

การศึกษาการกำจัดการประกอบ BTEX โดยใช้
ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ



นายก้าวหน้า พงษากุล

รฟ.
ก5367
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62144
วัน,เดือน,ปี..... 3 1 11.ค. 2549

b. 11 610165
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on Removal of BTEX using Biofilter

Mr. Kao-Na Pongsagul

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|--------------------|---|----------------|
| โครงการพิเศษเรื่อง | การศึกษาการกำจัดสารประกอบ BTEX โดยใช้ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | |
| โดย | นายก้าวหน้า | พงษากุล |
| ภาควิชา | เคมี | คณะวิทยาศาสตร์ |
| สาขาวิชา | เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม | |
| ปีการศึกษา | 2547 | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร.สุวรรณี | จรรยาพูน |
| | Dr.Jochen | Amrehn |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพในการกำจัดสารประกอบ BTEX ตัวกลางกรองอากาศที่ใช้ศึกษามี 2 ชนิด คือ กาบมะพร้าว และ เศษรากไม้ โดยแบ่งระบบเป็น 2 ระบบ คือ ระบบที่ 1 เป็นระบบที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (EM) และระบบที่ 2 เป็นระบบที่ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ (EM) อัตราการไหลของอากาศที่มีสารประกอบ BTEX เท่ากับ 4.3 ลิตร/นาที เก็บตัวอย่างก่อนเข้าระบบ และหลังออกจากระบบเพื่อวิเคราะห์ BTEX (ศึกษา อุณหภูมิ, พีเอช, ความชื้น และความดันสูญเสียบางระบบทั้งสอง)

ผลการศึกษาเป็นระยะเวลา 49 วัน พบว่า สภาวะต่าง ๆ ในระหว่างเดินระบบทั้งสอง คือ พีเอช ที่ผ่านระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ มีพีเอช อยู่ระหว่าง 5-6, อุณหภูมิของระบบอยู่ระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส ความชื้นของตัวกลางประมาณ 70% มีความดันสูญเสียบางเล็กน้อยสรุปได้ว่า กาบมะพร้าว และ เศษรากไม้ สามารถใช้เป็นตัวกลางกรองอากาศแบบชีวภาพได้ ประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX ประมาณ 80.7-97.7% ที่เวลา 28 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มลดลง จากการที่จำนวนจุลินทรีย์ของระบบที่ 1 ที่มีการเติมจุลินทรีย์ (EM) และระบบที่ 2 ที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีจำนวนใกล้เคียงกัน ดังนั้น การกำจัด BTEX ของระบบ อาจเกิดจากการดูดซับบนตัวกรองเพียงอย่างเดียว เมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพการดูดซับของตัวกรองลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด BTEX ลดลง

คำสำคัญ : ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ, ตัวกลางกรองอากาศ, BTEX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|-----------------------------------|---|--------------------|
| Special Project Title | Study on Removal of BTEX using Biofilter | |
| Name | Mr. Kao-Na | Pongsagul |
| Department | Chemistry | Faculty of Science |
| Program | Environmental Resource Chemistry | |
| Academic Year | 2004 | |
| Special Project Advisor | Dr. Suwannee Junyapoon | |
| Special Project co-advisor | Dr.Jochen | Amrehn |

ABSTRACT

The objective of this special project is to study a removal of BTEX using biofilter. The experiments were based on a laboratory-scale biofilter. Two different media packing materials used in this study were coconut fiber and scraps of tree root. There were two biofilter systems : with adding microorganisms and without adding microorganism. Air flow rate was 4.3 l/min. Temperature, pH, moisture contents, pressure loss of both systems were investigated. The influent and effluent of air samples were collected for BTEX analyses.

The results of study for 49 days, optimum conditions of the systems were pH of 5-6, temperature of 28-30 °C, and moisture content of 70% and little head loss. This study concluded that coconut fiber and scraps of tree root were appropriate to use as a media packing material of biofilter. The BTEX removal efficiency was approximately 80.7-97.7% when the treatment period was 28 days. However, the removal efficiency tended to decline. As the amount of microorganisms in biofilter with and without adding microorganisms was similar, the removal of BTEX should cause from adsorption only. Therefore, the removal efficiency decreased because of adsorption efficiency of media material was decreased.

Keywords: Biofilter, media packing materials, BTEX

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำปรึกษาแนะนำจาก ดร.สุวรรณิ จรรยาพูน และ Dr. Jochen Amrehn ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ และผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่าง ๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ นางสาวอรุมา เกตุชาติ นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดช่วงระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษ จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัวเป็นอย่างสูงที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจอย่างดีมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

คุณค่าและประโยชน์อันใดที่เกิดจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายก้าวหน้า พงษากุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามคำศัพท์

| | | |
|-----------|---------|---|
| BTEX | หมายถึง | Benzene, Toluene, Ethylbenzene และ Xylene |
| Biofilter | „ | ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ |
| VOCs | „ | Volatile Organic Compounds |
| g | „ | กรัม |
| g/ml | „ | กรัมต่อมิลลิลิตร |
| mg/l | „ | มิลลิกรัมต่อลิตร |
| ml | „ | มิลลิลิตร |
| %V/V | „ | ร้อยละโดยปริมาตร |
| %w/w | „ | ร้อยละโดยน้ำหนัก |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ (ภาษาไทย) | ก |
| บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| นิยามคำศัพท์ | ง |
| สารบัญ | จ |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูป | ซ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย | 2 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | |
| 2.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) | 4 |
| 2.2 สารประกอบ BTEX | 6 |
| 2.3 วิธีการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย | 9 |
| 2.4 ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 10 |
| 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 12 |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 15 |
| บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย | |
| 3.1 สารเคมี และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 17 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง | 19 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | |
| 4.1 ผลการศึกษาสภาวะในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 25 |
| 4.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน ระหว่างระบบที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ และระบบที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ | 29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | |
|--------------------------------------|----|
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ | 31 |
| เอกสารอ้างอิง | 33 |
| ภาคผนวก ก ผลการทดลอง | 35 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของ halogenated hydrocarbons ที่พบได้ในสิ่งแวดล้อม | 5 |
| ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบ BTEX | 7 |
| ตารางที่ ก-1 ค่าพีเอชของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 36 |
| ตารางที่ ก-2 อุณหภูมิของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 37 |
| ตารางที่ ก-3 ความชื้นของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 38 |
| ตารางที่ ก-4 การยุบตัวของตัวกลางของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 39 |
| ตารางที่ ก-5 ความดันสูญเสียของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 40 |
| ตารางที่ ก-6 ประสิทธิภาพในการบำบัด BTEX ของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 41 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ BTEX ในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม | 6 |
| รูปที่ 2.2 สัดส่วนของ BTEX ในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม | 6 |
| รูปที่ 2.3 เส้นทางการเข้าสู่ร่างกายของสารมลพิษ | 8 |
| รูปที่ 2.4 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 11 |
| รูปที่ 2.5 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 12 |
| รูปที่ 3.1 ตัวกลางที่เป็นกาบมะพร้าว | 18 |
| รูปที่ 3.2 ตัวกลางที่เป็นเศษรากไม้ | 19 |
| รูปที่ 3.3 แบบจำลองของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 20 |
| รูปที่ 3.4 ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ | 22 |
| รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของทั้ง 2 ระบบ | 27 |
| รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของทั้ง 2 ระบบ | 27 |
| รูปที่ 4.3 ความชื้นของตัวกลางทั้ง 2 ระบบ | 28 |
| รูปที่ 4.4 การยุบตัวของตัวกลางทั้ง 2 ระบบ | 29 |
| รูปที่ 4.5 ความดันสูญเสียของทั้ง 2 ระบบ | 29 |
| รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการบำบัด BTEX ของทั้ง 2 ระบบ | 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันสารระเหยอินทรีย์ (Volatile organic compounds, VOCs) ที่ปนเปื้อนในบรรยากาศ นับเป็นมลสารที่สำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม United States Environmental Protection Agency (USEPA) ได้จัดเรียงลำดับความเป็นอันตรายของสารระเหยอินทรีย์ประมาณ 114 ชนิด ซึ่ง benzene, toluene, ethlybenzene และ xylene จัดเป็นสารอันตรายเนื่องจากเป็นสารที่มีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ตัวอย่างเช่น benzene ได้พิสูจน์แล้วว่า เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ [1] นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ ทำให้เกิด photochemical smog จากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารระเหยอินทรีย์ กับไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต คือ ทำให้เกิดอาการระคายเคืองดวงตา ก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ สร้างความเสียหายให้กับเกษตรกรรม ลดความสามารถในการมองเห็น และก่อให้เกิดผลกระทบต่อวัสดุ และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ โดยทั่วไปสารระเหยอินทรีย์ที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศนั้นมีแหล่งที่มาจากรถยนต์ การระเหยของตัวทำละลาย อุตสาหกรรมน้ำมัน การเผาไหม้ และอุตสาหกรรมเคมี เนื่องจากสารระเหยอินทรีย์เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องบำบัดก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ วิธีการบำบัดต่างๆที่นำมาใช้ในการบำบัดสารระเหยอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอากาศ ได้แก่ การเผาโดยตรงในเตาเผา การควบแน่น การดูดซับ และการดูดซึม [2] ซึ่งการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์จะเป็นวิธีที่นิยมใช้ อย่างไรก็ตามการดูดซับเป็นวิธีการถ่ายโอนสารระเหยอินทรีย์จากสถานะก๊าซไปสู่ตัวกลางในสถานะอื่น เช่น ของเหลว และของแข็ง เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการบำบัดต่อไป และตัวกลางที่ใช้แล้วต้องทำการรีเจนเนอเรตเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ต่อไป ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง [2]

ปัจจุบันวิธีบำบัดมลภาวะทางอากาศด้วยวิธีการกรองชีวภาพ (biofiltration) เป็นทางเลือกใหม่ที่สำคัญอีกวิธีหนึ่งในการบำบัดสารระเหยอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอากาศ เนื่องจากวิธีนี้สารระเหยอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์กลายเป็นสารที่ไม่เป็นอันตราย หรือมีอันตรายน้อยลง ทำให้ไม่ต้องมีขั้นตอนการรีเจนเนอเรตตัวกลางที่ใช้ในการดูดซับ และมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่ค่อนข้างต่ำเนื่องจากเป็นการใช้จุลินทรีย์ขนาดเล็ก เช่น bacteria actinomycete และ fungi ประเภทใช้ออกซิเจนช่วยในการย่อยสลายสารระเหยอินทรีย์ ซึ่งเป็นกระบวนการเดียวกันกับที่ธรรมชาติใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ นอกจากนี้ ผลลัพธ์สุดท้ายยังไม่เป็นอันตรายเพราะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาใช้ออกซิเจนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ [3]

การใช้การกรองอากาศแบบชีวภาพ (Biofilter) ในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย นับเป็นอีกวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ใช้เทคโนโลยีที่ซับซ้อน มีราคาถูก ไม่ต้องใช้สารเคมี ทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ตัวกลางในระบบนี้ยังคงใช้วัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ แม้ว่าจะมีการศึกษาในการนำวัสดุธรรมชาติจากภายในประเทศมาใช้เป็นตัวกลาง แต่ยังไม่แพร่หลายนัก งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการกำจัดเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน โดยใช้ระบบการกรองอากาศแบบชีวภาพ เพื่อศึกษาสภาวะเหมาะสมของจุลินทรีย์ในการกำจัดสาร BTEX และศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน โดยใช้ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ และระบบที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาวะต่าง ๆ ในตัวกลางกรอง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะเหมาะสมของจุลินทรีย์ในการกำจัดสาร BTEX และประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน โดยใช้ระบบการกรองอากาศแบบชีวภาพ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงในระบบ และระบบที่ไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามีดังนี้

1. สภาวะต่าง ๆ ในระหว่างที่มีการเดินระบบ อันได้แก่
 1. ปริมาณของจุลินทรีย์บนตัวกลางกรอง
 2. ค่าพีเอช
 3. อุณหภูมิในระบบ
 4. ความชื้นในระบบ
 5. การยุบตัวของตัวกลางที่มีผลต่อความดันสูญเสียของระบบ
 6. อัตราการไหลของอากาศเข้าและออกจากระบบ
2. ประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX ของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ โดยวัดปริมาณ

BTEX ก่อนเข้า และออกจากระบบการกรองอากาศแบบชีวภาพด้วย GC-MS เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนไวสำหรับกรเซงานเพอกรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย โดยใช้ตัวกลางกรองอากาศแบบชีวภาพ
2. ใช้วัชศุทธรรมาติภายในประเทศเป็นตัวกลางกรองในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ
3. ลดค่าใช้จ่ายการนำเข้าตัวกลางกรองจากต่างประเทศ
4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายและกลิ่นจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงกำจัดขยะ โรงบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) [4]

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs) คือ กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ที่อุณหภูมิและความดันปกติ โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจน อาจมีออกซิเจน หรือคลอรีนร่วมด้วย สามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้อง มนุษย์อาจได้รับ VOCs จากผลิตภัณฑ์และกิจกรรมต่าง ๆ ได้แก่ สีทาบ้าน ควันบุหรี่ น้ำยาฟอกสี สารตัวทำลายในพืชม จากอุปกรณ์สียรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาซักแห้ง น้ำยาสำหรับขัดพรมและน้ำยาตัดพรม สารฆ่าแมลง สารที่เกิดจากเผาไหม้ และปะปนในอากาศ น้ำดื่ม เครื่องดื่ม อาหาร สารอินทรีย์ระเหยที่ปริมาณความเข้มข้นหนึ่ง ๆ จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

VOCs สามารถแบ่งตามลักษณะของโมเลกุล เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. Non-chlorinated หรือ Non-halogenated hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ไม่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล ประกอบด้วย aliphatic hydrocarbons (เช่น fuel oils, gasoline, hexane, industrial solvents, alcohols, aldehydes, ketone) และกลุ่มสาร aromatic hydrocarbons (เช่น benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes, styrene, phenol) สาร VOCs กลุ่มนี้มีแหล่งกำเนิดจากสิ่งแวดล้อม การเผาไหม้สารอินทรีย์ต่าง ๆ ตัวทำลาย สีสทาวัสดุ เป็นต้น สารนี้มีผลเสียต่อสุขภาพ คือทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจ พบว่าพนักงานดับเพลิง คนงานเผาขยะ คนเผาถ่าน มักป่วยด้วยโรคทางเดินลมหายใจบ่อยเนื่องจากได้รับ VOCs จากควันไฟและเชื้อเพลิง ในรูปของ benzene, toluene, naphthalene propene, 1,3-butadiene, styrene, alkyl-substituted benzene compounds อื่น ๆ, xylenes, 1-butene/2-methylpropene, propane, 2-methylbutane, ethylbenzene, naphthalene, isopropylbenzene รวมกันในปริมาตรสูงถึง 76.8 % ของ VOCs ทั้งหมดที่วัดได้

2. Chlorinated หรือ halogenated hydrocarbons ได้แก่ กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล ดังแสดงในตารางที่ 2.1 Chlorinated VOCs นี้มีความเป็นพิษและความเสถียรในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่ม Non-chlorinated VOCs เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่มฮาโลเจนที่ทนทานมาก ยากต่อการสลายตัวในธรรมชาติโดยทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือทางวิธีเคมีทั่วไป มีความคงตัวสูงทำให้สามารถสะสมอยู่ในธรรมชาติได้นาน อันตรายของสารกลุ่มนี้คือ รบกวนการทำงานของสารพันธุกรรม หรือยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ และมีฤทธิ์ในเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การก่อมะเร็ง หรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ จากการวิเคราะห์น้ำประปาพบว่า ในน้ำประปามักมีการปนเปื้อนของสารกลุ่ม chlorinated VOCs เสมอโดยเฉพาะน้ำประปาใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อ เช่น พบ Trihalomethanes ในน้ำดื่มจากท่อประปามาก แต่พบสารนี้น้อยมากในน้ำใต้ดิน รองลงมาคือน้ำจากบ่อธรรมชาติ

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของ halogenated hydrocarbons ที่พบได้ในสิ่งแวดล้อม

| | | |
|----------------------------|--------------------------|--|
| 1,1,1,2-Tetrachloroethane | Bromoform | Glycerol trichlorohydrin |
| 1,1,1-Trichloroethane | Bromomethane | Hexachlorobutadiene |
| 1,1,2,2-Tetrachloroethane | Carbon tetrachloride | Hexachlorocyclopentadiene |
| 1,1,2-Tetrachloroethane | Chlorodibromomethane | Hexachloroethane |
| 1,1-Dichloroethane | Chloroethane | Methylene chloride |
| 1,1-Dichloroethylene | Chloroform | Neoprene |
| 1,2,2-Trifluoroethane | Chloromethane | Pentachloroethane |
| 1,2-Dichloroethane | Chloropropane | Perchloroethylene |
| 1,2-Dichloropropane | Cis-1,2-dichloroethylene | Propylene dichloride |
| 1,2-Trans-dichloroethylene | Cis-1,3-dichloropropene | Trichlorotrifluoroethane |
| 1,3-cis-dichlor-1-propene | Dibromchloropropane | Monochlorobenzene |
| 1,3-trans- dichlorpropene | Dibromomethane | Tetrachloroethylene (Perchloroethylene) (PCE) |
| 1-chloro-2-propene | Dichlorobromomethane | Trichloroethylene (TCE) |
| 2-butylene dichloride | Dichloromethane(DCM) | Vinyl chloride |
| Acetylene tetrachloride | Ethylene dibromide | Vinyl trichloride |
| Bromodichloromethane | Fluorotrichloromethane | Vinylidene chloride |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบรรดาสารกลุ่ม halogenated VOCs นี้มักพบ Trichloroethylene (TCE) ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เนื่องจากสารนี้เป็นสารตัวทำละลายในน้ำยาซักแห้ง น้ำยาละลายคราบน้ำมัน หรือคราบไขมัน และเรซินต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม

2.2 สารประกอบ BTEX [5]

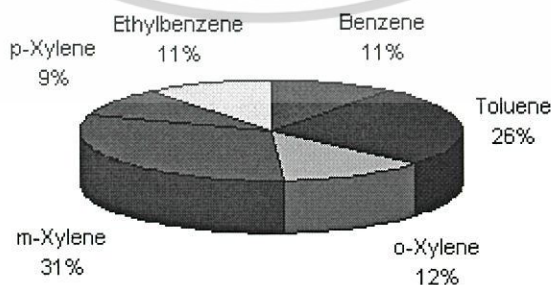
กลุ่มของสารประกอบ BTEX ประกอบด้วยเบนซีน, โทลูอิน, เอทิลเบนซีน และไซลีนทั้ง 3 ไอโซเมอร์ สารประกอบพวกนี้เป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม BTEX จัดเป็นมลพิษที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารเหล่านี้สามารถคงตัวและตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน

2.2.1 แหล่งที่มาของสารประกอบ BTEX

แหล่งที่มาของ BTEX ที่สำคัญคือ น้ำมัน และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม พบว่าในน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทั่วไปมี BTEX เป็นองค์ประกอบประมาณ 18%(w/w) (รูปที่ 2.1) โดยมี *m*-Xylene เป็นองค์ประกอบสูงสุด รองลงไปคือ Toluene (รูปที่ 2.2) อย่างไรก็ตาม สัดส่วนของ BTEX ในองค์ประกอบแก๊สไซลีนจะขึ้นอยู่กับกระบวนการกลั่นและระยะเวลาในการผลิต



รูปที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ BTEX ในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม [5]





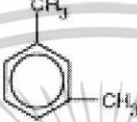
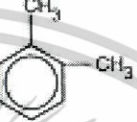

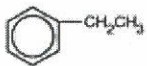
รูปที่ 2.2 สัดส่วนของ BTEX ในน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบ BTEX

คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของสารประกอบ BTEX แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารประกอบ BTEX [5]

| | Benzene | Toluene | <i>m</i> -Xylene | <i>o</i> -Xylene | <i>p</i> -Xylene | Ethyl benzene |
|---|---|---|---|--|---|---|
| สูตรโครงสร้าง |  |  |  |  |  |  |
| สูตรเคมี | C ₆ H ₆ | C ₇ H ₈ | C ₈ H ₁₀ | C ₈ H ₁₀ | C ₈ H ₁₀ | C ₈ H ₁₀ |
| น้ำหนักโมเลกุล [g/mole] | 78 | 92 | 106 | 106 | 106 | 106 |
| ค่าการละลายน้ำ [mg/l] | 1700 | 515 | - | 175 | 198 | 152 |
| ความดันไอ (at 20°C)[mmHg] | 95.2 | 28.4 | - | 6.6 | - | 9.5 |
| ความหนาแน่น จำเพาะ (at 20°C) | 0.8787 | 0.8669 | 0.8642 | 0.8802 | 0.8610 | 0.8670 |
| สัมประสิทธิ์การ กระจายตัวระหว่าง ออกทานอลและน้ำ (at 20°C)[log Kow] | 2.13 | 2.69 | 3.20 | 2.77 | 3.15 | 3.15 |
| ค่าคงที่ของเฮนรี (at 25°C) [kPa*m ³ /mol] | 0.55 | 0.67 | 0.70 | 0.50 | 0.71 | 0.80 |
| ความมีขี้ | ไม่มีขี้ | ไม่มีขี้ | ไม่มีขี้ | ไม่มีขี้ | ไม่มีขี้ | ไม่มีขี้ |
| HSA | | | 154.08 | 153.35 | 154.09 | 154.66 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ความเป็นพิษของสารประกอบ BTEX

สารประกอบ BTEX มีความเป็นพิษและมีผลต่อกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ระดับความเป็นพิษขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ หากได้รับในปริมาณที่มากจะก่อให้เกิดพิษเฉียบพลัน และก่อให้เกิดพิษเรื้อรังเมื่อได้รับในปริมาณน้อย ๆ และเป็นเวลานาน

สารประกอบ BTEX สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ ทางเดินอาหาร โดยการรับประทาน อาหารหรือดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารประกอบ BTEX ทางเดินหายใจ โดยการสูดดม และทางผิวหนัง โดยการสัมผัสโดยตรงกับสารประกอบ BTEX หรือน้ำที่มีการปนเปื้อน (รูปที่ 2.3)

การศึกษาส่วนใหญ่พบว่าเบนซีนเป็นสารก่อมะเร็ง [5] การสัมผัสเบนซีนในระยะเวลานาน ๆ จะสามารถเกิดโรคลูคีเมียหรือมะเร็งในเม็ดเลือดได้ การสูดดมโทลูอินและไซลีนที่มีความเข้มข้น 0.4 mg/l จะทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ ตาลาย มึนงง และเกิดการระคายเคืองในโพรงจมูก เมื่อได้รับในปริมาณที่สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการประสานงานของร่างกายลดลง และหากได้รับเป็นเวลานาน ๆ อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสมอง [5] ผลกระทบของ BTEX ต่อระบบเนื้อเยื่อและสุขภาพร่างกาย แสดงดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เส้นทางการเข้าสู่ร่างกายของสารมลพิษ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ผลกระทบของ BTEX ต่อระบบเนื้อเยื่อ และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ [4]

| สาร VOCs | เนื้อเยื่อที่ถูกทำลายโดย VOCs | ผลร้ายต่อสุขภาพ |
|---|--|--|
| Benzene | เม็ดเลือดแดง, เส้นประสาท | ทำลายไขกระดูก เม็ดเลือดแดง แตก โรคลิวคีเมีย และอาการ หรือโรคทางประสาทส่วน กลาง |
| Ethyl benzene (ethylbenzol) n-Hexane | ตา, โพรงจมูก, ระบบประสาท ส่วนกลาง, เส้นประสาท | ทำให้ระคายเคือง แสบตา แสบ จมูก กดประสาทส่วนกลาง ทำ ให้ปวดหัว สับสนงุนงง อาจ หมดสติได้ |
| Toluene (methylbenzene, toluol) | ระบบประสาทส่วนกลาง | อาการทางประสาทส่วนกลาง |
| Xylene (dimethylbenzene) | ผิวหนัง, เส้นประสาท | ระคายเคือง โรคผิวหนัง และ อาการเกิดจากการกดประสาท ส่วนกลาง |

2.3 วิธีการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย [2]

2.3.1 ระบบกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบเปียก (Wet Scrubber)

ใช้วิธีการสเปรย์ของเหลว ซึ่งอาจเป็นน้ำหรือสารเคมี เพื่อให้ของเหลวดังกล่าวไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ระเหยง่ายให้ละลายอยู่ในของเหลว ระบบ Scrubber เป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย นับเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีข้อเสียคือมีราคาที่สูง มีการใช้สารเคมีซึ่งจะเกิดของเสียที่ต้องนำไปกำจัดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ระบบดูดซับ (Adsorption)

เป็นระบบที่ใช้สารดูดซับ ในการดูดซับเอาโมเลกุลของสารอินทรีย์ระเหยง่ายให้ติดอยู่กับสารดูดซับนั้น ตัวอย่างสารดูดซับที่ใช้ได้แก่ Activated carbon และ Silica gel ระบบดูดซับจะมีประสิทธิภาพสูง ถ้าเลือกสารดูดซับได้เหมาะสมกับชนิดของก๊าซที่จะบำบัด อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของระบบนี้คือ มีราคาแพงมาก จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการรีเจนเนอเรตหรือกำจัดตัวดูดซับที่ไม่สามารถดูดซับได้อีกต่อไป นอกจากนี้ความเป็นพิษที่ถูกจับอยู่ในตัวดูดซับก็ยังคงไม่ได้ถูกกำจัดไป

2.3.3 ระบบกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

เป็นระบบที่ใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย ระบบนี้เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้เทคโนโลยีที่ซับซ้อน ไม่ใช้สารเคมีและมีราคาไม่สูงมากนัก ทำให้ระบบนี้เป็นที่นิยมเพิ่มขึ้น

2.4 ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ (Biofilter) [6]

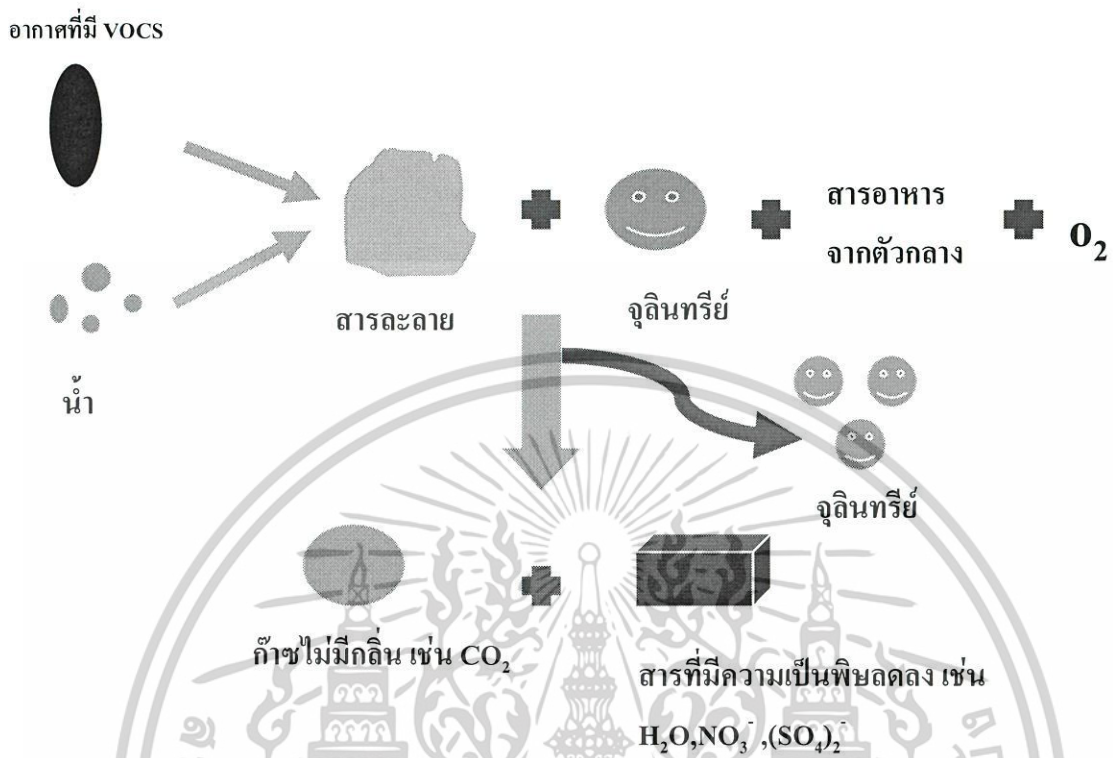
ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ เป็นระบบที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศ โดยหลักการทำงานเบื้องต้นคือ ผ่านอากาศที่มีสารปนเปื้อนเข้าไปในระบบที่มีการฉีดพ่นน้ำเพื่อให้ความชื้นกับตัวกลางซึ่งใช้เป็นตัวยึดเกาะของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ที่ระเหยง่ายหรือกลิ่นในอากาศที่แพร่ผ่านเข้าไปในระบบเป็นอาหารในการดำรงชีวิต และเจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน สารอินทรีย์ระเหยง่ายจะถูกจุลินทรีย์กำจัดหรือเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารที่ไม่มีกลิ่นหรือมีความเป็นพิษน้อยลง เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ ไนเตรท หรือ ซัลเฟต เป็นต้น (รูปที่ 2.4) เมื่อจุลินทรีย์ได้รับสารอาหารก็จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายของระบบเพิ่มขึ้น

กลไกการกำจัดสารมลพิษในระบบจะเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกระบวนการใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท (รูปที่ 2.5) ได้แก่

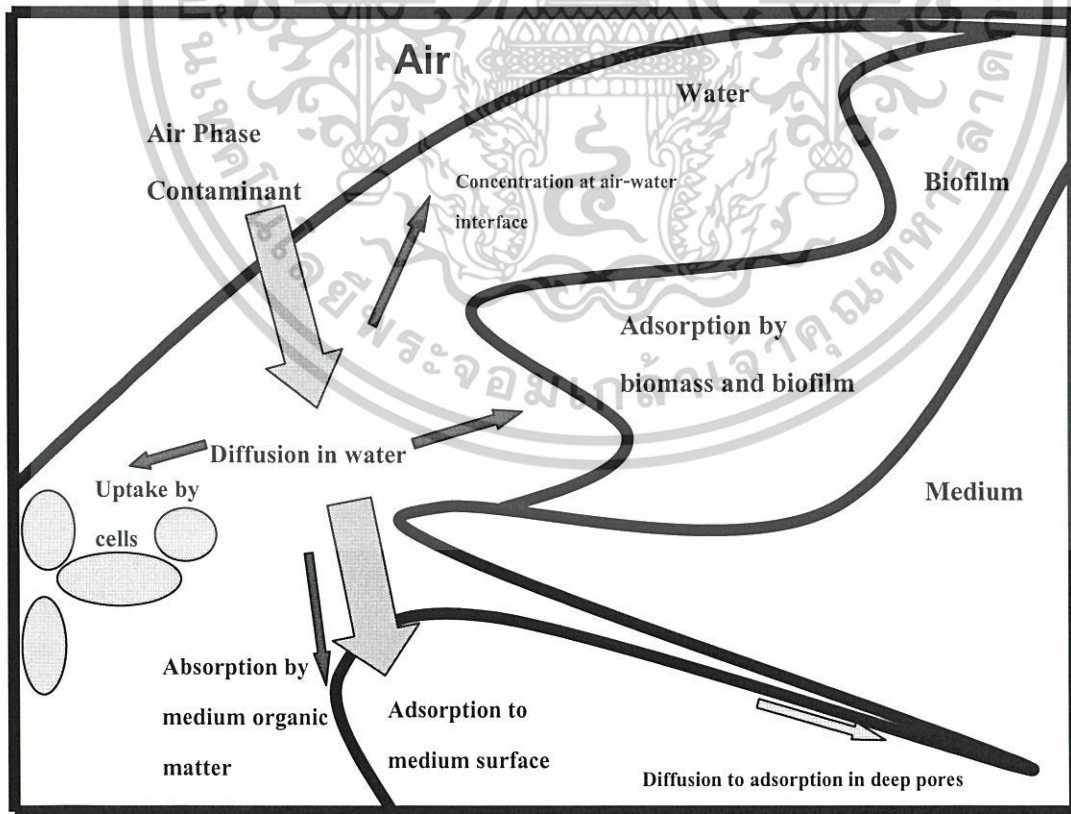
- 1) การดูดซับ (Adsorption) ใน Biofilter และเกิดการแพร่ (Diffusion) เข้าสู่จุลินทรีย์
- 2) การดูดซับ (Adsorption) ใน Biofilter และเกิดการดูดติดผิวตัวกลาง จากนั้นจะเกิดกระบวนการทั้ง Cell uptake และ Exoenzymatic degradation
- 3) การดูดซึมเข้าสู่จุลินทรีย์โดยตรง (Direct Absorption)

กระบวนการดังกล่าวข้างต้นจะเกิดในชั้นตัวกลาง เมื่อมีการผ่านอากาศที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายปนเปื้อนที่ต้องการกำจัดเข้าสู่ชั้นตัวกลางที่มีสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ลักษณะของตัวกลาง และระยะเวลาที่เก็บ สารมลพิษที่ผ่านตัวกลางออกจากระบบจะมีคุณภาพดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ [6]



รูปที่ 2.5 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

2.5.1 จุลินทรีย์ในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่มีส่วนในการกำจัด VOCs จะเป็นจุลินทรีย์ประเภท Heterotrophic bacteria ซึ่งใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน จุลินทรีย์ที่สำคัญในการเกิด Biodegradation ในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ ได้แก่ *Actinomycete*, *Clostridium sp*, *Nocardia*, *Pseudomonas sp*. และ *Thiobacillus sp*. ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้มักจะพบทั่วไปในตัวอย่างที่เป็นวัสดุธรรมชาติ [7]

2.5.2. พีเอช (pH)

ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์จะขึ้นกับ pH ของตัวอย่าง ดังนั้น pH จึงเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ พีเอช (pH) ที่เหมาะสมของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพจะเหมาะสมในช่วง pH 5.0– 8.0 [8]

2.5.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิจะเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิต และเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ โดยช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมภายในระบบ คือ 5 ถึง 45 องศาเซลเซียส [9]

2.5.4 ความชื้น (Moisture content)

เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องอาศัยความชื้นในการเจริญเติบโต ระบบจะทำงานได้ดีก็ต่อเมื่อระบบมีความชื้นในปริมาณที่เหมาะสม การมีความชื้นมากหรือน้อยเกินไปทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง ถ้าความชื้นในปริมาณที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดสถานะไร้อากาศขึ้นในระบบ ทำให้ตัวกลางเกิดการอัดตัวขึ้นได้ ในขณะที่การมีความชื้นต่ำเกินไปจะทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ลดลง และเกิดสถานะการไหลเป็นช่อง (Channeling) ขึ้นภายในชั้นตัวกลาง โดยทั่วไปแล้ว ตัวกลางจะมีความชื้นลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มความชื้นให้กับตัวกลาง การควบคุมความชื้นในตัวกลางสามารถทำได้โดยการเพิ่มความชื้นในอากาศที่เข้าสู่ตัวกลาง และ/หรือ การฉีดพ่นน้ำลงไปในตัวกลางโดยตรง ระดับความชื้นของตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์จะต้องมากกว่า 50 % ขึ้นไป [10]

2.5.5 ความดันสูญเสียของตัวกลาง (Media headloss)

ค่าความดันสูญเสียจะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวกลาง ความพรุนของตัวกลาง และการอุดตันของตัวกลางเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ตัวกลางที่มีขนาดใหญ่จะมีความต้านทานต่ำ มีการอัดตัวน้อยกว่า และให้พื้นที่ผิวมาก และถ้าตัวกลางมีความพรุนมาก จะทำให้มีค่าความดันสูญเสียต่ำ และมีพื้นที่ให้เกิดการย่อยสลายทางชีววิทยาได้มากกว่า [11]

การอุดตันของตัวกลางขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของจุลินทรีย์ในตัวกลาง และ

การะบรทุกของระบบ จุลินทรีย์จะเติบโตได้มากที่บริเวณใกล้กับจุดอากาศเข้าของระบบ เนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้ไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ผ่านการคัดลอกหรือแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความเข้มข้นของสารอาหารมากที่สุด ซึ่งอาจทำให้เกิดการอุดตันของตัวกลางทำให้ความดันสูญเสียของระบบสูงขึ้นได้

2.5.6 การยุบตัวของตัวกลาง

อัตราการยุบตัวของตัวกลางสังเกตได้จากความสูงของตัวกลาง ตัวกลางที่มีการยุบตัวเร็ว แสดงว่าตัวกลางนั้นมีสภาพการคงตัวต่ำ ซึ่งจะทำให้ตัวกลางเกิดการยุบตัวและอัดตัวกันแน่น ส่งผลให้ความดันสูญเสียของระบบสูงขึ้น

2.5.7 อัตราการไหล (Flow rate) ต่อเวลากักพักในระบบ (Empty bed retention time, EBRT) [6]

เวลากักเก็บ θ ที่นี่ เป็นค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและขนาดของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ เป็นค่าที่ได้จากปริมาตรทั้งหมดของตัวกลางหารด้วยอัตราการไหลของอากาศ ดังสมการที่ 2.1

$$EBRT = \frac{V_F}{Q} \quad (2.1)$$

เมื่อ EBRT = Empty Bed Residence Time (วินาที)

V_F = ปริมาตรของชั้นตัวกลาง (ลบ.ม.)

Q = อัตราการไหลของอากาศ (ลบ.ม./วินาที)

การคำนวณค่า EBRT เป็นสิ่งที่ทำได้ง่ายกว่าการหาเวลาที่อากาศอยู่ในชั้นตัวกลางตามที่เป็นจริง เพราะไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาค่าความพรุนของตัวกลางเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณด้วย อย่างไรก็ตาม EBRT สามารถแสดงถึงผลของความพรุนที่ลดลงต่อเวลากักเก็บได้เช่นกัน ทั้งนี้โดยการควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ ประกอบกับการตรวจวัดปริมาตรของตัวกลางอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถทำได้ง่ายในทางปฏิบัติโดยการวัดความสูงของตัวกลางที่ลดลงตามระยะเวลาอันเนื่องมาจากการอัดทับด้วยน้ำหนักของตัวกลางเองหรือน้ำที่ถูกเติมเข้าไป หรือตัวกลางบางส่วนที่ถูกย่อยสลายไป

ค่า EBRT ที่คำนวณได้จะมากกว่าเวลาสำหรับการบำบัดที่เกิดขึ้นจริง ทั้งนี้เพราะในปริมาตรทั้งหมดของชั้นตัวกลาง มีปริมาตรเพียงบางส่วนเท่านั้นที่เป็นช่องว่างที่อากาศสามารถไหลผ่านได้ เวลาสำหรับการเกิดกลไกต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น Absorption, Adsorption, Diffusion, Cell Uptake, Exoenzymatic Degradation จึงน้อยกว่าเวลาที่คำนวณได้ อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงก๊าซบางส่วนที่ต้องการกำจัดก็มีโอกาสตกค้างอยู่ตามช่องว่าง ทำให้เวลาสัมผัสนานขึ้น สิ่งที่จะทำให้ค่า EBRT ที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนไปมากกว่าความเป็นจริงก็คือ โพรงอากาศภายในชั้นตัวกลาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอาจเกิดจากการกระจายไม่ทั่วถึงของน้ำที่เติมลงไปเพื่อควบคุมความชื้นของตัวกลาง ทำให้ตัวกลางยุบตัวไม่เท่ากัน นอกจากนี้หากมีน้ำขังอยู่ระหว่างตัวกลางก็จะลดปริมาตรที่แท้จริงลงไปอีก ค่า EBRT ที่เหมาะสมสำหรับระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ คือ มากกว่า 120 วินาทีขึ้นไป [4]

2.5.8 วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลาง

คุณสมบัติของตัวกลางเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการทำงาน และประสิทธิภาพของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ โดยคุณสมบัติของตัวกลาง ได้แก่ ความพรุน ความสามารถในการอัดตัวความสามารถในการกักเก็บน้ำ และความสามารถในการเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์

2.5.8.1 ระบบกรองอากาศที่ใช้ตัวกลางเป็นดิน (Soil Bed)

ดินเป็นตัวกลางแรกที่ถูกนำมาใช้ในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ โดยดินร่วนจะเหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ ส่วนดินเหนียวจะเป็นดินที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ [7]

ระบบที่ใช้ดินเป็นตัวกลางสามารถใช้ในการกำจัดสารที่ก่อให้เกิดกลิ่น และสารจำพวก VOCs ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การบำบัดอากาศที่มีส่วนประกอบของ Propane พบว่าระบบ Soil Bed มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารดังกล่าวสูงถึง 92 – 98 % ที่ความเข้มข้นของ Propane เข้า 0.6 – 1 % [8]

2.5.8.2 ระบบที่ใช้ตัวกลางเป็น Compost material

Compost material เช่น ปุ๋ยหมัก เป็นตัวกลางที่นิยมใช้ในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีราคาถูก นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่ในตัวอยู่แล้ว และยังมีสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก Compost material มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี และมีความพรุนทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี แต่ Compost material มีข้อเสียคือ เป็นวัสดุที่สลายตัวได้ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนตัวกลางใหม่อยู่เสมอ [6]

2.5.8.3 ระบบที่ใช้ตัวกลางเป็นสารอนินทรีย์ และตัวกลางสังเคราะห์

สารอนินทรีย์ที่นิยมใช้เป็นตัวกลางในระบบกรองอากาศ ได้แก่ Activated carbon ระบบที่ใช้ Activated carbon จะมีข้อดีกว่าระบบที่ใช้ Compost material ในแง่ของอายุการใช้งานของตัวกลาง และมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่าทำให้สามารถลดขนาดของระบบลงได้ [6] แต่ระบบนี้ก็ยังมีข้อเสีย คือ ตัวกลางมีราคาค่อนข้างสูง และจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการกำจัดตัวดูดซับที่หมดประสิทธิภาพ เพราะการใช้ตัวดูดซับจะเป็นการดูดซับอากาศเสียเข้ามาไว้ในตัวดูดซับอากาศที่ผ่านออกจากระบบก็จะสะอาดขึ้น แต่ความเป็นพิษที่อยู่ในตัวดูดซับไม่ได้ลดลงแต่อย่างใด [9] การนำตัวกลางนี้กลับมาใช้ซ้ำอีกต้องผ่านกระบวนการรีเจนเนอเรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.8.4 ระบบที่ใช้ตัวกลางชนิดอื่น ๆ

ได้แก่ กาบมะพร้าว รากไม้ กิ่งสน หรือวัสดุธรรมชาติอื่น ๆ พบว่ากาบมะพร้าวมีความคงตัว รวมไปถึงรากไม้ที่มีความสามารถในการชอนไชลงไปในพื้นที่ดินได้ดี จึงมีความคงตัวเช่นกัน ดังนั้นทั้งกาบมะพร้าว และรากไม้จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลางในระบบกรองอากาศ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- กรมควบคุมมลพิษ [6] ศึกษากระบวนการกรองอากาศแบบชีวภาพ โดยใช้ชุดทดลองแบบ Bench-scale พบว่าวัสดุที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลาง (Bulk material) ได้แก่ กาบมะพร้าว เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาง่ายราคาถูก และค่อนข้างมีความคงตัว

- Sheridan *et al.* [12] ศึกษาอิทธิพลของตัวกลางในระบบกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายแบบชีวภาพจากอากาศที่ระบายจากฟาร์มหมู ได้มีการสร้างแบบจำลองระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ 2 แบบจำลอง ณ ฟาร์มวิจัย มหาวิทยาลัยดับบลิน ประเทศไอร์แลนด์ โดยมีการคัดเลือกเล้าหมูตัวอย่างจำนวน 2 เล้า จากจำนวนทั้งหมด 12 เล้า และทั้ง 2 เล้า จะถูกห่อหุ้มแยกจากเล้าอื่น ๆ อากาศจากทั้ง 2 เล้า จะถูกแยกบำบัดในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ 2 ระบบ โดยจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย และไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ ค่าความดันสูญเสียและการยุบตัวของตัวกลาง และขนาดของตัวกลางที่เป็นเปลือกไม้ที่มีอิทธิพลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย ระบบที่ 1 จะใช้เปลือกไม้ขนาดใหญ่กว่า 20 มิลลิเมตร ระบบที่ 2 จะใช้เปลือกไม้ขนาด 10-16 มิลลิเมตร ความชื้นภายในระบบจะถูกคงไว้ที่ $69 \pm 4\%$ Volumetric rate จะอยู่ในช่วง $769-1847 \text{ m}^3 [\text{gas}] \text{ m}^{-3} [\text{medium}] \text{ h}^{-1}$ ในระยะเวลา 63 วันขึ้นไป โดยที่ระบบที่ 1 และ 2 สามารถกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายได้ 88% และ 95% ตามลำดับ สามารถกำจัดแอมโมเนียได้ 64-92% และ 69-93% กำจัดซัลเฟอร์ได้ 9-66% และ -141-51% ตามลำดับ

- Douglas *et al.* [13] ได้ทดลองใช้วัสดุต่าง ๆ มาเป็นตัวกลางในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ และพบว่าระบบที่ใช้ ดิน ถ่านหินเลน (peat) Fiberglass Wood เป็นตัวกลาง มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารประเภท Toluene และ Benzene ได้ในช่วง 69 - 99 % และมีอัตราการบำบัดประมาณ $53 - 78 \text{ mg}/\text{min}\cdot\text{m}^3$ ตามลำดับ

- ประสาท และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาการกำจัดไอระเหยเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศโดยวิธีการกรองชีวภาพ (biofilter) พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นวัสดุตัวกลางในการรองรับเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas putida*, DMST 4075 ได้จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินที่บริเวณจุดเข้าสู่ระบบกรองแบบชีวภาพมีผลต่อปริมาณร้อยละในการกำจัดไอเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหยเบนซินดังนี้ เมื่อให้อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่อหกรณ์ชีวภาพคงที่ที่ 220 cc/min (residence time 5.552 วินาที) และให้ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินเข้าหกรณ์ลดลงจาก 100 ppm เป็น 50 ppm พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 20% เป็น 35% นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการไหลของอากาศเข้าหกรณ์ (หรือ residence time) ที่ต่างกันจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินดังนี้ คือ เมื่อลดอัตราการไหลของอากาศเข้าหกรณ์จาก 220 cc/min มาเป็น 26 cc/min (หรือ residence time เพิ่มจาก 5.552 วินาที เป็น 46.977 วินาที) โดยให้ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินเข้า 2 หกรณ์เท่ากัน คือ 50 ppm พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินออกจากอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 35% เป็น 99% ดังนั้น สำหรับการกำจัดไอระเหยเบนซินด้วยวิธีการกรองชีวภาพนั้น อัตราการไหลของอากาศเข้าหกรณ์ (หรือ residence time) จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินมากกว่าปัจจัยอื่นเนื่องมาจากความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินเข้าหกรณ์ชีวภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

สารเคมี

- | | | | |
|-------------------------------|-----------|----------|-------------------|
| 1. เบนซีน (Benzene) | 99.7 %V/V | AR Grade | บริษัท Lab scan |
| 2. โทลูอิน (Toluene) | 99.5 %V/V | AR Grade | บริษัท Lab scan |
| 3. เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) | 98.0 %V/V | AR Grade | บริษัท Fluka |
| 4. ไซลีน (Total Xylene) | 98.5 %V/V | AR Grade | บริษัท Carlo erba |

อุปกรณ์

1. ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ
2. กระดาษวัด pH
3. Thermometer สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในระบบ
4. ไม้บรรทัด
5. ขวดเก็บตัวอย่างอากาศ
6. Tedlar bags สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศ
7. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) รุ่น GC 6890N Network มีตัววัดสัญญาณเป็น Mass Selective Detector (MS) รุ่น Mass 5973N บริษัท Agilent Technologies ประเทศ USA
8. ปืนอากาศ
9. อุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับการทดลอง

ตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง

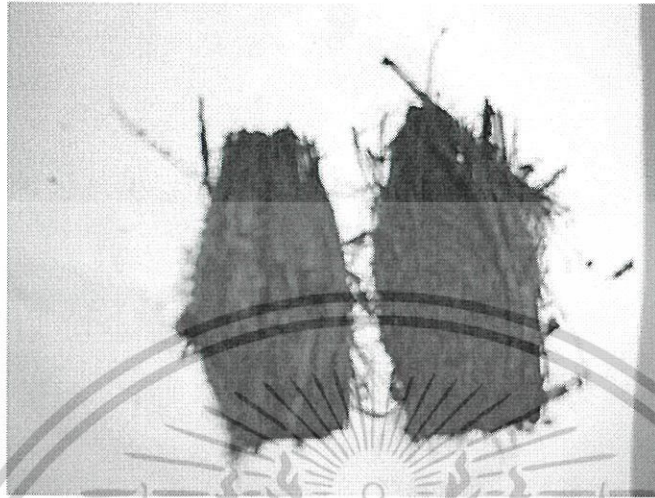
1. กาบมะพร้าว ขนาด 1-5 เซนติเมตร (รูปที่ 3.1)
2. เศษรากไม้ ขนาด 5 มิลลิเมตรขึ้นไป (รูปที่ 3.2)

เชื้อแบคทีเรีย

1. Bacteria plus (EM)

62144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กาบมะพร้าวขนาด 1 – 5 เซนติเมตร



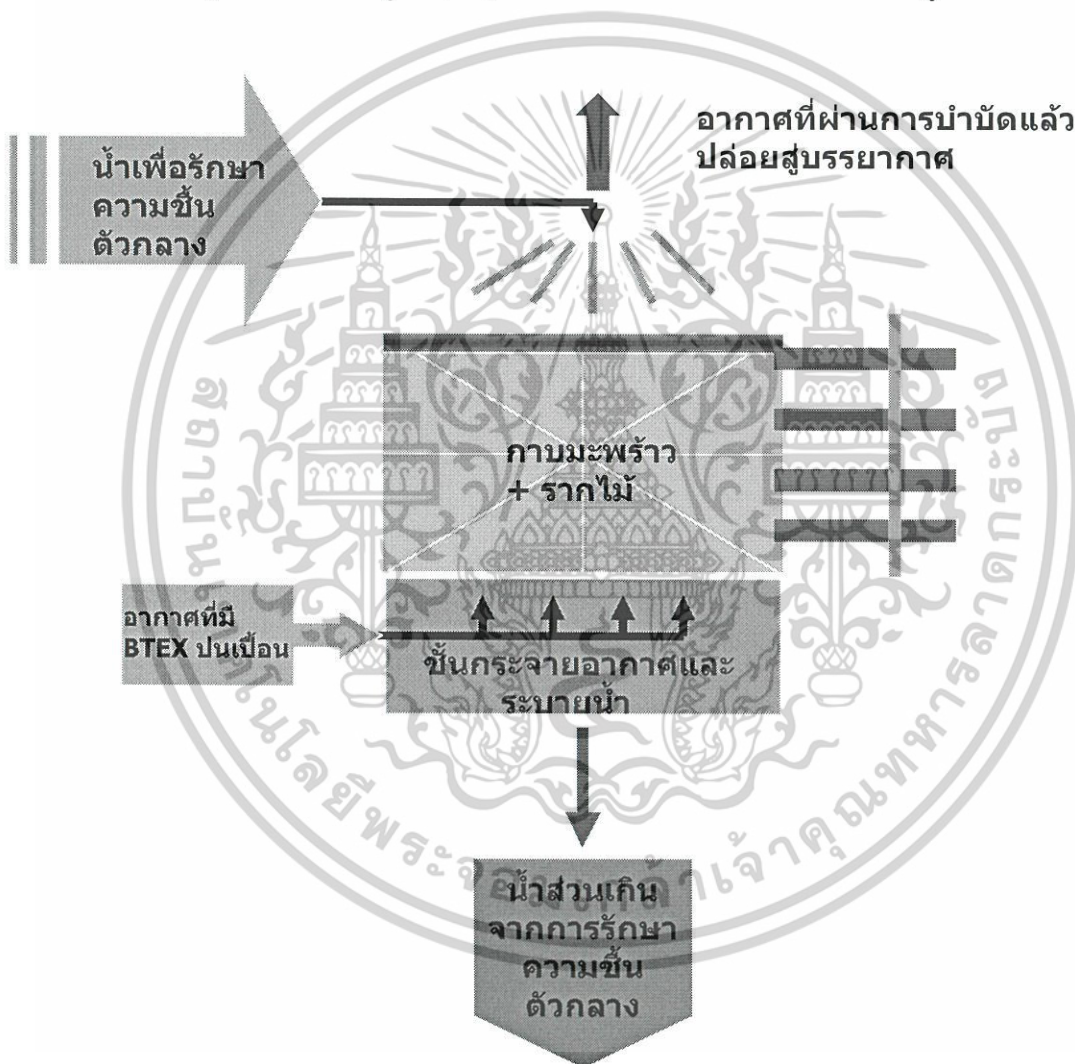
รูปที่ 3.2 เศษรากไม้ที่มีขนาด 5 มิลลิเมตรขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.2.1 การสร้างแบบจำลองของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพจะทำจากท่อ PVC ทรงกระบอกสูง 2 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร มีพื้นตะแกรงสำหรับรองรับตัวกลางสูงจากด้านล่างขึ้นมา 0.50 เมตร โดยตะแกรงจะมีรูขนาด 0.5 เซนติเมตร จากนั้นบรรจุตัวกลางสูง 1.20 เมตร ด้านข้างของระบบจะมีรู และที่เก็บตัวอย่างจำนวน 4 รู ที่ระดับความสูง 15, 45, 78 และ 105 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 แบบจำลองของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

ระบบที่ 1 จะใช้เปลือกไม้ และรากไม้อย่างละ 50% มาผสมรวมกันเป็นตัวกลาง และอากาศไหลผ่านเข้าทางด้านล่างของระบบ (up-flow system) จะมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (EM) เข้าไปให้กับระบบ 1% ต่อปริมาณน้ำที่ต้องเติมเข้าไป 99% ปริมาตรรวมของเชื้อแบคทีเรีย และน้ำที่เติมลงไปเท่ากับ 7.5 ลิตร

ระบบที่ 2 จะใช้เปลือกไม้ และรากไม้อย่างละ 50% มาผสมรวมกันเป็นตัวกลาง และอากาศไหลผ่านเข้าทางด้านล่างของระบบ (up-flow system) และแฉ่น้ำ 7.5 ลิตร ทั้งไว้เป็นเวลา 1 คืน

3.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

1.) การเตรียมสารละลาย BTEX

1. บีเปต Benzene 99.7 %V/V (ความหนาแน่น 0.879 g/ml) 10 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลาย Benzene เข้มข้น 8,760 ppm

2. บีเปต Toluene 99.5 %V/V (ความหนาแน่น 0.867 g/ml) 10 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลาย Toluene เข้มข้น 8,630 ppm

3. บีเปต Ethylbenzene 98 %V/V (ความหนาแน่น 0.867 g/ml) 10 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลาย Ethylbenzene เข้มข้น 8,500 ppm

4. บีเปต Xylene 98.5 %V/V (ความหนาแน่น 0.867 g/ml) 10 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตรจะได้สารละลาย Xylene เข้มข้น 8,540 ppm

5. นำสารละลายมาผสมรวมกัน แล้วเก็บสารละลาย BTEX บรรจุลงในขวดแก้วสีชาขนาด 2500 ml เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2.) การเตรียมตัวกลางที่ใช้ในระบบ

- คัดกากมะพร้าวที่มีขนาดประมาณ 1-5 เซนติเมตร และรากไม้ขนาด 5 มิลลิเมตรขึ้นไป ผสมรวมกันอย่างละ 50% by volume บรรจุลงในระบบ จะบรรจุกากมะพร้าว และรากไม้ที่บรรจุในระบบ (มีอัตราส่วน 1: 1 เท่ากับ 0.663 กิโลกรัม และ 2.475 กิโลกรัม ตามลำดับ) โดยระบบที่ 1 มีการเติมจุลินทรีย์ (EM) ลงไป 1% ต่อปริมาณน้ำที่ต้องเติมเข้าไป 99% ส่วนระบบที่ 2 ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ (EM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วิธีการทดลอง

1.) นำสารละลาย BTEX ที่เตรียมไว้ในขวดสีชาขนาด 2500 ml ที่ปิดด้วยจุกยาง มีท่อนำก๊าซจำนวน 2 ท่อ ปลายท่อด้านหนึ่งต่อกับปั๊ม ส่วนอีกด้านต่อกับระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ (ดังรูปที่ 3.4)

2.) ให้อากาศไหลในอัตราการไหล 4.3 ลิตร/นาที

3.) ให้ความชื้นกับระบบทุก 2 วัน โดยเติมน้ำกลั่น 2.5 ลิตร ลงบนส่วนบนของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

4.) เก็บตัวอย่างอากาศเพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ BTEX ด้วยเครื่อง GC-MS โดยเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้ Tedlar bag โดยเก็บตัวอย่างอากาศก่อนเข้าระบบ และหลังจากผ่านระบบแล้ว ทุกวันที่ 7, 14, 21, 28, 35, 42, และ 49 ตามลำดับ

5.) ตรวจสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำงานของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

1. พีเอช (pH)

ใช้กระดาษวัดพีเอช วัดพีเอชจากน้ำชะของระบบ โดยใช้กระดาษวัด pH จุ่มลงบนน้ำชะจากระบบ ทำการวัดทุก ๆ 2 วัน

2. การวัดอุณหภูมิ

โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของตัวกลางในระบบที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตร ที่งไว้เป็นเวลา 5 นาที แล้วทำการบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้

3. การวัดความชื้น

1. ใช้ forcep คีบเอาตัวอย่างของตัวกลางที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตร ออกมา ประมาณ 10-15 กรัม

2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างของตัวกลางจากทั้ง 2 ระบบ

3. นำตัวกลางไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในเดสซิเคเตอร์

5. นำตัวกลางมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

6. คำนวณหาค่าความชื้นจากสมการ (3.1)

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักเปียกของตัวกลาง} - \text{น้ำหนักแห้งของตัวกลาง}}{\text{น้ำหนักเปียกของตัวกลาง}} \times 100 \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวัดค่าความดันสูญเสียบของระบบ

1. นำสายยางความยาว 3 เมตร มาโค้งเป็นรูปตัวยู
2. บรรจุน้ำลงไปในสายยางจนมีระดับน้ำสูง 1 เมตร
3. ต่อสายยางเข้ากับระบบกรองอากาศแบบชีวภาพที่ระดับความสูง 1.2 เมตร
4. จดบันทึกที่ระดับความสูงของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปทุก ๆ 1 วัน

5. การวัดความสูงของตัวกลางในระบบ เพื่อวัดอัตราการย่อยสลายของตัวกลางกรอง

- ใช้ไม้บรรทัดวัดความสูงของตัวกลางในระบบทุก ๆ 2 วัน

6. การวัดอัตราการไหลของอากาศ ใช้หลักการแทนที่น้ำของอากาศ โดย

1. นำกระบอกตวงปริมาตร 1 ลิตร เติมน้ำให้เต็ม
2. นำกระบอกตวงที่มีน้ำอยู่เต็มคว่ำลงในภาชนะที่มีน้ำบรรจุอยู่
3. นำสายยางที่เชื่อมต่อกับบีบสอดเข้าไปในกระบอกตวงที่คว่ำอยู่ในภาชนะ
4. วัดปริมาตรของอากาศที่แทนที่น้ำในเวลา 1 นาที

7. การวัดปริมาณเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน ทั้งก่อนเข้าระบบ

และหลังผ่านออกจากระบบแล้ว โดยใช้เทคนิค GC-MS

โดยตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊ส BTEX เริ่มต้นและหลังจากที่ผ่านการบำบัดจากระบบแล้ว โดยสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมีดังนี้

สารละลายมาตรฐาน BTEX และสารละลาย BTEX ที่สกัดได้ ถูกนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatograph) รุ่น GC 6890N Network ที่มีตัววัดสัญญาณคือ Mass Spectrophotometer (MS) รุ่น Mass 5973N (Agilent Technologies, USA) ใช้คอลัมน์ PLOT-Q (Agilent Technologies, USA) ที่มีเฟสคงที่คือ (5%-phenyl) methyl poly siloxane ขนาดความยาวของคอลัมน์เท่ากับ 30 m มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.32 mm ฟิล์มมีความหนาเท่ากับ 20 μm โดยตั้งอุณหภูมิของเครื่องดังนี้ อุณหภูมิของ Injector เท่ากับ 220 °C เลือก Mode Splitless แก๊สพาที่ใช้คือ แก๊สฮีเลียม ส่วนอุณหภูมิของ Oven ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิดังนี้คือ อุณหภูมิเริ่มต้น 33 °C นาน 5 นาที เพิ่มอุณหภูมิขึ้นในอัตรา 10 °C/min จนถึง 200 °C ส่วน MS Detector แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ MS Quad เป็น 150 °C และ MS Source เป็น 230 °C ทำการ scan Mass ในช่วง 10.0-340.0 amu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การนับจำนวนจุลินทรีย์ โดยใช้วิธี Dilution Plate Count

วิธีปฏิบัติ

1. เก็บตัวอย่างกามมะพร้าว และรากไม้จากระกรงอากาศแบบชีวภาพที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตร
2. ชั่งกามมะพร้าว และรากไม้ที่ได้จากข้อ 1. 11 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 99 มล. จะได้สารละลายที่มีความเจือจาง 1 : 10 คนให้เข้ากันดี
3. ใช้ปิเปตดูดสารละลายที่ทำการเจือจาง 1 : 10 เพื่อทำการเจือจาง $1:10^3$, $1:10^4$, $1:10^5$ เท่า ตามลำดับ โดยปฏิบัติดังนี้
 - 3.1 ดูดสารละลายที่มีความเจือจาง 1 : 10 จำนวน 1 มล. ใส่ลงในน้ำกลั่น 99 มล. จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^3$ เขย่าให้เข้ากันดี
 - 3.2 ดูดสารละลายที่มีความเจือจาง 1 : 10 จำนวน 11 มล. ใส่ลงในน้ำกลั่น 99 มล. จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^4$ เขย่าให้เข้ากันดี
 - 3.3 ดูดสารละลายที่มีความเจือจาง 1 : 10 จำนวน 11 มล. ใส่ลงในน้ำกลั่น 99 มล. จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^5$ เขย่าให้เข้ากันดี

การนับจำนวนเชื้อ โดยวิธี Dilution Plate Count

1. หลอมอาหารเลี้ยงเชื้อ tryptone glucose yeast extract agar (TGY) แล้วทิ้งไว้ให้เย็นลง
2. ดูดสารละลายที่มีความเจือจาง $1:10^3$, $1:10^4$ และ $1:10^5$ ความเจือจางละ 1 มล. ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ความเจือจางละ 2 จาน
3. เทอาหารจาก ข้อ 1. ลงในจานเพาะเชื้อทั้งหมดใน ข้อ 2. แล้วหมุนจานตามเข็มนาฬิกา 5 รอบ ทวนเข็มนาฬิกา 5 รอบ และเคลื่อนจานไปซ้าย และขวา อีก 5 ครั้ง เพื่อให้สารละลายกระจายทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อ วางไว้ที่อุณหภูมิเย็นและอุ่นแข็งตัว
4. นำไปบ่มโดยการกลับด้านล่างจานเพาะเชื้อไว้ข้างบน ที่อุณหภูมิ 30°C นาน 7 วัน
5. การนับจำนวนโคโลนี เลือกชุดจานเพาะเชื้อที่มีความเจือจางที่มีจำนวนโคโลนีเจริญอยู่ประมาณ 30-300 โคโลนี
6. คำนวณจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่างวัสดุ 1 กรัม หรือ 1 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน โดยใช้ระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงในระบบ และระบบที่ไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งการศึกษานี้เป็นการศึกษาในระดับเบื้องต้น ปัจจัยที่ทำการศึกษามีดังนี้

1. สภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด BTEX อันได้แก่
 1. ปริมาณของจุลินทรีย์บนตัวกลางกรอง
 2. ค่าพีเอช
 3. อุณหภูมิในระบบ
 4. ความชื้นในระบบ
 5. ค่าความดันสูญเสีย
 6. การยวบตัวของตัวกลาง
 7. อัตราการไหลของอากาศเข้าและออกจากระบบ
2. ประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX ของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ
ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาสภาวะในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

1. การนับจำนวนจุลินทรีย์

นำตัวกลางกรองจากทั้ง 2 ระบบ ใส่ลงในน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน แล้วใช้ปิเปตดูดสารละลาย ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ วางทิ้งไว้จนอาหารเย็นและอุ่นแห้งตัว จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน นับจำนวน โคโลนีที่มีความเจือจาง $1:10^4$

ระบบที่ 1 ที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ นับแบคทีเรียได้ = 2.24×10^6 โคโลนี

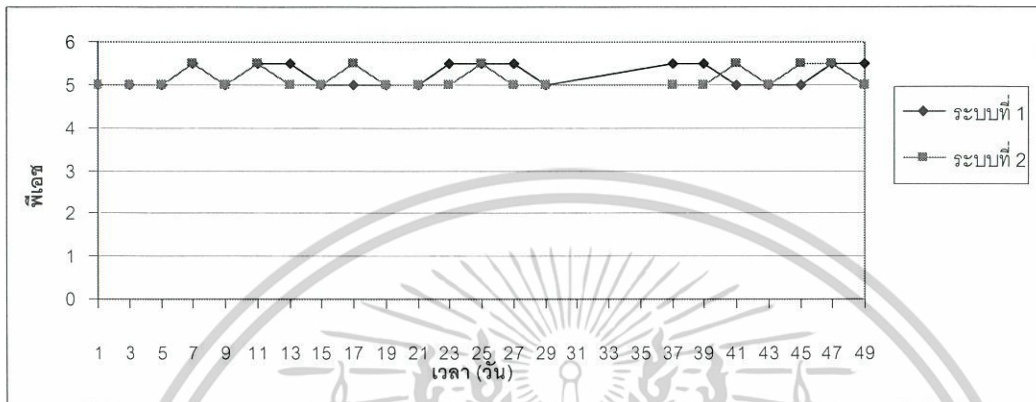
ระบบที่ 2 ที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ นับแบคทีเรียได้ = 9.7×10^5 โคโลนี

จากการตรวจนับปริมาณจุลินทรีย์พบว่าระบบที่ 1 มีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่าระบบที่ 2 เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้บนกาบมะพร้าว และเสขราคไม้ ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน จึงควรเติมอาหารเลี้ยงเชื้อเพิ่มในระบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าพีเอช (pH)

ใช้กระดาษวัดพีเอช ในการตรวจวัดค่าพีเอชจากน้ำชะของระบบ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1

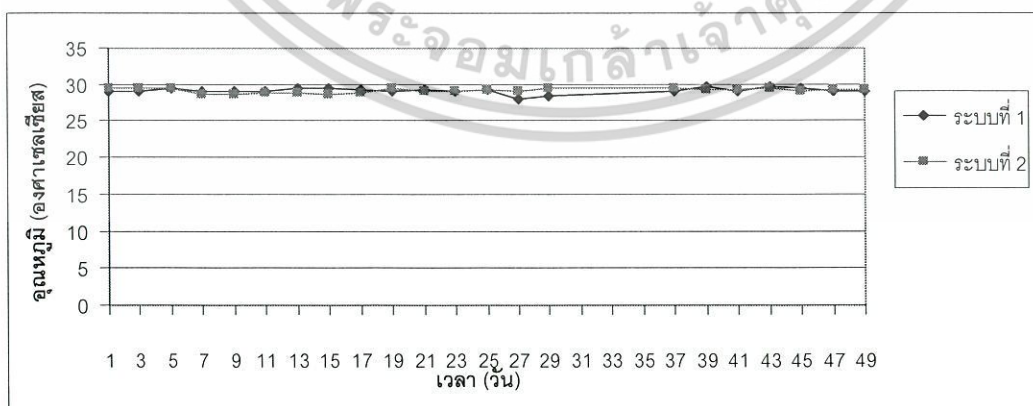


รูปที่ 4.1 ค่าพีเอชของน้ำชะจากระบบกรองอากาศแบบชีวภาพทั้ง 2 ระบบ

จากรูปที่ 4.1 (ตารางที่ ก-1 ภาคผนวก ก) พบว่าค่าพีเอชที่ได้จากน้ำชะจากทั้ง 2 ระบบ มีค่าใกล้เคียงกัน และค่าพีเอชที่ได้อยู่ในช่วงพีเอช 5-6 ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

3. อุณหภูมิ

ใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการวัดอุณหภูมิภายในระบบ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2



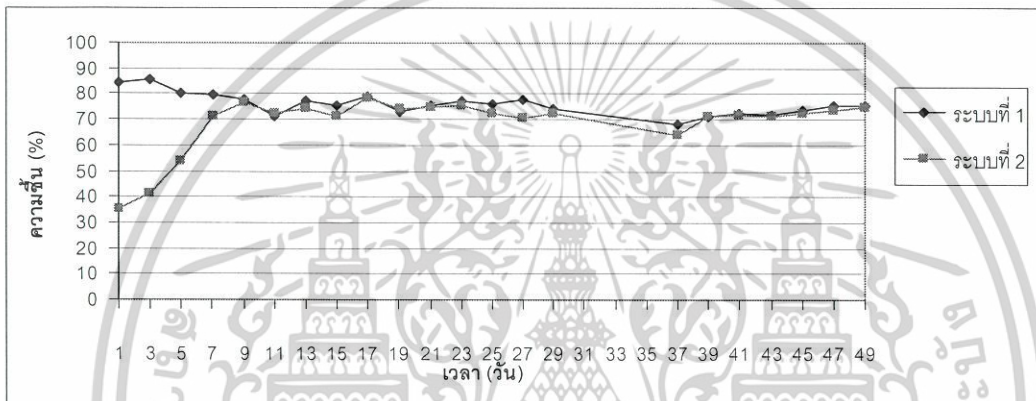
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิภายในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพทั้ง 2 ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 (ตารางที่ ก-2 ภาคผนวก ก) พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้จากภายในระบบทั้งสองจะอยู่ในช่วง 28-30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

4. ความชื้น

วัดความชื้นโดยนำตัวอย่างของตัวกลางมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จากนั้นคำนวณหาค่าความชื้นผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3



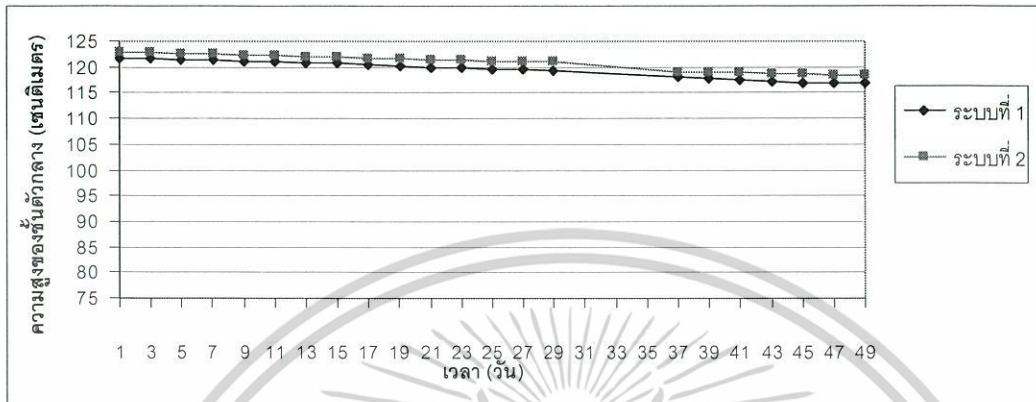
รูปที่ 4.3 ความชื้นของตัวกลางในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพทั้ง 2 ระบบ

จากรูปที่ 4.3 (ตารางที่ ก-3 ภาคผนวก ก) พบว่าความชื้นของตัวกลางในระบบที่ 1 ค่อนข้างสูงตั้งแต่ตอนเริ่มเดินระบบ เนื่องจากระบบที่ 1 ตัวกลางได้ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 1 อาทิตย์ ซึ่งทำให้ตัวกลางดูดซับน้ำเข้าไปจนอยู่ในสภาวะที่อิ่มตัว ส่วนระบบที่ 2 ในระยะแรก ความชื้นของตัวกลางค่อนข้างต่ำเนื่องจากตัวกลางผ่านการแช่น้ำเป็นระยะเวลาเพียง 1 คืน ตัวกลางจึงไม่สามารถดูดซับน้ำได้ดีเท่าระบบที่ 1 แต่เมื่อมีการเติมน้ำเข้าไปให้กับระบบเป็นเวลา 1 อาทิตย์ ตัวกลางจะมีความชื้นใกล้เคียงกับระบบที่ 1 อย่างไรก็ตาม ควรแช่ตัวกลางกรองของระบบที่ 2 ในน้ำเป็นเวลา 1 อาทิตย์เท่ากับระบบที่ 1 เพื่อให้ระบบที่ 2 เป็นตัวควบคุม

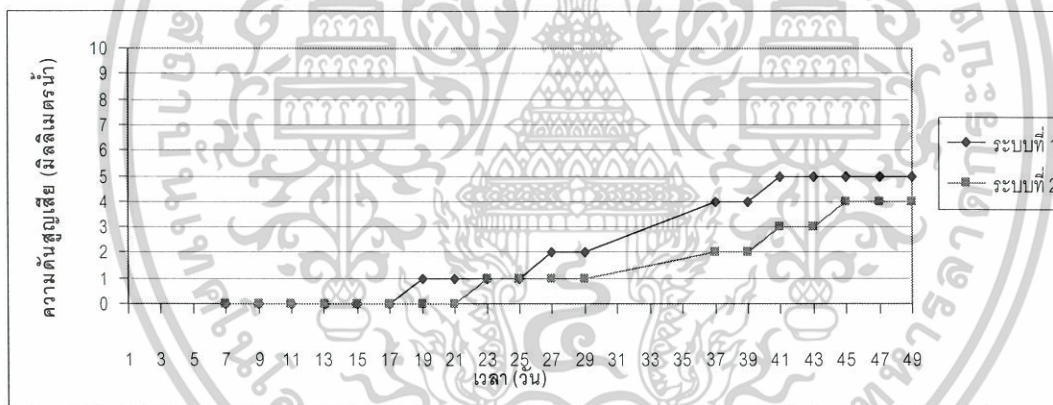
ค่าความชื้นเฉลี่ยทั้ง 2 ระบบเท่ากับ 76.1 % และ 68.9 % สำหรับระบบที่ 1 และระบบที่ 2 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Webster *et al.* 1997 [10] คือ ระดับความชื้นของตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์จะต้องมากกว่า 50 % ขึ้นไป ดังนั้นกาบมะพร้าว และเศษรากไม้ สามารถเก็บรักษาความชื้นได้ดี จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นตัวกลางในระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การยุบตัวของตัวกลางที่มีผลต่อความดันสูญเสียของระบบ



รูปที่ 4.4 การยุบตัวของตัวกลางในระบบที่ 1 และระบบที่ 2



รูปที่ 4.5 ความดันสูญเสียของระบบที่ 1 และระบบที่ 2

รูป 4.4 (ตารางที่ ก-4 ภาคผนวก ก) และรูปที่ 4.5 (ตารางที่ ก-5 ภาคผนวก ก) แสดงการยุบตัวของตัวกลาง และความดันสูญเสียของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพทั้ง 2 ระบบตามลำดับ พบว่าการยุบตัวของตัวกลางจะสอดคล้องกับความดันสูญเสียในระบบ

กล่าวคือ การยุบตัวของตัวกลางเพิ่มขึ้นจะทำให้ความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่า การยุบตัวของชั้นตัวกลางจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ส่วนความดันสูญเสีย ในช่วง 17 วันแรกของระบบที่ 1 และ 21 วันของระบบที่ 2 จะไม่มีความดันสูญเสีย หลังจากนั้นความดันสูญเสีย จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยระบบที่ 1 จะมีความดันสูญเสียสูงกว่าระบบที่ 2 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระบบที่ 1 แ่น้ำก่อนเดินระบบนานกว่าระบบที่ 2 ทำให้ตัวกลางกรองอิมตัวด้วยน้ำมากกว่าในระบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

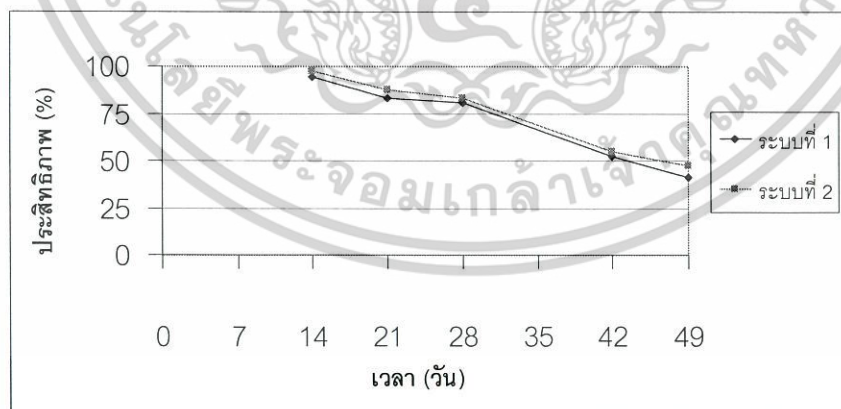
6. อัตราการไหลของอากาศ

การวัดอัตราการไหลของป้อนที่ใช้ในการผ่านอากาศเข้าไปในระบบ เพื่อคำนวณหาเวลาที่กักพักในระบบ ถ้ามีเวลาที่กักพักน้อยเกินไประบบก็จะไม่สามารถบำบัดสาร BTEX ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองกำหนดให้อัตราการไหลเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 4.3 ลิตร/นาที่ ซึ่งทำให้เวลาที่กักพักของอากาศในระบบเท่ากับ 4.9 นาที ซึ่งมากกว่า 120 วินาที [4] จึงเพียงพอที่จะทำให้จุลินทรีย์ในตัวกลางของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพบำบัดได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Riyad *et al.*, 1996 [15] ที่มีค่า EBRT อยู่ในช่วง 2.6 ถึง 5.1 นาที

4.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน ระหว่างระบบที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ และระบบที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน ระหว่างระบบที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ และระบบที่ไม่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ ทำการทดลองโดยการป้อนอากาศที่มี BTEX จาก stock solution ผ่านเข้าไปในระบบ

เก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้ Tedlar bag จากนั้นทำการตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊ส BTEX เริ่มต้น และหลังจากที่ผ่านการบำบัดจากระบบแล้ว โดยใช้เทคนิค GC-MS เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของระบบทั้งสอง ปริมาณสาร BTEX ตรวจวิเคราะห์โดยการวัดพื้นที่ใต้กราฟของ chromatogram ที่วิเคราะห์ได้เทียบกับกราฟของ BTEX standard (รูป ๑ ภาคผนวก ๑)



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการบำบัด BTEX ของทั้ง 2 ระบบ

จากรูปที่ 4.6 (ตารางที่ ๑ ภาคผนวก ๑) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด BTEX ของระบบที่ 1 และ ระบบที่ 2 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการเติมจุลินทรีย์เข้าไปให้กับระบบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ระบบที่ 1) ไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ใน EM ที่เติมเข้าไปในระบบไม่สามารถเจริญเติบโตบนตัวกลางกรองได้ เนื่องจากขาดสารอาหาร หรือจุลินทรีย์ยังอยู่ในระยะการปรับตัว (acclimatization) พบว่าในบางครั้งจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาในการปรับตัว (acclimation) ประมาณ 3-5 เดือนจึงจะมีความจำเพาะเจาะจงในการบำบัดสาร BTEX [2] ดังนั้นจากผลการทดลองประสิทธิภาพของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ อาจเกิดจากกระบวนการดูดซับ (adsorption) ของตัวกลางกรองเพียงอย่างเดียว ไม่ได้เกิดจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพที่ได้ของทั้ง 2 ระบบในระยะแรก (0-28 วัน) ที่มีประสิทธิภาพประมาณ 80.7-97.7% แต่เมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพจะลดลง เนื่องจากความสามารถในการดูดซับของตัวกลางลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน โดยใช้ระบบการกรองอากาศแบบชีวภาพ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ลงในระบบ และระบบที่ไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ โดยการศึกษาเป็นการศึกษาในระดับเบื้องต้น โดยแบ่งการศึกษออกเป็น 2 ตอน คือ 1) ศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการบำบัดสาร BTEX และ 2) ประสิทธิภาพในการกำจัด BTEX ของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้คือ

การศึกษาสภาวะต่าง ๆ ในระหว่างที่มีการเดินระบบทั้ง 2 ในระยะเวลา 49 วัน พบว่าพีเอชที่ผ่านระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ มี pH อยู่ระหว่าง 5-6, อุณหภูมิของระบบอยู่ระหว่าง 28-30°C ความชื้นของตัวกลางประมาณ 70% มีการยุบตัวเพียงเล็กน้อย สรุปได้ว่ากามมะพร้าว และเศษรากไม้ สามารถใช้เป็นตัวกลางกรองอากาศแบบชีวภาพได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเชื้อ จุลินทรีย์ (EM) ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีบนตัวกลางกรองดังกล่าว เนื่องจากกามมะพร้าว และเศษรากไม้ ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ค่อนข้างยาก ดังนั้นตัวกลางดังกล่าวจึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวยึดเกาะของจุลินทรีย์ จากผลประสิทธิภาพการกำจัด BTEX โดยใช้ระบบตัวกลางกรองแบบชีวภาพ พบว่าสามารถกำจัด BTEX ได้ประมาณ 80.7-97.7 % ที่เวลา 28 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากจำนวนจุลินทรีย์ของระบบที่ 1 ที่มีการเติมจุลินทรีย์ (EM) และระบบที่ 2 ที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ มีจำนวนใกล้เคียงกัน ดังนั้นการกำจัด BTEX น่าจะเกิดจากการดูดซับบนตัวกรองเพียงอย่างเดียว เมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัด BTEX ลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มระยะเวลาในการศึกษา เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในตัวกลางของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพจะต้องใช้เวลาในการปรับตัว ประมาณ 90-120 วันขึ้นไปจึงจะสามารถกำจัดสารปนเปื้อนในอากาศที่ต้องการบำบัดได้ การทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการทดลองเพียง 49 วันจึงไม่เพียงพอต่อการปรับตัวของจุลินทรีย์ในการกำจัด BTEX โดยใช้ตัวกรองอากาศแบบชีวภาพ ดังนั้นจึงควรเพิ่มระยะเวลาในการทดลองให้นานขึ้น

2. ควรเติมสารอาหารลงในตัวกรอง เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญได้บนตัวกรอง
3. ควรมีการวิเคราะห์ว่าเชื้อจุลินทรีย์ในตัวกลางกรองเป็นจุลินทรีย์ชนิดใด



เอกสารอ้างอิง

- [1] Dean BJ.1985. Recent Findings on the Genetic Toxicology of Benzene, Toluene, Xylenes and Phenols. **Biochemical Engineering Journal**.10(3) : 153-181.
- [2] Devinny JS, Deshusses AM and Webster TS. 1999. **Biofiltration for air pollution control**. 4th ed.New York : Churchill Livingstone.
- [3] Bohn HL. 1985. Bioprocessing of Organic Gases in Water Air. **Bioresource Technology**. 85:43-49.
- [4] ประสงค์ คุณานุกัณณ์ชัยเดช และ โมตรี สุทธิจิตต์. 2544. **พิษวิทยาสาร** ปีที่ 11 ฉบับที่ 4 พ.ศ. 2544
- [5] Christensen, J. S. and Elton, J. 1996. **Soil and Groundwater pollution from BTEX**. [Online]. Available:http://www.cee.vt.edu/program_areas/environmental/teach/gwprimer/btex/3. (Access date : July 20, 2004)
- [6] กรมควบคุมมลพิษ. 2544. **ระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพ**
- [7] Carlson, D.A. and C.P. Leiser.1966. Soil Beds for the Control of Sewage Odors. **Journal of the Water Pollution Control Association**. 38 : 829-840.
- [8] Ebinger, M.H. ,Bohn H.L. and Puls R.W. 1988. Propane removal from propane-air mixtures by soil beds. **Journal of the Air Pollution Control Association**. 37(12):1486-1489.
- [9] Devinny JS, Medina JS, Hodge DS. 1991. Bench Testing of Fuel Vapor Treatment by Biofiltration. **Environmental Science and Technology**. 1(13) : 351-383
- [10] Webster T.S. and Weatherley L.R. 1997. Microbial ecosystem in compost and granular activated carbon biofilters. **Process Biochemistry**. 38 : 175-186.
- [11] Lith, Van C. 1990. **Environmental Organic Chemistry**. New York: John wiley & sons,inc.
- [12] Sheridan and Curran T. P. 2000. Assessment of the influence of media particle size on the biofiltration of odorous exhaust ventilation air from a piggery facility. **Journal of Agricultural Engineering Research**. 22(37) : 282-286.
- [13] Douglas F. , Michelena G. , Auria R. and Revah S.. 1991. Biofiltration of volatile ethanol using sugar cane bagasse inoculated with *Candida utilis*. **Journal of Biotechnology** 46 : 167-174.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] ประสาท โปธิ์นึมแดง, สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม และอาทิตย์ รังษีสันติวานนท์. 2547. การกำจัดเบนซีนโดยกระบวนการไบโอฟิลเตรชัน. ปรียญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [15] Abumaizar Riyadh J. and Smith Edward. 1996. Biofiltration of BTEX contaminated air streams using compost-activated carbon filter media. **Journal of hazardous materials**. 60: 111-126.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-1 ค่าพีเอชของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

| วันที่ | pH | |
|--------|-----------|-----------|
| | ระบบที่ 1 | ระบบที่ 2 |
| 1 | 5 | 5 |
| 3 | 5 | 5 |
| 5 | 5 | 5 |
| 7 | 5.5 | 5.5 |
| 9 | 5 | 5 |
| 11 | 5.5 | 5.5 |
| 13 | 5.5 | 5 |
| 15 | 5 | 5 |
| 17 | 5 | 5.5 |
| 19 | 5 | 5 |
| 21 | 5 | 5 |
| 23 | 5.5 | 5 |
| 25 | 5.5 | 5.5 |
| 27 | 5.5 | 5 |
| 29 | 5 | 5 |
| 31 | - | - |
| 33 | - | - |
| 35 | - | - |
| 37 | 5.5 | 5 |
| 39 | 5.5 | 5 |
| 41 | 5 | 5.5 |
| 43 | 5 | 5 |
| 45 | 5 | 5.5 |
| 47 | 5.5 | 5.5 |
| 49 | 5.5 | 5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-2 อุณหภูมิของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

| วันที่ | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | |
|--------|-------------------------|-----------|
| | ระบบที่ 1 | ระบบที่ 2 |
| 1 | 29 | 29.5 |
| 3 | 29 | 29.5 |
| 5 | 29.5 | 29.5 |
| 7 | 29 | 28.7 |
| 9 | 29 | 28.7 |
| 11 | 29 | 28.8 |
| 13 | 29.5 | 28.9 |
| 15 | 29.5 | 28.7 |
| 17 | 29.4 | 28.9 |
| 19 | 29 | 29.5 |
| 21 | 29.3 | 29.1 |
| 23 | 29.1 | 29 |
| 25 | 29.4 | 29.3 |
| 27 | 28 | 29 |
| 29 | 28.5 | 29.5 |
| 31 | - | - |
| 33 | - | - |
| 35 | - | - |
| 37 | 29 | 29.5 |
| 39 | 29.7 | 29.3 |
| 41 | 29.2 | 29.4 |
| 43 | 29.8 | 29.6 |
| 45 | 29.5 | 29.1 |
| 47 | 29 | 29.3 |
| 49 | 29.1 | 29.4 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-3 ความชื้นของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

| วันที่ | ความชื้น (%) | |
|--------|--------------|-----------|
| | ระบบที่ 1 | ระบบที่ 2 |
| 1 | 84.7 | 35.5 |
| 3 | 85.8 | 41.22 |
| 5 | 80.5 | 54.1 |
| 7 | 79.5 | 71 |
| 9 | 77.7 | 76.7 |
| 11 | 71.5 | 72.5 |
| 13 | 77.5 | 74.5 |
| 15 | 75.5 | 71.5 |
| 17 | 79 | 78.2 |
| 19 | 73.2 | 74 |
| 21 | 75.3 | 75 |
| 23 | 77.0 | 75.6 |
| 25 | 76.3 | 72.5 |
| 27 | 77.9 | 70.5 |
| 29 | 74.5 | 72.3 |
| 31 | - | - |
| 33 | - | - |
| 35 | - | - |
| 37 | 68.5 | 64.3 |
| 39 | 71.5 | 71 |
| 41 | 72.5 | 72 |
| 43 | 71.7 | 71.5 |
| 45 | 73.5 | 72.5 |
| 47 | 75.7 | 73.7 |
| 49 | 75.5 | 75 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-4 การยุบตัวของค้ำกลางของระบบกรองอากาศแบบชีวะภาพ

| วันที่ | ความสูงของระบบ (เซนติเมตร) | |
|--------|----------------------------|-----------|
| | ระบบที่ 1 | ระบบที่ 2 |
| 1 | 111.7 | 112.8 |
| 3 | 111.6 | 112.5 |
| 5 | 111.5 | 112.3 |
| 7 | 111.3 | 112 |
| 9 | 111.1 | 111.7 |
| 11 | 111 | 111.5 |
| 13 | 110.9 | 111.3 |
| 15 | 110.7 | 111.1 |
| 17 | 110.4 | 110.9 |
| 19 | 110.2 | 110.6 |
| 21 | 110 | 110.4 |
| 23 | 109.8 | 110.1 |
| 25 | 109.7 | 110 |
| 27 | 109.6 | 109.9 |
| 29 | 109.3 | 109.7 |
| 31 | - | - |
| 33 | - | - |
| 35 | - | - |
| 37 | 108.5 | 109.0 |
| 39 | 117.7 | 119 |
| 41 | 117.5 | 119 |
| 43 | 117.3 | 118.8 |
| 45 | 117 | 118.6 |
| 47 | 116.9 | 118.5 |
| 49 | 116.8 | 118.3 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-5 ความดันสูญเสียของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

| วันที่ | ความดันสูญเสีย (มิลลิเมตรน้ำ) | |
|--------|-------------------------------|-----------|
| | ระบบที่ 1 | ระบบที่ 2 |
| 7 | 0 | 0 |
| 9 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 0 |
| 19 | 1 | 0 |
| 21 | 1 | 0 |
| 23 | 1 | 1 |
| 25 | 1 | 1 |
| 27 | 2 | 1 |
| 29 | 2 | 1 |
| 31 | - | - |
| 33 | - | - |
| 35 | - | - |
| 37 | 4 | 2 |
| 39 | 4 | 2 |
| 41 | 5 | 3 |
| 43 | 5 | 3 |
| 45 | 5 | 4 |
| 47 | 5 | 4 |
| 49 | 5 | 4 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-6 ประสิทธิภาพในการบำบัด BTEX ของระบบกรองอากาศแบบชีวภาพ

| วันที่ | ประสิทธิภาพของระบบ (%) | |
|--------|------------------------|-----------|
| | ระบบที่ 1 | ระบบที่ 2 |
| 0 | - | - |
| 7 | - | - |
| 14 | 94.7 | 97.7 |
| 21 | 83.4 | 87.6 |
| 28 | 80.7 | 84.3 |
| 35 | - | - |
| 42 | 52.7 | 54.7 |
| 49 | 41.5 | 47.8 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้