การกรองสารเบนซีนที่ปนเปื้อนในอากาศด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

Filtration of Contaminated Benzene in Air Using Agricultural Waste

ปฐมพงศ์ พันธ์พิบูลย์[1] , วิษณุศาสตร์ อาจโยธา[2*]

Patapong Panpiboon[1], Vitsanusat Atyotha [2*]

Received: 10 October 2015; Accepted: 21 March 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้สร้างตัวกรองสารเบนซีนที่ปนเปื้อนในอากาศด้วยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 5 ชนิด ได้แก่ เปลือกถั่วลิสง, แกลบ, ซังข้าวโพด, ชานอ้อย และฟางข้าว โดยบรรจุในพัดลมดูดอากาศที่มีใบพัดและเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน 3 แบบจากนั้นตรวจสอบความสามารถในการดูดซับเบนซีนของวัสดุเหลือใช้ทั้งหมดด้วยเทคนิค ATR-IR พบว่า เปลือกถั่วลิสงมีประสิทธิภาพในการดูดซับเบนซีนสูงสุด (25%) รองลงมาคือแกลบ (20%) ซังข้าวโพด (11%) ชานอ้อย (5.24%) และ ฟางข้าว (4.38%) และอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับบรรจุตัวกรองที่ดีที่สุด คือ พัดลมดูดอากาศแบบห้าใบพัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร จากนั้นนำเปลือกถั่วลิสงบรรจุในอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำไปเก็บตัวอย่างเบนซีน 3 พื้นที่ ได้แก่ ปั๊มน้ำมัน ร้านซ่อมรถจักรยานยนต์ และอู่ซ่อมรถยนต์ ในเขตอำเภอเมืองมหาสารคาม พบว่าร้านซ่อมรถจักรยานยนต์มีปริมาณเบนซีนปนเปื้อนสูงสุด คือ 1.78 $\mu g/m^3$ จากงานวิจัยนี้กล่าวได้ว่าวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรสามารถพัฒนาเป็นตัวกรองเบนซีนที่มีประสิทธิภาพที่สามารถพัฒนาต่อยอดไปได้

คำสำคัญ : เบนซีน ตัวกรอง การดูดซับ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

Abstract

The purpose of this research was to invent an air filter that would remove contaminated Benzene from the air using 5 different agricultural wastes: peanut shells, husk, cob, bagasse and chaff. The completed filter was installed in an exhaust fan. The absorbing ability of the filter was monitored using the ATR-IR technique. It was found that the absorbing ability of the filter, arranged in order from the greatest to the least was peanut shells (25%), husk (20%), cob (11%), bagasse (5.24%) and chaff (4.38%). Moreover, the best design for installing the filter was a five-blade blower with a diameter of 20 cm. The filter made from peanut shells and the other developed equipment was set up at 3 different areas including a gas station, motorcycle repair shop and garage in Amphur Meaung, Mahasarakham. It was found that the motorcycle repair shops showed the highest contaminated benzene (1.78 $\mu g/m^3$) in the air. Therefore this research indicated that Agriculture Wastes can be utilized for removing benzene in the air.

Keywords: Benzene, Filter, Adsorption, Agricultural waste

[1] *อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000*

[2] *อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000*

[1] *Lecturer, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Mahasarakham University, Amphur Meaung, Mahasarakham 44000.*

[2] *Lecturer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Amphur Meaung, Khonkaen, 40000.*

[*] *Corresponding author ; Vitsanusat Atyotha, HYPERLINK "mailto:v_atyotha@hotmail.com" v_atyotha@hotmail.com*

บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองเป็นปัญหาที่ขยายวงกว้างไปทั่วทุกแห่ง ไม่ว่าจะเป็นมลพิษ ในอากาศ ในดิน และในน้ำ ฯลฯ สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษทางอากาศอันเนื่องมาจากสารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) สาร VOCs โดยเฉพาะเบนซีน เนื่องจากในธรรมชาติเบนซีนเป็นองค์ประกอบของสารปิโตรเลียม จึงทำให้เบนซีนมีโอกาสปนเปื้อนในน้ำมันเบนซินได้ มีข้อมูลว่าในน้ำมันเบนซินมีเบนซีนปนเปื้อนอยู่น้อยกว่า 1 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร[1] และจากผลการวิจัยการตรวจหาสารมลพิษ เบนซีน โทลูอีน และไซลีน ในไอเสียจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมัน ทั้งในกลุ่มรถยนต์เก่าและใหม่[2] พบว่าค่าความเข้มข้นของเบนซีน โทลูอีน และไซลีน จะมากที่สุดในรถยนต์เก่า คือ มีค่าเท่ากับ 12.11 ส่วนในล้านส่วน จึงเป็นไปได้อย่างมากที่จะพบเบนซีนจากไอเสียของเครื่องยนต์ สถานีบริการน้ำมัน ร้านซ่อมรถจักรยานยนต์และอู่ซ่อมรถยนต์ นอกจากนี้ในบุหรี่มวนเองและบุหรี่กันกรองมีระดับเบนซีนไม่ต่างกัน คือมีค่าเฉลี่ย 68 ± 11 ไมโครกรัมต่อกรัมของบุหรี่หนึ่งมวน[3] และยังมีรายงานผลการวิจัยจากสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ ซึ่งสมเด็จพระเจ้าลูกเธอ เจ้าฟ้าจุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ อัครราชกุมารี ทรงเป็นหนึ่งในคณะผู้วิจัย ระบุว่าคนงานในวัดที่ได้รับควันธูปซึ่งมีสารก่อมะเร็ง อย่างน้อย 3 ชนิด ได้แก่ สารเบนซีน สาร 1,3-บิวทาไดอีน และสารพอลิไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAH) เมื่อทำการตรวจวัดความผิดปกติของดีเอ็นเอ พบว่า ระดับการแตกหักของดีเอ็นเอ และ 8-OHdG ในเม็ดเลือดขาวของคนงานที่ได้รับควันธูปจากการปฏิบัติงานในวัดสูงกว่าคนงานในหน่วยงานที่ไม่มีการจุดธูปประมาณ 2 เท่า นอกจากนี้ความสามารถในการซ่อมแซมความผิดปกติของดีเอ็นเอของคนงานที่ได้รับควันธูปในวัดยังลดลง และยังพบอีกว่าความผิดปกติของดีเอ็นเอ มีความสัมพันธ์กับระดับการได้รับสารเบนซีน สาร 1,3-บิวทาไดอีน และสารพีเอเอชจากควันธูป[4] ทั้งนี้ปริมาณสูงสุดของเบนซีนที่กระจายตัวอยู่ในอากาศบริเวณที่ทำงานโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต้องไม่เกิน 1 ส่วนในล้านส่วน[5] และประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าของสารเบนซีนในบรรยากาศ ในเวลา 24 ชั่วโมงนั้น ต้องมีค่าไม่เกิน 7.6 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[6] ดังนั้นเราจึงสามารถพบเบนซินได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมทั้งในและนอกบ้าน ตามระเบียบข้อกำหนดของ NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) กำหนดให้พนักงานเติมน้ำมันในสถานีบริการน้ำมัน มีระดับเบนซีนได้ไม่เกิน 0.1 ppm การได้รับพิษแบบเรื้อรังเป็นผลเนื่องมาจากมีการได้รับพิษที่ความเข้มข้นต่ำๆ เป็นเวลานาน ถ้าได้รับพิษที่ความเข้มข้น 1,500 ppm ใน 1 ชั่วโมง มีผลทำให้ระบบประสาทผิดปกติ ที่ความเข้มข้น 7,500 ppm ใน 1 ชั่วโมงครึ่งหรือ 20,000 ppm เป็นเวลา 2-3 นาที จะเป็นสาเหตุทำให้เสียชีวิตได้ สาเหตุการเสียชีวิตเชื่อว่าเกิดจากการสูดดมไอระเหยของเบนซีน นอกจากนี้ยังมีรายงานการศึกษา พบว่า ผู้ที่ได้รับสัมผัสเบนซีนมีแนวโน้มความผิดปกติในสารพันธุกรรมสูงขึ้น ในขณะที่ความสามารถของการซ่อมแซมความผิดปกติของสารพันธุกรรมลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดมะเร็งได้[7] จากรายงานข้อมูลในปี พ.ศ.2554–2557 ของสำนักงานสถิติจังหวัดมหาสารคาม พบว่าอำเภอเมืองมีการขยายตัวทั้งด้านสังคม เกษตรกรรม และอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว[8] ทำให้มลพิษทางอากาศเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นคณะผู้วิจัย จึงต้องหาวิธีป้องกันอันตรายจากเบนซีนในอากาศ จากผลงานวิจัยการบำบัดอากาศที่ปนเปื้อนเบนซีนโดยการกรองชีวภาพด้วยตัวกลางกรองเศษวัสดุเกษตรกรรม คือเปลือกถั่วลิสงและแกลบพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดเบนซีนของเปลือกถั่วลิสง คือ 100% ส่วนแกลบ ได้ 61.38% ที่ความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม อัตราการไหลของอากาศเข้าระบบเท่ากับ 0.42 ลิตร/นาที[9] ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงต้องหาวัสดุอุปกรณ์ และตัวกลางที่ใช้ในการดักจับเบนซีนที่มีราคาถูก สร้างง่าย และหาได้ในท้องถิ่น เพื่อให้ประชาชนในท้องถิ่นเรียนรู้และเข้าใจได้ง่าย สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้สร้างเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันอันตรายที่เกิดจากการปนเปื้อนของสารเบนซีนในอากาศสำหรับท้องถิ่นของตัวเองได้

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ดำเนินงานวิจัย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนคัดเลือกตัวกรองสารเบนซีน

เตรียมตัวกลางจากเศษวัสดุเกษตรกรรม โดยการบดหรือตัดให้มีขนาด 4 เมช มีอยู่ 5 ชนิด ได้แก่ เปลือกถั่วลิสง ชานอ้อย แกลบ หรือเปลือกข้าว ฟางข้าว ซังข้าวโพด นำเข้าสู่ระบบกรองที่ออกแบบขึ้น ซึ่งมีเงื่อนไขทดสอบ ดังนี้ คือ 1. สารละลายเบนซีนบริสุทธิ์ 99 % ปริมาณ 5 ลิตร 2. แหล่งกำเนิดความชื้น ขนาด 5 ลิตร 3. คอลัมน์กรองชีวภาพ ทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ภายในบรรจุด้วยตัวกลางกรอง (เศษวัสดุทางการเกษตร) สูง 50 เซนติเมตร ดังนั้นจะมีปริมาตรของตัวกลางกรองประมาณ 1 ลิตร ต่อหนึ่งคอลัมน์ 4. ใช้อัตราการไหลอากาศ 0.5 ลิตร/นาที ดัง (Figure 1)

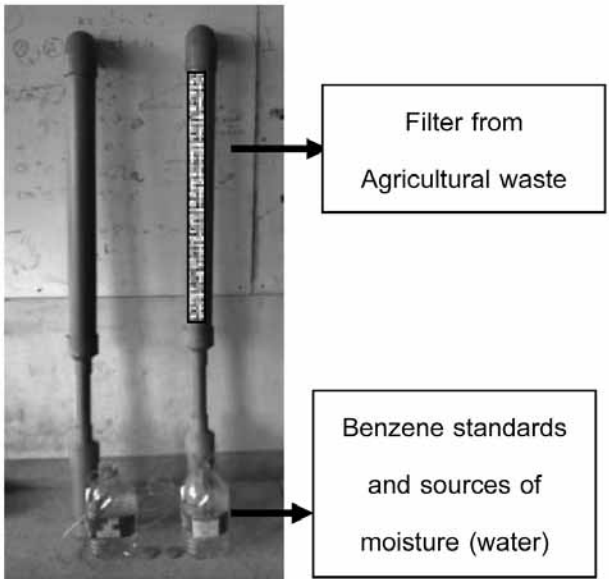

Figure 1 Filter prepared from agricultural waste for adsorption efficiency investigation

2. ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์การกรองสารเบนซีน

สร้างอุปกรณ์ดักจับสารเบนซีนในอากาศ โดยต้องเป็นอุปกรณ์ที่หาได้ง่าย มีราคาถูก จึงได้เลือกพัดลมดูดอากาศมา 3 แบบ อุปกรณ์ที่ใช้กรองสารเบนซีน A = แบบที่ 1 พัดลมแบบกลมหกใบพัด เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm, B = แบบที่ 2 พัดลมแบบกลมห้าใบพัด เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm และ = แบบที่ 3 พัดลมแบบกลมเจ็ดใบพัด เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm ดัง (Figure 4)

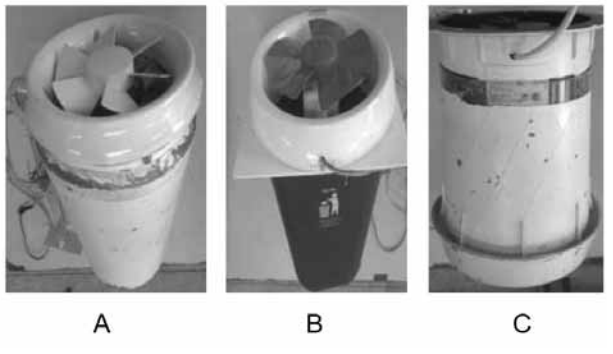

Figure 4 Benzene filter

นำวัสดุที่ได้จากระบบกรองมาบดให้ละเอียด นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (ATR-IR) รุ่น Spectrum 400 Perkin Elmer สามารถหาปริมาณเบนซีนที่ถูกตัวกรองดูดซับไว้

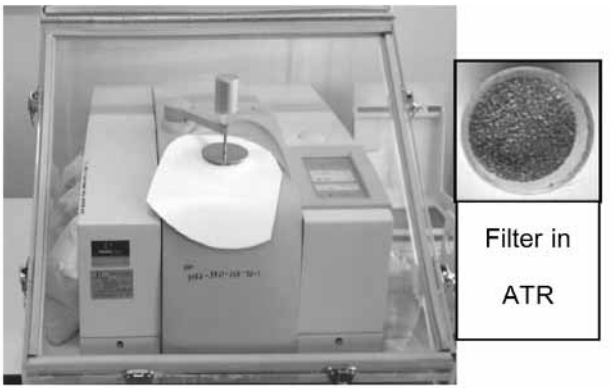

Figure 2 ATR-IR for analysis

เมื่อวิเคราะห์ตัวกรองชนิดต่างๆ ที่ดูดซับสารเบนซีน จะได้กราฟของสารตัวอย่าง นำมาเปรียบเทียบกับกราฟของสารเบนซีนมาตรฐาน ที่ 1650 – 1450 cm^{-1} (ฟังก์ชันนัลกรุ๊ปของเบนซีน)[10] ดัง (Figure 3)

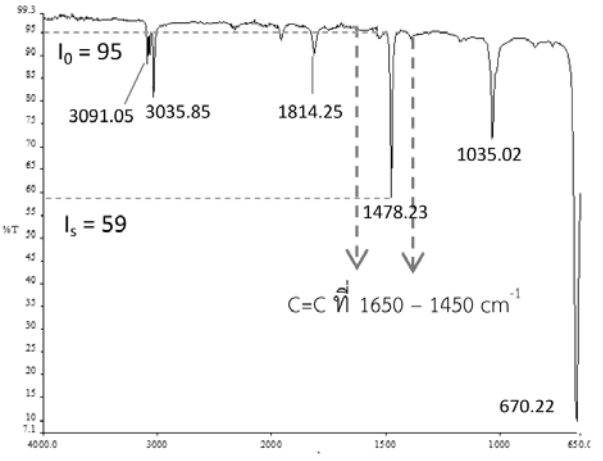

Figure 3 ATR-IR spectra of standard benzene

โดยจะสามารถคำนวณหาปริมาณสารเบนซีนที่ตัวกรองชนิดต่างๆ ที่ดูดซับไว้ได้ จากสมการ

$$C_u = C_s \frac{A_u}{A_s} \quad \text{..... (1)}$$

เมื่อ A_u = ค่าดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

A_s = ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐาน

C_u = ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

C_s = ค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

และเมื่อ *Absorbance* $A = \log \frac{I_o}{I_s} = \log \frac{P_o}{P_s}$

I_0 = ตัวทำละลาย I_s = สารละลายตัวอย่างนำเปลือกถั่วลิสง (ตัวกรองที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด) ใส่ในอุปกรณ์ดักจับสารเบนซีนทั้ง 3 แบบ ทำการทดสอบ โดย

ต้องเป็นระบบปิด ควบคุม อุณภูมิ ความดัน ความเร็วลม ปริมาณตัวกรอง (เศษวัสดุทางการเกษตร) ปริมาณสารเบนซีนมาตรฐาน 99 % ใช้เวลาในการทดลอง 30 วัน แล้วนำไส้กรองที่ได้เข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณสารเบนซีนด้วยเทคนิค Attenuated Total Reflectance (ATR)

3. ขั้นตอนติดตั้งอุปกรณ์กรองเบนซีนในพื้นที่วิจัย

เลือกพื้นที่ ที่จะทำการติดตั้ง โดยดูจากลักษณะทั่วไป ว่ามีการปลดปล่อย หรือการปนเปื้อนของสารเบนซีนอยู่เป็นประจำหรือไม่ ซึ่งทางคณะผู้วิจัยจึงได้ตัดสินใจเลือกสถานที่ติดตั้ง ดัง (Figure 4)

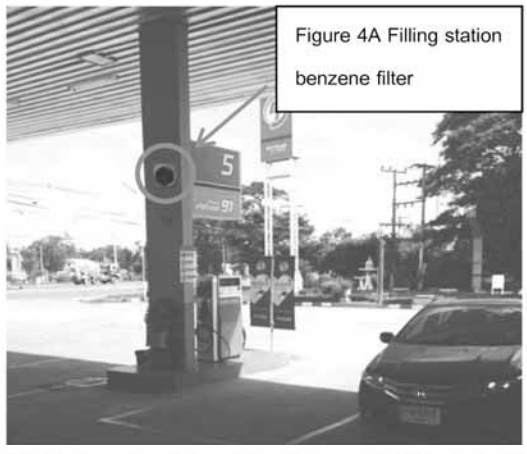

Figure 4 Area of benzene filter install

ติดตั้งอุปกรณ์กรองเบนซีน ในพื้นที่วิจัย เป็นระยะเวลา 30 วัน แล้วเก็บตัวกรอง (เปลือกถั่วลิสง) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารเบนซีนที่ตัวกรองสามารถดักจับเบนซีนได้ในอากาศ ด้วยเทคนิค ATR

ผลการวิจัย

1. ผลการคัดเลือกตัวกรองสารเบนซีนจากเศษวัสดุเกษตรกรรมในห้องปฏิบัติการ

ปริมาตรของสารเบนซีนที่ถูกตัวกลางจากวัสดุเกษตรกรรมดูดซับไว้ โดยนำไปเทียบกับสเปกตรัมและค่าความเข้มข้นของสารเบนซีนมาตรฐาน 99 % ที่ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร คำนวณจากสมการ 1 ได้ผลดังแสดงใน (Table 1)

Table 1 Adsorption efficiency of benzene filter from different adsorbents

filter	frequency (cm^{-1})	Benzene in filter (ml)	efficiency of absorption (%)
bagasse	1603.08	0.00438	4.38
cob	1630.66	0.011	11
chaff	1628.37	0.00524	5.24
husk	1633.85	0.02	20
peanut shells	1634.76	0.025	25

2. ผลการทดลองอุปกรณ์กรองเบนซีนที่สร้างขึ้น

เปรียบเทียบรูปแบบของอุปกรณ์สำหรับบรรจุตัวกรองในการดูดซับเบนซีน เทียบกับสเปกตรัมและค่าความเข้มข้นของสารเบนซีนมาตรฐาน 99 % ที่ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร โดยคำนวณจากสมการ 1 แสดงใน (Table 2)

Table 2 Adsorption of benzene from different type of equipment

Type of instrument	frequency (cm^{-1})	Benzene in filter (ml)	efficiency of absorption (%)
Type 1	1610.67	0.005	5
Type 2	1630.66	0.024	24.07
Type 3	1635.95	0.0053	5.3

3. ประสิทธิภาพการกรองเบนซีนในพื้นที่วิจัย

ปริมาตรของเบนซีนที่ถูกตัวกรอง (เปลือกถั่วลิสง 250 กรัม) ดูดซับไว้จากอุปกรณ์ที่ติดตั้งในพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง แสดงใน (Table 3)

Table 3 Contaminated Benzene in Air

Research areas	Benzene in filter (ml)	Benzene in air ($\mu g/m^3$)
Gas Station	9.59×10^{-4}	**0.16**
Motorcycle Maintenance Shop	2.14×10^{-4}	**1.78**
Car Maintenance Shop	4.27×10^{-4}	**0.71**

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของเบนซีนในอากาศ ต้องมีค่าไม่เกิน 7.6 $\mu g/m^3$ (24 ชั่วโมง) หรือ ไม่เกิน 1.7 $\mu g/m^3$ (1 ปี)

วิจารณ์ผลงานวิจัย

นำความเข้มข้นของสารเบนซีนในอากาศที่ได้ตรวจวัดจากพื้นที่วิจัย ทั้ง 3 แห่ง ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ ดังนี้ จากประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดค่าเฝ้าระวังสำหรับเบนซีนในบรรยากาศโดยทั่วไป ในเวลา 24 ชั่วโมง ต้องมีค่าไม่เกิน 7.6 $\mu g/m^3$ และกำหนดมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งเบนซีน และสาร 1, 3 – บิวทาไดอีน จากโรงงานอุตสาหกรรมเคมี ต้องมีค่าไม่เกิน 7 $\mu g/m^3$ ซึ่งความเข้มข้นของสารเบนซีนที่ปะปนในอากาศในพื้นที่วิจัยทั้ง 3 แห่ง มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น แต่ถ้านำไปเปรียบเทียบกับกำหนดมาตรฐานเบนซีนในบรรยากาศโดยทั่วไป ในเวลา 1 ปี ต้องมีค่าไม่เกิน 1.7 $\mu g/m^3$ ซึ่งผลที่ได้ คือ ความเข้มข้นของสารเบนซีนในปั๊มน้ำมัน และอู่ซ่อมรถยนต์ มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่บริเวณร้านซ่อมรถจักรยานยนต์มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน ถ้าคิดในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งค่าความเข้มข้นของเบนซีนที่ร้านซ่อมรถจักรยานยนต์มีค่าสูงกว่าพื้นที่วิจัยอื่น อาจเป็นผลมาจากบริเวณร้านซ่อมรถจักรยานยนต์มีขนาดเล็กกว่า การถ่ายเทอากาศไม่ค่อยดี และมีการให้บริการอยู่เป็นประจำ อาจเป็นสาเหตุส่งผลให้มีการสะสมตัวของเบนซีนที่มากกว่าพื้นที่วิจัยอื่นได้ ดังนั้นจากงานวิจัยนี้ สามารถสร้างอุปกรณ์กรองเบนซีนที่ใช้งานได้จริง สะดวก มีราคาไม่แพง วัสดุอุปกรณ์ส่วนใหญ่สามารถหาได้ในท้องถิ่น โดยเฉพาะไส้กรองที่ทำมาจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการการเกษตรมาทำให้เกิดประโยชน์ และเทคโนโลยีในการสร้างอุปกรณ์นั้น ก็มีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ประชาชนทั่วไปสามารถสร้างขึ้นมาใช้เองได้ เพื่อนำไปติดตั้งในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเบนซีนในอากาศ เขตอำเภอเมืองมหาสารคาม เพื่อสร้างความปลอดภัยต่อชีวิตประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นๆ ได้ (สารเบนซีนเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง และโรคระบบทางเดินหายใจ)

สรุปผลงานวิจัย

จากผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของการดูดซับเบนซีนของตัวกลางที่ทำมาจากวัสดุทางการเกษตร พบว่า เปลือกถั่วลิสงมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยติดตั้งในอุปกรณ์ที่เป็นพัดลมดูดอากาศ 5 ใบพัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร และเมื่อนำไปติดตั้งในบริเวณที่ศึกษา พบว่า ร้านซ่อมรถจักรยานยนต์ มีค่าการปนเปื้อนสารเบนซีนสูงสุด ซึ่งผลการทกลองนี้ชี้ให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นรวมทั้งวัสดุทางการเกษตรสามารถนำไปใช้เป็นตัวกรองเบนซีนได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากสาขาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เรื่องเอกสาร วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. International Agency for Research on Cancer (IARC). Benzene.IARC Sumaries & Evaluations [Internet]. 1982 [cite 2015 Jan 27] ;29:93. Available from HYPERLINK “http://www.inchem.org/documents/iarc/vol29/benzene.html” http://www.inchem.org/documents/iarc/vol29/benzene.html
2. ธีรวัฒน์ ทิตย์สีแสง. เบนซีน โทลูอีน และไซลีนในไอเสียจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมัน [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2543.
3. Appel B.R, Guirguis G, Kim I.S, Garbin O, Fracchia M, Flessel C.P, et al. Benzene, benzo (a) pyrene, and lead in smoke from tobacco products other than cigarettes. Am J Public Health 1990;80: 560-564.
4. Navasumri P, Arayasiri M, Tin Hiang O.M, Leechawengwongs M, Promvijit J, Choonvisase S, et al. Potential health effects of exposure to carcinogenic compounds in incense smoke in temple workers. Chemico-Biological Inteactions 2008;173: 19-31.
5. U.S. Department of Health and Human Services. (n.d.). ToxGuide™ for Benzene C_6H_6 [Internet]. 2007 [cite 2015 Jan 27]: 1-2. Available from HYPERLINK “http://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-3.pdf” http://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-3.pdf
6. สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศ และเสียง[อินเตอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: ข้อมูลคุณภาพอากาศ ข้อมูล VOCs และมาตรฐานกฎหมาย [อับเดต 26 มกราคม 2557; อ้างถึง 29 มกราคม 2557]. สืบค้นจาก HYPERLINK “http://aqnis.

pcd.go.th/vocs" http://aqnis.pcd.go.th/vocs

7. ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ที่ 6. [อินเตอร์เน็ต]. ชลบุรี: อันตรายจากเบนซีน; 2553 [อ้างถึง 30 มกราคม 2557] สืบค้นจาก HYPERLINK "http://dmsc2.dmsc.moph.go.th/webroot/chonburi/PDF/J_05.pdf" http://dmsc2.dmsc.moph.go.th/webroot/chonburi/PDF/J_05.pdf
8. สำนักงานสถิติจังหวัดมหาสารคาม. ข้อมูลสถิติจำแนกตามสาขา และข้อมูลสถิติสารสนเทศสนับสนุนจังหวัด. 2554-57[อ้างถึง 2 กุมภาพันธ์ 2559]. สืบค้นจาก HYPERLINK "http://mahasarakham.nso.go.th/" http://mahasarakham.nso.go.th/
9. เกริก วงศ์สอนธรรม. การบำบัดอากาศที่ปนเปื้อนเบนซีนโดยการกรองชีวภาพด้วยตัวกลางกรองเศษวัสดุเกษตรกรรม [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.
10. สมเดช กนกเมธากุล. สเปกฏทรสโกปี. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น. หจก.ขอนแก่นการพิมพ์. 2551.