ชุดฟอกอากาศสำหรับบำบัดสารเบนซีนโดยใช้เทคโนโลยีโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน

ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์[1*], ต่อพงศ์ กรีธาชาติ[2]
[1*]สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
[2]วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา
Email: chaisri.th@ssru.ac.th[1*], tor_envi@hotmail.com[2]

Received: October 31, 2018
Revised: May 29, 2019
Accepted: June 5, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประยุกต์ใช้ชุดฟอกอากาศทำการบำบัดสารเบนซีนด้วยเทคโนโลยีโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงที่สังเคราะห์จากแผ่นฟิล์มชีวภาพขอบเขตการวิจัย ทำการทดลองใช้แผ่นฟิล์มพอลีแลคติก แอซิกที่ใส่ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ 5.0, 10.0 และ 15.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยวิธีโบล์ฟิล์ม ความหนา 30.0 ไมครอน และติดตั้งชุดปฏิกรณ์แบบอากาศไหลทางเดียว ใช้หลอดกำเนิดแสงอัลตร้าไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องสแกนแบบส่องกราด พบว่ามีการกระจายตัวของสารไทเทเนียมไดออกไซด์ทั่วทั้งผิวฟิล์ม ผลึกโครงสร้างเป็นแบบอนาเทส และมีช่องว่างของพลังงานที่ 3.14-3.26 อิเล็กตรอนโวลต์ ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารเบนซีน ด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนองใน 3 ปัจจัย ประกอบด้วยปัจจัยจากปริมาณสารเร่งปฏิกิริยา ความเข้มแสง และความเข้มข้นของสารเบนซีนเริ่มต้น พบว่า แผ่นฟิล์มที่มีปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 10.0 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารเบนซีน 5±0.5 พีพีเอ็ม และความเข้มแสง 5.24 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร มีค่าตอบสนองสูงสุด 58.90 เปอร์เซ็นต์ และจากวิเคราะห์แบบถดถอยพหุคูณสำหรับทำนายผลการบำบัดสารเบนซีนในอนาคต พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้น เท่ากับ 0.82 สรุปได้ว่ากระบวนการบำบัดสารเบนซีนในอากาศ สามารถที่จะประยุกต์ใช้กับชุดฟอกอากาศในสภาวะที่เหมาะสมได้

คำสำคัญ : ชุดฟอกอากาศ, เบนซีน, ฟิล์มชีวภาพ, โฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน

Air Purifier for Benzene Removal by using Photocatalytic Oxidation Technology

Chaisri Tharasawatpipat[1*], Torpong Kreetachat[2]

[1*]Environmental science,Suansunandha Rajabhat University

[2]School of Energy and Environment, University of Phayao

Email: chaisri.th@ssru.ac.th[1*], tor_envi@hotmail.com[2]

Received: October 31, 2018
Revised: May 29, 2019
Accepted: June 5, 2019

Abstract

The objectives of this research were to apply the air purifier for benzene volatile organic compound removal through photocatalytic oxidation process using bio-composite film as photocatalyst. The polylactic acid films were embedded with 5.0, 10.0 and 15.0 %wt of titanium dioxide powder. Each film was installed in annular closed-system photoreactor with UV-C light at 254 nm. Blown film extrusion technique was used to create the films with 30.0 microns in thickness. The morphology of the films were examined by a scanning electron microscope (SEM). After SEM testing, it was found that titanium dioxide was equally distributed and embedded all over the films. The crystal structure of titanium dioxide was appeared to be an anatase structure. It was found that the energy band gap was from 3.14 to 3.26 eV. The experiment on the optimal conditions for benzene removal by surface response techniques on three effect as photocatalyst dosage, light intensity, initial benzene concentration showed that the optimised response was 58.90% for 10%wt of titanium dioxide with 5±0.5 ppm of initial benzene concentration and 5.24 mW/cm^2 of light intensity. A linear correlation of 0.82 was found in the multiple regression analysis of benzene treatment prediction. In the conclusion, there was a possibility to integrate the benzene removal process with an air purifier using photocatalytic oxidation.

Keywords : Air Purifier, Benzene, Biocomposite film, Photocatalytic Oxidation

บทนำ

สารอินทรีย์ระเหยง่าย คือ กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ในที่อุณหภูมิและความดันปกติ ปัจจุบันพบเป็นสารที่มีในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น สี ควันบุหรี่ สารฟอกสี ตัวทำละลายในงานพิมพ์ ปะปนในอากาศ ซึ่งพบว่ามีผลกระทบทางชีวภาพและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ อาคารสำนักงานต่าง ๆ เป็นพื้นที่ทำงานหนึ่ง ที่มีแหล่งกำเนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายประเภท เบนซีน โทลูอีน เบนซอลดีไฮด์ ซึ่งหากได้รับในปริมาณมากย่อมก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคของผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการ (Roschan & Tipayarom, 2014, pp. 971-976) เทคโนโลยีโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชันเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกพัฒนานำมาใช้บำบัดสารอินทรีย์ทั้งที่อยู่ในน้ำและในอากาศที่อาศัยกลไกทางกายภาพเคมี อาศัยพลังงานจากแสงช่วงความยาวคลื่นอัลตราไวโอเลตร่วมกับการกระตุ้นโดยอนุภาคของสารกึ่งตัวนำ แต่เทคนิคนี้ยังมีข้อจำกัดหลายประการ อาทิ สารตัวเร่งปฏิกิริยาต้องการให้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงและปลอดภัยต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม การศึกษาครั้งนี้จึงมีความสนใจที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ โดยเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารไทเทเนียมไดออกไซด์ตรึงไว้ในฟิล์มพลาสติกชีวภาพ (TiO_2/Biocomposite film) ที่ขึ้นรูปจากเทคนิคการเป่า (blown film) มาใช้บำบัดสารเบนซีนในอากาศ โดยเลือกเครื่องฟอกอากาศที่บรรจุในห้องจำลองขนาด 785 ลิตร ที่เป็นขนาดที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ปฏิบัติงาน และหาสภาวะที่เหมาะสมของการทดลองด้วยเทคนิคการหาค่าการตอบพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology : RSM) แบบ box benkhen method (Srimanta, Jerald, & Nihar 2009, pp. 15–24) ในปัจจัยหลักที่มีผลต่อการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเทคโนโลยีนี้ 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มแสง ปริมาณสารตัวเร่งปฏิกิริยา และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารมลพิษ Donya, Fariborz, Chang, & Ness (2013, pp. 148-157) ซึ่งผลการวิจัยนี้จะสามารถเป็นแนวทางต่อยอดถึงรูปแบบของการพัฒนาเทคโนโลยีไปสู่การออกแบบระบบบำบัดสาร VOCs ที่เป็นมลพิษในอุปกรณ์ฟอกอากาศในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของการบำบัดสารเบนซีน ด้วยชุดฟอกอากาศจำลองที่ใช้เครื่องฟอกอากาศเป็นชุดทำให้เกิดปฏิกิริยา โฟโตแคตาไลติกออกซิเดชัน

2. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดสารเบนซีน ด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนองแบบ box benkhen

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยประเภทพัฒนาทดลองประยุกต์ เลือกใช้นวัตกรรมการบำบัดมลพิษทางอากาศด้วยเทคโนโลยีใหม่ โดยดำเนินการดังนี้

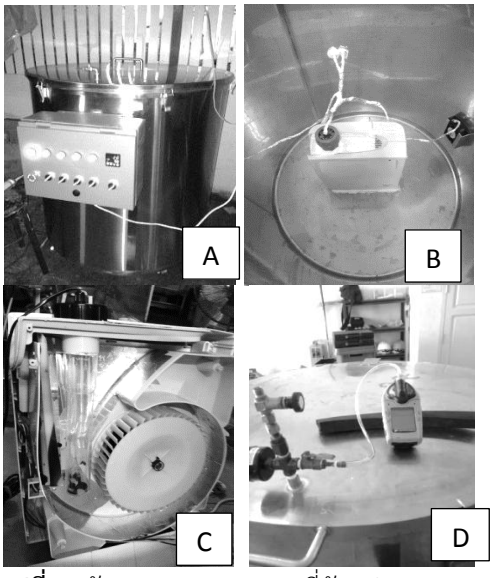
1. ออกแบบชุดฟอกอากาศให้อากาศไหลผ่านชุดปฏิกรณ์แบบ annular แบบทางเดียวประกอบด้วยกล่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เมตร สูง 1.0 เมตร ทำด้วยวัสดุทนการกัดกร่อน SS 314 เชื่อมปิดสนิท มีช่องเปิดเพื่อเปลี่ยนหลอด UV ที่ปิดด้วยวัสดุกันรั่วซึมแบบแผ่นยางกันซึม และพัดลมดูดอากาศภายนอกเข้าภายในกล่องโดยท่อที่มีการควบคุมการปิด-เปิดด้วยวาล์วควบคุมภายในกล่องบรรจุชุดปฏิกรณ์ที่ประกอบไว้ในชุดเครื่องฟอกอากาศ ที่ถูกดัดแปลงจากชุดฟอกอากาศยี่ห้อ Bionaire รุ่น BAP-625 ขนาด 420x210x476 มิลลิเมตร ความเร็วลมดัดแปลงต่ำสุด 0.240 m^3/hr. (4.0 l/min) ภายในติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลม วัดอุณหภูมิ ชุดความความชื้น และชุดปฏิกิริยาที่ภายในติดตั้งหลอดกำเนิดแสงช่วง UV-C และแผ่นฟิล์ม TiO_2/PLA film ซึ่งมี

คุณสมบัติเสถียรภาพต่อสารเคมี ปลอดภัยต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม Suwannahong et al. (2012, pp. 955-959) ดังแสดงในรูปที่ 1

2. ตรวจสอบการรั่วไหลของสารเบนซีนเมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศด้วยวิธีตรวจสอบบริเวณรอยต่อ ด้วยฟองสบู่ และการอัดด้วยลมที่ติดตั้งเกจวัดแรงดันไว้ด้านบนถังเพื่อสังเกตการณ์ลดลงของแรงดันในถังปฏิกรณ์

3. ทำการทดลองหาสภาวะสมดุลของการปฏิกิริยาการดูดซับโดยการฉีดสารเบนซีนที่รู้ความเข้มข้นแน่นอน 15 ppm. ตรวจสอบปริมาณสารเบนซีนทุก ๆ 1 ชั่วโมงจนพบจุดสมดุลของการดูดซับบนพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม (จุดที่ปริมาณสารเบนซีนไม่เปลี่ยนแปลง) แล้วทำการเปิดแสงอัลตร้าไวโอเลต แล้วทำการตรวจสอบปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารเบนซีนทุก ๆ 1 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างอากาศที่ผ่านจากระบบตรวจสอบปริมาณด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟี (GC-FID)

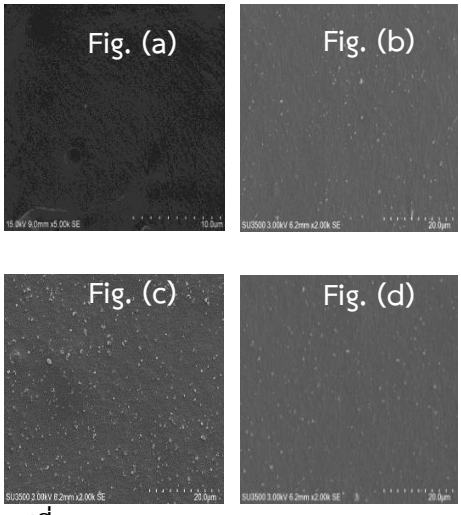
4. ทำการตรวจสอบสภาวะการทดลองที่เหมาะสมตามเทคนิคพื้นผิวตอบสนองแบบแบบ box benkhen โดยฉีดสารเบนซีนที่รู้ปริมาณความเข้มข้นที่แน่นอนเข้าสู่ชุดทดลอง ทำการเปิดแสง UV-C หลังจากสภาวะสมดุลของการดูดซับแล้ว โดยทำการทดลองบำบัดสารเบนซีน ที่ความเข้มข้น 5±0.5, 10±0.5, 15±0.5 ppm.



รูปที่ 1 ลักษณะของชุดทดลองที่ดัดแปลงจากชุดกรองอากาศและการตรวจสอบประสิทธิภาพการบำบัด
A คือ ห้องทดลองและชุดควบคุมไฟฟ้าภายนอก
B คือ ชุดฟอกอากาศที่ภายในบรรจุหลอด UV และฟิล์ม TiO_2/PLA
C แสดงภายในชุดฟอกอากาศ
D แสดงจุดตรวจสอบปริมาณสารเบนซีนด้วยเครื่องตรวจวัดสารเบนซีน

ผลการวิจัย

1. ผลการตรวจสอบลักษณะของสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง TiO_2/PLA film ด้วยเครื่องสแกนแบบส่องกราด พบว่า ผิวหน้าของแผ่นฟิล์มมีลักษณะราบเรียบ โดยพบว่ามีการฝังตัวของสารเร่งปฏิกิริยาบนพื้นที่ผิวของแผ่นฟิล์มจากภาพ (b)-(d) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลการตรวจสอบ SEM micrographs (a) PLA film 0.0, 5.0, 10.0 และ 15.0%wt. ตามลำดับ

ผลของการตรวจสอบการดูดกลืนคลื่นแสง UV-Vis ของแผ่นฟิล์ม ที่ช่วงความยาวคลื่น 200-800 nm. พบว่า สามารถดูดกลืนคลื่นแสงได้ดีในช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 400 nm. เมื่อหาค่าพลังงานแบนแก็บ (Eg) พบว่า มีค่าพลังงานในช่วงแบนแก็บที่ 3.14-3.26 eV. แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของการคำนวณค่าพลังงานแบนแก็บของแผ่นฟิล์ม TiO_2/PLA

ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงในแผ่นฟิล์ม TiO_2 (%wt)	ค่าพลังงานแบนแก็บ (eV)
	TiO_2/PLA
5.0%	3.22
10.0%	3.18
15.0%	3.14

จากรูปที่ 2 และตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงมีการกระจายทั่วทั้งแผ่นฟิล์ม และค่าพลังงานแบนแก็บของสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง TiO_2 ในแผ่นฟิล์ม PLA ใกล้เคียงกับค่าแถบพลังงานของผลึกสารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง ที่มีโครงสร้างแบบ Anatase (Eg 3.20 eV.) Obee et al. (2000, pp. 253-261)

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการบำบัดสารเบนซีนที่เลือกใช้ TiO_2/PLA ฟิล์มที่มีปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ที่ 5.0, 10.0 และ 15.0%w/w พบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดสารระเหยเบนซีน ได้สูงสุด 63 เปอร์เซ็นต์ที่ TiO_2 10.0%w/w

3. ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสารเบนซีนในชุดฟอกอากาศ ที่ใช้ TiO_2/PLA film ด้วยเทคนิค respond surface method พบค่าตอบสนองในสภาวะที่ดีที่สุดของการบำบัดสารเบนซีน มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นแบบสหสัมพันธ์ที่ R^2 เท่ากับ 0.82 ที่ ความเข้มแสง 5.24 mW/cm^2 ปริมาณTiO_2 10.0%w/w และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารระเหยเบนซีน 5±0.5 ppm. มีค่าตอบสนอง 58.90% และได้สมการทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองและสร้างแบบจำลองการถดถอย (multiple regression) ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ดังแสดงผลทางสถิติในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลทางสถิติ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัย จากเทคนิคพื้นผิวผิวตอบสนอง

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	11	1234	112.2	6.23	0.001
Blocks	2	70.2	35.1	1.95	0.176
Linear	3	729.1	243.0	13.50	0.000
Light intensity	1	260.3	260.3	14.46	0.002
TiO_2 Dosage(%TiO_2)	1	48.0	48.0	2.67	0.123
Initial concentration	1	402.9	402.9	22.39	0.000
Square	3	361.4	120.4	6.69	0.004
Light intensity*Light intensity	1	118.6	118.6	6.59	0.021
%TiO_2*%TiO_2	1	141.7	141.7	7.88	0.013
Initial concentration* Initial concentration	1	143.4	143.4	7.97	0.013
2-Way Interaction	3	38.1	12.7	0.71	0.563
Light intensity*%TiO2	1	16.3	16.3	0.91	0.355
Light intensity* Initial concentration	1	0.8	0.8	0.05	0.827
%TiO2* Initial concentration	1	15.5	15.5	0.87	0.367
Lack-of-Fit	10	264.3	26.4	23.71	0.001
Total	15	1504.2			

สรุปและอภิปรายผล

แผ่นฟิล์มที่ผลิตจากแผ่นพลาสติกชีวรูปที่ใส่สารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงร่วม พบว่าสามารถใช้บำบัดสารเบนซินที่เป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้ดี จากผลการการตรวจสอบด้วย SEM micrographs และการตรวจสอบการยึดเกาะติดผิวของหมู่ฟังชันของสารอินทรีย์จากผลการวิเคราะห์ FTA สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kreetachat, Kruenate, & Suwannahong (2013) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในรูปแบบของถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรอากาศใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดมลพิษ สามารถถูกนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสมในสภาวะของการทดลองที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกประยุกต์ใช้ห้องทดสอบที่มีปริมาตรอากาศ 786 ลิตร และมีการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกออกซิเดชันที่เหมาะสม สามารถที่จะบำบัดสารเบนซีนได้เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Donya, Fariborz, Chang, & Ness, (2013, pp. 148-157) Hugo D et al. (2012, pp. 159-170) โดยพบว่าที่ปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงที่ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพการบำบัดสารเบนซินได้สูงกว่าปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 15 แสดงว่าการเพิ่มปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงที่ปริมาตรพื้นผิวสัมผัสของฟิล์มเท่าเดิมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Suwanahong et al. (2012, pp. 955-959) จากผลการบำบัดสารเบนซินด้วยชุดทดลองที่ดัดแปลงจากชุดฟอกอากาศได้สูงสุดที่ 62.28% และสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองด้วยเทคนิค RSM มีค่าตอบสนองที่ดีที่สุด ที่ความเข้มแสง 5.24 mW/cm^2 ปริมาณ TiO_2 10.0%w/w และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารเบนซีน 5±0.5 ppm. โดยมีค่าตอบสนอง 58.90% สอดคล้องกับ

ผลการวิจัยของ Hugo et al (2012, pp. 159-170) ที่พบว่าปริมาณสารเบนซีนที่เหมาะต่อการบำบัดด้วยกระบวนการโฟโตแคตาไลติก ออกซิเดชันที่ค่าต่ำเช่นเดียวกับผลการวิจัยของ Donya, Fariborz, Chang, & Ness (2013, pp. 148-157) ส่วนปัจจัยด้านค่าความเข้มแสง UV ที่สูงขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดจะสูงขึ้นสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Obee et al (2000, pp. 253-261) และปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงมีความสัมพันธ์น้อยสุด โดยค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ 10.0%w/w สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kreetachat, Kruenate, & Suwannahong (2013, pp. 552-556)

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาประยุกต์ใช้นวัตกรรมด้านเครื่องฟอกอากาศที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสารเบนซีนในอากาศในพื้นที่ปฏิบัติงานได้ แต่ยังมีคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ดังนี้

1. ควรมีการศึกษาปัจจัยควบคุมที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัดในส่วนของความเร็วของกระแสอากาศที่นำพาสารอินทรีย์ระเหยง่ายเข้าสู่ระบบการฟอกอากาศ

2. ควรศึกษากลไกทางของการเกิดปฏิกิริยาในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายประเภทอื่น ๆ เพิ่มเติม

3. ควรมีการศึกษาการจัดการผลผลิตได้ อาทิ การจัดการแผ่นฟิล์มที่เสื่อมประสิทธิภาพ การจัดการกับสารข้างเคียงที่เกิดขึ้นจากการบำบัด

References

Donya, F., Fariborz H., Chang, S. L & Ness, L. (2013). Impact of design parameters on the performance of ultraviolet photocatalytic oxidation air cleaner. *Journal of Building and Environment*, 2013 (66), 148-157.

Hugo, D., et-al. (2012). Key parameters influencing the performance of photocatalytic oxidation (PCO) air purification under realistic indoor *conditions*. *Journal of Applied Catalysis B Environmental*, 2012 (128), 159-170.

Kreetachat, T., Kruenate, J., & Suwannahong, K. (2013). Preparation of TiO_2/Bio-composite Film by Sol-Gel Method in VOCs Photocatalytic Degradation Process. *Journal of Applied Mechanics and Materials*, 2013 (390), 552-556.

Obee, T.N., et-al. (2000). Photocatalytic Oxidation of Toluene on Nanoscale TiO_2 Catalysts: Studies of Deactivation and Regeneration. *Journal of Catalysis*, 2000 (196), 253-261.

Roschan, S., Tipayarom, A. (2014). Health Risk Assessment of Exposure to Volatile Organic Compounds Emitted from Photocopiers. *KKU Institutional Research Journal*, 971-976.

Srimanta, R., Jerald, A.L. & Nihar, B. (2009). Using the Box-Benkhen technique to statistically model phenol photocatalytic degradation by titanium dioxide nanoparticle**s**. *Journal of Chemical Engineering*, 2009 (150), 15–24.

Suwannahong, K., et al. (2012). Application of nano-TiO_2/LDPE composite film on photocatalytic oxidation degradation of dichloromethane. *Journal of Environmental Biology*, 2012(33), 955-959.