



การกำจัดเบนซีนในอากาศด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ  
และแวกคัมอัลตราไวโอเล็ต

นายเอกพันธุ์ วรรณิช

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ปีการศึกษา 2556

การกำจัดเบนซีนในอากาศด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ

และแวกกัมอัลตราไวโอเลต

นายเอกพันธุ์ วรวานิช วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.เฉลิมราช วันทวิน)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล)

..... กรรมการ

(ดร.นงลักษณ์ บุญรัตนกิจ)

..... กรรมการ

(ดร.รัชฎ์กษณ์ ราษฎร์ภักดี)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อ	การกำจัดเบนซีนในอากาศด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ และแวกคัมอัลตราไวโอเลต
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายเอกพันธ์ วรวานิช
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2556

#### บทคัดย่อ

เบนซีน เป็นสารมลพิษทางอากาศชนิดหนึ่งที่มีค่าสูงในบรรยากาศ จากการศึกษาวิจัยพบว่า เบนซีนเป็นสารก่อมะเร็งเม็ดเลือดขาว และยังก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพมากมายแก่ผู้ที่ได้รับสัมผัส การบำบัดไอระเหยเบนซีนที่แหล่งกำเนิดจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น และได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการบำบัดไอระเหยเบนซีน ด้วยกระบวนการทางเคมี (แวกคัมอัลตราไวโอเลต; Vacuum Ultraviolet) และกระบวนการทางชีวภาพ (การกรองชีวภาพ; Biofilter) ผลการบำบัดไอระเหยเบนซีนด้วยแสงที่ความเข้มข้นของไอระเหย ตั้งแต่ 20-150 ppm และระยะเวลาพักที่ 0.76-3.03 นาที พบว่ากระบวนการแวกคัมอัลตราไวโอเลต สามารถบำบัดเบนซีนได้โดยมีประสิทธิภาพระหว่าง 67.3-92.5% อย่างไรก็ตามพบว่าอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพักจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นขาเข้า ขณะที่การบำบัดด้วยกระบวนการกรองชีวภาพด้วยตัวกลาง 2 ชนิด ได้แก่ Kaolinite Activated Silica (KAS) (Surface area = 14.22 m<sup>2</sup>/g และ Pore Volume = 0.1582 cc/g) และ Ceramic ring (Surface area = 1.23 m<sup>2</sup>/g และ Pore Volume = 0.0029 cc/g) พบว่า KAS สามารถเก็บกักความชื้นและเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่า Ceramic ring เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและรูพรุนมากกว่า นอกจากนี้ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่าอีกด้วย เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการระสารอินทรีย์จากการใช้กระบวนการแวกคัมอัลตราไวโอเลตและกระบวนการกรองชีวภาพพบว่า กระบวนการกรองชีวภาพสามารถแบกรับค่าการระสารอินทรีย์ได้สูงกว่าโดยที่ประสิทธิภาพการบำบัด 90% กระบวนการกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางชนิด KAS สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้เท่ากับ 28.99 g/m<sup>3</sup>-h ขณะที่ใช้ตัวกลางชนิด Ceramic ring สามารถรับได้ 22.86 g/m<sup>3</sup>-h ส่วนกระบวนการแวกคัมอัลตราไวโอเลต (VUV) สามารถรับภาระอินทรีย์ได้สูงสุดเพียง 5.14 g/m<sup>3</sup>-h

คำสำคัญ : เบนซีน / แวกคัมอัลตราไวโอเลต / ระยะเวลาพัก / กระบวนการกรองชีวภาพ / ตัวกลาง

Thesis title	Benzene Removal Using VUV and Biofilter
Thesis Credit	12
Candidate	Mr.Aekkapan Worawanich
Thesis Adviser	Dr. Prapat Pongkiatkul
Program	Master of Engineering
Field of Study	Environmental Engineering
Department	Environmental Engineering
Faculty	Engineering
Academic Year	2013

### Abstract

Benzene is generally recognized as air pollutant, which is usually observed at high level in the ambient. A number of researches show that benzene vapor is responsible for leukemia deaths and also various health problems after exposure. Proper treatment of benzene vapor at a source is one of public concern issues, which is in focus nowadays. This study focuses on treatment of benzene vapor using 2 different techniques, i.e. physico-chemical process (Vacuum Ultraviolet, VUV) and biological process (biofilter). The results from a treatment using VUV system at 20-150 ppm inlet concentrations and 0.76-3.03 minutes resident time showed that the overall efficiency ranged from 67.3-92.5%. However, the influence from the change of resident time created more effects on the removal efficiency than the fluctuation of inlet concentrations. Treatment of benzene vapor using a biofilter was also conducted using 2 different media, i.e. Kaolinite Activated Silica (KAS) (Surface area = 14.22 m<sup>2</sup>/g, Pore Volume = 0.1582 cc/g) and Ceramic ring (Surface area = 1.23 m<sup>2</sup>/g, Pore Volume = 0.0029 cc/g). The results showed that KAS media can absorb more humidity and carried more microorganism than the ceramic ring due to higher surface area and pore volume. Due to the reason above, the biofilter with KAS media also provided higher benzene removal efficiency compared with another system using ceramic ring as a media. Comparison of maximum organic loading between the VUV system and biofilter was also performed. The results showed that the biofilter can receive higher loading than the VUV system. At 90% of removal efficiency, the biofilter with KAS media can receive a loading at 28.99 g/m<sup>3</sup>-h, whereas the system with a ceramic ring media had a maximum loading at 22.86 g/m<sup>3</sup>-h. In contrast with the biofilter, the loading for the VUV system was only 5.14 g/m<sup>3</sup>-h.

Keyword: Benzene / VUV / Residents time / Biofiltration / Media

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการบำบัดเบนซีนด้วยแวกคัมอัลตราไวโอเลตและกระบวนการกรองชีวภาพนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น เนื่องจากการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะรวมทั้งอุปการณ์การทดลองที่มีความจำเป็นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จากดร.ประพัทธ์พงษ์เกียรติกุล อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.เฉลิมราชวันทวิน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. นงลักษณ์ บุญรัตนกิจ และดร.ธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบงานวิจัยนี้ให้มีความสมบูรณ์ถึงขั้นเรียบร้อย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.สิริลักษณ์ เจียรกรที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย คุณพิระดา ว่องเกษญา และคุณจงกลณี ประดิษฐ์พงษ์ นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำเพื่อให้ได้มาซึ่งผลการทดลองที่มีความถูกต้อง คุณเด่นใจ โพธิ์ทอง และคุณนวลจันทร์ เลาหศิริชัยกุล เจ้าหน้าที่ธุรการประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องการติดต่อเอกสารและการเงิน คุณวิวัฒน์ ผ่องอิม ช่างเทคนิคที่เอื้อเพื่ออุปการณ์ในการประกอบปฏิกรณ์ให้เสร็จสมบูรณ์ ท้ายที่สุดขอขอบคุณบิดา มารดา และเพื่อนๆทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีเสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ย่อมเป็นผลมาจากบุคคลที่ได้กล่าวมาข้างต้น

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปภาพประกอบ	ญ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฎ
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ.	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 สารประกอบอินทรีย์	3
2.2 สารประกอบอะโรมาติก	4
2.3 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)	5
2.4 เบนซีน	6
2.5 สารก่อมะเร็งจากเบนซีน	8
2.6 การเปลี่ยนแปลงของเบนซีนในสถานะต่างๆ	9
2.7 การใช้ประโยชน์จากเบนซีนและสถานการณ์ปริมาณเบนซีนในอากาศ	10
2.8 ค่ามาตรฐานในสิ่งแวดล้อม	11
2.9 กระบวนการแวกคัมอัลตราไวโอเลต (VUV)	14

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
2.10	หลอดไฟฟ้าที่ให้กำเนิดแสงแวกัมอัลตราไวโอเลต (VUV)	15
2.11	กระบวนการกรองชีวภาพ (Biofiltration)	16
2.11.1	กลไกของกระบวนการกรองชีวภาพ (Mechanism of biofiltration)	17
2.11.2	การดูดซับสารมลพิษ (Adsorbed contaminants)	18
2.11.3	การย่อยสลายสารมลพิษ (Contaminant biodegradation)	19
2.11.4	ผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Product generation)	19
2.11.5	การย่อยสลายเบนซีนของกระบวนการกรองชีวภาพ	20
2.11.6	วัสดุกรอง	21
2.11.7	ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	21
2.12	การตรวจวัดเบนซีนอากาศ	22
2.12.1	แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)	22
2.12.2	FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)	23
2.13	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
<b>3.</b>	<b>วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	<b>26</b>
3.1	แผนภาพแสดงลำดับการดำเนินงาน	26
3.2	ชุดกำเนิดไอระเหยเบนซีน	27
3.3	ระบบการบำบัดไอระเหยเบนซีนด้วยแสงแวกัมอัลตราไวโอเลต	28
3.4	วิธีการทดสอบการบำบัดด้วยแสงแวกัมอัลตราไวโอเลต	29
3.4.1	ศึกษาอิทธิพลของการบำบัดเบนซีนโดยดูจากระยะเวลาพัก	29
3.4.2	ศึกษาอิทธิพลของการบำบัดเบนซีนโดยดูจากความเข้มข้นของไอระเหย	29
3.5	การบำบัดไอระเหยเบนซีนด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ (Biofiltration)	31
3.5.1	ลักษณะของตัวกลาง (Media Characteristic)	31
3.5.2	เชื้อจุลินทรีย์	32
3.5.3	อาหารเลี้ยงเชื้อ	32
3.5.4	การเตรียมเชื้อและการตรึงฟิล์มชีวภาพ	33
3.5.5	ชุดระบบกรองชีวภาพ	34
3.5.6	การดำเนินการทดลอง	35
3.6	การวิเคราะห์ไอระเหยเบนซีน	36

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
<b>4. ผลการทดลอง</b>	<b>37</b>
4.1 การทดสอบชุดกำเนิดไอระเหยเบนซีน	37
4.2 การบำบัดเบนซีนด้วยแสงเวคัมอัลตราไวโอเลต	38
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาพัก	38
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้น โดยระยะเวลาพักคงที่	40
4.2.3 การเปรียบเทียบอิทธิพลของระยะเวลาพักและระดับความเข้มข้น	41
4.2.4 การเปลี่ยนรูปของเบนซีนหลังผ่านการบำบัด	42
4.3 การบำบัดด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ	43
4.3.1 การหาขนาดของรูพรุนแลพื้นที่ผิวของ Ceramic ring และ Kaolinite silica	43
4.3.2 การเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์	43
4.3.3 การตรึงฟิล์มชีวภาพ	45
4.3.4 การทดสอบการดูดซับทางกายภาพของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด	47
4.3.5 การบำบัดไอระเหยเบนซีนด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ	48
4.3.6 อัตราการย่อยสลายเบนซีนของกระบวนการกรองชีวภาพจากตัวกลาง 2 ชนิด	51
4.3.7 ลักษณะของตัวกลางทั้ง 2 ชนิดก่อนและหลังการบำบัด	52
4.3.8 สมดุลมวลภายในระบบ	53
4.3.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดจากทั้ง 2 ระบบ	54
<b>5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>57</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>59</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>63</b>
ก. สารเบนซีน	63
ข. ผลการดำเนินงานวิจัย	65
ค. ตัวอย่างการคำนวณ	104
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>108</b>

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติและข้อแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์	3
2.2 คุณสมบัติต่างๆของเบนซีน	7
2.3 ค่ามาตรฐานที่อนุญาตให้มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่างๆในอากาศ	11
2.4 ค่ามาตรฐานสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศโดยทั่วไปในเวลา 1 ปี	12
2.5 ค่ามาตรฐานการ फैาระวังสำหรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศในเวลา 24 ชั่วโมง	13
2.6 ค่าพลังในการออกซิไดซ์ของสารต่างๆ	14
2.7 ความยาวคลื่นของหลอดเอ๊กไซเมอร์	16
2.8 เปรียบเทียบการบำบัดเบนซีนของงานวิจัยอื่นๆ	25
2.9 เปรียบเทียบการการบำบัดเบนซีนด้วยแสงในงานวิจัยอื่นๆ	25
3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์	32
3.2 องค์ประกอบของสารอาหาร	32
4.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดของรูพรุนและพื้นที่ผิว	43
4.2 น้ำหนักของตัวกลาง ความชื้น และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ก่อนและหลังการบำบัด	52
4.3 สมดุลปริมาณคาร์บอนในระบบกรองชีวภาพ	53
4.4 เปรียบเทียบการบำบัดเบนซีนด้วยกระบวนการกรองชีวภาพและVUVกับงานวิจัยอื่นๆ	56
4.5 เปรียบเทียบการการบำบัดเบนซีนด้วยแสงในงานวิจัยอื่นๆ	56
ข.1 ความเข้มข้นไอระเหย 20 ppm อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที	66
ข.2 ความเข้มข้นไอระเหย 20 ppm อัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที	67
ข.3 ความเข้มข้นไอระเหย 20 ppm อัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที	68
ข.4 ความเข้มข้นไอระเหย 60 ppm อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที	69
ข.5 ความเข้มข้นไอระเหย 110 ppm อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที	70
ข.6 ความเข้มข้นไอระเหย 150 ppm อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที	71
ข.7 ชุดการทดสอบทางกายภาพของตัวกลาง 2 ชนิด (Ceramic ring และ KAS)	72
ข.8 การบำบัดไอระเหยเบนซีนด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ	73
ข.9 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้	77
ข.10 ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำจากน้ำชะหอกรองชีวภาพ	78
ข.11 ปริมาณความชื้นและเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลางก่อนการบำบัด	86
ข.12 ปริมาณความชื้นและเชื้อจุลินทรีย์บนตัวกลางหลังการบำบัด	89

## รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.13 ค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งระเหยง่าย	94
ข.14 สัดส่วน VSS/SS	95
ข.15 ค่าความพรุนและพื้นที่ผิวของตัวกลางทั้ง 2 ชนิด (BET)	96
ข.16 ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำในช่วงระหว่างการเลี้ยงจุลินทรีย์	97

## รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1	4
2.2	6
2.3	8
2.4	9
2.5	10
2.6	14
2.7	15
2.8	16
2.9	17
2.10	18
2.11	19
2.12	20
2.13	20
2.14	22
2.15	23
3.1	26
3.2	27
3.3	27
3.4	28
3.5	30
3.6	30
3.7	31
3.8	33
3.9	34
3.10	35
4.1	37
4.2	37
4.3	38

ในอัตราการไหลของไอระเหยเบนซีนต่างๆ(ระยะเวลาพัก 3.03 – 0.76 นาที)

## รายการรูปภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายเบนซีน เมื่อความเข้มข้นคงที่ 20 ppm ในอัตราการไหลของไอระเหยเบนซีนต่างๆ (ระยะเวลาพัก 3.03 – 0.76 นาที)	39
4.5	เปรียบเทียบการย่อยสลายเบนซีนที่ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซีน 20-150 ppm และอัตราการไหลคงที่ 1 ลิตรต่อนาที (ระยะเวลาพัก 3.03 นาที)	40
4.6	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายเบนซีน เมื่ออัตราการไหลของไอระเหยเบนซีนคงที่ 1 ลิตรต่อนาทีในช่วงความเข้มข้นไอระเหยเบนซีน 20-150 ppm	41
4.7	อัตราการย่อยสลายเบนซีนของกระบวนการแควคัมอัลตราไวโอเล็ต	41
4.8	เปรียบเทียบการย่อยสลายระหว่างระยะเวลาพักและระดับความเข้มข้น	42
4.9	สัดส่วนของเบนซีนและหมู่ไฮดรอกซิลก่อนและหลังการบำบัดด้วยวิธี	42
4.10	ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำขาออกของถังเลี้ยงเชื้อ	44
4.11	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อ	44
4.12	อัตราส่วน VSS/SS	45
4.13	(ก.) ปฏิกรณ์ที่ใช้ตรึงฟิล์มขนาด 60 ลิตร (ข.) ตัวกลางที่ใช้ในการตรึงฟิล์ม (ซ้าย Kaolinite silica, ขวา Ceramic ring)	46
4.14	การเกิดฟิล์มชีวภาพบนตัวกลาง (ซ้าย Kaolinite Silica ขวา Ceramic ring)	46
4.15	การทดสอบการดูดซับทางกายภาพของเซรามิกริง Ceramic ring และ Kaolinite activated silica (KAS)	47
4.16	การบำบัดไอระเหยเบนซีนที่ค่าการระเหยอินทรีย์ต่างๆ	48
4.17	ประสิทธิภาพในการบำบัดไอระเหยเบนซีนที่ค่าการระเหยอินทรีย์ต่างๆ	49
4.18	ปริมาณสารอินทรีย์ละลายน้ำของน้ำชะจากระบวนการกรองชีวภาพ	49
4.19	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตได้จากกระบวนการกรองชีวภาพ	50
4.20	อัตราการย่อยสลายเบนซีนของกระบวนการกรองชีวภาพ	51
4.21	สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงสารเบนซีนไปในรูปต่างๆ	54
4.22	เปรียบเทียบค่าการระเหยอินทรีย์และประสิทธิภาพการบำบัด	55
4.23	อัตราการย่อยสลายเบนซีนด้วยแสงและกระบวนการกรองชีวภาพ	55

## ประมวลศัพท์และคำย่อ

d	=	day
g	=	gram
mg	=	milligram
h	=	hour
nm	=	nanometre
m	=	metre
v	=	volume
m <sup>2</sup>	=	square metre
m <sup>3</sup>	=	Cubic metre
μg/m <sup>3</sup>	=	microgram per cubic metre
g/m <sup>3</sup> -h	=	gram per cubic metre hour
ppm	=	part per million
Carcinogen	=	สารก่อมะเร็ง
Metabolism	=	การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต และมีผลต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต
Surface area	=	ค่าพื้นที่ผิวสัมผัส
COD	=	ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (Chemical Oxygen Demand)
Intermediate	=	สารมัธยันตร์ คือ โมเลกุลหรือกลุ่มอะตอมที่เกิดระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นผลิตภัณฑ์ เป็นสารตัวกลางที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี โดยจะเกิดขึ้นเพียงระยะสั้น