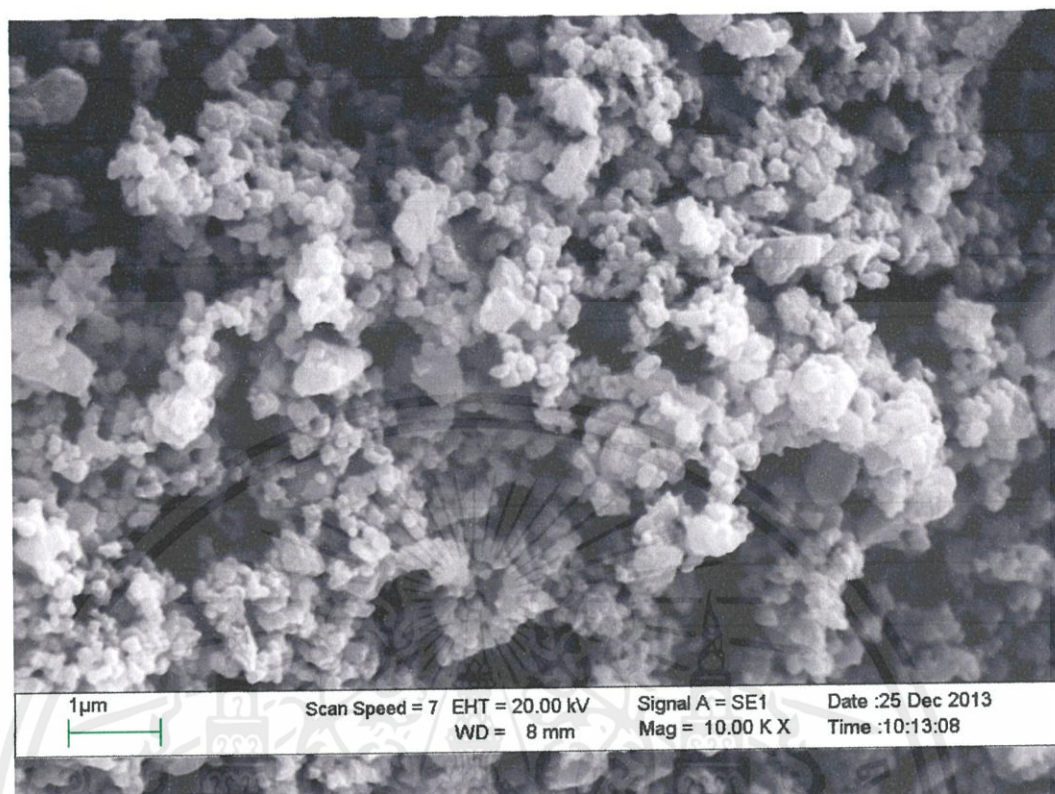
4.1 ผลการทดลองการลดขนาดของไทเทเนียมไดออกไซด์โดยการบดมิลล์ (Ball mill)

ใช้ปริมาณสารไทเทเนียมไดออกไซด์ 10 กรัมและเอทานอล 40 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการบดมิลล์ที่เวลาต่างๆดังนี้ 12 , 18 , 24 , 30 , 36 , 42 , 48 ชั่วโมงเมื่อมีการบดมิลล์ที่เวลามากขึ้นขนาดของอนุภาคก็ยังมีขนาดเล็กลง

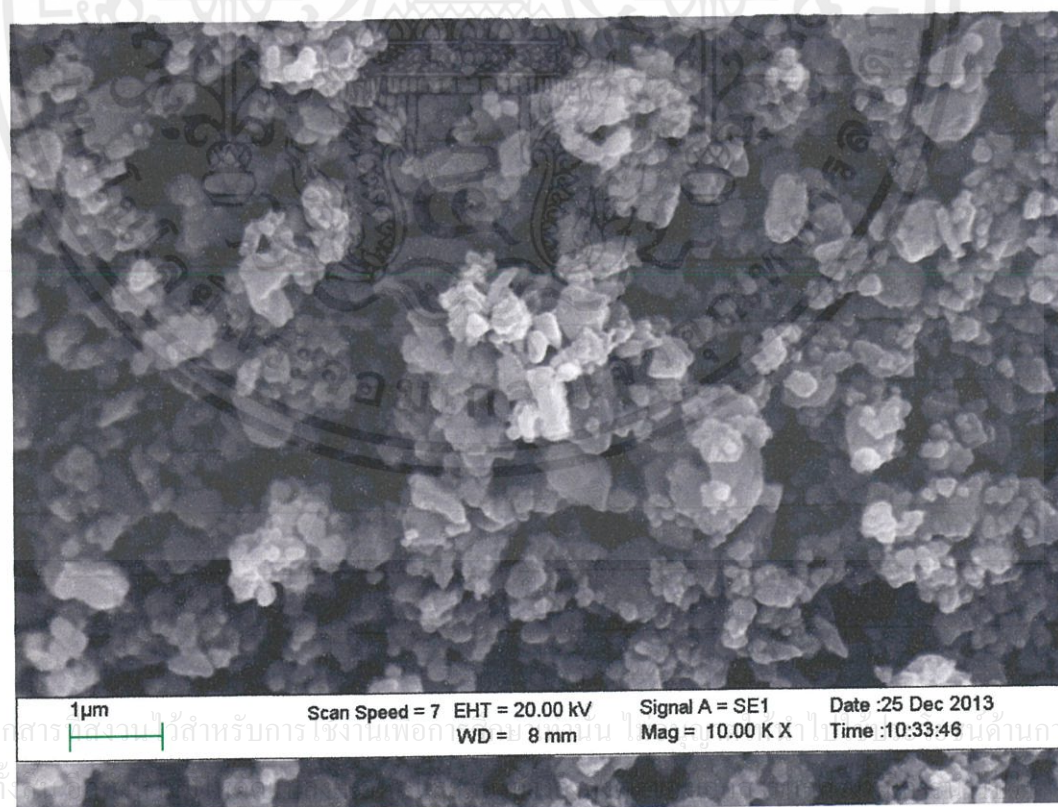


รูปที่ 4.1 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 12 ชั่วโมง

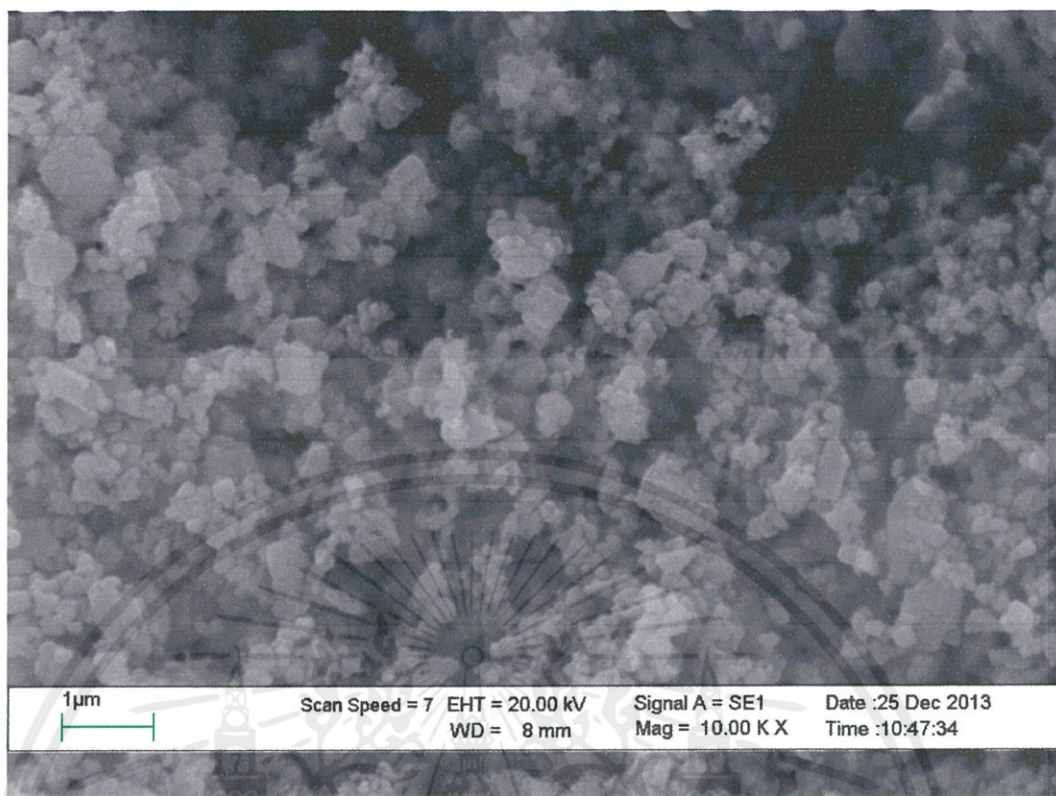
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



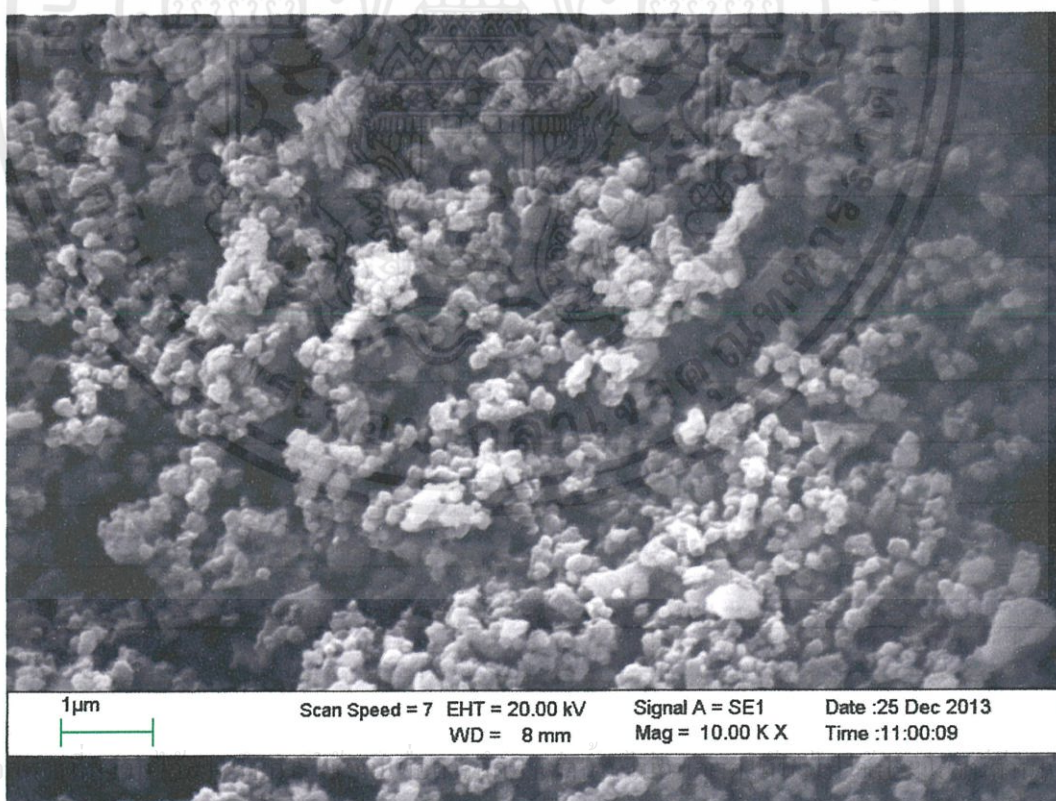
รูปที่ 4.2 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 18 ชั่วโมง



รูปที่ 4.3 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 30 ชั่วโมง

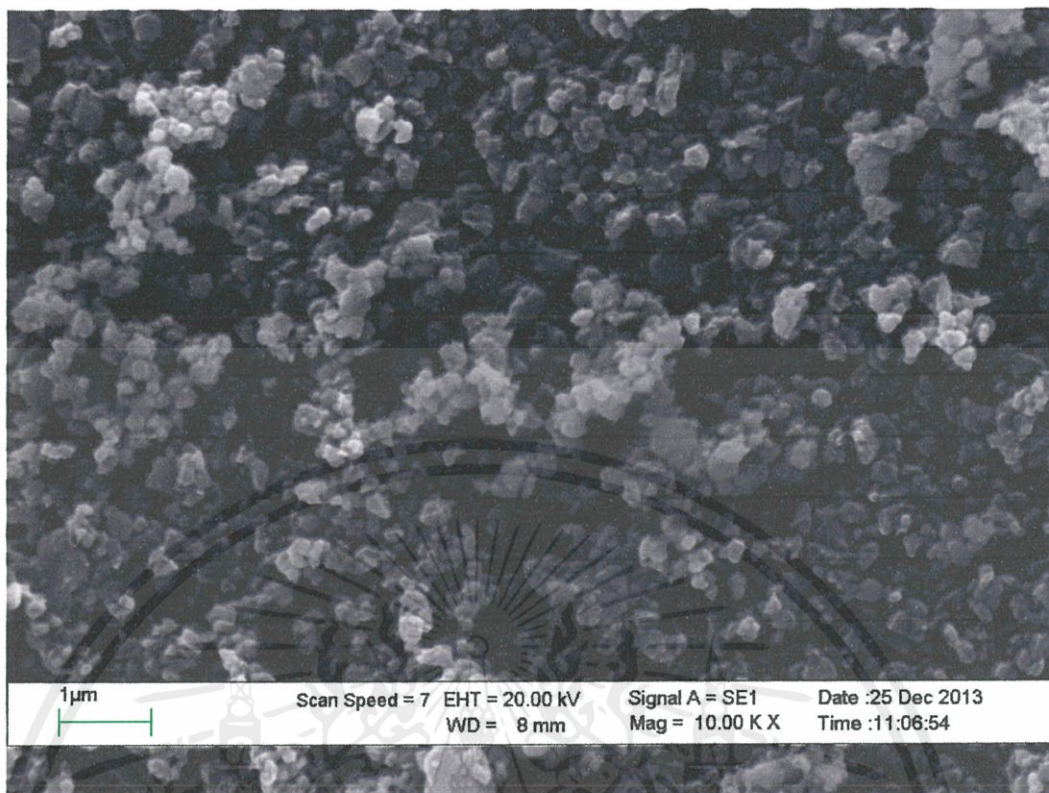


รูปที่ 4.5 ภาพ SEM ที่การบดมิลล์ 36 ชั่วโมง

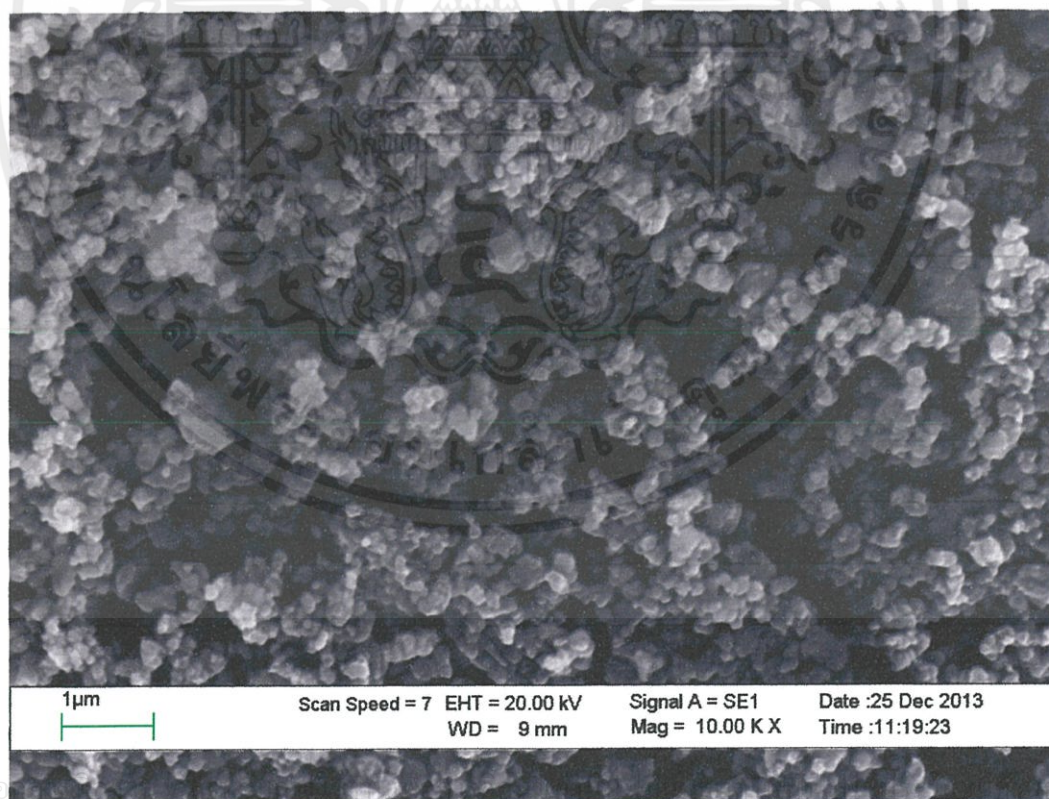
เอกสารนี้เป็นเอ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รค้า



รูปที่ 4.6 ภาพ SEM ที่การบอสมิลล์ 42 ชั่วโมง



รูปที่ 4.7 ภาพ SEM ที่การบอสมิลล์ 48 ชั่วโมง

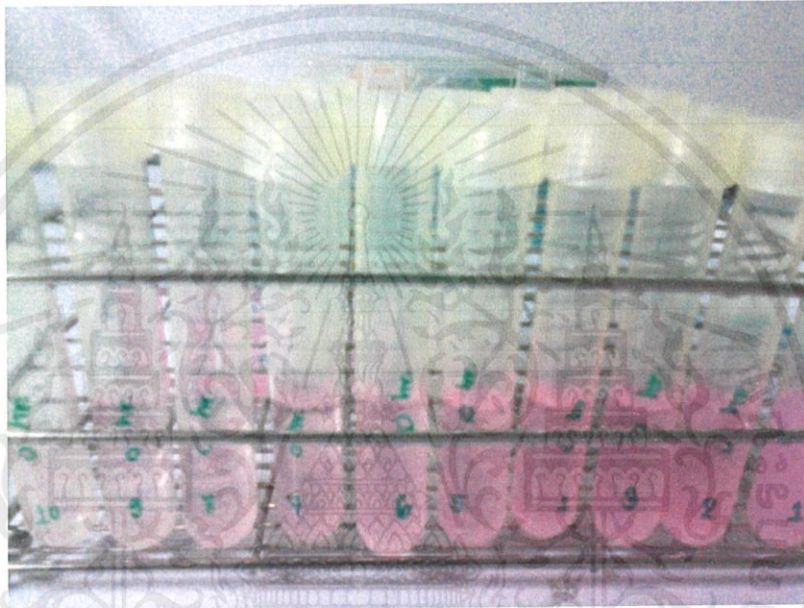
เอกสารนี้เป็นเอกสาร

ลิขสิทธิ์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองการสลายตัวของสีย้อมโรดามีนบี ที่ปริมาณสารไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.400 กรัม

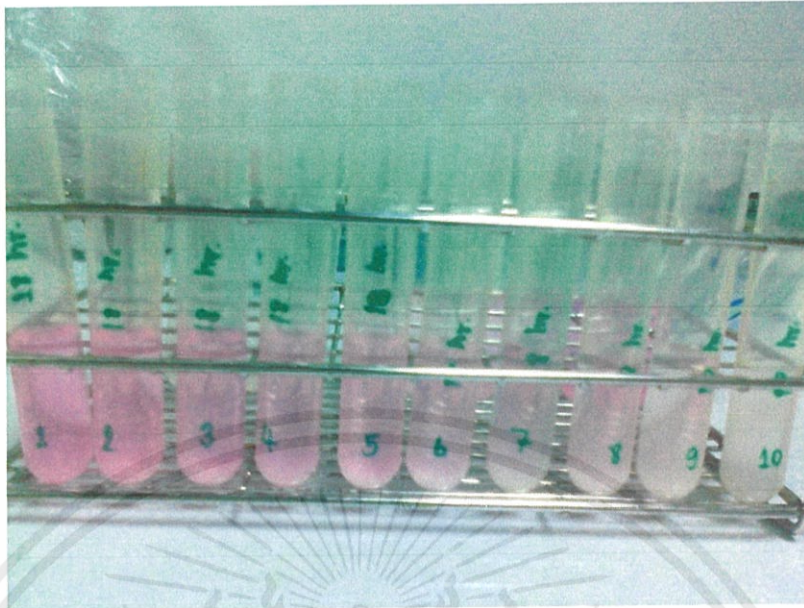
นำไทเทเนียมไดออกไซด์ที่บดมิลล์ ณ เวลา 0 , 12 , 18 , 24 , 30 , 36 , 42 , 48 ชั่วโมง ที่ปริมาณสาร 0.4 กรัม ผสมกับสารละลายสีย้อมโรดามีนบี ที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้น 1 mM 0.001 กรัม ผสมกับน้ำ DI 1 ลิตรนำไปกวนด้วยเครื่องกวนและฉายแสงเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากรูปจะเห็นว่าสีย้อมมีการเปลี่ยนแปลงโดยค่อย ๆ มีเจือจางลงตามระยะเวลาที่มีการฉายแสง



รูปที่ 4.8 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง



รูปที่ 4.9 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 12 ชั่วโมง



รูปที่ 4.10 การสลายดีเอ็นเอโรดามีน บี ที่การบอดมิลต์ 18 ชั่วโมง



รูปที่ 4.11 การสลายดีเอ็นเอโรดามีน บี ที่การบอดมิลต์ 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

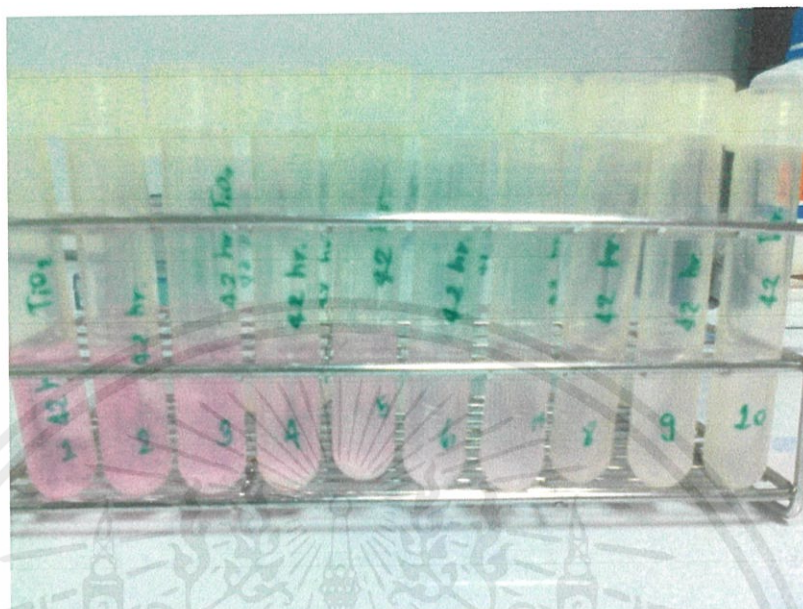


รูปที่ 4.12 การสลายสีข้อมโรดามีน บี ที่การบอดมิลล์ 30 ชั่วโมง



รูปที่ 4.13 การสลายสีข้อมโรดามีน บี ที่การบอดมิลล์ 36 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การสลายสีข้อมโรดามิน บี ที่การบอดมิลล์ 42 ชั่วโมง



รูปที่ 4.15 การสลายสีข้อมโรดามิน บี ที่การบอดมิลล์ 48 ชั่วโมง

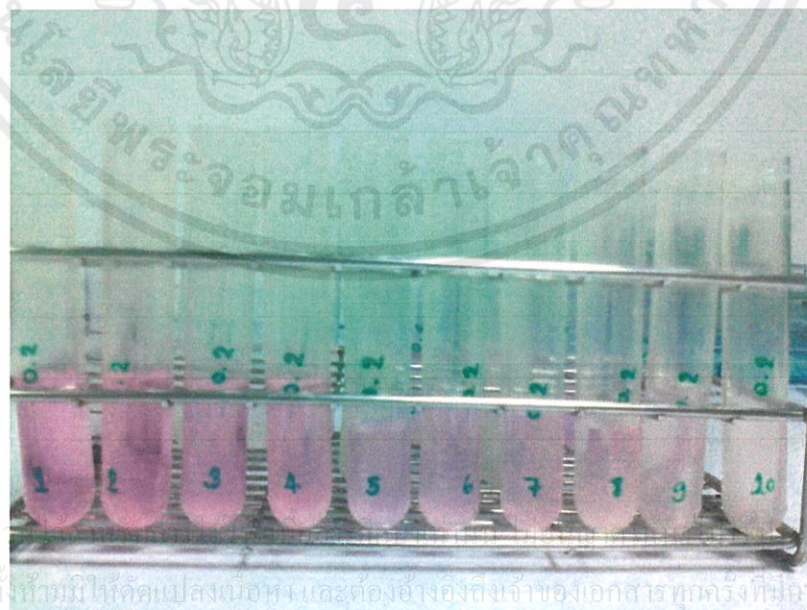
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองการสลายตัวของสีย้อมโรดามีนบี ที่ปริมาณสารไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.200 กรัม

นำไทเทเนียมไดออกไซด์ที่บดมิลล์ ณ เวลา 0 , 12 , 18 , 24 , 30 , 36 , 42 , 48 ชั่วโมง ที่ ปริมาณ 0.200 กรัม ผสมกับสารละลายสีย้อมโรดามีนบี ที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้น 1 mM 0.001 กรัม ผสมกับน้ำ DI 1 ลิตร โดยฉายแสงเป็นเวลา 3 ชั่วโมงจากรูปจะเห็นได้ว่าสีย้อมมีการเปลี่ยนแปลงโดยค่อย ๆ มีเจือจางลงของสีย้อมตามระยะเวลาและปริมาณสารที่เพิ่มขึ้นและลดลง ในขณะที่มีการฉายแสง



รูปที่ 4.16 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂0.200 กรัม



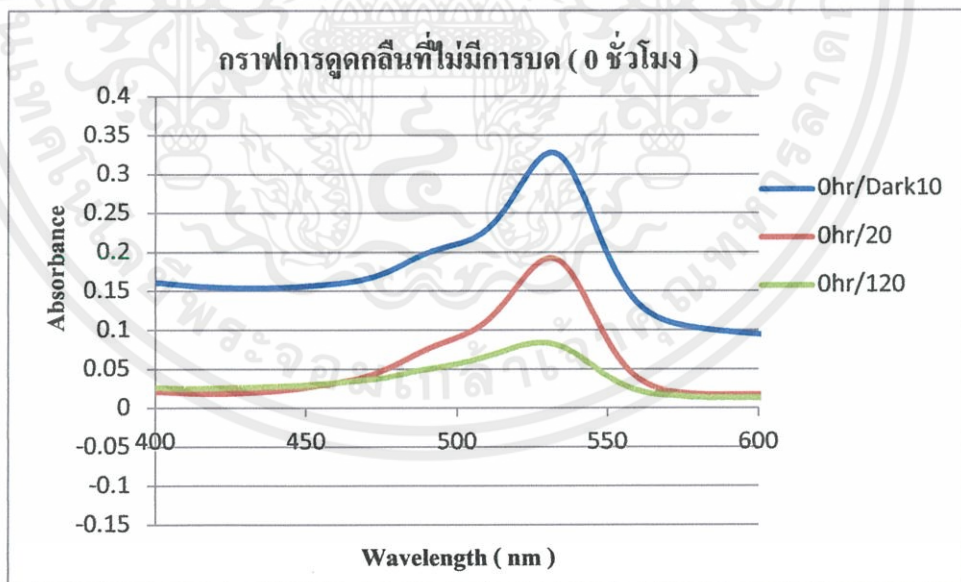
รูปที่ 4.17 การสลายสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂0.200 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย



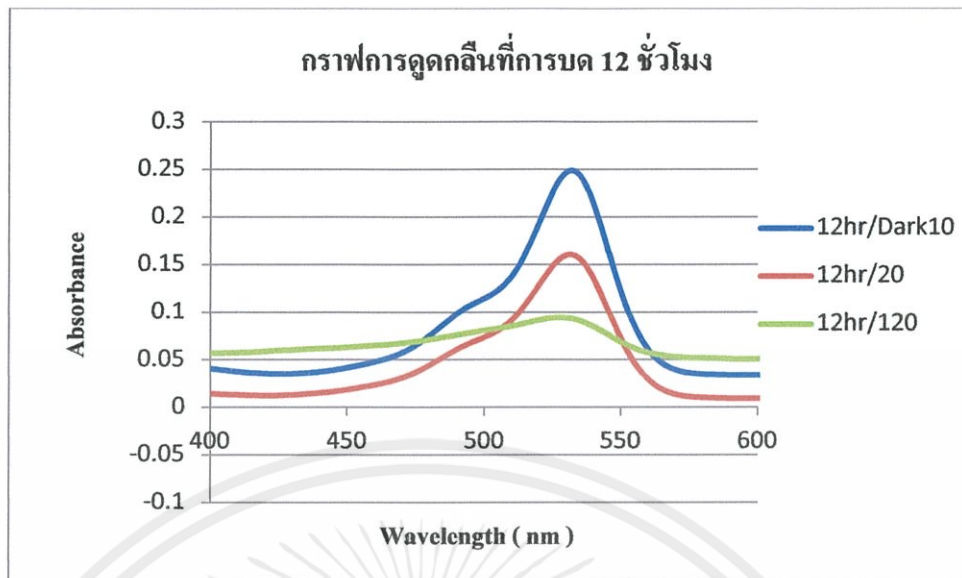
รูปที่ 4.18 การสลายสีของโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง/ปริมาณสาร TiO_2 0.200 กรัม

4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนทางแสงของสี้อมที่ปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ 0.400 กรัม

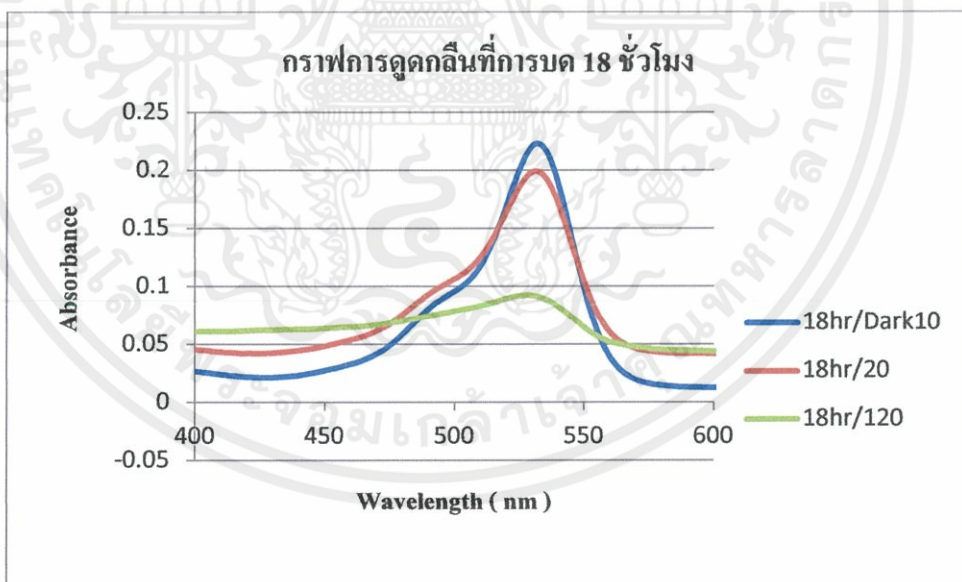


รูปที่ 4.19 กราฟการดูดกลืนของสี้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
 *หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น
 $531+22 = 553$ นาโนเมตร

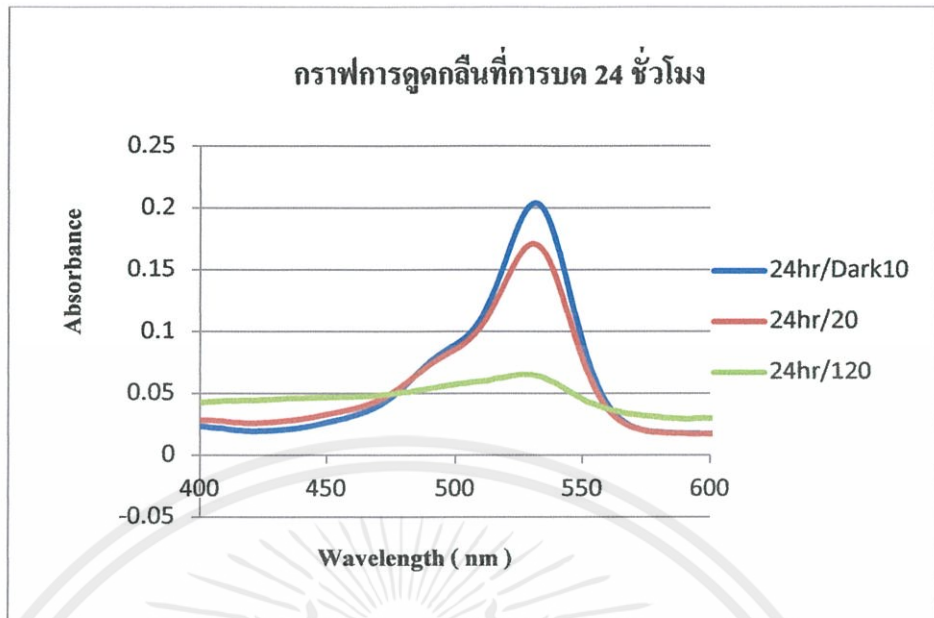


รูปที่ 4.20 กราฟการดูดกลืนของสีข้อมโรคามิน บี ที่การบด 12 ชั่วโมง
*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น
 $531+22 = 553$ นาโนเมตร

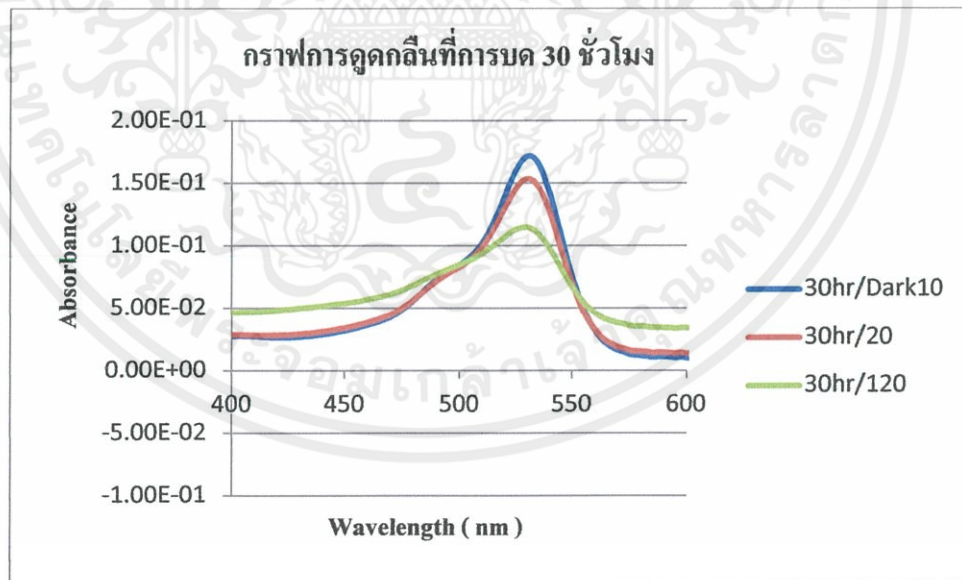


รูปที่ 4.21 กราฟการดูดกลืนของสีข้อมโรคามิน บี ที่การบด 18 ชั่วโมง
*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น
 $531+22 = 553$ นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

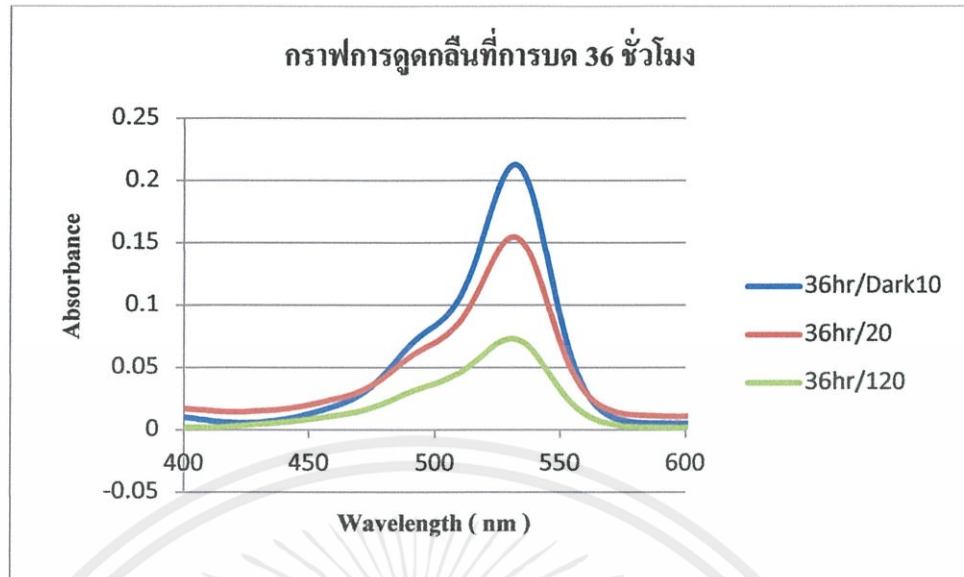


รูปที่ 4.22 กราฟการดูดกลืนของสีข้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง
*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น $531+22 = 553$ นาโนเมตร

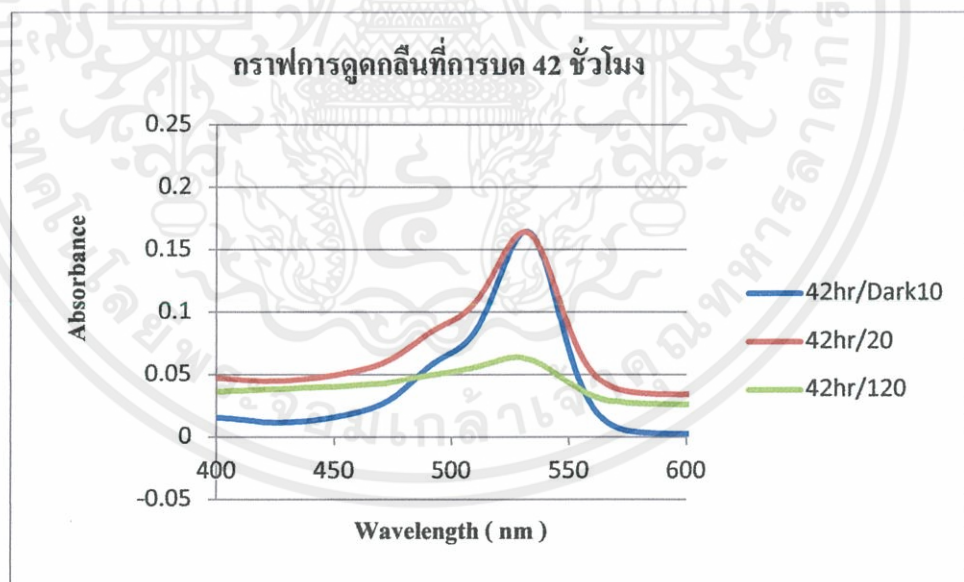


รูปที่ 4.23 กราฟการดูดกลืนของสีข้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 30 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ *หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น $531+22 = 553$ นาโนเมตร

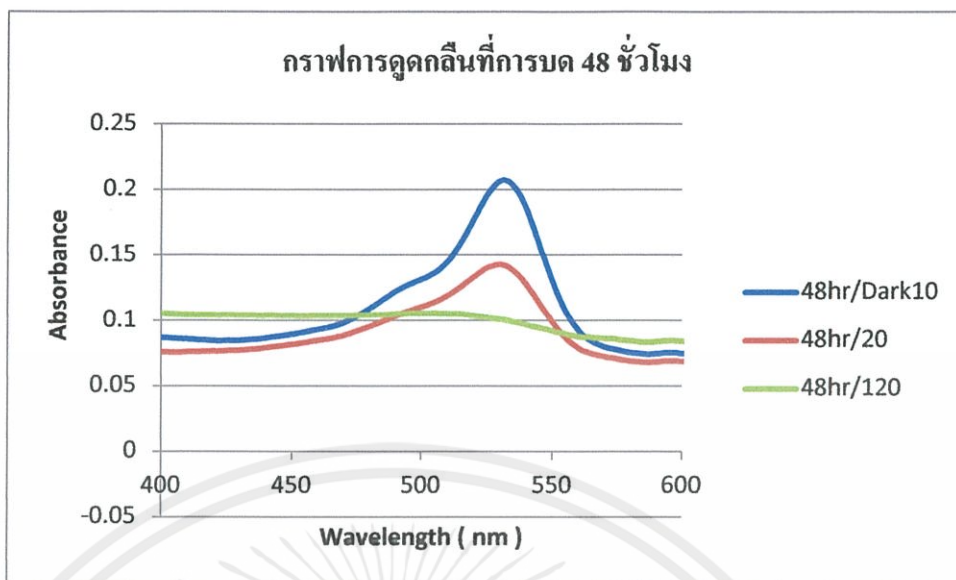


รูปที่ 4.24 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 36 ชั่วโมง
*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น
 $531+22 = 553$ นาโนเมตร



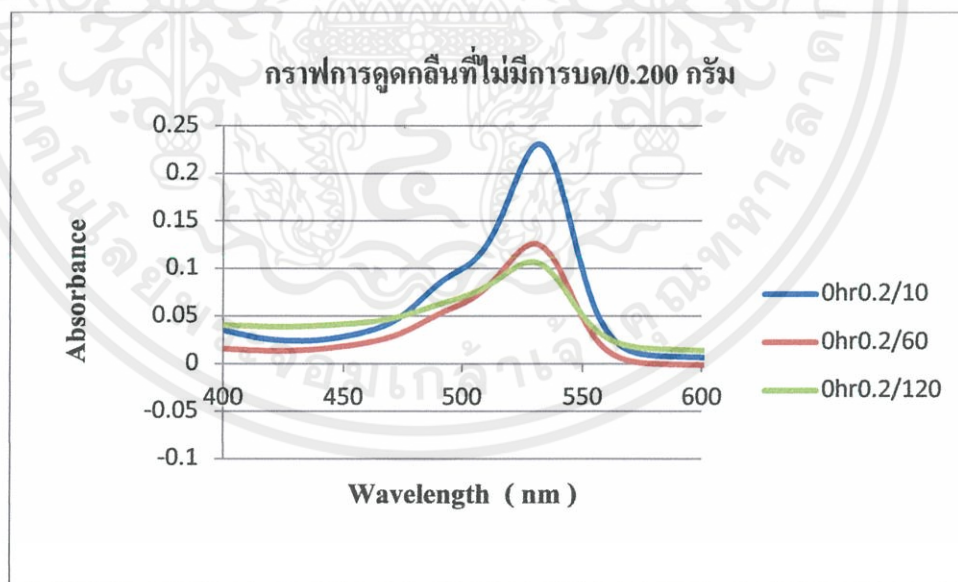
รูปที่ 4.25 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 42 ชั่วโมง
*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น
 $531+22 = 553$ นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

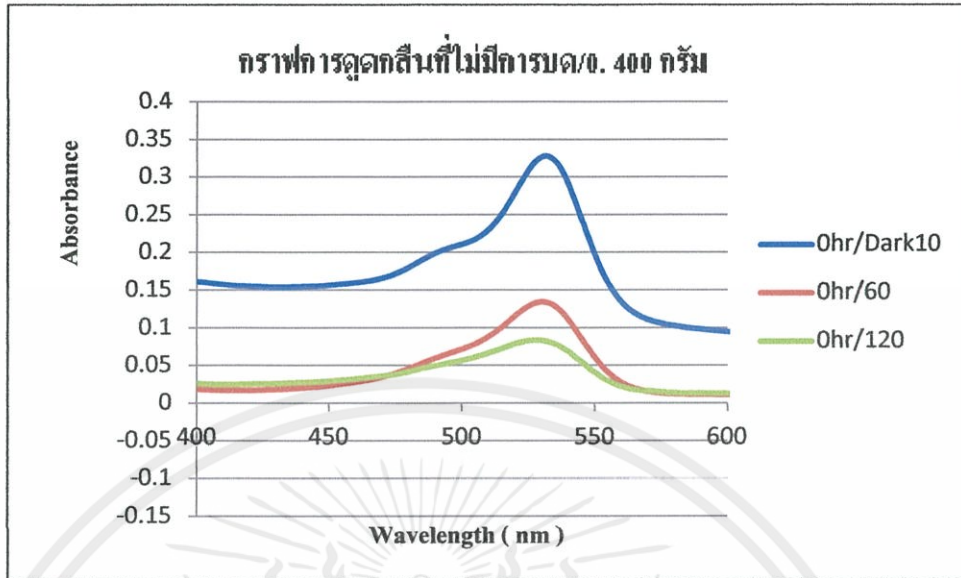


รูปที่ 4.26 กราฟการดูดกลืนของสีย้อม โรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง
*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น
 $531+22 = 553$ นาโนเมตร

4.5 ผลการวิเคราะห์ทางเครื่องมือแสงของการสลายตัวของสีย้อมโรดามีนบี

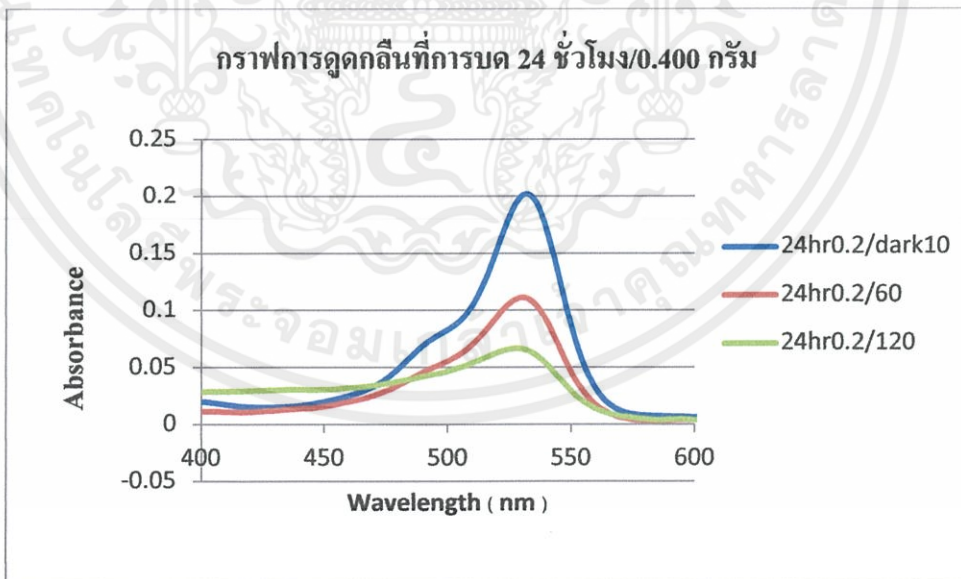


รูปที่ 4.27 กราฟการดูดกลืนของสีย้อม โรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง/ปริมาณสาร TiO_2
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน 0.200 กรัม การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น *หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น
 $531+22 = 553$ นาโนเมตร



รูปที่ 4.28 กราฟการดูดกลืนของสีย้อม โรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂ 0.400 กรัม

*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น
531+22 = 553 นาโนเมตร



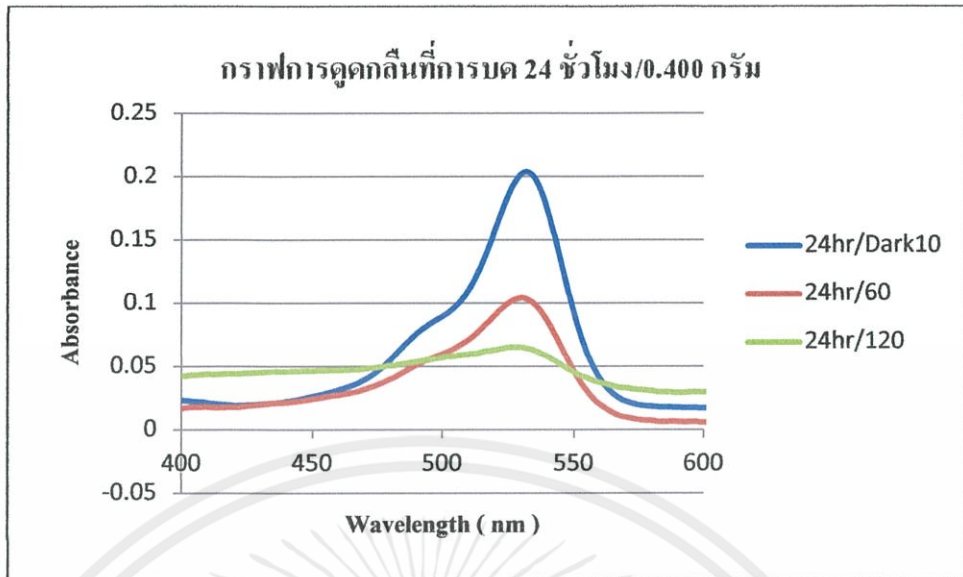
รูปที่ 4.29 กราฟการดูดกลืนของสีย้อม โรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂ 0.200 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

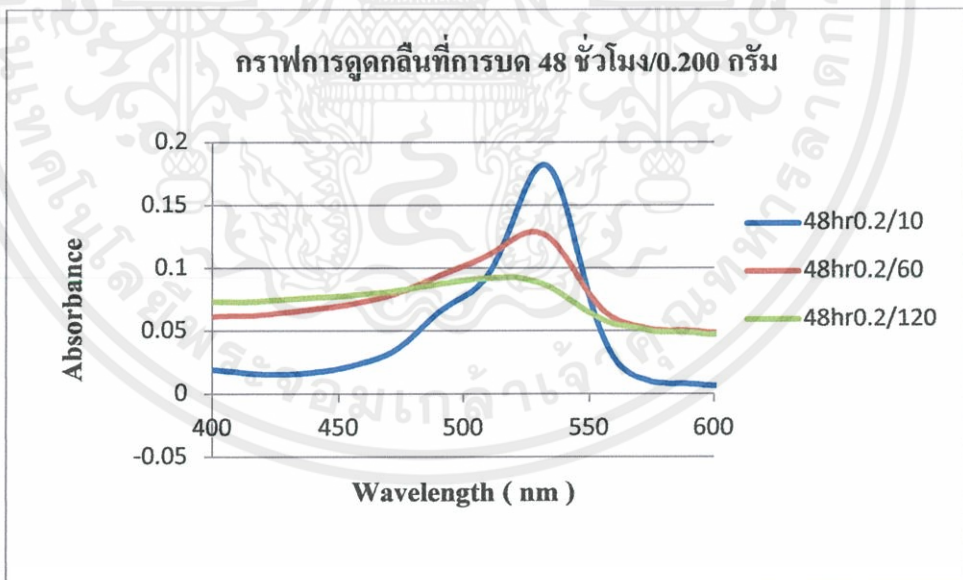
*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น

531+22 = 553 นาโนเมตร



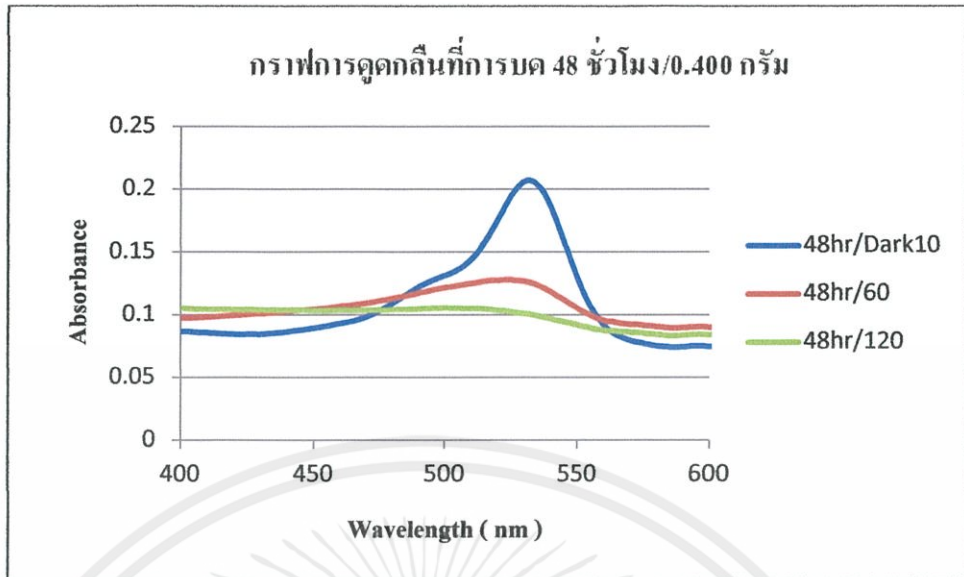
รูปที่ 4.30 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂ 0.400 กรัม

*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น
531+22 = 553 นาโนเมตร



รูปที่ 4.31 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂ 0.200 กรัม

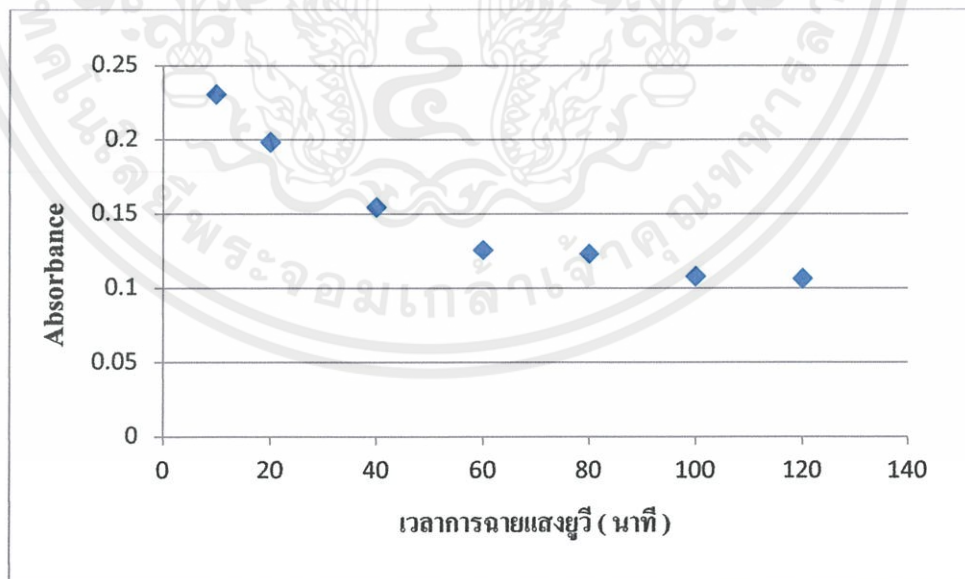
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
531+22 = 553 นาโนเมตร



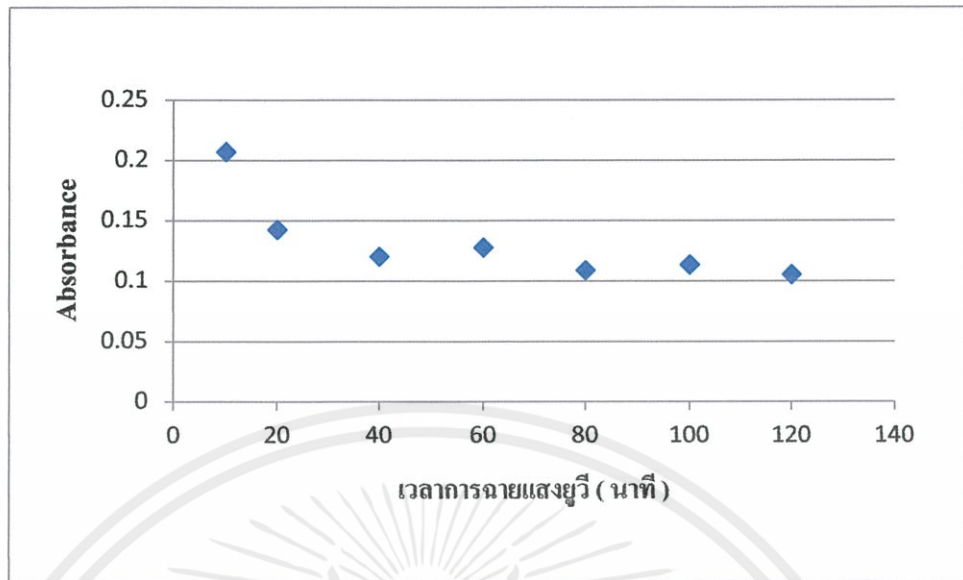
รูปที่ 4.32 กราฟการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบด 48 ชั่วโมง/ปริมาณสาร TiO_2 0.400 กรัม

*หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนมีความคลาดเคลื่อน 22 นาโนเมตร ดังนั้นค่าที่ได้จะเป็น $531+22 = 553$ นาโนเมตร

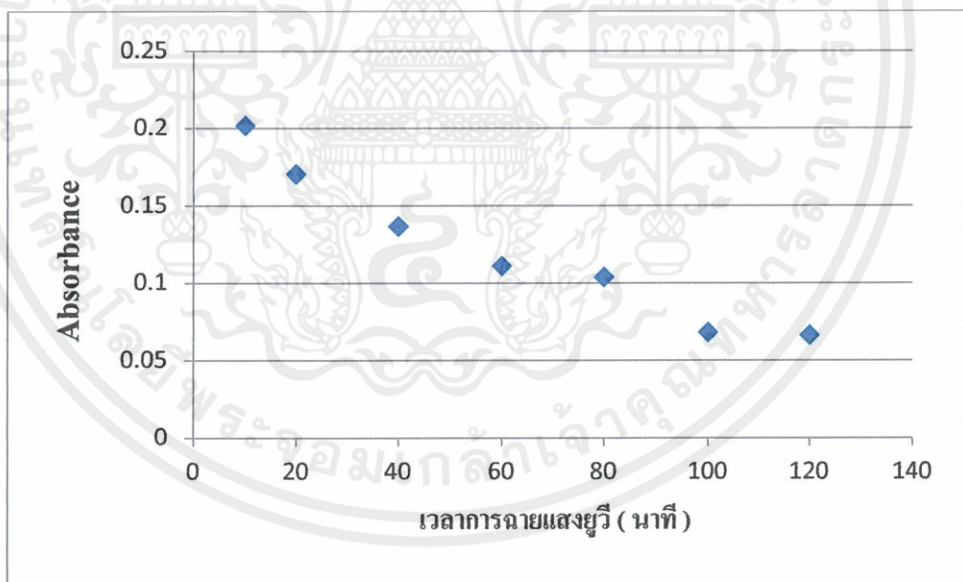
4.6 ผลกราฟการวิเคราะห์ทางเครื่องมือแสงของการสลายตัวของสีย้อมโรดามีนบี



รูปที่ 4.33 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อม โรดามีน บี ที่การบด 0 ชั่วโมง/ปริมาณสาร TiO_2 0.200 กรัม

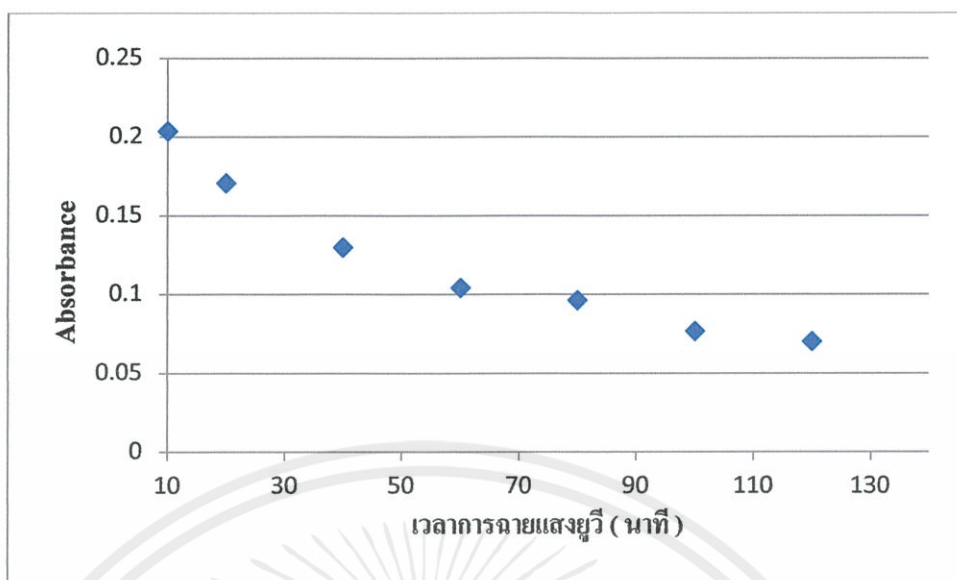


รูปที่ 4.34 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อม โรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 0 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂ 0.400 กรัม

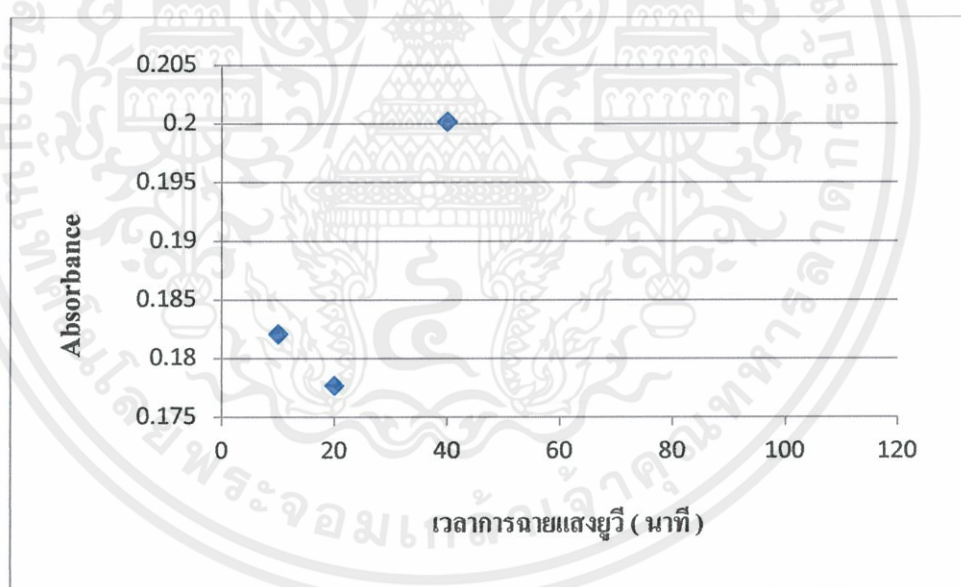


รูปที่ 4.35 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อม โรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 24 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂ 0.200 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

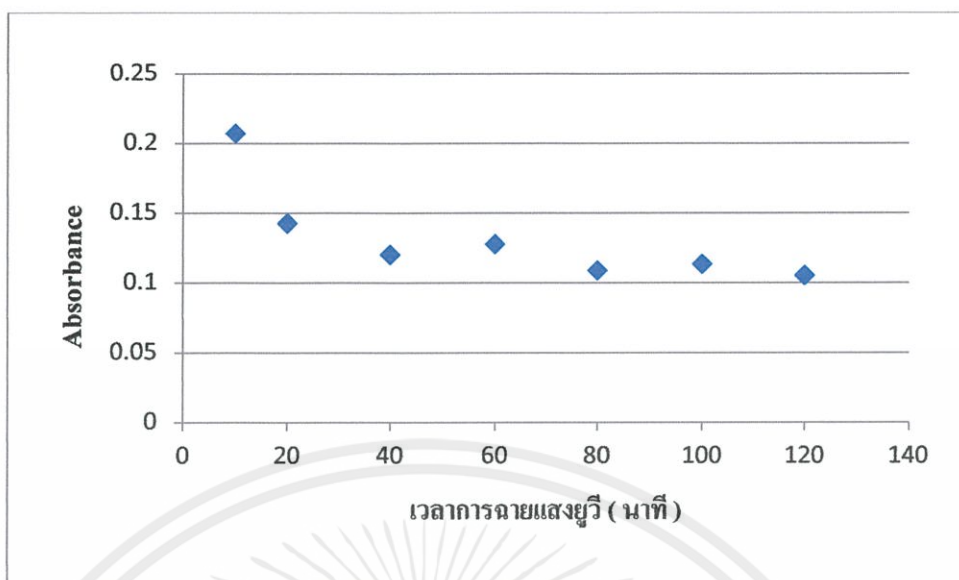


รูปที่ 4.36 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบอสมิลล์ 24 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂ 0.400 กรัม



รูปที่ 4.37 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบอสมิลล์ 48 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂ 0.200 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 กราฟการวิเคราะห์การดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี ที่การบดมิลล์ 48 ชั่วโมง/ปริมาณสารTiO₂ 0.400 กรัม

4.7 การเปรียบเทียบการดูดกลืนของสีย้อมโรดามีน บี

ตารางที่ 4.1 ตารางการเปรียบเทียบการดูดกลืนของสีย้อม โรดามีน บี

การฉายแสง การบด	ปริมาณสาร TiO ₂ 0.200 กรัม		ปริมาณสารTiO ₂ 0.400 กรัม	
	Dark 10 นาที	20 นาที	Dark 10 นาที	20นาที
0 ชั่วโมง	0.23	0.19	0.20	0.14
24 ชั่วโมง	0.20	0.17	0.20	0.17
48 ชั่วโมง	0.18	0.17	0.20	0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยวิธีการบอลลมิลล์ ซึ่งในส่วนแรกได้ทำการลดขนาดอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์โดยใช้เวลาในการบอลลมิลล์ ณ เวลาแตกต่างกัน อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์มีขนาดที่ลดลง จากนั้นนำผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ได้ไปศึกษาการย่อยสลายของสีย้อมโรดามีน บี ภายใต้การฉายแสงยูวีผลปรากฏว่าสีย้อมมีการสลายตัวลงสังเกตได้จากกราฟการดูดกลืนและถ้ามีการเพิ่มปริมาณสารไทเทเนียมไดออกไซด์ยิ่งทำให้สีย้อมย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับเวลาในการบอลลมิลล์สารไทเทเนียมไดออกไซด์อีกด้วย

5.1 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

ในการศึกษาวิจัยเรื่องนี้ควรทดลองที่ระยะการบอลลมิลล์และการฉายแสงยูวี ณ เวลาห่างกันพอสมควร เนื่องจากผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันจนเกินไปส่งผลให้ไม่เห็นข้อแตกต่างที่ชัดเจนส่วนกราฟที่ 4.37 คาดว่าผลการทดลองมีความผิดพลาด เนื่องจากไม่ได้มีการตรวจสอบการทดลองอีกครั้งและเครื่อง UV-Vis Spectrometer มีความคลาดเคลื่อนไป 22 นาโนเมตร (วัดได้น้อยกว่าความเป็นจริง)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการย่อยสลายของสีย้อมโดยการเจือสารจำพวกโลหะและอโลหะ เช่น ไนโตรเจน (N) , แลนทานัม (La) เป็นต้น เพื่อศึกษาโครงสร้างและการย่อยสลายของสีย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1]ปิยฉัตร ศรีทรัพย์พันธ์, วัชรรา คำนึ่ง ขนิษฐา คำวิสัยศักดิ์. 2554. การลดสีย้อมผ้าโดยกระบวนการโฟโตคะตะลิสต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [2]ขนิษฐา หทัยสมิทธิ์. 2554. การประยุกต์ใช้ฟิล์มนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในการลดสีจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
- [3]Bajpai, P. and P. K. Bajpai. 1994. Biological colour removal of pulp and paper mill wastewaters. *Journal of Biotechnology*. 33(3): 211-220
- [4][Online]. Available :ดร. สุเมธภูมิภริตีสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย “ไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะลิสต์ที่เคลือบด้วยอะพาไทต์”
- [5]สิริชัยภินาลจอมมี, การกำจัดสีของน้ำเสียสีย้อมด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิสต์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2543.
- [6]สำนักจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ, กันยายน ๒๕๕๕
- [7]การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, Material Science and Engineering ,ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
- [8]N. M. Mahmoodia, M. Aramia, J. Zhang, Preparation and photocatalytic activity of immobilized composite photocatalyst (titania nanoparticle/activated carbon), *J. of Alloys and Compounds* 509 (2011) 4754–4764.
- [9]C.-H. Chiou, et al., "Influence of operating parameters on photocatalytic degradation of phenol in UV/TiO₂ process," *Chemical Engineering Journal*, vol. 139, pp. 322-329, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้