

การกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย ด้วยแผ่นฟอกอากาศโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

นางสาวเทียนฉาย สนิธิวงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

REMOVAL OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS  
USING PHOTOCATALYSIS AIR FILTER

Miss Thianchay Satirapiwong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย ด้วยแผ่นฟอกอากาศ
	โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส
โดย	นางสาวเทียนฉาย สติรวิวงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวิวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วราวุธ เสือดี)

เทียนฉาย สติรวิวงศ์ : การกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย ด้วยแผ่นฟอกอากาศโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (REMOVAL OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS USING PHOTOCATALYSIS AIR FILTER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, 208 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย คือสารโทลูอีน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และ สารอินทรีย์ระเหยรวม ที่ความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน ด้วยแผ่นฟอกอากาศซิเซน แอร์คลีน โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ซึ่งทำการวิจัยโดยระบบต่อเนื่องและระบบที่ละเท โดยใช้ถังปฏิกริยาขนาด 0.03 ลูกบาศก์เมตร เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผ่นฟอกอากาศ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย เวลาพัก พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ และความเข้มแสงยูวี การหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารโทลูอีนเป็นตัวแทน พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือ แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร และแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และเวลาพักในงานวิจัยนี้ คือ 10 นาที สำหรับระบบต่อเนื่อง และทำการทดลองตลอด 180 นาที สำหรับระบบที่ละเท จากสภาวะที่เหมาะสม นำมาศึกษาการกำจัดสารโทลูอีน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม พบว่า ระบบต่อเนื่อง ประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกริยาลดลงเมื่อความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดสูงขึ้น เนื่องจาก ระบบต่อเนื่องมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยเข้าระบบตลอดเวลาจึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยน้อยลง ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดเท่ากับ 66, 63, 64 และ 44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนระบบที่ละเท พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกริยาสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดสูงขึ้น เนื่องจาก ระยะเวลาจนถึง 180 นาทีในการกำปฏิกริยา ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดของสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิด เท่ากับ 64, 64, 66 และ 51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิติ.....  
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
 ปีการศึกษา.....2554.....

# # 5270313521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : PHOTOCATALYSIS / TOLUENE / XYLENE / ETHYLBENZENE / MIXED  
VOCS / TITANIUM DIOXIDE

THIANCHAY SATIRAPIWONG : REMOVAL OF VOLATILE ORGANIC  
COMPOUNDS USING PHOTOCATALYSIS AIR FILTER.THESIS ADVISOR :  
ASSOC. PROF. WONGPUN LIMPASENI , 208 pp.

The aim of this research was to study the removal of Volatile Organic Compounds : Toluene, Xylene, Ethylbenzene and Mixed VOCs at concentrations 5, 10, 15 and 20 ppm using photocatalytic air filter (Shisen filter). The experiment was condition under continuous condition and batch condition using a chamber with a volume of 0.03 m<sup>3</sup>. The variable parameters concentration of VOCs, retention time, area air filter and UV light intensity. The results showed using that continuous condition were air filter with area of 0.15 m<sup>2</sup> fluorescence source at UV light intensity 2.5 μW/cm<sup>2</sup> retention time 10 minutes for continuous condition and time 180 minutes for batch condition. The results showed continuous condition had lower efficiency and rate constant with higher concentration of VOCs because of continuous concentration fresh feed of pollutant. The highest removal efficiency of Toluene, Xylene, Ethylbenzene and Mixed VOCs were 66% 63% 64% and 44% respectively. Experiment on batch condition showed higher efficiency and rate constant with higher concentration of VOCs due to extended reaction time up to 180 minutes. The highest removal efficiency of Toluene, Xylene, Ethylbenzene and Mixed VOCs were 64% 64% 66% and 51% respectively.

Department : Environmental Engineering Student's Signature .....

Field of Study Environmental Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : .....2011.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจและสนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล อาจารย์ ดร.อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ เสือดี ที่กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์นี้และให้คำแนะนำอันเป็นแนวทางที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณภาคีวิชาชีพวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการวิจัย รวมทั้งการให้ความรู้และการแนะนำในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ บริษัท โอเคเอส จำกัด ในการเอื้อเฟื้อแผ่นฟอกอากาศซิเซ็น แอร์คลีน เพื่อใช้ในการวิจัย รวมทั้งการให้ความรู้และการแนะนำในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้องที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ แนะนำและให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุนในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจ จนทำให้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สำเร็จด้วยดี

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 สารประกอบอินทรีย์ระเหย.....	5
2.2 โทลูอีน (Toluene).....	7
2.2.1 ลักษณะทั่วไป.....	7
2.2.2 การใช้ประโยชน์.....	7
2.2.3 ข้อมูลทางกายภาพและเคมี.....	8
2.2.4 ค่ามาตรฐาน.....	8
2.3 เอทิลเบนซีน (Ethyl Benzene).....	9
2.3.1 ลักษณะทั่วไป.....	9
2.3.2 การใช้ประโยชน์.....	9
2.3.3 ข้อมูลทางกายภาพและเคมี.....	9
2.3.4 ค่ามาตรฐาน.....	10
2.4 ไซลีน (Xylene).....	10
2.4.1 ลักษณะทั่วไป.....	10
2.4.2 การใช้ประโยชน์.....	10
2.4.3 ข้อมูลทางกายภาพและเคมี.....	11

	หน้า
2.4.4	ค่ามาตรฐาน..... 11
2.5	ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide)..... 11
2.6	รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Ray)..... 12
2.6.1	ชนิดของรังสีอัลตราไวโอเล็ต..... 12
2.6.2	หลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต..... 14
2.7	กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis)..... 15
2.7.1	หลักการของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส (Fundamental of Photocatalysis Reaction)..... 15
2.7.2	ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส..... 15
2.7.3	กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสในสถานะก๊าซ.....17
2.7.4	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสของไอระเหย.....18
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 21
บทที่ 3	วิธีดำเนินงานวิจัย..... 27
3.1	แผนการทดลอง..... 27
3.2	ตัวแปรในการทดลอง..... 29
3.3	เครื่องมือและอุปกรณ์..... 30
3.4	สารเคมีและอื่นๆ..... 31
3.5	วิธีดำเนินงานวิจัย..... 31
3.6	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นฟอกอากาศ..... 38
3.7	ผลที่ได้จากการวิเคราะห์..... 38
บทที่ 4	ผลการศึกษา..... 39
4.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศ.....39
4.1.1	องค์ประกอบของธาตุของแผ่นฟอกอากาศด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF).....39
4.1.2	ลักษณะทางกายภาพโดยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM).....40
4.1.3	โครงสร้างผลึกของแผ่นฟอกอากาศด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffractometer)..... 40



4.1.4	พื้นที่ผิวของแผ่นฟอกอากาศ (Brunauer Emmett Teller: BET)....	41
4.2	การหาสภาวะที่เหมาะสม.....	42
4.2.1	ระบบต่อเนื่อง.....	42
4.2.2	สรุปสภาวะที่เหมาะสมของระบบต่อเนื่อง.....	50
4.2.3	ระบบที่ละเท.....	53
4.2.4	สรุปสภาวะที่เหมาะสมของระบบที่ละเท.....	60
4.3	การกำจัดสารโทลูอิน.....	61
4.3.1	ระบบต่อเนื่อง.....	61
4.3.2	ระบบที่ละเท.....	62
4.4	การกำจัดสารไซลีน.....	63
4.4.2	ระบบต่อเนื่อง.....	63
4.4.2	ระบบที่ละเท.....	64
4.5	การกำจัดสารเอทิลเบนซีน.....	66
4.5.1	ระบบต่อเนื่อง.....	66
4.5.2	ระบบที่ละเท.....	66
4.6	การกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวม.....	68
4.6.1	ระบบต่อเนื่อง.....	68
4.6.2	ระบบที่ละเท.....	69
4.7	เปรียบเทียบอัตราการกำจัดระหว่างสารโทลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม.....	70
4.7.1	ระบบต่อเนื่อง.....	70
4.7.2	ระบบที่ละเท.....	72
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	75
5.1	สรุปผลการศึกษา.....	75
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	78
	รายการอ้างอิง.....	79
	ภาคผนวก.....	88
	ภาคผนวก ก เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์.....	89

ภาคผนวก ข	รายการ การคำนวณ.....	101
ภาคผนวก ค	ผลการทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่องความเข้มข้นสารโทลูอิน 5 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร.....	106
ภาคผนวก ง	ผลการทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่องความเข้มข้นสารโทลูอิน 10 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร.....	119
ภาคผนวก จ	ผลการทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่องความเข้มข้นสารโทลูอิน 15 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร.....	132
ภาคผนวก ฉ	ผลการทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่องความเข้มข้นสารโทลูอิน 20 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร.....	145
ภาคผนวก ช	ผลการทดลองของสารไซลีน สารเอทิลเบนซีนและสารอินทรีย์ระเหยรวม เดินระบบแบบต่อเนื่อง.....	158
ภาคผนวก ซ	ผลการทดลองการเดินระบบแบบที่ละเท.....	162
ภาคผนวก ฌ	ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศซิเซน แอร์คัส.....	185
ภาคผนวก ฎ	ผลค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย.....	197
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	208

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ระเหย..... 6
2.2	คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์ระเหย..... 6
2.3	แหล่งกำเนิดและผลกระทบของไอสารอินทรีย์ระเหย.....7
2.4	ค่ามาตรฐานความเข้มข้นสารโกลูอินในสถานที่ทำงาน ของแต่ละหน่วยงาน ในต่างประเทศ..... 8
2.5	ค่าสูงที่สุดที่ยอมรับได้ของสารโกลูอินภายในที่พักอาศัย (ประเทศแคนาดา)..... 8
2.6	ค่ามาตรฐานสารเอทิลเบนซีนในสถานที่ทำงานของแต่ละหน่วยงานในต่างประเทศ.... 10
2.7	ค่ามาตรฐานสารไซลีนในสถานที่ทำงานของแต่ละหน่วยงานในต่างประเทศ..... 11
2.8	คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของโททาเนียมไดออกไซด์..... 12
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์..... 30
3.2	แผนการทดลองแบบต่อเนื่อง กรณีหาสภาวะที่เหมาะสม (สารโกลูอิน)..... 36
3.3	แผนการทดลองแบบทีละเท กรณีหาสภาวะที่เหมาะสม (สารโกลูอิน)..... 36
3.4	แผนการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดสารโกลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม..... 37
4.1	องค์ประกอบทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศ..... 39
4.2	สมการของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลากักพักของพื้นที่ แผ่นฟอกอากาศ 0.05 ตารางเมตร.....44
4.3	สมการของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลากักพักของพื้นที่ แผ่นฟอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร.....47
4.4	สมการของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลากักพักของพื้นที่ แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร.....50
4.5	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลูอินที่มีความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน กับเวลาการทดลองแต่ละความเข้มแสงยูวี..... 56
4.6	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลูอินที่มีความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน กับเวลาการทดลองแต่ละความเข้มแสงยูวี..... 57
4.7	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลูอินที่มีความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน กับเวลาการทดลองแต่ละความเข้มแสงยูวี..... 58

4.8	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลูอินที่มีความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน กับเวลาการทดลองแต่ละความเข้มแสงยูวี.....	59
4.9	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดสารโกลูอินแต่ละความเข้มข้น.....	63
4.10	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดสารไซลีนแต่ละความเข้มข้น.....	65
4.11	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดสารเอทิลเบนซีนแต่ละความเข้มข้น .....	67
4.12	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวมแต่ละความเข้มข้น.....	70
4.13	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยต่างชนิดกัน.....	74
ค-1	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 3 นาที.....	107
ค-2	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 6 นาที.....	108
ค-3	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 8 นาที.....	109
ค-4	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 10 นาที.....	110
ค-5	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 3 นาที.....	111
ค-6	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 6 นาที.....	112
ค-7	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 8 นาที.....	113
ค-8	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 10 นาที.....	114
ค-9	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 3 นาที.....	115
ค-10	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 6 นาที.....	116





๑-3	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 8 นาที.....	148
๑-4	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 10 นาที.....	149
๑-5	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 3 นาที.....	150
๑-6	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 6 นาที.....	151
๑-7	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 8 นาที.....	152
๑-8	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 10 นาที.....	153
๑-9	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 3 นาที.....	154
๑-10	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 6 นาที.....	155
๑-11	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 8 นาที.....	156
๑-12	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลากักพัก 10 นาที.....	157
๒-1	ผลการกำจัดสารไซลีน.....	159
๒-2	ผลการกำจัดสารเอทิลเบนซีน.....	160
๒-3	ผลการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวม.....	161
๒-1	ผลการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน เวลากักพัก 180 นาที.....	163
๒-2	ผลการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน เวลากักพัก 180 นาที.....	166
๒-3	ผลการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน เวลากักพัก 180 นาที.....	169
๒-4	ผลการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน เวลากักพัก 180 นาที.....	172
๒-5	ผลการกำจัดสารโกลูอิน ตลอด 180 นาที.....	174

ซ-6	ผลการกำจัดสารไซลีน ตลอด 180 นาที.....	177
ซ-7	ผลการกำจัดสารเอทิลเบนซีน ตลอด 180 นาที.....	180
ซ-8	ประสิทธิภาพกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวม ตลอด 180 นาที.....	183
ซ-9	ผลการทดลองพารามิเตอร์ต่างๆของการกำจัดสารโทลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม เวลาพัก 10 นาที.....	184
ญ-1	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 5 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศ 0.05 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก.....	198
ญ-2	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศ 0.05 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก.....	199
ญ-3	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 5 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก.....	200
ญ-4	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก.....	201
ญ-5	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 15 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก.....	202
ญ-6	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 20 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก.....	203
ญ-7	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 5 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก.....	204
ญ-8	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก.....	205
ญ-9	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 15 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก.....	206
ญ-10	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้น 20 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก.....	207



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	คลื่นแสงที่มองเห็น (Visible Light) และแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Light).....	14
2.2	โครงสร้างของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ.....	16
2.3	กลไกของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสบนสารกึ่งตัวนำไททาเนียมไดออกไซด์.....	18
3.1	ขั้นตอนการศึกษา.....	27
3.2	ขั้นตอนการทดลอง.....	28
3.3	แผ่นฟอกอากาศซีเซน แอร์คลีน.....	31
3.4	ชุดสร้างไอสารอินทรีย์ระเหย.....	32
3.5	ชุดการทดลองแบบต่อเนื่อง.....	33
3.6	ชุดการทดลองแบบทีละเท.....	33
3.7	เครื่อง Mini Rae.....	34
3.8	เครื่อง Q <sup>TM</sup> -Trak Model 7565.....	34
3.9	เครื่อง UV Meter.....	35
4.1	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของแผ่นฟอกอากาศ.....	40
4.2	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแผ่นฟอกอากาศด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffractometer) .....	41
4.3	ประสิทธิภาพกำจัดสารโพลูอินโดยชุดควบคุม.....	42
4.4	ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลูอินตามเวลากักพัก แต่ละความเข้มแสงยูวี พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05 ตารางเมตร.....	43
4.5	การเปลี่ยนแปลงความเข้มชั้นสารโพลูอินตามเวลากักพักแต่ละความเข้มแสงยูวี ของพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.05 ตาราง.....	44
4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลูอินตามเวลากักพัก แต่ละความเข้มแสงยูวี พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.10 ตารางเมตร.....	45
4.7	การเปลี่ยนแปลงความเข้มชั้นสารโพลูอินตามเวลากักพักแต่ละความเข้มแสงยูวี ของพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.10 ตาราง.....	46
4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลูอินตามเวลากักพัก แต่ละความเข้มแสงยูวี พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร.....	48

4.9	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลากักพักแต่ละความเข้มแสงยูวี ของพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตาราง.....	49
4.10	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโกลูอินตามขนาดพื้นที่ของแผ่นฟอกอากาศ แต่ละความเข้มแสงยูวี.....	51
4.11	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโกลูอินตามความเข้มแสงยูวีแต่ละขนาดพื้นที่ ของแผ่นฟอกอากาศ.....	52
4.12	ประสิทธิภาพการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วนตามเวลา การทดลอง.....	53
4.13	ประสิทธิภาพการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วนตามเวลา การทดลอง.....	54
4.14	ประสิทธิภาพการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วนตามเวลา การทดลอง.....	54
4.15	ประสิทธิภาพการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วนตามเวลา การทดลอง.....	55
4.16	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอิน ความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน ตามเวลาการทดลอง.....	56
4.17	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอิน ความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน ตามเวลาการทดลอง.....	57
4.18	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอิน ความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน ตามเวลาการทดลอง.....	58
4.19	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอิน ความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน ตามเวลาการทดลอง.....	59
4.20	ค่าคงที่ของอัตราการกำจัดสารโกลูอินตามความเข้มแสงยูวีแต่ละความเข้มข้น สารโกลูอิน.....	60
4.21	ประสิทธิภาพการกำจัดสารโกลูอินของระบบต่อเนื่อง.....	61
4.22	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโกลูอินตามความเข้มข้นของระบบต่อเนื่อง.....	61
4.23	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารโกลูอินตามเวลาการทดลอง.....	62
4.24	ประสิทธิภาพการกำจัดสารโกลูอินตามความเข้มข้นของระบบต่อเนื่อง.....	64

4.25	ปริมาณความเข้มข้นสารโซลีนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการทดลอง.....	65
4.26	ประสิทธิภาพการกำจัดสารเอทิลเบนซีนตามความเข้มข้นของระบบต่อเนื่อง.....	66
4.27	ปริมาณความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการทดลอง.....	67
4.28	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวมตามความเข้มข้นของระบบต่อเนื่อง...	68
4.29	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยรวมตามเวลาการทดลอง.....	69
4.30	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดตามความเข้มข้น ของระบบต่อเนื่อง.....	71
4.31	ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดตามเวลาการทดลอง.....	72
4.32	ค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดกัน.....	73

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มลพิษทางอากาศภายในอาคาร บ้านเรือน เป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญต่อมนุษย์ เนื่องจากมนุษย์ใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ในอาคาร บ้านเรือน หรือ สถานที่ทำงาน พบว่ามนุษย์โดยเฉพาะคนในเมืองใหญ่ใช้เวลาประมาณ 89 % ในอาคาร บ้านเรือน คนในชนบทใช้เวลาประมาณ 67 % ในอาคาร บ้านเรือน (กนิดา ธนเจริญชณภาส, 2553) จึงไม่ใช่เรื่องที่น่าประหลาดใจ ถ้าการได้รับมลพิษในอากาศของประชากรในเขตเมืองจะเกิดขึ้นภายในอาคารมากกว่าที่เกิดขึ้นขณะดำเนินกิจกรรมอยู่นอกอาคาร จากข้อเท็จจริงดังกล่าวทำให้องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA) กำหนดให้ความเสี่ยงทางสุขภาพของมนุษย์อันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศภายในอาคารอยู่ใน 5 อันดับแรกของความเสี่ยงทางสุขภาพเนื่องจากสภาวะแวดล้อมด้านต่างๆ (U.S. EPA, 1997)

สารมลพิษที่ตรวจพบทั่วไปภายในอาคารหรือสิ่งแวดล้อมแบบปิดขนาดเล็ก (Micro-environments) อาจแบ่งได้ดังนี้ 1) สารปนเปื้อนอนินทรีย์ (Inorganic contaminants) เช่น ใยหิน (Asbestos) อนุภาคขนาดเล็ก (Respirable particles) และก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือควันบุหรี่ (Environmental tobacco smoke, ETS) 2) สารปนเปื้อนอินทรีย์ (Organic contaminants) เช่น กลุ่มของสารอินทรีย์ระเหย (Volatile organic compound, VOCs) และยาฆ่าแมลง (Pesticides) และ 3) อนุภาคทางชีวภาพ (Biogenic particles) เช่น ไรฝุ่น รา เกสรดอกไม้ เป็นต้น (Godish, 1989) ซึ่งการได้รับสารมลพิษเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความปลอดภัยของผู้อาศัยภายในอาคาร (Anderson และคณะ, 1996; Evans และ Jacobs, 1981; Hager, 1989)

สารอินทรีย์ระเหยในอากาศที่พบภายในอาคารมีมากกว่า 300 ชนิด (Berglund และคณะ, 1986) และส่วนใหญ่มีระดับความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นที่พบในบรรยากาศภายนอกอาคารถึง 2-5 เท่า (Wallance และคณะ, 1987) บางแห่งมีสูงถึง 400 เท่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของอาคาร เช่น การระบายอากาศ วัสดุตกแต่ง หรือ อุปกรณ์ที่ใช้ภายในอาคาร กิจกรรมของผู้อยู่อาศัย

เช่น การใช้สารเคมีทำความสะอาด การทำครัว การสูบบุหรี่ หรือ แม้แต่การใช้ผลิตภัณฑ์ส่วนตัว (Personal care product) เช่น น้ำหอม สเปรย์ รวมไปถึงแหล่งกำเนิดมลพิษจากภายนอกอาคาร เช่น การจราจร เป็นต้น โดยผลกระทบที่ผู้อาศัยได้รับการจากสัมผัสหรือการหายใจเอาสารอินทรีย์ระเหยเข้าไป สามารถแบ่งได้เป็น ผลกระทบต่อสภาวะสบาย (Comfort problems) ซึ่งรวมถึงเรื่องของกลิ่น ความน่ารำคาญที่เกิดขึ้น และผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย งานวิจัยหลายบทความระบุตรงกันว่า กลุ่มอาการป่วยโดยมีสาเหตุจากสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (Sick Building Syndrome, SBS) เช่น ปวดศีรษะ วิงเวียน คัดจมูก คอแห้ง ระคายเคือง รู้สึกละคายใจไม่ออก เป็นต้น มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบในอากาศภายในอาคารอย่างชัดเจน แม้ว่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยจะอยู่ในระดับต่ำก็ตาม (Evans และ Jacobs, 1981; Hedge, 1989; Ten Brinke และคณะ, 1998) นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยบางชนิดยังจัดอยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็งตามบัญชีรายชื่อสารเคมีที่มีแนวโน้มก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA, 2006) และองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการวิจัยมะเร็ง (International Agency for Research Center, IARC, 2006) เช่น เบนซีน เป็นต้น

การพัฒนานวัตกรรมเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อการบำบัดมลพิษอากาศภายในอาคาร โดยใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการนำมาใช้ ได้แก่  $TiO_2$ ,  $ZnO$ , และ  $Fe_2O_3$  (Bessekhouad และคณะ, 2005; Evgenidou และคณะ, 2005; Wu และคณะ, 2004) เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ กำจัดสารอินทรีย์ระเหยด้วยแผ่นฟอกอากาศโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร สำนักงาน และมนุษย์เอง สารอินทรีย์ระเหยที่นำมาทดสอบคือ สารโทลูอีน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารโทลูอีน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน รวมกัน (สารอินทรีย์ระเหยรวม) สารมลพิษดังกล่าวเป็นสารตัวทำละลายที่มีอันตรายและเป็นส่วนผสมของสีทาบ้าน แล็กเกอร์ เฟอร์นิเจอร์ไม้ และเครื่องใช้สำนักงานต่างๆ เช่น เครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพต่อผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคาร เช่น เกิดการวิงเวียน คลื่นไส้ เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหย ในอากาศด้วยแผ่นฟอกอากาศ โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส
- 1.2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผ่นฟอกอากาศ โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส เช่น ความเข้มข้นของก๊าซ เวลาพัก พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ และความเข้มแสงยูวี

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการคุณภาพอากาศ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และอินทรีย์ระเหยรวม ความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน ในอากาศโดยใช้แผ่นฟอกอากาศเคลือบสารไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส โดยวิธีการไหลแบบทีละเท (Batch flow)
- 1.3.3 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และอินทรีย์ระเหยรวม ความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน ในอากาศโดยใช้แผ่นฟอกอากาศเคลือบสารไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส โดยวิธีการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuous flow)
- 1.3.4 ในงานวิจัยใช้แผ่นฟอกอากาศซิเซน แอร์คลีน ขนาด 0.05, 0.10 และ 0.15 ตารางเมตร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากประเทศญี่ปุ่น ที่ผ่านการรับรองโดย Ishinomaki Senshu University นำเข้าโดยบริษัท ไอเคเอส จำกัด
- 1.3.5 ใช้แหล่งกำเนิดแสง Visible Light หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงยูวี 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต หลอดแบลคไลท์ที่มีความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
- 1.3.6 ทำการทดลองในห้องปรับอากาศ ควบคุมอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  °ซ และความดันปกติ

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำข้อมูลผลงานวิจัยไปใช้ในการติดตั้งแผ่นฟอกอากาศภายในอาคาร บ้านเรือน หรือสำนักงานได้ เช่น ขนาดของพื้นที่แผ่นฟอกอากาศต่อปริมาตรห้อง ความเข้มแสงยูวี และ อุณหภูมิ เป็นต้น ช่วยลดมลพิษอากาศภายในอาคาร เช่น สารอินทรีย์ระเหย สารเคมี กลิ่นอับชื้น เป็นต้น ทำให้ผู้อยู่อาศัยมีสุขภาพความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สารประกอบอินทรีย์ระเหย

สารประกอบอินทรีย์ระเหยเป็นสารที่ใช้งานอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมและกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ สารดังกล่าวเป็นสาเหตุหนึ่งของมลพิษด้านต่างๆในปัจจุบัน เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ รวมทั้งมลพิษทางอากาศภายในอาคาร ทั้งนี้สารประกอบอินทรีย์ระเหยเมื่อระเหยออกสู่อากาศก็จะสร้างปัญหาแก่ชุมชนรอบบริเวณ เนื่องจากมีความเป็นพิษ มีกลิ่นเหม็น และอาจก่อให้เกิดหมอกจากสารเคมี นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อมนุษย์ในด้านสุขภาพ คือ เป็นสารก่อมะเร็ง ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น (ธรรมศักดิ์ โรจนวิรุฬห์, 2549)

#### คุณสมบัติของสารประกอบอินทรีย์ระเหย

สารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ โดยมีความดันไอ (Vapor Pressure) น้อยกว่า 760 ทอร์ (101.3 kPa) และมากกว่า 1 ทอร์ (0.13 kPa) ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (Derwent, 1995) และมีจุดเดือดสูงไม่เกิน 500 องศาฟาเรนไฮด์ (260 องศาเซลเซียส หรือ 533 เคลวิน VOCs สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่ม Hydrocarbons และ Compounds ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (Hunter และ Oyama, 2000)

ความดันไอ (Vapor Pressure) คือความเข้มข้นในรูปก๊าซที่สภาวะสมดุลของของเหลวบริสุทธิ์ที่อุณหภูมินั้น ๆ โดยทั่วไปสารประกอบอินทรีย์ระเหยชนิดไม่มีขั้วจะมีความดันไอสูงกว่าชนิดที่มีขั้ว เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยชนิดไม่มีขั้วต้องการระดับพลังงานที่ต่ำสำหรับการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นก๊าซ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิมิผลกับความดันไอมากโดยเมื่อจุดเดือดของสารประกอบมีอุณหภูมิต่ำ ค่าความดันไอของสารประกอบนั้นก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย (Card, 1998) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์ระเหยแสดงในตารางที่ 2.2 และแหล่งกำเนิดและผลกระทบของสารอินทรีย์ระเหย ดังแสดงในตารางที่ 2.3



### ตารางที่ 2.1 กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ระเหย

Hydrocarbons	Examples	Compounds	Examples
Paraffins	Propane, Butane, Octane	Alcohols	Methanols, Ethanols
Olefins	Ethylene, Butadiene	Aldehydes	Formaldehyde
Acetylenes	Acetylene	Ketones	Methyl ethylketone
Aromatics	Toluene, Benzopyrene Acids	Formic acid	
		Hydroperoxides	Peroxyacynitrite (PAN)
		Halides	Vinyl chloride, Bromobenzene
		S compounds	Dimethyl sulfide

ที่มา : ดัดแปลงจาก LaGrega และคณะ, 1994; Verchueren, 1996; Hunter และ Oyama, 2000

### ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์ระเหย

Compound name	Chemical Formular	Molecular Weight	Water Solubility	Vapor Pressure	Henry 's Constant	Melting Point	Boiling Point
Acetone	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.09	Total	266	2.50×10 <sup>-5</sup>	-95	56.2
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.12	1.78×10 <sup>3</sup>	95.2	5.55×10 <sup>-3</sup>	5.5	80.1
Ethyl benzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106	non	102.4	-	-95	134
Chloroform	CHCl <sub>3</sub>	119.37	8.00×10 <sup>3</sup>	200	1.5×10 <sup>-1</sup>	-63.5	61.2
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46.08	6.52×10 <sup>4</sup>	50	3.03×10 <sup>-5</sup>	-114	78.4
Formaldehyde	CH <sub>2</sub> O	30.03	4.00×10 <sup>5</sup>	3500	3.00×10 <sup>-7</sup>	-118	-21
Methanol	CH <sub>4</sub> O	32.05	Total	114	5.20×10 <sup>-6</sup>	-98	65
Methylethylene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72.12	3.50×10 <sup>5</sup>	100	1.30×10 <sup>-4</sup>	-86.3	79.6
Phenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	94.12	8.20×10 <sup>4</sup>	0.341	2.60×10 <sup>-6</sup>	43	182
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92.15	515	30	6.42×10 <sup>-3</sup>	-95.95	110.6
Trichloroethylene	C <sub>2</sub> HC <sub>l</sub> <sub>3</sub>	131.38	1.1	75	1.02×10 <sup>-2</sup>	-73	87
Vinyl chloride	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl	62.5	4.27×10 <sup>3</sup>	2660	2.65×10 <sup>-2</sup>	-154	-13.9

หมายเหตุ

- molecular weight in g/g.mol
- Vapor Pressure in mmHg at 25 °C
- Henry 's law coefficient at 25 °C in (atm.m<sup>3</sup>/mol)
- Melting point °C
- Boiling point °C

ที่มา : ดัดแปลงจาก LaGrega และคณะ, 1994 ; Verchueren, 1996 ; Hunter และ Oyama, 2000

**ตารางที่ 2.3 แหล่งกำเนิดและผลกระทบของไฮสารอินทรีย์ระเหย**

Compound	Source	Effect
Ethyl benzene	Gasoline combustion, solvents, tobacco smoke	Respiratory irritation, dizziness, headache, nausea, chromosome aberrations, leukemia, produces ozone
Toluene	Gasoline combustion, biomass burning, petroleum refining, detergent production,	nausea, confusion, fatal toxicity, anemia, liver damage, dysfunction of central nervous system, coma, death, produces ozone painting, building materials
Xylene	Gasoline combustion, lacquers, glues	Eye, nose, and throat irritation, liver and nerve damage, produces ozone

ที่มา: Hunter และ Oyama , 2000

## 2.2 โทลูอิน (Toluene)

### 2.2.1 ลักษณะทั่วไป

เป็นของเหลว ไม่มีสี ระเหยเป็นไอและติดไฟได้ง่ายที่ความดันอากาศและอุณหภูมิปกติ มีกลิ่นคล้ายเบนซิน คือกลิ่นหอมหวานแรง

### 2.2.2 การใช้ประโยชน์

มีการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภทที่สำคัญคือ ใช้เป็นสารทำละลายในอุตสาหกรรมยา เคมี ยาง และพลาสติก ใช้เป็นวัตถุดิบข้างต้น และเป็นสารตัวกลาง (Intermediate) ในอุตสาหกรรมอินทรีย์เคมีและอุตสาหกรรมการสังเคราะห์เคมี ใช้โทลูอินในอุตสาหกรรมหนังเทียมและเส้นใย การเคลือบกระดาษและหมึกพิมพ์ ใช้เป็นองค์ประกอบในสูตรผสมน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ใช้เป็นทินเนอร์ในสีแล็กเกอร์และน้ำมันขัดเงาและใช้เป็นสารขจัดสีหรือล้างสี

### 2.2.3 ข้อมูลทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Data)

จุดเดือด (Boiling Point) (°C)	:	111
จุดหลอมเหลว (Melting Point) (°C)	:	-95
ความดันไอ (Vapor Pressure) (kPa)	:	2.93
ความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility in Water)	:	ไม่ละลาย
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	:	0.87 ที่ 20° C
ลักษณะ สี และกลิ่น (Colour and Odor)	:	เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นเฉพาะตัว
คุณสมบัติอื่น (Other properties)	:	ไอสารมีน้ำหนักมากกว่าอากาศ

### 2.2.4 ค่ามาตรฐาน

**ตารางที่ 2.4** ค่ามาตรฐานความเข้มข้นสารโพลูอินในสถานที่ทำงานของแต่ละหน่วยงานในต่างประเทศ

หน่วยงาน	ความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน)	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
OSHA	100 (TWA)	370
	500 (STEL)	1,800
NIOSH	100 (TWA)	370
ACGIH	50 (TWA)	180

หมายเหตุ : TWA = Time Weighted Average STEL = Short Term Exposure Limit

ที่มา : สวัสดิ์ พงษ์มา, 2548

**ตารางที่ 2.5** ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ของสารโพลูอินภายในที่พักอาศัย (ประเทศแคนาดา)

Exposure limit	ความเข้มข้น	
	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	ส่วนในล้านส่วน
Short-term	15	4.0
Long-term	2.3	0.6

ที่มา : Health Canada, 2011

## 2.3 เอทิลเบนซีน (Ethyl benzene)

### 2.3.1 ลักษณะทั่วไป

เป็นของเหลวใส ไม่มีสี เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีชั้นกลางสายอะโรมาติกที่สกัดจากผลิตภัณฑ์อะโรมาติกขั้นต้น เช่น เบนซีน เป็นต้น

### 2.3.2 การใช้ประโยชน์

ใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมพลาสติก ไฟเบอร์ และยา เป็นต้น

### 2.3.3 ข้อมูลทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Data)

ลักษณะทางกายภาพ (Appearance)	:	ของเหลวใส ไม่มีสี
กลิ่น (Odor)	:	คล้ายอะโรมาติก
จุดเดือด(Boiling Point) (°C)	:	134-137
จุดหลอมเหลว (Melting Point) (°C)	:	- 95
ความดันไอ(Vapor Pressure) (kPa)	:	10 ที่ 20 °C
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	:	0.867 ที่ 20 °C (ASTM D4052)
ความหนาแน่นของไอ (Vapor Density)	:	3.7 ที่ 20 °C (air = 1)
ความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility in Water) (g/100ml)	:	ละลายน้ำได้น้อยมากที่ 20 °C

### 2.3.4 ค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 2.6 ค่ามาตรฐานสารเอทิลเบนซีนในสถานที่ทำงาน ของแต่ละหน่วยงานในต่างประเทศ

หน่วยงาน	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
OSHA	100 ส่วนในล้านส่วน > 10 ชั่วโมง (TWA)	430
	125 ส่วนในล้านส่วน (STEL)	540
ACGIH	100 ส่วนในล้านส่วน > 8 ชั่วโมง (TWA)	430
	125 ส่วนในล้านส่วน (STEL)	540

หมายเหตุ : TWA = Time Weighted Average STEL = Short Term Exposure Limit

ที่มา : สภาวิศวกร พลุมา, 2548

## 2.4 ไชลีน (Xylene)

### 2.4.1 ลักษณะทั่วไป

เป็นสารพวกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน เป็นสารผสมของไชลีน 3 ไอโซเมอร์ (Isomer) คือ ออร์โทไชลีน o-xylene ประมาณ 30% เมตาไชลีน (m-xylene) 60-70% และพาราไชลีน (p-xylene) ประมาณ 5% ไชลีนเป็นของเหลวไม่มีสีแต่ถ้าเป็นพาราไชลีนบริสุทธิ์จะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12.7 องศาเซลเซียส มีสูตรโมเลกุลเป็น  $C_6H_4(CH_3)_2$  น้ำหนักโมเลกุล 106.17 และมีชื่ออื่นๆ คือ Dimethylbenzene, Xylain, Xylol

### 2.4.2 การใช้ประโยชน์

ตามระบบจำแนกสารของ UN (United Nations Classification System) ได้จัดไชลีนอยู่ใน Class 3 เป็นของเหลวไวไฟ (Flammable liquid) และมีการใช้ในกิจกรรมต่างๆ เช่น เป็นตัวกลางในอุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์ ใช้เป็นทินเนอร์ หรือสารทำละลายในหมึก ยาง กาว เรซินและแล็กเกอร์ ใช้เป็นสารขจัดสีในอุตสาหกรรมเคลือบกระดาษ ใช้เป็นสารทำละลายและ emulsifier ในการผสมของสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ใช้เป็นสารล้างเคลือบน้ำมันในอุตสาหกรรมพลาสติกและอิเล็กทรอนิกส์ ใช้เป็นวัตถุดิบในการผสมกรดเบนโซอิก กรดไอโซพธาลิก และกรดเทเรพธาลิกและใช้ผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ พารา-

ไซลีน (p-xylene) ใช้ผลิตเม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต ( Polyethylene Terephthalate - PET) และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ( Polyester) ออโร-ไซลีน (o-xylene) ใช้ผลิตสารเสริมสร้างความยืดหยุ่น ( Plasticizer) ของ โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) เมตา-ไซลีน (m-xylene) ใช้เป็นตัวทำละลาย

### 2.4.3 ข้อมูลทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Data)

จุดเดือด (Boiling Point) (°C)	:	138.3
จุดหลอมเหลว (Melting Point) (°C)	:	30
ความดันไอ (Vapor Pressure) (kPa)	:	3.7
ความสามารถการละลายน้ำ (Solubility in Water):	:	0.13
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity H <sub>2</sub> O)	:	0.87 ที่ 20° C
ลักษณะ สี และกลิ่น (Appear range Color and Odor)	:	เป็นของเหลวใส, มีกลิ่นหอม

### 2.4.4 ค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 2.7 ค่ามาตรฐานสารไซลีนในสถานที่ทำงาน ของแต่ละหน่วยงานในต่างประเทศ

หน่วยงาน	ความเข้มข้น	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
OSHA	0.1 มก.ต่อลบ.ม. (TWA)	0.43
ACGIH	0.1 มก.ต่อลบ.ม. (TWA)	0.43

หมายเหตุ : TWA = Time Weighted Average STEL = Short Term Exposure Limit  
ที่มา : สวัสดิ์ พงษ์มา, 2548

## 2.5 ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide)

### ตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนียมไดออกไซด์

ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) เป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประเภท N-type ในรูปอนุภาคนาโนโดยกระบวนการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (แสงยูวี) ฉายลงไปยังไททาเนียม-ไดออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก (Photocatalytic) ที่มีคุณสมบัติในการกำจัด

สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอากาศและฆ่าเชื้อโรคที่สัมผัสกับพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Photocatalyst) พบว่ามีอยู่ 3 แบบตามลักษณะของโครงสร้างของผลึก คือ บรูคไคท์ (Brookite) อนาธาส (Anatase) และรูไทล์ (Rutile) สำหรับไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิด อนาธาส และรูไทล์ จะอยู่ในรูปผง โดยทั้ง 2 ชนิดนี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมาก เช่น ความมันวาว ความแข็งและความหนาแน่น พบว่าที่อุณหภูมิ 915 องศาเซลเซียส ไททาเนียมไดออกไซด์ ชนิด อนาธาส สามารถเปลี่ยนเป็นไททาเนียมไดออกไซด์ ที่มีโครงสร้างเป็นแบบรูไทล์ได้ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไททาเนียมไดออกไซด์แสดงดังตารางที่ 2.8

ไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้เนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติดังนี้

1. มีเสถียรภาพต่อสารเคมี ไม่ละลายน้ำ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในปริมาณสูง
2. มีประสิทธิภาพสูง ราคาถูกและไม่มีอันตราย
3. มีช่องว่างพลังงาน (Eg) ไม่สูง (Eg =3.2 อิเล็กตรอนโวลต์)

ตารางที่ 2.8 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไททาเนียมไดออกไซด์

คุณสมบัติทางกายภาพ	คุณสมบัติทางเคมี
1. มีลักษณะเป็นของแข็ง	1. จุดเดือด 2,500-3,000 °ซ
2. สีขาว	2. จุดหลอมเหลว 1,840 °ซ
3. ไม่มีกลิ่น	3. ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.9
4. น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 79.90	4. ไม่ละลายน้ำ
5. ความแข็ง 5.5-6	5. pH 7-8 ที่อุณหภูมิ 20 °ซ

ที่มา : Amethyst Galleries, Inc. 1996

## 2.6 รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet ray)

### 2.6.1 ชนิดของรังสีอัลตราไวโอเล็ต

รังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นกว่าความยาวคลื่นช่วงแสงที่ตาของมนุษย์จะมองเห็นได้ อย่างไรก็ตามรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีคุณสมบัติเหมือนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ คือ มีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง และเป็นที่ยอมรับมานานแล้ว

ว่า รังสีอัลตราไวโอเล็ตมีอยู่ในแสงอาทิตย์ แต่รังสีต่างๆที่มีต้นกำเนิดมาจากดวงอาทิตย์นี้มักถูกดูดกลืน หักเห หรือสะท้อนออกไปโดยชั้นบรรยากาศซึ่งห่อหุ้มโลกอยู่ (ชั้นเทอร์โมสเฟียร์และชั้นเมโซเฟอส) ก่อนที่จะผ่านมาถึงโลกได้ทำให้รังสีที่สามารถผ่านลงมาถึงผิวโลกได้มีเพียงร้อยละ 49 ของรังสีทั้งหมดเท่านั้น และรังสีที่ผ่านลงมาได้มีส่วนใหญ่เป็นรังสีอินฟราเรด (Infared) ถึงร้อยละ 46 และรังสีที่มองเห็นได้ (Visible Light) อีกร้อยละ 45 คงเหลือเป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพียงร้อยละ 9

มนุษย์สามารถสร้างรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยอาศัยหลอดไฟเรืองแสง ซึ่งภายในบรรจุไอระเหยของสารปรอท ซึ่งลักษณะของหลอดจะคล้ายกับหลอดไฟวาวแสง (Fluorescent Lamp) เพียงแต่ภายในของหลอดไม่ได้ฉาบสารฟอสฟอเรสเซนต์ (Phosphorescent) ทำหน้าที่เปลี่ยนรังสีอัลตราไวโอเล็ตให้เป็นแสงสีขาวที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ (Lehr และคณะ, 1980)

คลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 100-390 นาโนเมตร ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้เป็น 4 ชนิดตามช่วงความยาวคลื่น ดังนี้ (รัฐพนธ์ ทาทอง, 2543)

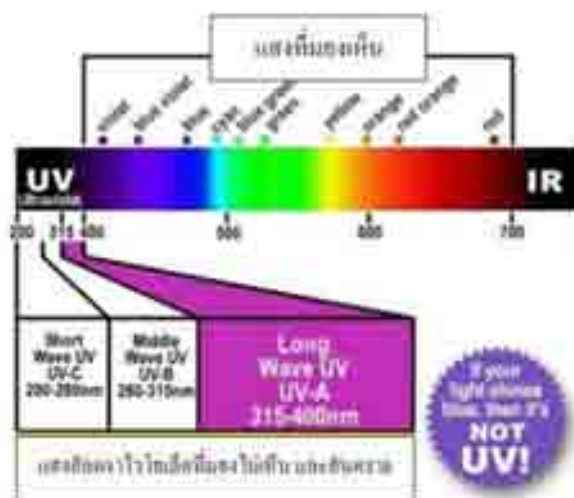
(1) ช่วงคลื่นยาว หรือ UV-A อยู่ในช่วง 320- 400 นาโนเมตร รังสีช่วงคลื่นนี้ไม่ทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต สามารถพบได้ในแสงแดดที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศลงมาถึงผิวโลก เนื่องจากก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ซึ่งห่อหุ้มโลกอยู่สามารถดูดกลืนได้น้อยมาก

(2) ช่วงคลื่นปานกลาง หรือ UV-B อยู่ในช่วง 280-320 นาโนเมตร รังสีช่วงคลื่นนี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตหลายประเภท สามารถพบได้ในแสงแดดที่ส่องผ่านลงมาถึงผิวโลก เนื่องจากก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศสามารถดูดกลืนได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

(3) ช่วงคลื่นสั้น หรือ UV-C อยู่ในช่วง 200-280 นาโนเมตร รังสีช่วงคลื่นนี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอย่างยิ่ง แต่ตามปกติจะไม่พบในแสงแดดที่ส่องผ่านมาถึงผิวโลก เนื่องจากถูกดูดกลืนโดยก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ทั้งหมด

(4) ช่วงคลื่นที่เรียกว่า Vacuum UV ความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 200 นาโนเมตร รังสีในช่วงนี้ยังมีการศึกษาไม่มากนักเนื่องจากไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (ปรัศนี เจริญสิน, 2549)





ภาพที่ 2.1 คลื่นแสงที่มองเห็น (Visible Light) และแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet Light)

ที่มา : ศูนย์ดวงตาสภากาชาดไทย, 2552

## 2.6.2 หลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต

หลอดกำเนิดรังสีอัลตราไวโอเล็ตในปัจจุบันมีอยู่ 3 ชนิด (ปรัศนีย์ เจริญสิน, 2549) คือ

(1) หลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดความดันสูง (High-pressure lamp) โดยหลอดความดันสูงนี้ภายในบรรจุด้วยก๊าซอาร์กอน หรือไอปรอท และขั้วหลอดแบบ Epoxidated electrodes (wolfram wires coated with strontium and barium carbonates) ตัวหลอดทำจากวัสดุท่อควอทซ์ (Quartz pipe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15-30 มิลลิเมตร และมีขั้วหลอดปิดอยู่ปลายทั้งสอง หลอดควอทซ์ซึ่งบรรจุปรอทที่ความดันสูง (ประมาณ 1-10 atm) เมื่อทำงานจะมีความร้อนเกิดขึ้นถึง 300 องศาเซลเซียส โดยหลอดชนิดนี้จะกำเนิดแสงขาว (Visible light), รังสีอินฟราเรด (Infared ray) และรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet ray) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 365.0-366.3 นาโนเมตร

(2) หลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดความดันปานกลาง (Medium-pressure lamp) จะบรรจุไอปรอทอยู่ภายใน มีความดันก๊าซทั้งหมดอยู่ในช่วง 10-30 MPa (1-3 atm)

(3) หลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดความดันต่ำ (Low-pressure lamp) หลอดชนิดนี้สร้างขึ้นจากท่อแก้ว Uviol รังสีที่เกิดขึ้นมาจากไอปรอทซึ่งบรรจุอยู่ภายในหลอดแก้ว มีความดันประมาณ 0.001 atm โดยปกติหลอดชนิดนี้จะมีขนาด 15-60 วัตต์ ความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำงานมีค่าประมาณ 40 องศาเซลเซียส หลอดชนิดความดันต่ำนี้จะมีรังสีอัลตราไวโอเล็ตอยู่

ประมาณร้อยละ 70 ของรังสีที่เกิดขึ้นจะมีความยาวคลื่นเท่ากับ 253.7 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเชื้อโรค และทำลายพันธะเคมีต่างๆ

## 2.7 กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis Process)

คำว่า โฟโตคะตะไลซิส (photocatalysis) เป็นคำที่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ “โฟโต (photo)” ที่ใช้นำหน้าคำที่แสงมาเกี่ยวข้องด้วย และ “คะตะลิสต์ (catalyst)” ที่เป็นกระบวนการที่อนุภาคของสารมีส่วนร่วมในการทำให้เกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยที่ตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ และเรียกสารที่เพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยการลดพลังงานกระตุ้น (The activation energy) ว่าสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดหรือทำให้สารบริสุทธิ์ในเรื่องการบำบัดอากาศ หลักการของกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการดูดติดผิว และการฉายแสง (สรวรค์ จิตรไคร์ครวญ, 2552)

### 2.7.1 หลักการของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส (Fundamental of Photocatalysis Reaction)

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis Process) เป็นการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตัวคะตะลิสต์ ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยการถูกกระตุ้นด้วยแสง ตัวคะตะลิสต์นี้จะทำหน้าที่ลดพลังงานกระตุ้นของการเกิดปฏิกิริยา

### 2.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

ความเข้มข้นของอนุภาคไททาเนียมไดออกไซด์ อุณหภูมิ ความเข้มของแสงยูวี (UV light intensity)

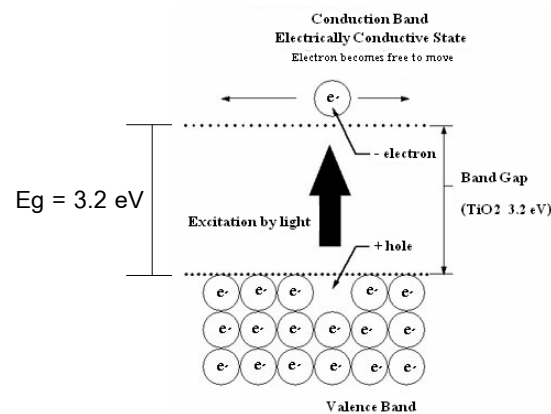
กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส เป็นกระบวนการที่ใส่ตัวเร่ง (Catalysis) เร่งปฏิกิริยาที่ใช้แสง (Photoreaction) ซึ่งในกระบวนการเร่งปฏิกิริยานี้เป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalysis) โดยทั่วไปโมเลกุลของสารตั้งต้นจะถูกดูดติด (Adsorb) ไว้บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โมเลกุลที่ถูกดูดติดจะถูกออกซิไดซ์โดยการถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับไฮโดรเจน หรือ ให้กับเรดิคัลอิสระ เมื่อมีแสงที่มีพลังงานมากพอกระทบกับพื้นผิวดำตัวเร่ง

ปฏิกิริยา ทำให้อิเล็กทรอนิกส์กระตุ้นสู่แถบการนำไฟฟ้า หรือทำให้สารอื่นที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม เช่น ใยน้ำ และออกซิเจน เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล

ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสต้องมืองค์ประกอบคือ

- (1) คตะไลสต์ เช่น สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)
- (2) พลังงานแสง ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานฟotonของตัวคตะไลสต์ที่ใช้

หลักการเกิดโฟโตคะตะไลซิส ของไทเทเนียมไดออกไซด์ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไฮดรอกซิลเรดิคัล กับสารปนเปื้อนในสารละลาย และการเกิดออกซิเดชันโดยตรงของโพลีเมอร์ในแถบวาเลนซ์กับสารปนเปื้อนที่ดูดติดบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา (langphasuk, 1997) ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส นี้ เป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำ ซึ่งมีแถบพลังงานอยู่สองแถบ คือ แถบวาเลนซ์ (Valence Band) และแถบการนำไฟฟ้า (Conduction Band) แถบพลังงานทั้งสองนี้จะถูกแยกจากกันโดยมีแถบช่องว่างพลังงาน (Band Gap) ซึ่งมีความกว้าง  $E_g$  กั้นอยู่ ดังแสดงในภาพที่ 2.2

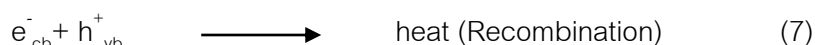
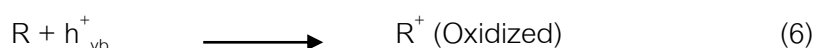
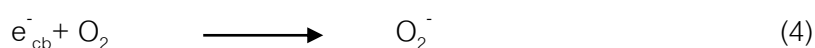
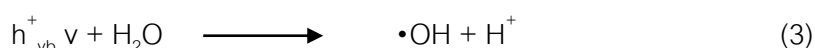
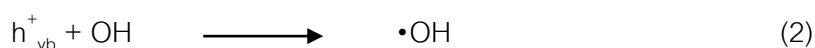
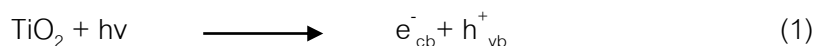


ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

ที่มา : Green Titan Inc. (2004)

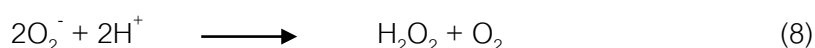
กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis) ของอนุภาคสารกึ่งตัวนำที่ถูกอนุภาคของแสง (Photon) ซึ่งมีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าช่องว่างพลังงาน  $E_g$  ตกกระทบผิวหน้าอนุภาคสารกึ่งตัวนำ ทำให้อิเล็กทรอนิกส์กระตุ้นเปลี่ยนที่อยู่จากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำไฟฟ้า ทำให้เกิดสภาวะขาดแคลนอิเล็กทรอนิกส์ที่แถบวาเลนซ์ เรียกว่าโฮล (Hole) แทนด้วยสัญลักษณ์  $h^+_{vb}$  ส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกกระตุ้นไปอยู่ในแถบการนำไฟฟ้าแทนด้วยสัญลักษณ์  $e^-_{cb}$  ซึ่ง  $h^+_{vb}$  และ  $e^-_{cb}$  สามารถที่จะกลับมาอยู่ในสภาวะเดิมได้อีก เรียกว่ารีคอมบิเนชัน (Recombination) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส และที่ผิวหน้าระหว่างของแข็งและก๊าซ (Gas-Solid Interface) อิเล็กทรอนิกส์สามารถที่จะเคลื่อนย้ายจากแถบการนำไฟฟ้าไปสู่ตัวรับอิเล็กทรอนิกส์

(Acceptor) ในก๊าซเรียก รีดักชัน (Reduction) หรืออิเล็กตรอนจากผู้ให้ (Donor) ในก๊าซไปสู่โฮลในแถบวาเลนซ์ เรียกว่า ออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งโฮลที่เกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ดี (Strong Oxidant) กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส โดยมีไทเทเนียมไดออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแสดงได้ด้วย สมการ 1 ถึง 7 (Al-Ekabi และคณะ, 1991)



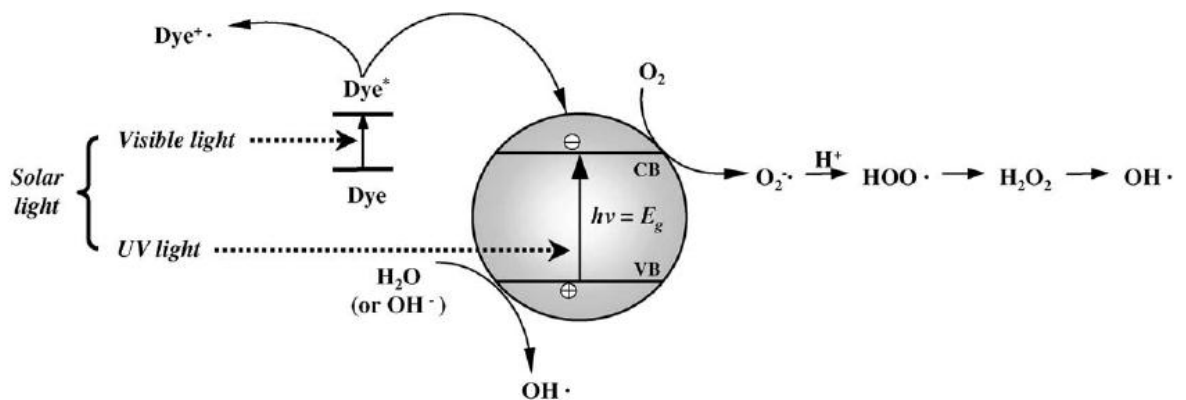
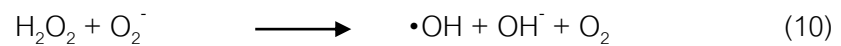
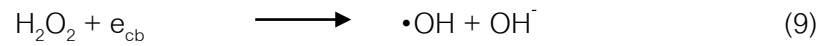
### 2.7.3 กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ในสถานะก๊าซ

อิเล็กตรอนที่แถบการนำไฟฟ้า ( $e_{\text{cb}}^-$ ) ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ที่ดูดติดผิวไทเทเนียมไดออกไซด์ทำให้โมเลกุลออกซิเจนเปลี่ยนไปเป็นซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัล ( $\text{O}_2^-$ ) ส่วนโฮลที่แถบวาเลนซ์ ( $h_{\text{vb}}^+$ ) สามารถรับอิเล็กตรอน (Oxidized) จากโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในก๊าซได้โดยตรง หรือไฮดรอกซิลไอออน (Hydroxyl ions :  $\text{OH}^-$ ) ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\cdot\text{OH}$ ) และยังทำให้โมเลกุลของน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ที่ดูดติดผิวไทเทเนียมไดออกไซด์เปลี่ยนเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ด้วยเช่นกัน ซึ่งไฮดรอกซิลเรดิคัล เป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่แรง (Strong Oxidizing Agent) มีความไวในการทำปฏิกิริยาสูง (Highly Reactive) และทำหน้าที่สลายโมเลกุลสารอินทรีย์ในก๊าซที่ดูดติดผิวหรืออยู่ใกล้ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัลสามารถที่ทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ดังสมการที่ 8



ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ดี ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ โดยจะทำปฏิกิริยากับ  $e_{\text{cb}}^-$  ทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ดังสมการที่ 9 และ 10

(อุทกนันท์ ศิริพงษ์, 2544) กลไกของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสบนสารกึ่งตัวนำไททาเนียมไดออกไซด์ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กลไกของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสบนสารกึ่งตัวนำไททาเนียมไดออกไซด์  
ที่มา : Mo และคณะ, 2552

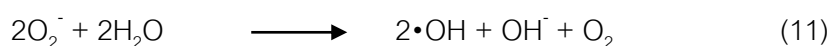
#### 2.7.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ของไอระเหย

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาตรและความดันย่อยของออกซิเจน (Volume and Partial Pressure of Oxygen) ความเข้มแสงยูวี (UV Light Intensity) และความชื้น (Humidity)

(1) อุณหภูมิ จากทฤษฎีทางจลนพลศาสตร์ (Kinetic theory) อุณหภูมินับเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างมากต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาของ  $e_{\text{cb}}$  และ  $h_{\text{vb}}^+$  กับสารปนเปื้อนในสารละลายมีค่ามากกว่าอัตราการกลับมารวมตัวกันใหม่ของ  $e_{\text{cb}}$  และ  $h_{\text{vb}}^+$  (Recombination) และอาจเนื่องมาจากความถี่ในการชนกันของโมเลกุลมีมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และอาจเนื่องมาจากการลดลงของพลังงานการกระตุ้นในการทำปฏิกิริยา (Serpone และ Pelizzetti, 1989) แต่ในกรณีของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสในสภาวะก๊าซ เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาดูดซับผิว

ส่งผลให้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาดูดติดผิวลดลง (Satterfield, 1991) ทำให้ อัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสลดลง

(2) ปริมาตรและความดันย่อยของออกซิเจน อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อ ความเข้มข้นของออกซิเจนเพิ่มขึ้น ออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส เพราะออกซิเจนจะยึดเกาะบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่ยึดจับ  $e_{cb}^-$  ที่แถบการนำไฟฟ้า ทำให้เกิด ซุปเปอร์ออกไซด์ไอออน (สมการที่ 4) และจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ต่อไปได้เป็น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (สมการที่ 8) และด้วยเหตุนี้ออกซิเจนจึงทำหน้าที่เป็นตัวยึดเวลาการ กลับมารวมตัวกันใหม่ (Recombination) ของ  $e_{cb}^-$  และ  $h_{vb}^+$  โดยออกซิเจนยังทำให้เกิดไฮดรอกซิล-เรดิคัล ดังแสดงในสมการที่ 11 แต่การใช้ ออกซิเจนเปรียบเทียบกับออกซิเจนในอากาศทำให้อัตรา การเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสไม่มีความแตกต่างกัน (Kim และคณะ, 2002)



(3) ความเข้มแสงยูวี จากสมการความสัมพันธ์ของพลังค์ (Planck' s constant) เนื่องจากความเข้มแสงยูวีขึ้นอยู่กับพลังงานของแสงโดยตรง (ความเข้มแสงยูวี คือ พลังงานต่อ หน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลาแสง 1 โฟตอน (photon) ที่มีความถี่ ( $\nu$ ) และมีค่าพลังงาน (E) คิดเป็น 1 ควอนตัม ดังแสดงในสมการที่ 12 ถ้าให้พลังงานของแสงทั้งหมดที่ตกกระทบบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ของ ผิวหน้าโลหะเป็น E ดังนั้น (Ollis และคณะ, 1996)

$$E = h \nu \quad (12)$$

โดย  $E =$  พลังงานรวมของโฟตอนที่ตกกระทบบน (eV)

$h =$  ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck' s constant) มีค่า  $4.136 \times 10^{-15}$  eV.s

$\nu =$  ความถี่ของคลื่น ( $s^{-1}$ )

จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบบน = พลังงานของแสงทั้งหมดที่ตกกระทบบน/พลังงานของแสง 1โฟตอน

$$= ET / h \nu \quad (13)$$

จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบบนต่อ 1 วินาที = ความเข้มของแสง /  $h \nu$

ไอน์สไตน์ (Einstein) ได้ตั้งสมมุติฐานว่า 1 โฟตอนจะทำให้เกิด 1 โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2533) ดังนั้นจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนและจำนวนโฟตอน ความเข้มแสงยูวีเพื่อที่จะกระตุ้นไทเทเนียมไดออกไซด์ ให้เกิด  $e^-_{cb}$  และ  $h^+_{vb}$  ต้องมีพลังงานอย่างน้อย 3.2 อิเล็กตรอนโวลต์ ผลของความเข้มแสงยูวีที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถแบ่งตามระดับของความเข้มแสงยูวีได้ 3 ระดับคือ

- 1 ที่ระดับความเข้มแสงยูวีต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงยูวี
- 2 ที่ระดับความเข้มแสงยูวีปานกลางอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแปรผันตามรากที่สองของความเข้มแสงยูวี
3. ที่ระดับความเข้มแสงยูวีสูงอัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับความเข้มแสง และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าคงที่ เมื่อถึงจุดจำกัดของการเคลื่อนย้ายมวล (Mass transfer limit) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพควอนตัมของการสลายตัว (Quantum efficiency of degradation = สัดส่วนของการสลายตัวต่อจำนวนโฟตอนที่ใช้) จะมีค่าคงที่ที่ระดับความเข้มแสงต่ำและจะแปรผันกับรากที่สองของความเข้มแสงที่ระดับความเข้มแสงปานกลางและจะแปรผันกับ ความเข้มแสงที่ระดับความเข้มแสงสูง (Ollis และคณะ, 1991)

การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงยูวีที่ใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ในการเพิ่มปริมาณความเข้มแสงยูวีให้กับถังปฏิกิริยา ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่เพิ่มความเข้มแสงยูวีมากจนทำให้อุณหภูมิในขณะทำการทดลองเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส คือ ทำให้อัตราการดูดติดผิวของไอสารอินทรีย์ระเหย ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาดูดติดผิว (ธรรมศักดิ์ โรจนวิรุฬห์, 2549)

(4) ความชื้น โมเลกุลของน้ำที่ไปดูดติดผิวบริเวณผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เกิดอนุมูลของกลุ่มไฮดรอกซิล ทำให้อัตราการย่อยสลายของสารบางตัวเพิ่มขึ้น เช่น คลอรีน (Yamazaki และคณะ, 1996) แต่ส่งผลทำให้ความสามารถในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ระเหย บางตัวลดลง เช่น พอร์มาลดีไฮด์ (Ao และคณะ 2004) อะซีโตน (Chang และคณะ, 2003) โทลูอีน (Luo และ Ollis, 1996; Kim และ Hong, 2002) โดยโมเลกุลของน้ำไปยับยั้งการย่อยสลายของสารอินทรีย์ระเหยดังที่ข้างต้น

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบทบาทของกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสในการกำจัดไอของสารประกอบอินทรีย์ระเหย มีดังต่อไปนี้

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสเป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการกำจัดไอสารอินทรีย์ระเหย เนื่องจากไอสารอินทรีย์ระเหย มีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารซึ่งส่งผลกระทบต่อกิจกรรมต่างๆไม่ว่าจะเป็นในสถานที่ทำงาน สถานศึกษาและต่อกลุ่มคนที่อาศัยอยู่ภายในอาคาร โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสมีศักยภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยหลายชนิด เช่น เอทิลเบนซีน โทลูอิน ไซลีนและสารประกอบอินทรีย์ระเหยในกลุ่มเมอร์เคปเทน รวมทั้งกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสยังกำจัดไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นต่างๆที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสในการกำจัดของสารอินทรีย์ระเหยจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ได้มีการศึกษาโดยการเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงยูวี โดยใช้หลอดไฟสำหรับฆ่าเชื้อ (UV-C 254 นาโนเมตร) และหลอดฟลูออเรสเซนต์แบลคไลท์ (300-370 นาโนเมตร) พบว่าแหล่งกำเนิดแสงโดยใช้หลอดฆ่าเชื้อให้ประสิทธิภาพในการกำจัดดีกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์แบลคไลท์ (Sauer และ Ollis, 1996; Obee และ Hay, 1997; Benoit-Marquie และคณะ, 2000; Attwood และคณะ, 2003)

การกำจัดสารอินทรีย์ระเหยภายในอาคารด้วยแผ่นฟอกอากาศโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ภายใต้แสงที่ตาสามารถมองเห็นได้ (30 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) และ แสงยูวี (1,000 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร) พบว่า สามารถกำจัดสารฟอร์มัลดีไฮด์ความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน จนเหลือ 0 ส่วนในล้านส่วน ภายใน 20 ชั่วโมงและ 2 ชั่วโมง ตามลำดับและกำจัดสารโทลูอินความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน ได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 1 วัน ภายใต้แสงยูวี เนื่องจากสารโทลูอินเป็นสารอินทรีย์ระเหยที่ย่อยสลายยากโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Taoda และ คณะ, 2006)



ผลของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส จากการศึกษาการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส อะเซทิลดีไฮด์ (Sano และคณะ, 2004) โทลูอีน, บิวตะไดอิน (Obee และ Brown, 1995) ไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) (Hager และ Bauer, 1999; Sanchez และคณะ, 1999) และ พีซีคลอโรเอทิลีน (PCE) (Hager และ Bauer, 1999) พบว่า อัตราการย่อยสลายลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ สารประกอบของเอทิลีน (Fu และคณะ, 1999; Obee และ Hay, 1997) และ ฟอรัมาลดีไฮด์ (Obee และ Brown, 1995) พบว่าอัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

Ao และ Lee (2003) ศึกษาผลของการเคลื่อนที่ของมลพิษอากาศโดยกระบวนการย่อยสลายด้วยแสง มีไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าความสามารถของการย่อยสลายโทลูอีนลดลงจาก 72 เหลือ 19 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระดับความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นจาก 2,100 ส่วนในล้านส่วน (ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 10 เปอร์เซ็นต์) เป็น 22,000 ส่วนในล้านส่วน (ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 80 เปอร์เซ็นต์)

Ao และคณะ (2004) ศึกษาการย่อยสลายฟอรัมาลดีไฮด์ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายของฟอรัมาลดีไฮด์ลดลงจาก 80 เหลือ 54 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระดับความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 2,100 ส่วนในล้านส่วน (10เปอร์เซ็นต์ ของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ) เป็น 22,000 ส่วนในล้านส่วน (ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 80 เปอร์เซ็นต์)

Jeong และคณะ (2004) ศึกษาการย่อยสลายโทลูอีนโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ใช้ 3 ความยาวคลื่น (1) Short - Wavelength UV (185-254 nm) (2) Black light blue Lamp (365nm) และ (3) Germicidal UV Lamp (254 nm) ปริมาตรถังปฏิกิริยา 40 ลิตร ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 40 เปอร์เซ็นต์ ควบคุมอุณหภูมิที่  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$  อัตราการไหลอากาศ 0.5-0.6 ลิตรต่อนาที พบว่า Short - Wavelength UV (185-254 nm) เป็นช่วงคลื่นที่ดีที่สุดที่มีความสามารถในการย่อยสลายก๊าซโทลูอีน เท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ของการกำจัด

Jo และ Kim (2008) ศึกษาการควบคุมระดับสารอินทรีย์ระเหยในอากาศในอาคารโดยใช้เคลือบธาตุไนโตรเจนบนไททาเนียมไดออกไซด์โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ใช้แหล่งกำเนิดแสงช่วงที่ตามองเห็น พบว่าธาตุไนโตรเจนไปตรึงให้สารอินทรีย์ระเหยไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และทำให้ไททาเนียมไดออกไซด์มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหย (เอทิลเบนซีน, ออโร/เมตา/พารา-ไซลีน) ประสิทธิภาพเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ในช่วงแสงที่สามารถมองเห็นได้

Kim และ คณะ (2001) ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นและแหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยในสิ่งแวดล้อมขนาดเล็ก ในเมืองเบอร์มิงแฮม ประเทศอังกฤษ โดยทำการตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหย ได้แก่ เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน พารา-ไซลีน เมตา-ไซลีน ออโร-ไซลีน 1,3,5-ไตรเมทิลเบนซีน พี-ไอโซโพรพิลโทลูอีน 1,2,4-ไตรเมทิลเบนซีน 1,3-บิวตะไดอิน สไตรีน เนปทาลีน 3-เอทิลไพรีดีนและไพรีดีน พบว่าระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยส่วนใหญ่ในอาคารมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดภายนอกอาคาร นอกจากนี้การสูบบุหรี่ ยังเป็นปัจจัยที่ทำให้ระดับความเข้มข้นของ 1,3-บิวตะไดอิน เพิ่มขึ้น

Kim และคณะ (2002) ศึกษากระบวนการโฟโตคะตะไลซิสในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย ไตรคลอโรเอทิลีน (TCE) อะซีโตน เมทานอลและโทลูอีน โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคลือบบนแผ่นแก้ว ใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในช่วงคลื่น 200-300 นาโนเมตร ถึงปฏิกิริยา 1.6 ลิตร ทำจากอะคริลิกใส เติมนระบบการทดลองแบบที่ละเท อุณหภูมิที่ศึกษา 25, 45 และ 75°C พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดหนึ่งทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสลดลง

Liang และ Zhao (2009) ศึกษาการกำจัดก๊าซโทลูอีน (single toluene) เข้มข้นเริ่มต้น 0.11 โมลต่อลูกบาศก์เมตร และก๊าซโทลูอีน อะซีโตนและพารา-ไซลีน รวมกัน (mixed toluene) ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.34 โมลต่อลูกบาศก์เมตร โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส บนแผ่นฟิล์ม กำหนดอัตราการไหล 1, 3, 5, 7 และ 9 ลิตรต่อนาทีและเวลากักพัก 1-8 ชั่วโมง พบว่าอัตราการไหลของก๊าซ 3 ลิตรต่อนาที เป็นอัตราการไหลมีอัตราการย่อยสลายสูงสุดในระดับความเข้มข้นเดียวกันและอัตราการย่อยสลายของ mixed toluene ดีกว่า single toluene

Molhave (1990) ได้ทำการเสนอความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยรวมที่วัดได้ในอากาศกับผลกระทบต่อผู้อาศัยภายในอาคาร โดยแบ่งเป็นช่วงพบว่า ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยรวม 0.20-3.0 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองและปัญหาความสบาย ค่าความเข้มข้นที่ 3.0-25.0 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะก่อให้เกิดการระคายเคืองและปัญหาความไม่สบาย และอาจทำให้ปวดศีรษะ ขณะที่ความเข้มข้นมากกว่า 25.0 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะส่งผลกระทบต่อระบบประสาทได้นอกเหนือจากอาการปวดศีรษะ ผู้วิจัยได้สังเกตด้วยว่า ผู้อาศัยในอาคารจะเริ่มรู้สึกไม่สบายเมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยรวมมากกว่า 3.00 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Yu และ คณะ (2007) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายของสารประกอบอินทรีย์ระเหยโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส พบว่าเมื่อความเข้มแสงยูวีเพิ่มขึ้นจาก 0-200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นแต่เมื่อให้ความเข้มแสงที่มากกว่านี้อัตราการย่อยสลายก็จะคงที่ ระยะเวลาพัก 0-1.06 ชั่วโมง อัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาพักเพิ่มขึ้นและโครงสร้างสารอินทรีย์ระเหยแบบวงแหวนมีความสามารถในการย่อยสลายน้อยกว่าแบบโซ่

ธรรมศักดิ์ โรจนวิรุฬห์ (2549) ศึกษาการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยโดยกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่ใช้ในงานวิจัยคือ โทลูอินและอะซีโตน เติมนระบบแบบที่ละเท ใช้แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตจากหลอด UV Incandescent Blacklight และ UV High Pressure Mercury Vapour ช่วงความยาวคลื่น 300-400 นาโนเมตร ความเข้มแสงยูวี 165.7, 193.3 และ 1230.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในงานวิจัย 46 และ 56 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นคงที่เท่ากับ 46 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดโทลูอินและอะซีโตน คือ ความเข้มแสง ยูวีเท่ากับ 193.3 ไมโครวัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิเท่ากับ 46 องศาเซลเซียส

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยในอากาศในสิ่งแวดล้อมขนาดเล็กต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบอินทรีย์ระเหยในอากาศภายในอาคารของประเทศไทย

รัฐเขต มูลรินดี๊ะ (2552) ศึกษาแหล่งกำเนิดและความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานครจำนวน 17 ตึกในช่วงเดือนกันยายน-เดือนตุลาคม 2552 โดย

ศึกษาศารประกอบอินทรีย์ระเหย 13 ชนิด พบว่าชนิดสารอินทรีย์ระเหยสูงสุด 4 อันดับแรก คือ โทลูอิน มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งภายในและภายนอกอาคารเท่ากับ 110.19 และ 43.61 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ รองลงมาคือ ไลโมนีน ไซลีนและเอทิลเบนซีน มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยภายในอาคารเท่ากับ 73.53, 21.83 และ 12.09 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าสัดส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของสารอินทรีย์ระเหยภายในอาคารเปรียบเทียบกับภายนอกอาคาร (I/O ratio) มีค่าอยู่ในช่วง 1.68-12.29 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยภายในอาคารมีความสำคัญมากกว่าการแพร่ของสารอินทรีย์ระเหยจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร

สาวิตรี พูลมา (2548) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยในที่พักอาศัยบริเวณข้างถนนในกรุงเทพมหานคร และการรับสัมผัสของผู้อาศัยจำนวน 9 เขต พบว่าสารอินทรีย์ระเหยที่พบทุกพื้นที่ได้แก่ กลุ่ม BTEX โดย โทลูอิน มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 213.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจพบทุกชนิดบริเวณถนนมีค่าสูงกว่าภายในอาคาร ยกเว้น ไลโมนีน ค่าความสัมพันธ์ของสารอินทรีย์ระเหยบริเวณริมถนนไม่สอดคล้องกับค่าความเข้มข้นที่บุคคลได้รับและภายในอาคาร

งานวิจัยนี้ใช้แผ่นฟอกอากาศ ชิเซน แอร์คลีน ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น โดยแผ่นฟอกอากาศนี้ได้รับการรับรองจากมหาวิทยาลัย Ishinomaki Senshu ประเทศญี่ปุ่น ด้วยวิธีการปล่อยอากาศผสมสารเคมีเข้าสู่ภาชนะทดสอบด้วยระดับความเข้มข้นที่กำหนดและวัดเวลาที่ใช้เวลาในการย่อยสลายจนหมด จากนั้นปล่อยสารเคมีชนิดนั้นเข้ามาใหม่และตรวจวัดซ้ำอีกครั้งอย่างต่อเนื่อง สารเคมีที่ใช้คือ ฟอรัมาลดีไฮด์ โทลูอิน แอมโมเนีย และเมทิลเมอร์แคปเทน โดยใช้แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05 ตารางเซนติเมตร แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่น 355 นาโนเมตร ความเข้มแสงยูวี 500 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยเริ่มต้นของฟอรัมาลดีไฮด์เท่ากับ 1.75 ส่วนในล้านส่วน ใช้เวลาเฉลี่ยในการย่อยสลายจนหมดภายใน 10 นาที ความเข้มข้นเฉลี่ยเริ่มต้นของโทลูอินเท่ากับ 4.5 ส่วนในล้านส่วน ใช้เวลาเฉลี่ยในการย่อยสลายจนหมดภายใน 150 นาที ความเข้มข้นเฉลี่ยเริ่มต้นของแอมโมเนียเท่ากับ 5 ส่วนในล้านส่วน ใช้เวลาเฉลี่ยในการย่อยสลายจนหมดภายใน 20 นาที ความเข้มข้นเฉลี่ยเริ่มต้นของเมทิลเมอร์แคปเทน เท่ากับ 0.9 ส่วนในล้านส่วน ใช้เวลาเฉลี่ยในการย่อยสลายจนหมดภายใน 60 นาที

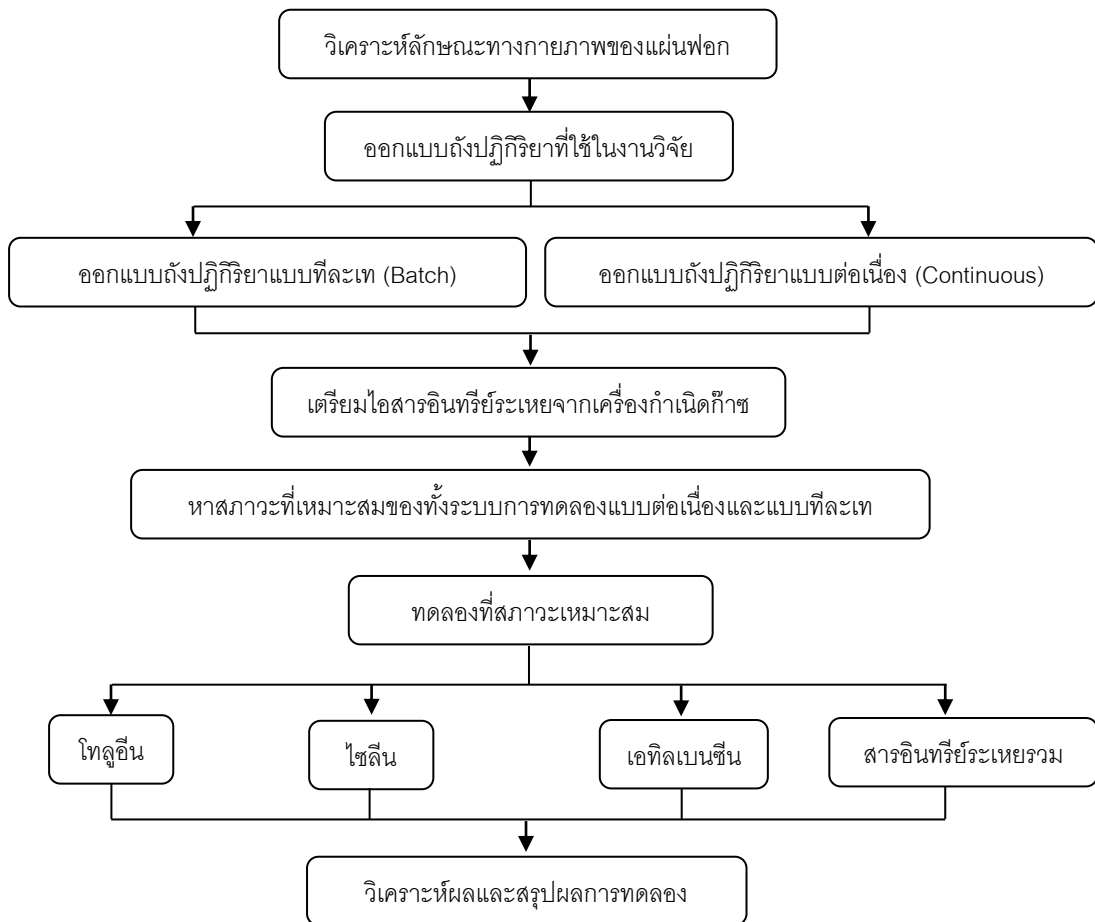
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย ด้วยแผ่นฟอกอากาศชนิดวอลเปเปอร์ที่ติดภายในอาคาร สำนักงาน ซึ่งเป็นแผ่นฟอกอากาศที่เคลือบสารตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนียมไดออกไซด์เอาไว้ เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหย โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส สารอินทรีย์ระเหยที่เลือกทดสอบคือสารอินทรีย์ระเหยที่พบในอาคารสำนักงาน ชนิดสารโทลูอีน (Toluene) สารไซลีน (Xylene) และสารเอทิลเบนซีน (Ethyl benzene) (รัฐเขต มุลรินตีะ, 2552) ไม่ได้ตรวจวัดไลโมเนิน เพราะว่าเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคาร และแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดสอบ จะเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ไม่มีอันตรายต่อผู้ที่พักอาศัยในอาคาร สำนักงาน พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมระบบในงานวิจัย ทำการวิจัยในห้องปรับอากาศควบคุมอุณหภูมิภายในห้องและภายในถังปฏิกิริยาขณะการทดลอง ที่  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$  ตรวจวัดคุณภาพอากาศ (ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) โดยใช้เครื่อง Q<sup>TM</sup>-trak model 7556 Infrared และตรวจวัดความเข้มแสงยูวีโดยใช้ ยูวี ไลท์ มิเตอร์

### บทที่ 3

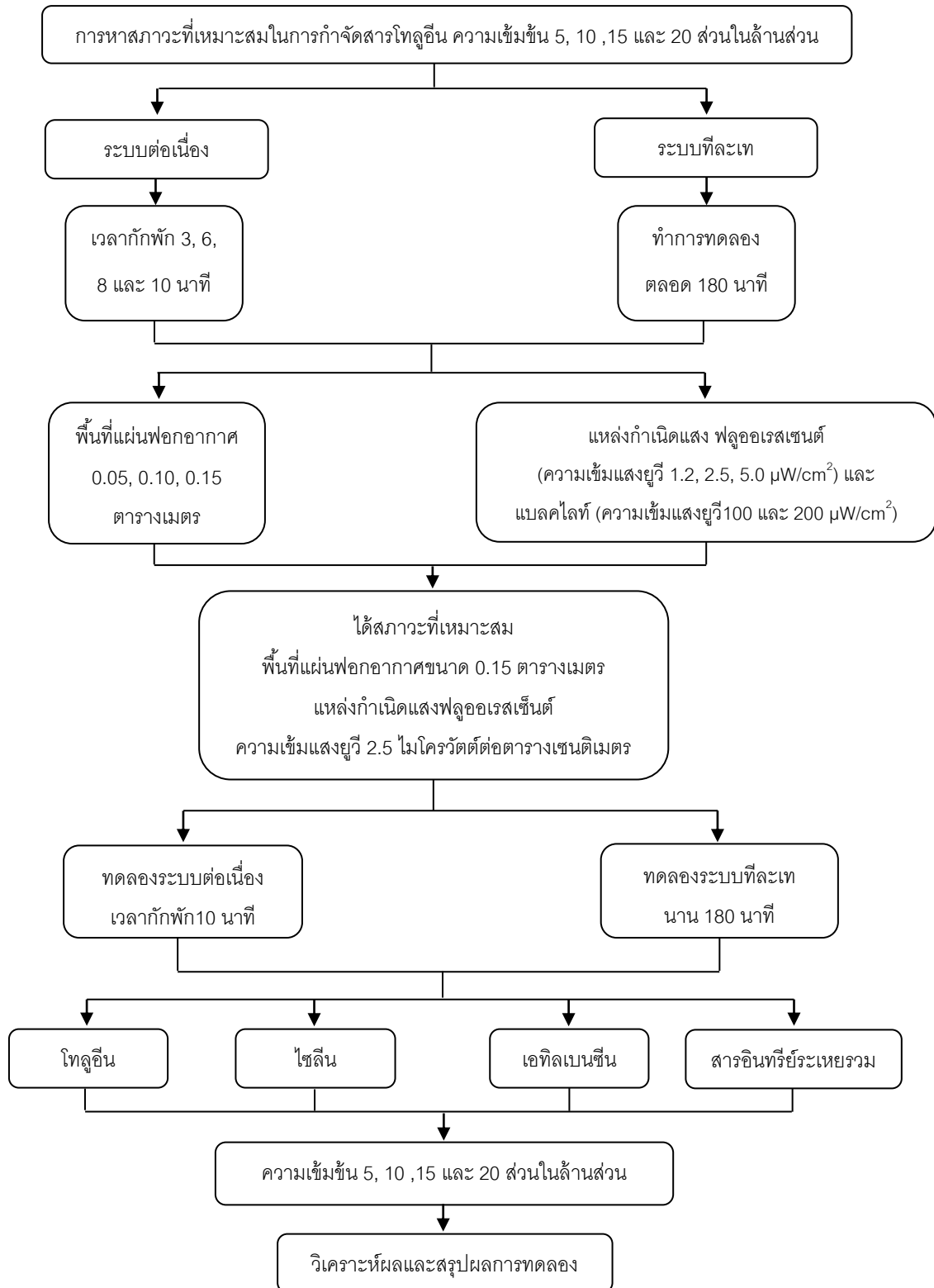
## วิธีดำเนินงานวิจัย

### 3.1 แผนการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการกำจัดโทลูอีน ไซลีน เอทิลเบนซีน และโทลูอีน ไซลีน เอทิลเบนซีนรวมกัน (สารอินทรีย์ระเหยรวม) ด้วยแผ่นฟอกอากาศโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการคุณภาพอากาศ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษา



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลอง

### 3.2 ตัวแปรในการทดลอง

#### ตัวแปรคงที่

- ปริมาตรถังปฏิกิริยา 0.03 ลูกบาศก์เมตร
- อุณหภูมิห้องปรับอากาศ ความดันปกติประมาณ 1 บรรยากาศ

#### ตัวแปรอิสระ

- ความเข้มข้นไอสารอินทรีย์ระเหยเอทิลเบนซีน 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน (22, 44, 65 และ 87 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ)
- ความเข้มข้นไอสารอินทรีย์ระเหยไซลีน 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน (22, 44, 65 และ 87 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ)
- ความเข้มข้นไอสารอินทรีย์ระเหยโทลูอีน 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน (19, 38, 57 และ 75 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ)
- ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยรวม (โทลูอีน ไซลีนและเอทิลเบนซีน) 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน
- พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05, 0.10 และ 0.15 ตารางเมตร
- แหล่งกำเนิดแสงช่วงที่ตามองเห็นได้ คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ความเข้มแสงยูวี 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
- แหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต คือ หลอดแบลคไลท์ความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
- เติระบบแบบต่อเนื่องระยะเวลาพัก 3, 6, 8 และ 10 นาที

#### ตัวแปรตาม

- ความเข้มข้นของไอสารอินทรีย์ระเหยที่ออกจากถังปฏิกิริยา
- อัตราการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย
- ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย
- ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในงานวิจัยครั้งนี้แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

พารามิเตอร์	เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	ช่วงการตรวจวัด	ความละเอียด
ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย	เครื่องวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยแบบพกพา	Mini Rae 2000 (PID)/VOCs 0-10,000 ส่วนในล้านส่วน	0-99 ส่วนในล้านส่วน	0.1 ส่วนในล้านส่วน
ความเข้มแสงยูวี	ยูวี มิเตอร์	UV 340B	0-400 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	-
อุณหภูมิ	เครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร	Q <sup>TM</sup> -Trak model 7556	25±2°ซ	0.1 องศาเซลเซียส
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	เครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร	Q <sup>TM</sup> -Trak model 7556	0-500 ส่วนในล้านส่วน	1 ส่วนในล้านส่วน
ความชื้นสัมพัทธ์	เครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร	Q <sup>TM</sup> -Trak model 7556	5-95 %	0.1%
แหล่งกำเนิดแสง	หลอดฟลูออเรสเซนต์	0, 0.2, 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	-	-
	หลอดแบลคไลท์	0, 100, 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร	-	-

### 3.4 สารเคมีและอื่นๆ

3.4.1 สารละลายเอทิลเบนซีน (Ethyl benzene,  $C_8H_{10}$  : Fluka : ความบริสุทธิ์ 98.0%)

3.4.2 สารละลายโทลูอีน (Toluene,  $C_6H_5$  : Panreac : ความบริสุทธิ์ 99.5%)

3.4.3 สารละลายไซลีน (Xylene,  $C_8H_{10}$  : Panreac : ความบริสุทธิ์ 99.0%)

3.4.4 แผ่นฟอกอากาศซิเซน แอร์คีน (ภาพที่ 3.3)



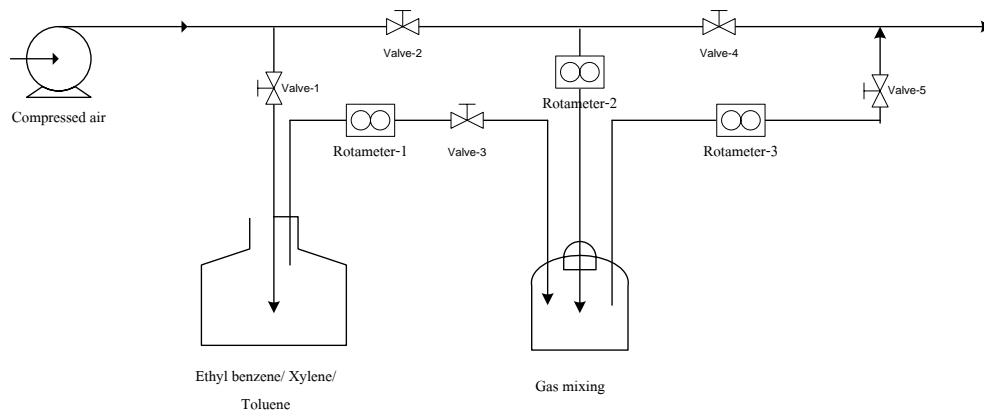
ภาพที่ 3.3 แผ่นฟอกอากาศซิเซน แอร์คีน

### 3.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.5.1 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศ

วิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สารประกอบ X-Ray Diffraction (XRD) วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) และวิเคราะห์พื้นที่ผิวของแผ่นฟอกอากาศโดยวิธี BET Surface Area และ องค์ประกอบของธาตุของแผ่นฟอกอากาศด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)

3.5.2 เตรียมแหล่งกำเนิดสารโทลูอีน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีนและสารอินทรีย์ระเหยรวม โดยการเตรียมความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยสำหรับการทดลองแบบต่อเนื่อง ที่ความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน จากสารละลายสารอินทรีย์ระเหยดังกล่าว ดังภาพที่ 3.4



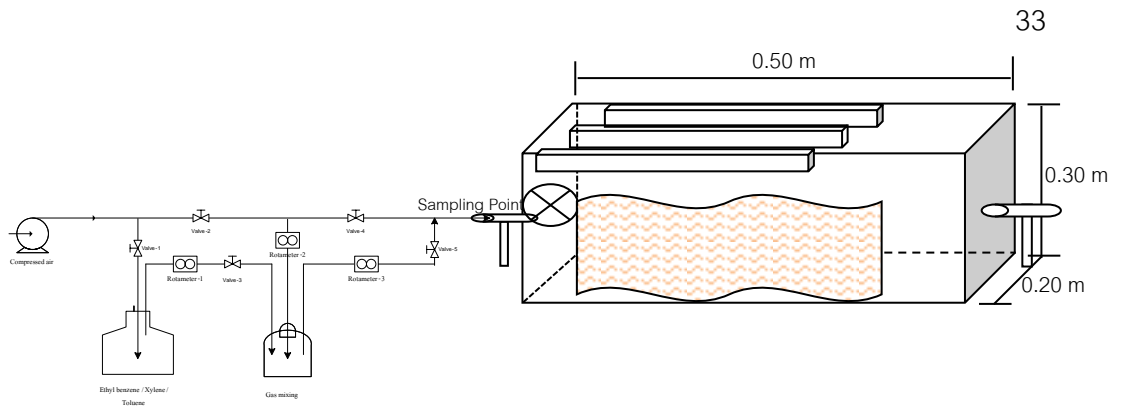
ภาพที่ 3.4 ชุดสร้างไอสารอินทรีย์ระเหย

สำหรับการทดลองแบบที่ละเท ทดลองโดยใช้ดรอปเปอร์หยดสารละลายอินทรีย์ระเหยเข้าไปภายในถังปฏิกิริยา ที่ความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน

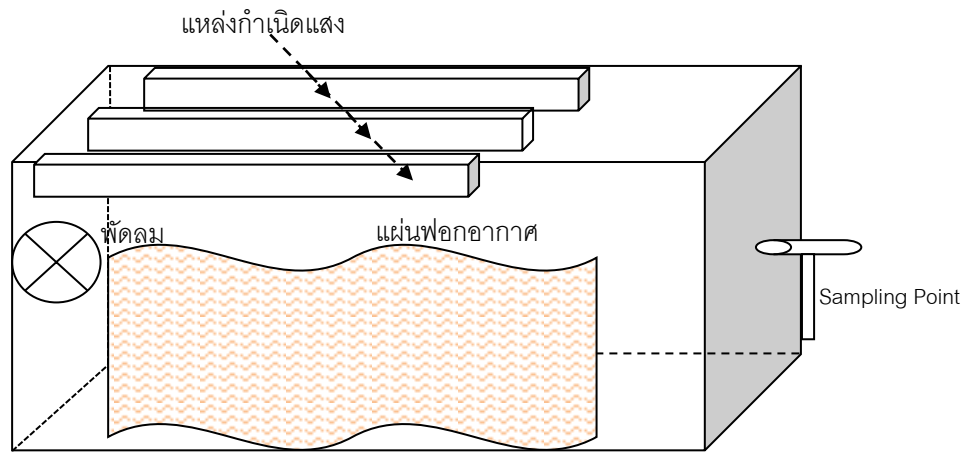
### 3.5.3 ออกแบบถังปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง (Continuous Reactor) และออกแบบถังปฏิกิริยาแบบที่ละเท (Batch Reactor)

เป็นถังปฏิกิริยาแบบปิดโดยใช้วัสดุอะคริลิกใส ถังปฏิกิริยาเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ถังปฏิกิริยา มีความกว้าง 0.20 เมตร ความสูง 0.30 เมตร ความยาว 0.50 เมตร ปริมาตรเท่ากับ 0.03 ลูกบาศก์เมตร ภายในบรรจุหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน 3 หลอด หรือหลอดแอลซีไลท์ จำนวน 3 หลอด ติดตั้งไว้ด้านบนภายในถังปฏิกิริยา และติดตั้งพัดลมเพื่อทำให้อิสารอินทรีย์ระเหยภายในเกิดการกระจายให้ทั่วทั้งถังปฏิกิริยา และแปรเปลี่ยนขนาดแผ่นฟอกอากาศ 0.05, 0.10 และ 0.15 ตารางเมตร ดังภาพที่ 3.5 และ 3.6 ตามแผนการทดลอง ดังตารางที่ 3.2 ส่วนชุดควบคุมจะทำการทดลองโดยไม่มีแผ่นฟอกอากาศ



ภาพที่ 3.5 ชุดการทดลองแบบต่อเนื่อง



ภาพที่ 3.6 ชุดการทดลองแบบที่ละเท

### 3.5.4 ตรวจวัดความเข้มข้นของไอสารอินทรีย์ระเหยด้วยเครื่อง Mini Rae

ดังภาพที่ 3.7 ซึ่งตรวจวัดความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยก่อนเข้าถังปฏิกิริยา และหลังจากออกจากถังปฏิกิริยา โดยระบบต่อเนื่องมีการวัดตามเวลากักที่ 3, 6, 8 และ 10 นาที ส่วนการระบบที่ละเท วัดตลอดการทดลอง ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 180 นาที



ภาพที่ 3.7 เครื่อง Mini Rae

3.5.5 ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และอุณหภูมิภายในถัง  
ปฏิบัติการ

ทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง Q<sup>TM</sup>-Trak Model 7565 ดังภาพที่ 3.8 ภายในถัง  
ปฏิบัติการก่อนและหลังการทดลองทุกครั้ง



ภาพที่ 3.8 เครื่อง Q<sup>TM</sup>-Trak Model 7565

### 3.5.6 ตรวจวัดความเข้มแสงยูวี

ทำการตรวจวัดความเข้มแสงยูวีจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์และแหล่งกำเนิดแสงแอลซีแอลทีด้วยเครื่อง ยูวี มิเตอร์ ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 เครื่อง UV Meter

### 3.5.7 การหาสภาวะที่เหมาะสม

การกำจัดสารโกลูอิน โดยการเดินระบบแบบต่อเนื่อง ใช้สารโกลูอินความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 3, 6, 8 และ 10 นาที พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05, 0.10 และ 0.15 ตารางเมตรและแหล่งกำเนิดแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 0, 0.2, 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และหลอดแอลซีแอลที ที่มีความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ดังตารางที่ 3.2

เดินระบบแบบที่ละเทโดยใช้สารโกลูอินความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน ทำการทดลองตลอด 180 นาที (วัดความเข้มข้นสารโกลูอินทุกๆ 5 นาที) พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05, 0.10 และ 0.15 ตารางเมตร แหล่งกำเนิดแสงหลอดฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 0, 0.2, 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และหลอดแอลซีแอลที ที่มีความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ดังตารางที่ 3.3

ถึงปฏิบัติการแบบควบคุม ใช้สารโกลูอินความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน ทำการทดลองตามระบบต่อเนื่องและระบบที่ละเทแต่ภายในถึงปฏิบัติการไม่มีแผ่นฟอกอากาศ

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองแบบต่อเนื่อง ในการหาสภาวะที่เหมาะสม (สารโกลูอิน)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง	
	1	2
แหล่งกำเนิดแสงยูวี	ฟลูออเรสเซนต์	แบลคไลท์
ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)	0, 1.2, 2.5 และ 5.0	0, 100 และ 200
เวลากักพัก (นาที)	3, 6, 8 และ 10	3, 6, 8 และ 10
ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหย (ส่วนในล้านส่วน)	5, 10,15 และ 20	5, 10,15 และ 20
พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ (ตารางเมตร)	0.05, 0.10 และ 0.15	0.05, 0.10 และ 0.15

ตารางที่ 3.3 แผนการทดลองแบบทีละเท ในการหาสภาวะที่เหมาะสม (สารโกลูอิน)

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง	
	3	4
แหล่งกำเนิดแสงยูวี	ฟลูออเรสเซนต์	แบลคไลท์
ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)	0, 1.2, 2.5 และ 5.0	0, 100 และ 200
ช่วงเวลาการทดลอง (นาที)	180 นาที	180 นาที
ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหย (ส่วนในล้านส่วน)	5, 10,15 และ 20	5, 10,15 และ 20
พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ (ตารางเมตร)	0.05, 0.10 และ 0.15	0.05, 0.10 และ 0.15

3.5.8 การทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสารโกลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีนและสารอินทรีย์ระเหยรวม

นำสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลอง 3.5.7 ในกำจัดสารโกลูอินมาทำการทดสอบประสิทธิภาพการกำจัด สารโกลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหย 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน ดังตารางที่ 3.4

เดินระบบแบบต่อเนื่อง ใช้สารโทลูอีน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม เวลาพัก 10 นาที โดยใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตรและแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ดังตารางที่ 3.4

เดินระบบแบบทีละเท ใช้สารโทลูอีน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม ทำการทดลองตลอด 180 นาที (วัดความเข้มข้นสารโทลูอีนทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 180 นาที) โดยใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ดังตารางที่ 3.4

**ตารางที่ 3.4** แผนการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดสารโทลูอีน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง	
	แบบต่อเนื่อง	แบบทีละเท
แหล่งกำเนิดแสงยูวี	ฟลูออเรสเซนต์	ฟลูออเรสเซนต์
ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)	2.5	2.5
เวลากักพัก (นาที) ช่วงเวลาการทดลอง (นาที)	10	180
ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหย (ส่วนในล้านส่วน)	5, 10,15 และ 20	5, 10,15 และ 20
พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ (ตารางเมตร)	0.15	0.15



### 3.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผ่นฟอกอากาศ

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยของแผ่นฟอกอากาศ จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย} = [1 - (\text{ความเข้มข้น}_{\text{ออก}} / \text{ความเข้มข้น}_{\text{เข้า}})] \times 100$$

ค่าคงที่ปฏิกิริยา ( $k$  :  $\text{min}^{-1}$ )

$$-\ln \frac{C}{C_0} = kt \quad : \quad \text{Slope} = k$$

### 3.7 ผลที่ได้จากการวิจัย

เนื่องจากวิจัยเป็นการวิจัยที่จำลองลักษณะห้อง อาคาร สำนักงาน โดยมีอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ ตามสภาพของห้องปรับอากาศทั่วไปเพื่อนำผลการวิจัยของพารามิเตอร์ต่างๆ ไปหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย ซึ่งได้แก่

ความเข้มแสงยูวี ใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (ช่วงที่ตาสามารถมองเห็นได้) และ หลอด แบลคไลท์ (รังสีอัลตราไวโอเล็ต) บ่งบอกสภาวะที่เหมาะสมของพลังงานแสงจากความเข้มแสงยูวี เป็นตัวกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสที่ทำให้สารอินทรีย์ระเหยถูกกำจัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขนาดของแผ่นฟอกอากาศ ทราบขนาดพื้นที่แผ่นฟอกอากาศต่อปริมาตรของห้อง เพื่อ เลือขนาดแผ่นฟอกอากาศมาใช้งาน

ผลการศึกษาดังกล่าว นำไปใช้งานได้ในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย ที่มีแหล่งกำเนิดมาจาก เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ สี เป็นต้น ที่อยู่ภายในห้อง อาคารและสำนักงาน ซึ่งทำให้บุคคลที่อาศัย ไม่เกิดอาการวิงเวียน ปวดศีรษะ

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

ในการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยในอากาศด้วยแผ่นฟอกอากาศ โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ของสารไทลูอิน สารโซเดียม สารเอทิลเบนซีน และ สารอินทรีย์ระเหย รวม ภายในถังปฏิกริยาขนาด 0.03 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งควบคุมอุณหภูมิภายในถังปฏิกริยาเท่ากับ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 55-70 เปอร์เซ็นต์ โดยการมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05, 0.10 และ 0.15 ตารางเมตร ใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงยูวี 0.2, 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และแหล่งกำเนิดแสงแบลคไลท์ที่มีความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยการเดินระบบแบบต่อเนื่อง มีเวลากักพัก 3, 6, 8 และ 10 นาที และเดินระบบแบบที่ละเท ทำการทดลองตลอด 180 นาที โดยทดลองสารอินทรีย์ระเหยที่ความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศ

##### 4.1.1 องค์ประกอบของธาตุของแผ่นฟอกอากาศด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF)

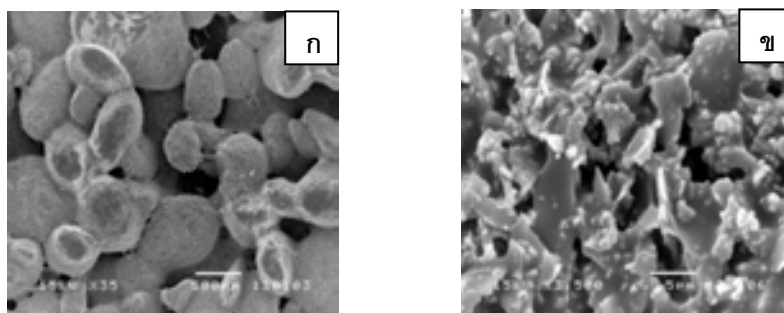
จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบองค์ประกอบทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พบว่า ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศ มีธาตุซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 55 และไททาเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 33 ซึ่งธาตุซิลิกอนไดออกไซด์มีคุณสมบัติในการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับแผ่นฟอกอากาศ เพื่อให้โมเลกุลของสารอินทรีย์ระเหยสามารถเกาะติดผิวได้มากขึ้น และธาตุไททาเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติในการเร่งการเกิดปฏิกริยาโฟโตคะตะไลซิส เพื่อให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ระเหยได้มากขึ้น

##### ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศ

องค์ประกอบของธาตุของแผ่นฟอกอากาศ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)											
Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1.95	0.3	3.38	54.67	0.04	3.52	1.03	33.07	0.13	1.84	0.01	0.01

#### 4.1.2 ลักษณะทางกายภาพโดยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM)

กำลังขยาย 35 เท่า และ 3,500 เท่า ดังภาพที่ 4.1(ก) และ 4.1(ข) ตามลำดับ พบว่าพื้นผิวแผ่นฟอกอากาศมีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอน มีรูพรุนกระจายมากมายอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งรูพรุนเหล่านี้เป็นบริเวณที่เกาะติดของโมเลกุลสารอินทรีย์ระเหย เพื่อรอให้พลังงานแสงยูวีมากกระตุ้นแล้วเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสต่อไป



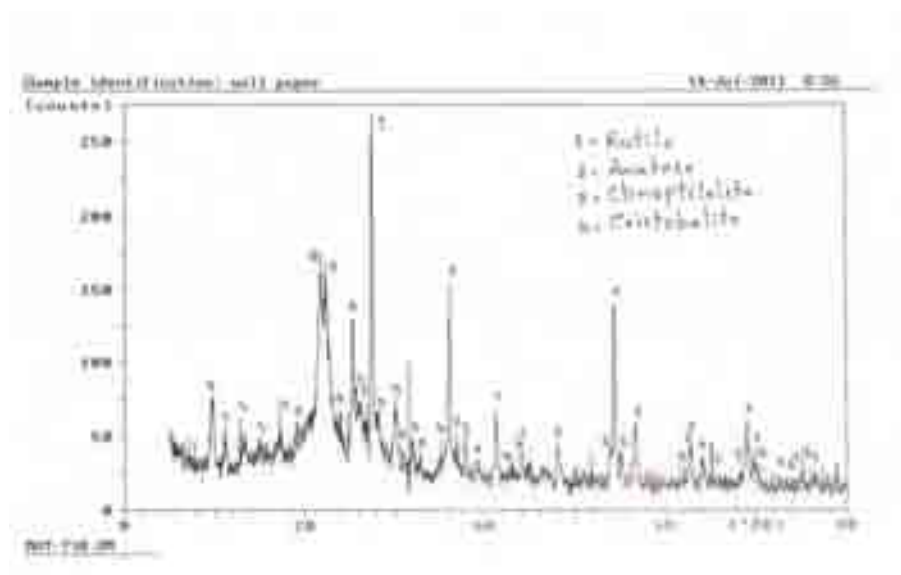
(ก) กำลังขยาย 35 เท่า

(ข) กำลังขยาย 3,500 เท่า

ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของแผ่นฟอกอากาศ

#### 4.1.3 โครงสร้างผลึกของแผ่นฟอกอากาศด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffractometer)

การวิเคราะห์เอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก ของสารประกอบ และแร่ซึ่งสามารถแยกแยะประเภท และชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติ ว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใด หรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด ซึ่งจากงานวิจัยนี้ได้นำหลักการของเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน มาวิเคราะห์แผ่นฟอกอากาศเพื่อหาโครงสร้างผลึกที่เป็นส่วนประกอบของแผ่นฟอกอากาศว่ามีโครงสร้างแบบใดเป็นหลัก จากภาพที่ 4.2 พบว่า โครงสร้างผลึกที่พบมากที่สุดแผ่นฟอกอากาศที่ใช้ในงานวิจัย คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนียมไดออกไซด์ โครงสร้างแบบรูไทล์ (Rutile) รองลงมาคือ อนาเทส (Anatase) (ภาคผนวก ฉ) สำหรับไทเทเนียมไดออกไซด์ ชนิด อนาเทส และรูไทล์ จะอยู่ในรูปผง โดยทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีสมบัติใกล้เคียงกันมาก เช่น ความมันวาว ความแข็งและความหนาแน่น พบว่าที่อุณหภูมิ 915 องศาเซลเซียส ไทเทเนียมไดออกไซด์ชนิดอนาเทส สามารถเปลี่ยนเป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่มีโครงสร้างเป็นแบบ รูไทล์ได้



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแผ่นฟอกอากาศ  
ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffractometer)

#### 4.1.4 พื้นที่ผิวของแผ่นฟอกอากาศ (Brunauer Emmett Teller: BET)

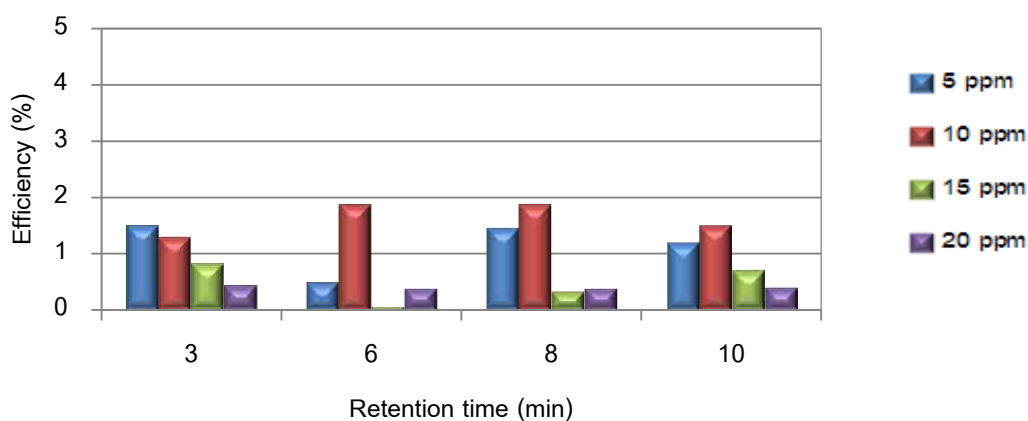
การวัดพื้นที่ผิว อาศัยการวัดปริมาณแก๊สที่พื้นผิวดูดซับเอาไว้ แก๊สที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือแก๊สไนโตรเจน (แต่ก็สามารถใช้แก๊สตัวอื่นก็ได้) โดยจะทำการวัดที่อุณหภูมิจุดเดือดของแก๊สไนโตรเจน (ประมาณ  $-196$  องศาเซลเซียส) สิ่งสำคัญก่อนที่จะทำการวัดคือต้องไล่แก๊สที่ไม่ใช่แก๊สไนโตรเจนและแก๊สที่มีจุดเดือดสูงกว่าไนโตรเจน (เช่นออกซิเจนและน้ำ) ออกจากพื้นผิวให้หมดเสียก่อน จากนั้นจึงค่อยให้พื้นผิวทำการดูดซับแก๊สไนโตรเจน แล้วจึงค่อยวัดว่าพื้นผิวดูดซับแก๊สไนโตรเจนได้เท่าไร โดยอาจดูจากปริมาณแก๊สที่หายไปตอนที่ป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าไป หรือจากปริมาณแก๊สที่คายออกมาตอนที่ไล่แก๊สออกด้วยการให้ความร้อน ซึ่งผลการวิเคราะห์ของแผ่นฟอกอากาศซิเซน พบว่าพื้นที่ผิวของแผ่นฟอกอากาศ เท่ากับ  $6.04$  ตารางเมตรต่อกรัม (ภาคผนวก ฉ)

## 4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสม

### 4.2.1 ระบบต่อเนื่อง

#### ชุดควบคุม

ในการทดลองสารโกลูอินความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน โดยการเดินระบบแบบต่อเนื่องซึ่งใช้เวลากักพัก 3, 6, 8 และ 10 นาที ในถังปฏิบัติการแบบควบคุม ซึ่งไม่มีแผ่นฟอกอากาศอยู่ภายในถังปฏิบัติการ

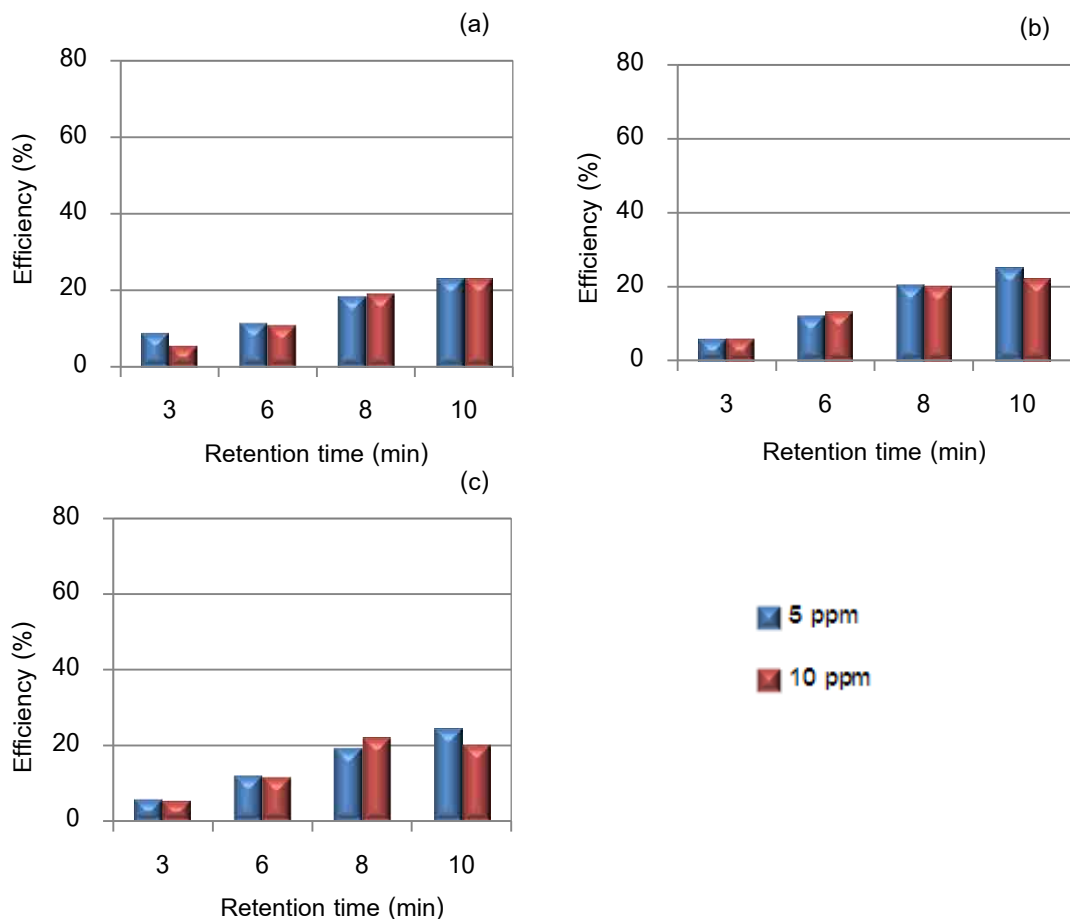


ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสารโกลูอินโดยชุดควบคุม

#### ชุดทำปฏิกิริยา

การทดลองการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05, 0.10 และ 0.15 ตารางเมตร แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงยูวี 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และแหล่งกำเนิดแสงแบลคไลต์ที่มีความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เพื่อเปรียบเทียบอัตราการกำจัดและประสิทธิภาพของตามเวลากักพัก ดังต่อไปนี้

- การทดลองสารโพลีอินโดยใช้แผ่นฟลอกอากาศขนาด 0.05 ตารางเมตร โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวีต่างๆ เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอิน และค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโพลีอิน ตามเวลากักพัก ดังภาพที่ 4.4 และ 4.5



ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินตามเวลากักพัก แต่ละความเข้มแสงยูวี พื้นที่แผ่นฟลอกอากาศขนาด 0.05 ตารางเมตร

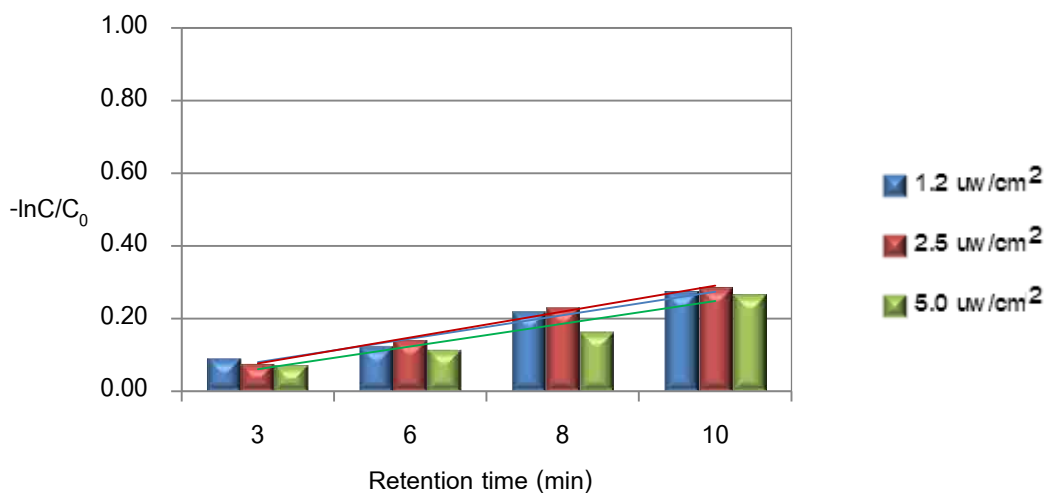
(a) ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

(b) ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

(c) ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

จากภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดตามเวลากักพัก พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินที่เวลากักพัก 10 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดมากที่สุดทั้ง สอง ความเข้มข้น เนื่องจากเวลากักพัก ยืงนานจะทำให้เกิดกระบวนการดูดติดผิวและปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสได้ดียิ่งขึ้น และที่ความเข้มแสงยูวีต่างกันประสิทธิภาพการกำจัดมีความใกล้เคียงกันและที่

ความเข้มข้นสารโกลูอิน 5 ส่วนในล้านส่วน มีประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่าสารโกลูอินความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน



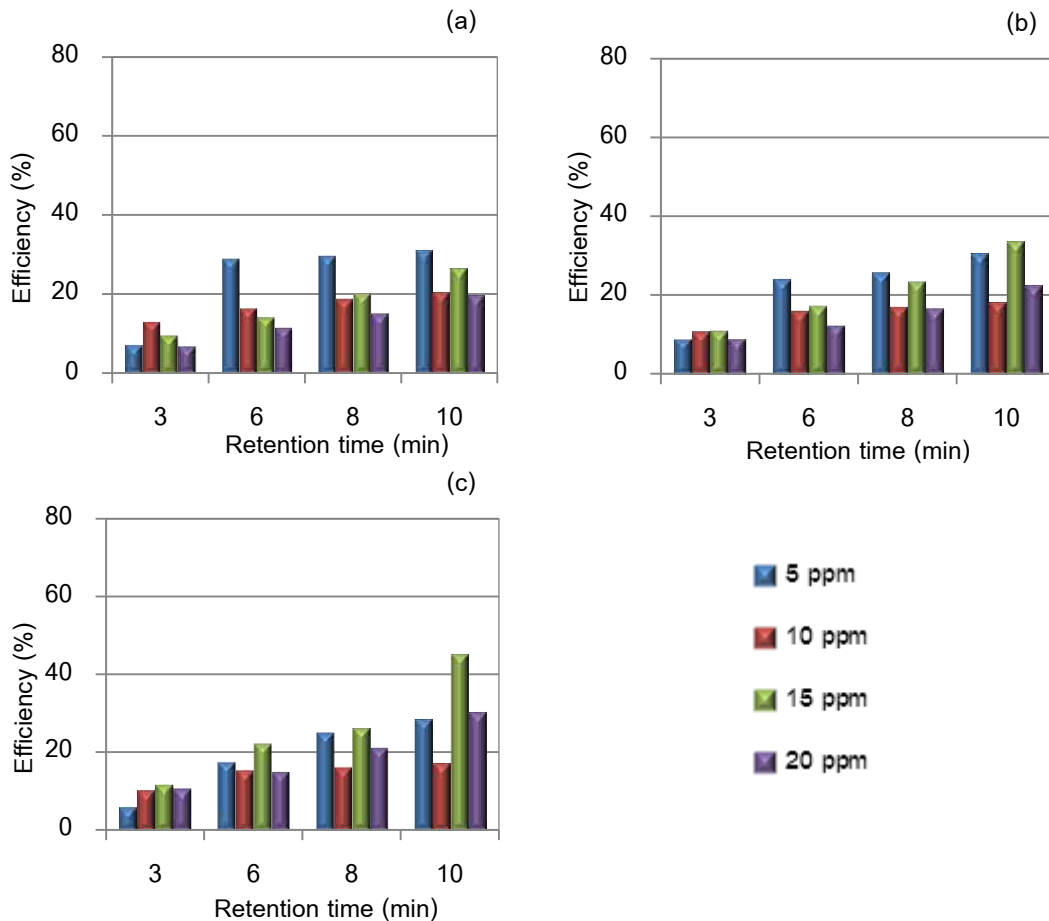
ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลากักพักแต่ละความเข้มแสงยูวีของพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.05 ตารางเมตร

จากภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารโกลูอินตามเวลากักพัก โดยใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05 ตารางเมตร แต่ละความเข้มแสงยูวี พบว่า ความเข้มข้นสารโกลูอินเปลี่ยนแปลงตามเวลากักพัก ซึ่งเวลากักพัก 10 นาที มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารมากที่สุด และที่ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินมากที่สุดเช่นกัน พิจารณาได้จากค่าคงที่ปฏิกิริยา ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าคงที่ปฏิกิริยาของความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เท่ากับ  $0.714 \text{ min}^{-1}$  แสดงว่า ความเข้มแสงยูวี ดังกล่าว ทำให้ปฏิกิริยาการกำจัดเกิดขึ้นได้ดีที่สุด

ตารางที่ 4.2 สมการของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลากักพักของพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.05 ตารางเมตร

UV light intensity ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	สมการ	$R^2$	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )
1.2	$y=0.0644x+0.0160$	0.9700	0.0644
2.5	$y=0.0714x+0.0046$	0.9925	0.0714
5.0	$y=0.0627x-0.0021$	0.9507	0.0627

- การทดลองการกำจัดสารโพลีอินโดยใช้แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.10 ตารางเมตร โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวีต่างๆ เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินและค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโพลีอิน ตามเวลากักพัก ดังภาพที่ 4.6 และ 4.7



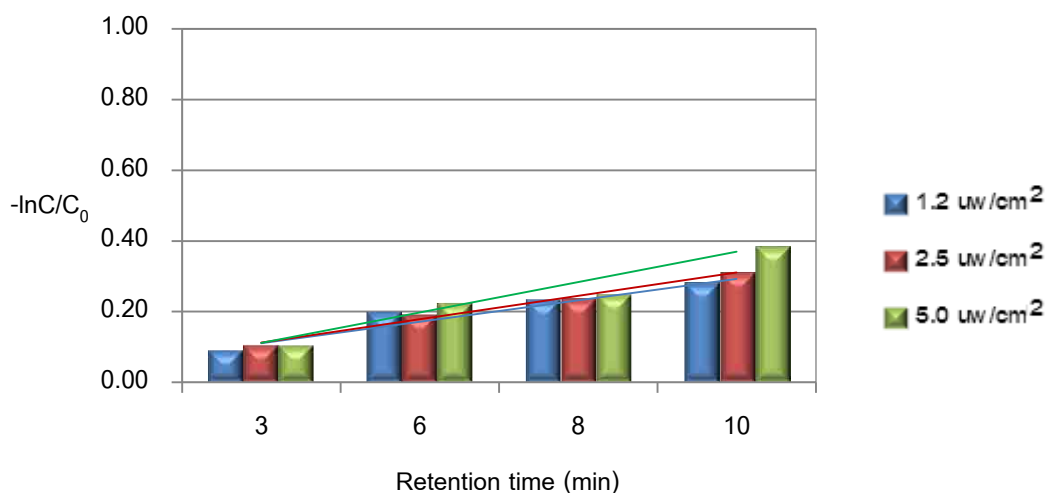
ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินตามเวลากักพัก แต่ละความเข้มแสงยูวี  
พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.10 ตารางเมตร

- (a) ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
- (b) ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร
- (c) ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

จากภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลากักพักที่ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.10 ตารางเมตร ทุกความเข้มชั้นสารโพลีอิน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินที่เวลากักพัก 10 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดมากที่สุดทั้งสองความเข้มชั้น เนื่องจากเวลา



กักพัก ยิ่งนานจะทำให้เกิดกระบวนการดูดติดผิวและปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสได้ดียิ่งขึ้น และที่ความเข้มข้นสารโกลูอิน 5 ส่วนในล้านส่วน เป็นความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพการกำจัดมากที่สุด ยกเว้นที่ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ประสิทธิภาพการกำจัดของสารโกลูอิน ความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วนมากที่สุด



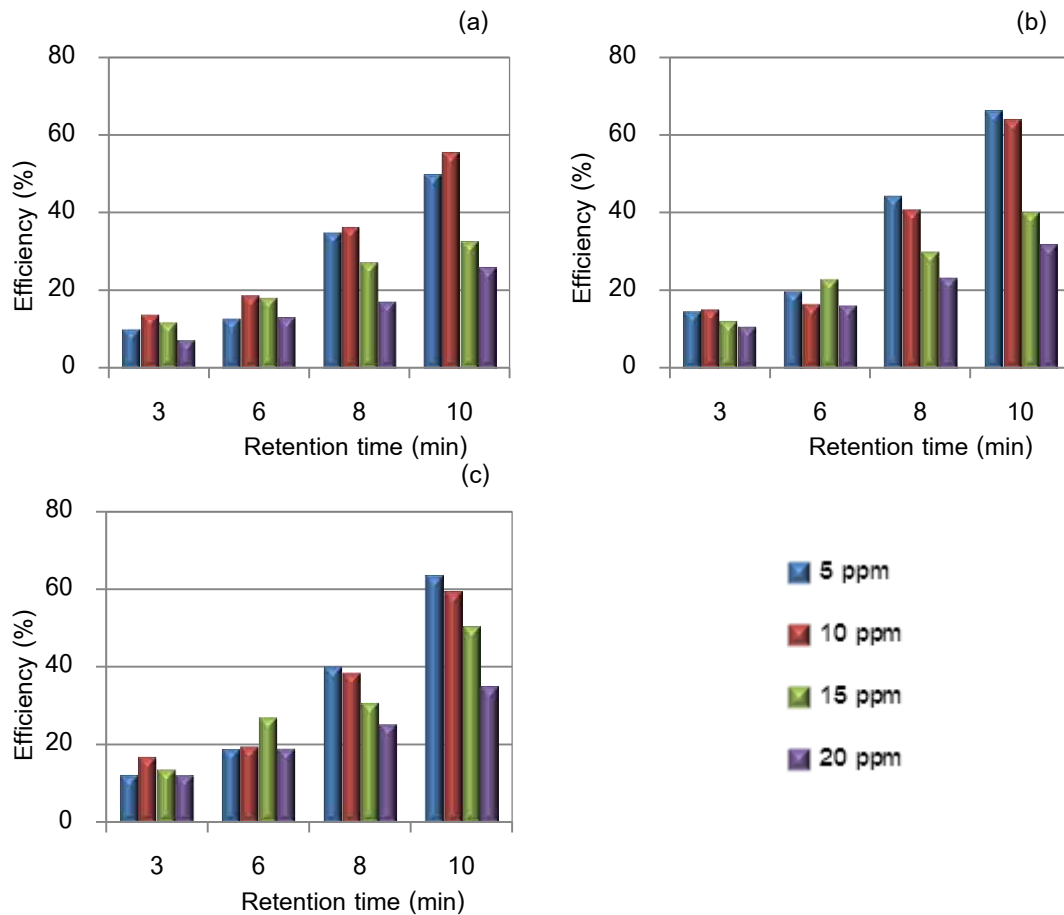
ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลากักพักแต่ละความเข้มแสงยูวีของพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร

จากภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารโกลูอินตามเวลากักพัก ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.10 ตารางเมตร แต่ละความเข้มแสงยูวี พบว่า ที่เวลากักพัก 10 นาที ความเข้มข้นสารโกลูอินมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เนื่องจาก สารโกลูอินถูกกำจัดได้มากที่สุด และ ทุกเวลากักพัก การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความเข้มแสงยูวีมีความใกล้เคียงกัน แต่ที่เวลากักพัก 10 นาที ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ความเข้มข้นสารโกลูอินมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ดังตารางที่ 4.3 พิจารณาค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโกลูอินเท่ากับ  $0.0860 \text{ min}^{-1}$  แสดงให้เห็นว่า การเกิดปฏิกิริยาที่ใช้ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร สารสามารถกำจัดสารโกลูอินได้ดีที่สุด

**ตารางที่ 4.3** สมการของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลากักพักของพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร

UV light intensity ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	สมการ	$R^2$	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )
1.2	$y=0.0605x+0.0506$	0.9339	0.0605
2.5	$y=0.0659x+0.0469$	0.9256	0.0659
5.0	$y=0.0860x+0.0257$	0.9454	0.0860

- การทดลองการกำจัดสารโพลีอินโดยใช้แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ แต่ละความเข้มแสงยูวี เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินและค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโพลีอิน ตามเวลากักพัก ดังภาพที่ 4.8 และ 4.9

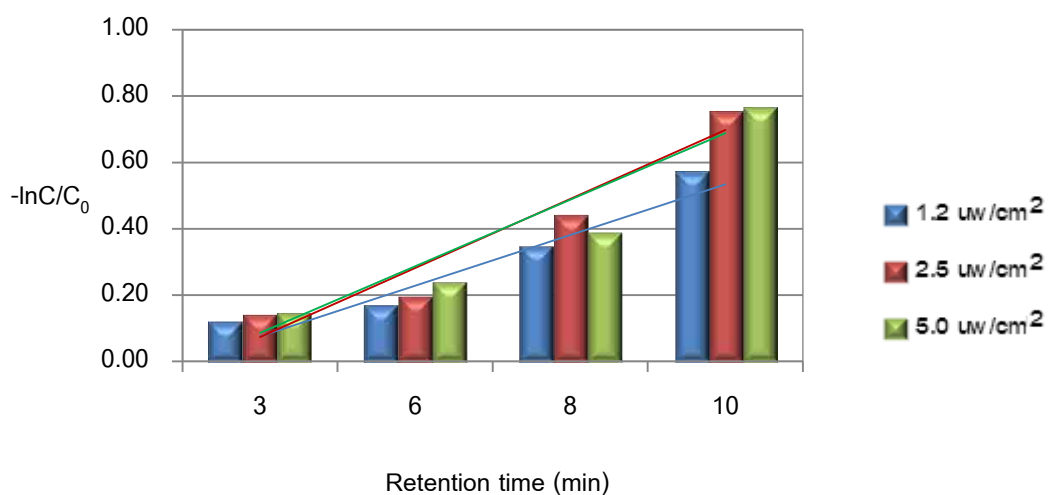


ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินตามเวลากักพัก แต่ละความเข้มแสงยูวี  
พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร

- (a) ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร  
(b) ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร  
(c) ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

จากภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินตามเวลากักพัก ที่ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร แต่ละความเข้มแสงยูวี ทุกความเข้มชั้นสารโพลีอิน พบว่า เวลากักพักเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินเพิ่มขึ้นด้วย

ซึ่งที่ความเข้มข้นสารโกลูอินต่างกันจะใช้พลังงานแสงจากความเข้มแสงยูวีมากระตุ้น เพื่อให้เกิดการกำจัดที่ต่างกัน จะเห็นว่าที่ความเข้มข้นสารโกลูอินต่ำๆ ใช้พลังงานแสงยูวีน้อยก็สามารถกำจัดสารโกลูอินได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว แต่เมื่อความเข้มข้นสารโกลูอินสูงๆ ก็ต้องใช้พลังงานแสงยูวีที่มากพอเพื่อมากระตุ้นการกำจัดให้สูงขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าใช้พลังงานแสงยูวีที่มากเกินไปจนถึงจุดหนึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการกำจัดสารโกลูอินลดน้อยลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ollis และคณะ (1991) จะเห็นว่าสารโกลูอินความเข้มข้น 5 และ 10 ส่วนในล้านส่วน ใช้พลังงานแสงที่มีความเข้มแสงยูวีเพียง 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรมากระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสก็เพียงพอแล้ว แต่ที่สารโกลูอินความเข้มข้น 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน ต้องใช้พลังงานแสงที่มากกว่า คือให้พลังงานแสงที่มีความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มากระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลากักพักแต่ละความเข้มแสงยูวีของพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร

จากภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารโกลูอินตามเวลากักพัก ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร แต่ละความเข้มแสงยูวี พบว่า ที่เวลากักพัก 10 นาที ความเข้มข้นสารโกลูอินมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เนื่องจาก สารโกลูอินถูกกำจัดได้มากที่สุด และ ทุกเวลากักพักการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตามความเข้มแสงยูวีพบว่า ที่ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นพลังงานแสงที่ทำให้ความเข้มข้นสารโกลูอินเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ยกเว้นที่เวลากักพัก 8 นาที ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ความ

เข้มข้นสารโกลูอินมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าคงที่ปฏิกิริยาจากตารางที่ 4.4 แล้ว ค่าคงที่ปฏิกิริยาของความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มากที่สุด เท่ากับ  $0.2080 \text{ min}^{-1}$  แสดงว่า ที่ความเข้มแสงยูวีดังกล่าว สามารถกำจัดสารโกลูอินได้ดีที่สุด

**ตารางที่ 4.4** สมการของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลากักพักของพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร

UV light intensity ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	สมการ	$R^2$	k ( $\text{min}^{-1}$ )
1.2	$y=0.1528x-0.0776$	0.9362	0.1528
2.5	$y=0.2080x-0.1342$	0.9256	0.2080
5.0	$y=0.2005x-0.1140$	0.9026	0.2005

#### 4.2.2 สรุปสถานะที่เหมาะสมของระบบต่อเนื่อง

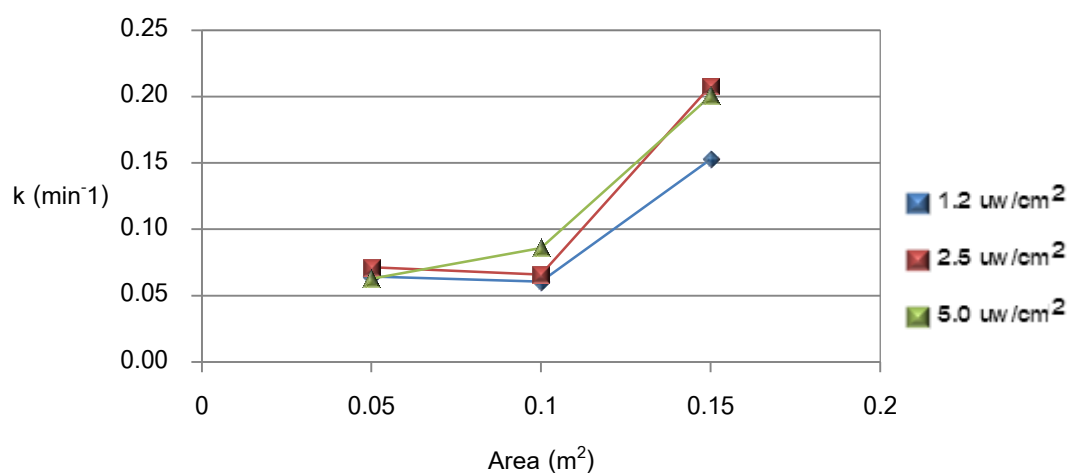
สถานะที่เหมาะสมจากการทดลองสารโกลูอินเพื่อนำไปกำจัดสารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม สรุปได้ดังนี้

##### เวลากักพัก

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลากักพัก ที่ขนาดพื้นที่แผ่นฟอกอากาศเดียวกัน และใช้ความเข้มแสงยูวีเดียวกัน สรุปได้ว่า เวลากักพักในการทดลองสารโกลูอินทุกความเข้มข้น เมื่อเวลากักพักยิ่งนานขึ้น ก็จะส่งผลให้การกำจัดสารโกลูอินมากขึ้นด้วย เนื่องจากเวลาที่นานขึ้นทำให้สารโกลูอินมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสที่นานพอ จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้น ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงเลือก เวลากักพัก 10 นาที เพราะเป็นเวลากักพักที่สูงสุดในชุดการทดลองในระบบต่อเนื่อง

## พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ

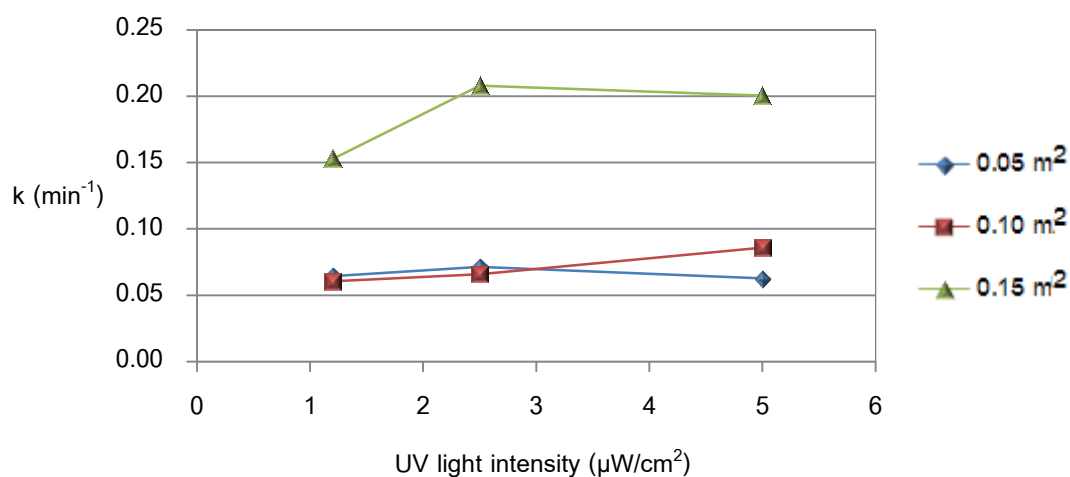
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารโกลูอินและค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโกลูอินที่ขนาดพื้นที่แผ่นฟอกอากาศต่างกัน ที่เวลาพัก 10 นาที แต่ละความเข้มแสงยูวี สรุปได้ว่า ขนาดพื้นที่แผ่นฟอกอากาศที่ดีที่สุดในการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน คือขนาด 0.15 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.10 แสดงค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโกลูอินตามขนาดพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ แต่ละความเข้มแสงยูวี พบว่า การใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร สามารถกำจัดสารโกลูอินได้ดีที่สุด เท่ากับ 0.15, 0.21 และ 0.20  $\text{min}^{-1}$  ที่ความเข้มแสงยูวี 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อแผ่นฟอกอากาศมีขนาดมากขึ้นจะทำให้สารโกลูอินมีโอกาสถูกดูดติดบนผิวหน้าของแผ่นฟอกอากาศได้มากขึ้นและมีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสได้ดี จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 4.10 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโกลูอินตามขนาดพื้นที่ของแผ่นฟอกอากาศ แต่ละความเข้มแสงยูวี

### - แหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงยูวี

จากผลการทดลองในการหาสภาวะที่เหมาะสมของเวลากักพัก และ พื้นที่แผ่นฟอกอากาศในการกำจัดสารโพลูอิน จึงนำผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสมข้างต้น เพื่อประกอบการหาสภาวะที่เหมาะสมของแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงยูวีต่อไป คือ ใช้ขนาดพื้นที่แผ่นฟอกอากาศเท่ากับ 0.15 ตารางเมตร และเวลากักพัก 10 นาที ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโพลูอินตามความเข้มแสงยูวี แต่ละขนาดพื้นที่ของแผ่นฟอกอากาศ

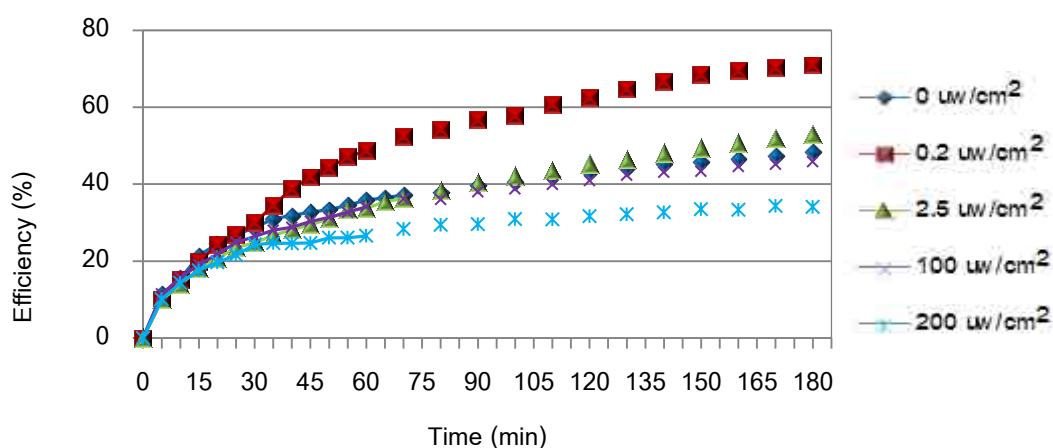
จากภาพที่ 4.11 แสดงค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโพลูอินตามความเข้มแสงยูวี แต่ละขนาดแผ่นฟอกอากาศ พบว่า การใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร สามารถกำจัดสารโพลูอินได้ดีที่สุด ซึ่งมีค่าคงที่ปฏิกิริยาเท่ากับ 0.07, 0.07 และ 0.20  $\text{min}^{-1}$  ที่พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05, 0.10 และ 0.15 ตารางเมตร ตามลำดับ และที่พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร มีค่าคงที่ปฏิกิริยาสูงที่สุด

ซึ่งจากภาพที่ 4.10 และ 4.11 ในการทดลองได้เลือกใช้ พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร และความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เพื่อทำการทดลองต่อไป เนื่องจาก มีค่าคงที่ปฏิกิริยาสูงที่สุด ส่งผลให้มีการกำจัดที่มากที่สุดด้วยเช่นกันและเป็นความเข้มแสงยูวีที่เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก เป็นพลังงานแสงที่ทำให้สารโพลูอินถูกกำจัดได้มาก ที่ความเข้มชั้นสารต่ำๆ อีกทั้งภายในอาคาร สำนักงาน มีประมาณสารอินทรีย์ระเหยที่ไม่มากนัก

### 4.2.3 ระบบทีละเท

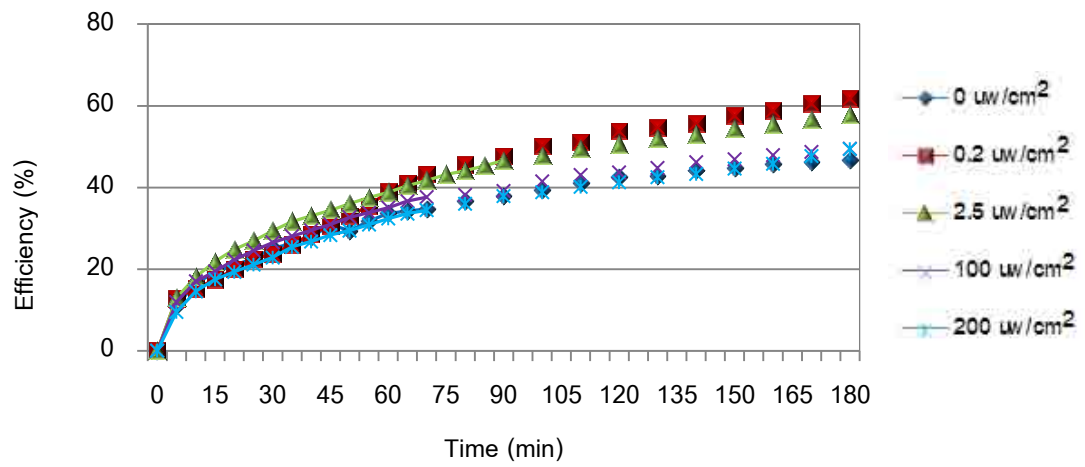
การกำจัดสารโกลูอิน โดยทำการทดลองตลอด 180 นาที ใช้แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร ใช้แหล่งกำเนิดฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 0, 0.2 และ 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (จากสภาวะที่เหมาะสมของการทดลองแบบต่อเนื่อง) และแหล่งกำเนิดแสงแบลคไลท์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

- การทดลองสารโกลูอินความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน เพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการกำจัดสารโกลูอินใช้เวลาการทดลองตลอด 180 นาที โดยใช้ความเข้มแสงยูวี 0, 0.2, 2.5, 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ดังภาพที่ 4.12 - 4.20

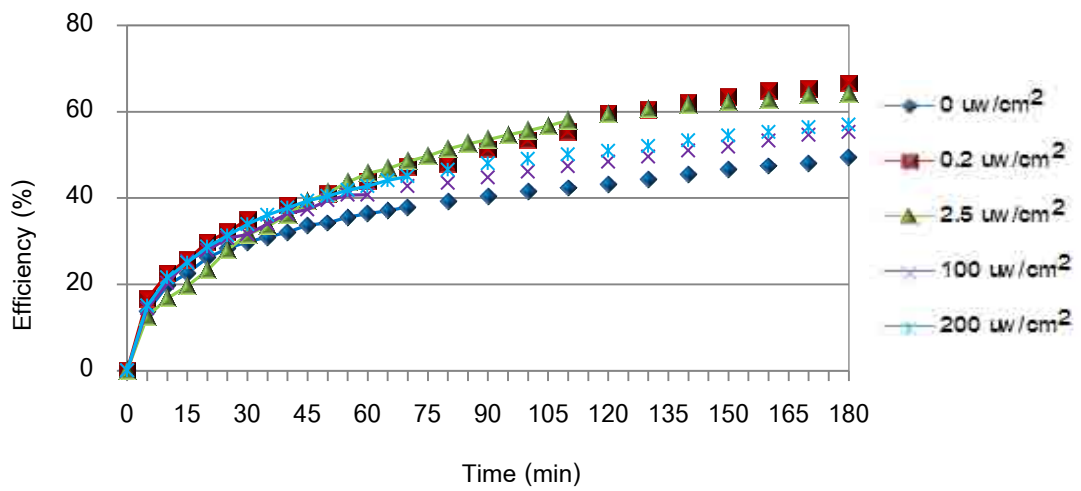


ภาพที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน

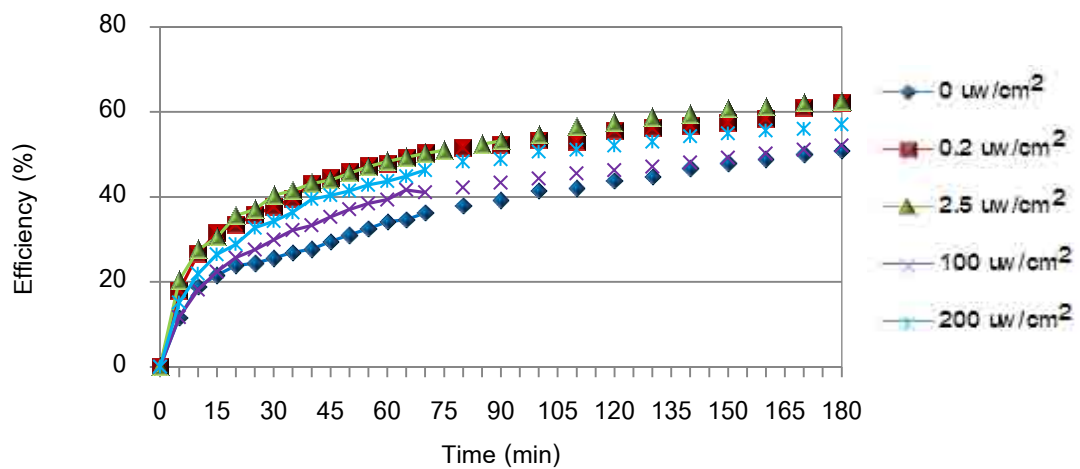




ภาพที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลูอินความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน

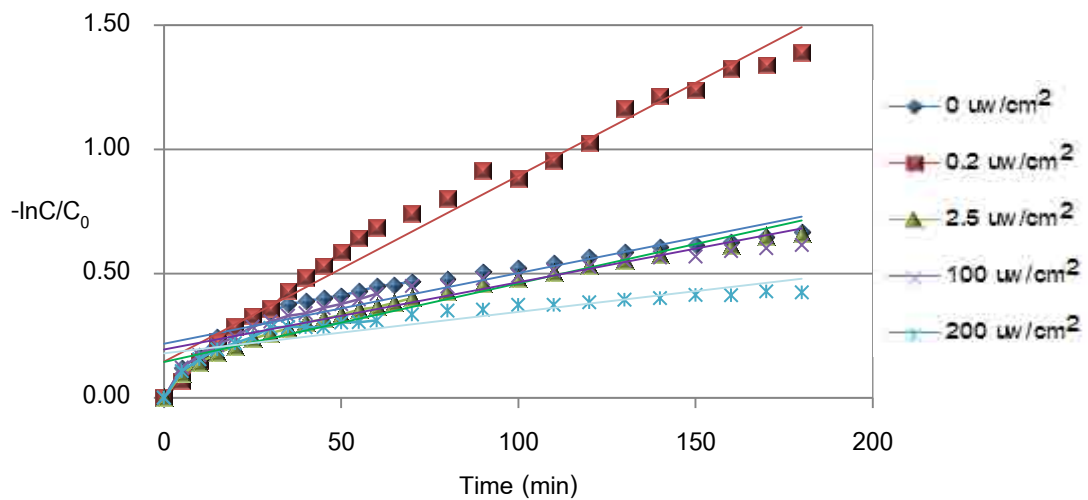


ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลูอินความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน



ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน

จากภาพที่ 4.12-4.15 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอิน โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และแหล่งกำเนิดแสงแบลคไลท์ ความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และที่ความเข้มแสงยูวี 0.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นความเข้มแสงยูวีที่เล็ดลอดเข้าไปในถังปฏิกิริยา ผลการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นตามเวลาการทดลอง ประสิทธิภาพการกำจัดจะรวดเร็วในช่วงแรกและจะค่อยๆ น้อยลงจนกระทั่งมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ทั้งสี่ความเข้มข้นสารโพลีอิน และจะพบว่าที่ความเข้มแสงยูวี 0.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตรเป็นความเข้มแสงยูวีที่มีประสิทธิภาพการกำจัดมากที่สุดยกเว้นที่สารโพลีอินความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน คือ ประสิทธิภาพการกำจัดใกล้เคียงกับความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

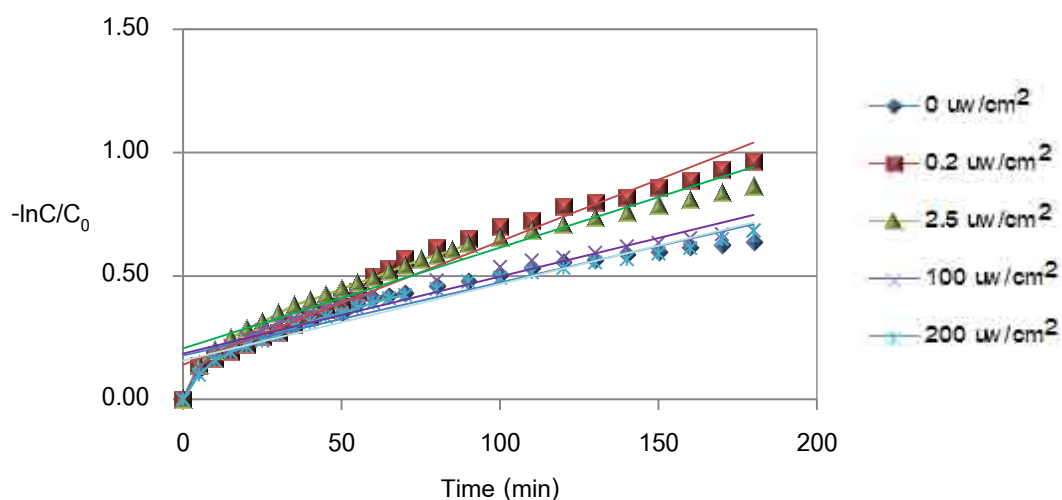


ภาพที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอิน ความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน

จากภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลา การทดลอง แต่ละความเข้มแสงยูวี พบว่าที่ความเข้มแสงยูวี 0.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตลอดเวลาการทดลองมากที่สุด และเมื่อพิจารณาจาก ค่าคงที่ปฏิกิริยา จากตารางที่ 4.5 พบว่า ค่าคงที่ปฏิกิริยาของความเข้มแสงยูวี 0.2 ไมโครวัตต์ต่อ ตารางเซนติเมตร สูงที่สุด เท่ากับ  $0.0075 \text{ min}^{-1}$  แสดงว่า ที่ความเข้มแสงยูวุดังกล่าวสามารถกำจัด สารโกลูอินความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน ได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.5 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลูอินที่มีความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน กับเวลา การทดลองแต่ละความเข้มแสงยูวี

UV light intensity ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	สมการ	$R^2$	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )
0.0	$y=0.0028x+0.2181$	0.8518	0.0028
0.2	$y=0.0075x+0.1451$	0.9758	0.0075
2.5	$y=0.0032x+0.1437$	0.9420	0.0032
100	$y=0.0027x+0.1943$	0.8705	0.0027
200	$y=0.0017x+0.1790$	0.7700	0.0017

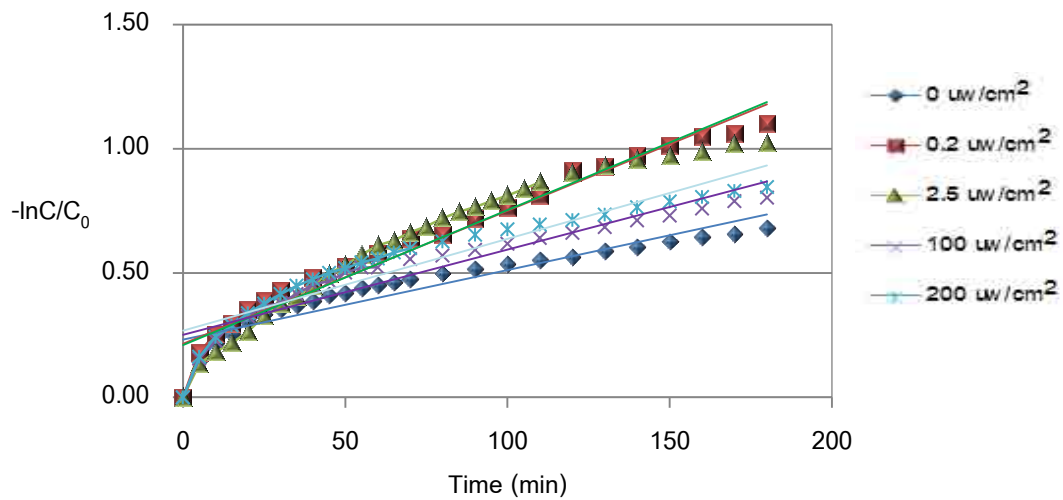


ภาพที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอิน ความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน

จากภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลา การทดลอง แต่ละความเข้มแสงยูวี พบว่าที่ความเข้มแสงยูวี 0.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตลอดเวลาการทดลองมากที่สุด และเมื่อพิจารณาจาก ค่าคงที่ปฏิกิริยา จากตารางที่ 4.6 พบว่า ค่าคงที่ปฏิกิริยาของความเข้มแสงยูวี 0.2 ไมโครวัตต์ต่อ ตารางเซนติเมตร สูงที่สุด เท่ากับ  $0.0050 \text{ min}^{-1}$  แสดงว่า ที่ความเข้มแสงยูวี้ดังกล่าวสามารถกำจัด สารโกลูอินความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน ได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.6 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลูอินที่มีความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน กับเวลา การทดลองแต่ละความเข้มแสงยูวี

UV light intensity ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	สมการ	$R^2$	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )
0.0	$y=0.0030x+0.1778$	0.9070	0.0030
0.2	$y=0.0050x+0.1399$	0.9659	0.0050
2.5	$y=0.0041x+0.2069$	0.9307	0.0041
100	$y=0.0031x+0.1860$	0.9132	0.0031
200	$y=0.0031x+0.1575$	0.9302	0.0031

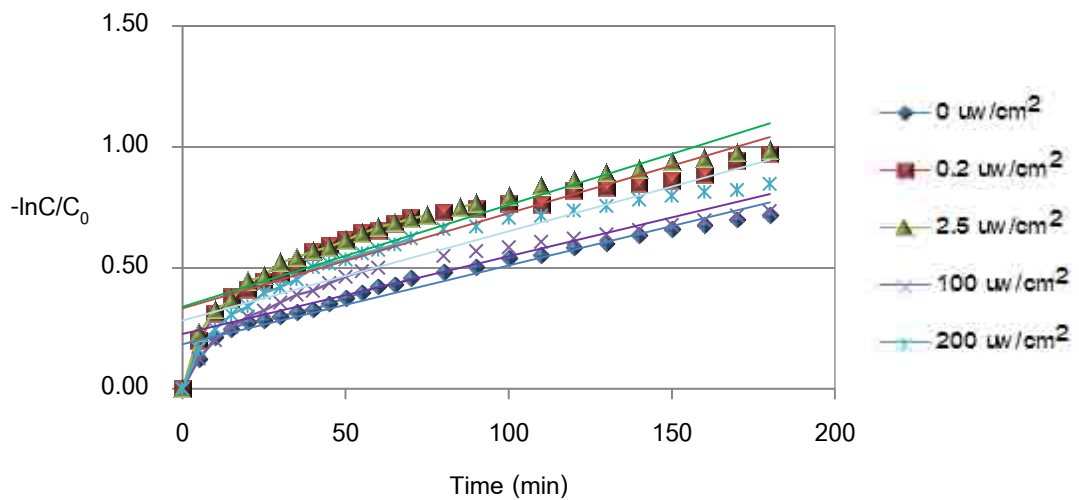


ภาพที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอิน ความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน

จากภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลา การทดลอง แต่ละความเข้มแสงยูวี พบว่าที่ความเข้มแสงยูวี 0.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตลอดเวลาการทดลองมากที่สุด และเมื่อพิจารณาจาก ค่าคงที่ปฏิกิริยา จากตารางที่ 4.7 พบว่า ค่าคงที่ปฏิกิริยาของความเข้มแสงยูวี 0.2 และ 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร สูงที่สุด เท่ากับ  $0.0054 \text{ min}^{-1}$  แสดงว่า ที่ความเข้มแสงยูวุดังกล่าว สามารถกำจัดสารโกลูอินความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน ได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.7 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลูอินที่มีความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน กับเวลา การทดลองแต่ละความเข้มแสงยูวี

UV light intensity ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	สมการ	$R^2$	$k \text{ (min}^{-1}\text{)}$
0.0	$y=0.0028x+0.2323$	0.9624	0.0028
0.2	$y=0.0054x+0.2159$	0.9624	0.0054
2.5	$y=0.0054x+0.2109$	0.9250	0.0054
100	$y=0.0034x+0.2513$	0.8752	0.0034
200	$y=0.0037x+0.2688$	0.8685	0.0037



ภาพที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอิน ความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน

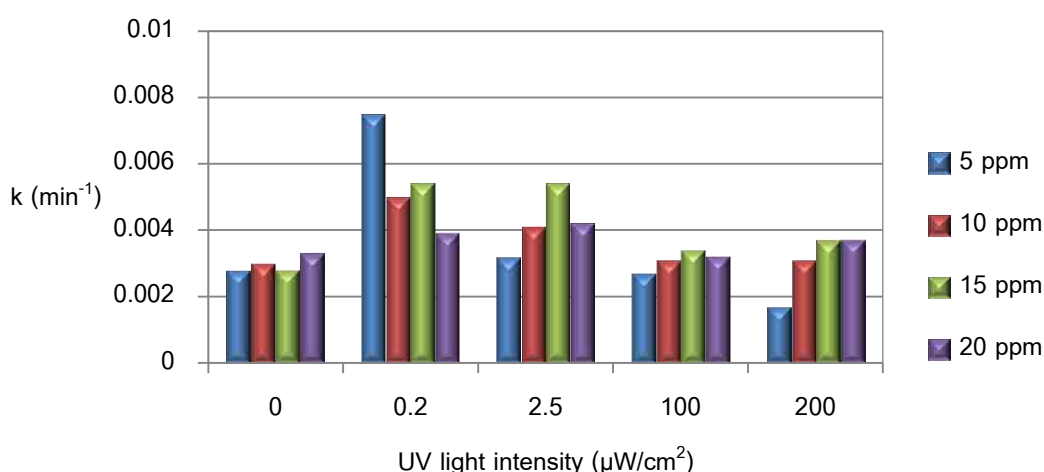
จากภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตามเวลา การทดลอง แต่ละความเข้มแสงยูวี พบว่าที่ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโกลูอินตลอดเวลาการทดลองมากที่สุด และเมื่อพิจารณาจาก ค่าคงที่ปฏิกิริยา จากตารางที่ 4.8 พบว่า ค่าคงที่ปฏิกิริยาของความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อ ตารางเซนติเมตร สูงที่สุด เท่ากับ  $0.0042 \text{ min}^{-1}$  แสดงว่า ที่ความเข้มแสงยูวีดังกล่าวสามารถกำจัด สารโกลูอินความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน ได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.8 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสารโกลูอินที่มีความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน กับเวลา การทดลองแต่ละความเข้มแสงยูวี

UV light intensity ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	สมการ	$R^2$	$k$ ( $\text{min}^{-1}$ )
0.0	$y=0.0033x+0.1845$	0.9328	0.0033
0.2	$y=0.0039x+0.3323$	0.8366	0.0039
2.5	$y=0.0042x+0.3399$	0.8633	0.0042
100	$y=0.0032x+0.2270$	0.8662	0.0032
200	$y=0.0037x+0.2818$	0.8494	0.0037

#### 4.2.4 สรุปสถานะที่เหมาะสมของระบบที่ละเท

จากผลการทดลองตลอดเวลา 180 นาที ที่ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร พบว่าค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดของสารโพลีอินความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน ที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ความเข้มแสงยูวี 0.2 และ 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และแหล่งกำเนิดแสงแบลคไลท์ ความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 4.20 พบว่าแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มาจากภายนอกถึงปฏิกิริยา ความเข้มแสงยูวี 0.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีค่าคงที่ปฏิกิริยาที่สามารถกำจัดสารโพลีอินได้มากที่สุด ที่สารโพลีอินมีความเข้มข้น 5 และ 10 ส่วนในล้านส่วน และแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีค่าคงที่ปฏิกิริยาที่สามารถกำจัดสารโพลีอินได้รองลงมา และที่ความเข้มข้นสารโพลีอิน 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอิน ที่ใช้ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีความใกล้เคียงกับ ความเข้มแสงยูวี 0.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งภายในอาคารสำนักงาน ต้องเปิดแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ดังนั้นในการทดลองโดยการเดินระบบแบบที่ละเท ของสารไซลีน สารเอทิลเบนซีนและสารอินทรีย์ระเหยรวม ตลอดเวลา 180 นาที จึงเลือกใช้ความเข้มแสงยูวี เท่ากับ 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ในการทดลองสารอินทรีย์ระเหยทุกความเข้มข้น

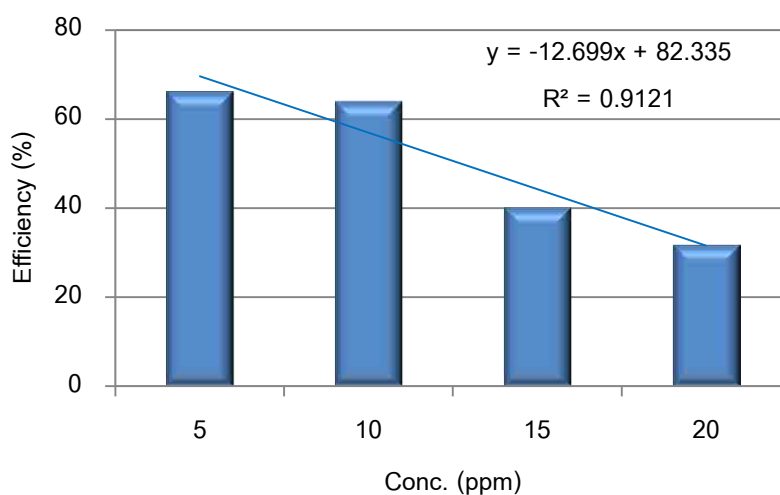


ภาพที่ 4.20 ค่าคงที่ของอัตราการกำจัดสารโพลีอินตามความเข้มแสงยูวี แต่ละความเข้มข้นสารโพลีอิน

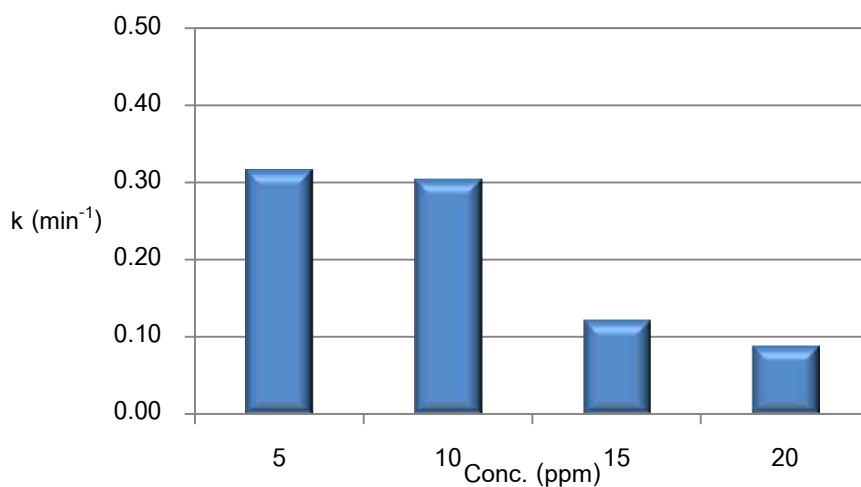
### 4.3 การกำจัดสารโพลีอิน

#### 4.3.1 ระบบต่อเนื่อง

การทดลองประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารไซลีน จากสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้เวลากักพัก 10 นาที ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร พลังงานแสงมาจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร



ภาพที่ 4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดสารโพลีอินของระบบต่อเนื่อง



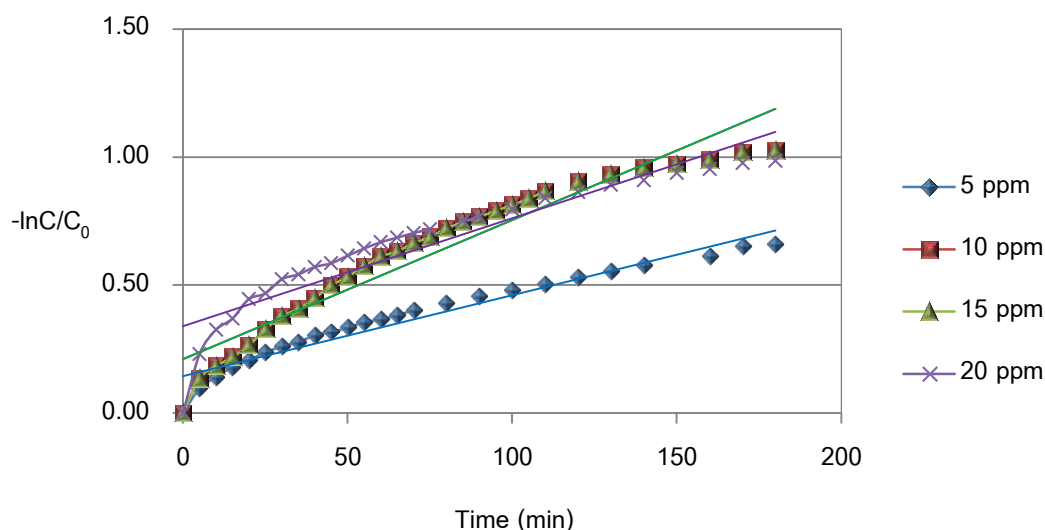
ภาพที่ 4.22 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโพลีอินตามความเข้มข้นของระบบต่อเนื่อง



จากภาพที่ 4.21 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารโทลูอินตามความเข้มข้น พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเมื่อความเข้มข้นสารโทลูอินเพิ่มขึ้น เนื่องจาก สารโทลูอินที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและประสิทธิภาพการกำจัด เพราะในการกำจัดสารโทลูอินความเข้มข้นเริ่มต้นมากกับความเข้มข้นเริ่มต้นน้อยที่เวลากักพักเดียวกัน สารโทลูอินที่เหลืออยู่ในถังปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นน้อยก็จะเหลือน้อยกว่าเช่นกัน จึงทำให้ ประสิทธิภาพการกำจัดสารโทลูอินสูงกว่า และจากภาพที่ 4.22 แสดงค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโทลูอินตามความเข้มข้น พบว่า เมื่อสารโทลูอินมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าคงที่ปฏิกิริยามีแนวโน้มลดลงเช่นกัน แสดงว่าปริมาณความเข้มข้นสารโทลูอินน้อยๆจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้นด้วย

#### 4.3.2 ระบบที่ละเท

การทดลองประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอิน จากสภาวะที่เหมาะสม ตลอดเวลาการทดลอง 180 นาที ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร พลังงานแสงมาจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร



ภาพที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารโทลูอินตามเวลาการทดลอง

จากภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารโทลูอีนตามเวลา การทดลอง ของสารโทลูอีนแต่ละความเข้มข้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารโทลูอีน 5 ส่วนในล้านส่วน มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุด และที่สารโทลูอีนเข้มข้น 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารโทลูอีนที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาจากค่าคงที่ปฏิกิริยา จากตารางที่ 4.9 พบว่า ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโทลูอีนที่มีความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน สูงที่สุด เท่ากับ  $0.0054 \text{ min}^{-1}$  แสดงว่า ที่ความเข้มข้นสารโทลูอีนดังกล่าวถูกกำจัดได้สูงที่สุด

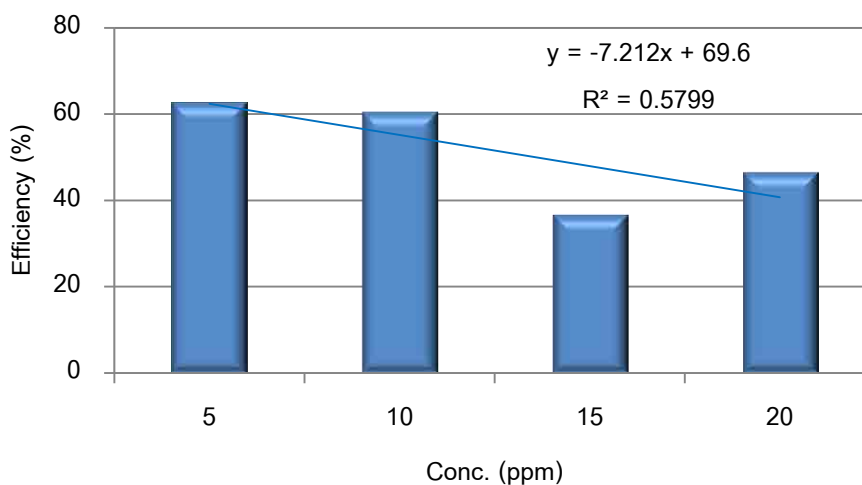
ตารางที่ 4.9 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดสารโทลูอีนแต่ละความเข้มข้น

Conc. (ppm)	สมการ	$R^2$	k ( $\text{min}^{-1}$ )
5	$y=0.0032x+0.1437$	0.9420	0.0032
10	$y=0.0041x+0.2069$	0.9307	0.0041
15	$y=0.0054x+0.2109$	0.9250	0.0054
20	$y=0.0042x+0.3399$	0.8633	0.0042

#### 4.4 การกำจัดสารไซลีน

##### 4.4.1 ระบบต่อเนื่อง

การทดลองประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารไซลีน จากสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้เวลากักพัก 10 นาที ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร พลังงานแสงมาจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

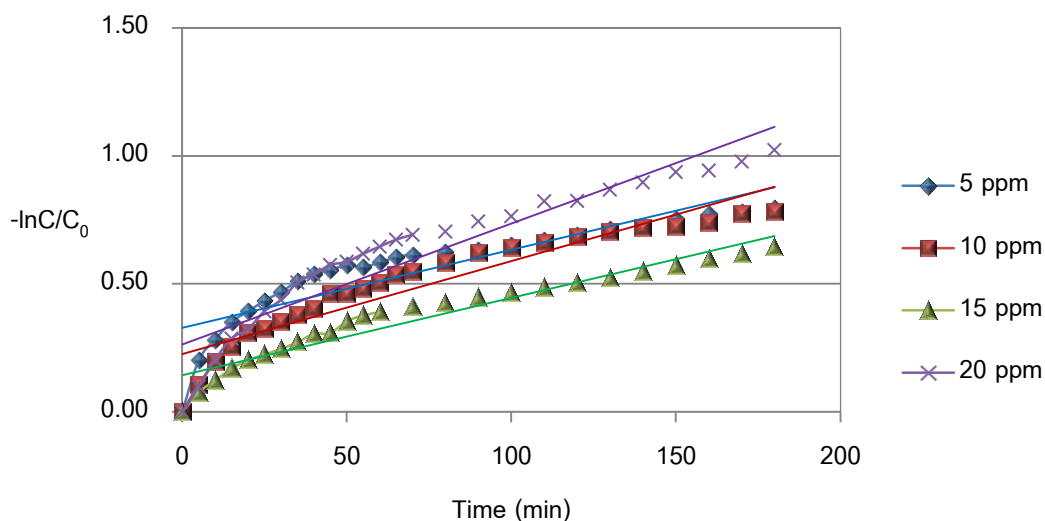


ภาพที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดสารไซลีนตามความเข้มข้นของระบบต่อเนื่อง

จากภาพที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดสารไซลีนแต่ละความเข้มข้น พบว่าเมื่อสารไซลีนมีความเข้มข้นสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มลดลง

#### 4.4.2 ระบบที่ละเท

การทดลองประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารไซลีน จากสภาวะที่เหมาะสม โดยการทดลองตลอด 180 นาที ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร พลังงานแสงมาจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร



ภาพที่ 4.25 ปริมาณความเข้มข้นสารไฮลีนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการทดลอง

จากภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารไฮลีนตามเวลาการทดลอง ของสารไฮลีนแต่ละความเข้มข้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไฮลีน 15 ส่วนในล้านส่วน มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุด และที่สารไฮลีนเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไฮลีนที่มากที่สุด และเมื่อพิจารณาจากค่าคงที่ปฏิกิริยาจากตารางที่ 4.10 พบว่า ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารไฮลีนที่มีความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน สูงที่สุด เท่ากับ  $0.0047 \text{ min}^{-1}$  แสดงว่า ที่ความเข้มข้นสารไฮลีนดังกล่าวถูกกำจัดได้สูงที่สุด

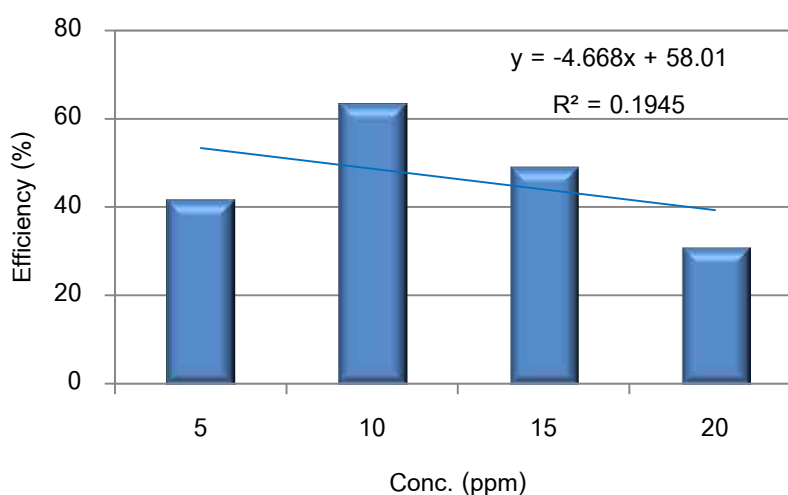
ตารางที่ 4.10 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดสารไฮลีนแต่ละความเข้มข้น

Conc. (ppm)	สมการ	$R^2$	$k \text{ (min}^{-1}\text{)}$
5	$y=0.0031x+0.3275$	0.7720	0.0031
10	$y=0.0036x+0.2251$	0.8796	0.0036
15	$y=0.0030x+0.1430$	0.9232	0.0030
20	$y=0.0047x+0.2630$	0.8827	0.0047

## 4.5 การกำจัดสารเอทิลเบนซีน

### 4.5.1 ระบบต่อเนื่อง

การทดลองประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารเอทิลเบนซีน จากสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้เวลากักพัก 10 นาที ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร พลังงานแสงมาจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร



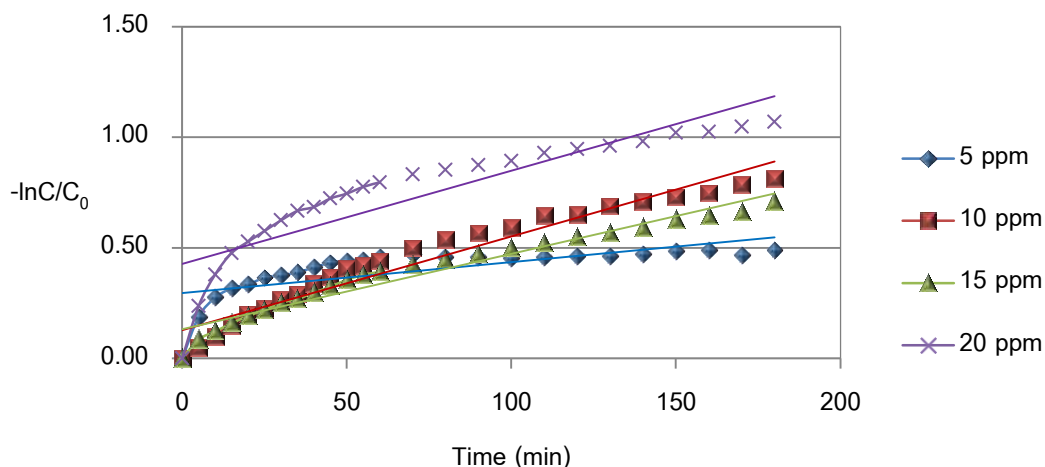
ภาพที่ 4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดสารเอทิลเบนซีนตามความเข้มข้นของระบบต่อเนื่อง

จากภาพที่ 4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดสารเอทิลเบนซีนแต่ละความเข้มข้น พบว่า เมื่อความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีนเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดสารโทลูอีนมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์เอทิลเบนซีนเข้ามาในระบบตลอดเวลาจึงทำให้ความสามารถในการกำจัดของแผ่นฟอกอากาศมีน้อยลง และจะยิ่งน้อยลงเมื่อความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีนเริ่มต้นสูงๆ

### 4.5.2 ระบบทีละเท

การทดลองประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารเอทิลเบนซีน จากสภาวะที่เหมาะสม โดยการทดลองตลอด 180 นาที ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร

พลังงานแสงมาจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนซ์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร



ภาพที่ 4.27 ปริมาณความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีนที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาการทดลอง

จากภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีนตามเวลาการทดลอง ของสารเอทิลเบนซีนแต่ละความเข้มข้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเอทิลเบนซีน 5 ส่วนในล้านส่วน มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุด และที่สารเอทิลเบนซีนเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเอทิลเบนซีนที่มากที่สุด และเมื่อพิจารณาจากค่าคงที่ปฏิกิริยา จากตารางที่ 4.11 พบว่า ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารเอทิลเบนซีนที่มีความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน สูงที่สุด เท่ากับ  $0.0042 \text{ min}^{-1}$  แสดงว่า ที่ความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีนดังกล่าวถูกกำจัดได้สูงที่สุด

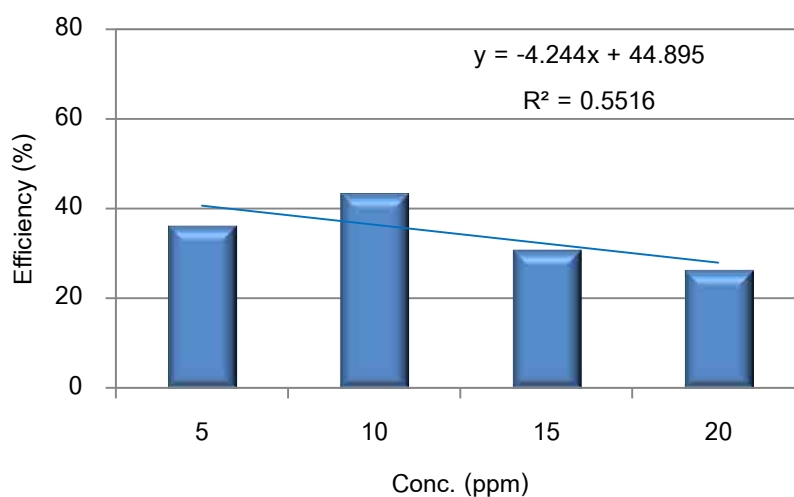
ตารางที่ 4.11 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดสารเอทิลเบนซีนแต่ละความเข้มข้น

ppm	สมการ	$R^2$	$k \text{ (min}^{-1}\text{)}$
5	$y=0.0014x+0.2959$	0.4914	0.0014
10	$y=0.0042x+0.1272$	0.9429	0.0042
15	$y=0.0034x+0.1324$	0.9476	0.0034
20	$y=0.0042x+0.4264$	0.7841	0.0042

## 4.6 การกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวม

### 4.6.1 ระบบต่อเนื่อง

การทดลองการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวม (สารโทลูอีน สารไซลีน และสารเอทิลเบนซีน) ที่มีความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน จากสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้เวลากักพัก 10 นาที ใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร พลังงานแสงมาจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

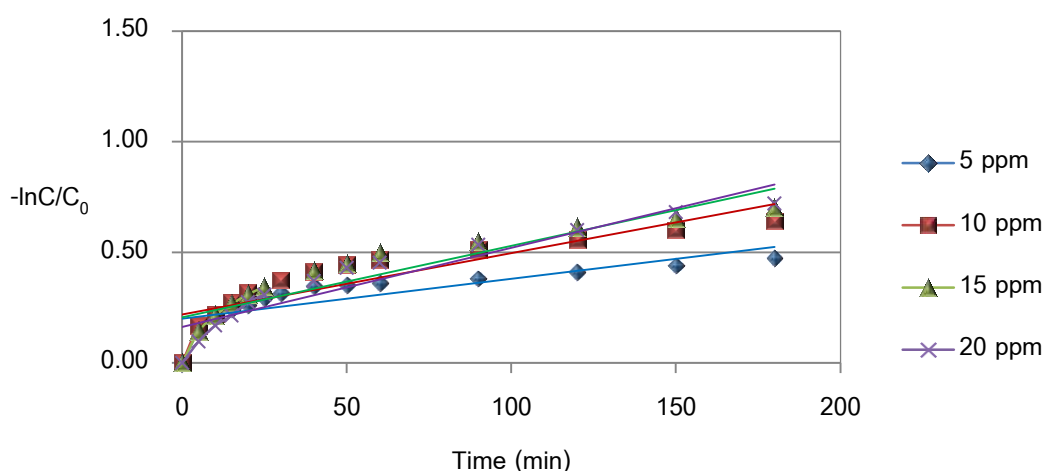


ภาพที่ 4.28 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวมตามความเข้มข้นของระบบต่อเนื่อง

จากภาพที่ 4.28 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวมแต่ละความเข้มข้นพบว่า เมื่อความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยสูงขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยรวมเข้ามาในระบบตลอดเวลาจึงทำให้ความสามารถในการกำจัดของแผ่นฟอกอากาศมีน้อยลง และจะยิ่งน้อยลงเมื่อความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยรวมเริ่มต้นสูงๆ

#### 4.6.2 ระบบที่ละเท

ผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม ทดลองตลอดเวลา 180 นาที ซึ่งใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร และใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร



ภาพที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยรวมตามเวลาการทดลอง

จากภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยรวมตามเวลาการทดลอง ของสารอินทรีย์ระเหยรวมแต่ละความเข้มข้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยรวม 5 ส่วนในล้านส่วน มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุด และที่สารอินทรีย์ระเหยรวมเข้มข้น 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยรวมที่ใกล้เคียงกันและเมื่อพิจารณาจากค่าคงที่ปฏิกิริยา จากตารางที่ 4.12 พบว่า ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ระเหยรวมที่มีความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน สูงที่สุดเท่ากับ  $0.0036 \text{ min}^{-1}$  แสดงว่า ที่ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยรวมดังกล่าวถูกกำจัดได้สูงที่สุดเนื่องจาก ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยรวมอยู่ในถังปฏิกิริยาและความเข้มข้นค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จึงทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาสูงขึ้น



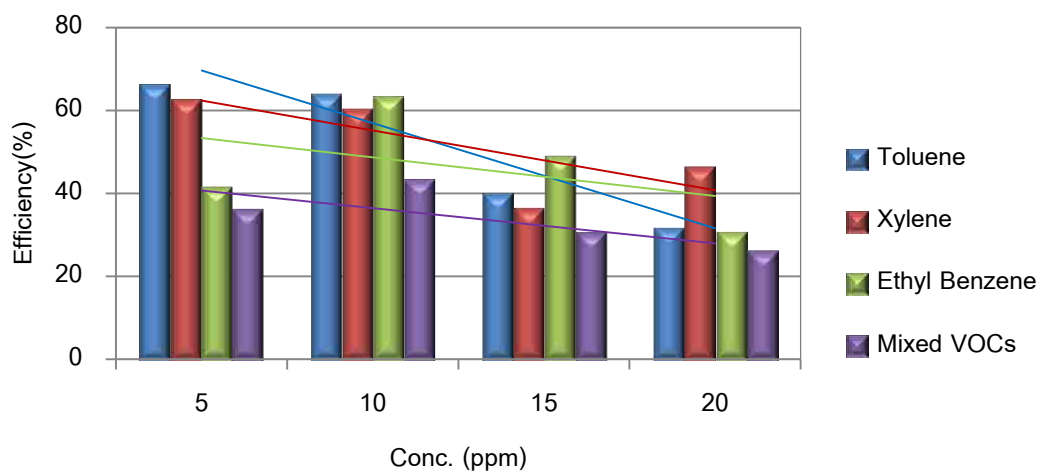
ตารางที่ 4.12 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวมแต่ละความเข้มข้น

Conc. (ppm)	สมการ	R <sup>2</sup>	k (min <sup>-1</sup> )
5	y=0.0018x+0.1996	0.6691	0.0018
10	y=0.0028x+0.2183	0.7804	0.0028
15	y=0.0032x+0.2056	0.8302	0.0032
20	y=0.0036x+0.1620	0.8882	0.0036

#### 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาระหว่างสารโกลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม

##### 4.7.1 ระบบต่อเนื่อง

ผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาระหว่างสารโกลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม ที่เวลากักพัก 10 นาที ซึ่งใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ ขนาด 0.15 ตารางเมตร และใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร



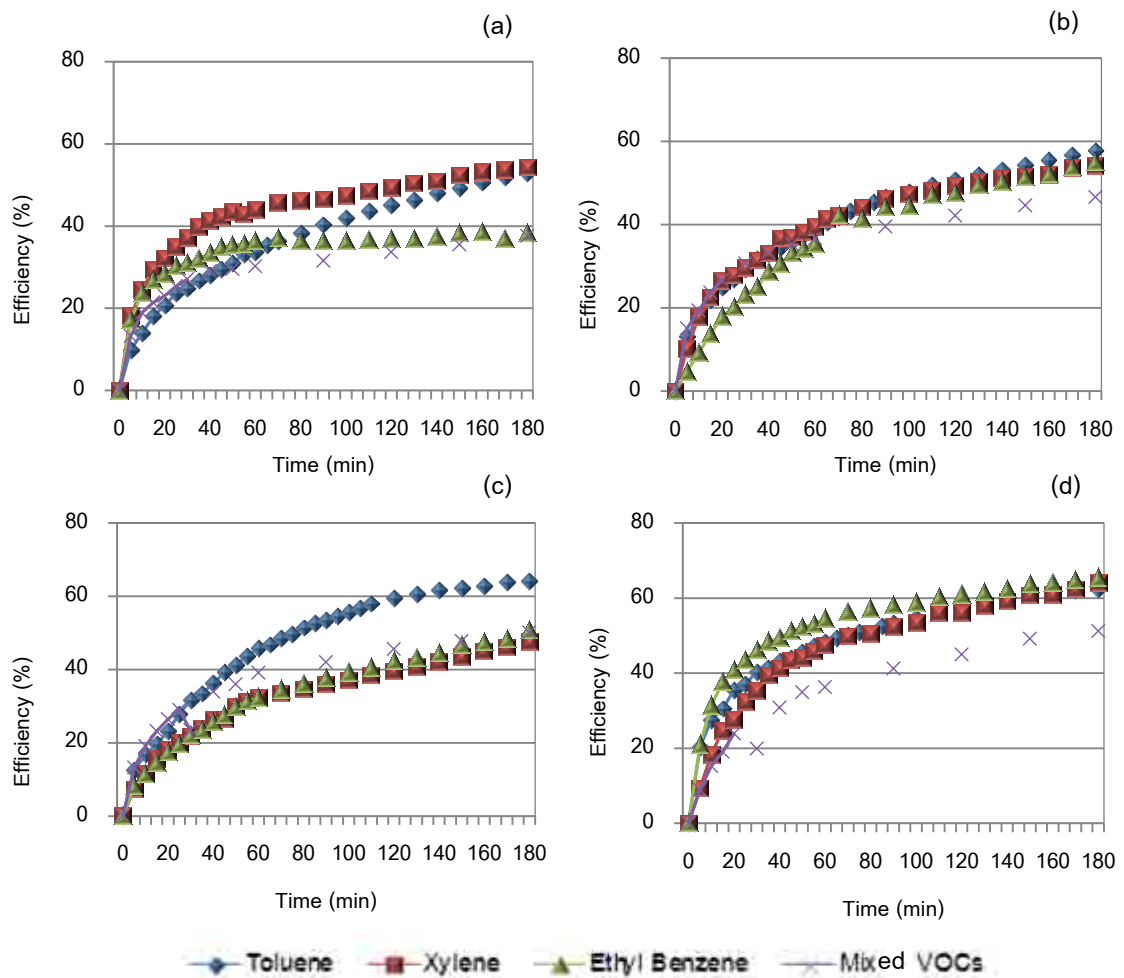
ภาพที่ 4.30 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดตามความเข้มข้นของระบบต่อเนื่อง

จากภาพที่ 4.30 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดตามความเข้มข้นพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดของทุกสารอินทรีย์ระเหย เมื่อความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง

ประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดต่างกัน คือ สารอินทรีย์ระเหยรวมมีประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาน้อยที่สุด ทุกความเข้มข้น ซึ่งคาดว่าโครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทำให้ความสามารถในการถูกกำจัดต่างกันไปด้วย (ธรรมศักดิ์ โรจนวิรุฬห์, 2549 ; Zhong และคณะ, 2010) และเมื่อพิจารณาจากค่าคงที่ปฏิกิริยา สารอินทรีย์ระเหยรวมมีความสามารถในการถูกกำจัดช้าที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ระเหยชนิดอื่นๆ

#### 4.7.2 ระบบที่ละเท

ผลการทดลองประสิทธิภาพกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม ทดลองตลอดเวลา 180 นาที ซึ่งใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร และใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ดังภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.31 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดตามเวลาการทดลอง

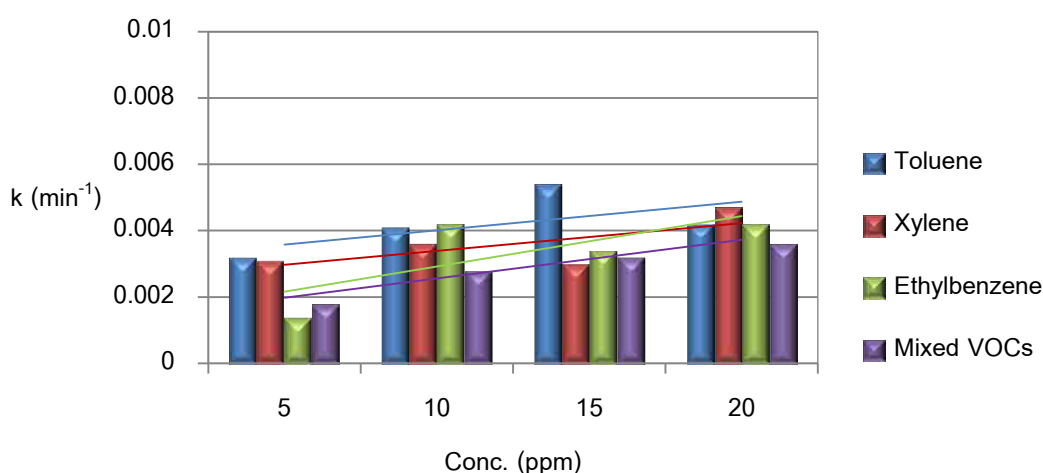
(a) ความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน (b) ความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน

(c) ความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน (d) ความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน

จากภาพที่ 4.31 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดตามเวลาการทดลองตลอด 180 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดเพิ่มขึ้นตามเวลาการทดลอง และ

ประสิทธิภาพการกำจัดของสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีแนวโน้มคงที่เมื่อเวลาการทดลองเพิ่มขึ้น เนื่องจากในช่วงแรกบนพื้นผิวของแผ่นฟอกอากาศยังไม่มีสารอินทรีย์ระเหยเข้าไปเกาะติด จึงทำให้ค่าคงที่ปฏิกิริยาและประสิทธิภาพของสารอินทรีย์ระเหยในช่วงเริ่มต้นสูงขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปสารอินทรีย์ระเหยเหล่านี้ยังคงไม่หมดไป จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการกำจัดที่นานขึ้น

สารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิด ที่ความเข้มข้นเดียวกัน ประสิทธิภาพการกำจัดมีความใกล้เคียงกันแต่สารอินทรีย์ระเหยรวมมีประสิทธิภาพน้อยกว่าเล็กน้อย เนื่องจาก สภาพผิวของสารอินทรีย์ระเหยที่เปลี่ยนไป จึงส่งผลให้ยากต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส (Liang และ Zhao, 2009)



ภาพที่ 4.32 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยต่างชนิดกัน

ภาพที่ 4.32 และจากตารางที่ 4.13 แสดงค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิด พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นค่าคงที่ปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นทำให้มีความสามารถในการกำจัดเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยที่มากกว่ามีโอกาสในการถูกดูดติดผิวได้มากกว่าเช่นกัน

สารที่ต่างชนิดกันจะมีค่าคงที่ปฏิกิริยาที่ต่างกันซึ่งสารโทลูอีนมีค่าคงที่ปฏิกิริยาส่วนใหญ่ที่สุด แสดงว่า สารโทลูอีนถูกกำจัดไปได้ในปริมาณที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารอินทรีย์ระเหยชนิดอื่นๆ และสารอินทรีย์ระเหยรวมถูกกำจัดได้ในปริมาณที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.13 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยต่างชนิดกัน

Type of VOCs/ Conc. (ppm)	k (min <sup>-1</sup> )			
	5	10	15	20
Toluene	0.0032	0.0041	0.0054	0.0042
Xylene	0.0031	0.0036	0.0030	0.0047
Ethyl benzene	0.0014	0.0042	0.0034	0.0042
Mixed VOCs	0.0018	0.0028	0.0032	0.0036

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย (สารโทลูอิน, สารไซลีน, สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม) ด้วยแผ่นฟอกอากาศซิเซน แอร์คลีน โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสภายใต้ปฏิกิริยา ซึ่งควบคุมอุณหภูมิและความดันให้เป็นไปตามห้องปรับอากาศปกติ รวมทั้งเปรียบเทียบปัจจัยในเรื่องของแหล่งกำเนิดแสง ความเข้มแสงยูวี และเวลาการทดลอง ทั้งระบบต่อเนื่อง และระบบที่ละเท ได้ดังนี้

##### 5.1.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย

ทำการทดลองภายใต้ปฏิกิริยาขนาด 0.03 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้สารโทลูอิน ความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05, 0.10 และ 0.15 ตารางเมตร ใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงยูวี 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และแหล่งกำเนิดแสงแบลค-ไลท์ที่มีความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งระบบต่อเนื่องมีเวลากักพัก 3, 6, 8 และ 10 นาที และแบบที่ละเท ทำการทดลองตลอด 180 นาที จากผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม พบว่า

ระบบต่อเนื่อง การทดลองการใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นพลังงานในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสดีที่สุด โดยใช้แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร ซึ่งมีค่าคงที่ปฏิกิริยามากที่สุด แสดงว่าที่สภาวะดังกล่าวสามารถกำจัดสารอินทรีย์ระเหยได้มากที่สุด และเวลาในการทดลองยิ่งนานขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูงขึ้นด้วย ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เวลานานที่สุด เท่ากับ 10 นาที

ระบบที่ละเท พบว่า การทดลองตลอดเวลา 180 นาที พบว่า การใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นพลังงานในการ

กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสดีที่สุดใน และใช้แผ่นฟลอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตรซึ่งมีค่าคงที่ปฏิกิริยามากที่สุด แสดงว่าที่สภาวะดังกล่าวสามารถกำจัดสารอินทรีย์ระเหยได้มากที่สุดเช่นเดียวกัน

จากผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของสารโหลูอิน ได้นำมาเป็นตัวแทนในการกำจัดสารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวมต่อไป

5.1.2 ผลการศึกษาการกำจัดสารโหลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวมของแผ่นฟลอกอากาศซิเซน แอร์คลีน

5.1.2.1 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบกำจัดสารโหลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม ของแผ่นฟลอกอากาศซิเซน แอร์คลีน พบว่า ที่สภาวะเดียวกัน ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยชนิด สารโหลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน มีความใกล้เคียงกัน เนื่องจากสารอินทรีย์ระเหยดังกล่าว อยู่ในกลุ่มของ อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีที่คล้ายกัน และมีวงแหวนเบนซีนเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างทางเคมี ส่งผลให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสใกล้เคียงกัน แต่สารอินทรีย์ระเหยรวมมีประสิทธิภาพการกำจัดน้อยกว่าที่สภาวะเดียวกัน เนื่องจาก เมื่อนำสารอินทรีย์ระเหยทั้งสามชนิดมารวมกัน เกิดสภาพขั้วที่แตกต่างไปจากเดิม จึงส่งผลให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสได้น้อยลง

ความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยต่างชนิดกัน ตามความเข้มข้น พบว่า

ระบบต่อเนื่อง เมื่อความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาลดลง ทุกสารอินทรีย์ระเหย เนื่องจาก มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยที่เข้ามาภายในระบบอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยน้อยลง

ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดแต่ละสารอินทรีย์ระเหย คือ สารโหลูอิน 66 เปอร์เซ็นต์ สารไซลีน 63 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน สารเอทิลเบนซีน 64 เปอร์เซ็นต์ สารอินทรีย์ระเหยรวม 44 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน

ระบบที่ละเท เมื่อความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดและค่าคงที่ปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ภายในถังปฏิกริยามีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยเดิมอยู่ตลอดเวลาการทดลอง จึงทำให้สารอินทรีย์ระเหยเดิมถูกกำจัดไปเรื่อยๆจนกระทั่งมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดแต่ละสารอินทรีย์ระเหย คือ สารโทลูอิน 64 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นสาร 15 ส่วนในล้านส่วน และสารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 64, 66 และ 51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นสาร 20 ส่วนในล้านส่วน

5.1.2.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแหล่งกำเนิดแสงและความเข้มแสงยูวี พบว่า ที่แหล่งกำเนิดแสงต่างกันให้พลังงานแสงในรูปของความเข้มแสงยูวีที่ต่างกันด้วย ซึ่ง ความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสงยูวีเพิ่มขึ้นจาก 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร จะส่งผลให้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสและค่าคงที่ปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงแบลคไลท์ที่มีความเข้มแสงยูวี 100 และ 200 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสและค่าคงที่ปฏิกิริยาจะลดลง เนื่องจากพลังงานแสงที่มากเกินไปจะไปกระตุ้นให้อิเล็กตรอนของสารตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการปั่นป่วน จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสเกิดไม่ได้

ค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโทลูอินตามความเข้มแสงยูวี แต่ละขนาดแผ่นฟอกอากาศ พบว่า การใช้แหล่งกำเนิดแสงฟลูออเรสเซนต์ ที่มีความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร สามารถกำจัดสารโทลูอินได้ดีที่สุด ซึ่งมีค่าคงที่ปฏิกิริยา เท่ากับ 0.07, 0.07 และ 0.20  $\text{min}^{-1}$  ที่พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.05, 0.10 และ 0.15 ตารางเมตร ตามลำดับ และที่พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร มีค่าคงที่ปฏิกิริยาสูงที่สุด ดังภาพที่ 4.11

5.1.2.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ พบว่า ในสภาวะเดียวกัน เมื่อแผ่นฟอกอากาศมีขนาดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่ผิวของแผ่นฟอกอากาศที่มากทำให้สารอินทรีย์ระเหยมีโอกาสถูกดูดติดบนพื้นผิวแผ่นฟอกอากาศได้มากเช่นกัน



ค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารโพลูอินตามขนาดพื้นที่แผ่นฟอกอากาศ แต่ละ ความเข้มแสงยูวี พบว่า การใช้พื้นที่แผ่นฟอกอากาศขนาด 0.15 ตารางเมตร สามารถกำจัดสาร โพลูอินได้ดีที่สุด เท่ากับ 0.15, 0.21 และ 0.20  $\text{min}^{-1}$  ที่ความเข้มแสงยูวี 1.2, 2.5 และ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อแผ่นฟอกอากาศมีขนาดมากขึ้นจะทำให้สารโพลูอินมีโอกาสถูกดูดติดบนผิวหน้าของแผ่นฟอกอากาศได้มากขึ้นและมีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสได้ดี จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดมากขึ้นด้วย ดังภาพที่ 4.10

5.1.2.4 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเวลากักเก็บ พบว่า เมื่อเวลากักเก็บสูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยสูงขึ้นด้วย เนื่องจาก สารอินทรีย์ระเหยมีเวลาที่มากพอในการเกิดกระบวนการดูดติดผิวและปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส

สารอินทรีย์ระเหยที่ความเข้มข้นเดียวกันจะมีประสิทธิภาพกำจัดที่สูงในช่วงแรกๆ เนื่องจาก พื้นผิวแผ่นฟอกอากาศยังอยู่ในสถานะที่ไม่มีสารใดๆมาเกาะติด เมื่อมีสารอินทรีย์ระเหยเข้าไปทำให้มีโอกาสถูกดูดติดบนพื้นผิวแผ่นฟอกอากาศได้โดยตรง แต่เมื่อเวลานานขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดค่อยๆลดลง เนื่องจาก สารอินทรีย์ระเหยที่ถูกดูดติดต้องใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยกำจัดสารอินทรีย์ระเหยด้วยแผ่นฟอกอากาศโดยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

5.2.1 ให้ศึกษาการเคลือบสารเร่งปฏิกิริยาไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยตัวเอง และบนพื้นผิวชนิดอื่นๆที่ใช้ภายในอาคารสำนักงาน

5.2.2 ให้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตัวเร่งปฏิกิริยาไททาเนียมไดออกไซด์ เพื่อให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ระเหยได้รวดเร็วในระยะเวลาสั้นๆ

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กณิตา ธนเจริญชนภาส. 2553. มลสารและสิ่งแวดล้อมในอาคารและผลกระทบต่อสุขภาพ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.agi.nu.ac.th/webvj/download/indoor%20air%20pollution%20-VOC.doc> [2553 กรกฎาคม 18].
- ควบคุมมลพิษ, กรม. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์. [ออนไลน์]. (ม.ป.ป.). แหล่งที่มา : <http://msds.pcd.go.th/> [2553 กรกฎาคม 18].
- ชุตติพงษ์ วิวัฒน์พงศ์และปริยพันธ์ เพชรสุวรรณ. 2542. การใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อสลายพันธะของสารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อนออกเป็นไซยาไนด์อิสระด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทบวงมหาวิทยาลัย. 2533. เคมีเล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์อักษรเจริญทัศน์.
- ธรรมศักดิ์ โรจนวิรุฬห์. 2549. การกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยโดยกระบวนการไฟโตออกซิเดชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปรัศนีย์ เจริญสิน. 2549. การกำจัดไซยาไนด์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ตและไททาเนียมไดออกไซด์ในการไหลแบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มลิวรรณ บุญเสนอ. 2544. พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, นครปฐม. 152 หน้า.
- รัฐพันธ์ ทาทอง. 2543. การใช้หลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิดความดันต่ำในการบำบัดน้ำดิบที่ปนเปื้อนโคลิฟาจ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัฐเขต มูลรินดี. 2552. แหล่งกำเนิดและความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยในอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วุทธินันท์ ศิริพงษ์. 2544. การบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมผ้าด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชัน โดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์ดวงตาสุภาพภาษาไทย. คลื่นแสงที่มองเห็น (Visible Light) และแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet light). 2552. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.eyebankthai.com/index.asp?catid>. [2553 สิงหาคม 27].
- สาวิตรี พูลมา. 2548. การรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยจากสิ่งแวดล้อมของผู้พักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สรรพค์ จิตรไคร์ครวญ. การทำมาความสะอาดโดยตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงด้วยไททาเนียมไดออกไซด์. [ออนไลน์]. (ม.ป.ป.).. แหล่งที่มา: [http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss\\_j/2552\\_57\\_179\\_P21\\_24.pdf](http://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_j/2552_57_179_P21_24.pdf) [2553 กรกฎาคม 18].

## ภาษาอังกฤษ

- Al-Ekabi, H., Edword, G., Holden, W., Safarazadeh, A.A., and Story, J. 1991. Water treatment by heterogenous photocatalysis. pp. 254-261. In Echenfelder, W.W., Bowers, A.R., and Roth, J.A. Chemical Oxidation. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster.
- Amethyst Galleries, Inc. 1996. The Mineral Anatase. [Online]. Available from : <http://mineral.galleries.com/minerals/oxides/anatase/anatase.htm>. [2010, June 18].
- Anderson, K., et al. 1996. TVOC and health in non-industrial indoor environment. Indoor Air. 7: 78-91.
- Ao, C.H., and Lee, S.C. 2003. Enhancement effect of TiO<sub>2</sub> immobilized on activated carbon filter for the photodegradation of pollutions at typical indoor air level. Applied Catalysis B. 44: 191-205.
- Ao, C.H., and Lee, S.C. 2004. Combination effect of activated carbon with TiO<sub>2</sub> for the photodegradation of binary pollutions at typical indoor air level. Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemirtry. 161: 131-140.
- Ao, C.H., Lee, S.C., Yu, J.Z., and Xu, J.H. 2004. Photodegradation of formaldehyde by photocatalyst TiO<sub>2</sub>: effects on the presences of NO, SO<sub>2</sub> and VOCs. Applied Catalysis B. 54: 41-50.
- Attwood, A.L., Edwards, J.L., Rowlands, C.C., and Murphy, D.M. 2003. Identification of a surface alkylperoxy radical in photocatalytic oxidation of acetone/O-2 over TiO<sub>2</sub>. Journal of Physical Chemical A. 107: 1779-1782.
- Benoit, M.F., Wilkenhoner, U., Simon, V., Braun, A.M., Oliverous, E., and Maurette, M.T. 2000. VOC photodegradation at the gas solid interface of a TiO<sub>2</sub> photocatalyst-Part I: 1-butanol and 1-butylamine. Journal of Photochemistry and Photobiology A- Chemistry. 132: 225-232.

- Berglund, B., Berglund, U., and Lindvall, T. 1986. Assessment of discomfort and irritation from the indoor air. Proc IAQ-86. Atlanta, Ashrae : 138-149.
- Bessekhouad, Y., Robert, D., and Weber, J. 2005. Photocatalytic activity of  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  and  $\text{ZnMn}_2\text{O}_4/\text{TiO}_2$  heterojunctions. Catalysis Today. 101 : 315-321.
- Card, T.R. 1998. Fundamentals: Chemistry and Characteristics of Odors and VOCs. pp. 2.1-2.36. In Odor and VOC Control Handbook. Rafson, H.J. (ed.). The McGraw-Hill Company, New York, USA.
- Chang, C.P., Chen, J.N., and Lu, M.C. 2003 Heterogeneous photocatalytic oxidation of acetone for air purification by near UV-irradiated titanium dioxide. Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering. 38: 1131-1143.
- Derwent, R.G. 1995. Sources, Distributions and Fates of VOCs in the Atmosphere. In Hester, R.E. and Harrison, R.M. (ed.) pp 1-15. Cambridge: Volatile Organic Compounds in the Atmosphere. The Royal Society of Chemistry.
- Evans, G., and Jacobs, S.V. 1981. Air pollution and human behavior. Journal of Social Issues. 57: 95-125.
- Evgenidou, E., Fytianos, K., and Poullos, I. 2005. Semiconductor-sensitized photodegradation of dichlorvos in water using  $\text{TiO}_2$  and  $\text{ZnO}$  as catalysts. Environmental. 59: 81-89.
- Godish, T. 1989. Indoor Air Pollution Control. Michigan : Lewis.
- Green Titan Inc. 2004. What is photocatalyst [Online]. Available from : <http://www.greentitan.com/pco.htm>. [2010 June 18].
- Gupta, H. 1994. Photocatalytic degradation of chlorinated hydrocarbons and its combination with anaerobic digestion. AIT dissertation. Asian Institute of Technology, Bangkok.

- Hager, S., and Bauer, R. 1999. Heterogeneous photocatalytic oxidation of organics for air purification by near UV irradiated titanium dioxide. Chemosphere. 38: 1549-1559.
- Health Canada. Residential Indoor Air Quality Guideline: Toluene. [Online]. (n.d.). Available from : <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/air/toluene/index-eng.php> [2011 October 22].
- Hedge, A. 1989. Work-related illness in offices: A proposed model of the "Sick Building Syndrome". Environmental International. 15: 143-158.
- Hunter, P., and Oyama, S.T. 2000. Control of Volatile Organic Compound Emissions. A Wiley Interscience Publ. John Wiley & Sons, New York. USA.
- langphasuk, M. 1997. The potential for photocatalytic oxidation of dyes in textile wastewater. Ph.D. Asian Institute of Technology, Bangkok.
- IARC. 2006. Complete list of agents evaluated and their classification. International Agency for Research Center. [Online]. Available from: <http://monographs.iarc.fr/ENG/classification/index.php>. [2010 August 22].
- Jeong, J., Sekiguchi, K., and Sakamoto, K. 2004. Photochemical and photocatalytic degradation of gaseous toluene using short-wavelength uv irradiation with TiO<sub>2</sub> catalyst: comparison of three uv sources. Chemosphere. 57: 663-667.
- Jo, W.K., and Kim, J.T. 2008. Application of visible-light photocatalysis with nitrogen-doped or unmodified titanium dioxide for control of indoor-level volatile organic compounds. Journal of Hazardous materials. 164: 360-366.
- Kim, S.B., Hwang, H.T., and Hong, S.C. 2002. Photocatalytic degradation of volatile organic compounds at the gas-solid interface of a TiO<sub>2</sub> photocatalyst. Chemosphere. 48: 437-444.
- Kim, S.B., and Hong, S.C. 2002. Kinetic study for photocatalytic degradation of volatile organic compounds in air using thin film TiO<sub>2</sub> photocatalyst. Applied Catalysis B-Environmental. 35: 305-315.

- Kim, Y., Harrad, S., and Harrison, R. 2001. Concentrations and sources of VOCs in urban domestic and public microenvironments. Environment Science & Technology. 35: 997-1004.
- LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., and Evans, J.C. 1994. Hazardous Waste Management. Singapore McGraw-Hill.
- Lehr, J.H., Tyler, E.G., Wayne, A.P., and Demarre, J. 1980. Domestic Water Treatment. Magraw-Hill.
- Liang, W., and Zhao, J. 2009. Photocatalytic degradation of toluene over titanium dioxide thin film. Bioinformatics and Biomedical Engineering. (n.p.).
- Liu , H.M., Lian, Z.W., Ye, X.J., and Shangguan, W.F. 2005. Kinetic analysis of photocatalytic oxidation of gas-phase formaldehyde over titanium dioxide. Chemosphere. 60: 630-635.
- Luo, Y., and Oills, D.F. 1996. Heterogenous photocatalytic oxidation of trichloroethylene and toluene mixtures in air: kinetic promotion and inhibition, time-dependent catalyst activity. Journal of Catalysis. 163: 1-11.
- Material Safety Data Sheet. Ethyl benzene [Online]. (n.d.). Available from : <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?VID=1561> [2010 September 20].
- Material Safety Data Sheet. Toluene [Online]. (n.d.). Available from : <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?VID=61> [2010 June 18].
- Material Safety Data Sheet. Xylene [Online]. (n.d.). Available from : <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?VID=218> [2010 June 18].
- Mo, J., Zhang, Y., Xu, Q., and Yang, R. 2552. Effect of TiO<sub>2</sub>/adsorbent hybrid photocatalysts for toluene decomposition in gas phase. Journal of Hazardous Material. 168:276-281.
- Molhave , L. 1990. Volatile organic compounds, indoor air quality and health. In Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto.

- Obee, T.N., and Brown, R.T. 1995. TiO<sub>2</sub> photocatalysis for indoor air application-effects of humidity and trace contaminant levels on the oxidation rate of formaldehyde, toluene and 1,3-butadiene. Environmental Science & technology. 29: 1223-1231.
- Obee, T.N., and Hay, S.O. 1997. Effects of moisture and temperature on the photooxidation of ethylene on titania. Environmental Science & technology. 31: 2034-2038.
- Ollis, D.F., Pelizzette, E., and Serpone, N. 1991. Environmental Science Technology. 25(1523), Cited in Venkatadri, R., and Peters, R.W. 1993. Chemical oxidation.
- Ollis, D.F., Pelizzette, E., and Serpone, N. 1996. Environmental Science Technology. 25 (1523). Cited by Venkatadri, R. and Peters, R.W. 1993. Chemical Oxidation.
- Residential Indoor Air Quality Guideline. Toluene. [Online]. (n.d.). Available from: <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/air/toluene/index-eng.php>. [2012 April 15].
- Sanchez, B., Cardana, A.I., Romero, M., Avila, P., and Bahamonde, A. 1999. Influence of temperature on gas-phase photo-assisted mineralization of TCE using tubular and monolithic catalysts. Catalyst Today. 54: 369-377.
- Sano, T., Negishi, N., Takeuchi, K., and Matsuzawa, S. 2004. Degradation of toluene and acetaldehyde with Pt-loaded TiO<sub>2</sub> catalyst and parabolic trough concentrator. Solar Energy. 77: 543-522.
- Satterfield, N.C. 1991. Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice. 2<sup>nd</sup> ed. McGraw-Hill Book, New York.
- Sauer, M.L., and Ollis, D.F. 1996. Photocatalyzed oxidation of ethanol and acetaldehyde in humidified air. Journal of catalysis. 158: 570-582.



- Serpone, N., and Pelizzetti, E. 1989. Photocatalysis: Fundamentals and Applications. New York : John Wiley and Sons, Cited in langphasuk, M. 1997. The potential for photocatalytic oxidation of dyes in textile wastewater. Doctoral dissertation, Department of Asian Institute of Technology. Bangkok.
- Shie, J.L., Lee, C.H., Chiou, C.S., Chang, C.T., Chang, C.C., and Chang, C.Y. 2007. Photodegradation kinetics of formaldehyde using light sources of UVA, UVC and UVLED in the presence of composed silver titanium oxide photocatalyst. Hazardous Materials. 155: 164-172.
- Ten Brinke, J., Selvin, S., Hodgson, A.T., Fisk, W.J., Koshland, C.P., and Daisey, J.M. 1998. Development of new volatile organic compound (VOC) exposure metrics and their relationship to "Sick Building Syndrome" Symptoms. Indoor Air. 8: 140-152.
- Taoda, H., Fukaya, M., Watanabe, E. and Tanaka, K. 2006. VOC Decomposition by Photocatalytic Wall Paper. Materials Science Forum. 510-511: 22-25.
- United States Environmental Protection Agency. 1997. Risk Assessment and Risk Management in Regulatory Decision Making. Final Report. U.S. Environmental Protection Agency. United States Environmental Protection Agency. 2006 A. EPA's Approach for Assessing the Risks Associated with Chronic Exposure to Carcinogens. Integrated Risk Information System. [Online]. Available from: <http://www.epa.gov/iris/carcina.htm> [2010 August 22].
- Verchueren, K. 1996. Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. 3<sup>rd</sup> ed. USA.
- Wallance, L.A., Pellizzari, E., Leaderer, B., Zelon, H., and Sheldon, L. 1987. Emissions of volatile organic compounds from building materials and consumer products. Atmospheric Environment. 21: 385-393.

- Wu, C.X., Zhao, Y., Ren, Y., Yue, W., Hua, Y., Cao, Y., and Gao, Z. 2004. Gas-phase photooxidations of organic compounds over different forms of zirconia. Chemical. 299: 233-239.
- Yamazaki, S., Fu, X.Z., Anderson, M.A., and Hori, K. 1996. Chlorinated by products from the photoassisted catalytic oxidation of trichloroethylene and tetrachloroethylene in the gas phase using porous TiO<sub>2</sub> pellets. Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry. 97: 175-179.
- Yu, H., Zhang, K., and Rossi, C. 2007. Theoretical study on photocatalytic oxidation of VOCs using nano-TiO<sub>2</sub> photocatalyst. Photochemistry and Photobiology. 188: 65-73.
- Zhong, L., Haghghat, F., Blondeau, P., and Kozinski, J. 2010. Modeling and physical interpretation of photocatalytic oxidation efficiency in indoor air applications. Building and Environment. (n.p.) : 1-9.

ภาคผนวก

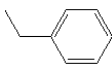

ภาคผนวก ก

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์

## เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (Material Safety Data Sheets, MSDS )

### 1. เอทิลเบนซีน (Ethyl benzene)

#### 1.1 ชื่อป่งเคมีภัณฑ์ (chemical Identification)

ชื่อเคมีทั่วไป	:	Ethyl benzene
สูตรโครงสร้าง	:	
รหัส IMO	:	
สูตรโมเลกุล	:	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
รหัส CAS NO.	:	100-41-4

#### 1.2 การใช้ประโยชน์ (Uses)

ใช้เป็นตัวทำละลาย ใช้ในกระบวนการดูดซับ และในน้ำมันปิโตรเลียมชนิด BTX

#### 1.3 ค่ามาตรฐานและความเป็นพิษ (Standard and Toxicity)

ค่าขีดจำกัดเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน (TLV-TWA) คิดที่ 8 ชั่วโมงต่อวันหรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ 100 ส่วนในล้านส่วน

ค่าขีดจำกัดสำหรับการสัมผัสในระยะเวลาดสั้น ๆ (TLV-STEL) สำหรับการสัมผัสกับสารเคมีในระยะเวลาดสั้น ๆ ปกติประมาณ 15 นาที 125 ส่วนในล้านส่วน

#### 1.4 ข้อมูลทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Data)

ลักษณะทางกายภาพ (Appear range)	:	ของเหลวใส ไม่มีสี
กลิ่น (Odour)	:	คล้ายอะโรมาติก
จุดเดือด(Boiling Point) (°C)	:	134-137
จุดหลอมเหลว (Melting Point) (°C)	:	- 95

ความดันไอ(Vapor Pressure) (kPa)	:	10 @ 20
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	:	0.867 @ 20 °C
ความหนาแน่นของไอ (Vapor Density)	:	3.7 @ 20 °C (air = 1)
ความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility in Water) (g/100ml)	:	ละลายน้ำได้น้อยมากที่ 20 °C

#### 1.5 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางการหายใจ	:	ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก และทางเดินหายใจ ส่วนบน กดประสาทส่วนกลาง
สัมผัสทางผิวหนัง	:	ระคายเคืองผิวหนัง
การกินหรือกลืนเข้าไป	:	ระคายเคือง คลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ
การสัมผัสถูกดวงตา	:	ระคายเคืองต่อตา
การก่อมะเร็ง ความผิดปกติอื่นๆ	:	อวัยวะเป้าหมาย คือระบบประสาทส่วนกลาง ปอด ทรวงอก ระบบหายใจ ไต ตับ กระเพาะปัสสาวะ อวัยวะสืบพันธุ์ และเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

#### 1.6 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

สารที่เข้ากันไม่ได้	:	สารออกซิไดซ์
สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการเผาไหม้หรือการสลายตัว	:	ไอพิษของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์

#### 1.7 ข้อมูลด้านอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion Hazard Data)

จุดวาบไฟ (Flash Point)	:	15 °C (Abel)
ขีดจำกัดการติดไฟ (Flammable Limits)	:	ค่าต่ำสุด (LEL) 2.6 %V ค่าสูงสุด (UEL) 13 %V
อุณหภูมิสามารถติดไฟได้เอง (Auto Ignition Temperature)	:	431 °C

ความไวไฟ : สารนี้เป็นสารไวไฟ

- ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ให้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ผงเคมีแห้ง ในการดับเพลิง
- ในกรณีเกิดเพลิงไหม้ให้สวมใส่อุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว (SCBA) และชุดป้องกันสารเคมีสัมผัสผิวหนังและตา
- ในระหว่างเกิดเพลิงไหม้จะเกิดการปล่อยไอระเหยของสารออกมา ซึ่งอาจจะแพร่กระจายไปสู่แหล่งจุดติดไฟ และเกิดไฟย้อนกลับมาได้

#### 1.8 มาตรฐานด้านความปลอดภัย และการป้องกันควบคุมโรค (Safety Measures)

การควบคุมสถานที่ปฏิบัติงานโดยใช้หลักการทางวิศวกรรม (Engineering Controls Workplace) : เป็นสถานที่ที่มีการระบายอากาศได้ดี มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ

การป้องกันทางการหายใจ (Respiratory Protection) : สวมหน้ากากกรองไอสารเคมีอินทรีย์ชนิด NPF 400 (Gas Only) หากอยู่ในที่ที่มีการระบายอากาศไม่ดีในที่อับหรือห้องที่บให้สวมเครื่องช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัวมาตรฐาน NPF 2000

การป้องกันทางมือ (Hand Protection) : หากต้องมีการสัมผัสกับสารเคมีควรสวมใส่ถุงมือชนิดที่ทนต่อสารเคมีชนิดนั้นได้ดี เช่น ถุงมือไนไตร หรือ นี-โอพรีน

การป้องกันตา (Eye Protection) : สวมใส่แว่นครอบตาหรือหน้ากากป้องกันสารเคมี

การป้องกันอื่น ๆ (Other Protection) : สวมใส่ชุดป้องกันซึ่งทนต่อสารเคมี และรองเท้านิรภัยทำความสะอาดร่างกายทุกครั้งหลังการปฏิบัติงาน

#### 1.9 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง (Storage and Handling)

- เก็บในภาชนะบรรจุปิดมิดชิด
- เก็บในที่เย็นและแห้ง
- เก็บห่างจากความร้อนประกายไฟและเปลวไฟ
- หลังการเคลื่อนย้ายสารเคมีให้ล้างมือทุกครั้ง
- ห้ามหายใจเอาไอของสารเคมีเข้าไปอย่าให้สารที่เข้าตาและสัมผัสกับผิวหนัง



1.10 อันตรายต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Hazards) : ห้ามทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ น้ำเสีย หรือดิน

1.11 การกำจัดกรณีรั่วไหล (Leak and Spill)

วิธีการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุรั่วไหลกันแยกบริเวณที่สารหกรั่วไหล ตัดหรือปิดแหล่งจุดติดไฟทั้งหมดให้สวมใส่อุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว (SCBA) รองเท้าบูท และถุงมือยางให้ดูดซับสารหกรั่วไหลด้วยถ่านกัมมันต์และเก็บใส่ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทจัดให้มีการระบายอากาศและล้างทำความสะอาดบริเวณที่หกรั่วไหล ใช้เครื่องมือที่ไม่ก่อให้เกิดประกายไฟการพิจารณาการกำจัด เมาใหม่สารเคมีนี้ในเตาเผาชนิดชั้นที่ 2 และระบบกำจัดต้องระมัดระวังเป็นพิเศษในการจุดติดไฟเนื่องจากสารนี้ไวไฟสูงมาก

## 2. โทลูอีน (Toluene)

2.1 ชื่อบ่งเคมีภัณฑ์ (chemical Identification)

ชื่อเคมีทั่วไป	:	Toluene; Phenyl methane
สูตรโมเลกุล	:	$C_7H_8$
สูตรโครงสร้าง	:	
รหัส IMO	:	
รหัส CAS NO.	:	108-88-3

2.2 การใช้ประโยชน์ (Uses)

การใช้ประโยชน์ (Use) ใช้ผลิตกรดเบนโซอิก, เบนซาดีไฮด์, วัตถุระเบิด, สารย้อม, สี, และใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับสี, แล็กเกอร์, เรซิน และยังใช้เป็นส่วนผสมในก๊าซโซลีน



### 2.3 ค่ามาตรฐานและความเป็นพิษ (Standard and Toxicity)

ค่าขีดจำกัดเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน (TLV-TWA) คิดที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 40 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ 100 ส่วนในล้านส่วน

ค่าขีดจำกัดสำหรับการสัมผัสในระยะเวลาสั้น ๆ (TLV-STEL) สำหรับการสัมผัสกับสารเคมีในระยะเวลาสั้น ๆ ปกติประมาณ 15 นาที 150 ส่วนในล้านส่วน

### 2.4 ข้อมูลทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Data)

จุดเดือด (Boiling Point) (°C)	:	111
จุดหลอมเหลว (Melting Point) (°C)	:	-95
ความดันไอ (Vapor Pressure) (kPa)	:	2.93
ความสามารถในการละลายน้ำ (Solubility in Water)	:	ไม่ละลาย
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	:	0.87 ที่ 20°C
ลักษณะ สี และกลิ่น (Appear range Colour and Odor)	:	เป็นของเหลวใส ไม่มีสี, มีกลิ่นเฉพาะตัว
คุณสมบัติอื่นๆ (Other properties)	:	ไอสารมีน้ำหนักมากกว่าอากาศ

### 2.5 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

อันตรายเฉียบพลัน Acute :

- เมื่อกินเข้าไป จะเกิดอาการสำลักกระตุกของกล้ามเนื้อช่องท้อง, วิงเวียน ปวดศีรษะ และ อาจ เป็นพิษ (Toxic)
  - เมื่อเข้าตา จะระคายเคืองตาอย่างรุนแรง, ตาแดง แสบ
  - เมื่อถูกผิวหนัง ของเหลวจะระคายเคืองผิวหนัง โดยจะดูดซึมผ่านผิวหนังอย่างรวดเร็ว และจะเกิดปฏิกิริยาต่อผิวหนัง ทำให้เกิดผิวหนังอักเสบ (Dermatitis)
  - การหายใจ ไอสารจะระคายเคืองอย่างมากต่อทางเดินหายใจส่วนบนและปอด กรณีที่ สารมีความเข้มข้นสูง จะทำให้คลื่นไส้ ปวดศีรษะ และอาจให้หมดสติได้
- อันตรายเรื้อรัง Chronic

- การสัมผัสสารบ่อย ๆ หรือเป็นเวลานาน จะทำให้ชั้นไขมันใต้ผิวหนังถูกทำลาย และเกิด โรคผิวหนังเรื้อรัง นอกจากนี้ อาจทำให้เกิดความผิดปกติของตา การมองเห็นเสื่อม ลง และทำลายเยื่อตา ทำให้เกิดแผลไหม้ได้
- การสูดหายใจเอาสารเข้าไปอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ อาจเกิดการทำลายเนื้อเยื่อทางเดินหายใจส่วนบนและปอด ทำให้ปอดอักเสบ และนอกจากนี้ ยังทำให้เกิดความ ผิดปกติของระบบประสาทได้

## 2.6 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

ความคงตัวทางเคมี	:	สารนี้มีความเสถียร
สารที่เข้ากันไม่ได้	:	สารออกซิไดซ์ที่รุนแรง
สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว	:	ออกไซด์ของคาร์บอน และไนโตรเจน

## 2.7 ข้อมูลด้านอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion Hazard Data)

จุดวาบไฟ (Flash Point)	:	4.4 °C
ขีดจำกัดการติดไฟ (Flammable Limits)	:	ค่าต่ำสุด (LEL)% 1.27 % ค่าสูงสุด (UEL)% 7 %

อุณหภูมิสามารถติดไฟได้เอง (Autoignition Temperature) : 479.5 °C

การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Reactivity) : ทำปฏิกิริยารุนแรงกับสารออกซิไดซ์ ทำให้เกิดการลุกไหม้หรือการระเบิดได้ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก จะทำให้เกิดความร้อน

สารที่ต้องหลีกเลี่ยง (Materials to Avoid) : สารออกซิไดซ์, กรดไนตริก และกรดซัลฟูริก

สารอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว (Hazardous Decomposition Products) : เมื่อเผาไหม้จะสลายตัวเกิดไอระเหยของคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพิษ

## 2.8 มาตรฐานด้านความปลอดภัย และการป้องกันควบคุมโรค (Safety Measures)

ข้อมูลการป้องกันโดยเฉพาะทาง (Special Protection Information) :

- ชนิดของอุปกรณ์ป้องกันทางการหายใจ (Respiratory Protection Type) ใช้ หน้ากากป้องกันไอระเหยของสารอินทรีย์
- การป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับมือ (Hand Protection) สวมถุงมือพีวีซี (PVC.)
- การป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับตา (Eye Protection) ใช้แว่นครอบตานิรภัยกันสารเคมี
- การป้องกันอื่นๆ (Other Protection) สวมรองเท้าบูท พีวีซี (PVC.)
- การควบคุมทางด้านวิศวกรรม (Engineering Control) จัดระบบการระบายอากาศเฉพาะที่

การปฐมพยาบาล (First Aid) :

- การสัมผัสทางผิวหนัง ถอดชุดปฏิบัติงานที่เปื้อนสารทั้งหมด รวมทั้งรองเท้าทันที แล้วชำระล้างผิวหนังบริเวณที่เปื้อนสารด้วยน้ำสะอาด (และสบู่ ถ้ามี) อย่างน้อย 15 นาที และให้ได้รับการดูแลทางการแพทย์ ถ้าหากมีอาการบวม แดง พุพอง หรือระคายเคืองเกิดขึ้น
- การสัมผัสทางตา ล้างตาด้วยน้ำสะอาดที่ไหลต่อเนื่อง เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 15 นาทีโดยชะล้างส่วนใต้เปลือกตาเป็นพิเศษ แล้วรีบนำส่งแพทย์หรือโรงพยาบาล
- การกินเข้าไป ห้ามทำให้อาเจียน ถ้าผู้ป่วยยังมีสติ ให้บ้วนปากด้วยน้ำหรือนม และดื่มในปริมาณเท่าที่จะสามารถดื่มได้ แล้วรีบนำตัวส่งโรงพยาบาลหรือพบแพทย์โดยทันที
- การสัมผัสทางการหายใจ นำผู้ป่วยไปสู่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ให้นอนราบ และพักถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจ ทำให้ทางเดินหายใจโล่งก่อน แล้วทำการผายปอด ให้ความอบอุ่นแก่ ผู้บาดเจ็บ และให้ได้รับการดูแลทางการแพทย์

ข้อแนะนำพิเศษในการรักษา (Advice to Doctor): รักษาตามอาการ ห้ามให้ยา Ephine phrine หรือยาในกลุ่มเดียวกัน

## 2.9 ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย (Hazards Identification)

อันตรายเฉียบพลัน Acute :

- เมื่อกินเข้าไป จะเกิดอาการคลื่นกระตุกของกล้ามเนื้อช่องท้อง, วิงเวียน ปวดศีรษะ และอาจเป็นพิษ (Toxic)
- เมื่อเข้าตา จะระคายเคืองตาอย่างรุนแรง, ตาแดง แสบ
- เมื่อถูกผิวหนัง ของเหลวจะระคายเคืองผิวหนัง โดยจะดูดซึมผ่านผิวหนังอย่างรวดเร็วและจะเกิดปฏิกิริยาต่อผิวหนัง ทำให้เกิดผิวหนังอักเสบ
- การหายใจ ไอสารจะระคายเคืองอย่างมากต่อทางเดินหายใจส่วนบนและปอด กรณีที่ สารมีความเข้มข้นสูง จะทำให้คลื่นไส้ ปวดศีรษะ และอาจให้หมดสติได้

อันตรายเรื้อรัง Chronic :

- การสัมผัสสารบ่อย ๆ หรือเป็นเวลานาน จะทำให้ชั้นไขมันใต้ผิวหนังถูกทำลาย และเกิดโรคผิวหนังเรื้อรัง นอกจากนี้ อาจทำให้เกิดความผิดปกติของตา การมองเห็นเสื่อม ลงและทำลายเยื่อบุตา ทำให้เกิดแผลไหม้ได้
- การสูดหายใจเอาสารเข้าไปอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ อาจเกิดการทำลายเนื้อเยื่อ ทางเดินหายใจ ส่วนบนและปอด ทำให้ปอดอักเสบ และนอกจากนี้ ยังทำให้เกิดความผิดปกติของระบบประสาทได้

## 2.10 การกำจัดกรณีรั่วไหล (Leak and Spill)



- อพยพบุคคลออกจากบริเวณที่หกรั่วไหล
- ปิดแหล่งกำเนิดไฟทุกแห่ง
- ระบายอากาศและล้างบริเวณสารหกรั่วไหลหลังจากสารเคมีถูกเก็บกวาด

เรียบร้อยแล้ววิธีปฏิบัติในกรณีเกิดการหกรั่วไหลให้หยุดการรั่วไหลถ้าสามารถทำได้ โดยปราศจากความเสี่ยงอันตราย

- ให้ดูดซับส่วนที่หกรั่วไหลด้วยทราย หรือวัสดุดูดซับอื่นที่ไม่ลุกติดไฟ และเก็บกวาดใส่ในภาชนะบรรจุเพื่อนำไปกำจัด
- การพิจารณาการกำจัดปฏิบัติให้เป็นไปตามกฎระเบียบที่ทางราชการกำหนด

### 3. ไชลีน (Xylene)

#### 3.1 ชื่อป้งเคมีภัณฑ์ (chemical Identification)

ชื่อเคมีทั่วไป	:	Xylene
สูตรโมเลกุล	:	$C_6H_4(CH_3)_2$
สูตรโครงสร้าง	:	
รหัส IMO	:	
รหัส CAS NO.	:	1330-20-7

#### 3.2 การใช้ประโยชน์ (Uses)

ใช้เป็นสารทำละลาย เป็นส่วนผสมในสี แลกเกอร์ วานิช หมึก สีย้อม กาว ซีเมนต์ น้ำยาทำความสะอาด และน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในหลอดที่ทำให้เกิดการสั่นในวิทยุ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ น้ำหอม สารไล่แมลง ยา และในอุตสาหกรรมหนัง

#### 3.3 ข้อมูลทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Data)

จุดเดือด (Boiling Point) (°C)	:	138.3
จุดหลอมเหลว (Melting Point) (°C)	:	30
ความดันไอ (Vapor Pressure) (KPa)	:	3.7
การละลายได้ในน้ำ (Solubility in Water)	:	0.13
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity $H_2O$ )	:	0.87 ที่ 20 °C
ลักษณะ สี และกลิ่น (Appear range Colour and Odor)	:	เป็นของเหลวใส, มีกลิ่นหอมหวาน

### 3.4 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางการหายใจ : การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง และหายใจติดขัด

สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคือง เกิดแผลแสบไหม้ และทำให้ผิวหนังอักเสบ

การกินหรือกลืนเข้าไป : การกลืนหรือกินเข้าไป เป็นอันตรายต่อร่างกาย ทำให้มีการขับของน้ำลายออกมามาก มีเหงื่อออก คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง ปวดท้อง และเบื่ออาหาร

การสัมผัสดวงตา : การสัมผัสดวงตาจะก่อให้เกิดการระคายเคืองและเกิดแผลไหม้

การก่อมะเร็ง ความผิดปกติอื่นๆ : สารนี้ไม่เป็นสารก่อมะเร็งสารนี้ทำลายประสาท เลือด ดวงตา หู ตับ ไต และเป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

สารที่เข้ากันไม่ได้ : สารออกซิไดซ์อย่างแรง

สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : คาร์บอนมอนนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์, ควีน และไอระเหย

### 3.5 ข้อมูลด้านอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion Hazard Data)

- เป็นวัสดุไวไฟและติดไฟได้ อาจลุกติดไฟเมื่อได้รับความร้อน ประกายไฟหรือเปลวไฟ
- ไอของสารอาจไหลกลับไปยังแหล่งกำเนิดไฟแล้วทำให้ไฟลุกได้
- ภาชนะบรรจุอาจระเบิดได้เมื่อได้รับความร้อนจากเพลิงไหม้
- ไอของสารอาจทำให้เกิดระเบิดได้ ทั้งในอาคาร นอกอาคาร และในท่อน้ำทิ้ง

### 3.6 มาตรฐานด้านความปลอดภัย และการป้องกันควบคุมโรค (Safety Measures)

การหายใจ : สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันการหายใจแบบมีท่ออากาศติดตัวหรือแบบส่งอากาศจากภายนอกถ้าไอหรือละอองไอไม่ทราบค่าความเข้มข้นในขณะนั้น

ดวงตา : สวมแว่นตานิรภัย ที่ครอบตา หรือหน้ากากกันสารเคมี

ผิวหนัง : สวมถุงมือ รองเท้าบูท และเสื้อคลุมกันสารเคมี เสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมี ให้เก็บใส่ภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิด ทำความสะอาดก่อนนำมาใช้ใหม่ ในบริเวณ โรงงาน ควรจัดให้มีฝักบัวอาบน้ำ และที่ล้างตา

การกลืนกิน : ห้ามรับประทานอาหาร ดื่มน้ำ สูบบุหรี่ บริเวณที่ทำงาน ควรล้างมือ ก่อนรับประทานอาหาร ดื่มน้ำ สูบบุหรี่ และหลังเลิกงานทุกครั้ง อ่านฉลากที่ปิดบนภาชนะ อย่างละเอียด

### 3.7 ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย (Hazards Identification)

การหายใจ : ไอระเหยทำให้ระคายเคืองเยื่อทางเดินหายใจ ถ้าหายใจเอาสารที่มีความเข้มข้นสูงเข้าไปจะทำให้เกิดปอดอักเสบ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย มึนงง สับสน คลื่นไส้ อาเจียน สิ้น หายใจเร็ว หหมดสติและตายได้

ดวงตา : ทำให้ระคายเคืองตา

ผิวหนัง : ก่อให้เกิดการระคายเคือง ถ้าสัมผัสเป็นระยะเวลานาน จะทำให้ผิวหนังเป็นผื่นแดง

การกลืนกิน : ทำให้มีศีรษะ อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ ถ้าได้รับในปริมาณมาก ทำให้คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเดิน ในรายที่รุนแรงทำให้ หมดสติ และ อาจตายได้

### 3.8 การกำจัดกรณีรั่วไหล (Leak and Spill)

วิธีการปฏิบัติในกรณีเกิดการหกรั่วไหล

- ให้นหยุดการรั่วไหลถ้าสามารถทำได้โดยปราศจากความเสียงอันตราย
- ให้ดูดซับส่วนที่หกรั่วไหลด้วยทรายหรือวัสดุดูดซับอื่นที่ไม่ติดไฟ
- เก็บส่วนที่หกรั่วไหลในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิดเพื่อนำไปกำจัด

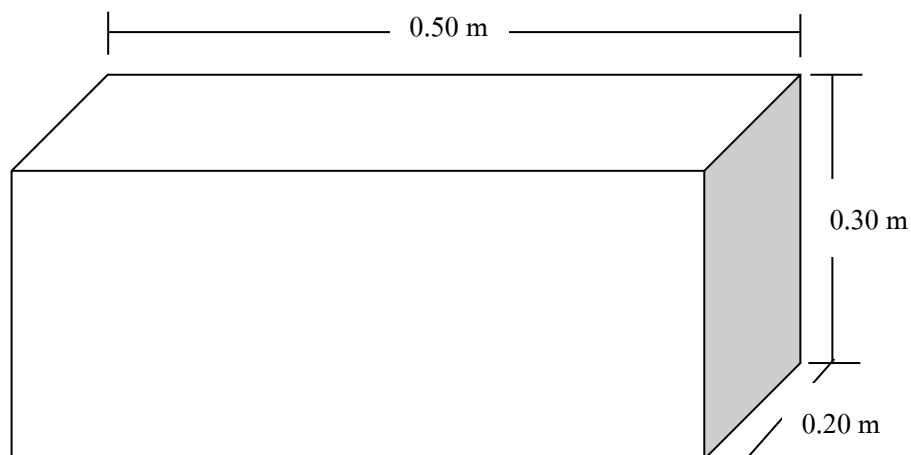
การกำจัด : ปฏิบัติให้เป็นไปตามกฎระเบียบที่ทางราชการกำหนด

ภาคผนวก ข

รายการ การคำนวณ



## 1. การคำนวณปริมาตรถังปฏิกรณ์



ปริมาตรทรงกระบอก	=	กว้าง×ยาว×สูง
	=	0.20×0.50×0.30
เพราะฉะนั้นปริมาตรทั้งหมดของถังปฏิกรณ์	=	0.03 ลบ.ม.
จาก $1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ l}$ เพราะฉะนั้นปริมาตร	=	30.00 ล.

## 2. การคำนวณอัตราการไหลก๊าซ

กำหนดเวลากักพัก 1-10 นาทีและปริมาตรถังปฏิกรณ์ 30 ลิตร

จาก เวลา	=	ปริมาตร/อัตราการไหลก๊าซ
(1) เวลา 3 นาที	=	30.00 ล./3นาที
เพราะฉะนั้นอัตราการไหลก๊าซ	=	10 ล./นาที
(2) เวลา 6 นาที	=	30.00 ล./6นาที
เพราะฉะนั้นอัตราการไหลก๊าซ	=	5.00 ล./นาที
(3) เวลา 8 นาที	=	30.00 ล./8นาที
เพราะฉะนั้นอัตราการไหลก๊าซ	=	3.75 ล./นาที
(4) เวลา 10 นาที	=	30.00 ล./10นาที
เพราะฉะนั้นอัตราการไหลก๊าซ	=	3.00 ล./นาที
เพราะฉะนั้นอัตราการไหลก๊าซ	=	3.00-10.00 ล./นาที

### การคำนวณการแปลงหน่วย

สารโทลูอีนที่ใช้ในการทดลองนี้ เตรียมจากสารโทลูอีน 99.5 เปอร์เซ็นต์ที่ระเหยเป็นก๊าซโทลูอีน โดยสมมติเคมีและค่าคงที่ Henry's law มีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

กำหนดค่าคงที่ Henry's law ( $K_H$ ) ที่ 25 องศาเซลเซียส

$$= \frac{0.00664 \text{ ลบ.ม.}-\text{ความดันบรรยากาศ} \times 10^3 \text{ ล.}}{\text{โมล} / 1 \text{ ลบ.ม.}} = \frac{6.64 \text{ ล.}-1 \text{ ความดันบรรยากาศ}}{\text{โมล}}$$

$$\text{ปริมาณก๊าซในอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส} = 24.45 \text{ ล.}$$

### สารโทลูอีน

$$\text{มวลโมเลกุลของโทลูอีน} = 92.14$$

ความเข้มข้นสารโทลูอีนที่ใช้ในงานวิจัยเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน

ความเข้มข้นสารโทลูอีน 5 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{5 \times 92.14}{24.45} = 19 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

ความเข้มข้นสารโทลูอีน 10 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{10 \times 92.14}{24.45} = 38 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

ความเข้มข้นสารโทลูอีน 15 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{15 \times 92.14}{24.45} = 57 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

ความเข้มข้นสารโทลูอีน 20 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{20 \times 92.14}{24.45} = 75 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

สารโซลีน

มวลโมเลกุลของโซลีน = 106.17

ความเข้มข้นสารโซลีนที่ใช้ในงานวิจัยเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน

ความเข้มข้นสารโซลีน 5 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{5 \times 106.17}{24.45} = 22 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

ความเข้มข้นสารโซลีน 10 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{10 \times 106.17}{24.45} = 43 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

ความเข้มข้นสารโซลีน 15 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{15 \times 106.17}{24.45} = 65 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

ความเข้มข้นสารโซลีน 20 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{20 \times 106.17}{24.45} = 87 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

สารเอทิลเบนซีน

$$\text{มวลโมเลกุลของเอทิลเบนซีน} = 106.17$$

ความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีนที่ใช้ในงานวิจัยเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 ส่วนในล้านส่วน

ความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีน 5 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{5 \times 106.17}{24.45} = 22 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

ความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีน 10 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{10 \times 106.17}{24.45} = 43 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

ความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีน 15 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{15 \times 106.17}{24.45} = 65 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

ความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีน 20 ส่วนในล้านส่วน

$$\frac{20 \times 106.17}{24.45} = 87 \text{ มก./ลบ.ม.}$$

ภาคผนวก ค

ผลการทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่อง  
ความเข้มข้นสารโทลูอิน 5 ส่วนในล้านส่วน  
พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร

ตารางที่ ค-1 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	4.2	3.8	15.8	14.3	11.9	0.1	0.0	64.7	26.0
2	3.6	3.2	13.6	12.1	11.1	0.1	0.0	65.4	26.0
3	4.7	3.9	17.7	14.7	0.0	0.2	0.0	64.0	26.0
4	3.8	3.5	14.3	13.2	7.9	0.1	0.0	64.0	26.0
5	4.6	4	17.3	15.1	13.0	0.2	0.0	70.1	26.0
6	5.1	4.4	19.2	16.6	15.7	0.2	0.0	56.6	26.0
7	3.9	3.7	14.7	13.9	5.1	0.1	0.0	57.4	26.0
8	4.5	4	17.0	15.1	11.1	0.1	0.0	63.5	26.0
9	6.8	6.2	25.6	23.4	8.8	0.2	0.0	62.7	26.5
10	6.3	5.5	23.7	20.7	12.7	0.2	0.0	62.1	25.0
-	-	-	-	-	10.21±0.88	0.13±0.05	0.0±0.0	63.0±0.9	26.0±0.2

ตารางที่ ค-2 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	4.8	3.9	18.09	14.70	18.75	0.12	0.0	58.8	26
2	5.9	4.9	22.23	18.47	16.95	0.13	0.0	59.4	25.5
3	5.8	5.4	21.86	20.35	6.9	0.05	0.0	59.5	25
4	5.5	4.8	20.73	18.09	16.36	0.09	0.0	60.3	26
5	4.5	3.5	16.96	13.19	22.22	0.13	0.0	60.4	26
6	4.2	3.6	15.83	13.57	14.29	0.08	0.0	60.3	26
7	4.3	3.9	16.20	14.70	9.3	0.05	0.0	60.3	26
8	4.2	3.9	15.83	14.70	7.14	0.04	0.0	60.4	26
9	3.9	3.6	14.70	13.57	7.69	0.04	0.0	60.3	26
10	3.2	2.8	12.06	10.55	12.5	0.05	0.0	66.8	26
-	-	-	-	-	12.9±4.2	0.08±0.03	0.0±0.0	60.8±2.3	25.9±0.2

ตารางที่ ค-3 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	6.4	5.3	24.12	19.97	17.19	0.11	0.0	66.5	25.0
2	4	2.6	15.07	9.80	35.00	0.14	0.0	64.0	25.0
3	5	2.5	18.84	9.42	50.00	0.25	0.0	64.5	25.0
4	4.2	2.6	15.83	9.80	38.10	0.16	0.0	64.1	25.0
5	6	4	22.61	15.07	33.33	0.20	0.0	64.7	25.0
6	5.8	4	21.86	15.07	31.03	0.18	0.0	64.2	25.0
7	5.5	4.1	20.73	15.45	25.45	0.14	0.0	64.8	25.0
8	5.4	3	20.35	11.31	44.44	0.24	0.0	64.9	25.0
9	5	3.2	18.84	12.06	36.00	0.18	0.0	63.7	25.0
10	5.1	3.2	19.22	12.06	37.25	0.19	0.0	63.2	25.0
-	-	-	-	-	35.08±5.18	0.18±0.03	0.0±0.0	64.2±0.5	25.0±0.0



ตารางที่ ค-4 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	5.0	3.5	18.84	13.19	30.00	0.12	0.0	64.9	25.5
2	4.7	2.6	17.71	9.80	44.68	0.17	0.0	62.1	25.5
3	4.6	1.9	17.34	7.16	58.70	0.22	0.0	62.0	25.5
4	4.9	2.0	18.47	7.54	59.18	0.23	0.0	61.8	25.0
5	5.2	1.9	19.60	7.16	63.46	0.27	0.0	64.2	25.0
6	6.0	3.4	22.61	12.81	43.33	0.21	0.0	64.7	25.0
7	5.5	1.9	20.73	7.16	65.45	0.29	0.0	64.5	25.0
8	5.2	2.1	19.60	7.91	59.62	0.25	0.0	64.0	25.0
9	5.1	2.6	19.22	9.80	49.02	0.20	0.0	64.4	25.0
10	4.9	2.4	18.47	9.04	51.02	0.20	0.0	65.0	25.0
-	-	-	-	-	53.63±7.10	0.22±0.03	0.0±0.0	63.5±1.2	25.1±0.2

ตารางที่ ค-5 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	5.2	4.4	19.60	16.58	15.38	0.22	0.0	62.0	26.0
2	4.9	4.5	18.47	16.96	8.16	0.11	0.0	62.1	26.0
3	3.7	3.2	13.94	12.06	13.51	0.13	0.0	62.1	26.0
4	3.2	2.7	12.06	10.17	15.63	0.13	0.0	61.8	25.5
5	2.8	2.3	10.55	8.67	17.86	0.13	0.0	62.2	26.0
6	5.2	4.2	19.60	15.83	19.23	0.27	0.0	64.9	26.0
7	4.6	4.2	17.34	15.83	8.70	0.11	0.0	64.0	27.0
8	4.0	3.3	15.07	12.44	17.50	0.19	0.0	63.1	27.0
9	3.0	2.6	11.31	9.80	13.33	0.11	0.0	62.8	26.0
10	5.9	4.9	22.23	18.47	16.95	0.27	0.0	60.4	26.0
-	-	-	-	-	-	0.14±0.04	0.0±0.0	62.5±0.7	26.2±0.5

ตารางที่ ค-6 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	4.8	3.9	18.09	14.70	18.76	0.12	0.0	62.2	26.5
2	4.6	5.8	17.34	21.86	17.39	0.11	0.0	66.0	27.0
3	6.0	4.3	22.61	16.20	28.33	0.23	0.0	63.0	26.0
4	5.0	3.9	18.84	14.70	22.00	0.15	0.0	64.0	26.0
5	5.2	4.0	19.60	15.07	23.08	0.16	0.0	64.2	26.0
6	5.1	4.2	19.22	15.83	17.65	0.12	0.0	64.5	26.0
7	4.9	4.0	18.47	15.07	18.37	0.12	0.0	64.0	26.0
8	4.6	4.0	17.34	15.07	13.04	0.08	0.0	63.8	26.0
9	5.1	4.1	19.22	15.45	19.61	0.13	0.0	64.0	26.0
10	5.0	3.9	18.84	14.70	22.00	0.15	0.0	63.7	26.0
-	-	-	-	-	-	0.13±0.02	0.0±0.0	64.1±1.0	26.2±0.3

ตารางที่ ค-7 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยู่ที่ 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	5.0	3.1	18.84	11.68	38.00	0.19	0.0	62.1	26.0
2	5.1	3.5	19.22	13.19	31.37	0.16	0.0	62.5	26.0
3	4.9	3.0	18.47	11.31	38.78	0.19	0.0	63.4	26.5
4	4.8	2.8	18.09	10.55	41.67	0.20	0.0	62.9	26.5
5	5.2	2.4	19.60	9.04	53.85	0.28	0.0	64.1	26.5
6	4.7	2.7	17.71	10.17	42.55	0.20	0.0	64.8	26.0
7	4.9	2.3	18.47	8.67	53.06	0.26	0.0	64.5	26.0
8	5.0	2.9	18.84	10.93	42.00	0.21	0.0	64.2	26.5
9	5.5	2.6	20.73	9.80	52.73	0.29	0.0	63.9	26.0
10	4.6	2.5	17.34	9.42	45.65	0.21	0.0	63.5	26.0
-	-	-	-	-	-	0.22±0.03	0.0±0.0	63.8±0.7	26.3±0.3

ตารางที่ ค-8 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	4.8	1.3	18.09	4.90	72.92	0.28	0.0	61.5	26.0
2	4.7	1.6	17.71	6.03	65.96	0.25	0.0	61.2	26.0
3	4.8	1.7	18.09	6.41	64.58	0.25	0.0	61.8	26.0
4	4.9	1.3	18.47	4.90	73.47	0.29	0.0	62.0	26.0
5	5.2	1.9	19.60	7.16	63.46	0.27	0.0	62.1	26.0
6	5.1	1.8	19.22	6.78	64.71	0.27	0.0	62.7	26.5
7	5.0	1.5	18.84	5.65	70.00	0.28	0.0	62.2	26.5
8	4.6	2.2	17.34	8.29	52.17	0.19	0.0	62.8	26.5
9	4.5	1.6	16.96	6.03	64.44	0.23	0.0	62.0	26.0
10	5.0	1.8	18.84	6.78	64.00	0.26	0.0	62.1	26.0
-	-	-	-	-	-	0.26±0.02	0.0±0.0	62.0±0.4	26.1±0.2

ตารางที่ ค-9 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	3.6	3.5	13.57	13.19	15.38	0.03	0.0	62.7	25.0
2	3.8	3.3	14.32	12.44	8.16	0.13	0.0	62.9	25.0
3	3.8	3.5	14.32	13.19	13.51	0.08	0.0	64.2	26.0
4	3.7	3.3	13.94	12.44	15.63	0.11	0.0	64.2	26.0
5	4.8	4.2	18.09	15.83	17.86	0.16	0.0	63.9	26.0
6	5	4.3	18.84	16.20	19.23	0.19	0.0	64.0	26.0
7	4.8	4.1	18.09	15.45	8.70	0.19	0.0	64.3	26.0
8	4.4	3.8	16.58	14.32	17.50	0.16	0.0	64.3	26.0
9	4.9	4.4	18.47	16.58	13.33	0.13	0.0	65.3	26.5
10	5	4.3	18.84	16.20	16.95	0.19	0.0	65.5	26.5
-	-	-	-	-	-	0.12±0.05	0.0±0.0	64.5±0.6	26.1±0.2

ตารางที่ ค-10 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	3.8	3.0	14.32	11.31	21.05	0.11	0.0	63.6	25.0
2	6.7	5.4	25.25	20.35	19.40	0.17	0.0	64.7	26.0
3	5.0	3.9	18.84	14.70	22.00	0.15	0.0	64.0	26.0
4	4.4	3.5	16.58	13.19	20.45	0.12	0.0	63.7	26.0
5	3.9	3.0	14.70	11.31	23.08	0.12	0.0	65.0	26.5
6	6.3	5.2	23.74	19.60	17.46	0.15	0.0	66.1	26.5
7	5.9	5.2	22.23	19.60	11.86	0.09	0.0	65.4	26.0
8	5.4	4.5	20.35	16.96	16.67	0.12	0.0	64.6	26.0
9	4.7	3.5	17.71	13.19	25.53	0.16	0.0	64.1	26.0
10	3.0	2.7	11.31	10.17	10.00	0.04	0.0	64.2	26.0
-	-	-	-	-	-	0.13±0.02	0.0±0.0	64.6±0.8	26.0±0.4

ตารางที่ ค-11 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	5.8	3.8	21.86	14.32	34.48	0.20	0.0	63.4	27.0
2	5.9	3.7	22.23	13.94	37.29	0.22	0.0	62.4	27.0
3	3.7	3.2	13.94	12.06	13.51	0.05	0.0	61.3	26.5
4	5.1	3.5	19.22	13.19	31.37	0.16	0.0	66.2	26.5
5	4.5	2.8	16.96	10.55	37.78	0.17	0.0	64.5	26.5
6	4.7	2.9	17.71	10.93	38.30	0.18	0.0	65.3	26.5
7	5.0	3.0	18.84	11.31	40.00	0.20	0.0	62.4	26.5
8	5.4	3.2	20.35	12.06	40.74	0.22	0.0	62.2	26.5
9	5.2	3.2	19.60	12.06	38.46	0.20	0.0	64.1	26.5
10	5.0	3.5	18.84	13.19	30.00	0.15	0.0	63.5	26.5
-	-	-	-	-	35.96±3.39	0.19±0.03	0.0±0.0	64.0±1.3	26.6±0.2



ตารางที่ ค-12 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	5.6	5.0	21.10	18.84	10.71	0.05	0.0	64.9	26.0
2	4.9	2.5	18.47	9.42	48.98	0.19	0.0	63.9	26.0
3	4.9	1.3	18.47	4.90	73.47	0.29	0.0	65.7	26.0
4	4.9	1.7	18.47	6.41	65.31	0.26	0.0	67.8	26.0
5	5.4	2.6	20.35	9.80	51.85	0.23	0.0	63.4	26.5
6	5.9	1.6	22.23	6.03	72.88	0.35	0.0	63.3	27.0
7	4.8	1.6	18.09	6.03	66.67	0.26	0.0	63.2	27.0
8	4.3	1.5	16.20	5.65	65.12	0.23	0.0	62.1	26.5
9	5.7	1.9	21.48	7.16	66.67	0.31	0.0	62.9	27.0
10	4.8	1.4	18.09	5.28	70.83	0.27	0.0	62.8	27.0
-	-	-	-	-	63.54±8.02	0.26±0.05	0.0±0.0	63.7±1.6	26.6±0.4

ภาคผนวก ง

ผลการทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่อง  
ความเข้มข้นสารโทลูอิน 10 ส่วนในล้านส่วน  
พื้นที่ผ่านฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร

ตารางที่ ง-1 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	11.4	9.4	42.96	35.42	17.54	0.54	0.0	63.3	26.5
2	10.0	8.7	37.69	32.79	13.00	0.35	0.0	60.5	26.0
3	10.2	9.1	38.44	34.29	10.78	0.30	0.0	60.9	26.0
4	8.4	7.4	31.66	27.89	11.90	0.27	0.0	60.1	25.5
5	8.2	6.6	30.90	24.87	19.51	0.43	0.0	63.7	26.0
6	7.4	6.6	27.89	24.87	10.81	0.22	0.0	61.1	26.0
7	10.2	8.6	38.44	32.41	15.69	0.43	0.0	64.1	26.0
8	10.1	8.7	38.06	32.79	13.86	0.38	0.0	64.2	26.0
9	9.8	8.5	36.93	32.03	13.27	0.35	0.0	64.0	26.0
10	10.5	8.5	39.57	32.03	15.00	0.54	0.0	64.3	26.0
-	-	-	-	-	13.88±2.01	0.38±0.11	0.0±0.0	62.7±1.7	26.0±0.3

ตารางที่ ง-2 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	12.1	9.7	45.60	36.55	19.83	0.32	0.0	59.8	25.0
2	10.6	8.4	39.95	31.66	20.75	0.30	0.0	63.5	26.5
3	10.0	8.0	37.69	30.15	20.00	0.27	0.0	63.1	26.0
4	11.0	9.1	41.45	34.29	17.27	0.26	0.0	64.2	26.0
5	9.8	7.2	36.93	27.13	26.53	0.35	0.0	60.1	26.0
6	9.7	8.3	36.55	31.28	14.43	0.19	0.0	64.1	26.0
7	8.9	7.2	33.54	27.13	19.10	0.23	0.0	62.2	25.5
8	10.1	8.0	38.06	30.15	20.79	0.28	0.0	63.2	26.0
9	9.7	7.9	36.55	29.77	18.56	0.24	0.0	63.1	26.0
10	9.0	8.0	33.92	30.15	11.11	0.13	0.0	64.0	26.0
-	-	-	-	-	18.84±1.99	0.26±0.04	0.0±0.0	62.9±1.3	25.9±0.4

ตารางที่ ง-3 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยวี่ 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	10.1	6.0	38.06	22.61	40.59	0.41	0.0	64.8	25.5
2	9.8	6.1	36.93	22.99	37.76	0.37	0.0	64.1	26.0
3	9.9	6.7	37.31	25.25	32.32	0.32	0.0	64.9	26.0
4	10.0	6.8	37.69	25.63	32.00	0.32	0.0	63.2	26.0
5	9.7	6.4	36.55	24.12	34.02	0.33	0.0	63.8	25.5
6	10.0	5.8	37.69	21.86	42.00	0.42	0.0	64.5	25.5
7	9.9	5.8	37.31	21.86	41.41	0.41	0.0	64.0	25.5
8	11.2	7.5	42.21	28.26	33.04	0.37	0.0	64.1	26.0
9	10.6	6.9	39.95	26.00	34.91	0.37	0.0	64.7	25.5
10	10.3	6.5	38.82	24.50	36.89	0.38	0.0	65.0	25.5
-	-	-	-	-	36.37±3.17	0.37±0.03	0.0±0.0	64.4±0.4	25.7±0.2

ตารางที่ ง-4 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยวี่ 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	9.8	3.2	36.93	12.06	67.35	0.53	0.0	64.8	25.5
2	9.7	3.5	36.55	13.19	63.92	0.50	0.0	65.6	25.5
3	10.0	5.0	37.69	18.84	50.00	0.40	0.0	64.1	25.5
4	9.5	5.2	35.80	19.60	45.26	0.35	0.0	64.3	25.5
5	10.2	4.0	38.44	15.07	60.78	0.50	0.0	63.2	25.5
6	10.5	4.5	39.57	16.96	57.14	0.48	0.0	63.3	25.5
7	11.1	5.0	41.83	18.84	54.95	0.49	0.0	63.1	25.5
8	9.8	4.3	36.93	16.20	56.12	0.44	0.0	63.7	25.5
9	9.6	5.2	36.18	19.60	45.83	0.36	0.0	63.9	25.5
10	9.5	4.1	35.80	15.45	56.84	0.44	0.0	64.7	25.5
-	-	-	-	-	55.63±5.46	0.45±0.05	0.0±0.0	64.0±0.8	25.5±0.0

ตารางที่ ง-5 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	11.8	10.4	44.47	39.19	11.86	0.38	0.0	61.7	26.5
2	9.5	8.4	35.80	31.66	11.58	0.30	0.0	61.9	26.5
3	7.9	6.6	29.77	24.87	16.46	0.35	0.0	61.6	26.5
4	10.2	8.6	38.44	32.41	15.69	0.43	0.0	64.1	26.5
5	9.8	8.0	36.93	30.15	18.37	0.48	0.0	64.1	26.0
6	9.6	8.6	36.18	32.41	10.42	0.27	0.0	64.3	26.0
7	10.5	8.7	39.57	32.79	17.14	0.48	0.0	64.2	26.0
8	11.0	9.0	41.45	33.92	18.18	0.54	0.0	64.5	26.0
9	10.8	8.7	40.70	32.79	19.44	0.57	0.0	64.6	26.0
10	10.3	9.0	38.82	33.92	12.62	0.35	0.0	64.5	26.0
-	-	-	-	-	15.27±2.66	0.41±0.08	0.0±0.0	63.3±1.2	26.3±0.3

ตารางที่ ง-6 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยวี่ 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	9.9	8.0	37.31	30.15	19.19	0.26	0.0	62.4	26.5
2	9.0	7.0	33.92	26.38	22.22	0.27	0.0	62.1	26.5
3	11.2	9.8	42.21	36.93	12.50	0.19	0.0	62.0	26.5
4	10.3	8.6	38.82	32.41	16.50	0.23	0.0	64.5	26.0
5	10.2	9.0	38.44	33.92	11.76	0.16	0.0	64.3	26.5
6	10.5	8.5	39.57	32.03	19.05	0.27	0.0	64.1	26.0
7	9.8	8.0	36.93	30.15	18.37	0.24	0.0	64.5	26.5
8	9.9	8.5	37.31	32.03	14.14	0.19	0.0	64.6	26.5
9	10.0	8.0	37.69	30.15	20.00	0.27	0.0	63.9	26.5
10	9.7	8.4	36.55	31.66	13.40	0.17	0.0	63.8	26.5
-	-	-	-	-	16.64±2.75	0.23±0.04	0.0±0.0	63.7±0.9	26.4±0.2



ตารางที่ ง-7 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	10.2	4.9	38.44	18.47	51.96	0.53	0.0	62.5	26.5
2	9.6	6.0	36.18	22.61	37.50	0.36	0.0	63.1	26.0
3	9.7	5.9	36.55	22.23	39.18	0.38	0.0	62.7	26.0
4	9.5	5.1	35.80	19.22	46.32	0.44	0.0	62.9	26.0
5	10.0	6.2	37.69	23.36	38.00	0.38	0.0	63.0	26.5
6	10.3	6.4	38.82	24.12	37.86	0.39	0.0	63.9	26.5
7	10.1	6.3	38.06	23.74	37.62	0.38	0.0	64.0	26.5
8	10.0	6.2	37.69	23.36	38.00	0.38	0.0	64.4	26.5
9	9.8	4.2	36.93	15.83	57.14	0.57	0.0	62.1	26.5
10	9.0	5.6	33.92	21.10	37.78	0.34	0.0	62.4	26.5
-	-	-	-	-	40.84±5.01	0.41±0.05	0.0±0.0	63.2±0.7	26.4±0.2

ตารางที่ ง-8 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	10.0	3.9	37.69	14.70	61.00	0.49	0.0	62.5	26.5
2	11.0	2.6	41.45	9.80	76.36	0.68	0.0	62.8	26.0
3	11.1	4.1	41.83	15.45	63.06	0.57	0.0	62.3	26.0
4	9.6	3.0	36.18	11.31	68.75	0.53	0.0	62.7	26.0
5	9.8	3.4	36.93	12.81	65.31	0.52	0.0	62.9	26.0
6	8.7	3.6	32.79	13.57	58.62	0.41	0.0	63.1	26.0
7	9.3	3.8	35.05	14.32	59.14	0.44	0.0	63.0	26.5
8	10.1	3.2	38.06	12.06	68.32	0.56	0.0	62.8	26.5
9	10.3	3.5	38.82	13.19	66.02	0.55	0.0	61.0	26.5
10	10.0	3.9	37.69	14.70	61.00	0.49	0.0	61.5	26.5
-	-	-	-	-	64.1±3.3	0.52±0.04	0.0±0.0	62.3±0.7	26.3±0.2

ตารางที่ ง-9 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยู่ที่ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	8.4	6.4	31.66	24.12	23.81	0.54	0.0	65.4	26.5
2	10.8	9.5	40.70	35.80	12.04	0.35	0.0	72.6	25.0
3	7.2	6.3	27.13	23.74	12.50	0.24	0.0	71.5	26.0
4	10.5	9.0	39.57	33.92	14.29	0.40	0.0	54.6	25.0
5	8.4	6.9	31.66	26.00	17.86	0.40	0.0	55.6	26.0
6	10.5	8.3	39.57	31.28	20.95	0.59	0.0	64.3	26.0
7	7.7	6.3	29.02	23.74	18.18	0.38	0.0	65.4	27.0
8	9.8	8.1	36.93	30.52	17.35	0.46	0.0	59.3	26.0
9	13.1	11.1	49.37	41.83	15.27	0.54	0.0	59.5	27.0
10	10.5	8.5	39.57	32.03	19.05	0.54	0.0	62.5	26.5
-	-	-	-	-	16.93±2.57	0.44±0.11	0.0±0.0	61.6±5.2	26.2±0.6

ตารางที่ ง-10 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยู่ที่ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	10.9	7.1	41.08	26.76	34.86	0.51	0.0	64.7	24.0
2	13.8	11.7	52.01	44.09	15.22	0.28	0.0	64.9	26.0
3	8.4	6.3	31.66	23.74	25.00	0.28	0.0	65.4	26.0
4	11.0	9.1	41.45	34.29	17.27	0.26	0.0	67.3	27.0
5	10.3	8.7	38.82	32.79	15.53	0.22	0.0	66.5	27.0
6	10.8	9.6	40.70	36.18	11.11	0.16	0.0	63.2	26.5
7	9.7	7.4	36.55	27.89	23.71	0.31	0.0	63.4	27.0
8	7.0	5.8	26.38	21.86	17.14	0.16	0.0	62.8	27.0
9	8.2	6.4	30.90	24.12	21.95	0.24	0.0	60.9	26.0
10	8.7	6.9	32.79	26.00	20.69	0.24	0.0	60.4	26.0
-	-	-	-	-	19.56±3.54	0.25±0.024	0.0±0.0	64.0±2.4	26.5±0.5

ตารางที่ ง-11 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	7.3	4.6	27.51	17.34	36.99	0.27	0.0	65.3	26.6
2	10.1	5.7	38.06	21.48	43.56	0.44	0.0	62.2	26.6
3	9.8	5.0	36.93	18.84	48.98	0.48	0.0	66.0	26.6
4	10.3	5.7	38.82	21.48	44.66	0.46	0.0	61.3	26.5
5	9.9	5.6	37.31	21.10	43.43	0.43	0.0	61.4	25.5
6	9.0	7.0	33.92	26.38	22.22	0.20	0.0	62.1	26.6
7	10.0	7.2	37.69	27.13	28.00	0.28	0.0	65.7	27.0
8	11.0	6.7	41.45	25.25	39.09	0.43	0.0	65.0	26.5
9	10.1	7.1	38.06	26.76	29.70	0.30	0.0	63.0	26.6
10	9.8	5.6	36.93	21.10	42.86	0.42	0.0	64.0	26.6
-	-	-	-	-	38.54±6.10	0.38±0.08	0.0±0.0	63.5±1.6	26.5±0.4

ตารางที่ ง-12 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ความเข้มข้นยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	10.1	4.2	21.10	18.84	58.42	0.05	0.0	64.3	26.0
2	10.4	3.9	18.47	9.42	62.50	0.19	0.0	59.4	26.0
3	10.7	3.2	18.47	4.90	70.09	0.29	0.0	61.7	26.5
4	10.5	2.8	18.47	6.41	73.33	0.26	0.0	62.2	26.5
5	11.4	3.5	20.35	9.80	69.30	0.23	0.0	62.0	26.5
6	10.5	5.2	22.23	6.03	50.47	0.35	0.0	64.3	26.5
7	11.2	5.2	18.09	6.03	52.68	0.26	0.0	64.2	26.5
8	10.2	4.4	16.20	5.65	57.20	0.23	0.0	64.5	26.5
9	10.1	4.6	21.48	7.16	55.10	0.31	0.0	64.0	26.5
10	9.8	4.4	18.09	5.28	51.10	0.27	0.0	64.3	26.5
-	-	-	-	-	59.55±6.71	0.23±0.08	0.0±0.0	63.1±1.7	26.4±0.2

ภาคผนวก จ

ผลการทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่อง  
ความเข้มข้นสารโทลูอิน 15 ส่วนในล้านส่วน  
พื้นที่ผ่านฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร

ตารางที่ จ-1 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	15.0	13.0	56.53	48.99	13.33	0.54	0.0	62.8	25.5
2	14.6	13.5	55.02	50.87	7.53	0.30	0.0	62.8	25.5
3	14.7	13.2	55.40	49.74	10.20	0.40	0.0	62.9	25.5
4	15.1	13.3	56.90	50.12	11.92	0.48	0.0	63.2	25.5
5	15.2	11.6	57.28	43.71	23.68	0.97	0.0	63.2	25.5
6	15.0	11.7	56.53	44.09	22.00	0.89	0.0	63.1	25.5
7	14.6	13.9	55.02	52.38	4.79	0.19	0.0	63.0	25.5
8	14.5	13.6	54.64	51.25	6.21	0.24	0.0	62.9	25.5
9	15.2	13.3	57.28	50.12	12.50	0.51	0.0	62.2	25.5
10	15.0	13.3	56.53	50.12	11.33	0.46	0.0	62.1	25.5
-	-	-	-	-	11.87905265	0.48±0.19	0.0±0.0	62.9±0.3	25.5±0.0



ตารางที่ จ-2 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	15.4	13.0	58.04	48.99	15.58	0.32	0.0	62.2	26.0
2	15.2	14.1	57.28	53.14	7.24	0.15	0.0	62.7	26.0
3	15.1	12.7	56.90	47.86	15.89	0.32	0.0	63.0	25.5
4	14.7	12.7	55.40	47.86	13.61	0.27	0.0	63.1	25.5
5	14.8	12.2	55.77	45.98	17.57	0.35	0.0	62.7	25.5
6	14.6	12.5	55.02	47.11	14.38	0.28	0.0	62.8	25.5
7	14.4	12.0	54.27	45.22	16.67	0.32	0.0	62.9	25.5
8	15.0	11.0	56.53	41.45	26.67	0.54	0.0	62.5	25.5
9	15.4	11.1	58.04	41.83	27.92	0.58	0.0	62.5	25.5
10	14.8	11.0	55.77	41.45	25.68	0.51	0.0	62.4	26.0
-	-	-	-	-	18.26±4.72	0.37±0.11	0.0±0.0	62.7±0.2	25.7±0.2

ตารางที่ ๑-3 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	15.0	12.1	56.53	45.60	19.33	0.29	0.0	64.0	25.5
2	14.9	12.2	56.15	45.98	18.12	0.27	0.0	63.8	25.5
3	15.5	11.5	58.41	43.34	25.81	0.40	0.0	63.9	25.5
4	16.1	10.1	60.67	38.06	37.27	0.61	0.0	63.6	25.5
5	14.7	13.1	55.40	49.37	10.88	0.16	0.0	63.4	25.5
6	15.2	11.1	57.28	41.83	26.97	0.41	0.0	63.5	25.5
7	15.5	11.5	58.41	43.34	25.81	0.40	0.0	62.8	25.5
8	14.8	9.5	55.77	35.80	35.81	0.53	0.0	63.1	26.0
9	14.9	10.0	56.15	37.69	32.89	0.49	0.0	62.7	26.0
10	15.1	10.1	56.90	38.06	33.11	0.50	0.0	62.8	25.5
-	-	-	-	-	27.23±6.02	0.40±0.14	0.0±0.0	63.4±0.4	25.6±0.2

ตารางที่ ๑-4 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	14.5	10.2	54.64	38.44	29.66	0.35	0.0	61.8	26.0
2	14.9	10.4	56.15	39.19	30.20	0.36	0.0	61.7	26.0
3	15.1	10.0	56.90	37.69	33.77	0.41	0.0	61.2	25.5
4	15.5	12.1	58.41	45.60	21.94	0.27	0.0	63.9	25.5
5	14.6	10.1	55.02	38.06	30.82	0.36	0.0	62.2	25.5
6	14.9	11.3	56.15	42.58	24.16	0.29	0.0	62.5	25.5
7	15.7	9.0	59.17	33.92	42.68	0.54	0.0	62.7	25.5
8	16.1	10.1	60.67	38.06	37.27	0.48	0.0	62.8	25.5
9	15.1	9.4	56.90	35.42	37.75	0.46	0.0	64.0	25.5
10	15.0	9.3	56.53	35.05	38.00	0.46	0.0	63.4	25.5
-	-	-	-	-	32.70±4.58	0.39±0.09	0.0±0.0	62.6±0.7	25.6±0.2

ตารางที่ ๑-5 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	13.3	12.1	50.12	45.60	9.02	0.32	0	61.2	26.5
2	15.0	12.1	56.53	45.60	19.33	0.78	0	62.5	26
3	15.1	13.5	56.90	50.87	10.60	0.43	0	62.8	25.5
4	15.1	13.0	56.90	48.99	13.91	0.57	0	62.4	25.5
5	14.9	13.0	56.15	48.99	12.75	0.51	0	61.9	25.5
6	14.8	12.9	55.77	48.61	12.84	0.51	0	61.9	25.5
7	14.8	12.6	55.77	47.48	14.86	0.59	0	62.3	25.5
8	15.0	13.4	56.53	50.50	10.67	0.43	0	62.2	25.5
9	15.3	13.5	57.66	50.87	11.76	0.48	0	62.4	25.5
10	14.6	13.1	55.02	49.37	10.27	0.40	0	62.0	26
-	-	-	-	-	12.21±1.56	0.49±0.06	0.0±0.0	62.3±0.3	25.7±0.3

ตารางที่ ๑-6 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	15.5	12.3	58.41	46.35	20.65	0.43	0.0	63.3	26.5
2	15.0	13.0	56.53	48.99	13.33	0.27	0.0	61.5	26.0
3	14.7	11.5	55.40	43.34	21.77	0.43	0.0	61.3	26.0
4	14.9	10.7	56.15	40.32	28.19	0.57	0.0	61.2	26.0
5	15.1	12.2	56.90	45.98	19.21	0.39	0.0	62.4	26.0
6	15.0	11.0	56.53	41.45	26.67	0.54	0.0	62.6	26.0
7	15.2	11.5	57.28	43.34	24.34	0.50	0.0	62.3	26.0
8	14.8	12.0	55.77	45.22	18.92	0.38	0.0	62.3	26.0
9	14.9	11.0	56.15	41.45	26.17	0.52	0.0	63.3	25.5
10	14.6	10.7	55.02	40.32	26.71	0.52	0.0	63.4	26.0
-	-	-	-	-	23.05±3.11	0.46±0.06	0.0±0.0	62.4±0.7	26.0±0.2

ตารางที่ ๑-7 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	15.0	10.5	56.53	39.57	30.00	0.45	0.0	61.1	26.5
2	14.7	11.0	55.40	41.45	25.17	0.37	0.0	61.3	26.0
3	14.9	11.1	56.15	41.83	25.50	0.38	0.0	61.2	25.5
4	15.1	10.0	56.90	37.69	33.77	0.51	0.0	61.2	25.5
5	15.1	11.2	56.90	42.21	25.83	0.39	0.0	62.5	25.5
6	15.0	9.5	56.53	35.80	36.67	0.56	0.0	62.7	26.0
7	14.6	9.0	55.02	33.92	38.36	0.57	0.0	62.7	26.0
8	14.5	10.2	54.64	38.44	29.66	0.43	0.0	62.8	26.0
9	14.7	10.1	55.40	38.06	31.29	0.46	0.0	63.0	26.0
10	15.3	11.0	57.66	41.45	28.10	0.43	0.0	62.7	26.0
-	-	-	-	-	30.10±3.56	0.45±0.05	0.0±0.0	62.1±0.7	25.9±0.3

ตารางที่ ๑-8 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	15.2	9.0	57.28	33.92	40.79	0.50	0.0	61.3	26.5
2	14.6	8.7	55.02	32.79	40.41	0.48	0.0	61.3	26.0
3	14.9	8.3	56.15	31.28	44.30	0.53	0.0	61.4	25.5
4	15.0	10.4	56.53	39.19	30.67	0.37	0.0	62.0	25.5
5	15.1	9.6	56.90	36.18	36.42	0.44	0.0	62.3	25.5
6	14.7	9.0	55.40	33.92	38.78	0.46	0.0	62.2	25.5
7	14.8	8.6	55.77	32.41	41.89	0.50	0.0	62.2	25.5
8	14.8	9.1	55.77	34.29	38.51	0.46	0.0	62.1	25.5
9	14.9	8.6	56.15	32.41	42.28	0.51	0.0	62.4	25.5
10	15.0	8.6	56.53	32.41	42.67	0.52	0.0	62.5	26.0
-	-	-	-	-	40.22±2.02	0.48±0.03	0.0±0.0	62.0±0.4	25.7±0.3

ตารางที่ ๑-9 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.1	18.0	75.75	67.83	10.45	0.57	0.0	62.2	26.5
2	20.5	18.2	77.25	68.59	11.22	0.62	0.0	61.6	26.0
3	19.8	17.9	74.62	67.46	9.60	0.51	0.0	61.6	26.0
4	20.0	17.8	75.37	67.08	11.00	0.59	0.0	61.7	26.0
5	19.6	18.0	73.86	67.83	8.16	0.43	0.0	62.2	25.5
6	19.4	17.6	73.11	66.33	9.28	0.48	0.0	62.7	25.5
7	20.1	17.7	75.75	66.70	11.94	0.65	0.0	62.5	25.5
8	20.0	17.4	75.37	65.57	13.00	0.70	0.0	62.5	25.5
9	20.5	17.1	77.25	64.44	16.59	0.92	0.0	62.6	26.0
10	19.8	17.8	74.62	67.08	10.10	0.54	0.0	62.3	26.0
-	-	-	-	-	10.82±1.16	0.58±0.07	0.0±0.0	62.2±0.3	25.9±0.3



ตารางที่ ๑-10 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.2	16.6	76.12	62.56	17.82	0.48	0.0	63.0	26.0
2	20.5	16.7	77.25	62.93	18.54	0.51	0.0	62.4	26.0
3	20.1	16.5	75.75	62.18	17.91	0.48	0.0	62.4	25.5
4	19.7	16.4	74.24	61.80	16.75	0.44	0.0	62.6	25.5
5	19.5	16.0	73.49	60.30	17.95	0.47	0.0	62.5	25.5
6	19.9	17.6	74.99	66.33	11.56	0.31	0.0	62.5	25.5
7	19.6	16.8	73.86	63.31	14.29	0.38	0.0	62.1	25.5
8	20.2	16.8	76.12	63.31	16.83	0.46	0.0	62.1	25.5
9	20.0	18.0	75.37	67.83	10.00	0.27	0.0	62.3	25.5
10	20.5	17.2	77.25	64.82	16.10	0.44	0.0	62.2	26.0
-	-	-	-	-	16.15±2.08	0.43±0.06	0.0±0.0	62.4±0.2	25.7±0.2

ตารางที่ ๑-11 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.0	15.5	56.53	39.57	22.50	0.45	0.0	61.0	26.5
2	20.5	15.2	55.40	41.45	25.85	0.37	0.0	61.5	26.0
3	19.7	15.6	56.15	41.83	20.81	0.38	0.0	61.4	25.5
4	19.4	16.0	56.90	37.69	17.53	0.51	0.0	62.0	25.5
5	20.1	14.7	56.90	42.21	26.87	0.39	0.0	62.2	25.5
6	20.4	14.9	56.53	35.80	26.96	0.56	0.0	62.4	25.5
7	19.7	15.0	55.02	33.92	23.86	0.57	0.0	62.5	25.5
8	19.8	15.7	54.64	38.44	20.71	0.43	0.0	62.5	25.5
9	20.0	16.1	55.40	38.06	19.50	0.46	0.0	63.1	25.5
10	20.2	14.3	57.66	41.45	29.21	0.43	0.0	62.7	26.0
-	-	-	-	-	23.38±2.76	0.45±0.07	0.0±0.0	62.2±0.5	25.7±0.3

ตารางที่ ๑-12 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	19.5	14.2	73.49	53.51	27.18	0.43	0.0	62.0	26.5
2	19.4	14.5	73.11	54.64	25.26	0.40	0.0	62.7	26.0
3	19.9	13.4	74.99	50.50	32.66	0.52	0.0	63.3	25.5
4	20.1	13.3	75.75	50.12	33.83	0.55	0.0	63.4	25.5
5	20.5	13.6	77.25	51.25	33.66	0.56	0.0	62.9	25.5
6	20.2	13.1	76.12	49.37	35.15	0.57	0.0	63.0	25.5
7	19.2	12.8	72.36	48.24	33.33	0.52	0.0	62.5	25.5
8	19.5	12.9	73.49	48.61	33.85	0.53	0.0	63.1	25.5
9	19.7	15.0	74.24	56.53	23.86	0.38	0.0	62.6	25.5
10	19.1	11.8	71.98	44.47	38.22	0.59	0.0	62.5	26.0
-	-	-	-	-	31.86±3.36	0.51±0.03	0.0±0.0	62.8±0.3	25.7±0.3

ภาคผนวก จ

ผลการทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่อง  
ความเข้มข้นสารโทลูอิน 20 ส่วนในล้านส่วน  
พื้นที่ผ่านฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร

ตารางที่ จ-1 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.0	18.1	75.37	68.21	9.50	0.51	0.0	64.3	26.0
2	20.5	17.3	77.25	65.20	15.61	0.86	0.0	63.8	26.0
3	21.0	18.6	79.14	70.09	11.43	0.65	0.0	61.8	25.5
4	19.8	19.0	74.62	71.60	4.04	0.22	0.0	62.4	25.5
5	18.9	18.0	71.22	67.83	4.76	0.24	0.0	62.2	25.5
6	20.2	18.9	76.12	71.22	6.44	0.35	0.0	62.7	25.5
7	19.6	18.8	73.86	70.85	4.08	0.22	0.0	62.5	25.5
8	19.7	18.6	74.24	70.09	5.58	0.30	0.0	62.5	25.5
9	20.0	18.1	75.37	68.21	9.50	0.51	0.0	62.6	25.5
10	19.2	17.7	72.36	66.70	7.81	0.40	0.0	62.4	26.0
-	-	-	-	-	7.39±2.43	0.52±0.26	0.0±0.0	62.6±0.5	25.7±0.2

ตารางที่ จ-2 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.2	17.6	76.12	66.33	12.87	0.35	0.0	62.2	26.0
2	20.3	17.0	76.50	64.06	16.26	0.44	0.0	62.7	26.0
3	19.6	16.9	73.86	63.69	13.78	0.36	0.0	63.0	25.5
4	18.7	15.6	70.47	58.79	16.58	0.42	0.0	63.1	25.5
5	19.1	18.1	71.98	68.21	5.24	0.13	0.0	62.7	25.5
6	19.8	17.1	74.62	64.44	13.64	0.36	0.0	62.8	25.5
7	19.9	17.7	74.99	66.70	11.06	0.30	0.0	62.9	25.5
8	20.5	17.8	77.25	67.08	13.17	0.36	0.0	62.5	25.5
9	20.1	16.9	75.75	63.69	15.92	0.43	0.0	62.5	25.5
10	19.6	18.0	73.86	67.83	8.16	0.22	0.0	62.4	26.0
-	-	-	-	-	13.11±2.43	0.35±0.07	0.0±0.0	62.7±0.2	25.7±0.2

ตารางที่ จ-3 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.6	16.8	77.63	63.31	18.45	0.38	0.0	64.0	25.5
2	19.8	16.0	74.62	60.30	19.19	0.38	0.0	63.8	25.5
3	18.7	15.5	70.47	58.41	17.11	0.32	0.0	63.9	25.5
4	18.8	15.2	70.85	57.28	19.15	0.36	0.0	63.6	25.5
5	20.0	18.0	75.37	67.83	10.00	0.20	0.0	63.4	25.5
6	18.3	15.6	68.96	58.79	14.75	0.27	0.0	63.5	25.5
7	20.4	15.0	76.88	56.53	26.47	0.55	0.0	62.8	25.5
8	20.0	15.9	75.37	59.92	20.50	0.41	0.0	63.1	26.0
9	19.5	16.1	73.49	60.67	17.44	0.34	0.0	62.7	26.0
10	19.9	18.0	74.99	67.83	9.55	0.19	0.0	62.8	25.5
-	-	-	-	-	17.07±3.12	0.34±0.06	0.0±0.0	63.4±0.4	25.6±0.2

ตารางที่ จ-4 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	19.6	14.1	73.86	53.14	28.06	0.44	0.0	62.2	26.0
2	18.5	13.0	69.72	48.99	29.73	0.44	0.0	62.4	25.5
3	19.9	14.1	74.99	53.14	29.15	0.47	0.0	62.5	25.5
4	20.2	14.0	76.12	52.76	30.69	0.50	0.0	62.4	25.5
5	19.1	16.1	71.98	60.67	15.71	0.24	0.0	62.6	25.5
6	18.6	13.0	70.09	48.99	30.11	0.45	0.0	63.0	25.5
7	19.8	16.3	74.62	61.43	17.68	0.28	0.0	63.1	25.5
8	20.0	13.4	75.37	50.50	33.00	0.53	0.0	62.9	25.5
9	20.1	16.1	75.75	60.67	19.90	0.32	0.0	62.8	26.0
10	20.2	15.8	76.12	59.54	21.78	0.36	0.0	63.2	25.5
-	-	-	-	-	25.89±4.89	0.41±0.08	0.0±0.0	62.7±0.3	25.6±0.2



ตารางที่ จ-5 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.1	18.0	75.75	67.83	10.45	0.57	0.0	62.2	26.5
2	20.5	18.2	77.25	68.59	11.22	0.62	0.0	61.6	26.0
3	19.8	17.9	74.62	67.46	9.60	0.51	0.0	61.6	26.0
4	20.0	17.8	75.37	67.08	11.00	0.59	0.0	61.7	26.0
5	19.6	18.0	73.86	67.83	8.16	0.43	0.0	62.2	25.5
6	19.4	17.6	73.11	66.33	9.28	0.48	0.0	62.7	25.5
7	20.1	17.7	75.75	66.70	11.94	0.65	0.0	62.5	25.5
8	20.0	17.4	75.37	65.57	13.00	0.70	0.0	62.5	25.5
9	20.5	17.1	77.25	64.44	16.59	0.92	0.0	62.6	26.0
10	19.8	17.8	74.62	67.08	10.10	0.54	0.0	62.3	26.0
-	-	-	-	-	10.82±1.16	0.58±0.07	0.0±0.0	62.2±0.3	25.9±0.3

ตารางที่ จ-6 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.2	16.6	76.12	62.56	17.82	0.48	0.0	63.0	26.0
2	20.5	16.7	77.25	62.93	18.54	0.51	0.0	62.4	26.0
3	20.1	16.5	75.75	62.18	17.91	0.48	0.0	62.4	25.5
4	19.7	16.4	74.24	61.80	16.75	0.44	0.0	62.6	25.5
5	19.5	16.0	73.49	60.30	17.95	0.47	0.0	62.5	25.5
6	19.9	17.6	74.99	66.33	11.56	0.31	0.0	62.5	25.5
7	19.6	16.8	73.86	63.31	14.29	0.38	0.0	62.1	25.5
8	20.2	16.8	76.12	63.31	16.83	0.46	0.0	62.1	25.5
9	20.0	18.0	75.37	67.83	10.00	0.27	0.0	62.3	25.5
10	20.5	17.2	77.25	64.82	16.10	0.44	0.0	62.2	26.0
-	-	-	-	-	16.15±2.08	0.43±0.06	0.0±0.0	62.4±0.2	25.7±0.2

ตารางที่ จ-7 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.0	15.5	56.53	39.57	22.50	0.45	0.0	61.0	26.5
2	20.5	15.2	55.40	41.45	25.85	0.37	0.0	61.5	26.0
3	19.7	15.6	56.15	41.83	20.81	0.38	0.0	61.4	25.5
4	19.4	16.0	56.90	37.69	17.53	0.51	0.0	62.0	25.5
5	20.1	14.7	56.90	42.21	26.87	0.39	0.0	62.2	25.5
6	20.4	14.9	56.53	35.80	26.96	0.56	0.0	62.4	25.5
7	19.7	15.0	55.02	33.92	23.86	0.57	0.0	62.5	25.5
8	19.8	15.7	54.64	38.44	20.71	0.43	0.0	62.5	25.5
9	20.0	16.1	55.40	38.06	19.50	0.46	0.0	63.1	25.5
10	20.2	14.3	57.66	41.45	29.21	0.43	0.0	62.7	26.0
-	-	-	-	-	23.38±2.76	0.45±0.07	0.0±0.0	62.2±0.5	25.7±0.3

ตารางที่ จ-8 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	19.5	14.2	73.49	53.51	27.18	0.43	0.0	62.0	26.5
2	19.4	14.5	73.11	54.64	25.26	0.40	0.0	62.7	26.0
3	19.9	13.4	74.99	50.50	32.66	0.52	0.0	63.3	25.5
4	20.1	13.3	75.75	50.12	33.83	0.55	0.0	63.4	25.5
5	20.5	13.6	77.25	51.25	33.66	0.56	0.0	62.9	25.5
6	20.2	13.1	76.12	49.37	35.15	0.57	0.0	63.0	25.5
7	19.2	12.8	72.36	48.24	33.33	0.52	0.0	62.5	25.5
8	19.5	12.9	73.49	48.61	33.85	0.53	0.0	63.1	25.5
9	19.7	15.0	74.24	56.53	23.86	0.38	0.0	62.6	25.5
10	19.1	11.8	71.98	44.47	38.22	0.59	0.0	62.5	26.0
-	-	-	-	-	31.86±3.36	0.51±0.03	0.0±0.0	62.8±0.3	25.7±0.3

ตารางที่ จ-9 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 3 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.5	16.3	31.66	24.12	20.49	0.54	0.0	62.0	27.0
2	17.2	13.5	40.70	35.80	21.51	0.35	0.0	63.1	26.0
3	20.0	17.0	27.13	23.74	15.00	0.24	0.0	62.5	26.5
4	20.1	18.3	39.57	33.92	8.96	0.40	0.0	62.4	26.0
5	18.6	17.1	31.66	26.00	8.06	0.40	0.0	62.4	27.0
6	19.2	17.8	39.57	31.28	7.29	0.59	0.0	62.6	27.0
7	20.2	17.1	29.02	23.74	15.35	0.38	0.0	62.5	27.0
8	20.5	18.0	36.93	30.52	12.20	0.46	0.0	62.3	27.0
9	19.8	18.5	49.37	41.83	6.57	0.54	0.0	62.4	27.0
10	19.7	17.6	39.57	32.03	10.66	0.54	0.0	62.5	27.0
-	-	-	-	-	12.25±4.19	0.44±0.11	0.0±0.0	62.5±0.1	26.8±0.4

ตารางที่ จ-10 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยู่ที่ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 6 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	19.5	14.7	73.49	55.40	24.62	0.65	0.0	65.5	27.0
2	20.0	15.5	75.37	58.41	22.50	0.61	0.0	62.1	26.5
3	19.9	16.0	74.99	60.30	19.60	0.52	0.0	63.1	26.0
4	19.7	17.0	74.24	64.06	13.71	0.36	0.0	62.7	27.0
5	20.1	16.0	75.75	60.30	20.40	0.55	0.0	62.8	27.0
6	20.3	15.7	76.50	59.17	22.66	0.62	0.0	62.7	27.0
7	20.0	15.0	75.37	56.53	25.00	0.67	0.0	62.9	27.0
8	20.0	17.9	75.37	67.46	10.50	0.28	0.0	63.0	27.0
9	19.6	17.0	73.86	64.06	13.27	0.35	0.0	62.1	26.5
10	19.4	16.5	73.11	62.18	14.95	0.39	0.0	61.9	26.5
-	-	-	-	-	18.96±4.14	0.51±0.12	0.0±0.0	62.7±0.4	26.8±0.3

ตารางที่ จ-11 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยู่ที่ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 8 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.0	15.1	75.37	56.90	24.50	0.49	0.0	61.9	26.5
2	20.2	14.7	76.12	55.40	27.23	0.56	0.0	62.4	26.5
3	20.5	16.0	77.25	60.30	21.95	0.45	0.0	62.6	26.5
4	19.8	15.6	74.62	58.79	21.21	0.42	0.0	62.4	26.5
5	19.6	15.4	73.86	58.04	21.43	0.42	0.0	62.5	26.5
6	19.8	14.9	74.62	56.15	24.75	0.49	0.0	61.5	27.0
7	19.9	14.6	74.99	55.02	26.63	0.53	0.0	61.9	27.0
8	19.9	14.2	74.99	53.51	28.64	0.58	0.0	62.0	27.0
9	20.0	14.0	75.37	52.76	30.00	0.61	0.0	61.8	27.0
10	20.1	14.6	75.75	55.02	27.36	0.56	0.0	61.6	27.0
-	-	-	-	-	25.31±2.45	0.45±0.07	0.0±0.0	62.1±0.3	26.8±0.3

ตารางที่ จ-12 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ความเข้มข้นยู่ที่ 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาพัก 10 นาที

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.6	13.4	77.63	50.50	34.95	0.58	0.0	61.6	27.0
2	20.0	13.2	75.37	49.74	34.00	0.55	0.0	61.8	27.0
3	20.0	13.1	75.37	49.37	34.50	0.56	0.0	61.7	26.5
4	19.8	14.3	74.62	53.89	27.78	0.44	0.0	61.7	26.5
5	19.7	12.0	74.24	45.22	39.09	0.62	0.0	62.0	26.5
6	19.9	12.9	74.99	48.61	35.18	0.57	0.0	62.5	26.5
7	19.5	12.5	73.49	47.11	35.90	0.57	0.0	62.3	27.0
8	19.2	13.5	72.36	50.87	29.69	0.46	0.0	62.4	27.0
9	19.1	12.0	71.98	45.22	37.17	0.57	0.0	62.0	27.0
10	20.1	11.1	75.75	41.83	44.78	0.73	0.0	62.4	27.0
-	-	-	-	-	35.06±2.54	0.56±0.04	0.0±0.0	62.0±0.3	26.8±0.2



ภาคผนวก ช

ผลการทดลองของสารไซลีน สารเอทิลเบนซีน  
และสารอินทรีย์ระเหยรวม  
เดินระบบแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ ข-1 ผลการกำจัดสารไซลีน

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.5	10.3	63.72	32.02	49.76	0.68	0.0	58.0	24.0
2	21.6	11.8	67.14	36.68	45.37	0.65	0.0	58.5	24.5
3	22.0	10.9	68.38	33.88	50.45	0.74	0.0	58.6	24.6
4	19.8	11.0	61.55	34.19	44.44	0.59	0.0	58.9	24.4
5	19.7	12.5	61.24	38.85	36.55	0.48	0.0	58.3	24.8
-	-	-	-	-	46.52±2.32	0.64±0.04	0.0±0.0	58.5±0.4	24.3±0.2

ตารางที่ ข-2 ผลการกำจัดสารเอทิลเบนซีน

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Conc in (mg/m <sup>3</sup> )	Conc out (mg/m <sup>3</sup> )	Removal Efficiency (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	5.2	3.2	22.58	13.90	38.46	0.19	0.0	58.3	24.7
2	5.0	2.6	21.71	11.29	48.00	0.22	0.0	58.6	23.9
3	4.6	2.7	19.97	11.72	41.30	0.18	0.0	58.9	24.8
4	5.4	3.5	23.45	15.20	35.19	0.18	0.0	57.8	24.6
5	5.5	3.0	23.88	13.03	45.45	0.23	0.0	57.5	24.9
-	-	-	-	-	41.74±2.87	0.20±0.02	0.0±0.0	58.2±0.6	24.8±0.1

ตารางที่ ข-3 ผลการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวม

ครั้งที่	Conc in (ppm)	Conc out (ppm)	Removal Efficiency (%)	CO (ppm)	%RH	Temp (°C)
1	20.6	16.0	22.33	0.0	56.2	26.1
2	18.9	15.4	18.52	0.0	56.7	24.6
3	19.9	14.3	28.14	0.0	58.0	24.7
4	21.0	12.6	40.00	0.0	58.7	24.5
5	20.2	14.4	28.71	0.0	58.9	23.7
-	-	-	26.39±2.88	0.0±0.0	57.7±1.1	24.8±1.0

ภาคผนวก ซ

ผลการทดลองการเดินระบบแบบที่ละเท

ตารางที่ ๕-1 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 180 นาที

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	11.40	0.11	9.90	0.07	9.88	0.09	11.44	0.11	10.12	0.07
10	15.50	0.08	15.07	0.05	13.94	0.06	15.77	0.08	14.38	0.05
15	21.48	0.07	19.98	0.05	17.99	0.05	19.10	0.06	17.62	0.04
20	24.58	0.06	24.16	0.04	20.65	0.04	21.78	0.05	19.68	0.03
25	26.79	0.05	26.93	0.04	23.56	0.04	24.91	0.05	21.58	0.03
30	28.70	0.05	29.99	0.04	24.76	0.04	26.41	0.04	24.31	0.03
35	30.96	0.04	34.45	0.03	26.69	0.03	28.05	0.04	24.64	0.02
40	31.85	0.04	38.76	0.03	28.10	0.03	28.77	0.04	24.63	0.02
45	32.73	0.04	41.84	0.03	29.50	0.03	30.32	0.03	24.69	0.02
50	33.38	0.03	44.26	0.03	31.00	0.03	31.35	0.03	26.08	0.02

ตารางที่ ๕-1 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> - min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
55	34.54	0.03	47.12	0.03	33.21	0.03	32.70	0.03	26.07	0.02
60	35.90	0.03	48.70	0.03	33.74	0.02	34.14	0.03	26.59	0.01
70	37.21	0.03	52.41	0.03	36.33	0.02	36.14	0.03	28.33	0.01
80	37.86	0.02	54.14	0.02	38.28	0.02	36.00	0.02	29.40	0.01
90	39.63	0.02	56.68	0.02	40.36	0.02	38.03	0.02	29.60	0.01
100	40.65	0.02	57.68	0.02	41.99	0.02	38.74	0.02	30.91	0.01
110	41.85	0.02	60.70	0.02	43.49	0.02	39.95	0.02	30.81	0.01
120	43.08	0.02	62.44	0.02	45.17	0.02	40.89	0.02	31.68	0.01
130	44.24	0.02	64.69	0.02	46.30	0.02	42.34	0.02	32.16	0.01
140	45.26	0.02	66.62	0.02	47.98	0.01	43.03	0.02	32.69	0.01

ตารางที่ ๕-1 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 5 ส่วนในล้านส่วน เวลาพักพัก 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> - min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
150	45.77	0.01	68.45	0.02	49.23	0.01	43.29	0.01	33.52	0.01
160	46.47	0.01	69.41	0.02	50.54	0.01	44.53	0.01	33.32	0.01
170	47.37	0.01	70.17	0.01	51.83	0.01	45.16	0.01	34.37	0.01
180	48.52	0.01	70.96	0.01	52.83	0.01	45.82	0.01	34.06	0.01



ตารางที่ ๕-2 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 180 นาที

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> - min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	11.02	0.18	12.85	0.21	13.03	0.24	11.96	0.18	9.51	0.15
10	16.45	0.13	15.34	0.13	18.12	0.17	17.02	0.13	14.53	0.12
15	19.26	0.10	17.40	0.09	21.83	0.13	19.44	0.10	17.47	0.09
20	21.00	0.08	19.99	0.08	24.80	0.11	22.26	0.08	19.34	0.08
25	22.60	0.07	22.44	0.07	26.91	0.10	24.54	0.07	21.11	0.07
30	25.17	0.07	23.72	0.06	29.34	0.09	26.50	0.07	22.86	0.06
35	26.25	0.06	25.98	0.06	31.67	0.08	28.08	0.06	25.44	0.06
40	27.74	0.06	28.59	0.06	33.04	0.08	29.50	0.06	26.78	0.05
45	30.93	0.05	30.62	0.06	34.42	0.07	30.98	0.05	28.35	0.05
50	29.40	0.05	33.03	0.05	36.04	0.07	32.71	0.05	29.42	0.05

ตารางที่ ๕-2 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> - min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
55	31.85	0.05	35.48	0.05	37.53	0.06	33.84	0.05	30.90	0.05
60	33.62	0.04	39.01	0.05	38.81	0.06	35.04	0.04	32.37	0.04
65	34.24	0.04	41.13	0.05	40.41	0.06	36.64	0.04	33.61	0.04
70	34.75	0.04	43.33	0.05	41.70	0.06	37.63	0.04	34.40	0.04
80	36.60	0.04	45.64	0.05	44.15	0.05	38.23	0.04	36.04	0.04
90	37.85	0.03	47.69	0.04	46.63	0.05	39.16	0.03	37.91	0.03
100	39.43	0.03	50.22	0.04	47.87	0.04	41.53	0.03	38.84	0.03
110	41.05	0.03	51.15	0.04	49.47	0.04	43.03	0.03	40.15	0.03
120	42.48	0.03	53.80	0.04	50.58	0.04	43.68	0.03	41.27	0.03
130	42.78	0.03	54.77	0.03	51.97	0.04	44.78	0.03	42.52	0.03
140	44.15	0.03	55.69	0.03	53.03	0.03	46.17	0.03	43.26	0.02

ตารางที่ ๕-2 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> - min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
150	44.75	0.02	57.56	0.03	54.34	0.03	46.92	0.02	44.61	0.02
160	45.69	0.02	58.81	0.03	55.44	0.03	47.93	0.02	45.77	0.02
170	46.21	0.02	60.51	0.03	56.61	0.03	48.75	0.02	47.69	0.02
180	46.87	0.02	61.81	0.03	57.73	0.03	49.52	0.02	49.39	0.02

ตารางที่ ๕-3 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 180 นาที

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	13.68	0.33	16.61	0.40	12.58	0.32	14.43	0.36	15.04	0.38
10	19.74	0.24	22.55	0.27	16.75	0.21	20.31	0.25	21.56	0.27
15	22.59	0.18	25.65	0.21	19.62	0.17	25.39	0.21	25.01	0.21
20	26.18	0.16	29.75	0.18	23.24	0.15	27.87	0.17	28.69	0.18
25	28.34	0.14	32.15	0.16	27.90	0.14	30.70	0.15	31.29	0.16
30	29.84	0.12	35.01	0.14	31.53	0.13	31.57	0.13	33.93	0.14
35	30.96	0.11	-	-	33.42	0.12	34.04	0.12	36.08	0.13
40	32.12	0.10	38.27	0.12	36.15	0.12	36.36	0.11	37.73	0.12
45	33.75	0.09	-	-	39.23	0.11	37.35	0.10	39.31	0.11
50	34.24	0.08	41.03	0.10	41.22	0.11	39.45	0.10	40.45	0.10

ตารางที่ ๕-3 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
55	35.59	0.08	-	-	43.62	0.10	40.70	0.09	41.82	0.10
60	36.41	0.07	43.92	0.09	45.71	0.10	40.73	0.09	42.75	0.09
70	37.93	0.06	47.27	0.08	48.48	0.09	42.70	0.08	45.02	0.08
80	39.22	0.06	48.02	0.07	51.37	0.08	43.49	0.07	46.51	0.07
90	40.40	0.05	51.24	0.07	53.52	0.08	44.74	0.06	47.98	0.07
100	41.53	0.05	53.40	0.07	55.63	0.07	46.07	0.06	49.05	0.06
110	42.34	0.05	55.35	0.06	57.94	0.07	47.36	0.05	50.06	0.06
120	43.16	0.04	59.64	0.06	59.47	0.06	48.39	0.05	50.90	0.05
130	44.39	0.04	60.36	0.06	60.57	0.06	49.57	0.05	52.03	0.05
140	45.48	0.04	62.05	0.05	61.62	0.06	50.95	0.05	53.34	0.05
150	46.58	0.04	63.49	0.05	62.13	0.05	51.87	0.04	54.42	0.05

ตารางที่ ๕-3 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 15 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
160	47.48	0.04	64.86	0.05	62.76	0.05	53.22	0.04	55.26	0.04
170	48.14	0.03	65.32	0.05	63.88	0.05	54.57	0.04	56.36	0.04
180	49.47	0.03	66.64	0.05	64.11	0.05	55.24	0.04	56.98	0.04

ตารางที่ ๕-4 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 180 นาที

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	11.55	0.41	18.00	0.58	20.36	0.68	11.72	0.36	15.14	0.47
10	18.89	0.34	26.67	0.43	27.55	0.47	18.15	0.28	21.91	0.34
15	21.63	0.26	31.68	0.34	30.49	0.34	22.42	0.23	26.47	0.27
20	23.88	0.21	33.53	0.27	35.59	0.30	25.73	0.20	28.86	0.22
25	24.37	0.17	35.83	0.23	37.01	0.25	27.57	0.17	32.72	0.20
30	25.59	0.15	37.67	0.20	40.34	0.23	29.91	0.16	34.27	0.18
35	26.93	0.14	39.67	0.18	41.46	0.20	32.17	0.14	36.36	0.16
40	27.71	0.12	43.13	0.17	43.17	0.18	33.28	0.13	39.49	0.15
45	29.48	0.12	44.63	0.16	43.98	0.17	35.30	0.12	40.38	0.14
50	31.08	0.11	45.95	0.15	45.58	0.15	37.06	0.12	41.43	0.13

ตารางที่ ๕-4 ผลการกำจัดสารโพลีอินความเข้มข้น 20 ส่วนในล้านส่วน เวลาพัก 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มแสงยูวี (ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)									
	0.0		0.2		2.5		100		200	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
55	32.49	0.10	47.30	0.14	47.11	0.15	38.47	0.11	42.81	0.12
60	34.19	0.10	47.77	0.13	48.37	0.14	39.37	0.10	43.67	0.11
80	36.24	0.09	50.41	0.12	50.20	0.12	41.07	0.10	46.29	0.10
100	37.98	0.08	51.60	0.10	-	-	42.18	0.08	48.28	0.09
120	39.28	0.08	52.34	0.09	53.18	0.10	43.37	0.08	48.86	0.08
140	41.44	0.07	53.35	0.09	54.54	0.09	44.28	0.07	50.64	0.08
160	42.13	0.07	53.00	0.08	56.51	0.09	45.48	0.07	51.06	0.07
180	43.86	0.06	55.68	0.08	57.57	0.08	46.24	0.06	52.10	0.07



ตารางที่ ๕-5 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ตลอด 180 นาที

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารโพลีอิน (ส่วนในล้านส่วน)							
	5		10		15		20	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	9.88	0.09	13.03	0.24	12.58	0.32	20.36	0.68
10	13.94	0.06	18.12	0.17	16.75	0.21	27.55	0.47
15	17.99	0.05	21.83	0.13	19.62	0.17	30.49	0.34
20	20.65	0.04	24.80	0.11	23.24	0.15	35.59	0.30
25	23.56	0.04	26.91	0.10	27.90	0.14	37.01	0.25
30	24.76	0.04	29.34	0.09	31.53	0.13	40.34	0.23
35	26.69	0.03	31.67	0.08	33.42	0.12	41.46	0.20
40	28.10	0.03	33.04	0.08	36.15	0.12	43.17	0.18
45	29.50	0.03	34.42	0.07	39.23	0.11	43.98	0.17
50	31.00	0.03	36.04	0.07	41.22	0.11	45.58	0.15

ตารางที่ ๕-5 ผลการกำจัดสารโพลีอิน ตลอด 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารโพลีอิน (ส่วนในล้านส่วน)							
	5		10		15		20	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
55	33.21	0.03	37.53	0.06	43.62	0.10	47.11	0.15
60	33.74	0.02	38.81	0.06	45.71	0.10	48.37	0.14
70	36.33	0.02	41.70	0.06	48.48	0.09	50.20	0.12
80	38.28	0.02	44.15	0.05	51.37	0.08		
90	40.36	0.02	46.63	0.05	53.52	0.08	53.18	0.10
100	41.99	0.02	47.87	0.04	55.63	0.07	54.54	0.09
110	43.49	0.02	49.47	0.04	57.94	0.07	56.51	0.09
120	45.17	0.02	50.58	0.04	59.47	0.06	57.57	0.08
130	46.30	0.02	51.97	0.04	60.57	0.06	58.72	0.08
140	47.98	0.01	53.03	0.03	61.62	0.06	59.43	0.07
150	49.23	0.01	54.34	0.03	62.13	0.05	60.62	0.07

ตารางที่ ๕-5 ผลการกำจัดสารโพลูอิน ตลอด 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารโพลูอิน (ส่วนในล้านส่วน)							
	5		10		15		20	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
160	50.54	0.01	55.44	0.03	62.76	0.05	61.20	0.07
170	51.83	0.01	56.61	0.03	63.88	0.05	62.08	0.06
180	52.83	0.01	57.73	0.03	64.11	0.05	62.38	0.06

ตารางที่ ๕-6 ผลการกำจัดสารไซลีน ตลอด 180 นาที

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารไซลีน (ส่วนในล้านส่วน)							
	5		10		15		20	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	18.14	0.08	10.11	0.14	7.34	0.15	9.34	0.30
10	24.45	0.06	17.82	0.12	11.55	0.12	18.35	0.30
15	29.40	0.05	22.52	0.10	15.53	0.10	24.74	0.27
20	32.18	0.04	26.53	0.09	18.18	0.09	27.52	0.22
25	34.99	0.03	27.80	0.08	19.97	0.08	32.33	0.21
30	37.10	0.03	29.61	0.07	21.74	0.07	35.29	0.19
35	39.74	0.03	31.46	0.06	23.75	0.07	39.45	0.18
40	41.35	0.02	33.13	0.06	26.20	0.07	41.33	0.17
45	42.28	0.02	36.75	0.06	26.42	0.06	43.42	0.16
50	43.42	0.02	36.96	0.05	29.77	0.06	44.15	0.15

ตารางที่ ๕-6 ผลการกำจัดสารไซลีน ตลอด 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารไซลีน (ส่วนในล้านส่วน)							
	5		10		15		20	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
55	42.87	0.02	38.12	0.05	31.33	0.06	45.90	0.14
60	43.90	0.02	39.53	0.04	32.25	0.05	47.42	0.13
80	46.06	0.01	44.09	0.04	34.58	0.04	50.44	0.11
90	46.48	0.01	46.17	0.03	36.01	0.04	52.41	0.10
100	47.45	0.01	47.28	0.03	37.07	0.04	53.37	0.09
110	48.42	0.01	48.22	0.03	38.48	0.03	56.08	0.08
120	49.36	0.01	49.38	0.03	39.55	0.03	56.07	0.08
130	50.41	0.01	50.29	0.03	40.76	0.03	57.96	0.07
140	50.91	0.01	51.10	0.02	42.15	0.03	59.17	0.07
150	52.39	0.01	51.40	0.02	43.48	0.03	60.74	0.07
160	53.17	0.01	52.04	0.02	44.96	0.03	61.00	0.06

ตารางที่ ๕-6 ผลการกำจัดสารไซลีน ตลอด 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารไซลีน (ส่วนในล้านส่วน)							
	5		10		15		20	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
170	53.76	0.01	53.69	0.02	46.07	0.03	62.33	0.06
180	54.34	0.01	54.13	0.02	47.51	0.03	64.03	0.06

ตารางที่ ๕-7 ผลการกำจัดสารเอทิลเบนซีน ตลอด 180 นาที

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีน (ส่วนในล้านส่วน)							
	5		10		15		20	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	17.03	0.18	4.62	0.08	8.17	0.24	20.93	0.74
10	23.81	0.13	9.19	0.08	11.44	0.16	31.38	0.55
15	26.95	0.10	13.66	0.08	14.64	0.14	37.65	0.44
20	28.31	0.08	17.92	0.08	17.46	0.13	40.76	0.36
25	30.28	0.06	20.16	0.07	19.61	0.11	43.56	0.30
30	31.03	0.05	23.21	0.07	22.19	0.11	46.23	0.27
35	31.96	0.05	25.07	0.07	23.48	0.10	48.46	0.24
40	33.47	0.04	28.56	0.07	25.65	0.09	49.31	0.21
45	34.89	0.04	30.64	0.06	27.61	0.09	51.25	0.20
50	35.36	0.04	33.18	0.06	29.82	0.09	52.19	0.18

ตารางที่ ๕-7 ผลการกำจัดสารเอทิลเบนซีน ตลอด 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีน (ส่วนในล้านส่วน)							
	5		10		15		20	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
55	35.58	0.03	34.17	0.06	31.34	0.08	53.12	0.17
60	36.43	0.03	35.42	0.05	32.32	0.08	54.55	0.16
80	36.34	0.02	41.26	0.05	36.00	0.06	57.16	0.12
90	36.35	0.02	44.11	0.04	37.60	0.06	58.07	0.11
100	36.31	0.02	44.46	0.04	39.13	0.06	58.85	0.10
110	36.48	0.02	47.08	0.04	40.55	0.05	60.32	0.10
120	36.82	0.02	47.50	0.04	42.26	0.05	60.99	0.09
130	36.70	0.01	49.40	0.03	43.17	0.05	61.54	0.08
140	37.30	0.01	50.36	0.03	44.59	0.05	62.30	0.08
150	38.31	0.01	51.31	0.03	46.60	0.04	63.81	0.07
160	38.60	0.01	52.12	0.03	47.52	0.04	63.93	0.07



ตารางที่ ๕-7 ผลการกำจัดสารเอทิลเบนซีน ตลอด 180 นาที (ต่อ)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีน (ส่วนในล้านส่วน)							
	5		10		15		20	
	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)	Eff (%)	Rate (mg/m <sup>2</sup> -min)
170	36.84	0.01	53.90	0.03	48.35	0.04	64.79	0.07
180	38.31	0.01	55.07	0.03	50.75	0.04	65.51	0.06

ตารางที่ ๗-8 ประสิทธิภาพกำจัดสารอินทรีย์ระเหยรวม ตลอด 180 นาที

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพการกำจัดตามความเข้มข้นสารประกอบอินทรีย์ระเหย (เปอร์เซ็นต์)			
	5 ppm	10 ppm	15 ppm	20 ppm
0	0.00	0.00	0.00	0.00
5	13.20	15.02	13.20	8.97
10	18.90	19.36	19.08	15.20
15	21.41	23.69	23.18	19.03
20	22.97	26.70	26.42	23.88
25	25.35	-	28.93	26.33
30	27.05	30.68	-	-
40	29.04	33.36	33.89	30.78
50	29.50	35.26	35.89	34.84
60	30.21	36.69	39.03	36.19
90	31.52	39.50	41.96	41.17
120	33.60	42.10	45.55	44.92
150	35.53	44.55	47.76	49.12
180	37.59	46.55	50.08	51.16

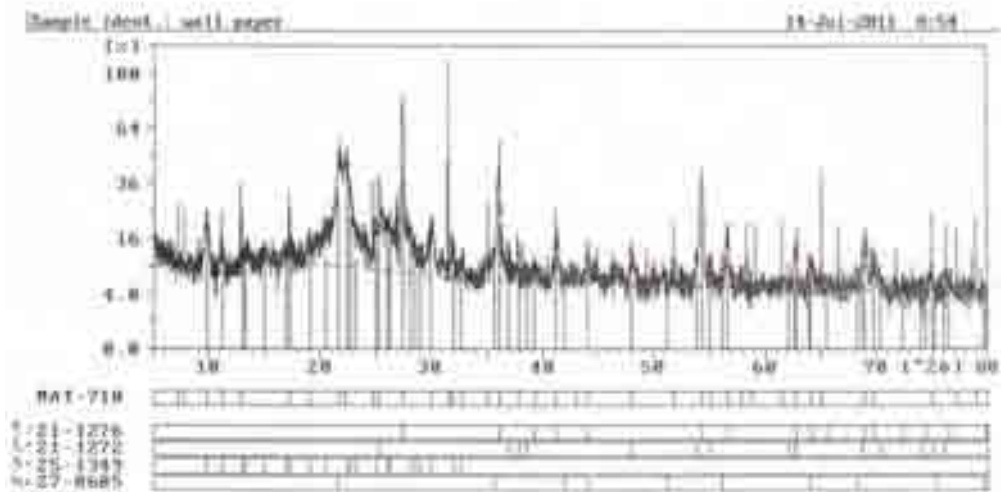
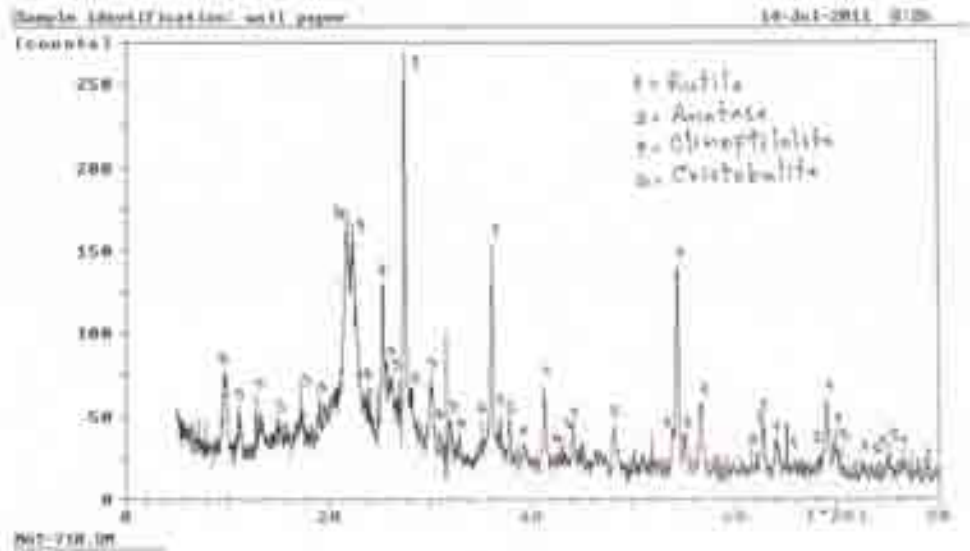
**ตารางที่ ๙-9** ผลการทดลองพารามิเตอร์ต่างๆของการกำจัดสารโพลูอิน สารไซลีน สารเอทิลเบนซีน และสารอินทรีย์ระเหยรวม เวลาพัก 10 นาที

ความเข้มข้นสารโพลูอิน (ppm)	%RH	Temp (°C)	CO (ppm)
5	63.6	23.3	0.0
10	66.1	23.6	0.0
15	62.4	23.4	0.0
20	65.5	24.6	0.0
ความเข้มข้นสารไซลีน (ppm)	%RH	Temp (°C)	CO (ppm)
5	61.3	23.6	0.0
10	66.0	23.1	0.0
15	66.4	23.6	0.0
20	66.9	24.6	0.0
ความเข้มข้นสารเอทิลเบนซีน (ppm)	%RH	Temp (°C)	CO (ppm)
5	68.0	25.1	0.0
10	65.0	25.2	0.0
15	64.6	25.2	0.0
20	70.5	24.6	0.0
ความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยรวม (ppm)	%RH	Temp (°C)	CO (ppm)
5	63.6	23.3	0.0
10	66.1	23.6	0.0
15	62.4	23.4	0.0
20	65.5	24.6	0.0

ภาคผนวก ฅ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฟอกอากาศซิเซน แอร์คลีน

1. ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแผ่นฟอกอากาศด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffractometer)



File: JAS-110.D1 18-Jul-  
 Philips Analytical PC-APD, Diffraction software

Sample identification: wall paper  
 Data measured at: 8-Jul-2011 12:17:00

Diffractionmeter type: PW310 SABB  
 Tube anode: Cu  
 Generator tension [kV]: 40  
 Generator current [mA]: 30  
 Wavelength Alpha [Å]: 1.54060  
 Wavelength Alpha2 [Å]: 1.58439  
 Intensity ratio (alpha2/alpha): 0.500  
 Divergence slit: 1°  
 Receiving slit: 0.1  
 Monochromator used: YES

Start angle [°2θ]: 5.010  
 End angle [°2θ]: 70.900  
 Step size [°2θ]: 0.020  
 Maximum intensity: 334.8900  
 Time per step [s]: 1.000  
 Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Top of smoothed peak  
 Minimum peak tip width: 0.00  
 Maximum peak tip width: 1.00  
 Peak base width: 2.00  
 Minimum significance: 0.75  
 Number of peaks: 38

Angle [°2θ]	d-value [Å]	d-value [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int (counts)	Back. int (counts)	Net. int [θ]	Signif.
7.200	12.2054	12.2050	0.000	55	22	16.4	1.18
8.401	11.2182	11.2468	0.000	50	30	18.1	1.18
9.765	9.8219	9.8541	0.200	44	29	13.0	1.79
11.170	8.9189	7.8144	0.200	31	28	6.3	1.01
12.878	8.0704	8.8873	0.060	85	36	25.2	2.88
15.272	6.2208	5.1432	0.240	23	34	6.8	1.07
19.075	4.6420	4.6804	0.240	22	32	6.6	0.90
21.778	4.0782	4.0863	0.200	132	35	49.5	1.02
22.336	3.9781	3.9879	0.200	128	30	38.1	1.00
24.788	3.5890	3.5982	0.060	27	28	6.1	1.02
25.122	3.5347	3.5213	0.140	100	28	29.9	1.13
27.442	3.2455	3.2524	0.180	240	26	71.7	0.90
30.888	2.9688	2.9758	0.400	42	24	12.8	2.87
31.530	2.9282	2.9422	0.040	319	23	100.0	14.89
31.818	2.9029	2.8992	0.240	22	23	4.8	1.31
33.890	2.7242	2.7109	0.240	16	22	6.8	1.28
36.124	2.5607	2.5572	0.060	87	21	26.1	1.13
38.138	2.4442	2.4402	0.060	120	21	37.5	1.00
37.828	2.4563	2.4621	0.200	21	21	6.1	1.20
39.215	2.3999	2.3955	0.400	9	20	2.9	1.01
41.230	2.2878	2.2922	0.200	42	21	12.8	2.88
42.890	2.2102	2.2074	0.100	15	20	2.7	0.98

File: MW1-110.DI 14-JUL-2012 8:26

-----

Phillips Analytical IC-MSD, Diffraction Software

Angle (°2 $\theta$ )	d-value m1 (Å)	d-value m2 (Å)	Peak width (°2 $\theta$ )	Peak int [counts]	Ref. Int [counts]	Ref. Int [%]	Signal
48.070	2.0552	2.0582	0.240	22	20	6.4	1.50
48.035	2.0920	2.0972	0.200	20	18	5.6	1.81
51.820	1.9628	1.9672	0.060	24	18	7.2	2.01
54.225	1.8975	1.8928	0.120	119	18	39.5	1.43
55.075	1.8661	1.8702	0.130	17	18	5.0	1.41
54.490	1.8222	1.8272	0.240	38	17	11.5	1.33
67.960	1.5818	1.5952	0.480	3	17	5.3	0.79
68.100	1.5708	1.5742	0.080	8	18	2.3	0.82
71.180	1.5040	1.5085	0.060	14	18	6.3	1.53
62.190	1.6797	1.6823	0.240	21	18	6.1	1.40
64.215	1.6118	1.6189	0.400	18	17	4.8	1.80
60.090	1.6328	1.6359	0.060	22	18	6.6	2.04
68.895	1.5602	1.5628	0.160	42	18	12.4	1.08
69.830	1.5440	1.5488	0.120	20	18	6.0	0.96
70.060	1.5640	1.5677	0.040	66	18	18.4	1.81
77.220	1.3342	1.3373	0.080	3	14	1.0	1.28
78.830	1.3118	1.3148	0.060	89	18	18.8	2.26

Reference pattern: 01-1276

14-Jul-2011 09:03

```

Name          : Titanium Oxide
CAS#          : Rutile, syn
Name          : Titania
Formula       : TiO2
Empirical     : O. Ti
Type         : ---
Crystal type  : Tetragonal
Substance     : Inorganic, Minerals, Alloys, Common phases, XRD patterns,
                Toxicology, Educational patterns
Pattern derived: NO

```

d value	Angle	Rel. Int.
3.3470	27.447	100
2.4870	36.088	50
2.2970	39.188	8
2.1900	41.228	25
2.0540	44.052	10
1.9871	54.323	40
1.8437	58.642	30
1.4737	62.742	10
1.4520	64.040	10
1.3243	69.489	1
1.2900	69.019	20
1.2600	69.790	12
1.2033	72.450	2
1.1733	74.421	1
0.7892	76.520	4
1.2000	79.822	2
1.1700	82.335	5
1.1461	84.280	4
1.1143	87.444	2
1.0938	89.557	4
1.0827	90.708	4
1.0420	95.275	4
1.0364	95.057	4
1.0271	97.177	4
1.0167	98.514	1
0.9763	100.088	2
0.9448	108.228	1
0.9438	108.409	1
0.9022	118.227	4
0.8908	117.907	4
0.8800	120.058	4
0.8774	122.768	4
0.8730	123.000	4
0.8657	121.047	2
0.8492	128.549	4
0.8126	140.063	12
0.8110	142.516	2
0.7877	158.878	2



#refname pattern: 28-1149

14-Jul-2011 09:03

Name : Potassium Sodium Calcium Aluminum Silicate Hydrate  
 Name : Clinoptilolite  
 Formula :  $(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca})_6(\text{Si}, \text{Al})_{13}\text{O}_{38} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   
 Elements : H, O, Na, Al, Si, K, Ca  
 Groups : H2O  
 Crystal type : Monoclinic  
 Subfiles : Inorganic, Minerals, Common phases, Forensics, Xenites  
 Pattern deleted: YES

d value	Angle (Std. Int.)	
6.9800	9.831	85
7.9100	11.171	80
8.7600	11.088	15
8.8400	11.324	10
9.3300	14.927	5
9.2100	18.939	15
9.1200	17.306	30
8.9545	19.054	30
8.3463	20.418	10
8.9710	22.370	100
7.9100	22.724	70
8.8300	23.170	10
7.9490	28.871	20
7.4180	26.048	85
7.3830	28.323	25
7.1660	28.170	40
7.1220	28.549	25
7.0740	29.024	20
6.9760	30.002	80
6.7940	32.007	40
6.7130	32.744	20

Reference pattern: 27-0605

14-Jul-2011 09:04

```

Name          : Silicon Oxide
Name          : cristobalite
Formula       : SiO2
Elements      : O, Si
Charge        :
Crystal type  : Cubic
Subfiles      : Inorganic, Alloys, Forensics
Patterns deleted: 00

```

d value	angle	Rel.Int.
4.1100	21.809	100
2.5180	35.527	13
2.1490	42.010	1
2.0080	44.007	4
1.9020	51.223	1
1.6360	56.178	7
1.4500	61.932	6
1.3720	68.311	2
1.2410	75.308	2
1.2030	79.831	3
1.1800	80.842	1
1.1280	88.140	2
1.0600	90.144	1
1.0700	91.542	1
1.0200	96.937	3
0.9980	100.928	2
0.9630	107.829	1
0.9280	112.101	3
0.8910	119.549	1
0.8710	124.238	1
0.8400	131.833	1
0.8250	138.565	1

Reference pattern: 21-1272 14-Jul-2011 09:59

```

Name          : Titanium Oxide
Name          : Anatase, syc
Formula       : TiO2
Elements      : O, Ti
Groups       : --
Crystal type  : Tetragonal
Subfiles      : Inorganic, Minerals, Alloys, Common phases, NBS patterns,
                Fortsumine, Educational patterns
Pattern deleted: NO

```

d value	Angle	Rel. Int.
3.5200	25.281	100
2.4310	38.847	18
2.3780	37.891	20
2.1420	38.576	30
1.8320	48.050	35
1.6989	63.891	20
1.6663	55.069	20
1.4810	62.121	4
1.4808	62.650	18
1.3681	68.762	6
1.3379	70.311	6
1.2785	74.035	2
1.2649	75.032	10
1.2509	76.020	4
1.1894	80.727	2
1.1725	82.139	2
1.1454	82.662	6
1.1608	83.149	4
1.0800	93.221	2
1.0573	94.182	4
1.0438	95.143	4
1.0162	98.319	2
1.0070	99.864	2
0.9967	101.221	2
0.9959	107.448	4
0.9864	108.861	6
0.9793	112.841	2
0.9192	113.861	2
0.9138	114.908	2
0.8968	118.439	4
0.8890	120.104	2
0.8829	121.725	2
0.8783	122.338	2
0.8464	131.036	2
0.8388	135.888	2
0.8368	137.391	4
0.8100	148.888	2
0.7874	150.038	4
0.7828	153.634	2

## 2. ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของแผ่นฟอกอากาศ (BET)



THE PETROLEUM AND PETROCHEMICAL COLLEGE  
CHULALONGKORN UNIVERSITY  
RESEARCH AND DEVELOPMENT DIVISION  
THE RESEARCH AFFAIRS

PPCSDWI-66-203/001.4

## ANALYTICAL / TEST REPORT

Report no. 299/54

Sample owner : Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, CU  
Sample types : Air cleaning sheet  
Numbers of samples : 1  
Instrument used : Surface Area Analyser (Quamachrom, Automer-1)  
Date of receiving : July 28, 2011  
Date of analysis : August 22, 2011  
Result :

Sample name	Multipoint BET (m <sup>2</sup> /g)
Air cleaning sheet	0.04

Analyzed by :

(Ms. Nitaya Chansumritwong)

Researcher

Approved by :

(Assoc. Prof. Dr. Pramoch Sangsriwong)

Deputy Dean for Research Affairs

N.B. : The result is valid for sample analyzed only.

Date: 08/22/2011

Page: 1

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows Version 1.18

Sample ID	Air cleaning sheet				
Description	BH 299/54				
Comments					
Sample Weight	2.7884 g	Outgas Temp	120.0 °C	Operator	JC
Absorbent	NITROGEN	Outgas Time	23.0 hrs	Analysis Time	49.7 min
Crack-Box Area	14.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	08/22/2011 09
Nonideality	6.580E-05	Equil Time	3	File Name	AD182101.122
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Rech Temp	17.35		
Station #	1				

## MULTIPOINT: BET

P/Po	Volume (cc/g)-NTP	1/(C(Po/P)-1)
5.3188e-02	0.7422	8.054E+01
7.8599e-02	0.8685	1.802E+01
1.0399e-01	1.0011	9.262E+01
1.3234e-01	1.2229	1.176E+02
2.0436e-01	1.3932	1.475E+02
2.5532e-01	1.5547	1.745E+02
3.0404e-01	1.7948	1.954E+02

Area = 4.08E+06 m<sup>2</sup>/g

Slope = 3.41E+02

V - Intercept = 3.48E+01

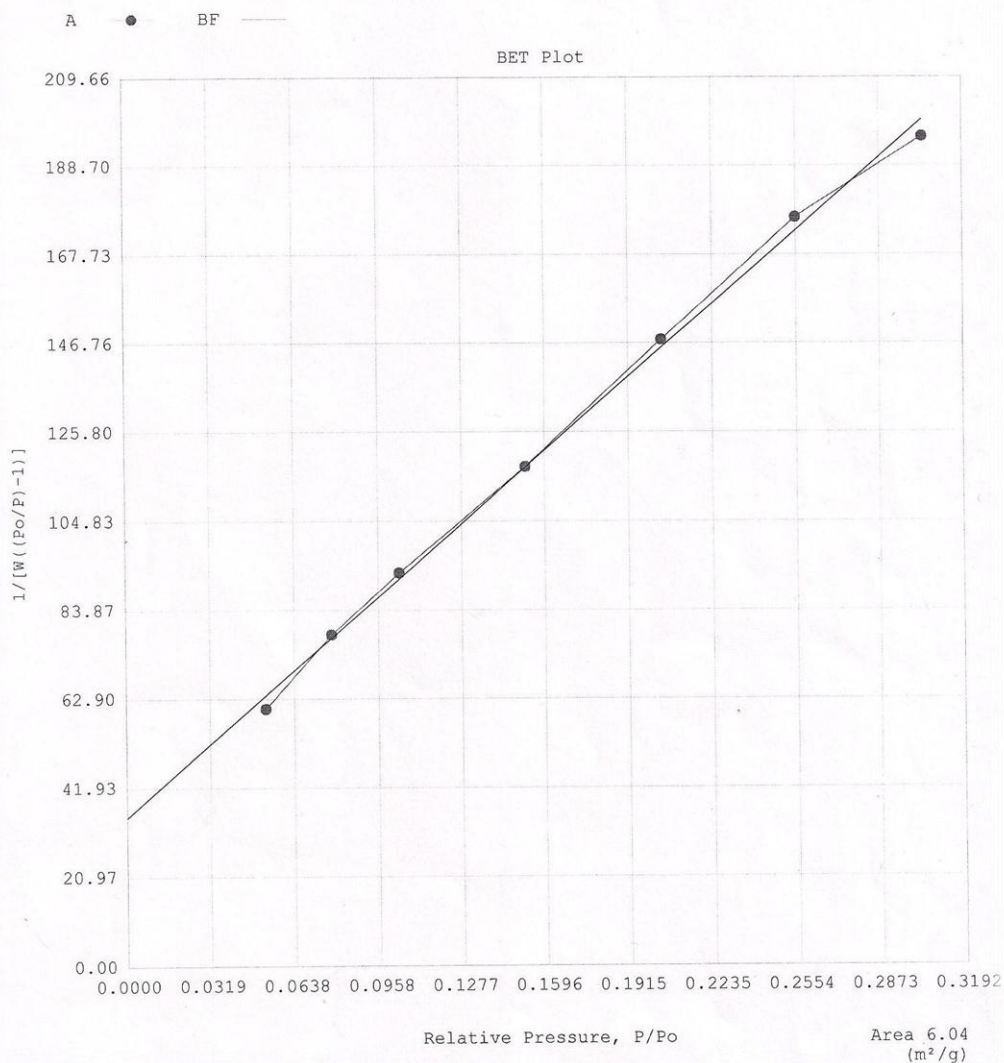
Correlation Coefficient = 0.98829

C = 1.62E+01

Date: 08/22/2011

Quantachrome Corporation  
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
Autosorb for Windows® Version 1.19

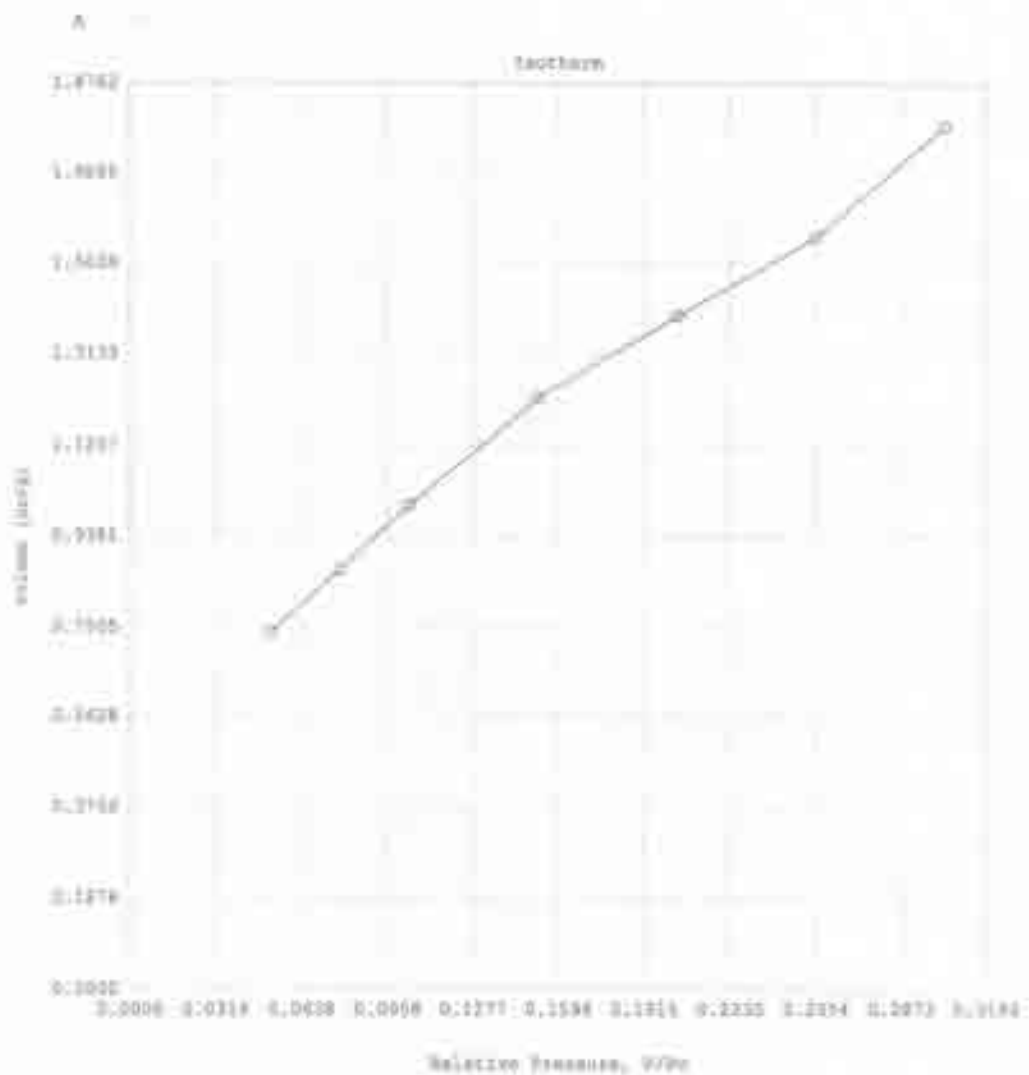
Sample ID	Air cleaning sheet				
Description	RN 299/54				
Comments					
Sample Weight	0.7084 g	Outgas Temp	120.0 °C	Operator	JC
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	23.0 hrs	Analysis Time	49.7 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	2	End of Run	08/22/2011 09:56
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	3	File Name	AS182201.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.35		
Station #	1				



Date: 06/22/2011

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows Version 1.19

Sample ID	A16 (leaching agent)				
Description	SS 289/34				
Comments					
Sample Weight	0.3004 g	Outgas Temp	220.0 °C	Operator	JC
Absorbate	NITROGEN	Outgas Time	23.0 min	Analysis Time	18.7 min
Cross-Section Area	16.3 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Y-axis	1	End of Run	06/22/2011 08:54
Nonideality	6.500E-05	Equil Time	1	File Name	AD162201.ADR
Molecular Wt.	28.0134 g/mole	Bath Temp	77.3K		
Station #	1				



ภาคผนวก ญ

ผลค่าคงที่ปฏิกิริยาของการกำจัดสารอินทรีย์ระเหย



ตารางที่ ญ-1 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลีอินความเข้มข้นเริ่มต้น 5 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.05 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก

ครั้งที่	ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร			
	เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)			
	3	6	8	10	3	6	8	10	3	6	8	10
1	0.22	0.06	0.13	0.2	0.12	0.14	0.18	0.23	0.06	0.12	0.16	0.25
2	0.13	0.18	0.14	0.32	0.10	0.18	0.20	0.25	0.06	0.14	0.22	0.45
3	0.14	0.22	0.18	0.3	0.06	0.13	0.25	0.24	0.07	0.12	0.04	0.33
4	0.08	0.17	0.22	0.41	0.02	0.16	0.13	0.27	0.07	0.12	0.14	0.31
5	0.05	0.04	0.22	0.25	0.07	0.13	0.19	0.14	0.08	0.07	0.23	0.22
6	0.14	0.07	0.25	0.16	0.02	0.12	0.23	0.31	0.04	0.14	0.17	0.38
7	0.03	0.14	0.2	0.32	0.08	0.04	0.42	0.29	0.04	0.09	0.25	0.17
8	0.04	0.18	0.3	0.52	0.23	0.12	0.24	0.32	0.18	0.11	0.25	0.15
9	0.08	0.13	0.44	0.06	0.02	0.10	0.27	0.41	0.06	0.45	0.35	0.29
10	0.11	0.05	0.08	0.17	0.04	0.21	0.28	0.55	0.06	0.18	0.30	0.31
เฉลี่ย	0.1	0.12	0.22	0.27	0.08	0.13	0.24	0.30	0.07	0.15	0.21	0.29

ตารางที่ ญ-2 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลีอินความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.05 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก

ครั้งที่	ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร			
	เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)			
	3	6	8	10	3	6	8	10	3	6	8	10
1	0.04	0.25	0.18	0.14	0.24	0.20	0.26	0.17	0.07	0.08	0.24	0.23
2	0.30	0.09	0.24	0.13	0.06	0.35	0.34	0.31	0.06	0.17	0.17	0.23
3	0.06	0.08	0.13	0.25	0.07	0.19	0.07	0.13	0.05	0.11	0.22	0.26
4	0.07	0.14	0.24	0.21	0.07	0.18	0.31	0.20	0.03	0.09	0.05	0.26
5	0.04	0.10	0.19	0.46	0.08	0.09	0.28	0.44	0.04	0.14	0.32	0.23
6	0.04	0.14	0.38	0.34	0.02	0.11	0.22	0.49	0.09	0.01	0.42	0.19
7	0.06	0.04	0.21	0.56	0.08	0.09	0.20	0.52	0.30	0.13	0.25	0.26
8	0.05	0.15	0.19	0.32	0.03	0.04	0.19	0.22	0.06	0.15	0.24	0.15
9	0.06	0.08	0.20	0.29	0.08	0.12	0.16	0.11	0.06	0.13	0.24	0.62
10	0.09	0.14	0.24	0.05	0.05	0.17	0.18	0.09	0.01	0.16	0.32	0.14
เฉลี่ย	0.08	0.12	0.22	0.28	0.08	0.15	0.22	0.27	0.08	0.12	0.25	0.26

ตารางที่ ญ-3 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลีอินความเข้มข้นเริ่มต้น 5 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก

ครั้งที่	ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร			
	เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)			
	3	6	8	10	3	6	8	10	3	6	8	10
1	0.00	0.02	0.16	0.37	0.10	0.22	0.22	0.34	0.06	0.20	0.00	0.22
2	0.08	0.36	0.45	0.16	0.08	0.28	0.13	0.44	0.09	0.40	0.14	0.18
3	-0.14	0.54	0.30	0.25	0.12	0.27	0.43	0.51	0.05	0.74	0.37	0.36
4	0.02	0.28	0.40	0.29	0.09	0.32	0.32	0.34	0.07	0.17	0.35	0.40
5	0.06	0.31	0.45	0.32	0.08	0.33	0.34	0.31	0.09	0.26	0.17	0.31
6	0.09	0.37	0.46	0.42	0.14	0.44	0.50	0.26	0.08	0.17	0.45	0.43
7	0.07	0.39	0.27	0.40	0.08	0.20	0.32	0.35	0.08	0.18	0.33	0.41
8	0.08	0.44	0.38	0.49	0.09	0.25	0.23	0.35	0.07	0.30	0.34	0.22
9	0.13	0.26	0.45	0.49	0.11	0.26	0.25	0.38	0.03	0.28	0.43	0.36
10	0.09	0.34	0.05	0.42	0.06	0.28	0.30	0.41	0.08	0.20	0.22	0.45
เฉลี่ย	0.05	0.33	0.34	0.36	0.10	0.28	0.30	0.34	0.07	0.31	0.28	0.33

ตารางที่ ญ-4 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลีอินความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก

ครั้งที่	ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร			
	เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)			
	3	6	8	10	3	6	8	10	3	6	8	10
1	0.14	0.16	0.12	0.04	0.13	0.15	0.10	0.16	0.08	0.18	0.18	0.29
2	0.00	0.42	0.13	0.24	0.06	0.08	0.08	0.17	0.18	0.16	0.18	0.18
3	0.01	0.26	0.20	0.00	0.05	0.23	0.27	0.14	0.07	0.15	0.17	0.18
4	0.23	0.19	0.34	0.21	0.04	0.23	0.22	0.25	0.09	0.18	0.06	0.17
5	0.14	0.11	0.34	0.37	0.14	0.22	0.20	0.21	0.08	0.17	0.08	0.20
6	0.16	0.13	0.18	0.52	0.14	0.18	0.17	0.15	0.07	0.18	0.11	0.28
7	0.19	0.11	0.27	0.36	0.14	0.19	0.11	0.16	0.20	0.18	0.23	0.18
8	0.14	0.20	0.18	0.20	0.14	0.17	0.31	0.25	0.08	0.18	0.23	0.22
9	0.16	0.18	0.24	0.22	0.13	0.07	0.22	0.28	0.07	0.18	0.25	0.20
10	0.18	0.19	0.11	0.21	0.16	0.17	0.20	0.25	0.09	0.19	0.24	0.18
เฉลี่ย	0.14	0.20	0.21	0.24	0.11	0.17	0.19	0.20	0.10	0.17	0.17	0.21

ตารางที่ ญ-5 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลีอินความเข้มข้นเริ่มต้น 15 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก

ครั้งที่	ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร			
	เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)			
	3	6	8	10	3	6	8	10	3	6	8	10
1	0.11	0.23	0.26	0.31	0.15	0.19	0.40	0.31	0.12	0.41	0.21	0.40
2	0.09	0.18	0.15	0.28	0.08	0.19	0.34	0.43	0.08	0.20	0.32	0.52
3	0.08	0.18	0.19	0.23	0.09	0.14	0.32	0.43	0.09	0.14	0.42	0.58
4	0.16	0.08	0.14	0.31	0.09	0.18	0.28	0.42	0.09	0.36	0.27	0.52
5	0.06	0.06	0.24	0.36	0.13	0.19	0.26	0.49	0.07	0.18	0.27	0.81
6	0.06	0.18	0.22	0.35	0.21	0.13	0.24	0.31	0.14	0.42	0.37	0.57
7	0.13	0.23	0.21	0.31	0.13	0.23	0.23	0.44	0.14	0.09	0.44	0.64
8	0.20	0.16	0.26	0.22	0.09	0.19	0.19	0.41	0.22	0.18	0.15	0.65
9	0.09	0.13	0.24	0.31	0.12	0.22	0.22	0.43	0.20	0.20	0.24	0.67
10	0.09	0.10	0.29	0.38	0.14	0.23	0.26	0.42	0.16	0.38	0.33	0.67
เฉลี่ย	0.11	0.15	0.22	0.31	0.12	0.19	0.27	0.41	0.13	0.26	0.31	0.60

ตารางที่ ญ-6 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลีอินความเข้มข้นเริ่มต้น 20 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.10 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก

ครั้งที่	ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร			
	เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)			
	3	6	8	10	3	6	8	10	3	6	8	10
1	0.10	0.15	0.18	0.24	0.09	0.12	0.24	0.32	0.17	0.23	0.29	0.24
2	0.06	0.06	0.21	0.29	0.12	0.06	0.12	0.33	0.11	0.21	0.32	0.24
3	0.09	0.14	0.10	0.24	0.08	0.12	0.09	0.31	0.16	0.17	0.38	0.24
4	0.08	0.12	0.11	0.24	0.04	0.16	0.09	0.27	0.23	0.17	0.23	0.33
5	0.15	0.15	0.18	0.30	0.07	0.10	0.25	0.30	0.04	0.13	0.25	0.64
6	0.05	0.15	0.17	0.24	0.11	0.12	0.18	0.24	0.08	0.25	0.21	0.28
7	0.07	0.14	0.25	0.22	0.16	0.21	0.22	0.35	0.09	0.11	0.15	0.71
8	0.05	0.08	0.17	0.16	0.07	0.13	0.16	0.32	0.10	0.08	0.20	0.35
9	0.06	0.09	0.16	0.18	0.11	0.18	0.19	0.22	0.10	0.14	0.20	0.42
10	0.05	0.11	0.12	0.10	0.08	0.11	0.29	0.29	0.10	0.14	0.20	0.45
เฉลี่ย	0.08	0.12	0.17	0.22	0.09	0.13	0.18	0.30	0.12	0.16	0.24	0.39

ตารางที่ ญ-7 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลีอินความเข้มข้นเริ่มต้น 5 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก

ครั้งที่	ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร			
	เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)			
	3	6	8	10	3	6	8	10	3	6	8	10
1	0.10	0.21	0.19	0.36	0.17	0.21	0.48	1.31	0.03	0.24	0.42	0.11
2	0.12	0.19	0.43	0.59	0.09	-0.23	0.38	1.08	0.14	0.22	0.47	0.67
3	0.19	0.07	0.69	0.88	0.15	0.33	0.49	1.04	0.08	0.25	0.15	1.33
4	0.08	0.14	0.48	0.90	0.17	0.25	0.54	1.33	0.11	0.23	0.38	1.06
5	0.14	0.25	0.41	1.01	0.20	0.26	0.77	1.01	0.13	0.26	0.47	0.73
6	0.15	0.15	0.37	0.57	0.21	0.19	0.55	1.04	0.15	0.19	0.48	1.30
7	0.05	0.10	0.29	1.06	0.09	0.20	0.76	1.20	0.16	0.13	0.51	1.10
8	0.12	0.07	0.59	0.91	0.19	0.14	0.54	0.74	0.15	0.18	0.52	1.05
9	0.09	0.08	0.45	0.67	0.14	0.22	0.75	1.03	0.11	0.29	0.49	1.10
10	0.14	0.13	0.47	0.71	0.19	0.25	0.61	1.02	0.15	0.11	0.36	1.23
เฉลี่ย	0.12	0.14	0.44	0.77	0.16	0.18	0.59	1.08	0.12	0.21	0.42	0.97

ตารางที่ ญ-8 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลีอินความเข้มข้นเริ่มต้น 10 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก

ครั้งที่	ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร			
	เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)			
	3	6	8	10	3	6	8	10	3	6	8	10
1.00	0.19	0.22	0.52	1.12	0.13	0.21	0.73	0.94	0.27	0.43	0.46	0.88
2.00	0.14	0.23	0.47	1.02	0.12	0.25	0.47	1.44	0.13	0.17	0.57	0.98
3.00	0.11	0.22	0.39	0.69	0.18	0.13	0.50	1.00	0.13	0.29	0.67	1.21
4.00	0.13	0.19	0.39	0.60	0.17	0.18	0.62	1.16	0.15	0.19	0.59	1.32
5.00	0.22	0.31	0.42	0.94	0.20	0.13	0.48	1.06	0.20	0.17	0.57	1.18
6.00	0.11	0.16	0.54	0.85	0.11	0.21	0.48	0.88	0.24	0.12	0.25	0.70
7.00	0.17	0.21	0.53	0.80	0.19	0.20	0.47	0.90	0.20	0.27	0.33	0.77
8.00	0.15	0.23	0.40	0.82	0.20	0.15	0.48	1.15	0.19	0.19	0.50	0.84
9.00	0.14	0.21	0.43	0.61	0.22	0.22	0.85	1.08	0.17	0.25	0.35	0.79
10.00	0.21	0.12	0.46	0.84	0.13	0.14	0.47	0.94	0.21	0.23	0.56	0.80
เฉลี่ย	0.16	0.21	0.46	0.83	0.17	0.18	0.55	1.05	0.19	0.23	0.49	0.95



ตารางที่ ญ-9 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลีอินความเข้มข้นเริ่มต้น 15 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก

ครั้งที่	ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร			
	เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)			
	3	6	8	10	3	6	8	10	3	6	8	10
1	0.14	0.17	0.21	0.35	0.09	0.23	0.36	0.52	0.14	0.33	0.18	0.70
2	0.08	0.08	0.20	0.36	0.21	0.14	0.29	0.52	0.22	0.31	0.42	0.98
3	0.11	0.17	0.30	0.41	0.11	0.25	0.29	0.59	0.15	0.38	0.34	0.66
4	0.13	0.15	0.47	0.25	0.15	0.33	0.41	0.37	0.20	0.30	0.31	0.76
5	0.27	0.19	0.12	0.37	0.14	0.21	0.30	0.45	0.12	0.25	0.42	0.55
6	0.25	0.16	0.31	0.28	0.14	0.31	0.46	0.49	0.10	0.38	0.44	0.64
7	0.05	0.18	0.30	0.56	0.16	0.28	0.48	0.54	0.10	0.32	0.25	0.90
8	0.06	0.31	0.44	0.47	0.11	0.21	0.35	0.49	0.13	0.28	0.39	0.65
9	0.13	0.33	0.40	0.47	0.13	0.30	0.38	0.55	0.16	0.24	0.46	0.65
10	0.12	0.30	0.40	0.48	0.11	0.31	0.33	0.56	0.17	0.40	0.41	0.67
เฉลี่ย	0.13	0.20	0.32	0.40	0.14	0.26	0.36	0.51	0.15	0.32	0.36	0.72

ตารางที่ ญ-10 ค่าคงที่ปฏิกิริยาของสารโพลีอินความเข้มข้นเริ่มต้น 20 ส่วนในล้านส่วน พื้นที่แผ่นฟอกอากาศ 0.15 ตารางเมตร ตามเวลากักพัก

ครั้งที่	ความเข้มแสงยูวี 1.2 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 2.5 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร				ความเข้มแสงยูวี 5.0 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร			
	เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)				เวลากักพัก (นาที)			
	3	6	8	10	3	6	8	10	3	6	8	10
1	0.10	0.14	0.20	0.33	0.11	0.20	0.25	0.32	0.23	0.28	0.28	0.43
2	0.17	0.18	0.21	0.35	0.12	0.21	0.30	0.29	0.24	0.25	0.32	0.42
3	0.12	0.15	0.19	0.34	0.10	0.20	0.23	0.40	0.16	0.22	0.25	0.42
4	0.04	0.18	0.21	0.37	0.12	0.18	0.19	0.41	0.09	0.15	0.24	0.33
5	0.05	0.05	0.11	0.17	0.09	0.20	0.31	0.41	0.08	0.23	0.24	0.50
6	0.07	0.15	0.16	0.36	0.10	0.12	0.31	0.43	0.08	0.26	0.28	0.43
7	0.04	0.12	0.31	0.19	0.13	0.15	0.27	0.41	0.17	0.29	0.31	0.44
8	0.06	0.14	0.23	0.40	0.14	0.18	0.23	0.41	0.13	0.11	0.34	0.35
9	0.10	0.17	0.19	0.22	0.18	0.11	0.22	0.27	0.07	0.14	0.36	0.46
10	0.08	0.09	0.10	0.25	0.11	0.18	0.35	0.48	0.11	0.16	0.32	0.59
เฉลี่ย	0.08	0.14	0.19	0.30	0.12	0.17	0.27	0.38	0.14	0.21	0.29	0.44

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเทียนฉาย สติรภิวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 6 เมษายน พ.ศ.2530 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) จากภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2552

ผลงานวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ เรื่อง Removal of Volatile Organic Compounds Using Photocatalysis Air Filter ในการประชุมการเผยแพร่วิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา (Symposium) ครั้งที่ 4 จัดที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี วันที่ 31 เดือน กรกฎาคม ปี 2554 และเรื่อง Conversion of Toluene Using Photocatalytic Air Filter ในการประชุมวิชาการ The 37th CONGRESS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY OF THAILAND จัดที่ โรงแรมเซ็นทาราแกรนด์ และบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพมหานคร วันที่ 10-12 เดือน ตุลาคม ปี 2554