

การกำจัดสารปนเปื้อนเบนซินในอากาศโดย กระบวนการไบโอฟิลเตรชัน

สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม⁽¹⁾ และอาทิตย์ รังษีสันติวานนท์⁽²⁾

¹⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²⁾ นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดไอระเหยเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศโดยวิธีการกรองชีวภาพ (biofilter) พบว่า ถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นวัสดุตัวกลางในการรองรับเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas putida*, DMST 4075 ได้และ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองมีผลต่อปริมาณร้อยละในการกำจัดไอระเหยเบนซินดังนี้ เมื่อให้อัตราการไหลของอากาศขาเข้าสู่หอกรองชีวภาพคงที่ที่ 220 cc/min (residence time 5.552 วินาที) และให้ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองลดลงจาก 100 ppm เป็น 50 ppm พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 20% เป็น 35% นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการไหลของอากาศขาเข้าหอกรอง (หรือ residence time) ที่ต่างกันจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซิน ดังนี้ คือ เมื่อลดอัตราการไหลของอากาศขาเข้าหอกรองจาก 220 cc/min มาเป็น 26 cc/min (หรือ residence time เพิ่มขึ้นจาก 5.552 วินาที เป็น 46.977 วินาที) โดยให้ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองเท่ากัน คือ 50 ppm พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินออกจากอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 35% เป็น 99% ดังนั้น สำหรับการกำจัดไอระเหยเบนซินด้วยวิธีการกรองชีวภาพนั้นอัตราการไหลของอากาศขาเข้าหอกรอง (หรือ residence time) จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินมากกว่าปัจจัยอื่นเนื่องมาจากความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองชีวภาพ

The Removal of Benzene in Wasted Air by Biofiltration Process

Somjai Kajorncheappunngam⁽¹⁾ and Arthit Rangsisantivanon⁽²⁾

¹⁾ Assistant Professor, Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering,
Khon Kaen University

²⁾ Graduate student, Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering,
Khon Kaen University

Abstract

This research work is related to the removal benzene by the mean of biofiltration. In the biofiltration experiment, granulated activated carbon (GAC) can be used as supporting medium for the bacteria *Pseudomonas putida*, DMST4075 which was referred to as biofilter. The performance of biofilter is effected by inlet concentration of benzene contaminated in the air, by decreasing inlet concentration of benzene contaminated in air from 100 ppm. to 50 ppm. had shown an increase in the performance of biofilter to eliminate benzene in the air from 20% to 35% at constant airflow rate of 220 cc/min. at residence time of 5.552 second. Moreover, the performance of biofilter not only depends on the inlet concentration of benzene contaminated in air but also depends on the benzene residence time. As the performance of biofilter to eliminate benzene in air increased from 35% to more than 99% at constant inlet concentration of benzene contaminated in the air at 50 ppm., residence time was also increased from 5.552 second to 46.977 second. These results shown that, biofiltration technique performance depends on the effect of air flow rate (or residence time) rather than that effect by the inlet concentration of benzene contaminated in air.

บทนำ

ปัญหามลภาวะทางอากาศเนื่องจากการปล่อยสารระเหยอินทรีย์ (volatile organic compounds, VOCs) ออกสู่บรรยากาศในปัจจุบันนี้ได้สร้างความวิตกกังวลต่อมนุษยชาติ เนื่องจากสารระเหยอินทรีย์นั้นมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) โดยทาง United States Environmental protection agency (EPA) ได้จัดเรียงลำดับความสำคัญของสารระเหยอินทรีย์ประมาณ 114 ชนิด ให้เป็นสารระเหยอินทรีย์ที่มีอันตรายเช่น benzene, toluene และ dichloroethaneซึ่งเป็นสารที่มีผลกระทบในทางตรงต่อสุขภาพ เช่น benzene ได้พิสูจน์แล้วว่าเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ [Dean, 1985] นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบในทางอ้อมคือ ทำให้เกิดกลุ่มหมอก (photochemical smog) ที่มีองค์ประกอบของสารเคมี โดยกลุ่มหมอกนี้เกิดขึ้นได้เนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์เช่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนกับไนโตรเจนออกไซด์ โดยมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเช่น ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อดวงตา

ก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ สร้างความเสียหายให้กับเกษตรกรรม ลดความสามารถในการมองเห็น และก่อให้เกิดผลกระทบมากมายต่อวัสดุและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ โดยทั่วไปสารระเหยอินทรีย์ที่มีการปล่อยออกสู่บรรยากาศนั้นมีแหล่งที่มาจากรถยนต์ การระเหยของตัวทำละลาย อุตสาหกรรมน้ำมัน การเผาไหม้ และอุตสาหกรรมเคมี

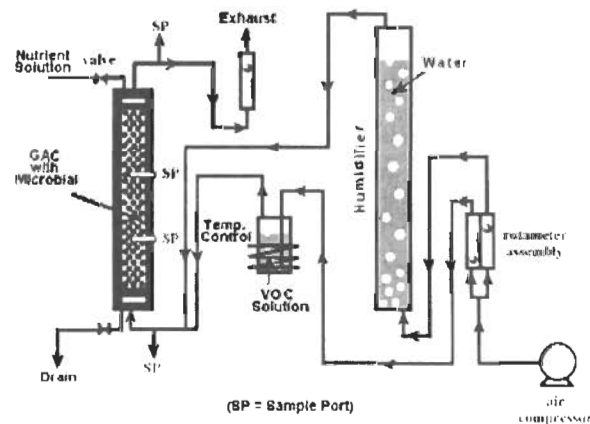
เทคนิคต่าง ๆ ที่ได้นำมาใช้ในการบำบัดสารระเหยอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอากาศได้แก่ การเผาโดยตรงในเตาเผา การควบแน่น การดูดซับ และการดูดซึม [Siegl, 1998] โดยเทคนิคเหล่านี้มีความคล้ายคลึงกันในส่วนที่เป็นวิธีการถ่ายโอนสารระเหยอินทรีย์จากสถานะก๊าซไปสู่ตัวกลางในสถานะอื่นเช่น ของเหลว และของแข็ง เป็นต้น ทำให้เกิดมลภาวะในรูปแบบที่ 2 ที่จำเป็นต้องมีการบำบัดตัวกลางที่ใช้ในการโยกย้ายถ่ายเทในขั้นตอนต่อไปอีก ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงในการบำบัดสารระเหยอินทรีย์ด้วยวิธีการดังกล่าวมาข้างต้น นอกจากนี้สารระเหยอินทรีย์ที่เป็นเป้าหมายในการบำบัดนั้นยังคงมีเหลืออยู่แต่มีความเข้มข้นที่ต่ำลง [Devinny et al., 1999]

ปัจจุบันนี้เทคนิคบำบัดมลภาวะทางอากาศด้วยวิธีการกรองชีวภาพ (biofiltration) กำลังเป็นที่สนใจและเป็นทางเลือกใหม่ที่สำคัญอีกวิธีหนึ่งในการบำบัดสารระเหยอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอากาศ เพราะเทคนิคนี้ไม่ต้องมีขั้นตอนการบำบัดตัวกลางที่ใช้ดังเช่นเทคนิคอื่นๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น และมีค่าใช้จ่ายของการปฏิบัติการในกระบวนการบำบัดที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการใช้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเช่น bacteria actinomycete และ fungi ประเภทใช้ออกซิเจนช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยวิธีทางชีวภาพซึ่งเป็นกระบวนการเดียวกันกับที่ธรรมชาติใช้ในการย่อยสลายสารต่างๆ นอกจากนี้ยังไม่ก่อให้เกิดของเสียที่เป็นอันตรายภายหลังจากการย่อยสลาย เพราะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาใช้ออกซิเจนทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ [Bohn, 1993] เทคนิคการกรองชีวภาพนี้ยังเหมาะกับการบำบัดสารระเหยอินทรีย์ที่มีปนเปื้อนอยู่ในอากาศในปริมาณต่ำๆ นอกจากนี้ยังพบว่าประเทศไทยมีการนำเข้าเบนซินเพิ่มมากขึ้นจาก 10,208 ก.ก. ในปี 2537 เป็น 48,062,441 ก.ก. ในปี 2541 [กรมศุลกากร, 2536-2541] ซึ่งแสดงให้เห็นการเติบโตของอุตสาหกรรมในประเทศไทย อีกทั้งกฎหมายในประเทศไทย ทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะในเรื่องของปริมาณของอากาศเสียที่อนุญาตให้ปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศได้ก็มีปริมาณต่ำลงทุกปี และการบังคับใช้กฎหมายดังกล่าวก็มีความเข้มงวดมากขึ้นทุกปีเช่นกัน จากสาเหตุเหล่านี้ทำให้นักวิจัยนี้สนใจศึกษาเทคนิคการกรองชีวภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศโดยใช้แบคทีเรีย *Pseudomonas putida*, DMST4075 และถ่านกัมมันต์ (granular activated carbon, GAC) เป็นวัสดุสารกรองตัวกลาง นอกจากนี้ยังทำการศึกษาอิทธิพล

ของค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินเข้าหอกรองและอัตราการไหลของอากาศเข้าหอกรอง (หรือ residence time) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินโดยเทคนิคการกรองชีวภาพ

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

เครื่องมือในการทดลอง (รูปที่ 1) ประกอบด้วยแหล่งจ่ายอากาศแบบต่อเนื่อง ซึ่งอากาศนี้จะถูกแยกออกเป็นสองสาย โดยอากาศสายหลักจะถูกนำไปเพิ่มความชื้นที่หอเพิ่มความชื้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm. ความสูง 250 cm. และสายรองจะไปแทนที่ไอระเหยอิมิตัวของสารเบนซินซึ่งถูกควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25°C หลังจากนั้นอากาศสายหลักและอากาศสายรองจะผสมกันก่อนเข้าสู่หอกรอง ซึ่งเป็นท่อทรงกระบอกทำจากพลาสติกอะคริลิก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 cm. ความสูง 20 cm. ภายในหอกรองจะบรรจุถ่านกัมมันต์ (GAC) ที่มีแบคทีเรียอาศัยอยู่



รูปที่ 1 เครื่องมือในการทดลอง

- 1) แบคทีเรีย *Pseudomonas putida*, DMST 4075 ได้รับมาจากหน่วยบริการและเก็บรักษาวัสดุชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ แห่งประเทศไทย
- 2) อาหารเหลว Tryptic Soy Broth (TSB) ที่ใช้เลี้ยงแบคทีเรีย ประกอบไปด้วย Tryptone 17 g., Soytone 3 g., Dextrose 2.5 g., Sodium Chloride 5 g. และ Dipotassium Phosphate 2.5 g. ทั้งหมดนี้นำไปละลายในน้ำ

กลั่นปริมาตร 1 L. สารละลายของอาหารเหลวน้จะถูกสเปรย์ลงบนสารกรองชีวรูปที่อยู่ภายในหอกรองวันละ 1 ครั้ง ในปริมาณ 0.5 cc. เพื่อให้แบคทีเรียได้รับสารอาหารเสริม ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตที่นอกเหนือจากแหล่งสารคาร์บอนที่ได้รับจากเบนซิน

- 3) สารกรองชีวภาพเตรียมได้จากการนำเซลล์แบคทีเรีย *Pseudomonas putida*, DMST 4075 ที่ได้มาจากการมหาวิทยาลัยการแพทย์มาเพาะเลี้ยงไว้ แล้วนำไปเคลือบบนผิวของถ่านกัมมันต์ เพื่อให้เกิด Biofilm ที่ผิวของถ่านกัมมันต์จากนั้นจึงนำไปบรรจุลงในหอกรอง
- 4) เครื่อง Micrometric ASAP2010 ถูกนำมาใช้วิเคราะห์หาพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์ที่ใช้บรรจุในหอกรองด้วยการใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวที่ถูกดูดซับบนถ่านกัมมันต์
- 5) เครื่องวิเคราะห์ก๊าซโครมาโตกราฟฟี (HP- 6890 บริษัท Shimadzu) และ Detector ชนิด FID ถูกนำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณไอระเหยเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศ

สมการที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินออกจากอากาศ คือ

$$\text{Benzene Removal} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

(1)

โดย C_{in} และ C_{out} เป็นความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาเข้าและขาออกจากหอกรองตามลำดับ

ตารางที่ 1 สภาวะการทดลองการกรองชีวภาพ

Filter bed	GAC
Microorganisms	<i>Pseudomonas putida</i>
Size of GAC	8-30 mesh
Porosity of filter bed	40%
Column diameter	1.8 cm.
Height of filter bed	20 cm.
Pollutant	Benzene
Pollutant concentration	50-100 ppm.
Flow rate	26-220 cc/min.
Irrigation	0.5 cc/day

ขั้นตอนการทดลองการกำจัดไธระเหยเบนซินด้วยวิธีการกรองชีวภาพ

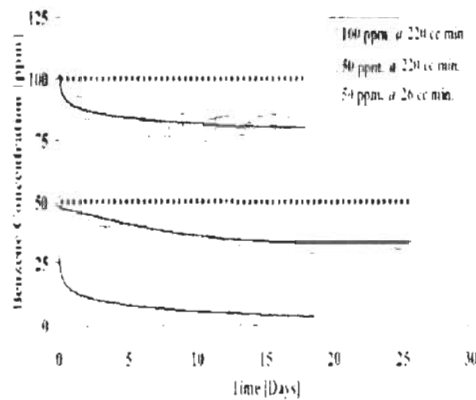
ทำการทดลองกำจัดไธระเหยเบนซินด้วยวิธีการกรองชีวภาพ โดยมีสภาวะการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 และใช้เครื่องมือทดลองดังแสดงใน รูปที่ 1 มีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

- 1) ทำการบรรจุถ่านกัมมันต์ที่มีแบคทีเรีย *Pseudomonas putida*, DMST 4075 เคลือบอยู่บนผิวแล้วลงในหอกรองโดยให้ความสูงของถ่านกัมมันต์ที่บรรจุในหอกรองนี้เท่ากับ 20 cm
- 2) ปรับอัตราการไหลของอากาศที่เข้าหอกรองให้ได้ 220 cc/min. โดยสามารถอ่านค่าอัตราการไหลของอากาศจาก flow meter
- 3) ทำการปรับค่าความเข้มข้นของไธระเหยเบนซินที่ผสมอากาศก่อนเข้าสู่หอกรอง ให้ได้ 50 ppm. (ซึ่งสามารถตรวจสอบค่าความเข้มข้นได้จากการวิเคราะห์โดยเครื่อง GC)
- 4) ตั้งโปรแกรมการสเปรย์สารอาหารเสริมให้แก่เชื้อที่อยู่ในหอกรอง ทุกๆ 24 ชั่วโมง ต่อการสเปรย์ 1 ครั้ง และปริมาณอาหารเสริมที่สเปรย์ครั้งละ 0.5 cc.
- 5) เริ่มจับเวลาและทำการเก็บบันทึกค่าความเข้มข้นของไธระเหยเบนซินก่อนเข้าหอกรอง และขาออกจากหอกรอง ค่าอัตราการไหลของอากาศจนกระทั่งค่าความเข้มข้นของไธระเหยเบนซินขาออกหอกรองมีค่าคงที่ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 15-30 วัน
- 6) ทำซ้ำข้อ 2)-5) โดยทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของไธระเหยเบนซินเป็น 100 ppm และให้อัตราการไหลของอากาศเท่าเดิมคือ 220 cc/min
- 7) ทำซ้ำข้อ 2)-5) แต่ให้ลดอัตราการไหลของอากาศลงมาเป็น 26 cc/min. และความเข้มข้นของไธระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองเท่ากับ 50 ppm

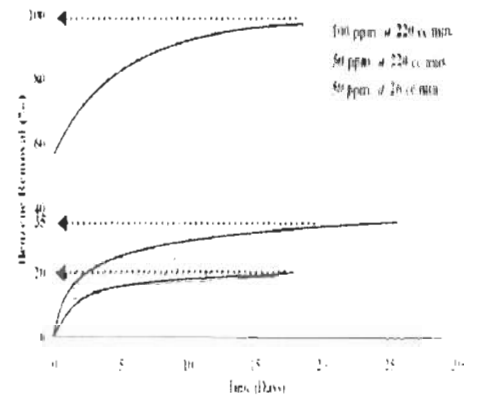
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นชนิดผลิตในเชิงการค้า (Hato brand) จากผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวพบว่ามีความละเอียดพื้นที่ผิว BET เท่ากับ 747.06 m²/g และมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเท่ากับ 2.9266 nm และผลการทดลองการกำจัดไธระเหยเบนซินด้วยวิธีการ ได้ถูกนำมาพล็อตกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นไธ

ระเหยเบนซินออกจากหอกรองเทียบกับเวลาที่อัตราการไหลของอากาศต่างๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาออกจากหอกรองด้วยวิธีการกรองชีวภาพ (เส้นประเข้าหอกรอง เส้นทึบขาออก ชีวภาพหอกรอง)



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินออกจากอากาศด้วยวิธีการกรอง (เส้นประเข้าหอกรอง เส้นทึบขาออก ชีวภาพหอกรอง)

จากรูปที่ 2 สามารถอธิบายได้ว่ากลไกในการกำจัดไอระเหยเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศด้วยวิธีการกรองชีวภาพนี้เกี่ยวข้องกับสถานะทั้งสามสถานะคือ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง โดยชั้นฟิล์มของเหลวนี้จะเคลือบอยู่บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จะทำหน้าที่เป็นตัวขวางกั้นไม่ให้ไอระเหยเบนซินสามารถถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ได้โดยตรง ดังนั้นไอระเหยเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศจะถูกส่งผ่านจากสถานะก๊าซเข้าสู่สถานะของเหลว (ซึ่งเป็นฟิล์มบางๆ เคลือบอยู่บนผิวถ่านกัมมันต์ ซึ่งบางครั้งเรียกฟิล์มบางๆ นี้ว่า biofilm) ด้วยค่าการละลายค่าหนึ่งหลังจากไอระเหยเบนซินได้ถูกดูดซับจากอากาศมาที่ชั้นของเหลวที่เคลือบบนถ่านกัมมันต์แล้ว จะถูกแบคทีเรียที่อาศัยอยู่บนผิวถ่านกัมมันต์นำสารเบนซินนี้ไปย่อยสลายใช้เป็นแหล่งคาร์บอน เพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ในการดำรงชีวิตเช่นการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนประชากรของแบคทีเรียซึ่งในการทดลองนี้ใช้แบคทีเรีย *Pseudomonas putida*, DMST4075 สำหรับสารเบนซินที่ยังไม่ถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียจะถูกส่งผ่านไปกักเก็บที่ผิว หรือรูพรุนของถ่านกัมมันต์ด้วยกลไกการดูดซับในขั้นต่อไป และเมื่อใดที่ค่าความเข้มข้นของสารเบนซินในชั้นของ biofilm มีค่าต่ำกว่าค่าความเข้มข้นของสารเบนซินในถ่านกัมมันต์ จะมีผลทำให้สารเบนซินที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ส่งผ่านกลับมาละลายยังชั้นของ biofilm ดังนั้น กลไกที่เกิดขึ้นระหว่างทั้งสามสถานะนี้จึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นของทั้งสามสภาวะการทดลองค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาออกและขาเข้าหอกรองมีค่าต่างกันไม่มากนัก แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาออกหอกรองจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ และมีค่าต่ำกว่าค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรอง ทั้งนี้เกิดขึ้นเนื่องจากในช่วงเวลาดังๆ เป็นช่วงการปรับสภาพของแบคทีเรียในสภาวะสิ่งแวดล้อมใหม่ (lag phase) จึงทำให้ความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินทั้งขาเข้าและขาออกไม่ต่างกันมากนัก หรืออีกนัยหนึ่งก็คือในช่วงนี้ยังไม่มีมีการกำจัดไอระเหยเบนซิน หรือมีการกำจัดไอระเหยเบนซินเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นเมื่อแบคทีเรียสามารถปรับตัวได้ดีแล้ว ก็จะเริ่มนำสารเบนซินไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ จึงทำให้กราฟของค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาออกหอกรองลดลงอย่างรวดเร็ว (ความชันของกราฟเส้นที่บดค่อนข้างชัน) จนกระทั่งค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาออกหอกรองมีค่าลดลงและเริ่มคงที่หรือระบบเข้าสู่ช่วงสมดุล ซึ่งช่วงสมดุลนี้ อัตราการกำจัดไอระเหยเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศจะมีค่าคงที่ สืบเนื่องจากความสามารถในการดูดซึมของไอระเหยเบนซินจากอากาศเข้าสู่ biofilm ได้ถึงจุดสูงสุด ณ สภาวะอัตราการไหลของอากาศ ณ ขณะนั้น และจำนวนประชากรของแบคทีเรียเริ่มมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงทำให้อัตราการกำจัดหรือย่อยสลายสารเบนซินมีค่าคงที่ เมื่อนำสมการที่ (1) มาคำนวณหาประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินออกจากอากาศด้วยวิธีการกรองชีวภาพ จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 3 และเมื่อพิจารณาที่สภาวะอัตราการไหลของอากาศที่ 220 cc/min (residence time 5.552 วินาที) และที่ค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรอง 100 ppm. พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินเข้าสู่ค่าที่ 20% และเมื่อทำการลดค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองจาก 100 ppm. มาเป็น 50 ppm. ที่อัตราการไหลของอากาศเท่าเดิม (220 cc/min) พบว่า ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินมีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็น 35% และเมื่อทำการลดค่าอัตราการไหลของอากาศจาก 220 cc/min มาเป็น 26 cc/min เพื่อเป็นการเพิ่มค่า residence time จาก 5.552 วินาที ไปเป็น 46.977 วินาที โดยทำการคงที่ค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองที่ 50 ppm. พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 35% เป็นมากกว่า 99% ทำให้ทราบว่า ค่าอัตราการไหลของอากาศ หรือ residence time นั้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อการกำจัดไอระเหยเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศ

สรุปผลการวิจัย

ถ่านกัมมันต์ที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นถ่านกัมมันต์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาด มีค่าพื้นที่ผิว BET ที่ได้จากการทดลองคือ $747.06 \text{ m}^2/\text{g}$ ในการทดลองการกำจัดไอระเหยเบนซิน (ซึ่งเป็นสารพิษ) ที่ปนเปื้อนในอากาศด้วยวิธีการกรองชีวภาพพบว่า ถ่านกัมมันต์นี้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุตัวกลางในการรองรับเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas putida*, DMST4075 ได้เป็นอย่างดี และเชื้อแบคทีเรียนี้มีความสามารถในการย่อยสลายไอระเหยเบนซินที่ถูกดูดซับในชั้นของ biofilm ได้ นอกจากนี้พบว่า อิทธิพลของความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองมีผลต่อค่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินดังนี้ คือที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากันคือ 220 cc/min (residence time 5.552 วินาที) เมื่อทำการลดค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองจาก 100 ppm. มาเป็น 50 ppm. จะทำให้ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 20% มาเป็น 35% และอิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศ หรือ residence time มีผลต่อค่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินดังนี้ คือเมื่อทำการลดอัตราการไหลของอากาศจาก 220 cc/min มาเป็น 26 cc/min (residence time เพิ่มขึ้นจาก 5.552 วินาที มาเป็น 46.977 วินาที) และค่าความเข้มข้นไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองที่เท่ากันคือ 50 ppm. พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินออกจากอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 35% เป็นมากกว่า 99% แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของอากาศขาเข้า หรือ residence time มีอิทธิพลอย่างมาก ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไอระเหยเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศ และมากกว่าอิทธิพลของค่าความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรอง โดยรวมแล้ววิธีการกรองชีวภาพนี้มีต้นทุนในการปฏิบัติการต่ำ และยังไม่ก่อให้เกิดมลพิษอื่นๆ ตามมา เนื่องจากว่า เป็นวิธีการที่ลอกเลียนแบบการย่อยสลายสารของธรรมชาติ ดังนั้น จึงสามารถกล่าวได้ว่าวิธีการกรองชีวภาพนี้เป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการกำจัดสารเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกวิธีหนึ่งทั้งนี้ เพราะของเสียที่ได้จากการกำจัดเบนซินคือ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดขึ้นในปริมาณน้อยมาก จึงถือว่าไม่มีผลต่อการเกิด green house effect ส่วนจุดด้อยของวิธีการนี้คือเหมาะสำหรับอัตราการไหลของอากาศและค่าความเข้มข้นของไอระเหยเบนซินขาเข้าหอกรองที่มีค่าต่ำๆ แต่สามารถทำการแก้ไขจุดด้อยนี้ได้โดยการเพิ่มขนาดของหอกรองเพื่อเพิ่มค่า residence time และเลือกสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารเบนซินได้ดีและรวดเร็วกว่านี้

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการศึกษาการใช้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กชนิดอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไธระเหยเบนซินที่ปนเปื้อนในอากาศให้สูงขึ้น
- 2) ควรมีการเปลี่ยนวัสดุตัวกลางในการศึกษาที่มีราคาต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ เช่น ดิน หรือวัสดุเซรามิก ซึ่งมีอายุในการฟุ้งกรองตามกาลเวลาที่ยาวนานกว่า และราคาถูกกว่าถ่านกัมมันต์ เพื่อศึกษาว่าสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กสามารถอยู่รอด และอาศัยบนวัสดุนี้ได้หรือไม่ และมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารระเหยเบนซินอย่างไร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนเงินทุนสำหรับงานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ ขอขอบคุณ ผศ. ประสาท โพธิ์นิ่มแดง ที่ช่วยเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *Pseudomonas putida* จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมศุลกากร. 2543. ข้อมูลการค้าระหว่างประเทศไทย, กรุงเทพฯ: กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง
- ฝ่ายศูนย์ข้อมูลสารอันตรายและอนุสัญญาการจัดการของเสียอันตราย และกากของเสีย กรมควบคุมมลพิษ 2542. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่องเบนซิน, กรุงเทพฯ : กองจัดการสารอันตรายและกากของเสียกรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.
- Bohn HL., 1985. Bioprocessing of Organic Gases in Water Air. Symposium on Bioremediation and Bioprocessing; 1993 March 28 – April 2; 205 th National Meeting, American Chemical Society. Denver, CO; 1993: 287 – 289. Dean BJ. Recent Findings on the Genetic Toxicology of Benzene, Toluene, Xylenes and Phenols. **Mutat. Res.** 145: 153-181.
- Devinny JS, Medina JS, Hodge DS., 1991. Bench Testing of Fuel Vapor Treatment by Biofiltration. In National Research and Development Conference on the Control of Hazardous Material; February 20 – 22; Paper to be published in Conference Proceeding.
- Siegell JH. 1998. Control loading emissions. **Hydrocarbon Process.** May: 61.