

การกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศโดยใช้ซิลเวอร์-ไทเทเนียม
ไดออกไซด์ที่เคลือบบนลวดสแตนเลสภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์

REMOVAL OF FORMALDEHYDE IN AIR USING
SILVER-DOPED TiO_2 COATED ON STAINLESS STEEL
WIRE UNDER FLUORESCENT LIGHT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศโดยใช้ซิลเวอร์-ไทเทเนียม
ไดออกไซด์ที่เคลือบบนลวดสแตนเลสภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์

REMOVAL OF FORMALDEHYDE IN AIR USING
SILVER-DOPED TiO₂ COATED ON STAINLESS STEEL
WIRE UNDER FLUORESCENT LIGHT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOVAL OF FORMALDEHYDE IN AIR USING
SILVER-DOPED TiO₂ COATED ON STAINLESS STEEL
WIRE UNDER FLUORESCENT LIGHT



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศโดยใช้ซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนลวดสแตนเลสภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์
REMOVAL OF FORMALDEHYDE IN AIR USING SILVER-DOPED TiO₂ COATED ON STAINLESS STEEL WIRE UNDER FLUORESCENT LIGHT

ชื่อนักศึกษา นายเจษฎากร วิลามาศย์ รหัสนักศึกษา 57050578
นางสาวณัฐริกา บุญชูดำ รหัสนักศึกษา 57050599
นายอรรถกานต์ ใจเฉื่อย รหัสนักศึกษา 57050664

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช ประธานกรรมการ	
ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศโดยใช้ซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบบนลวดสแตนเลสภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์
ชื่อนักศึกษา	นายเจษฎากร วิลามาตย์ รหัสนักศึกษา 57050578 นางสาวณัฐริกา บุญชูดำ รหัสนักศึกษา 57050599 นายอรรถกานต์ ใจเฉื่อย รหัสนักศึกษา 57050664
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Ag/TiO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้หลอดยูวีซี (254 นาโนเมตร) และหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ความเข้มแสง 1,030 ลูเมน) 18 วัตต์ จำนวน 4 หลอดเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยทำการทดลองในตู้ปฏิกรณ์ขนาด $50 \times 45 \times 80$ เซนติเมตร ที่บรรจุคอลัมน์ขนาด $6 \times 6 \times 26.5$ เซนติเมตรที่มีลวดสแตนเลสเคลือบด้วยสารเร่งปฏิกิริยา ศึกษาสัดส่วนของ Ag:TiO_2 ที่เหมาะสมในการกำจัดสีเมทิลีนบลูภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ โดยแปรค่าที่ 0:1, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25 และ 1:30 โดยน้ำหนัก วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร จากนั้น นำค่าสัดส่วน Ag:TiO_2 ที่เหมาะสมที่ได้ไปศึกษาการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ โดยใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ความเข้มข้น 31.53 เปอร์เซ็นต์ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ฟนอากาศที่อัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อนาที ผ่านเข้าไปในคอลัมน์เป็นเวลา 10 นาที ดักจับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือด้วยสารดูดซึม จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร จากผลการทดลองพบว่า การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ag/TiO_2 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลีนบลูดีกว่าการใช้ TiO_2 เพียงอย่างเดียวทั้งภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสีเมทิลีนบลูของ Ag/TiO_2 ภายใต้รังสียูวีซีสูงกว่าภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ สัดส่วนระหว่าง Ag:TiO_2 ที่เหมาะสมในการกำจัดเมทิลีนบลูภายใต้แสงยูวีซีคือ 1:20 โดยน้ำหนัก สามารถกำจัดได้ 44.77 ± 2.52 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนระหว่าง Ag:TiO_2 ที่เหมาะสมในการกำจัดสีเมทิลีนบลูภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์คือ 1:15 โดยน้ำหนัก สามารถกำจัดได้ 33.46 ± 1.73 เปอร์เซ็นต์ จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ พบว่า การใช้แผ่นลวดชุบ TiO_2 ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์สามารถกำจัดได้ 61.03 ± 5.39 และ 27.20 ± 1.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการใช้แผ่นลวดเคลือบ Ag/TiO_2 (1:15) ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์สามารถกำจัดได้ 66.43 ± 3.29 และ 68.33 ± 1.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : ไทเทเนียมไดออกไซด์ ซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ ฟอร์มาลดีไฮด์ รังสียูวีซี
แสงฟลูออเรสเซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Removal of Formaldehyde in Air using Silver-doped TiO ₂ coated on Stainless Steel Wire under Fluorescent Light	
Students	Mr. Jetsadakorn Wilamat	Student ID 57050578
	Miss. Nattarika Bunchudam	Student ID 57050599
	Mr. Attakarn Jaichuey	Student ID 57050664
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2017	
Advisor	Asst.Prof.Dr. Suwannee Junyapoon	
Co-advisor	Dr. Chaval Sriwong	

Abstract

This special project studied a removal of formaldehyde in air using photocatalysis with titanium dioxide (TiO₂) and silver-titanium dioxide (Ag/TiO₂) as catalysts and UVC lamps (254 nm) and fluorescent lamps (1,030 lumen) 4x18 watts as a light source. The experiment was carried out in laboratory scale. A wood box (size 50×45×80 cm) was used as a reactor. An acrylic column (size 6x6×26.5 cm) containing stainless steel wire coated with catalysts was placed in the reactor. The ratio of Ag:TiO₂ by weight was examined for the removal of methylene blue at 0:1, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25 and 1:30. The remained methylene blue was then measured by spectrophotometer at a wavelength 663 nm. The optimum ratio of Ag:TiO₂ was used as catalyst to study the removal efficiency of formaldehyde in air. Formaldehyde (31.53%) was heated at 60°C and purged at 300 ml/min through the column in reactor for 10 minutes. The remained formaldehyde was trapped with absorbent and then measured by spectrophotometer at a wavelength 410 nm. The experimental results showed that photocatalysis with UVC and fluorescent using Ag/TiO₂ as a catalyst could remove methylene blue better than that of passive pure TiO₂. The optimum ratio of Ag/TiO₂ by weight under UVC was 1:20, which could remove methylene blue 44.77±2.52% while that of TiO₂ under fluorescent was 1:15, which could remove methylene blue 33.46±1.73%. The removal efficiency of methylene blue with Ag/TiO₂ under UVC was more effective than that of under fluorescent. The removal efficiencies of formaldehyde in air with TiO₂ under UVC and fluorescent were 61.03±5.39% and 27.20±1.81%, respectively whereas those of Ag/TiO₂ (1:15) under UVC and fluorescent were 66.43±3.29% and 68.33±1.15%, respectively, which are not significant difference.

Keywords: Titanium dioxide, Silver-titanium dioxide, Formaldehyde, UVC, Fluorescent

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้ความช่วยเหลือ เสนอแนะ แก้ไขข้อบกพร่อง ปรับปรุงและเอาใจใส่รายละเอียดของโครงการพิเศษ รวมถึง ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความช่วยเหลือ ทั้งในเรื่องของอุปกรณ์และสารเคมี เสนอแนะ และเอาใจใส่อย่างละเอียด จนโครงการพิเศษฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ปานไพลิน สีหาราช ประธานคณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ และ ดร.กณีนุสคุณธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการสอบโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ คุณศักรินทร์ บุญล้ำ ที่ช่วยแบบจำลองคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลอง และช่วยเหลือในเรื่องของการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบคุณพี่น้องวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้และช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยเอื้ออำนวยอำนวยความสะดวกในทุกๆด้าน

ขอขอบคุณพ่อ แม่ และเพื่อน ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

เจษฎากร วิลามาศย์

ณัฐริกา บุญชุติ

อรรถกานต์ ใจเฉื่อย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 พอร์มัลดีไฮด์.....	4
2.1.1 ประโยชน์ของพอร์มัลดีไฮด์.....	5
2.1.2 อันตรายจากการได้รับสารพอร์มัลดีไฮด์.....	5
2.1.3 การปฐมพยาบาลเบื้องต้นเมื่อได้รับสารพอร์มัลดีไฮด์.....	6
2.1.4 วิธีการกำจัดพอร์มัลดีไฮด์.....	7
2.2 ไทเทเนียมไดออกไซด์.....	7
2.2.1 ชนิดของไทเทเนียมไดออกไซด์.....	8
2.2.2 คุณสมบัติเฉพาะของไทเทเนียมไดออกไซด์.....	9
2.2.3 ประโยชน์ของไทเทเนียมไดออกไซด์.....	9
2.2.4 พิษของไทเทเนียมไดออกไซด์.....	11
2.2.5 หลักการทำงานปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของไทเทเนียมไดออกไซด์ และซิลเวอร์ไทเทเนียมไดออกไซด์.....	11
2.3 แสง.....	14
2.3.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	14
2.3.2 แสงฟลูออเรสเซนซ์.....	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 วัสดุหรืออุปกรณ์.....	20
3.1.1 สารเคมี.....	20
3.1.2 วัสดุหรืออุปกรณ์.....	21
3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	22
3.2.1 วิธีการเตรียมแผ่นลวดสแตนเลสไทเทเนียมไดออกไซด์.....	22
3.2.2 การสร้างตู้ปฏิบัติการโฟโตคะตะไลซิส.....	23
3.2.3 วิเคราะห์ลักษณะของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์.....	25
3.2.4 วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของแผ่นลวดชุบไทเทเนียมไดออกไซด์ และซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ ก่อนและหลังทดลอง.....	25
3.2.5 วิธีการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของซิลเวอร์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ใน การทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส.....	25
3.2.6 วิธีการกำจัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ ด้วยปฏิกิริยา โฟโตคะตะไลซิส.....	25
3.2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	28
4.1 คุณลักษณะของไทเทเนียมไดออกไซด์.....	28
4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของแผ่นลวดชุบตัวเร่งปฏิกิริยา.....	29
4.3 ผลการศึกษาสัดส่วน $Ag:TiO_2$ ที่เหมาะสมในปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดยใช้สารละลายเมทิลีนบลู.....	30
4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ ด้วยปฏิกิริยา โฟโตคะตะไลซิส โดยใช้แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลเวอร์-ไทเทเนียม ไดออกไซด์ ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	34
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	34
5.1.1 สัดส่วน $Ag:TiO_2$ ที่เหมาะสมในการกำจัดเมทิลีนบลูภายใต้แสงยูวีซี และแสงฟลูออเรสเซนต์.....	34
5.1.2 การกำจัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ โดยใช้แผ่นลวดไทเทเนียม และซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์.....	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	35
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก.....	39
ภาคผนวก ก.....	40
ภาคผนวก ก-1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย.....	40
ภาคผนวก ก-2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน.....	41
ภาคผนวก ก-3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารซิลเวอร์ไนเตรท.....	42
ภาคผนวก ก-4 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์เข้มข้น 36.5-38 เปอร์เซ็นต์.....	42
ภาคผนวก ข การคำนวณ.....	43
ภาคผนวก ค.....	46
ภาคผนวก ค-1 ผลการทดลองแผ่นลวดชุบไทเทเนียมไดออกไซด์กับซิลเวอร์- ไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้แสงยูวีซี ในสารละลายเมทิลีนบลู.....	46
ภาคผนวก ค-2 ผลการทดลองแผ่นลวดชุบไทเทเนียมไดออกไซด์กับซิลเวอร์- ไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้แสง ฟลูออเรสเซนต์ ในสารละลายเมทิลีนบลู.....	49
ภาคผนวก ค-3 พารามิเตอร์สำหรับคำนวณค่าความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์.....	52
ภาคผนวก ค-4 ค่าที่ได้จากการทดลองสำหรับคำนวณความเข้มข้น ฟอร์มาลดีไฮด์.....	53
ภาคผนวก ค-5 ผลการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์.....	54
ภาคผนวก ง.....	55
ภาคผนวก ง-1 กราฟมาตรฐานสารละลายเมทิลีนบลู.....	55
ภาคผนวก ง-2 ค่าการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ เข้มข้น 36.5-38 เปอร์เซ็นต์.....	56
ภาคผนวก ง-3 กราฟค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-500 นาโนเมตร ของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์.....	56
ภาคผนวก ง-4 กราฟมาตรฐานสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์.....	57
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	สัดส่วนปริมาณของ TiO_2 กับสารละลายซิลเวอร์ ละลายในเอทานอล 95%.....	23
4.1	ข้อมูลทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์.....	28
ค-1	ผลการทดลองลวดชุบไทเทเนียมและซิลเวอร์ต่อไทเทเนียมในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้แสงยูวีซี ในสารละลายเมทิลีนบลู.....	46
ค-2	ผลการทดลองลวดชุบไทเทเนียมและซิลเวอร์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ในสารละลายเมทิลีนบลู.....	49
ค-3	พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์.....	52
ค-4	ค่าที่ได้จากการทดลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์.....	53
ค-5	ผลการทดลองการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์.....	54
ง-1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลู.....	55
ง-2	ค่าการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์เข้มข้น 36.5-38%.....	56
ง-3	กราฟค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-500 นาโนเมตรของฟอร์มัลดีไฮด์.....	57
ง-4	กราฟมาตรฐานสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์.....	58
จ-1.1	ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $Ag:TiO_2$ ที่ 0:0 ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู.....	59
จ-1.2	ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $Ag:TiO_2$ ที่ 0:1 ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู.....	60
จ-1.3	ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $Ag:TiO_2$ ที่ 1:5 ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู.....	60
จ-1.4	ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $Ag:TiO_2$ ที่ 1:10 ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู.....	61
จ-1.5	ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $Ag:TiO_2$ ที่ 1:15 ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู.....	62
จ-1.6	ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $Ag:TiO_2$ ที่ 1:20 ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู.....	63
จ-1.7	ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $Ag:TiO_2$ ที่ 1:25 ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ-1.8 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 1:30 ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ ในการกำจัดสีเมทิลีนบลู.....	64
จ-1.9 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 1:20 ภายใต้แสงยูวีซี และ 1:15 ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ในการกำจัดสีเมทิลีนบลู.....	65
จ-1.10 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 1:15 และ 1:20 ภายใต้แสงยูวีซี ในการกำจัดสีเมทิลีนบลู.....	66
จ-1.11 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 1:15 และ 1:20 ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ในการกำจัดสีเมทิลีนบลู.....	66
จ-2.1 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตไลซิส ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์.....	67
จ-2.2 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดย TiO_2 ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์.....	68
จ-2.3 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดย Ag/TiO_2 ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์.....	69
จ-3 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ภายใต้แสงยูวีซี ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์.....	69
จ-4 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์.....	70

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂).....	8
2.2	ชนิดของไทเทเนียมไดออกไซด์โดยแบ่งตามโครงสร้างผลึก.....	8
2.3	การเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของไทเทเนียมไดออกไซด์.....	13
2.4	การเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของซิลเวอร์ไทเทเนียมไดออกไซด์.....	13
2.5	ช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวีแต่ละชนิด.....	14
2.6	ส่วนประกอบและหลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์.....	16
3.1	เปรียบเทียบแผ่นลวดที่เคลือบสารเร่งปฏิกิริยา.....	23
3.2	ตู้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส.....	24
3.3	คอลัมน์อะคริลิกบรรจุแผ่นลวดซิลเวอร์ไทเทเนียมไดออกไซด์.....	24
3.4	การต่อระบบเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส.....	27
4.1	โครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD.....	28
4.2	ฐานวิทยานิพนธ์ของไทเทเนียมไดออกไซด์บนแผ่นลวดก่อนและหลังการทำปฏิกิริยา โฟโตคะตะไลซิส กับฟอร์มัลดีไฮด์ในสภาวะก๊าซ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ด้วยเครื่อง XRD ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ก) แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์ก่อนทดลอง (ข) แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์หลังทดลอง (ค) แผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ก่อนทดลอง (ง) แผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์หลังทดลอง.....	29
4.3	สัดส่วน Ag:TiO ₂ ที่เคลือบบนแผ่นลวดสแตนเลสภายใต้แสงยูวีซี และ แสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู.....	31
4.4	การกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ โดยใช้แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์ และ ซิลเวอร์ไทเทเนียม-ไดออกไซด์ ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์.....	33
ง-1	กราฟมาตรฐานสารละลายเมทิลีนบลู.....	55
ง-3	กราฟค่าดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-500 nm ของฟอร์มัลดีไฮด์.....	56
ง-4	กราฟมาตรฐานสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์.....	57

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
UVC	รังสียูวีซี
FLU	แสงฟลูออเรสเซนซ์
TiO ₂	ไทเทเนียมไดออกไซด์
TiO ₂ -Ag	ซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์
nm	นาโนเมตร
PVP	พอลิไวนิลไพโรลิโดน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดโรกระบบทางเดินหายใจ การเสียชีวิตในมนุษย์ และการทำลายสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เช่น พืช สัตว์ หรือสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งสารมลพิษในบรรยากาศมีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ ไฟไหม้ป่า การเผาป่า การหมัก และมนุษย์สร้างขึ้น เช่น โรงงานอุตสาหกรรม การจราจร การเผาขยะมูลฝอย การผลิตพลังงานไฟฟ้า

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ปราศจากสี ไวไฟและมีกลิ่นแรง เป็นสารพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศทั้งในระยะสั้นและระยะยาว เป็นสารที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตสี อุตสาหกรรมการผลิตวัสดุก่อสร้าง อุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือน สารเคลือบเฟอร์นิเจอร์ ไม้อัด ไม้แปรรูป (สถาบันมะเร็งแห่งชาติ, 2554) นอกจากนี้ ฟอร์มาลดีไฮด์ยังอยู่ในรูปของสารละลายเรียกว่า ฟอร์มาลิน โดยส่วนใหญ่จะใช้ในการดองศพเพื่อไม่ให้เน่าเปื่อยและยังมีการลักลอบนำมาแช่ผักและอาหารทะเล เพื่อให้สินค้ามีคุณภาพดูสดและน่ากิน ทำให้กระทรวงสาธารณสุขประกาศให้สารชนิดนี้ เป็นสารอันตรายต่อผู้บริโภคและสั่งห้ามใช้ในอาหาร (จุฑารัตน์, 2555) หากมีการหายใจเอาฟอร์มาลดีไฮด์เข้าสู่ร่างกายในระยะยาวอาจมีผลต่อการเกิดมะเร็งโพรงจมูกได้ ซึ่งองค์การนาชาติเพื่อการวิจัยมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer/ IARC) จัดให้สารนี้อยู่ในระดับ 1 ของการเป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็ง การเข้าสู่ร่างกายของฟอร์มาลดีไฮด์สามารถได้รับทางหายใจ ทางการรับประทาน สัมผัสทางผิวหนัง โดยความรุนแรงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการได้รับ ระยะเวลาในการสัมผัสหรือสูดดม และสภาพร่างกายของบุคคล (บังอร, 2558) โดยถ้าร่างกายได้รับปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 2-3 ppm อาจทำให้เกิดการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ และหากได้รับในปริมาณความเข้มข้นที่มากกว่า 100 ppm อาจทำให้เกิดอาการชัก เป็นลม หหมดสติและเสียชีวิตได้ (สถาบันมะเร็งแห่งชาติ, 2554) ดังนั้นในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศให้มีความเข้มข้นที่น้อยลง จะช่วยส่งผลให้สุขภาพของมนุษย์ดีขึ้น และยังช่วยลดสาเหตุของการเกิดโรค ซึ่งวิธีการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์มีได้หลายวิธี เช่น การดักจับด้วยไอน้ำ (wet scrubber) และการเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยวิธีโฟโตคะตะไลซิสเป็นวิธีกำจัดอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความสะดวก เนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์จะถูกสลายกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ อย่างไรก็ตาม รัังสียูวีซีที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยานั้นก่อให้เกิดอันตรายโดยอาจทำให้เกิดกระจกตาอักเสบ รู้สึกแสบตา มะเร็งผิวหนัง ทำลายเซลล์เม็ดเลือดขาวและทำลายระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย ดังนั้น การใช้แสงฟลูออเรสเซนต์ซึ่งมีอันตรายน้อยกว่ามาแทนรัังสียูวีซีในปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส จึงได้เริ่มมีผู้สนใจศึกษา แต่ยังมีผู้ศึกษาการกำจัดมลพิษทางอากาศ

เอกสารด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ไม่มากนัก อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษนี้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Ag/TiO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยศึกษาสัดส่วนของ Ag ต่อ TiO_2 ที่เหมาะสมในการกำจัดสีเมทิลินบลู จากนั้น นำค่าสัดส่วน Ag ต่อ TiO_2 ที่เหมาะสมที่ได้ไปศึกษาการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ โดยใช้แสงฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescent/ TiO_2 -Ag) โดยเปรียบเทียบกับกำจัดด้วยวิธี UV/ TiO_2 , UV/ TiO_2 -Ag และ Fluorescent/ TiO_2

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาสัดส่วนของซิลเวอร์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม ในการกำจัดเมทิลินบลู ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศด้วยวิธีโฟโตคะตะไลซิสโดยใช้แผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

- 1) ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ ($\text{Ag}:\text{TiO}_2$) ที่เคลือบบนแผ่นลวดสแตนเลสในการกำจัดเมทิลินบลู ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ โดยแปรค่า $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 0:1, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25 และ 1:30 โดยน้ำหนัก วัดประสิทธิภาพการกำจัดเมทิลินบลู โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร
- 2) สร้างคอลัมน์ขนาด $6 \times 6 \times 26.5$ เซนติเมตร ใส่แผ่นลวดสแตนเลสที่เคลือบด้วยสารเร่งปฏิกิริยา จำนวน 5 แผ่น ไว้ในตู้ปฏิกรณ์ ขนาด $50 \times 45 \times 80$ เซนติเมตร ที่มีหลอดยูวีซี (254 nm) 18 วัตต์ จำนวน 4 หลอด หรือหลอดฟลูออเรสเซนซ์ (1,030 lumen) 18 วัตต์ จำนวน 4 หลอด อยู่ภายใน
- 3) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ โดยใช้ตู้ปฏิกรณ์ที่สร้างบรรจุแผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescent/ TiO_2 -Ag) โดยให้ความร้อนแก่สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ฟนอากาศไหลที่อัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ดักจับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือ ด้วยสารดูดซึม แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับการกำจัดด้วยวิธี UV/ TiO_2 , UV/ TiO_2 -Ag และ Fluorescent/ TiO_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีการบำบัดมลพิษทางอากาศที่สะดวกและมีอันตรายลดลง โดยใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส
- 2) สามารถนำแผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดมลพิษทางอากาศอื่นๆ
- 3) ลดปัญหามลพิษทางอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอร์มาลดีไฮด์ (จุฬารัตน์, 2555)

สารพอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นสารที่เกิดโดยธรรมชาติ มีความสำคัญต่อกระบวนการเกี่ยวกับการสันดาปอาหารของพืชและสัตว์ และยังสามารถพบได้ในธรรมชาติที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ท่อไอเสียรถยนต์ การเผาหญ้า การเผาไม้ เตาม้อตัมอุตสาหกรรมและจากควันทูหรือเป็นต้น สารนี้จัดเป็นสารกลุ่มอัลดีไฮด์ชนิดหนึ่ง ปกติอยู่ในรูปก๊าซ เป็นสารเคมีที่ระเหย พอร์มาลดีไฮด์ในสภาพของเหลวมีชื่อว่า “ฟอร์มาลีน (Formalin)” เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 30.03 กรัมต่อโมล มีสูตรเคมี คือ CH_2O ลักษณะโดยทั่วไปเป็นสารที่ใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน จัดเป็นสารรีดิวซ์ที่รุนแรง (ธนพงศ์, 2560) โดยจะมีการออกซิไดซ์อย่างช้าๆ กลายเป็นกรดฟอร์มิก (Formic acid) ทั้งก๊าซพอร์มาลดีไฮด์และฟอร์มาลีน มีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ประมาณ 2.8-4.0 (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) (ก๊าซพอร์มาลดีไฮด์มีจุดเดือดที่ -19.1 องศาเซลเซียส (ที่ความดันบรรยากาศ) ส่วนฟอร์มาลีนมีจุดเดือดที่ 96 องศาเซลเซียส (ที่ความดันบรรยากาศ) พอร์มาลีนมีจุดหลอมเหลวที่ -92 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นพิษเนื่องจากมีลักษณะกัดกร่อน และเนื่องจากพอร์มาลดีไฮด์มีลักษณะเป็นก๊าซจึงมีการระเหยได้ง่ายกลายเป็นก๊าซพอร์มิกอัลดีไฮด์ (Gas formic aldehyde) ที่มีสูตรโมเลกุลคือ CH_2O_2 เมื่อเผาไหม้จะสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน จากการที่พอร์มาลดีไฮด์มักมีลักษณะเป็นก๊าซ ดังนั้น ในการนำพอร์มาลดีไฮด์ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ต้องทำให้กลายเป็น ฟอร์มาลีน ซึ่งมีความเข้มข้นของพอร์มาลดีไฮด์ประมาณ 37-55% โดยน้ำหนัก ถ้าความเข้มข้นของฟอร์มาลีนปริมาณ 10% จะมีพอร์มาลดีไฮด์ในปริมาณ 4% สารพอร์มาลดีไฮด์จะละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ ไม่สามารถละลายในสารบางชนิด เช่น ไอโอดีน ต่างทับทิม และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามสารพอร์มาลีนไม่เสถียรหรือไม่คงตัว เนื่องจากจะเกิดการออกซิไดซ์กลายเป็นกรดฟอร์มิกโดยเฉพาะในสภาวะที่อุณหภูมิสูง ซึ่งกรดพอร์มิกมีความเป็นพิษสูง ทำให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต ดังนั้นจึงนิยมเติมสารที่รักษาความเสถียรหรือคงสภาพของสารพอร์มาลีนไว้ ได้แก่ เมทานอล ในความเข้มข้นประมาณ 5-15% จะทำให้สารพอร์มาลีนอยู่ในรูปของพาราพอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งค่อนข้างมีความเสถียรหรือคงตัว เหมาะแก่การนำไปใช้ในด้านต่างๆ อย่างไรก็ตาม เมื่อพาราพอร์มาลดีไฮด์อยู่ในภาวะอุณหภูมิประมาณ 4.4 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนรูปไปเป็นพอลิเมอร์พาราพอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนและเป็นพิษต่อร่างกาย เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะสัตว์น้ำได้ กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงจัดให้สารนี้เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 2 ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 โดยการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือมีไว้ครอบครองต้องแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อนและต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ ซึ่งการผลิตหรือการนำเข้าต้องขึ้นทะเบียนวัตถุอันตราย (จุฬารัตน์, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ การนำข้อมูลไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ประโยชน์ของฟอร์มาลดีไฮด์ (บังอร, 2558)

- 1) ด้านการแพทย์ นำไปใช้ในการเก็บรักษาศพ เก็บรักษาตัวอย่างเนื้อเยื่อทางกายวิภาค เพื่อการนำไปวิเคราะห์และการวินิจฉัย ฆ่าเชื้อโรคในเครื่องมือต่างๆ
- 2) ด้านอุตสาหกรรม นำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ พลาสติกโพลีอะซีทัลและเคมีภัณฑ์อื่นๆ นอกจากนี้ มีการนำไปเป็นสารฆ่าเชื้อ สารกันเสีย ยาฆ่าแมลง ตัวลอคออกซิเจนในปฏิกิริยาอีกด้วย และยังมีนำไปใช้ในกระบวนการผลิตวัสดุต่างๆ หลายชนิด เนื่องจากมีคุณสมบัติทำให้ผ้าและกระดาษแข็งเกาะกันเป็นอย่างดี จึงนำมาเป็นส่วนผสมในการทำพาดิเกลบอร์ด สารเคลือบ ไม้อัด และเฟอร์นิเจอร์ ใยเลี้ยง ใยตัด ทรายทำแบบ หล่อโลหะ และฉนวนกันความร้อน เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเม็ดพลาสติกชนิดต่างๆ ใช้เป็นกาวสำหรับเฟอร์นิเจอร์ไม้ ใช้ในวัสดุก่อสร้าง ใช้ทำโฟม ใช้ในการผลิตเรซิน การสังเคราะห์สีต่างๆ เช่น สีคราม สีแดง สีอะคริลิกใช้ในการย้อมเพื่อปรับปรุงให้สีและสีย้อมติดแน่น ใช้ในการฟอกสีงานด้านการพิมพ์ การฟอกหนัง ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษเพื่อให้กระดาษลื่นและกันน้ำได้ ใช้ผสมในสีทาบ้าน วอลเปเปอร์พลาสติก กาว ฝ้ายสังเคราะห์ น้ำยาเคลือบเงา ไม้ พรหมสังเคราะห์ น้ำยาเคลือบเงาไม้ น้ำยาทำความสะอาด และกระดาษทิชชู เป็นต้น กรมโรงงานอุตสาหกรรมรายงานปริมาณการใช้ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์มากที่สุดถึงร้อยละ 70 ของปริมาณการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งหมด
- 3) ด้านความงาม ใช้ในการผลิตเครื่องสำอางเพื่อไม่ให้เหี่ยวออก ผสมในยาทาเล็บ ยาสีฟัน ยา บ้วนปาก สบู่ครีมโกนหนวด น้ำยาดับกลิ่นตัว และการผลิตแชมพูของสัตว์เลี้ยง เป็นต้น
- 4) ด้านการเกษตร ใช้ในการผลิตสารที่ทำลายหรือป้องกันจุลินทรีย์ที่ทำให้ต้นไม้เป็นโรค ฆ่าเชื้อราในดินป้องกันผลผลิตทางการเกษตรจากความเสียหายระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษา ทำความสะอาด
- 5) ด้านอื่นๆ ใช้ในการถ่ายภาพ และวัสดุเพื่อการขนส่ง เป็นต้น

2.1.2 อันตรายจากการได้รับสารฟอร์มาลดีไฮด์/ฟอร์มาลีน (บังอร, 2558)

การได้รับฟอร์มาลดีไฮด์จากการสัมผัสหรือการอยู่ในบรรยากาศที่มีไอของสาร จะทำให้เกิดอันตรายในระบบต่างๆของร่างกายได้แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการได้รับ ระยะเวลาในการสัมผัสหรือสูดดม และสภาพร่างกายของบุคคลในขณะนั้นอีกด้วย การสัมผัสสารนี้ไม่ว่าจะเป็น การหายใจ การกิน และการดูดซึมเข้าทางผิวหนังในร่างกายจะทำให้เกิดขบวนการเมแทบอลิซึมอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าครึ่งชีวิตในร่างกาย ประมาณ 1.5 นาทีก็ตาม โดยสารจะถูกขับออกจากร่างกาย ถึงแม้สารจะถูกขับออกไปอย่างรวดเร็วก็ยังมีบางส่วนยังคงสะสมในร่างกาย โดยเปลี่ยนเป็นกรดฟอร์มิก ซึ่งทำให้เกิดเป็นพิษต่อร่างกาย โดยการทำลายเซลล์หรือเนื้อเยื่อของร่างกาย ทำให้เกิดพยาธิสภาพต่างๆ ขึ้นได้ เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งแบบเฉียบพลัน (acute) และแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื้อรัง ซึ่งองค์การนานาชาติเพื่อการวิจัยมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer) จัดให้สารนี้อยู่ในระดับ 1 (Class 1) ของการเป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็ง ผลกระทบฟอร์มาลดีไฮด์ มีดังนี้

1) อันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ในกรณีที่มีการสูดดมฟอร์มาลดีไฮด์นี้ในปริมาณสูงและเป็นระยะเวลาสั้นจะทำให้เกิดระคายเคือง โดยเฉพาะการอักเสบในระบบทางเดินหายใจ ตั้งแต่เนื้อเยื่อในโพรงจมูกหลอดลม ท่อลมและถุงลมในปอดขึ้นได้ ในบางรายที่กรณีรุนแรงจะทำให้เกิดน้ำท่วมปอด (pneumonia) หายใจลำบาก แน่นหน้าอก จนถึงขั้นเสียชีวิตได้ หากได้รับในปริมาณมากจะระคายเคืองอย่างรุนแรงทำให้เกิดปอดอักเสบและหอบหืดได้ อย่างไรก็ตาม การได้รับสารในปริมาณน้อยๆอย่างสม่ำเสมอ อาจจะไม่เกิดอาการ มีเพียงการเจ็บคอ ไอ จนถึงการอักเสบของหลอดลมเท่านั้น ทั้งนี้มีรายงานว่าถ้าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ร่างกายได้รับสูงเกิน 0.1 ppm จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา จมูก และทางเดินหายใจ แต่ถ้าได้รับสูงเกิน 100 ppm อาจทำให้หมดสติและถึงกับเสียชีวิตได้

2) อันตรายต่อระบบทางเดินอาหาร ผลกระทบจากการได้รับฟอร์มาลีนเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ มีการรวบรวมผลการศึกษาจากงานวิจัยต่างๆ พบว่าการได้รับสารฟอร์มาลดีไฮด์หรือฟอร์มาลีนเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร เช่น การรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อนสารโดยเฉพาะการรับประทานในปริมาณสูง จะทำให้เกิดผลกระทบอย่างรุนแรงในระบบทางเดินอาหาร เช่น การปวดท้องอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องเดิน หมดสติ เกิดแผลในกระเพาะอาหาร และทำให้เสียชีวิตได้ นอกจากนี้การรับประทานในปริมาณน้อยๆ จะทำให้เกิดพิษต่อตับ ไต หัวใจ และระบบประสาท

3) อันตรายทางผิวหนัง จะทำให้เกิดการระคายเคือง ปวดแสบปวดร้อน เกิดผื่นแดง จนถึงผิวหนังไหม้ได้

4) อันตรายต่ออวัยวะอื่นๆ จากการได้รับฟอร์มาลดีไฮด์อย่างสม่ำเสมอ จะเกิดพิษต่อระบบประสาท พิษต่อเลือด พิษทางพันธุกรรม พิษต่อระบบสืบพันธุ์และการเกิดมะเร็งในปอดและโพรงจมูก เป็นต้น

2.1.3 การปฐมพยาบาลเบื้องต้นเมื่อได้รับสารฟอร์มาลดีไฮด์ (จุฑารัตน์, 2555)

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ให้คำแนะนำในการปฐมพยาบาลเบื้องต้น ไว้ดังนี้

1) การรับประทาน การได้รับฟอร์มาลดีไฮด์จากการรับประทานเข้าไป ห้ามทำให้อาเจียน แต่ควรให้ดื่มน้ำมากๆและนำส่งแพทย์ทันที

2) การสัมผัสถูกผิวหนัง ให้รีบถอดเสื้อผ้าออก ล้างบริเวณที่สัมผัสสารด้วยน้ำและสบู่และนำส่งแพทย์ทันที

3) การสัมผัสถูกดวงตา ให้รีบล้างตาด้วยน้ำที่ไหลผ่านอย่างน้อย 15 นาที โดยเปิดเปลือกตาล้างและบน หากยังระคายเคืองให้รีบส่งแพทย์ทันที

4) การหายใจเข้าไป ให้รีบเคลื่อนย้ายออกจากบริเวณที่ได้รับสาร ถ้าหายใจลำบากให้ใช้

เอกสารเครื่องช่วยหายใจและนำส่งแพทย์ทันทีเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 วิธีการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

การจัดการของเสียจากฟอร์มาลีนต้องดำเนินการอย่างถูกต้อง เป็นไปตามหลักการและที่กฎหมายกำหนด โดยของเสียจากฟอร์มาลีนมาจากการผลิต การจัดเก็บ การขนย้าย การขนถ่าย และการขนส่ง จึงจำเป็นต้องจัดการอย่างเหมาะสม

1) การกำจัดของเสียที่เป็นก๊าซจากการผลิต ไอของสารจากถังเก็บถูกดักจับด้วยระบบไอที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางจับไอ (Wet scrubber) ทำให้เกิดน้ำที่ปนเปื้อน ซึ่งต้องนำเข้าบำบัด หากมีฟอร์มาลีนปนเปื้อนสูง อาจนำมากลั่นแยกและกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่หากมีน้อยสามารถนำไปบำบัดได้ต่อไป

2) การกำจัดของเสียที่เป็นของเหลวจากกระบวนการผลิต ของเสียฟอร์มาลีนที่มีพาราฟอร์มาลดีไฮด์หรือสารเคมีอื่นผสมอยู่มาก อันเนื่องมาจากการผลิตและไม่สามารถนำไปใช้ได้ หากมีอุปกรณ์ในการกำจัด เช่น เตาเผาสามารถกำจัดโดยการผสมกับตัวทำละลายที่ไวไฟ และฉีดสารละลายเป็นฝอยเข้าไปในเตาเผาอากาศของเสียอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม และไม่ควรกำจัดฟอร์มาลีนความเข้มข้นสูงด้วยสารออกซิไดซ์ เพราะอาจเกิดปฏิกิริยารุนแรง ต้องทำให้เจือจางมาก ๆ ก่อน และต้องทำด้วยความระมัดระวัง หากไม่มีอุปกรณ์กำจัดใดๆ ให้ส่งผู้กำจัดที่ได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม

3) การกำจัดของเสียที่เป็นของแข็งจากกระบวนการผลิต ควรกำจัดพาราฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยการเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง (ประมาณ 800 องศาเซลเซียส) ไม่ควรฝังกลบ เพราะสลายตัวได้ยาก และมีโอกาสปนเปื้อนน้ำใต้ดิน หากสถานที่และวิธีการฝังกลบไม่ได้มาตรฐาน

2.2 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (เคมีอุตสาหกรรม, 2560)

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide: TiO_2) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไทเทเนียม ลักษณะโดยทั่วไปไม่มีสีขาว ทึบแสง ไม่มีกลิ่นและมีความสามารถในการดูดซับ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่อิลเมนไนต์ (ilmenite) หรือลิโวซีน (leucocene) โดยทำให้บริสุทธิ์ได้โดยวิธี rutile beach sand ถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1791 ในเหมืองแร่ที่คอร์นวอลล์ ประเทศอังกฤษ โดยนักธรณีวิทยาชื่อ William Gregor ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ และราคาถูก มีชื่อทางการค้า คือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) ไททานิกแอนไฮไดรด์ (Titanic anhydride) และไททานีย (Titania)

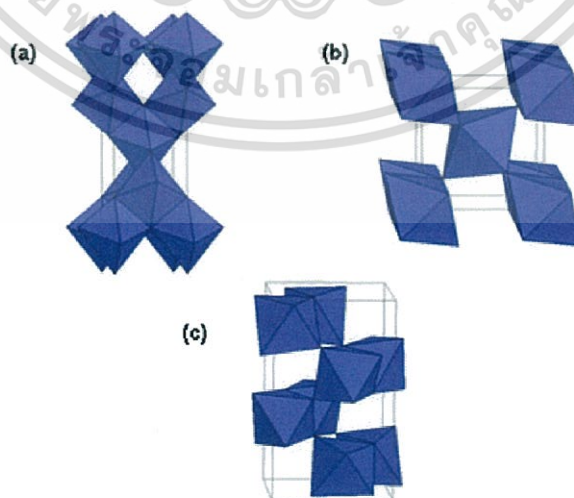


รูปที่ 2.1 ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) (เคมีอุตสาหกรรม, 2560)

2.2.1 ชนิดของไทเทเนียมไดออกไซด์ (เคมีอุตสาหกรรม, 2560)

แบ่งตามโครงสร้างของผลึก เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- 1) รูไทล์ (rutile) มีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนัล (tetragonal crystal system) เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในธรรมชาติ มีความคงทน และเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิที่สูง
- 2) อนาเทส (anatase) มีโครงสร้างผลึกแบบเทตระโกนัล (tetragonal crystal system) เป็นชนิดที่พบในธรรมชาติปานกลาง หากให้ความร้อนสูงกว่า 915 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์
- 3) บรูคไคท์ (brookite) มีโครงสร้างผลึกแบบออร์โธโรมบิก (orthorhombic crystal system) เป็นชนิดที่พบน้อยในธรรมชาติ มีความเสถียรต่ออุณหภูมิต่ำ หากได้รับความร้อนมากกว่า 750 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบรูไทล์



รูปที่ 2.2 ชนิดของไทเทเนียมไดออกไซด์โดยแบ่งตามโครงสร้างผลึก

(a) อนาเทส (b) รูไทล์ (c) บรูคไคท์ (ชदानุช, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คุณสมบัติเฉพาะของไทเทเนียมไดออกไซด์

- 1) มวลโมเลกุล 79.9 กรัมต่อโมล
- 2) ความหนาแน่น 3.84-4.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- 3) จุดเดือด 2,500 องศาเซลเซียส
- 4) จุดหลอมเหลว 1,850 องศาเซลเซียส
- 5) ไม่ละลายน้ำ

6) มีความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมี ที่ผิวของอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดอนาเทส เมื่ออยู่ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือภายใต้แสงอาทิตย์ (Photocatalysis)

2.2.3 ประโยชน์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ (เคมีอุตสาหกรรม, 2560)

ปัจจุบันไทเทเนียมไดออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์มาก มักใช้ในรูปแบบของผลึกแบบรูไทล์ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมในด้านต่างๆซึ่งพบมากในธรรมชาติ ส่วนชนิดอนาเทสนิยมใช้ในกระบวนการใช้แสงชั้นสูง การนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวข้องกับด้านต่างๆ ได้แก่

1) ใช้สำหรับสารให้สี อุตสาหกรรมสีที่เกี่ยวข้องมักใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนผสมของสีทาบ้าน ด้วยคุณสมบัติให้สีขาว สามารถดูดกลืนและหักเหช่วงแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้สูง ขนาดอนุภาคเล็ก มีความยืดหยุ่นสูงทำให้ปกปิดรอยร้าว รอยตำหนิได้ดีและทนต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง ทนต่อแสงและความร้อน รวมถึงใช้เป็นส่วนผสมของสีสำหรับงานพิมพ์ งานศิลปะ เนื่องจากมีคุณสมบัติให้สีขาวสว่าง

2) ใช้เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์ มักใช้เป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมแก้ว กระจก อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องปั้น การผลิตสุญญากาศ การผลิตเซรามิก อุตสาหกรรมโลหะสำหรับการเคลือบผิวโลหะ อุตสาหกรรมกระดาษสำหรับการเคลือบกระดาษเพื่อลดการทะลุผ่านของแสง ด้วยคุณสมบัติที่สามารถยึดเกาะ และเคลือบติดผิวได้ง่าย มีความทนทานต่อการกัดกร่อน

3) เป็นสารกึ่งตัวนำผลิตกระแสไฟฟ้า การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

4) ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้ามักใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าด้วยคุณสมบัติมีค่าคงที่ทางไฟฟ้าและความต้านทานสูง

5) ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง การใช้อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ในสารกันแดด เนื่องจากไม่มีสีและยังสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ อย่างไรก็ตามถ้าอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้เป็นสารกันแดดมีขนาดเล็ก อาจแทรกผ่านเซลล์และทำให้เกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสภายในเซลล์ได้ และก่อให้เกิดความเสียหายแก่ DNA เมื่อได้รับแสงอาจ

เอกสารนี้ก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนัง การศึกษาโดยการใส่สารกันแดดที่มีไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กทุกวันเป็นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 2-4 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าผิวหนังสามารถดูดซับอนุภาคโทเทเนียมไดออกไซด์ขนาดเล็กได้ สำหรับอนุภาคโทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพในการสะท้อนหรือดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้เพื่อปกป้องผิว

6) ใช้ในด้านการบำบัดมลพิษ ได้แก่

6.1) ใช้เป็นสารดูดซับ โดยใช้งานในด้านการบำบัดมลพิษทางอากาศและมลพิษทางน้ำ ทำหน้าที่เป็นสารดูดซับมลพิษ

6.2) ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง โทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ต จะปลดปล่อยไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH^\cdot) ซุปเปอร์ออกไซด์แรดิคัลแอนไอออน (O_2^\cdot) และไฮโดรเปอร์ออกไซด์แรดิคัล (HO_2^\cdot) โดยมีกลไก ดังนี้

- การต้านเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อแผ่นนาโนโทเทเนียมไดออกไซด์ได้รับรังสียูวีจะปลดปล่อย ไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH^\cdot) และซุปเปอร์ออกไซด์แรดิคัลแอนไอออน (O_2^\cdot) และไฮโดรเปอร์ออกไซด์แรดิคัล (HO_2^\cdot)

- การบำบัดมลพิษทางอากาศ เช่น การกำจัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_x) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) เมื่อโทเทเนียมไดออกไซด์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในช่วงคลื่น 300-400 นาโนเมตร จะทำให้เกิดไฮดรอกซิลแรดิคัล ซุปเปอร์ออกไซด์แรดิคัลแอนไอออน เข้าทำปฏิกิริยากับสารมลพิษดังกล่าว ทำให้กลายเป็นกรดไนตริก และกรดซัลฟูริก ส่วนสารอินทรีย์ระเหยง่ายจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกลายเป็นสารอื่นที่มีความเป็นอันตรายน้อยลง

- การกำจัดกลิ่น อนุภาคไฮดรอกซีที่เกิดจากโทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถกำจัดโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ระเหยอยู่ในอากาศ โดยทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของสาร ทำให้สารอินทรีย์ที่ระเหยอยู่ในอากาศแตกออกเป็นโมเลกุลเดี่ยว จึงไม่สามารถทำอันตรายหรือส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ได้ นอกจากนี้ ยังมีประสิทธิภาพในการฟอกอากาศให้สะอาด โดยการกำจัดโมเลกุลของสารที่ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นบุหรี กลิ่นยาสูบ สารประเภทฟอร์มาลดีไฮด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ยูรีน กลิ่นอุจจาระ น้ำมันเชื้อเพลิง และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอีกหลายชนิดในอากาศ

- การบำบัดมลพิษในน้ำ เมื่อโทเทเนียมไดออกไซด์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเกิดการปลดปล่อยอนุภาคไฮดรอกซิลแรดิคัล ซุปเปอร์ออกไซด์แรดิคัลแอนไอออน และไฮโดรเปอร์ออกไซด์แรดิคัล เข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่แขวนลอยในน้ำ ทำให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ก่อมลภาวะให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายได้ เช่น เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ดังสมการที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 พิษของไทเทเนียมไดออกไซด์ (สุพิณ, 2550)

ไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของสารสีที่ปลอดภัย ไม่ใช่สารที่อยู่ในกลุ่มของสารก่อมะเร็ง สารที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ สารที่ทำให้ตัวอ่อนในครรภ์เกิดความผิดปกติ หรือสารที่มีพิษ จึงสรุปได้ว่าไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่ใช่สารที่มีพิษ แต่ในการสกัดไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ควรคำนึงถึง คืออนุภาคขนาดเล็กหรืออนุภาคขนาดนาโน ด้วยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทำให้สามารถทำแร่ให้มีขนาดเล็กได้อย่างที่ไม่เคยเป็นมาก่อน แต่อันตรายที่ซ่อนอยู่ภายในอนุภาคขนาดเล็กนั้นส่งผลต่อร่างกายของมนุษย์ ซึ่งมีการศึกษาพบว่าอนุภาคขนาดเล็กของไทเทเนียมไดออกไซด์รูปแบบอนาเลส ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร สามารถก่อให้เกิดโรคได้

นอกจากนี้การบาดเจ็บต่อเซลล์ขึ้นกับขนาดอนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์ ยิ่งขนาดอนุภาคเล็กมีความเป็นพิษก็มากขึ้น โดยขนาด 70 นาโนเมตร สามารถแทรกผ่านถุงลมในปอดได้ ขนาด 50 นาโนเมตร สามารถแทรกผ่านเซลล์ได้ และขนาด 30 นาโนเมตร สามารถแทรกเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางได้ อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางมีการนำอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์มาใช้เป็นส่วนประกอบของสารกันแดด โดยอนุภาคมีขนาดเล็กอาจจะสามารถแทรกผ่านเซลล์และนำไปสู่การเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสภายในเซลล์ได้ ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ DNA เมื่อได้รับแสง และอาจก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนัง

2.2.5 หลักการทำงานของโฟโตคะตะไลซิสของไทเทเนียมไดออกไซด์ และซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (สรรรค์, 2552)

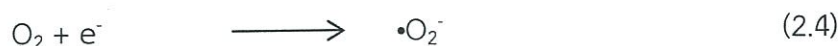
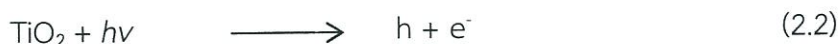
โฟโตคะตะลิสต์ (Photocatalyst) เป็นคำที่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ โฟโต (Photo) ใช้เป็นคำนำหน้าแสงที่มาเกี่ยวข้อง และ คะตะลิสต์ (Catalyst) เป็นกระบวนการที่อนุภาคของสารมีส่วนร่วมในการทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมี โดยที่ตัวคะตะลิสต์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ และเรียกสารที่เพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยการลดพลังงานกระตุ้นว่า “สารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalyst)”

การเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalysis) คือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงไปกระตุ้นสสารให้เปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวคะตะลิสต์ แต่การฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ หรือจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ไปยังไทเทเนียมไดออกไซด์จะทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และประจุลบของซูเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสารตระกูลออกซิเจนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเหล่านี้สามารถทำลายโครงสร้างและยับยั้งชีวเคมีของแบคทีเรียและเซลล์ที่ติดเชื้อไวรัสได้ การเกิดอนุมูลไฮดรอกซิลและโมเลกุลของออกซิเจนจะทำให้สารประกอบอินทรีย์กลายเป็นออกไซด์จนในที่สุดจะกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ รวมทั้งจะเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันสลายก๊าซพิษต่างๆและสารก่อมะเร็ง เช่น acetaldehyde, benzene และ formaldehyde โดยสาร

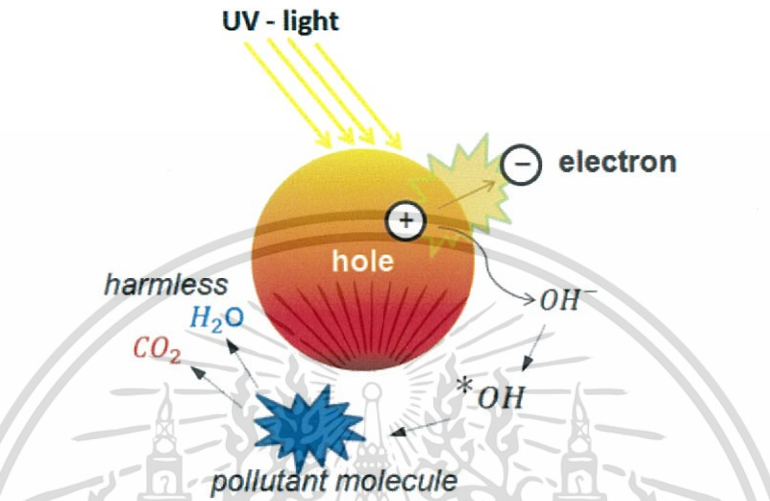
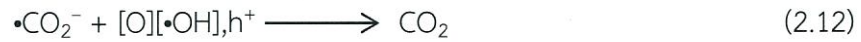
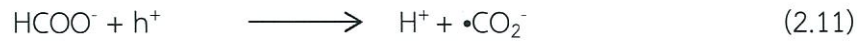
กึ่งตัวนำจะมีแถบพลังงานที่น่าสนใจอยู่สองแถบคือ แถบวาเลนซ์ (valence band) และแถบการนำ
เอกสารไฟฟ้า (conduction band) แถบพลังงานทั้งสองจะถูกแยกจากกันโดยมีแถบช่องว่างระหว่างพลังงาน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(band gap) ซึ่งมีความกว้าง E_g กั้นอยู่ กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสใน aqueous phase คือ กระบวนการการโฟโตออกซิเดชัน (photo oxidation) ของอนุภาคสารกึ่งตัวนำที่ถูกอนุภาคของแสง ซึ่งมีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าช่องว่างพลังงาน E_g ตกกระทบผิวหน้าอนุภาคสารกึ่งตัวนำ ทำให้ อิเล็กตรอนถูกกระตุ้น เปลี่ยนที่อยู่จากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำไฟฟ้า ทำให้เกิดสภาวะขาด อิเล็กตรอนที่แถบวาเลนซ์ เรียกว่า โฮล (hole) แทนด้วยสัญลักษณ์ $h+vb$ ส่วนอิเล็กตรอนที่ถูก กระตุ้นไปอยู่ในแถบการนำไฟฟ้าแทนด้วยสัญลักษณ์ $e-cb$ ซึ่ง $h+vb$ และ $e-cb$ สามารถที่จะ กลับมาอยู่ในสภาวะเดิมได้อีกโดยจะเรียกว่า recombination ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของ กระบวนการโฟโตออกซิเดชัน และที่ผิวหน้าระหว่างของแข็งและของเหลว (solid-liquid interface) อิเล็กตรอนสามารถที่จะเคลื่อนย้ายจากแถบการนำไฟฟ้าไปสู่ตัวรับอิเล็กตรอน (acceptor) ใน สารละลายเรียกว่า รีดักชัน (reduction) หรืออิเล็กตรอนจากผู้ให้ (donor) ในสารละลายไปสู่โฮลใน แถบวาเลนซ์ เรียกว่า ออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งโฮลที่เกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ ดี (strong oxidation)

ไทเทเนียมไดออกไซด์ มีสมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะมีแถบช่องว่างพลังงาน (band gap) ประมาณ 3.2 eV จึงจำเป็นต้องใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความยาวคลื่นที่ให้พลังงาน มากกว่าแถบช่องว่างพลังงาน มากกระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอนกับช่องว่างอิเล็กตรอน (hole) ซึ่งกลไกการ เร่งปฏิกิริยาด้วยแสงเริ่มจาก เมื่อไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตที่มีความ ยาวคลื่นต่ำกว่า 390 นาโนเมตร (ช่วงรังสียูวี) ไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่แถบเวเลนซ์ จะเหนี่ยวนำให้ อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปที่แถบคอนดักชัน (conduction band) ที่ช่องว่างที่ไม่มีอิเล็กตรอนไว้ เรียก ช่องว่างอิเล็กตรอนนี้ว่า hole ในขณะที่อิเล็กตรอนมีประจุลบ โดยที่ช่องว่างอิเล็กตรอนจะทำปฏิกิริยากับ น้ำและหมู่ไฮดรอกซิลเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง สามารถทำให้โมเลกุล ของสารอินทรีย์แตกตัวกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุด ส่วนอิเล็กตรอนจะเข้าทำ ปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ละลายอยู่เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (O_2^-) และซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออนจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในสารอินทรีย์กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถระเหย และสลายไปในอากาศ จากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นสามารถย่อยสลายเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และ เชื้อไวรัสได้ (ชลดา, 2554) ดังแสดงในสมการที่ 2.2-2.12 (Lua Y.W. *et al.*) และรูปที่ 2.3



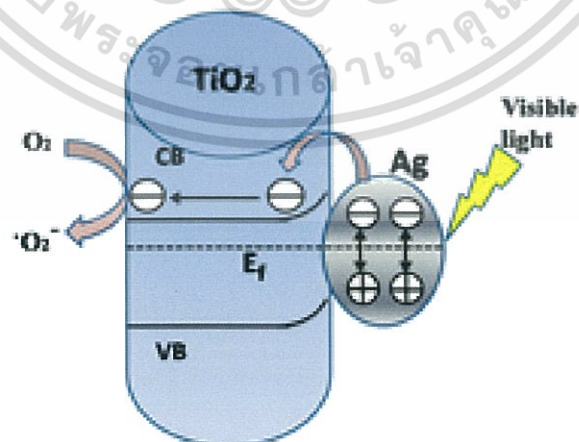
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของไทเทเนียมไดออกไซด์

(Gonzalez-Perez A. *et al.*, 2016)

เมื่อมีการเติมซิลเวอร์ลงบนไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่าซิลเวอร์ช่วยลดระดับพลังงานให้กับไทเทเนียมไดออกไซด์ และช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับแสงในช่วงสเปกตรัมที่มองเห็นได้ของไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์

(Chen K. *et al.*, 2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

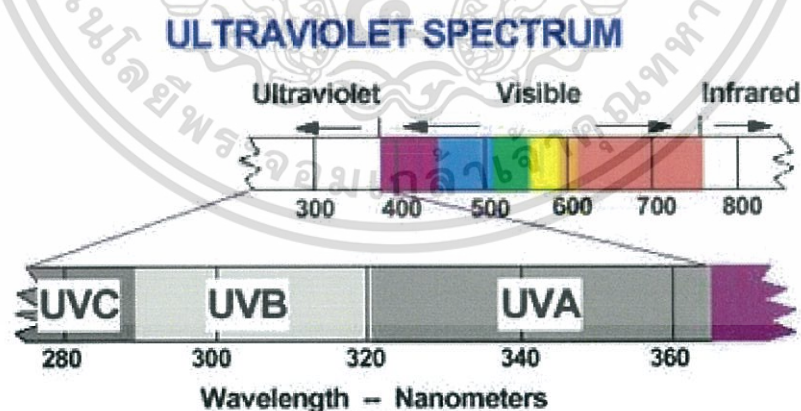
2.3 แสง (อัญชลี, 2560)

แสง คือ พลังงานที่ปลดปล่อยออกจากอะตอม เป็นกลุ่มก้อนของพลังงานที่มีโมเมนตัม แต่ไม่มีมวลอนุภาคเหล่านี้เรียกว่า “โฟตอน” นั่นคือ อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคที่มีประจุเป็นลบ หมุนอยู่รอบนิวเคลียสที่มีประจุเป็นบวกมีอยู่หลายตัว แต่ละตัวอยู่ในวงโคจรที่แตกต่างกัน พลังงานวัดได้จากระยะห่างจากนิวเคลียสทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานในแต่ละระดับที่ต่างกันนั่นคือ “อิเล็กตรอนที่มีวงโคจรไกลจากนิวเคลียสมีพลังงานมากกว่าวงโคจรใกล้นิวเคลียส” เมื่ออะตอมได้รับพลังงานจากภายนอกอิเล็กตรอนวงโคจรต่ำจะถูกกระตุ้นเปลี่ยนไปอยู่ในวงโคจรสูงซึ่งไม่เสถียร ดังนั้นอิเล็กตรอนจะหมุนอยู่ในวงโคจรนี้ชั่วคราวและตกลงสู่วงโคจรเดิม ปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนซึ่งก็คือ “แสง” นั่นเอง

ความยาวคลื่นของแสงที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของพลังงานและตำแหน่งของอิเล็กตรอน ดังนั้นอะตอมของธาตุแต่ละประเภท จะให้แสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันหรือสีของแสงขึ้นอยู่กับชนิดของอะตอมหรือธาตุที่ได้รับการกระตุ้น

2.3.1 รังสีอัลตราไวโอเล็ต (อัญชลี, 2560)

รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) หรือรังสียูวี (UV) คือ รังสีชนิดหนึ่งที่แผ่กระจายจากดวงอาทิตย์ มีช่วงความถี่ระหว่าง 240-400 นาโนเมตร มีพลังงานสูง ไม่สามารถมองเห็นได้ มนุษย์ใช้ประโยชน์จากรังสียูวีได้หลายทาง เช่น ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค ใช้วิเคราะห์แร่ชนิดต่างๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ช่วงความยาวคลื่นของรังสียูวีแต่ละชนิด (จิตรรา, 2555)

รังสียูวี แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ ยูวีเอ (UVA) มีความยาวคลื่นระหว่าง 315-400 นาโนเมตร, ยูวีบี (UVB) มีความยาวคลื่นระหว่าง 280-315 นาโนเมตร และ ยูวีซี (UVC) มีความยาวคลื่นระหว่าง 200-280 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.5 แต่รังสียูวีซี (UVC) ถูกโอโซนในสตราโตสเฟียร์เอกซอสเฟียร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรองเอาไว้ เหลือเพียงรังสียูวีเอ (UVA) และยูวีบี (UVB) เท่านั้นที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้นผิวของโลกได้

1) แหล่งกำเนิดของรังสีอัลตราไวโอเล็ต

1.1) การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (solar radiation) ถือเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของการแผ่รังสีที่ส่องมาถึงโลก โดยประกอบด้วยรังสียูวีซี ยูวีบี และยูวีเอ รวมถึงช่วงคลื่นที่มนุษย์มองเห็น และรังสีอินฟราเรด แต่รังสีบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ในชั้นบรรยากาศที่เหลือสามารถส่องมาถึงผิวโลกในระดับไม่อันตรายต่อมนุษย์

1.2) แหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (artificial sources) ได้แก่ วัตถุทุกชนิดที่ถูกทำให้ร้อน จนมีอุณหภูมิสูงกว่า 2,500 เคลวิน สามารถปล่อยรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นสำหรับการใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ทางกายภาพ การเกษตร เป็นต้น

2) อันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือรังสียูวี

2.1) ผิวหนัง รังสียูวี (UV) มีอันตรายมากต่อผิวหนัง สามารถทำให้เกิดรอยไหม้ (Sunburn) และความผิดปกติของสารพันธุกรรม นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดกระบวนการลิพิดเพอรอกซิเดชัน (Lipid peroxidation) และการอักเสบเฉียบพลัน รวมถึงการเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่ออันเกิดจากการเกิดอนุมูลอิสระของรังสียูวี โดยมีการศึกษาผลกระทบของรังสียูวีต่อสัตว์น้ำ สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ พบว่ารังสียูวีบีมีผลต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันในปลา และมีผลกระทบรุนแรงต่อเยื่อบุผิวบริเวณเหงือกปลา ทำให้เนื้อเยื่อบุผิวหลุดลอก ในส่วนของสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ พบว่า รังสียูวีบีมีผลทำให้ตัวอ่อนในระยะฟักตัวมีความผิดปกติ อัตราการเติบโตลดลง และเกิดความผิดปกติของผิวหนัง รวมถึงระบบภูมิคุ้มกัน

2.2) ตา เมื่อได้รับยูวีมากขึ้นจะทำให้เยื่อตาเกิดการระคายเคือง ตาแดง แสบตา น้ำตาไหล อาจเกิดเป็นต้อเนื้อ ต้อลม จากการวิจัยพบว่า หากเราได้รับแสงยูวีต่อเนื่องในระยะเวลาต่างๆ จะเสี่ยงต่อการเกิดโรคจอตาเสื่อมได้ หรืออาจทำให้เกิดโรคตาเรื้อรัง มะเร็งที่ผิวรอบดวงตา เช่นเดียวกับมะเร็งผิวหนังได้

3) แนวทางการป้องกันรังสียูวี

3.1) การปกป้องผิวจากรังสียูวี ทำได้เบื้องต้นคือการทาผิวด้วยครีมผสมสารป้องกันยูวีหรือครีมกันแดด

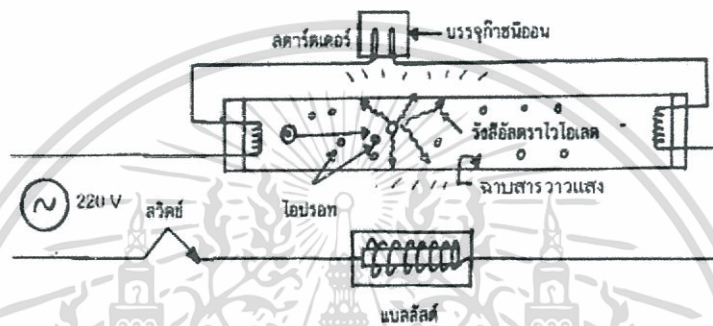
3.2) การปกป้องดวงตจากรังสียูวีที่สามารถทำได้เบื้องต้น เช่น ใส่หมวกกันแดด หรือใส่แว่นกันแดดที่ประกอบด้วยเลนส์มีคุณสมบัติดูดซับหรือสะท้อนแสงยูวีอย่างน้อย 99-100 เปอร์เซ็นต์

2.3.2 แสงฟลูออเรสเซนต์ (เคมีคริวเรออน, 2560)

หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent tube) หรือเรียกหลอดเรืองแสง หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดแก้วทรงกระบอกมีหลายแบบ เช่น หลอดยาว วงกลม เกือกม้า ภายในหลอดสูบลูบอากาศออก

เอกสารทั้งหมดแล้วบรรจุพร้อมไว้เพียงเล็กน้อย ที่ผิวด้านในของหลอดแก้วจะฉาบด้วยสารเรืองแสง และที่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายหัวและท้ายของหลอดมีไส้หลอดทำด้วยโลหะทั้งสแตนหรืออัลแฟรมซดเป็นเส้นเล็กๆ ซึ่งมีความต้านทานกระแสไฟฟ้าสูงมาก สารเรืองแสงมีหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตไว้และจะคายพลังงานของรังสีอัลตราไวโอเล็ตออกมา พลังงานที่คายออกมาอยู่ในรูปของพลังงานแสง ซึ่งตาของมนุษย์มองเห็นในรูปของแสงสว่าง ซึ่งสารเรืองแสง (Fluorescent Coating) ที่ใช้มีหลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัสจะให้แสงสีธรรมชาติ (สีขาวแกมเหลืองอ่อนๆ), แมกนีเซียมทั้งสแตนจะให้แสงสีธรรมชาติ (สีขาวแกมฟ้าอ่อนๆ), ซิงค์ซิลิเกตจะให้แสงสีเขียว, แคลเซียมซิลิเกตจะให้แสงสีชมพูอ่อน และแคลเซียมทั้งสแตนจะให้แสงสีน้ำเงิน



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ (ศุภกานต์, 2554)

1) หลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

เมื่อกดสวิทช์วงจรไฟฟ้าของวงจรหลอดเรืองแสง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไส้หลอดทั้งสแตนที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูงมากๆ พลังงานไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน จึงทำให้ไส้หลอดมีความร้อนสูงทำให้ปรอทที่บรรจุไว้ในหลอดกลายเป็นไอ จากนั้นกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังสตาร์ทเตอร์ที่ภายในเป็นแผ่นโลหะคู่ที่แยกกันและมีแก๊สนีออนบรรจุอยู่ ซึ่งแก๊สนีออนจะติดไฟหรือมีประกายไฟเกิดขึ้น มีผลทำให้แผ่นโลหะคู่ร้อนและงอโค้งมาแตะกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านแผ่นโลหะคู่ไปยังไส้หลอดอีกด้านหนึ่งได้และคายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ไส้หลอด จึงทำให้เกิดความร้อนที่ไส้หลอดมากขึ้นและปรอทกลายเป็นไอมากขึ้นจนเพียงพอที่จะนำไฟฟ้าได้ ในเวลาเดียวกันกระแสไฟฟ้าก็ไหลไปยังบัลลัสต์ ซึ่งภายในเป็นขดลวดทองแดงที่พันอยู่รอบแกนเหล็ก ขณะกระแสไฟฟ้าผ่านจะเกิดแม่เหล็กไฟฟ้าและมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างไส้หลอดสองข้างสูงมากพอที่ทำให้กระแสไฟฟ้า โดยอิเล็กตรอนจะวิ่งผ่านจากไส้หลอดหนึ่งไปยังไส้หลอดอีกด้านหนึ่งได้โดยไม่ต้องผ่านสตาร์ทเตอร์ ซึ่งขณะนั้นสตาร์ทเตอร์มีอุณหภูมิลดลง แผ่นโลหะคู่จึงแยกออกจากกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ไหลผ่านสตาร์ทเตอร์ ขณะที่อิเล็กตรอนวิ่งไปจะชนกับอะตอมของไอปรอท เรียกว่า ภาวะถูกกระตุ้น (excited state) ทำให้อะตอมของไอปรอทเกิดการสูญเสียระดับชั้นพลังงาน พลังงานที่สูญเสียออกมาจะอยู่ในรูปของรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) สารเรืองแสงที่ฉาบไว้ที่ผิวด้านในของหลอดเรืองแสงก็จะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตไว้และจะคายพลังงานที่สารเรืองแสงคาย

ออกมาจะอยู่ในรูปของพลังงานแสงซึ่งตาของมนุษย์มองเห็น เมื่อหลอดเรืองแสงติดแล้ว แบลคลิสต์จะทำหน้าที่ลดความต่างศักย์ไฟฟ้าลงให้คงที่ ให้เหลือ 220 โวลต์ หลอดเรืองจะเปล่งแสงสว่างตลอดไป ดังแสดงในรูปที่ 2.6

2) ข้อดีและข้อเสีย

2.1) ข้อดี อายุการใช้งานนาน ราคาต่ำ มีค่าดัชนีเทียบสีค่อนข้างสูง มีหลากหลายสีให้เลือก สามารถหรี่แสงได้ หลอดไม่ร้อน ทำให้อากาศโดยรอบไม่ร้อน ส่องแสงแบบกระจายแสงไม่จ้าเกินไป และไม่เป็นอันตราย

2.2) ข้อเสีย ประสิทธิภาพการกำเนิดแสงยังไม่สูงมากนัก ใช้เวลา 2-3 วินาที หลอดจึงจะติด แต่ยกเว้นหลอดชนิดติดเร็ว ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ และบัลลาสต์ ต่อพ่วง อุปกรณ์ทั้งหมดที่ติดตั้งมีน้ำหนักมาก โดยเฉพาะหลอดที่ใช้บัลลาสต์ และควบคุมทิศทางของแสงได้ยาก

3) อันตรายจากหลอดฟลูออโรเรสเซนต์

3.1) พรอท

- พิษเฉียบพลันเมื่อเข้าสู่ร่างกาย เกิดแผลพุพอง เนื้อเยื่อภายในอักเสบ มีเลือดออก อูจจาระเป็นเลือด เจ็บหน้าอก หายใจไม่ออก ปวดท้อง และมีอาการอาเจียน หมดสติ

- พิษเรื้อรัง สัมผัสได้ถึงรสโลหะ เนื้อเยื่อช่องปากอักเสบ เบื่ออาหาร ร่างกายอ่อนเพลีย เนื้อเยื่ออวัยวะภายในถูกทำลาย ไตเสื่อม ปัสสาวะน้อยหรือปัสสาวะไม่ออก ระบบประสาทถูกทำลาย ความจำเสื่อม หูเสื่อม ไม่ได้ยินเสียง สายตามัว มองเห็นไม่ชัด พุดจาไม่ชัด ไม่เป็นคำ มือเท้าชา มีอาการหงุดหงิด และมีอาการทางจิต กล้ามเนื้อใบหน้า มือ และเท้าสั่นกระตุก เป็นโรคผิวหนังหรือผดผื่นได้ง่าย

3.2) ไอของก๊าซ ระบายเคืองต่อเนื้อเยื่อในระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดมะเร็ง

3.3) เศษแก้ว คมจากเศษแก้วทำให้เกิดบาดแผล

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกรียงไกรและคณะ (2558) พัฒนาและศึกษาปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และซิลเวอร์ (Ag) เคลือบบนแผ่นพลาสติกใสและบนแผ่นฟิล์มกรองแสงติตรถยนต์ ที่มีค่าการกรองแสงแตกต่างกันในการสลายสีเมทิลีนบลู ฟิล์มซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์เตรียมได้จากกระบวนการโซล-เจล โดยมีไทเทเนียมบิวทอกไซด์และซิลเวอร์ไนเตรตเป็นสารตั้งต้นในสัดส่วน $\text{Ag}:\text{Ti}$ เท่ากับ 1 : 10 โดยโมล จากนั้นเคลือบบนแผ่นพลาสติกใสและบนแผ่นฟิล์มกรองแสงติตรถยนต์ ด้วยวิธีการหมุนเคลือบ พบว่าผลที่ได้เป็นแบบอะนาเทสสามารถดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่มองเห็นได้มากขึ้น ผลึกซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์มีขนาด 20-60 นาโนเมตร ซึ่งใหญ่กว่าผลึกของไทเทเนียมขนาด 10-30 นาโนเมตร และประสิทธิภาพการสลายสีเมทิลีนบลูบนแผ่นพลาสติกใสและบนแผ่นฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรองแสงติตรอนต์ที่มีค่าการกรองแสงร้อยละ 40 ภายใต้แสงที่มองเห็นได้สูงสุด 61.68 และ 53.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Bagheri, *et al.* (2016) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้รังสียูวีและ เพอเรท (VI) กับการใช้ UV/เพอเรท (VI) ร่วมกัน เพื่อกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ออกจากอากาศและน้ำ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบ เช่น pH, ความเข้มข้นของเพอเรท (VI) และอุณหภูมิในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ ผลการศึกษา พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างและความเข้มข้นเริ่มต้นของเพอเรท (VI) ที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ดีที่สุด คือพีเอช 2 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25 ถึง 50 องศาเซลเซียส ช่วยกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์จาก 69 เป็น 97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมิผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัด และการใช้รังสียูวี และ เพอเรท (VI) ร่วมกัน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ใกล้เคียงกับ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 35 นาที จากการใช้เครื่องฟอกด้วยก๊าซที่อัตราการไหลของของเหลวอัตราส่วน 1.28 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตร สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้สูงสุด 94 เปอร์เซ็นต์

Chang, *et al.* (2007) ศึกษาการปรับสภาพพื้นผิวโดย Photocatalyst และ Photodecomposition ของฟอร์มาลดีไฮด์จากแหล่งมลพิษในพื้นที่ร่ม ศึกษาสำรวจความเป็นไปได้ของการใช้ไดโอดเปล่งแสงอัลตราไวโอเล็ต (UVLED) แทนหลอดอัลตราไวโอเล็ตแบบดั้งเดิม (UV) การศึกษาการสลายตัวของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ โดยใช้แบบจำลองของ Langmuir-Hinshelwood ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาครั้งที่ (k) และค่าคงที่ของการดูดกลืนแสง (K_L) มากกว่า 0.334 กรัม ซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Ag/TiO_2) เคลือบบนแก้ว และมีหลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต 254 นาโนเมตร (UVC), หลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต 365 นาโนเมตร (UVA) และ UVLED เท่ากับ 650 ppmv/min และ 2×10^{-4} ppmv⁻¹, 500 ppmv/min และ 1.04×10^{-4} ppmv⁻¹ และ 600 ppmv/min และ 2.52×10^{-5} ppmv⁻¹ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของพลังงาน (E_e) อยู่ในระดับของ UVLED (0.6942 mg·k/W·h) > UVA (0.007 mg·k/W·h) > UVC (0.0053 mg·k/W·h) โดยค่า E_e ของ UVLED มีขนาดใหญ่กว่า UVC 131 เท่า และ UVLED สามารถประหยัดพลังงานได้มากเมื่อเทียบกับหลอด UV แบบดั้งเดิม การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้และศักยภาพของรังสี UVLED ในการสลายฟอร์มาลดีไฮด์จากแหล่งมลพิษในพื้นที่ร่ม

De-Luna, *et al.* (2017) ศึกษาการสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเอนไซม์ผ่านกระบวนการโซลเจล เพื่อสร้างสารตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่ๆ รวมถึงการย่อยสลายของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ภายใต้แสงที่มองเห็นได้ (Visible light) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือไทเทเนียมไดออกไซด์ที่แตกต่างกันของอัตราส่วนโมล ตั้งแต่ 0 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์โมลในไทเทเนียมไดออกไซด์) ของแอมโมเนียมฟลูออไรด์, ซิลเวอร์ไนเตรต และโซเดียมทังสเตน เป็นสารตัวนำ ถูกนำมาใช้ในการสลายของฟอร์มาลดีไฮด์ ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบแก้วที่มีแสงสีฟ้าของไดโอดเปล่งแสง (LED) โดยใช้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยาที่ตรึงอยู่กับที่ การวิเคราะห์ความสามารถในการโฟโตคะตะไลติกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของพื้นผิว photocatalyst ผ่าน X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS), การแปลงสเปกตรัมของรังสีอินฟราเรด (FTIR), Brunauer-Emmett-Teller (BET) และการกระจายตัวของรังสีเอกซ์ (XRD) ผลการจำแนกลักษณะเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่มีการเจือปนของสารตัวนำ และมีไทเทเนียมไดออกไซด์ Degussa P-25 พบว่า วิเคราะห์ด้วยแสงทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์ลดลง 88.1 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 120 นาที ตัวเร่งปฏิกิริยาไทเทเนียมไดออกไซด์สังเคราะห์มีวงโคจรที่ไม่ซ้ำกันที่ 532.07 eV และ 533.27 eV ที่มาจากการเติมสารตัวนำบน Ti d (t_{2g})

Jin, et al. (2011) การสลายตัวของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นสารมลพิษในอากาศ โดย Nano-structured TiO_2 , $Ag-TiO_2$ และ $Ce-TiO_2$ ถูกเตรียมโดยวิธี sol gel ที่อุณหภูมิห้องและใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบ photocatalyst โดยศึกษาผลของการเติม $Ag/Ce/TiO_2$, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเข้มข้นของออกซิเจน, ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น, ความยาวคลื่นแสงยูวี, ปริมาณ TiO_2 ในการสลายตัวของฟอร์มาลดีไฮด์ ผลการทดลองพบว่า เมื่อมีการเติม Ag หรือ Ce ช่วยเพิ่มความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกได้ และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 35 เปอร์เซ็นต์ เป็นความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกภายใต้สภาวะการทดลอง อัตราการสลายตัวเร่งปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกลดลงด้วยเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของฟอร์มาลดีไฮด์และใช้ความสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงขนาด 254 นาโนเมตรดีกว่า 365 นาโนเมตร ประสิทธิภาพในการสลายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ คือเมื่อไทเทเนียมไดออกไซด์ ปริมาณต่ำกว่า 70 มิลลิกรัม ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ของ TiO_2 , Ag/TiO_2 และ Ce/TiO_2 เรียงลำดับได้คือ ค่า k ของ $Ce/TiO_2 >$ ค่า k ของ $Ag/TiO_2 >$ ค่า k ของ TiO_2 ซึ่งหมายความว่า Ce/TiO_2 มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกที่ดีที่สุดในตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมด

Lua, et al. (2015) ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นหนึ่งในมลพิษที่พบมากภายในอาคารและการสัมผัสเป็นเวลานานๆ ในสภาพแวดล้อมที่มีความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์สูงกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อาจเป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์ เพื่อกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นได้ทำการทดลองใช้แผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์ บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ โดยจะเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกขึ้น เพื่อกำจัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ภายใต้รังสี UV 365 นาโนเมตร, UV 254 นาโนเมตร และ UV 254+185 นาโนเมตร ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการดูดซับของถ่านกัมมันต์และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้ผลพลอยได้เป็นโอโซน ในขณะที่เวลานั้น โอโซนยังสามารถส่งผลต่อการสลายของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ได้โดยตรง ซึ่งโอโซนที่เป็นผลพลอยจากปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นมีค่าต่ำกว่า 0.214 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นไปตามกำหนดของ

เอกสารมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของประเทศจีนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุหรืออุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. กรดอะซิติก (Acetic acid, CH_3COOH) ความเข้มข้น 99.85 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท DUKSAN PURE CHEMICALS, ประเทศเกาหลี
2. แอซีโตน (Acetone, $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) ความเข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA Reagents, ประเทศอิตาลี
3. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H_2SO_4) ความเข้มข้น 18.01 โมลต่อลิตร เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA Reagents, ประเทศอิตาลี
4. สารละลายแอซิติลแอซีโตน (Acetyl acetone solution, $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$) ความเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA Reagents, ประเทศอิตาลี
5. แอมโมเนียมแอซิเตท (Ammonium acetate, $\text{CH}_3\text{COONH}_4$) ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท LABORATORY REAGENTS & FINE CHEMICALS, ประเทศอินเดีย
6. สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde solution, CH_2O) ความเข้มข้น 36.5-38 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd., ประเทศออสเตรเลีย
7. เอทานอล (Ethanol, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ เกรดการค้า องค์การสุรากรสรรพสามิต, ประเทศไทย
8. โซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA Reagents, ประเทศอิตาลี
9. ไอโอดีน (Iodine, I_2) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA Reagents, ประเทศอิตาลี
10. เมทิลีนบลู (Methylene blue, $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA Reagents, ประเทศอิตาลี
11. พอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone, PVP) เกรดวิเคราะห์ บริษัท SIGMA-ALDRICH, ประเทศสหรัฐอเมริกา
12. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA Reagents, ประเทศอิตาลี
13. ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate, AgNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA Reagents, ประเทศอิตาลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 14. แอคทีเวเตดคาร์บอน (Activated carbon) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. ผงผลึกไทเทเนียมไดออกไซด์ ชนิด Degussa P25 (Titanium dioxide, TiO_2) ได้รับความอนุเคราะห์จากวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
16. น้ำแข็ง

3.1.2 วัสดุหรืออุปกรณ์การทดลอง

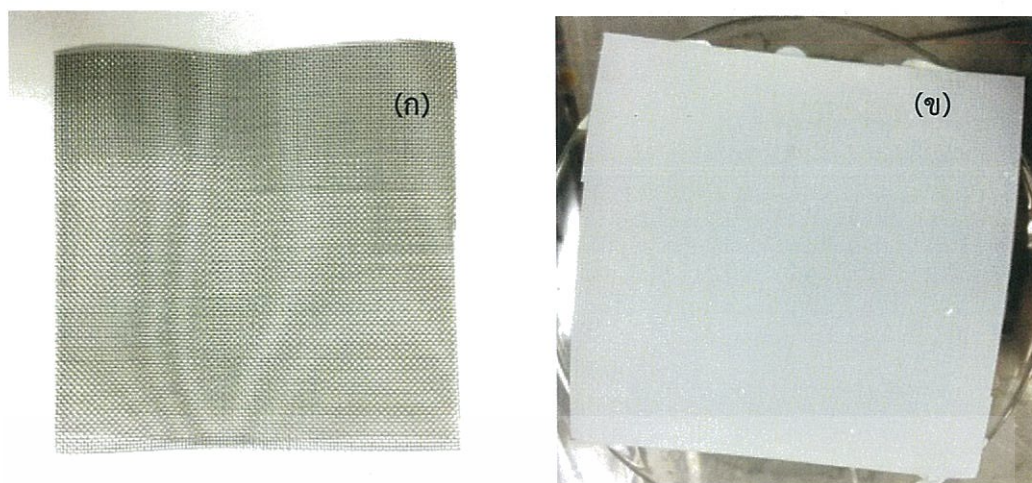
1. เครื่อง UV/Vis Spectrophotometer รุ่น UH5300, บริษัท HITACHI ประเทศญี่ปุ่น
2. เครื่องเก็บอากาศ รุ่น GilAtr5, บริษัท Gilian Manufactured by Sensidyne Clear mater, FL. ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องวัดอัตราการไหล (High Flow) รุ่น Defender 520-H, บริษัท Bios International Corp ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น METTLER TOLEDO, บริษัท Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
5. เครื่องพ่นอากาศ รุ่น MILLIPORE, บริษัท BILLERICA ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เครื่องปั่นกวน รุ่น Stuart, บริษัท Cole-Parmer Scientific Experts ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. แท่งแม่เหล็กสำหรับกวน (Magnetic bar)
8. Hot plate รุ่น MR Hei-Tec, บริษัท Beacthai Bangkok Equipment & Chemical, Co., Ltd. ประเทศไทย
9. ตู้อบ รุ่น ISOTERMP Oven, บริษัท Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
10. เตาอบไมโครเวฟ รุ่น Ceramic Inside, บริษัท SAMSUNG จำกัด ประเทศไทย
11. เทอร์โมมิเตอร์ รุ่น Pt1000 V4A, บริษัท Heidolph Instruments ประเทศเยอรมัน
12. ตู้ปฏิกรณ์ ขนาด 50×45×80 เซนติเมตร
13. แผ่นลวดสแตนเลส จำนวน 50 ช่อง ต่อ 1 นิ้ว, บริษัท เจริญวิทย์ เทรตติ้ง จำกัด ประเทศไทย
14. ไมโครปิเปต ขนาด 100-1000 μL รุ่น Light & Ergonomic Pipatte, บริษัท NICHIRYO ประเทศญี่ปุ่น
15. ไมโครปิเปต ขนาด 20-200 μL รุ่น Biohit, บริษัท Sartorius ประเทศเยอรมัน
16. เดซิเคเตอร์
17. คอลัมน์อะคริลิก ขนาด 6×6×26.5 เซนติเมตร
18. หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 18 วัตต์ (ความเข้มแสง 1,030 ลูเมน)
19. หลอดยูวีซี ขนาด 18 วัตต์ (254 นาโนเมตร)
20. Water bath

21. กระดาษทราย TOA เบอร์ 1000
22. ฟรอยด์
23. พาราฟิน
24. สายยาง
25. น้ำแข็ง
26. เครื่องแก้วต่างๆ

3.2 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเตรียมแผ่นลวดสแตนเลสซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์

1. นำแผ่นลวดสแตนเลสตัดให้มีขนาด $7 \times 7 \times 0.3$ เซนติเมตร แล้วขัดด้วยกระดาษทราย เบอร์ 1000 เพื่อให้ผิวหยาบ
2. นำแผ่นลวดสแตนเลสจากข้อ 1 แช่น้ำกลั่น เป็นเวลา 10 นาที และนำไปแช่แอซิโตน ความเข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที เพื่อทำความสะอาด
3. วางแผ่นลวดวางบนถาดอลูมิเนียมที่รองด้วยฟรอยด์ นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
4. ชั่งไทเทเนียมไดออกไซด์ ประมาณ 1 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร
5. ปิเปตเอทานอล ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์ ใส่ลงในบีกเกอร์ปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 3.1 แล้วคนให้สารละลายเข้ากัน
6. ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ (ดูรายละเอียดภาคผนวก ก-1.11) ใส่ลงในบีกเกอร์ปริมาตร ดังตารางที่ 3.1 แล้วคนให้สารละลายเข้ากัน
7. นำแผ่นลวดที่เตรียมไว้ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีสารเร่งปฏิกิริยา ชุบแผ่นลวดให้สารเร่งปฏิกิริยาติดทั่วแผ่น
8. วางแผ่นลวดที่ผ่านการชุบแล้วลงในกระจกนาฬิกา นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วเก็บในถุงซิปลาวงในเดซิเคเตอร์ เพื่อนำไปใช้ต่อไป (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 เปรียบเทียบแผ่นลวดก่อนและหลังเคลือบสารเร่งปฏิกิริยา

(ก) แผ่นลวดก่อนเคลือบสารเร่งปฏิกิริยา (ข) แผ่นลวดหลังเคลือบสารเร่งปฏิกิริยา

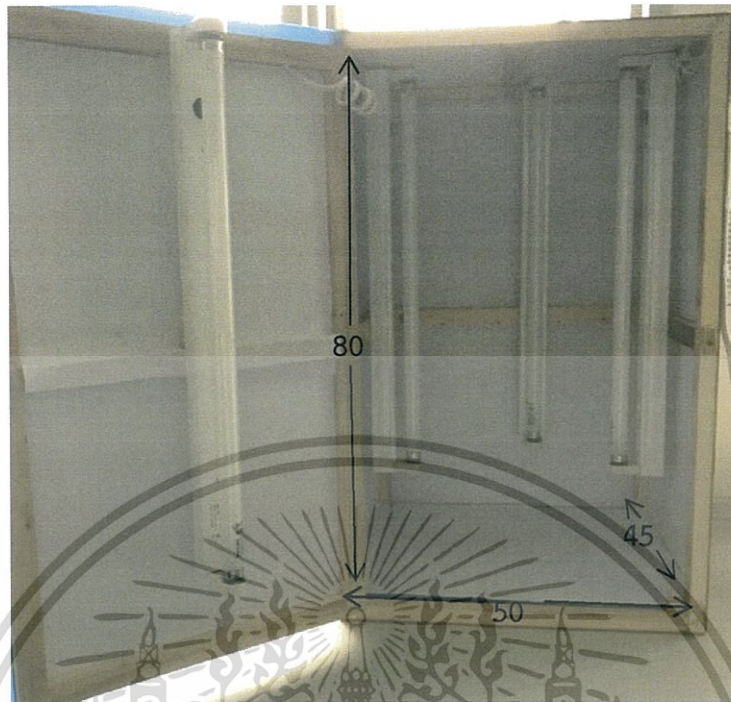
ตารางที่ 3.1 สัดส่วนปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์กับสารละลายซิลเวอร์ ละลายในเอทานอล ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์

%w/w	สัดส่วน Ag,TiO ₂	น้ำหนัก TiO ₂ (กรัม)	น้ำหนัก Ag ⁰ (กรัม)	ปริมาตรเอทานอล 95% (มิลลิลิตร)
Blank	-	-	-	-
0%	0:1	1.0XXX	0	5.00
0.20%	1:5	1.0XXX	0.0020	4.86
0.10%	1:10	1.0XXX	0.0010	4.93
0.07%	1:15	1.0XXX	0.0007	4.95
0.05%	1:20	1.0XXX	0.0005	4.96
0.04%	1:25	1.0XXX	0.0004	4.97
0.03%	1:30	1.0XXX	0.0003	4.98

3.2.2 การสร้างตู้ปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส

การสร้างตู้ปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส โดยตู้ปฏิกรณ์เป็นตู้ไม้ทึบ ขนาด 50×45×80 เซนติเมตร และมีรางไฟสำหรับใส่หลอดไฟ จำนวน 4 ราง มีสวิตช์สำหรับเปิด-ปิด จำนวน 1 ตัว โดยเป็นการควบคุมแบบ 1 สวิตช์ 1 รางไฟ ดังรูปที่ 3.2 และมีคอลัมน์อะคริลิก ขนาด 6×6×26.5 เซนติเมตร จำนวน 1 คอลัมน์ โดยมีชั้นสำหรับวางแผ่นลวดสแตนเลสที่ชุบสารเร่งปฏิกิริยาแล้ว จำนวน 5 ชั้น มีช่องอากาศเข้าด้านล่างและช่องอากาศออกด้านบนดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ตู้ปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลซิส



รูปที่ 3.3 คอลัมน์อะคริลิกบรรจุแผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วิเคราะห์โครงสร้างผลึกทางเคมีของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

(อานนท์, 2560)

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกทางเคมีของไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) โดยใช้รังสี Cu-K α ที่ความยาวคลื่น 1.5406 Å ตรวจจับแบบ 2 theta – scan ด้วยมุมตกกระทบเฉียงคงที่เท่ากับ 5° สแกน 2 theta จาก 10°-70° ด้วยอัตราสแกน 0.04° ต่อนาที

3.2.4 วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของแผ่นลวดชุบไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ ก่อนและหลังทดลอง

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกทางเคมีของไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า

3.2.5 การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ในการทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

1. นำแผ่นลวดที่เคลือบสารเร่งปฏิกิริยา (คะตะลิสต์) วางในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ใส่สารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 30 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีแผ่นลวดที่ชุบสารเร่งปฏิกิริยา
3. นำบีกเกอร์ไปวางในตู้ปฏิกรณ์ที่มีหลอดยูวีซี ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร กำลังไฟ 18 วัตต์ จำนวน 4 หลอด
4. เมื่อทำปฏิกิริยาคบเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายมาวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐานเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้นต่างๆ (ดูรายละเอียดภาคผนวก ก-2.1)
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-4 ซ้ำอีก 3 ซ้ำ
6. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนจากหลอดยูวีซีเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์
7. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่เปลี่ยนสัดส่วน Ag:TiO₂ ของสารเร่งปฏิกิริยาเป็น 0:1, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25 และ 1:30 (ดังแสดงในตารางที่ 3.1)

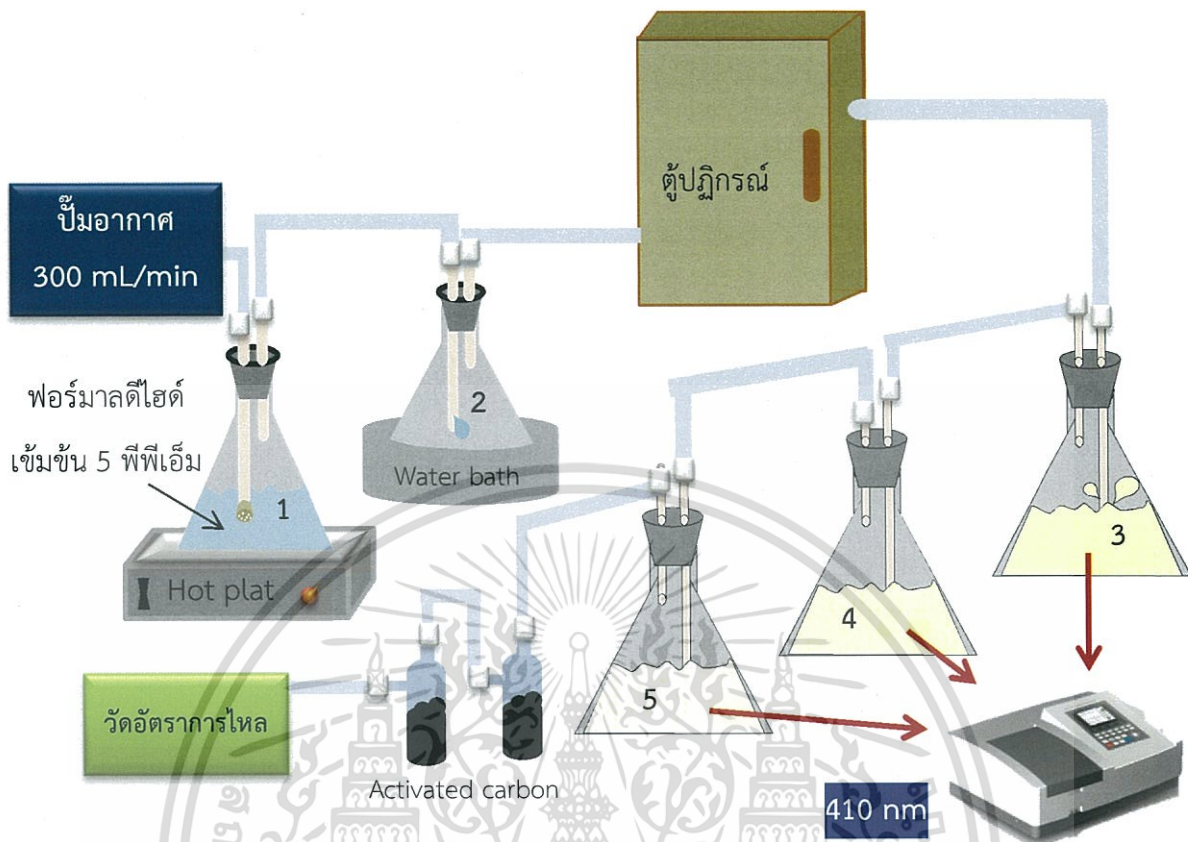
3.2.6 การกำจัดก๊าซฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศโดยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

1. วิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้น โดยการไทเทรต (ดูรายละเอียดภาคผนวก ก-4)
2. ตวงสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม 200 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร (ใบที่ 1)
3. ต่อขวดรูปชมพู่ใบที่ 1 เข้ากับเครื่องฟ่นอากาศ และขวดรูปชมพู่ใบที่ 2 ที่วางใน water bath ที่บรรจุน้ำแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่บรรณารักษ์ให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ต่อขวดรูปชมฟูไบที่ 3, 4 และ 5 ที่บรรจุสารดูดซึ่ม ประกอบด้วย แอมโมเนียมแอซิเตท 1.80 โมลต่อลิตร, กรดอะซิติก 0.05 โมลต่อลิตร และ แอซิติลแอซิโตน 0.02 โมลต่อลิตร ปริมาณ 200 มิลลิลิตร เพื่อดักจับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือหลังจากการเกิดปฏิกิริยา
5. ต่อขวดรูปชมฟูไบที่ 5 เข้ากับอิมพิงเจอร์ที่บรรจุแอคติเวตทคาร์บอน 3-5 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.4
6. นำแผ่นลวดสแตนเลสที่ชุบด้วยซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ ในสัดส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง ข้อ 3.2.3 ใส่เข้าคอลัมน์แต่ละชั้น จำนวน 5 ชั้น
7. ให้ความร้อนกับฟอร์มาลดีไฮด์ในขวดรูปชมฟูไบที่ 1 ด้วย Hot plate ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเปิดปั๊มพ่นอากาศ ที่อัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที โดยวัดอัตราการไหลก่อนและหลังการทดลองของปั๊ม จำนวน 10 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยบันทึกอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ
8. นำสารละลายในขวดรูปชมฟูไบที่ 3, 4 และ 5 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร (ดูรายละเอียดภาคผนวก ง-3)
9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-7 อีก 2 ชั่วโมง
10. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-8 แต่ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดยูวีซี
11. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-9 แต่ใช้แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การต่อระบบเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

3.2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลผลการทดลองจะวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitap รุ่น 17 ใช้ความวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวหรือ One way ANOVA และวิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference: LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ดูรายละเอียดภาคผนวก จ)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

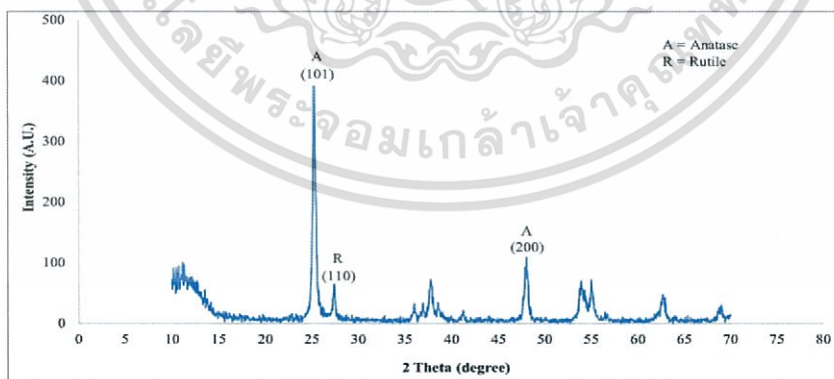
จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ ด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดยใช้แผ่นลวดที่ชุบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Ag/TiO_2) ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 คุณลักษณะของไทเทเนียมไดออกไซด์

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกทางเคมีและอัตราส่วนปริมาณนาเทสกับรูไทล์ของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction Spectrometer (XRD) ได้จากงานวิจัยของอานนท์ (2560) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียด ภาคผนวก ข-1)

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์ ได้จากงานวิจัยของอานนท์ (2560)

คุณลักษณะ	ผลการทดลอง
ปริมาณนาเทส (เปอร์เซ็นต์)	82.58
ปริมาณรูไทล์ (เปอร์เซ็นต์)	17.42
โครงสร้างผลึก	Tetragonal



รูปที่ 4.1 โครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

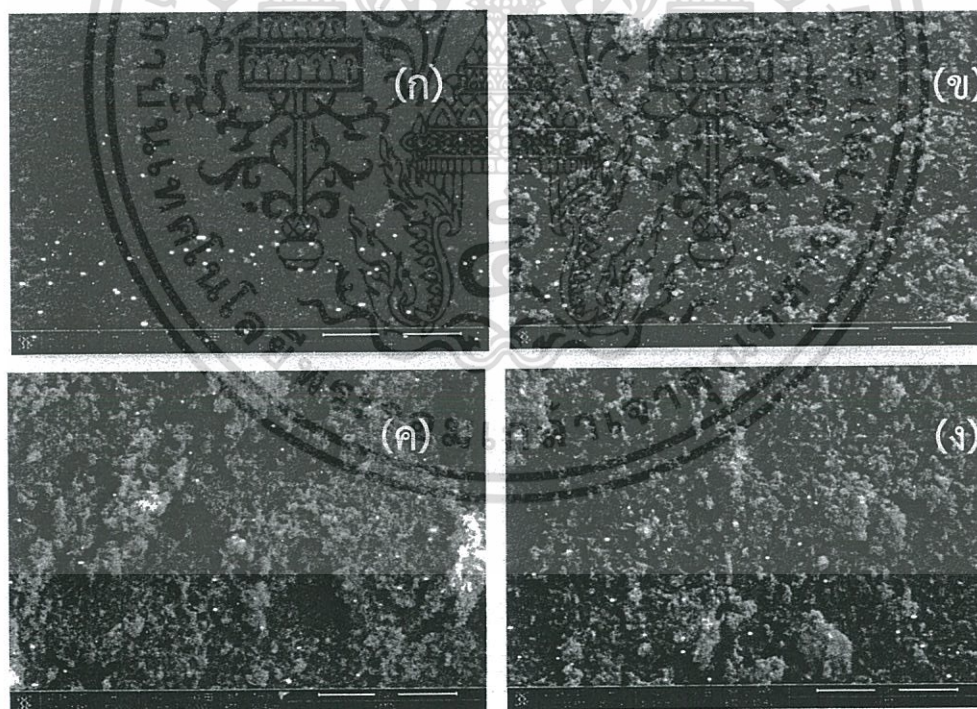
วิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ได้ข้อมูลจากงานวิจัยของอานนท์ (2560)

โครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในการทดลองได้ข้อมูลจากงานวิจัยของอานนท์ (2560) ซึ่งเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานขององค์กร Joint Committee on Powder Diffraction เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Diffraction Standard (JCPDS) โดยใช้ข้อมูลมาตรฐาน JCPDS 71-1166 พบว่า กราฟแสดงตำแหน่งที่พีคหลัก (2 θ) ของโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส ที่ 25.40° (101) และแบบรูไทล์ ที่ 27.36° (110) มีอัตราส่วนปริมาณอนาเทสและปริมาณรูไทล์ในโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ เท่ากับ 82.58 และ 17.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดูรายละเอียดภาคผนวก ข-1) แสดงให้เห็นว่า อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เหมาะสมที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลอง เนื่องจากโครงสร้างผลึกอนาเทสจะมีความต่างศักย์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical potential for electrons) สูงกว่าผลึกแบบรูไทล์ ส่งผลให้มี photocatalytic activity สูง และมีค่าครึ่งชีวิตของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ยาวนานขึ้น เนื่องจากการลดการเกิด recombination ของไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ He *et al.* (2013)

4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของแผ่นลวดชุบตัวเร่งปฏิกิริยา

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของแผ่นลวดชุบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสกับฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศที่ความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 10 นาที ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์



รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของไทเทเนียมไดออกไซด์บนแผ่นลวดก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสกับฟอร์มัลดีไฮด์ในสภาวะก๊าซ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ด้วยเครื่อง XRD ที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ก) แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ก่อนทดลอง (ข) แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) หลังทดลอง (ค) แผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Ag/TiO₂) ก่อนทดลอง (ง) แผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Ag/TiO₂) หลังทดลอง

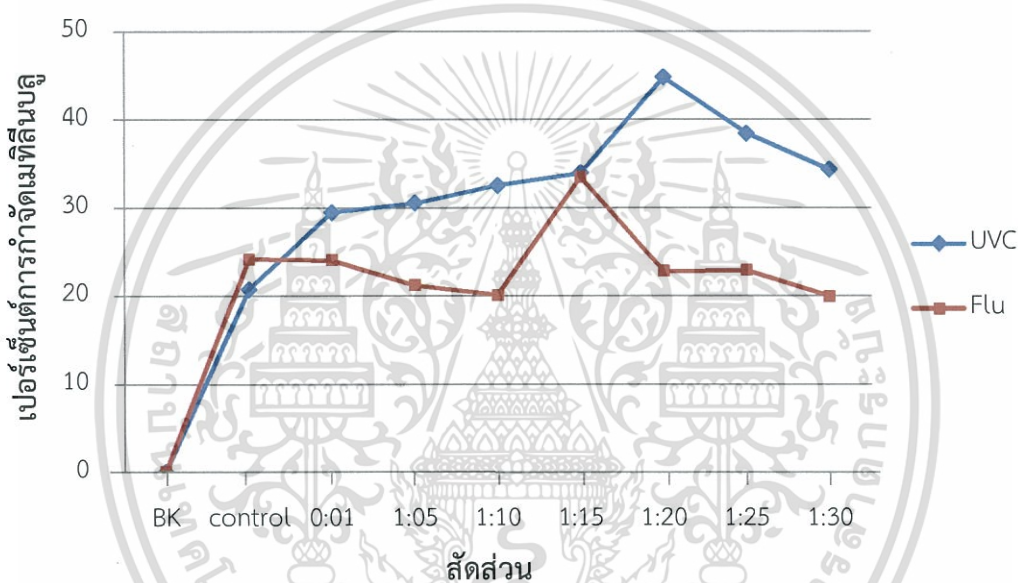
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 (ก) แสดงแผ่นลวดที่ชุบด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์ พบว่ามีอนุภาคสีขาวขุ่นเคลือบอยู่บนพื้นผิว ลักษณะค่อนข้างเรียบ แต่ยึดเกาะกับแผ่นลวดได้ไม่ดี สามารถหลุดลอกได้ง่าย เมื่อนำแผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์ไปทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสกับฟอร์มัลดีไฮด์ในสภาวะก๊าซภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ พบว่า อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์มีพื้นผิวขรุขระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข) สำหรับแผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ ($\text{Ag}:\text{TiO}_2$) ที่สัดส่วน 1:15 พบว่ามีอนุภาคสีขาวขุ่นของไทเทเนียมไดออกไซด์และอนุภาคสีเหลืองจำนวนเล็กน้อยของธาตุซิลเวอร์ (Ag^0) เคลือบอยู่บนพื้นผิว มีลักษณะขรุขระ และยึดเกาะกับแผ่นลวดได้ดีกว่าแผ่นลวดชุบไทเทเนียมไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากเกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ของธาตุซิลเวอร์ (Ag^0) ในการจับตัวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ค) เมื่อนำแผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ สัดส่วน 1:15 ไปทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสกับฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์พบว่า สีของตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น อาจเกิดเนื่องจากซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ของซิลเวอร์ไนเตรทไม่ถูกเปลี่ยนเป็นธาตุซิลเวอร์ (Ag^0) ทั้งหมดในระหว่างการสังเคราะห์ด้วย PVP ยังคงมีบางส่วนหลงเหลืออยู่เมื่อซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ถูกกระตุ้นด้วยแสงฟลูออเรสเซนต์ จะถูกเปลี่ยนเป็นธาตุซิลเวอร์ (Ag^0) ทำให้เกิดสีเหลืองเพิ่มขึ้นหลังจากทำปฏิกิริยา ดังแสดงรูปที่ 4.2 (ง)

4.3 ผลการศึกษาสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส เพื่อใช้ในการกำจัดสีเมทิลีนบลู

รูปที่ 4.3 แสดงผลการศึกษาการกำจัดสีเมทิลีนบลูโดยใช้แผ่นลวดที่ชุบ $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่สัดส่วนต่างๆ ได้แก่ 0:1, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25 และ 1:30 โดยน้ำหนัก โดยใช้หลอดยูวีซี (254 นาโนเมตร) 18 วัตต์ จำนวน 4 หลอด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค-1) พบว่า สามารถกำจัดสีเมทิลีนบลูได้ 29.45 ± 8.24 , 30.51 ± 4.66 , 32.52 ± 3.35 , 33.93 ± 4.27 , 44.77 ± 2.52 , 38.41 ± 5.15 และ 34.28 ± 4.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการกำจัดสีเมทิลีนบลูโดยใช้สัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 0:1, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25 และ 1:30 โดยน้ำหนัก โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (1,030 ลูเมน) 18 วัตต์ จำนวน 4 หลอด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า สามารถกำจัดสีเมทิลีนบลูได้ 24.03 ± 11.07 , 21.21 ± 5.57 , 20.08 ± 3.01 , 33.46 ± 1.73 , 22.81 ± 4.01 , 22.86 ± 2.52 และ 19.91 ± 5.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค-2) จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีเมทิลีนบลูด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสโดยใช้รังสียูวีซีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ เพิ่มขึ้น เนื่องจากธาตุซิลเวอร์ (Ag^0) จะเป็นสารเติมแต่ง (Filter) ช่วยให้ TiO_2 ทำงานได้ดีขึ้น และเมื่อสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ มากกว่า 1:20 โดยน้ำหนัก จะมีแนวโน้มการกำจัดสีเมทิลีนบลูลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของธาตุซิลเวอร์ (Ag^0) มากเกินไป จะบดบังแสงทำให้อนุภาคของไทเทเนียมไดออกไซด์มีการแตกตัวของไอออนลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีเมทิลีนบลูลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการกำจัดสีเมทิลีนบลูด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่เหมาะสมอยู่ที่ 1:15 ประสิทธิภาพการกำจัดสีเมทิลีนบลูโดยใช้รังสียูวีซีที่สัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ 1:20 โดยน้ำหนัก สามารถกำจัดได้ $44.77 \pm 2.52\%$ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดสีเมทิลีนบลูโดยใช้แสงฟลูออเรสเซนซ์ที่สัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ 1:15 โดยน้ำหนัก สามารถกำจัดได้ $33.46 \pm 1.73\%$ ซึ่งการใช้รังสียูวีซีมีประสิทธิภาพในการกำจัดเมทิลีนบลูสูงกว่าการใช้แสงฟลูออเรสเซนซ์อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากรังสียูวีซีมีพลังงานสูงจะไปกระตุ้นอิเล็กตรอน ทำให้เกิดช่องว่างอิเล็กตรอน และช่องว่างอิเล็กตรอนจะเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำและหมู่ไฮดรอกซิล (OH) เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\cdot) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง สามารถทำให้โมเลกุลของเมทิลีนบลูแตกตัวกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ (ชลดา, 2554)



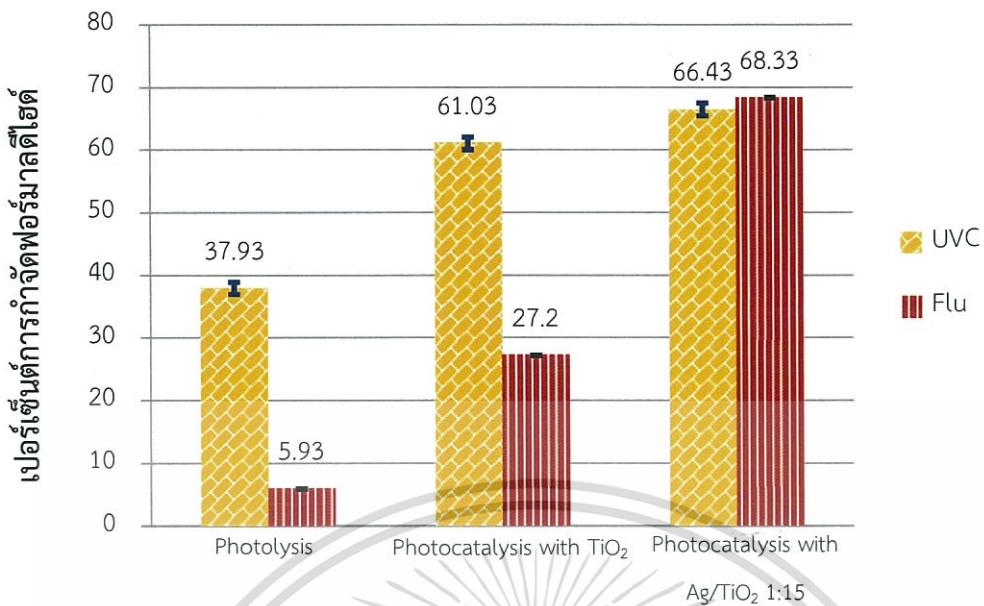
รูปที่ 4.3 สัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่เคลือบบนแผ่นลวดสแตนเลส ในการกำจัดสีเมทิลีนบลู ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดยใช้แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์

จากผลการศึกษาสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ในการกำจัดสีเมทิลีนบลู พบว่า สัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่เหมาะสมคือ 1:15 โดยน้ำหนัก จึงนำสัดส่วนที่เหมาะสมมาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ ได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดภาคผนวก ค-5) แสดงผลการกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ ด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสโดยใช้แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และซิลเวอร์-ไทเทเนียมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดออกไซด์ (Ag/TiO_2) ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ เปรียบเทียบกับปฏิกิริยาโฟโตไลซิสด้วยรังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ พบว่า การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศด้วยปฏิกิริยาโฟโตไลซิสด้วยรังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ เท่ากับ 37.93 ± 4.52 และ 5.93 ± 4.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย One way ANOVA และวิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference: LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดูรายละเอียดภาคผนวก จ-2.1) เนื่องจากรังสียูวีซีเป็นแสงที่มีพลังงานสูง สามารถแตกพันธะของฟอร์มาลดีไฮด์ได้ดีกว่าแสงฟลูออเรสเซนซ์ที่มีพลังงานต่ำกว่า ส่วนการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดยใช้แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์ ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ เท่ากับ 61.03 ± 5.39 และ 27.2 ± 1.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย One way ANOVA และวิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference: LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดูรายละเอียดภาคผนวก จ-2.2) เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยา เมื่อถูกรังสียูวีซีมากขึ้น จะปล่อย e^- และ h^+ โดย e^- จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (O_2^-) และทำการออกซิไดส์คาร์บอนในฟอร์มาลดีไฮด์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วน h^+ จะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำ โดยจะทำให้โมเลกุลของน้ำแตกตัวเป็นก๊าซไฮโดรเจน และไฮดรอกซิลเรดิคัล จะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนในองค์ประกอบของฟอร์มาลดีไฮด์เกิดเป็นน้ำ ส่วนแผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ เท่ากับ 66.43 ± 3.29 และ 68.33 ± 1.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย One way ANOVA และวิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference: LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดูรายละเอียดภาคผนวก จ-2.3) เนื่องจากเมื่อมีการเติมธาตุซิลเวอร์ (Ag^0) ลงบนไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ธาตุซิลเวอร์จะไปกระตุ้นให้เกิดการสั่นภายในโมเลกุล เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้ e^- กับไทเทเนียมไดออกไซด์ ส่งผลให้ระดับพลังงานของไทเทเนียมไดออกไซด์ลดลง ช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์ได้ ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศภายใต้แสงฟลูออเรสเซนซ์มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับรังสียูวีซี นั่นคือการใช้ Ag/TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศสามารถใช้แสงฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งเป็นแสงความยาวคลื่นยาวและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์แทนรังสียูวีซีซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดยใช้แผ่นหลอดไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ เปรียบเทียบกับโฟโตไลซิส

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สัดส่วนของสารเร่งปฏิกิริยา Ag_2TiO_2 ที่เหมาะสมในการกำจัดสีเมทิลีนบลู ด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์

สัดส่วนของสารเร่งปฏิกิริยา Ag_2TiO_2 ที่เหมาะสมในการกำจัดสีเมทิลีนบลู ด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง คือ ที่สัดส่วน Ag_2TiO_2 1:20 และ 1:15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยสามารถกำจัดสีเมทิลีนบลูได้ 44.77 ± 2.52 เปอร์เซ็นต์ และ 33.46 ± 1.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5.1.2 การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดยใช้แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์และแผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์

- การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ ที่อัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บ (retention time) 10 นาที ภายใต้รังสียูวีซี พบว่า แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์และแผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (สัดส่วน Ag_2TiO_2 1:15 โดยน้ำหนัก) สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศได้ใกล้เคียงกัน นั่นคือ แผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ 61.03 ± 5.39 เปอร์เซ็นต์ และแผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ 66.43 ± 3.29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jin Y. *et al.* (2012)

- การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศ ที่อัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บ (retention time) 10 นาที ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ พบว่า แผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (สัดส่วน Ag_2TiO_2 1:15 โดยน้ำหนัก) มีประสิทธิภาพดีกว่าแผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์ ประมาณ 2 เท่า โดยแผ่นลวดไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ 27.20 ± 1.81 เปอร์เซ็นต์ และแผ่นลวดซิลเวอร์ต่อไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ 68.33 ± 1.15 เปอร์เซ็นต์

- การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศด้วย โดยใช้แผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ (สัดส่วน Ag_2TiO_2 1:15 โดยน้ำหนัก) ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการแปรค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศที่ความเข้มข้นต่างๆ
2. ควรศึกษาการแปรค่าความเข้มข้นของรังสีที่ใช้ในปฏิกิริยาที่ความเข้มแสงต่างๆ ต่อการบำบัดและเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟอร์มัลดีไฮด์ในอากาศ
3. ควรศึกษาการบำบัดมลพิษอากาศอื่น ๆ โดยใช้แผ่นลวดซิลเวอร์-ไทเทเนียมไดออกไซด์ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. คู่มือการจัดการสารเคมีอันตรายสูงฟอร์มัลดีไฮด์. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. [Online]. Available: <http://php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/formaldehyde.pdf> หน้า 91-92
- เกรียงไกร ทองลิ้ม, ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล และ สิริลักษณ์ เจียรากร. 2558. “ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์มกรองแสงเคลือบด้วยฟิล์มไททานเนียมและเงิน.” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. The National Graduate Research Conference 34th. PMO2. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- เคมีครัวเรือน. 2560. “หลอดฟลูออเรสเซนต์/หลอดนีออน ข้อดี และอันตรายจากหลอดฟลูออเรสเซนต์.” [Online]. Available: <http://www.siamchemi.com>. สืบค้นวันที่ 14 ตุลาคม 2560
- เคมีอุตสาหกรรม. 2560. “ไททานเนียมไดออกไซด์/TiO₂ และประโยชน์ไททานเนียมไดออกไซด์.” [Online]. Available: <http://www.siamchemi.com/>. สืบค้นวันที่ 14 ตุลาคม 2560
- จิตรา. 2555. “รังสีอัลตราไวโอเล็ต.” [Online]. Available: <http://www.thaigoodview.com/node/129218>. สืบค้นวันที่ 16 ตุลาคม 2560
- จุฬารัตน์. 2555. พิษจากสารฟอร์มัลดีไฮด์. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ. [Online]. Available: <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item>.
- ชตานุช กันตระกุล. 2557. โครงสร้างและคุณสมบัติของผลึกไททานเนียม. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา.
- ชลดา ธีรการุณวงศ์. 2554. ปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, นครสวรรค์. ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน
- ชนพงศ์ แสงส่องสิน. 2560. “Formaldehyde.” มูลนิธิสัมมาอาชีวะ. [Online]. Available: http://www.summacheeva.org/index_thaitox_formaldehyde.htm. สืบค้นวันที่ 16 ตุลาคม 2560
- บังอร ฉางทรัพย์. 2558. ฟอร์มัลดีไฮด์/ฟอร์มัลลิน ภัยร้ายใกล้ตัว. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ สมุทรปราการ ฉบับที่ 1. หน้า 2-8
- ศุภกานต์ แก้วรัชพันธ์. 2554. “หลอดไฟโซเดียม.” จังหวัดสงขลา. [Online]. Available: <http://supakankeewredchapan.blogspot.com>. สืบค้นวันที่ 14 ตุลาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สถาบันมะเร็งแห่งชาติ. 2554. **ฟอร์มาลดีไฮด์และความเสี่ยงมะเร็ง**. สถาบันมะเร็งแห่งชาติที่สถาบันสุขภาพแห่งชาติ.
- สรรรค์ จิตรไคร์ครวญ. 2552. **การทำความสะอาดโดยตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงด้วยไททาเนียมไดออกไซด์**. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. หน้า 21-22
- สุพิณ แสงสุข. 2550. **“ไทเทเนียมไดออกไซด์”** นักวิจัยสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร. [Online]. Available: http://www.material.chula.ac.th/Articles/Ti_.html
- อานนท์ จริญญาเศรษฐ์. 2560. **วิทยานิพนธ์เรื่อง “การกำจัดสารละลายลิเนียแอลคิลเบนซีนซัลโฟเนตและออร์โธฟอสเฟต ด้วยไทเทเนียมไดออกไซด์โฟโตคะตะลิสต์”** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร. KMITL-2017-SC-M-016-022
- อัญชลี. 2560. **“รังสีอัลตราไวโอเล็ต/รังสียูวี (UV) และอันตรายจากรังสียูวี”** [Online]. Available: <http://www.siamchemi.com/> สืบค้นวันที่ 17 ตุลาคม 2560
- Bagheri M., Eskandari Z., Talaiekhosravi A., Talaei M. R. and Salari M. 2016. **“Formaldehyde removal from wastewater and air by using UV, ferrate(VI) and UV/ferrate(VI)”** University of Isfahan, Isfahan, Iran. *Journal of Environmental Management* 184: 204-209
- Chang C. C., Chang C. T. Chang C. Y. Chiou C. S. Lee C. H. and Shie J. L. 2007. **“Photodegradation kinetics of formaldehyde using light sources of UVA, UVC and UVLED in the presence of composed silver titanium oxide photocatalyst”** Department of Environmental Engineering, National I-Lan University, Taiwan. *Journal of Hazardous Materials* 155: 164-172
- Chen K., Feng X., Li Y. and Tian H.. 2014. **“Silver-decorated titanium dioxide nanotube arrays with improved photocatalytic activity for visible light irradiation.”** *Journal of Materials Research*, Cambridge Core: 1302-1308
- Choojun K., Prasansang W. and Sriwong C. 2017. **“Effect of Synthesized Ag Nanoparticles by Using the Different Amounts of Polyvinylpyrrolidone for Ag-Natural Rubber Hybrid Sheets and their Antibacterial Properties.”** Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. *Key Engineering Materials* ISSN: 1662-9795, Vol. 751: เอกสารนี้เป็น 270-276
- สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- De Luna M. D. G., Laciste M. T., Lu M. C. and Tolosa N. 2017. "Degradation of gaseous formaldehyde via visible light photocatalysis using multi-element doped titania nanoparticles." College of Engineering, University of the Philippines, Philippines. *Chemosphere* 182: 174-182
- Flinn Scientific. **Laboratory Solution Preparation.** [Online]. Available: <https://www.flinnsci.com/api/library/Download/18ce587821c24fb3b0ad7d878bd6a3d9>
- Gonzalez-Perez A. and Persson K. M.. 2016. "Bioinspired Materials for Water Purification." Department of Water Resources Engineering, Lund University, Sweden. *Materials* 9(6), 447; doi:10.3390/ma9060447 Review.
- He Z., Cai Q., Fang H., Situ G., Qiu J., Song S. and Chen J.. 2013. "Photocatalytic Activity of TiO₂ Containing Anatase Nanoparticles and Rutile Nanoflower Structure Consisting of Nanorods". *Journal of Environmental Science*. 25(12): 2460-2468
- Jin Y., Li J. and Liang W. 2011. "Photo-catalytic degradation of gaseous formaldehyde by TiO₂/UV, Ag/TiO₂/UV and Ce/TiO₂/UV." College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, China. *Building and Environment* 51: 345-350
- Kawakami Y., Maruo Y. Y., Nakagawa T. and Saito H. 2015. "A screening method for detecting formaldehyde emitted from textile products." Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University. Japan. *Journal of ScienceDirect Measurement* 62: 41-46.
- Lua Y. W., Wanga M. Y., Yang C. X. and Zhang X. J.. 2015. "Photocatalytic Decomposition of Formaldehyde by Combination of Ozone and AC Network with UV365nm, UV254nm and UV254+185nm." College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, China. *Procedia Engineering* Volume 121, 521-527



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก-1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย (Flinn Scientific)

ก-1.1. สต็อกกรดอะซิติก เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

ปิเปตกรดอะซิติก เข้มข้น 99.85 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ 2.86 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ก-1.2. สารละลายแอสซิโตน เข้มข้น 9 เปอร์เซ็นต์

ตวงแอสซิโตน เข้มข้น 90 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ มา 200 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 2,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ก-1.3. สต็อกแอสซิติกแอสซิโตน เข้มข้น 0.02 โมลต่อลิตร

ปิเปตแอสซิติกแอสซิโตน เข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ 2.06 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ก-1.4. สต็อกแอมโมเนียมแอสซิเตท เข้มข้น 1.89 โมลต่อลิตร

ชั่งแอมโมเนียมแอสซิเตท 145.6812 กรัม ใส่ปิกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ตวงน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนให้สารละลาย เติสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ก-1.5. สต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ เข้มข้น 500 พีพีเอ็ม

ปิเปตสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ เข้มข้น 36.5-38 เปอร์เซ็นต์ เกรดวิเคราะห์ 1.59 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ก-1.6. สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ เข้มข้น 5 พีพีเอ็ม

ปิเปตสต็อกฟอร์มาลดีไฮด์ เข้มข้น 500 พีพีเอ็ม 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ก-1.7. สารละลายไอโอดีน เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร

ชั่งไอโอดีน 12.69 กรัม ใส่ปิกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร ตวงน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ใส่ในปิกเกอร์ ปั่นจนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เก็บสารไว้ในขวดสีชา ห่อฟรอยด์ให้สนิท เก็บไว้ในที่พ้นแสง

ก-1.8. สต็อกเมทิลีนบลู เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งเมทิลีนบลู 0.05 กรัม ใส่ปิกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เติสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เติสารละลายเก็บไว้ในขวดสีชา เก็บไว้ในที่พ้นแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1.9. สารละลายเมทิลีนบลู เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสต็อกเมทิลีนบลู เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 40 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 2,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา ท่อฟรอยด์ให้สนิท และควรเก็บไว้ในที่พ้นแสง

ก-1.10. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 56.10 กรัม ใส่บีกเกอร์ ตวงน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนจนสารละลาย เทสารใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ก-1.11. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (Choojun K. *et al*, 2017)

1. ชั่งซิลเวอร์ไนเตรท 0.30XX กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ตวงน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ คนให้สารละลายเข้ากัน
2. ชั่งพอลิไวนิลไพโรลิโดน 0.225X กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วตวงน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ คนให้สารละลายเข้ากัน
3. เทสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทที่เตรียมไว้ ลงในสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน นำสารละลายไปเข้าตู้อบไมโครเวฟ ที่ความร้อน 300 วัตต์ เป็นเวลา 90 วินาที โดยจะหยุดพัก ทุกๆ 15 วินาที สารละลายที่ได้จะเป็นสีเหลืองแกมน้ำตาล ปิเปตสารละลายที่ได้ใส่ขวดแก้วแช่ที่อุณหภูมิ 4°C

ก-1.12. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

ชั่งโซเดียมไทโอซัลเฟต 15.511X กรัม ใส่บีกเกอร์ ตวงน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร คนจนสารละลาย เทใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ก-1.13. สารดูดซึมสำหรับวิเคราะห์ฟอร์มาลดีไฮด์ (Kawakami Y. *et al.*, 2015)

สารดูดซึมประกอบด้วย แอมโมเนียแอซิเตทเข้มข้น 1.89 โมลต่อลิตร, สต็อกกรดอะซิติกเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร และสารละลายแอซิติลแอซิโตนเข้มข้น 0.02 โมลต่อลิตร ผสมกันในสัดส่วน 1:1:1

ภาคผนวก ก-2 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ก-2.1. สารละลายมาตรฐานเมทิลีนบลู เข้มข้น 0, 0.5, 1, 1.5 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสต็อกเมทิลีนบลู 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 0, 1, 2, 3 และ 4 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ก-2.2. สารละลายมาตรฐานฟอร์มัลดีไฮด์ เข้มข้น 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม

ปิเปตสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ เข้มข้น 500 พีพีเอ็ม มา 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารดูดซึ่ม

ภาคผนวก ก-3 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท

1. ชั่งพอลิไวนิลไพโรลิโดน 0.225X กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วตวงน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร ใส่ลงไป คนให้ละลายเข้ากัน นำสารละลายไปเข้าตู้อบไมโครเวฟ ที่ความร้อน 300 วัตต์ 90 วินาที โดยจะหยุดพัก ทุกๆ 15 วินาที
2. นำกระจกนาฬิกา อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักกระจกนาฬิกาที่แน่นอน ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ 1,000 ไมโครลิตร ใส่ลงในกระจกนาฬิกา อันที่ 1 ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ 1,000 ไมโครลิตร ใส่ลงในกระจกนาฬิกา อันที่ 2
3. นำกระจกนาฬิกาทั้ง 2 อัน อบที่ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ชั่ง น้ำหนักกระจกนาฬิกาอีกครั้ง คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายซิลเวอร์

ภาคผนวก ก-4 หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ เข้มข้น 36.5-38% (Kawakami Y. *et al.*, 2015)

1. ชั่งสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ เข้มข้น 36.5-38% 1.0XXX กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. ปิเปตสารละลายที่เตรียมไว้ 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. ตวงสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร 20 มิลลิลิตร ตวงสารละลายไอโอดีน เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร 50 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที
4. ตวงกรดซัลฟูริก เข้มข้น 18.01 โมลต่อลิตร 15 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
5. นำมาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร จนเป็นสีเหลืองอ่อน หยดน้ำแฉ่ง 2-3 หยด แล้วนำไปไทเทรตต่อ จนสารเปลี่ยนจากสีครามเป็นใส
6. คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ เข้มข้น 36.5-38%

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข-1 การคำนวณอัตราส่วนปริมาณนาเทสกับรูไทล์

$$\frac{\text{ปริมาณรูไทล์}}{\text{ปริมาณนาเทส}} = \frac{58}{339} = 0.1742$$

อัตราส่วนปริมาณนาเทสต่อรูไทล์ เท่ากับ 0.8258 : 0.1742 หรือเท่ากับ 82.58 : 17.52 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ข-2 การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของ Ag-NP (g/mL)} &= \text{น้ำหนักของ Ag-NR} - \text{น้ำหนักของ PVP} \\ \text{ความเข้มข้นของ Ag-NP (mol/L)} &= \frac{\text{น้ำหนักของ Ag-NP (g/mL)} \times 1000 \text{ mL}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลของซิลเวอร์ (g/mol)}} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข-3 การคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับสีของเมทิลีนบลู

1. คำนวณหาความเข้มข้นของเมทิลีนบลู

$$\text{สมการเส้นตรง } y = mx + b$$

$$\text{ความเข้มข้น} = (y - b) / m$$

$$\text{เมื่อ } y = \text{ค่าการดูดกลืนแสง}$$

$$b = \text{ค่าคงที่}$$

$$m = \text{ความชัน}$$

2. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง

$$\% \text{Adsorption} = \frac{(C_i - C_e)}{C_e} \times 100$$

$$\text{เมื่อ } C_i = \text{ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/L)}$$

$$C_e = \text{ความเข้มข้นสุดท้าย (mg/L)}$$

3. คำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับสีของเมทิลีนบลู

$$q_e \text{ (mg/g)} = \frac{(C_i - C_e)}{W} \times V$$

$$\text{เมื่อ } q_e = \text{ความสามารถในการดูดซับสี (mg/g)}$$

$$C_i = \text{ความเข้มข้นเริ่มต้น (mg/L)}$$

$$C_e = \text{ความเข้มข้นสุดท้าย (mg/L)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W = น้ำหนักของสาร (g)

V = ปริมาตรของสีย้อม (mL)

ตัวอย่างการคำนวณ ข-3 (Abs.=0.107)

จากสมการเส้นตรง $y = 0.2122x + 0.0008$

$$\text{ความเข้มข้น} = \frac{0.107 - 0.0008}{0.2122} = 0.5005 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{Adsorption} = \frac{0.9482 - 0.5005}{0.5005} \times 100 = 89.45\%$$

$$q_e = \frac{0.9482 - 0.5005}{1.0025 + 0.0005} \times 30 = 13.34 \text{ mg/g}$$

ภาคผนวก ข-4 คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 36.5-38 เปอร์เซ็นต์ (Kawakami Y. *et al.*, 2015)

$$C_p = 1.5013 \times (V_1 - V_2) \times \frac{f}{1000} \times \frac{100}{10} \times \frac{1}{m} \times 100$$

เมื่อ C_p = ความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ (เปอร์เซ็นต์)
 1.5013 = สัดส่วนของฟอร์มาลดีไฮด์ที่เท่ากับสารละลายไอโอดีน (มิลลิกรัม)
 V_1 = ปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรตเบลงค์ (มิลลิลิตร)
 V_2 = ปริมาตรของโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
 f = น้ำหนักของโซเดียมไทโอซัลเฟต (กรัม)
 m = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ ข-4

$V_1 = 2.03 \text{ mL}$

$V_2 = 0.63 \text{ mL}$

$f = 15.5491 \text{ g}$

$m = 1.0366 \text{ g}$

$$C_p = 1.5013 \times (2.03 - 0.63) \times \frac{15.5491}{1000} \times \frac{100}{10} \times \frac{1}{1.0366} \times 100 = 31.53\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-5 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์

1. การคำนวณ Retention time (RT)

$$RT \text{ (min)} = V \text{ (cm}^3\text{)} / \text{Flow rate (mL/min)}$$

2. การคำนวณหาความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์

$$\text{สมการเส้นตรง} \quad y = mx + b$$

$$\text{ความเข้มข้น} = (y - b) / m$$

เมื่อ $y =$ ค่าการดูดกลืนแสง

$b =$ ค่าคงที่

$m =$ ความชัน

3. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัด

$$\% \text{Removal} = (C_i - C_f) \times 100$$

เมื่อ $C_i =$ ความเข้มข้นเริ่มต้น (ppm)

$C_f =$ ความเข้มข้นสุดท้าย (ppm)

4. คำนวณหาค่าความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์สุทธิ

ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์สุทธิ = ความเข้มข้นของตัวอย่าง - ความเข้มข้นของแบลงค์

ตัวอย่างการคำนวณ ข-5 (ตัวอย่างที่ 3 ซ้ำที่ 1 ของรังสี UV)

$$\text{Abs. in} = 0.17 \quad \text{Abs. out} = 0.017$$

$$RT \text{ (min)} = \frac{6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} \times 26.5 \text{ cm}}{300 \text{ mL/min}} = 3.18 \text{ min}$$

$$\text{จากสมการเส้นตรง} \quad y = 0.2437x$$

$$\text{ความเข้มข้นเข้า} = 0.17 / 0.2437 = 0.6976 \text{ ppm}$$

$$\text{ความเข้มข้นออก} = 0.017 / 0.2437 = 0.0690 \text{ ppm}$$

$$\% \text{Removal} = (0.6976 - 0.0690) \times 100 = 62.90\%$$

$$\text{ความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์สุทธิ} = 0.6290 - 0.3740 = 0.2550 \text{ ppm}$$

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค-1 ผลการทดลองแผ่นลดซับตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้รังสียูวีซี ในการกำจัดเมทิลีนบลู

ชื่อตัวอย่าง	ซ้ำที่	สัดส่วน Ag:TiO ₂	Abs.	ความเข้มข้น (mg/l)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (mg/l)	การกำจัด (%)	ค่าเฉลี่ยการกำจัด (%)	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
ความ เข้มข้น เริ่มต้น	1	-	0.202	0.9482	0.9482	-	-	-
	2		0.202	0.9482				
	3		0.202	0.9482				
	4		0.202	0.9482				
	5		0.202	0.9482				
Control	1	0:0	0.158	0.7408	0.7408	20.74	20.74	0.00
	2		0.158	0.7408				
	3		0.158	0.7408				
	4		0.158	0.7408				
	5		0.158	0.7408				
TiO ₂	1	0:1	0.146	0.6843	0.6536	26.39	29.45	8.75
	2		0.153	0.7172		23.09		
	3		0.108	0.5052		44.30		
	4		0.128	0.5994		34.87		
	5		0.131	0.6136		33.46		

ภาคผนวก ค-1 (ต่อ) ผลการทดลองแผ่นลดชุดตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้รังสียูวีซี ในการกำจัดเมทิลีนบลู

ชื่อตัวอย่าง	ซ้ำที่	สัดส่วน Ag:TiO ₂	Abs.	ความเข้มข้น (mg/l)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (mg/l)	การกำจัด (%)	ค่าเฉลี่ยการกำจัด (%)	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
Ag:TiO ₂	1	1:5	0.132	0.6183	0.6430	32.99	30.51	8.98
	2		0.142	0.6654		28.28		
	3		0.135	0.6324		31.57		
	4		0.117	0.5476		40.06		
	5		0.140	0.6560		29.22		
Ag:TiO ₂	1	1:10	0.127	0.5947	0.6230	35.34	32.52	9.61
	2		0.141	0.6607		28.75		
	3		0.126	0.5900		35.82		
	4		0.140	0.6560		29.22		
	5		0.131	0.6136		33.46		
Ag:TiO ₂	1	1:15	0.128	0.5994	0.6089	34.87	33.93	10.08
	2		0.132	0.6183		32.99		
	3		0.130	0.6089		33.93		
	4		0.130	0.6089		33.93		
	5		0.110	0.5146		43.36		

ภาคผนวก ค-1 (ต่อ) ผลการทดลองแผ่นลวดชุบตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้รังสียูวีซี ในการกำจัดเมทิลีนบลู

ชื่อตัวอย่าง	ซ้ำที่	สัดส่วน Ag:TiO ₂	Abs.	ความเข้มข้น (mg/l)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (mg/l)	การกำจัด (%)	ค่าเฉลี่ยการกำจัด (%)	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
Ag:TiO ₂	1	1:20	0.105	0.4910	0.5005	45.71	44.77	13.34
	2		0.113	0.5287		41.94		
	3		0.110	0.5146		43.36		
	4		0.099	0.4628		48.54		
	5		0.108	0.5052		44.30		
Ag:TiO ₂	1	1:25	0.115	0.5382	0.5641	41.00	38.41	11.61
	2		0.126	0.5900		35.82		
	3		0.123	0.5759		37.23		
	4		0.118	0.5523		39.59		
	5		0.098	0.4581		49.01		
Ag:TiO ₂	1	1:30	0.131	0.6136	0.6053	33.46	34.28	10.36
	2		0.121	0.5664		38.17		
	3		0.111	0.5193		42.88		
	4		0.129	0.6041		34.40		
	5		0.136	0.6371		31.10		

ภาคผนวก ค-2 ผลการทดลองแผ่นลวดชุบตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู

ชื่อตัวอย่าง	ซ้ำที่	สัดส่วน Ag:TiO ₂	Abs.	ความเข้มข้น (mg/l)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (mg/l)	การกำจัด (%)	ค่าเฉลี่ยการกำจัด (%)	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
ความเข้มข้น เริ่มต้น	1	-	0.202	0.9482	0.9529	-	-	-
	2		0.209	0.9811				
	3		0.206	0.9670				
	4		0.196	0.9199				
	5		0.202	0.9482				
Control	1	0:0	0.160	0.7502	0.7116	20.26	24.13	0.00
	2		0.153	0.7172		23.56		
	3		0.144	0.6748		27.80		
	4		0.143	0.6701		28.28		
	5		0.159	0.7455		20.74		
TiO ₂	1	0:1	0.152	0.7125	0.7125	24.03	24.03	7.17
	2		0.101	0.4722		48.07		
	3		0.158	0.7408		21.21		
	4		0.155	0.7267		22.62		
	5		0.143	0.6701		28.28		

ภาคผนวก ค-2 (ต่อ) ผลการทดลองแผ่นลวดชุบตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู

ชื่อตัวอย่าง	ซ้ำที่	สัดส่วน Ag:TiO ₂	Abs.	ความเข้มข้น (mg/l)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (mg/l)	การกำจัด (%)	ค่าเฉลี่ยการกำจัด (%)	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
Ag:TiO ₂	1	1:5	0.161	0.7549	0.7408	19.79	21.21	6.35
	2		0.159	0.7455		20.74		
	3		0.156	0.7314		22.15		
	4		0.132	0.6183		33.46		
	5		0.156	0.7314		22.15		
Ag:TiO ₂	1	1:10	0.168	0.7879	0.7521	16.49	20.08	5.93
	2		0.156	0.7314		22.15		
	3		0.164	0.7691		18.38		
	4		0.162	0.7597		19.32		
	5		0.152	0.7125		24.03		
Ag:TiO ₂	1	1:15	0.136	0.6371	0.6183	31.57	33.46	9.86
	2		0.129	0.6041		34.87		
	3		0.129	0.6041		34.87		
	4		0.13	0.6089		34.40		
	5		0.136	0.6371		31.57		

ภาคผนวก ค-2 (ต่อ) ผลการทดลองแผ่นลวดชุบตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนต่างๆ ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู

ชื่อตัวอย่าง	ซ้ำที่	สัดส่วน Ag:TiO ₂	Abs.	ความเข้มข้น (mg/l)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (mg/l)	การกำจัด (%)	ค่าเฉลี่ยการกำจัด (%)	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
Ag:TiO ₂	1	1:20	0.153	0.7172	0.7248	23.56	22.81	6.64
	2		0.160	0.7502		20.26		
	3		0.156	0.7314		22.15		
	4		0.141	0.6607		29.22		
	5		0.163	0.7644		18.85		
Ag:TiO ₂	1	1:25	0.153	0.7172	0.7243	23.56	22.86	6.77
	2		0.170	0.7785		17.44		
	3		0.153	0.7172		23.56		
	4		0.156	0.7314		22.15		
	5		0.156	0.7314		22.15		
Ag:TiO ₂	1	1:30	0.167	0.7832	0.7538	16.97	19.91	5.81
	2		0.164	0.7691		18.38		
	3		0.14	0.6371		31.57		
	4		0.156	0.7314		22.15		
	5		0.156	0.7314		22.15		

ภาคผนวก ค-3 พารามิเตอร์สำหรับการคำนวณค่าความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์

ชื่อตัวอย่าง	สัดส่วน Ag:TiO ₂	ซ้ำที่	Flow (mL/min)	อุณหภูมิของฟอร์มัลดีไฮด์ (°C)	อุณหภูมิบรรยากาศ (°C)	ความดันบรรยากาศ (hPa)
Photolysis-UVC	0:0	1	315.51	58.50	30.25	1012.0
		2	298.94	58.50	30.75	1012.0
		3	315.09	58.50	31.00	1012.0
Photolysis-Flu	0:0	1	321.16	58.50	31.00	1011.0
		2	328.72	59.50	31.00	1011.5
		3	325.49	58.50	30.00	1011.0
UVC/TiO ₂	0:1	1	294.44	58.50	30.00	1011.0
		2	378.14	58.50	30.00	1011.0
		3	311.84	58.50	30.50	1011.5
Flu/TiO ₂	0:1	1	323.95	59.00	32.00	1011.0
		2	317.04	59.00	31.50	1011.0
		3	325.27	59.00	31.00	1011.0
UVC/TiO ₂ -Ag	1:15	1	343.50	59.00	30.50	1012.0
		2	306.27	59.00	30.50	1012.0
		3	333.78	58.50	31.50	1012.0
Flu/TiO ₂ -Ag	1:15	1	308.50	58.50	29.75	1012.0
		2	301.51	59.00	30.00	1012.0
		3	331.03	58.50	30.00	1012.0

ภาคผนวก ค-4 ค่าที่ได้จากการทดลองสำหรับคำนวณความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์

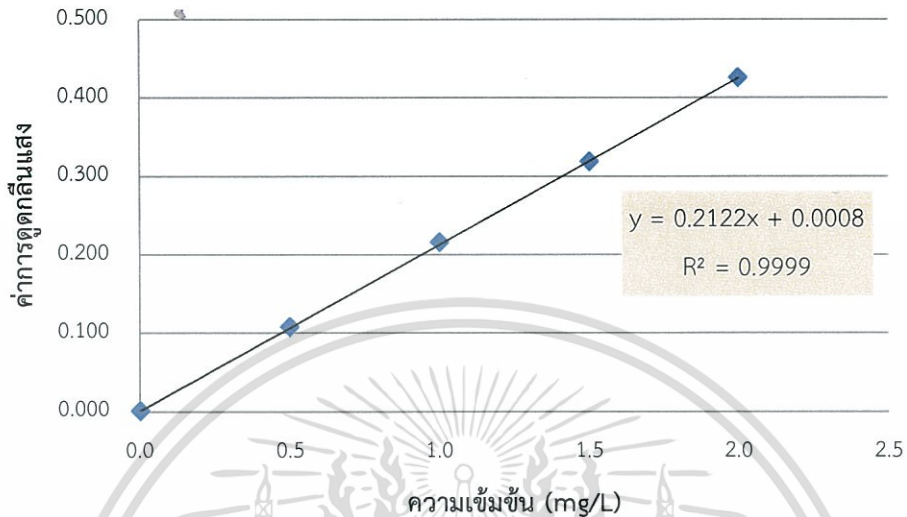
ชื่อตัวอย่าง	ซ้ำที่	Abs. เริ่มต้น	Abs. ที่เหลือ	Abs. ออกจากระบบ	Abs. เข้าระบบ	Abs. ที่กำจัดได้
Photolysis-UVC	1	1.13	0.94	0.099	0.190	0.091
	2	1.13	0.95	0.098	0.180	0.082
	3	1.13	0.93	0.096	0.200	0.104
Photolysis-Flu	1	1.13	0.97	0.135	0.160	0.025
	2	1.13	0.93	0.195	0.200	0.005
	3	1.13	0.91	0.207	0.220	0.013
UVC/TiO ₂	1	1.19	0.82	0.218	0.370	0.152
	2	1.19	0.85	0.203	0.340	0.137
	3	1.19	0.82	0.224	0.370	0.146
Flu/TiO ₂	1	1.19	1.07	0.049	0.120	0.071
	2	1.19	1.08	0.048	0.110	0.062
	3	1.19	1.08	0.044	0.110	0.066
UVC/TiO ₂ -Ag	1	1.13	0.96	0.017	0.170	0.153
	2	1.13	0.94	0.021	0.190	0.169
	3	1.13	0.94	0.027	0.190	0.163
Flu/TiO ₂ -Ag	1	1.13	0.94	0.022	0.190	0.168
	2	1.13	0.94	0.027	0.190	0.163
	3	1.13	0.96	0.022	0.170	0.148

ภาคผนวก ค-5 ผลการทดลองการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์

ชื่อตัวอย่าง	ซ้ำที่	ความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มต้น (ppm)	ความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือ (ppm)	ความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ออกจากระบบ (ppm)	ความเข้มข้นของ ฟอร์มาลดีไฮด์ที่เข้าระบบ (ppm)	การ กำจัด (%)	ค่าเฉลี่ยการ กำจัด (%)
Photolysis-UVC	1	4.6368	3.8572	0.4060	0.7796	37.4	37.93
	2	4.6368	3.8982	0.4020	0.7386	33.7	
	3	4.6368	3.8162	0.3940	0.8207	42.7	
Photolysis-Flu	1	4.6368	3.9803	0.5540	0.6565	10.3	5.93
	2	4.6368	3.8162	0.8000	0.8207	2.1	
	3	4.6368	3.7341	0.8490	0.9027	5.4	
UVC/TiO ₂	1	4.8831	3.3648	0.8940	1.5183	66.9	61.03
	2	4.8831	3.4879	0.8320	1.3952	56.3	
	3	4.8831	3.3648	0.9190	1.5183	59.9	
Flu/TiO ₂	1	4.8831	4.3906	0.2010	0.4924	29.1	27.20
	2	4.8831	4.4317	0.1960	0.4514	25.5	
	3	4.8831	4.4317	0.1810	0.4514	27	
UVC/TiO ₂ -Ag	1	4.6368	3.9393	0.0690	0.6976	62.9	66.43
	2	4.6368	3.8572	0.0860	0.7796	69.4	
	3	4.6368	3.8572	0.1100	0.7796	67	
Flu/TiO ₂ -Ag	1	4.6368	3.8572	0.0900	0.7796	69	68.33
	2	4.6368	3.8572	0.1100	0.7796	67	
	3	4.6368	3.9393	0.0900	0.6976	69	

ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง-1 กราฟมาตรฐานสารละลายเมทิลีนบลู



รูปที่ ง-1 กราฟมาตรฐานสารละลายเมทิลีนบลู

ตาราง ง-1 ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลู ที่ความเข้มข้นต่างๆ

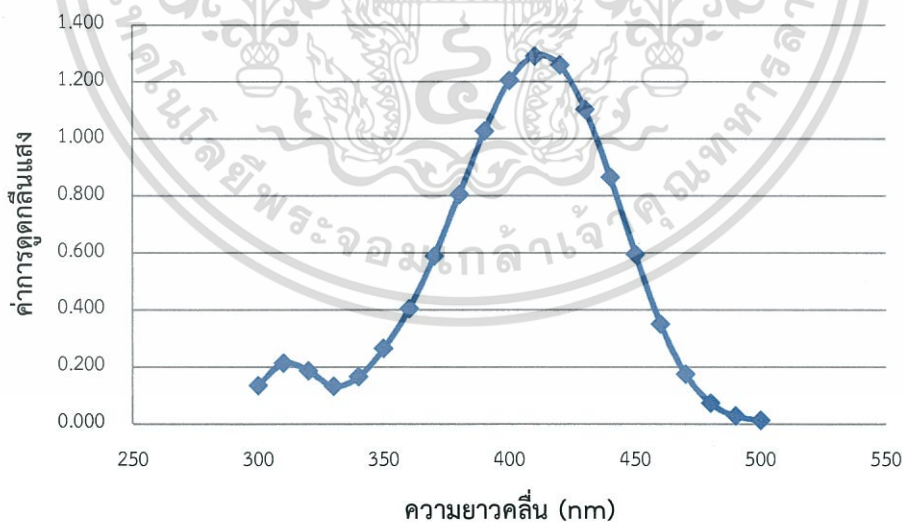
ความเข้มข้น (mg/L)	Abs.
0.00	0.000
0.50	0.107
1.00	0.215
1.50	0.318
2.00	0.425

ภาคผนวก ง-2 ค่าการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์
36.5-38 เปอร์เซ็นต์

ตาราง ง-2 ค่าการไทเทรตหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 36.5-38%

	ปริมาณ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (mL)	mean
BLK 1	0.00 - 2.00	2.03
BLK 2	2.50 - 4.50	
BLK 3	5.00 - 7.10	
Sample 1	9.50 - 10.20	0.63
Sample 2	11.00 - 11.60	
Sample 3	12.00 - 12.60	

ภาคผนวก ง-3 กราฟค่าดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-500 นาโนเมตร
ของฟอร์มาลดีไฮด์



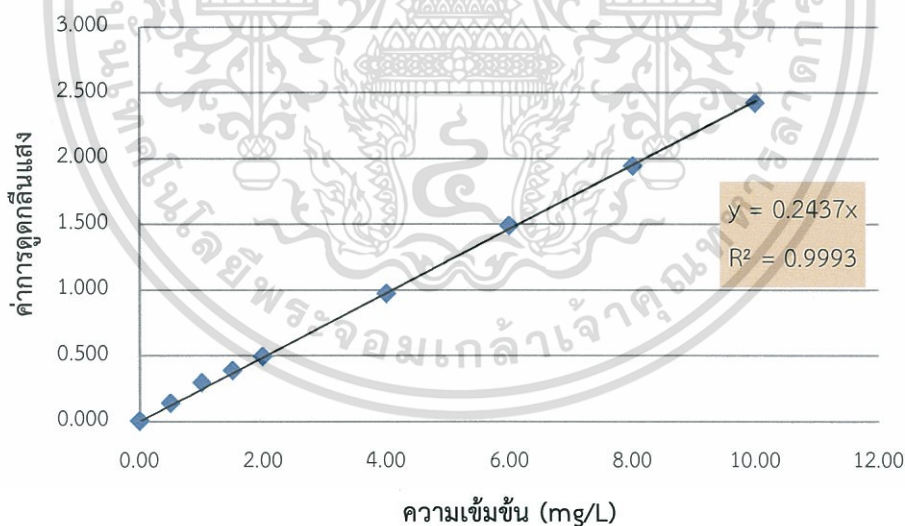
รูปที่ ง-3 กราฟค่าดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-500 nm ของฟอร์มาลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-3 ค่าดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-500 nm ของฟอร์มัลดีไฮด์

ความยาวคลื่น (nm)	Abs.	ความยาวคลื่น (nm)	Abs.
300	0.134	410	1.291
310	0.212	420	1.258
320	0.185	430	1.103
330	0.131	440	0.864
340	0.165	450	0.595
350	0.263	460	0.350
360	0.403	470	0.174
370	0.587	480	0.072
380	0.805	490	0.027
390	1.026	500	0.012
400	1.204		

ภาคผนวก ง-4 กราฟมาตรฐานสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์



รูปที่ ง-4 กราฟมาตรฐานสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-4 ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์

ความเข้มข้น (ppm)	Abs.
0.00	0.000
0.50	0.139
1.00	0.292
1.50	0.385
2.00	0.492
4.00	0.970
6.00	1.489
8.00	1.943
10.00	2.419

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ภาคผนวก จ-1 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของ Ag:TiO₂ ที่สัดส่วนต่างๆ ภายใต้แสงยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์

ภาคผนวก จ-1.1 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน Ag:TiO₂ ที่ 0:0 ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดสีเมทิลีนบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	28.70	28.696	3.99	0.081
Error	8	57.49	7.186		
Total	9	86.18			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลีนบลูที่สภาวะแสงต่างกัน โดยวิธี

Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
FLU	5	24.13	A
UVC	5	20.74	A

Means that do not share a letter are significantly different.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-1.2 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 0:1 ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	31.72	31.72	0.33	0.580
Error	8	763.46	95.43		
Total	9	795.18			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลีนบลูที่สภาวะแสงต่างกัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
UVC	5	32.40	A
FLU	5	28.84	A

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-1.3 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 1:5 ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	192.1	192.08	7.29	0.027
Error	8	210.9	26.36		
Total	9	403.0			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลินบลูที่สภาวะแสงต่างกัน โดยวิธี

Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
UVC	5	32.42	A
FLU	5	23.66	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-1.4 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน Ag:TiO₂ ที่ 1:10 ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลินบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	386.95	386.95	38.17	0.000
Error	8	81.10	10.14		
Total	9	468.06			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลีนบลูที่สภาวะแสงต่างกัน

โดยวิธี

Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
UVC	5	32.52	A
FLU	5	20.08	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-1.5 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน Ag:TiO₂ ที่ 1:15 ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	13.92	13.92	1.31	0.285
Error	8	84.91	10.61		
Total	9	98.84			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลีนบลูที่สภาวะแสงต่างกัน

โดยวิธี

Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
UVC	5	35.82	A
FLU	5	33.456	A

Means that do not share a letter are significantly different.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-1.6 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 1:20 ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ ในการกำจัดเมทิลินบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	1205.65	1205.65	107.72	0.000
Error	8	89.54	11.19		
Total	9	1295.19			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลินบลูที่สภาวะแสงต่างกัน โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
UVC	5	44.77	A
FLU	5	22.81	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-1.7 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 1:25 ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนซ์ ในการกำจัดเมทิลินบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	879.7	879.66	53.50	0.000
Error	8	131.5	16.44		
Total	9	1011.2			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลีนบลูที่สภาวะแสงต่างกัน โดยวิธี

Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
UVC	5	40.53	A
FLU	5	21.77	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-1.8 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน $\text{Ag}:\text{TiO}_2$ ที่ 1:30 ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	473.4	473.39	17.62	0.003
Error	8	215.0	26.87		
Total	9	688.4			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลีนบลูที่สภาวะแสงต่างกัน

โดยวิธี

Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
UVC	5	36.00	A
FLU	5	22.24	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-1.9 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน Ag:TiO₂ ที่ 1:20 ภายใต้รังสียูวีซีและ 1:15 ภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลีนบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Ratio	2	1:20 UVC และ 1:15 FLU

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Ratio	1	320.02	320.016	68.60	0.000
Error	8	37.32	4.665		
Total	9	357.33			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลีนบลูที่สภาวะแสงต่างกัน

โดยวิธี

Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Ratio	N	Mean	Grouping
1:20 UVC	5	44.77	A
1:15 FLU	5	33.456	B

Means that do not share a letter are significantly different.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-1.10 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน Ag:TiO_2 ที่ 1:15 กับ 1:20 ภายใต้
รังสียูวีซี ในการกำจัดเมทิลินบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
UVC	2	1:15 และ 1:20

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
UVC	1	200.43	200.43	16.33	0.004
Error	8	98.16	12.27		
Total	9	298.59			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลินบลูที่สภาวะรังสียูวีซี ที่สัดส่วน 1:15
กับ 1:20 โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

UVC	N	Mean	Grouping
1:20	5	44.77	A
1:15	5	35.82	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-1.11 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของสัดส่วน Ag:TiO_2 ที่ 1:15 กับ 1:20 ภายใต้
แสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดเมทิลินบลู

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
FLU	2	1:15 และ 1:20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
FLU	1	283.57	283.574	29.76	0.001
Error	8	76.22	9.527		
Total	9	359.79			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดเมทิลีนบลูที่สภาวะแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่ สัดส่วน 1:15 กับ 1:20 โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

FLU	N	Mean	Grouping
1:15	5	33.459	A
1:20	5	22.81	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-2 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส ภายใต้แสง ยูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์

ภาคผนวก จ-2.1 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตไลซิส ภายใต้รังสียูวีซีและแสง ฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	1536.00	1536.00	81.95	0.001
Error	4	74.97	18.74		
Total	5	1610.97			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่สภาวะแสงต่างกัน โดยวิธี
Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
UVC	3	37.93	A
FLU	3	5.93	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-2.2 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดย TiO_2 ภายใต้
รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	1717.04	1717.04	106.24	0.000
Error	4	64.65	16.16		
Total	5	1781.69			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่สภาวะแสงต่างกัน โดยวิธี
Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
UVC	3	61.03	A
FLU	3	27.20	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-2.3 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส โดย 1:15 Ag/TiO₂ ภายใต้รังสียูวีซีและแสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
Light	2	UVC และ FLU

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Light	1	5.415	5.415	0.89	0.398
Error	4	24.273	6.068		
Total	5	29.688			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์ที่สภาวะแสงต่างกัน โดยวิธี

Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Light	N	Mean	Grouping
FLU	3	68.333	A
UVC	3	66.43	A

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-3 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสภายใต้แสงยูวีซี ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
UVC	3	Photolysis Photocatalysis with TiO ₂ Photocatalysis with 1:15 Ag/TiO ₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
UVC	2	1375.0	687.51	34.19	0.001
Error	6	120.6	20.11		
Total	8	1495.7			

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์โดยรังสียูวีซี โดยวิธี Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

UVC	N	Mean	Grouping
Photocatalysis with 1:15 Ag/TiO ₂	3	66.43	A
Photocatalysis with TiO ₂	3	61.03	A
Photolysis	3	37.93	B

Means that do not share a letter are significantly different.

ภาคผนวก จ-4 ตาราง ANOVA เปรียบเทียบผลของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ ในการกำจัดฟอร์มาลดีไฮด์

One-way ANOVA:

Factor Information

Factor	Levels	Values
FLU	3	Photolysis Photocatalysis with TiO ₂ Photocatalysis with 1:15 Ag/TiO ₂

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
FLU	2	6037.98	3018.99	418.79	0.000
Error	6	43.25	7.21		
Total	8	6081.24			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอร์มัลดีไฮด์โดยแสงฟลูออเรสเซนต์ โดยวิธี

Fisher Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

UVC	N	Mean	Grouping
Photocatalysis with 1:15 Ag/TiO ₂	3	68.333	A
Photocatalysis with TiO ₂	3	27.20	B
Photolysis	3	5.93	C

Means that do not share a letter are significantly different.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้