

การทดสอบความสามารถเครื่องต้นแบบระบบบำบัดไอระเหยเบนซีนและโทลูอีน
โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากเศษไม้จากสถานประกอบการประเภทผลิตภัณฑ์ไม้
ในเขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร

The Performance Evaluation of Vapor Benzene and Toluene Treatment System
Prototype Using Activated Carbon from Wood Shop in Bang Su District

สุรชาติ สินวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

E-mail : surachat_sin@dusit.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษและพัฒนาเครื่องต้นแบบระบบบำบัดไอระเหยเบนซีนและโทลูอีน โดยการประยุกต์ใช้หลักการระบบระบายอากาศแบบบุท (Close Chamber) พร้อมกับการประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากเศษไม้ในสถานประกอบการประเภทผลิตภัณฑ์ไม้ในบริเวณเขตบางซื่อ ซึ่งเป็นย่านที่มีการผลิตและขายผลิตภัณฑ์ไม้มากที่สุดแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นการเก็บตัวอย่างเศษไม้จากสถานประกอบการประเภทผลิตภัณฑ์ไม้ไปแปรสภาพเป็นถ่านกัมมันต์ และช่วงที่ 2 เป็นการนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยกับต้นแบบระบบบำบัดไอระเหยที่ได้ออกแบบให้มีความเร็วจับ (Capture Velocity) มีค่าเท่ากับ 80 fpm หรือ 0.40 m/s โดยพบว่าในช่วงที่ 1 เศษไม้ที่นำไปแปรสภาพและนำไปวิเคราะห์ มีค่าดูดซับจำเพาะ (Surface Specific) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 750 m^3/g และเมื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของการดูดซับไอระเหยเบนซีนและโทลูอีนร่วมกับเครื่องต้นแบบระบบบำบัดไอระเหยในช่วงที่ 2 พบว่าไอระเหยเบนซีนและโทลูอีนจะถูกดูดซับดีในช่วงระดับความเข้มข้น 100 ppm คิดเป็นร้อยละ 54.29 และ 58.80 ตามลำดับ รองลงมาคือระดับความเข้มข้น 200 ppm คิดเป็นร้อยละ 49.62 และ 44.32 สุดท้ายยระดับความเข้มข้น 300 ppm คิดเป็นร้อยละ 44.93 และ 38.83

Abstract

This study concerned development of a vapor treatment system prototype for benzene and toluene vapors. The system was designed using close chamber principle with application of activated carbon, which was produced from wood chips in Bang Su district and plenty of large wood shop in Bangkok. By study Divide is 2 part. The first part of the study was wood sampling

and activated carbon production. The second part was evaluation of the performance of the vapor treatment system. It was designed have capture velocity about 80 fpm or 0.4 m/s. The part 1 was result showed the average surface specific value of the activated carbon was about 750 m³/g and evaluate of the performance of the vapor treatment system in part 2. The highest benzene and toluene absorption rate was 54.29% and 58.80% the order at 100 ppm vapor concentration. next as level concentration 200 ppm absorption rate was 49.62% and 44.32% and 300 ppm. absorption rate was 44.93% and 38.83 %.

บทนำ

โดยจากการศึกษา (สุรชาติ, 2543) พบว่าสถานประกอบการประเภทผลิตภัณฑ์ไม้ บริเวณเขตบางซื่อมีเบนซินและ โทลูอินอยู่มากทีเดียว ซึ่งเป็นสารจำพวกสารละลายในส่วนผสมของสีและสารเคลือบเงาต่างๆ ในกระบวนการผลิตภัณฑ์ไม้ ซึ่งค่อนข้างมีค่าเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด (ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) พ.ศ. 2520) ซึ่งกำหนดให้เบนซินมีค่าไม่เกิน 50 ppm. ในระยะเวลาทำงาน 10 นาทีและ โทลูอิน 500 ppm ในระยะเวลาทำงาน 10 นาที โดยที่ไอระเหยพวกนี้ยังถูกลมพัดกระจายออกไปสู่ชุมชนรอบข้างสถานประกอบการได้ เนื่องจากสถานประกอบการไม่ได้มีการเตรียมห้องพ่นและเคลือบน้ำยาเคลือบเงาไว้ โดยเฉพาะและขาดอุปกรณ์บำบัดไอระเหยที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทไม้ต่างๆ อีกทั้งอุปกรณ์บำบัดไอระเหยมีราคาแพงและการดูแลบำรุงรักษาลำบาก ซึ่งสถานประกอบการขนาดย่อมไม่สามารถจะแบกรับต้นทุนที่เพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นจึงได้มีจัดทำต้นแบบระบบบำบัดไอระเหยฯ พร้อมกับการทดลองใช้เศษวัสดุของไม้มาเผาเป็นถ่านกัมมันต์ (Char Coal) ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับกลิ่นและไอระเหยได้ค่อนข้างดี (Joseph and Beachler, 1981) โดยนำมาเป็นตัวกรองไอระเหยในระบบบำบัดและจากการทดลอง (วารุณี, 2542) ยังพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก เพื่อมุ่งให้ความช่วยเหลือสถานประกอบการในการบำบัด ไอระเหยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตภัณฑ์ไม้ของสถานประกอบการในเขตบางซื่อ เพื่อให้สามารถลดมลพิษที่เกิดจาก ไอระเหยของสีและน้ำยาเคลือบเงาไม้และยังสามารถบำบัดไอระเหยโดยไม่เป็นการเพิ่มต้นทุนแก่สถานประกอบการนั้นๆ รวมทั้งลดปัญหาขยะจากเศษไม้ที่เหลือใช้จากการผลิต โดยการนำกลับมาใช้ซ้ำ (นภาพรและคณะ, 2547) ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้เทคโนโลยีสะอาดในการบูรณาการชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสามารถของระบบบำบัดไอระเหยเบนซีนและ โทลูอีน โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่แปรสภาพจากเศษไม้

วิธีการศึกษา

1. การแปรสภาพเศษไม้เป็นถ่านกัมมันต์

ในการพัฒนาเศษไม้ ซึ่งเป็นเศษ ไม้สักเป็นส่วนใหญ่ มาแปรสภาพเป็นถ่านกัมมันต์ โดยนำเศษไม้มาผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชัน โดยใช้อุณหภูมิการเผาช่วง 650 -1050 องศาเซลเซียส ในที่ที่ไม่มีอากาศ จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการแอคทิเวทโดยทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิไดซิงที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส (รติกร, 2539) เพื่อให้เป็นถ่านกัมมันต์ จากนั้นนำมาบดและคัดขนาดตัวอย่าง ถ่านกัมมันต์ให้มีขนาดน้อยกว่า 60 เมช (0.246 มล.) จากนั้นทำการชั่งและจดบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง ถ่านกัมมันต์ (M) แล้วใส่สารละลายไอโอดีน 100 มล. ใส่ขวดชมพูขนาด 250 มิลลิลิตร มีจุกปิด ทำการปิดจุกแล้วเขย่าแรง ๆ โดยใช้เครื่องเขย่าสาร (Shaker) เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ 5 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษฟิลเตอร์ เบอร์ 42 ที่กรองได้ 20 มิลลิลิตรแรก แล้วทำการดูดสารละลาย ที่กรองได้ 50 มิลลิลิตรด้วยปิเปต ทำการไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมโซอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล โดยใช้ น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์(S) แล้วคำนวณค่าการดูดซับจำเพาะและความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลาย ไอโอดีน โดยนำมาสร้างเป็น Iodine Adsorption Isotherm และอ่านค่า

ซึ่งการคำนวณค่าการดูดซับจำเพาะ (X/M) และความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลาย ไอโอดีน (C) ได้จาก

$$(X/M) \text{ (มิลลิกรัม / กรัม)} = (1.269.30/ M) - (2.2)(12.693)(S/M)$$

$$C = (0.1/50) S$$

นำค่า (X/M) ที่ได้ที่สามค่ามาสร้าง Iodine Adsorption Isotherm ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง แกนราบ คือ log C แกนตั้งฉาก คือ log [(X)/M] ซึ่งจะได้เส้นความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงตำแหน่งที่ C = 0.02 หรือ log C = -1.699 จะทราบค่าบนแกนตั้งฉาก สมมติเท่ากับ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า ดังนี้

$$IA \text{ (มิลลิกรัม/กรัม)} = 10^Y$$

2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับความเข้มข้นของไอระเหยเบนซีนและ โทลูอีน

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ การดูดซับความเข้มข้นไอระเหยเบนซีนและ โทลูอีน ในลำดับแรกเป็นการสร้างต้นแบบระบบบำบัดไอระเหยขึ้นมาก่อน โดยออกแบบให้มีขนาดของความเร็วจับมลสาร เท่า 80 ฟุตต่อนาที

(fpm) หรือ 0.40 เมตรต่อวินาที (m/s) ตามคำแนะนำของ ACGIH (2001) จากนั้นบรรจุถ่านกัมมันต์ลงไปในเครื่องต้นแบบระบบบำบัดไอระเหย แล้วฉีดสารละลายเบนซีนและ โทลูอิน ที่มีระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 300 ส่วนในล้านส่วน (ppm) เข้าไปแล้วทำการเก็บตัวอย่างอากาศจากปลายท่อ (ชัยยุทธ, 2544) ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่ใส่ลงไปในระบบบำบัดไอระเหยและอากาศในระบบบำบัดไอระเหย โดยใช้อุปกรณ์เก็บคือ Charcoal Tube แล้วนำไปวิเคราะห์โดยเทคนิค Gas Chromatography จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์หาความแปรปรวน(Anova) และ Multiple Comparisons (วานินทร์, 2549) ของประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเบนซีนและ โทลูอินที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ



แผนภาพที่ 1 ต้นแบบระบบบำบัดไอระเหย

จากแผนภาพที่ 1 ต้นแบบระบบไอระเหยจะถูกออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยการใช้นิยามคำแนะนำตามคู่มือการระบายอากาศของ American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH, 2001) เพื่อให้อัตราการระบายอากาศในระบบบำบัดไอระเหยเป็นแบบราบเรียบ เพื่อจะทำให้ไอระเหยไม่เกิดการสูญเสียพลังงานและมวลสารภายในระบบมากเกินไป (พรพิมล, 2543) และ (วานินทร์, 2549) ซึ่งจะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของต้นแบบระบบบำบัดไอระเหย

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้
1. พื้นที่ (A_{face}) ใช้ในการดูดไอระเหย (Face Area)	4 ft ²
2. ความดันสถิต (SPh)	1.26 In _w
3. ความดันเนื่องจากความเร็ว (VP)	0.838 In _w
4. ความดันรวม (TP)	3.62 In _w
5. อัตราการไหล (Q)	320 cfm
6. ความเร็วในท่อ (V)	3666 fpm (18 m/s)*
7. ขนาดของแรงจับ (Capture Velocity)	80 fpm (0.40 m/s)*
8. ขนาดกำลังขับของพัดลม (BHP)	0.5 HP

* หน่วย m/s มีความหมายว่า เมตรต่อวินาที

ผลการศึกษา

1. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่แปรสภาพจากเศษไม้ของสถานประกอบการประเภทผลิตภัณฑ์ไม้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่แปรสภาพจากเศษไม้

สมบัติทางกายภาพและเคมี	ค่าการวิเคราะห์
ขนาดของอนุภาค (Particle Size)	1–3 มิลลิเมตร
ความหนาแน่น (Bulk Density)	0.55 – 0.61 กรัมต่อมิลลิกรัม
ความแข็ง (Hardness)	97
การดูดซับจำเพาะ (Surface Specific)	750.6 ตารางเมตรต่อกรัม
ความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลายไอโอดีน	652 ตารางเมตรต่อกรัม

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าการดูดซับที่ได้จากการเฉลี่ยค่าจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเศษไม้ 10 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยค่าการดูดซับจำเพาะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 750.6 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งวัสดุที่นำมาดูดซับที่ดีควรมีค่าการดูดซับจำเพาะ 720 ตารางเมตรต่อกรัมขึ้นไป (Marchello, 1976) ซึ่งถือว่าเศษไม้ที่นำมาแปรสภาพเป็นถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับสารอินทรีย์ได้

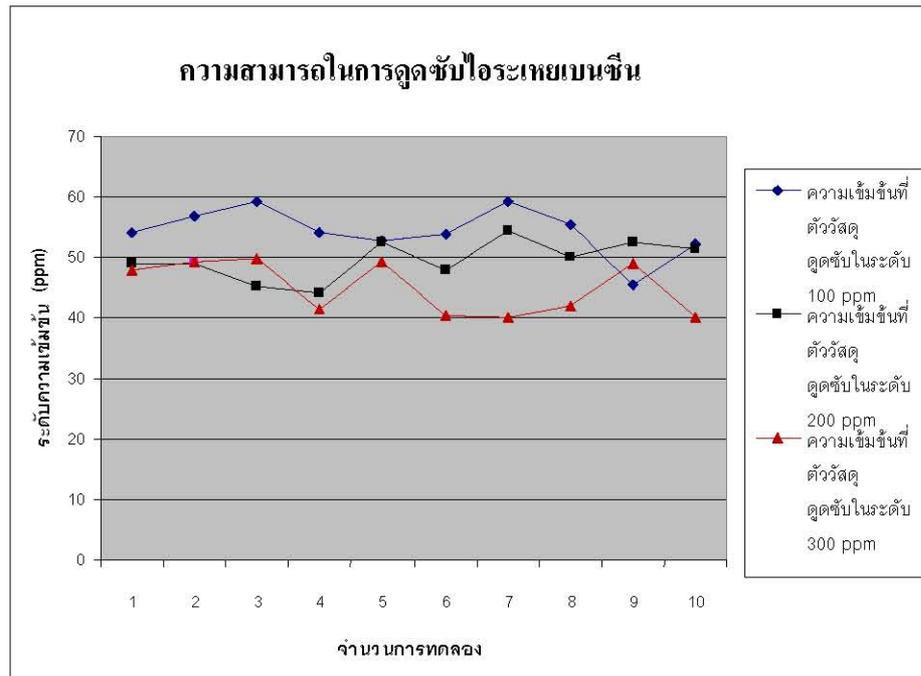
2. การวิเคราะห์หาความสามารถในการดูดซับไอระเหยเบนซีนและโทลูอินในระดับความเข้มข้นต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่นำมาบรรจุลงในเครื่องต้นแบบระบบบำบัดไอระเหย ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความสามารถในการดูดซับไอระเหยเบนซีนและโทลูอิน

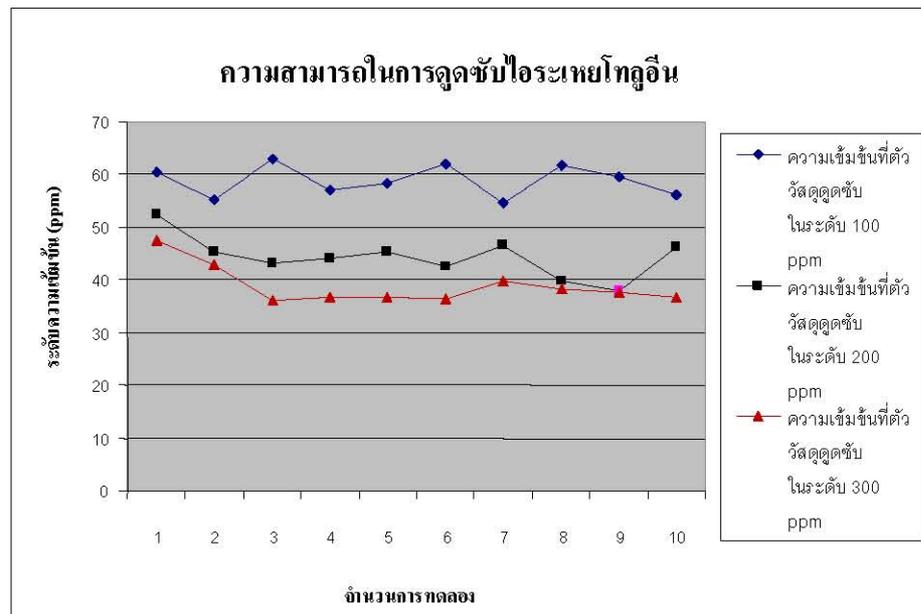
ไอระเหย	ความเข้มข้น 100 ppm	ความเข้มข้น 200 ppm	ความเข้มข้น 300 ppm
เบนซีน	54.29 ppm	49.62 ppm	44.93 ppm
โทลูอิน	58.80 ppm	44.32 ppm	38.83 ppm

จากตารางที่ 3 เป็นการขีดสารถลายมาตรฐานเบนซีนและโทลูอินที่มีระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 300 ppm ซึ่งแต่ละสารจะฉีดจำนวนละ 10 ซีซี แล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งพบว่าไอระเหยเบนซีนและโทลูอินที่ระดับความเข้มข้น 100 ppm จะถูกดูดซับได้ดีที่สุด โดยการนำถ่านกัมมันต์ตัวอย่างที่บรรจุในเครื่องต้นแบบระบบบำบัดไอระเหยมาวิเคราะห์หาสารมาตรฐานเบนซีนและโทลูอินที่ถูกดูดซับในถ่านกัมมันต์ตัวอย่าง โดยเทคนิค Gas Chromatography พบว่า ถ่านกัมมันต์ตัวอย่างดูดซับไอระเหยเบนซีนและโทลูอินได้ถึงร้อยละ 54.29 และ ร้อยละ 58.80 ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 200 ppm จะถูกดูดซับได้ดีรองลงมาและที่ระดับความเข้มข้น 300 ppm จะถูกดูดซับได้น้อยที่สุด

จากการสังเกตสารถลายมาตรฐานเบนซีนที่ระดับความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) จะถูกดูดซับได้น้อยกว่าสารถลายมาตรฐานโทลูอิน ณ ระดับความเข้มข้นเดียวกัน เนื่องมาจากถ่านกัมมันต์ที่บรรจุในระบบอาจได้รับความชื้นเนื่องจากฝนที่ตกขณะมีการทดลอง ซึ่งอาจจะทำให้ถ่านกัมมันต์ลดประสิทธิภาพในการดูดซับลงก็เป็นได้



แผนภาพที่ 2 ความสามารถในการดูดซับไอระเหยเบนซีนในระดับความชื้นต่าง ๆ



แผนภาพที่ 3 ความสามารถในการดูดซับไอระเหยโทลูอีนในระดับความชื้นต่าง ๆ

ซึ่งจากแผนภาพที่ 2 และ 3 พบว่าเมื่อฉีดไอระเหยเบนซีนและโทลูอินเข้าไปในระบบในช่วง 200 – 300 ส่วนในล้าน (ppm) จะพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับน้อยลงไป เนื่องจากพื้นที่ในการดูดซับน้อยเกินไปเมื่อมีไอระเหยที่มีปริมาณความเข้มข้นมากๆ เข้ามาจึงทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับน้อยลงไปด้วย อีกทั้งเศษไม้ตัวอย่างที่นำมาแปรสภาพเป็นถ่านกัมมันต์เป็นไม้เนื้อแข็งมีสมบัติเป็นรูพรุนน้อยกว่าพวกกะลามะพร้าวจึงทำให้ ดูดซับไอระเหยในช่วงความเข้มข้นมากๆ ไม่ค่อยดีนัก

นอกจากนี้ต้นแบบระบบ ไอระเหยได้ถูกออกแบบให้มีความเร็วจับ (Capture velocity) อยู่ระหว่าง 80 fpm (0.40 m/s) (สุรชาติ, 2547) จะทำให้อากาศในท่อไหลราบเรียบที่สุดเพื่อที่จะลดการสูญเสียพลังงานในการดูดซับ ซึ่งในระดับความเข้มข้นไอระเหยในระดับ 100 ส่วนในล้านส่วน(ppm) ถ่านกัมมันต์จะสามารถดูดซับไอระเหยที่ไหลผ่านในระดับนี้ได้ดีที่สุด แต่ในระดับความเข้มข้น 200 และ 300 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งมีความเข้มข้นมากๆ ความเร็วในการไหลผ่านวัสดุดูดซับจะช้ามาก จึงอาจทำให้ไอระเหยย้อนกลับเข้าไปและตกค้างในในระบบอีก ซึ่งจะเห็นชัดเจนมากในความเข้มข้นที่ระดับ 300 ส่วนในล้านส่วน (ppm) มีไอระเหยตกค้างในระบบถึง 200 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ที่เดียว

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการศึกษาและอภิปรายผล

1.1 การเก็บตัวอย่างเศษไม้ไปทำการแปรสภาพให้อยู่ในรูปของถ่านกัมมันต์และได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยพบว่า ค่าการดูดจำเพาะ (Surface Specific) มีค่าอยู่ระหว่าง 749 - 750 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 750 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งคุณสมบัติของสารดูดซับที่ดีสำหรับถ่านกัมมันต์ขนาด 4x 10 เมตร ควรมีค่าการดูดจำเพาะ (Surface Specific) ที่ประมาณ 720 ตารางเมตรต่อกรัม (Marchello, 1976) ซึ่งถือว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำมาจากเศษไม้จากสถานประกอบการผลิตภัณฑ์ มีประสิทธิภาพในการนำมาดูดซับสารอินทรีย์ได้ดี แต่จากการทดลองพบว่าเมื่อฉีดไอระเหยเบนซีนและโทลูอินเข้าไปในระบบในช่วง 200 – 300 ส่วนในล้าน (ppm) จะพบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับน้อยลงไป เนื่องจากพื้นที่ในการดูดซับน้อยเกินไปเมื่อมีไอระเหยที่มีปริมาณความเข้มข้นมากๆ เข้ามาจึงทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับน้อยลงไปด้วย อีกทั้งเศษไม้ตัวอย่างที่นำมาแปรสภาพเป็นถ่านกัมมันต์เป็นไม้เนื้อแข็งมีสมบัติเป็นรูพรุนน้อยกว่าพวกกะลามะพร้าวจึงทำให้ดูดซับไอระเหยในช่วงความเข้มข้นมากๆ ไม่ค่อยดีนัก

1.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการดูดซับไอระเหยเบนซีนและโทลูอิน ซึ่งเป็นการทดสอบโดยการติดตั้งวัสดุดูดซับลงไปต้นแบบระบบบำบัดไอระเหย ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยเบนซีนมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือในช่วงระดับความเข้มข้น 100, 200

และ 300 ส่วนในล้านส่วน (ppm) มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยเบนซีนและโทลูอีนแตกต่างกัน โดยในช่วง 100 ส่วนในล้านส่วน (ppm) จะดูดซับได้ดีที่สุด

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 ควรมีการวิจัยต่อในเรื่องของการคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในต้นแบบระบบบำบัดไอระเหยด้วย เพื่อจะช่วยให้สามารถนำถ่านกัมมันต์และสารอินทรีย์ที่อยู่ในถ่านกัมมันต์มาใช้ใหม่

2.2 ควรมีการศึกษาวัสดุเหลือใช้ อย่างอื่น เพื่อนำมาวิจัยหาวัสดุดูดซับไอระเหยที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.3 ปรับปรุงที่บรรจุวัสดุดูดซับให้มีความสะดวกและใช้ง่ายกว่านี้

2.4 ควรศึกษาวิจัยในเรื่องของอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมในการทำให้ไอระเหยที่มีความเข้มข้นสูง ๆ ไม่ตกค้างในระบบบำบัดมาก ๆ

เอกสารอ้างอิง

- ชัยยุทธ ชวลิตนิธิกุล. (2544). การฝึกปฏิบัติงานอาชีพอนามัย ความปลอดภัย และเออร์กอนอมิกส์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพมหานคร.
- พรพิมล กองทิพย์. (2543). วิทยาศาสตร์อุตสาหกรรม. ภาควิชาอาชีพอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ชานินทร์ ศิลป์จารุ. (2549). การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS. (พิมพ์ครั้งที่ 5). วิ. อินเทอร์เน็ต.
- นพภาพร พานิชและคณะ. (2547). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- รติกร อิศระเสนีย์. (2539). การผลิตถ่านกัมมันต์จากยางรถยนต์ใช้แล้วโดยการกระตุ้นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์. (2549). การระบายอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. โรงพิมพ์ธรรมสาร. กรุงเทพมหานคร.
- วารุณี สุขเสวตหิรัญ. (2542). การคืนสภาพถ่านกัมมันต์ที่ใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุรชาติ ตินวรรณ. (2543). การศึกษาปริมาณไอระเหยในสถานประกอบการประเภทผลิตภัณฑ์ไม้บริเวณเขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต.
- _____. (2547). การประเมินประสิทธิภาพของการระบายก๊าซอันตรายในห้องปฏิบัติการ. วิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

American Conference of Governmental Industrial Hygienist. (2001). **Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice (Metric version), 23rd edition**. ACGIH, Cincinnati.

Joseph, G. and Beachler, D. (1981). **Control of Gaseous Emission**. Northrop Services, Inc. Research Triangle Park.NC:EPA 450/2-81-005.

Marchello, J. (1976). **Control of Air Pollution Sources**, Dekker. New York. N.Y.