



การพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโทลูอินจากถ่านไม้

Development of Wooden Charcoal for Toluene Adsorption

องอาจ สุษะพันธ์¹ กมลขวัญ ไชยศรีหา¹ นิศารัตน์ ทองอินทร์¹
อัครเดช ศรีชาติ¹ พิรัชฎา มุสิกพงศ์¹ และ ชนิษฐา มีวาสนา^{1*}

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุดูดซับไอระเหยสารโทลูอินจากถ่านไม้โดยใช้น้ำยาราดเป็นตัวประสาน ถ่านไม้ที่ถูกเลือกมาทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินได้แก่ ผงถ่านที่ทำจากไม้มะขามและไม้จันทน์ ทำการทดลองโดยศึกษาความสามารถในการดูดซับในกล่องทดสอบและทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโทลูอิน ทุก ๆ 5 นาที เป็นระยะเวลา 50 นาที ด้วยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าผงถ่านไม้มะขามและผงถ่านไม้จันทน์ มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 393.05 มิลลิกรัม/กรัม และ 379.24 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ จึงนำผงถ่านไม้มะขามที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินสูงและยังหาได้ง่ายในท้องถิ่น ไปผสมกับน้ำยาราดและรีดเป็นแผ่น เพื่อพัฒนาให้ได้แผ่นวัสดุดูดซับ และนำไปทดสอบการดูดซับไอระเหยสารโทลูอิน พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินของแผ่นวัสดุดูดซับมีค่าเท่ากับ 202.96 มิลลิกรัม/กรัม จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอินระหว่างผงถ่านไม้มะขามกับแผ่นวัสดุดูดซับ พบว่าแผ่นวัสดุดูดซับไอระเหยสารโทลูอินที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการดูดซับได้น้อยกว่าผงถ่านไม้มะขามซึ่งเป็นเพราะพื้นที่ผิวของตัวดูดซับที่ลดลง

¹สาขาวิชาชีวอนามัยและความปลอดภัย สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*Corresponding Author, E-mail: mkhanidtha@sut.ac.th

ABSTRACT

Our experimental research emphasized on the development of the rubber-based charcoal adsorbent. Two types of wooden charcoal were prepared from Tamarind Tree (*Tamarindus indica*) and Semal tree (*Bombax ceiba L.*). The adsorption experiments were conducted in the test chamber. The toluene concentration in the chamber was analyzed every 5 minutes using gas chromatography. The maximum adsorption capacities found within experimental time (50 minutes) were 393.05 and 379.24 mg/g for Tamarind tree and Semal tree, respectively. Because of its higher adsorption capacity, Tamarind tree charcoal power was chosen to further develop as an adsorbent. The adsorbent sheet was developed by mixing Tamarind tree charcoal with rubber. Then the mixing was press to make adsorbent sheet. The adsorption capacity of the adsorbent sheet was also studied. However, the toluene adsorption capacity of the developed adsorbent sheets (202.96 mg/g) was found to be lower than that of charcoal adsorbents. The decrease of surface area was the main reason of this finding.

คำสำคัญ: การดูดซับ โทลูอิน ถ่านไม้ ผงถ่าน ตัวดูดซับ

Keywords: Toluene adsorption, Wooden charcoal, Charcoal, Adsorbent

1. บทนำ

สารโทลูอิน (toluene) มีสูตรเคมี C_7H_8 ถือเป็นสารเคมีที่เป็นพิษ สารเคมีชนิดนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างการใช้งาน เช่น ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมกาว สี กระจก และใช้ในงานเคลือบเงาไม้ สารนี้มีค่าความดันไอต่ำ ติดไฟได้ง่าย มีค่า TLV-TWA (ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงที่แนะนำโดย ACGIH) ไม่เกิน 20 ppm (ปรับปรุงล่าสุดปี ค.ศ. 2012) สำหรับกฎหมายไทยนั้น สารโทลูอินที่นำมาใช้ในวัตถุประสงค์เพื่องานอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นการนำเข้า ส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครอง จะถูกควบคุมตามบัญชีรายชื่อวัตถุอันตรายแบบท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2556 บัญชี 5 ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม รับผิดชอบ และสารโทลูอินยังเป็นหนึ่งใน 1,516

สารเคมี ที่นายจ้างผู้ประกอบการที่มีการใช้สารโทลูอินต้องจัดทำบัญชีรายชื่อสารเคมีอันตรายและรายละเอียดข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีอันตรายตามแบบ สอ. 1 ตามที่ระบุในกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2556 และประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง บัญชีรายชื่อสารเคมีอันตรายอีกด้วย

โทลูอินนั้นเป็นพิษต่อระบบประสาท เป็นสาเหตุของ โรคซึมเศร้า และสมองเสื่อม (Seo et al., 2010) พนักงานที่ต้องทำงานเกี่ยวข้องกับสารโทลูอินมีความเสี่ยงที่จะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพหากมีการสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้นสูง หรือมีการได้รับสารโทลูอินเป็นประจำตลอดระยะเวลาการทำงาน การสูดดมสารโทลูอินเข้าไปอาจทำให้เกิดอาการ

อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ วิงเวียน เดินเซ สารโกลูอินสามารถดูดซึมผ่านทางเดินหายใจและทางเดินอาหารได้อย่างรวดเร็ว และยังสามารถดูดซึมผ่านผิวหนังได้ วิธีการบำบัดไอร์อะเหยสารโกลูอิน จากอากาศได้มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย วิธีการดูดซับเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดโกลูอิน จากบรรยากาศได้เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ง่าย ใช้พลังงานและต้นทุนต่ำ (Russo et al., 2008; Akosman and Kalender, 2009) ตัวดูดซับที่มีการศึกษาและค้นพบว่าสามารถดูดซับไอร์อะเหยสารโกลูอินได้มีหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น ผงถ่านกัมมันต์ (Gil et al., 2014; Charik et al., 2012; Pei and Zhang, 2012) และซีโอไลต์ (Chao, Wong and Hui, 2007; Chen, Zhang and Yan, 2012) มีการศึกษาความเป็นไปได้ของชีวมวลชนิดต่าง ๆ ที่จะนำมาพัฒนาเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูง เช่นการใช้เปลือกทุเรียน (Tham et al., 2011) กะลามะพร้าว (Kumagai et al., 2010) หรือเปลือกเมล็ดอัลมอนต์ (Alicia et al., 2013) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับตัวดูดซับที่พัฒนามาจากยางอยู่จำนวนมาก (Alexandre-Franco et al., 2011; Troca-Torrado et al., 2011) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาชีวมวลรอบตัวที่สามารถนำมาใช้ได้ คณะผู้วิจัยมองเห็นความเป็นไปได้ในการนำไม้มะขามและไม้จ๊ว ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นมาศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นตัวดูดซับไอร์อะเหยสารโกลูอิน และทำการพัฒนาต่อเป็นเป็นวัสดุดูดซับร่วมกับยางพารา เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวัสดุดูดซับไอร์อะเหยสารโกลูอินจากถ่านไม้ โดยใช้น้ำยางพารา

เป็นตัวประสาน โดยเลือกถ่านไม้ด้วยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอร์อะเหยสารโกลูอินของผงถ่านไม้มะขามและผงถ่านไม้จ๊ว นำผงถ่านที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามาพัฒนาเป็นแผ่นวัสดุดูดซับไอร์อะเหยสารโกลูอิน และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอร์อะเหยสารโกลูอินของวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมผงถ่านไม้

นำไม้มะขามและไม้จ๊วมาเผาเพื่อให้เป็นถ่าน โดยวิธีเผาถ่านแบบดั้งเดิม นำถ่านไม้ที่ได้ มาบดและแยกขนาดผงถ่านไม้ด้วยตะแกรงร่อน ให้มีขนาด 150-250 ไมโครเมตร แล้วนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน นำผงถ่านไม้ที่ได้จากการซังด้วยเครื่องซังน้ำหนัก 4 ตันแห้ง ให้ได้น้ำหนัก 15 ± 0.5 กรัม (รูปที่ 1)

3.2 การพัฒนาวัสดุดูดซับไอร์อะเหยสารโกลูอิน จากถ่านไม้

นำผงถ่านไม้ปริมาณ 15 ± 0.5 กรัมและน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์กวนให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 10 นาที เติมน้ำยางปริมาณ 55 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์กวนจนผงถ่านและน้ำยางเป็นเนื้อเดียวกัน เทกรดฟอร์มิกปริมาณ 4 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์กวนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทลงในตะแกรงทิ้งไว้ 10 นาที เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดให้ใช้น้ำเทลงในตะแกรง นำยางที่อยู่บนตะแกรงออกมาทำการนวดแล้วเข้าเครื่องรีดเส้นให้ได้ความหนา 0.5 เซนติเมตร จากนั้นนำเข้าเครื่องรีดดอก และล้างด้วยน้ำยางแผ่นที่ได้ไปตากให้แห้ง 3-4 ชั่วโมง แล้วอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน (รูปที่ 2)



(a) เตรียมไม้



(b) การเผาถ่านไม้



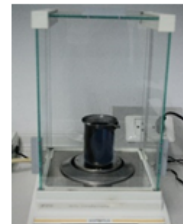
(c) ถ่านไม้จี้วและไม้ระขาม



(d) บดถ่านไม้



(e) แยกขนาดผงถ่านไม้



(f) ชั่งน้ำหนักผงถ่านไม้

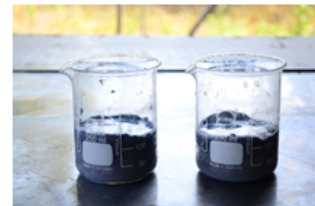
รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมผงถ่านไม้



(a) เตรียมอุปกรณ์ในการทำแผ่นวัสดุดูดซับ



(b) ขั้นตอนการทำแผ่นวัสดุดูดซับ



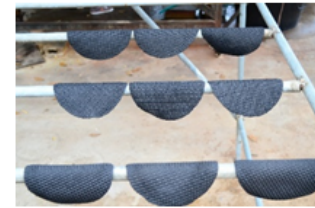
(c) ทิ้งเป็นระยะเวลา 10 นาที



(d) นวดแผ่นยางด้วยมือ



(e) ทำการรีดแผ่นยางวัสดุดูดซับ



(f) แผ่นยางวัสดุดูดซับ

รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำแผ่นวัสดุดูดซับ

3.3 การทดสอบการดูดซับไอระเหยสารโพลูอิน

1) การทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโพลูอินที่อยู่ในกล่องทดสอบ (chamber)

เตรียมความเข้มข้นในกล่องทดสอบ โดยใช้อากาศบริสุทธิ์ (air zero) อัดอากาศเข้าไปในกล่อง

ทดสอบพลาสติกอะคริลิก ขนาด 8 ลิตร (20×20×20 เซนติเมตร) เพื่อทำการกักอากาศที่อยู่ภายในกล่องทดสอบ ทำการเตรียมโพลูอิน ความเข้มข้น 800 ppm โดยคำนวณหาปริมาณของโพลูอินที่ใช้ในการเตรียม แก๊สมาตรฐาน จากสมการ 3.1 และ 3.2 ทำการดูดสาร

โพลูอินโดยใช้กระบอกฉีดยา (syringe) ที่มีขนาดที่เหมาะสม ก่อนการดูดสารโพลูอินให้ล้างด้วยสารละลายเมทานอล อย่างน้อย 3 ครั้ง ฉีดสารโพลูอินในปริมาณที่ได้จากการคำนวณลงในกล่องทดสอบ ดูดอากาศในกล่องทดสอบ ทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 50 นาที วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Hewlett Packard, รุ่น HP6890) อ้างอิงตามวิธีมาตรฐาน NIOSH Method 1501 (โดยใช้ flame ionization detector, FID ใช้ฮีเลียมเป็นก๊าซตัวพาที่อัตราการไหล 2.6 มิลลิลิตรต่อนาที คอลัมน์ชนิด capillary, fused silica, 30 m x 0.32 mm ID, PEG) บันทึกข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

2) การทดสอบการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของผงถ่านไม้

เตรียมผงถ่านไม้ที่ใช้ในการทดสอบบรรจุภายในกล่องทดสอบในปริมาณ 15 ± 0.5 กรัม โดยจัดเตรียมสภาวะในกล่องทดสอบตามที่ระบุในหัวข้อ 3.3 ดูดอากาศในกล่องทดสอบทุก ๆ 5 นาที เป็นเวลา 50 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิในการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส ตลอดการทดลอง วิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี และบันทึกข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยการดูดซับของถ่านทั้งสองชนิด โดยยอมรับความคลาดเคลื่อนในการฉีดทั้งสองครั้งไม่เกิน 10% คำนวณหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของผงถ่านไม้แต่ละชนิด แล้วเลือกผงถ่านไม้ที่มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาวัสดุดูดซับ

$$C_{ppm} = \frac{22.4 \times 10^6 \times W}{V \times MW} \quad (3.1)$$

$$W = \rho V_L \quad (3.2)$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของโพลูอิน (ppm)

W = น้ำหนักของโพลูอิน (กรัม)

V = ปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการเจือจางสารเคมีในรูปของเหลว (ลิตร)

MW = น้ำหนักโมลโมเลกุลของโพลูอิน (92.13 กรัม/โมล)

ρ = ความหนาแน่นของโพลูอิน (กรัม/ลิตร)

V_L = ปริมาตรของโพลูอินในสถานะของเหลว (ลิตร)

และสามารถคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับได้จากสมการ 3.3

$$q = \frac{\Delta C \times V_c}{M} \quad (3.3)$$

เมื่อ q = ค่าประสิทธิภาพการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

ΔC = ค่าความเข้มข้นที่ลดลง (มิลลิกรัม/ลิตร)

V_c = ปริมาณอากาศในกล่องทดสอบ (ลิตร)

M = มวลของวัสดุดูดซับ (กรัม)

3) การทดสอบการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

ทำการทดลองเหมือนข้อ 2) แต่เปลี่ยนจากผงถ่านเป็นวัสดุดูดซับที่ได้พัฒนาขึ้น

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าร้อยละ เพื่ออธิบายข้อมูลระดับความเข้มข้นของสารโพลูอินที่ผงถ่านไม้แต่ละชนิด และแผ่นวัสดุดูดซับที่พัฒนาจากถ่านไม้ ดูดซับไว้ได้ รวมทั้งนำมาคำนวณเป็นประสิทธิภาพการดูดซับในหน่วยมิลลิกรัมโพลูอินต่อกรัมของตัวดูดซับ เพื่อนำมาเปรียบเทียบในแง่ประสิทธิภาพอีกด้วย

4. ผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของผงถ่านไม้ทั้งสองชนิดคือผงถ่านไม้มะขาม และผงถ่านไม้จ้าว จากนั้นนำผงถ่านที่มีประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินสูงที่สุด

นำมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับไอระเหยสารโพลูอินร่วมกับ
ยางพาราและเปรียบเทียบค่าการดูดซับระหว่างผงถ่าน
ไม้และวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

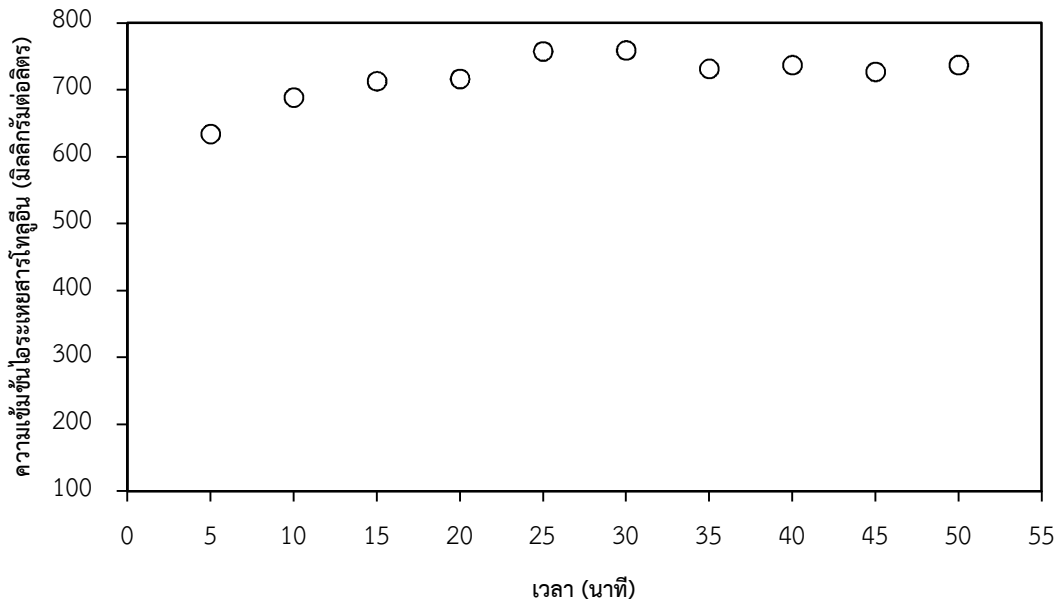
**4.1 ผลการศึกษาค่าความเข้มข้นไอระเหยสาร
โพลูอินที่อยู่ในกล่องทดสอบ**

ผลการศึกษาที่ได้ทำการทดลองหาค่าความ
เข้มข้นเริ่มต้นในกล่องทดสอบเปล่า โดยฉีดสารละลาย
โพลูอิน 99.8% ปริมาณ 27 ไมโครลิตร เข้าไปในกล่อง
ทดสอบ ปริมาตร 8 ลิตร และวิเคราะห์ค่าความเข้มข้น
โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ทุก ๆ 5 นาที สามารถ
สรุปได้ว่า ค่าความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลูอินที่อยู่

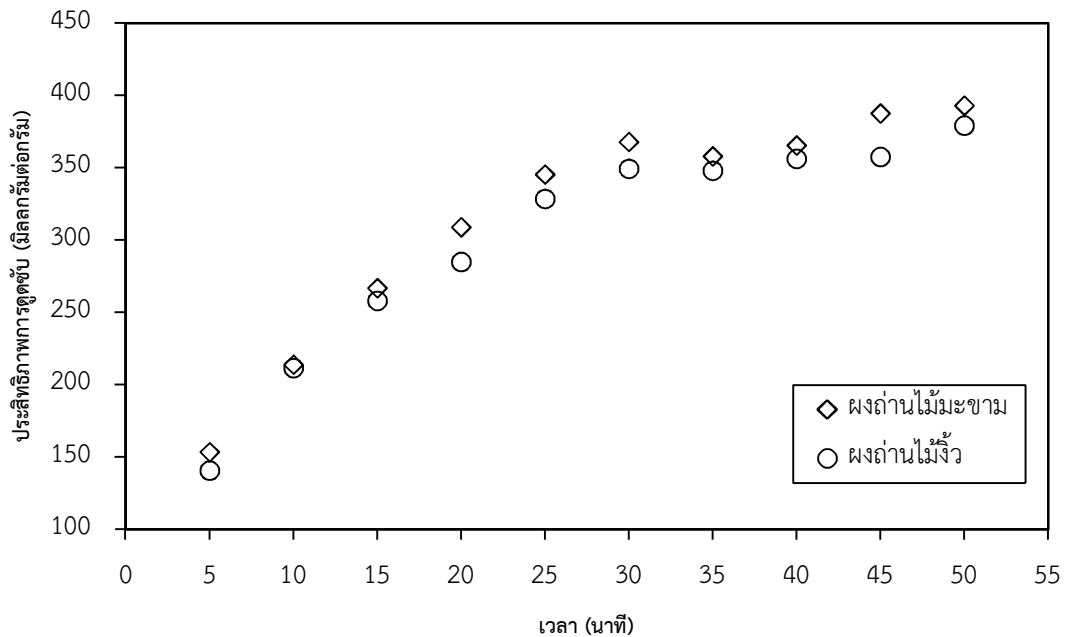
ในกล่องทดสอบ (chamber) เริ่มคงที่ ณ นาทีที่ 25
จนถึงนาทีที่ 50 มีค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาแสดงดัง
ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลูอินที่
เตรียมได้มีค่าไม่ถึง 800 ppm โพลูอินบางส่วนสูญเสีย
ไปเนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวของกล่อง
ทดสอบซึ่งทำจากพลาสติกโพลีสไตรีน (Gall and
Kramer, 1991; Pethrick and Wilson, 1973) ข้อมูล
จากตารางที่ 1 จะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการ
เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของผงถ่านไม้
แต่ละชนิดและวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 1 แสดงการศึกษาค่าความเข้มข้นไอระเหยสารโพลูอินที่อยู่ในกล่องทดสอบ

ตัวอย่าง	ครั้งที่	ค่าความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลูอิน (ppm)									
		ระยะเวลาในการทดสอบ (min)									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Blank	1	627.56	687.84	692.50	700.42	752.76	756.81	745.36	726.91	712.35	718.96
	2	640.32	689.23	733.21	732.26	762.25	760.94	717.30	746.86	741.54	754.97
	เฉลี่ย	633.94	688.54	712.86	716.34	757.51	758.88	731.33	736.89	726.95	736.97



รูปที่ 3 ความเข้มข้นไอระเหยสารโพลูอินในกล่องทดสอบเปล่าที่ปราศจากตัวดูดซับที่เวลาต่าง ๆ



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารโพลูอินของฝงถ่านไม้มะขามและฝงถ่านไม้จ้้ว

4.2 ผลการศึกษาและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของฝงถ่านไม้มะขามและฝงถ่านไม้จ้้ว

การศึกษาหาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของฝงถ่านไม้ ได้แก่ ฝงถ่านไม้มะขามและฝงถ่านไม้จ้้ว โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ทุก ๆ 5 นาที รวมเวลาทั้งหมด 50 นาที โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ ในฝงถ่านแต่ละชนิด บันทึกผลการทดลอง และเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอิน ของฝงถ่านไม้ทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

จากตารางที่ 2 และ 3 สามารถสร้างกราฟแสดงค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินเปรียบเทียบระหว่างของฝงถ่านไม้มะขามและฝงถ่านไม้จ้้ว ดังแสดงในรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของฝงถ่านไม้มะขามและฝงถ่านไม้

จ้้ว จะเห็นได้ว่าจากนาทีที่ 5 ถึงนาทีที่ 50 แนวโน้มของการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 393.05 และ 379.24 มิลลิกรัม/กรัม และมีค่าร้อยละการกำจัด (% removal) สูงสุด เท่ากับ 99.40 และ 95.91 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าไม้มะขามมีแนวโน้มการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินสูงกว่าฝงถ่านไม้จ้้ว โดยมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินสูงสุดที่ได้เวลา 50 นาที เท่ากับ 393.05 และ 379.24 มิลลิกรัม/กรัม สำหรับฝงถ่านไม้มะขามและฝงถ่านไม้จ้้วตามลำดับ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้นำฝงถ่านไม้มะขามไปพัฒนาต่อเป็นวัสดุดูดซับแบบแผ่นโดยใช้ยางพาราเป็นตัวเชื่อมประสาน รายละเอียดการเตรียมวัสดุดูดซับดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.2

ตารางที่ 2 การดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของผงถ่านไม้มะขาม

ชนิด/ตัวอย่าง	ค่าความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลูอินที่ตรวจวัดได้ในกล่องทดสอบ (ppm)									
	ระยะเวลาในการทดสอบ (min)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Blank	633.94	688.54	712.86	716.34	757.51	758.88	731.33	736.89	726.95	736.97
ผงถ่านไม้มะขาม	346.09	287.38	212.49	136.93	109.81	68.90	60.06	51.45	0.00	0.00
ค่าความเข้มข้นที่ลดลง	287.85	401.16	500.37	579.41	647.7	689.98	671.27	685.44	726.95	736.97
ประสิทธิภาพการดูดซับ (mg/g)	153.52	213.95	266.86	309.02	345.44	367.99	358.01	365.57	387.71	393.05
% removal	38.82	54.11	67.49	78.15	87.36	93.06	90.54	92.45	98.05	99.40

ตารางที่ 3 ตารางการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของผงถ่านไม้जू

ชนิด/ตัวอย่าง	ค่าความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลูอินที่ตรวจวัดได้ในกล่องทดสอบ (ppm)									
	ระยะเวลาในการทดสอบ (min)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Blank	633.94	688.54	712.86	716.34	757.51	758.88	731.33	736.89	726.95	736.97
ผงถ่านไม้जू	370.04	291.67	228.83	181.98	141.36	103.69	78.66	68.79	56.44	25.89
ค่าความเข้มข้นที่ลดลง	263.90	396.87	484.03	534.36	616.15	655.19	652.67	668.10	670.51	711.08
ประสิทธิภาพการดูดซับ (mg/g)	140.75	211.66	258.15	284.99	328.61	349.43	348.09	356.32	357.61	379.24
% removal	35.59	53.53	65.28	72.07	83.10	88.37	88.03	90.11	90.44	95.91

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

เมื่อนำผงถ่านไม้มะขามที่มีค่าการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินที่ดีที่สุดมาทำการพัฒนาเป็นแผ่นวัสดุดูดซับ ทำการทดลองตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลูอินที่อยู่ในกล่องทดสอบทุก ๆ 5 นาที พบว่าความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลูอินลดลงเรื่อย ๆ ค่าความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลูอินที่ตรวจวัดได้ในกล่องทดสอบที่เวลาต่าง ๆ และประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลูอิน ในกล่องทดสอบเมื่อใส่แผ่นวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเมื่อไม่ใส่แผ่นวัสดุดูดซับ (blank)

4.4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของผงถ่านไม้และวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

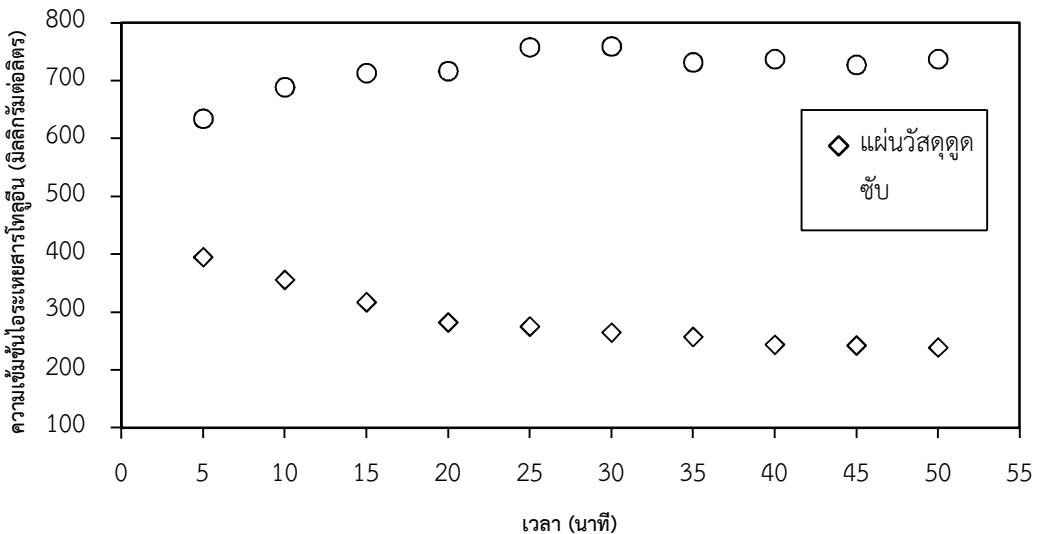
เมื่อนำค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินของผงถ่านไม้มะขามและแผ่นวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกันในทุกช่วงเวลาทำการทดลอง พบว่าผงถ่านไม้มะขามมีประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินมากกว่าแผ่นวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้นในทุกช่วงเวลาทำการทดลอง ซึ่งที่นาทีที่ 50 ได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลูอินสูงสุด โดยค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของสารโพลูอินของผงถ่านไม้มะขามและวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้นมีค่าเท่ากับ 393.05 มิลลิกรัม/กรัม และ 202.96 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาการดูดซับไอระเหยสารโพลีอินของแผ่นวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

ชนิด/ตัวอย่าง	ค่าความเข้มข้นของไอระเหยสารโพลีอินที่ตรวจวัดได้ในกล่องทดสอบ (ppm)									
	ระยะเวลาในการทดสอบ (min)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Blank	633.94	688.54	712.86	716.34	757.51	758.88	731.33	736.89	726.95	736.97
แผ่นวัสดุดูดซับ	394.80	355.57	317.05	282.13	274.97	264.59	256.99	243.46	242.21	238.70
ค่าความเข้มข้นที่ลดลง	239.14	332.97	395.81	434.21	482.54	494.29	474.34	493.43	484.74	498.27
ประสิทธิภาพการดูดซับ (mg/g)	97.41	135.63	161.23	176.87	196.55	201.34	193.21	200.99	197.45	202.96
% removal	32.25	44.91	53.39	58.56	65.08	66.67	63.98	66.55	65.38	67.20

ตารางที่ 5 ค่าการดูดซับไอระเหยสารโพลีอินของผงถ่านไม้มะขามกับแผ่นวัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้น

ชนิด/ตัวอย่าง	ประสิทธิภาพการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)									
	ระยะเวลาในการทดสอบ (นาที)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
ผงถ่านไม้มะขาม	146.90	196.58	253.17	276.13	353.77	368.59	355.83	362.30	361.65	393.05
แผ่นวัสดุดูดซับ	97.41	135.63	161.23	176.87	196.55	201.34	193.21	200.99	197.45	202.96



รูปที่ 5 ความเข้มข้นของสารโพลีอินในกล่องทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเมื่อไม่ใส่วัสดุดูดซับ (blank) และใส่วัสดุดูดซับในกล่องทดสอบ

5. สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลีอินของผงถ่านไม้ทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ผงถ่านไม้มะขาม และผงถ่านไม้จ้าวพบว่าค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโพลีอินของผงถ่านไม้มะขามมีค่า

มากกว่าผงถ่านไม้จ้าว โดยมีค่าประสิทธิภาพการดูดซับเท่ากับ 393.05 และ 379.24 มิลลิกรัม/กรัม ตามลำดับ และมีค่าร้อยละการกำจัด เท่ากับ 99.40 และ 95.91% ตามลำดับ เมื่อนำผงถ่านไม้มะขามมาพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับแบบแผ่นพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับของแผ่น

วัสดุดูดซับมีค่า 202.96 มิลลิกรัม/กรัม และมีค่าร้อยละ การกำจัดเท่ากับ 67.20% การที่วัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้นมา นั้นมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยสาร โทลูอินน้อยลงคิดเป็น 0.52 เท่าของประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยของสารโทลูอินของผงถ่านไม้มะขาม นั้นมีสาเหตุหลักมาจากการที่มีพื้นที่ผิวในการดูดซับที่น้อยลง (Rouquerol et al., 2014) เพราะในกระบวนการเตรียมวัสดุดูดซับต้องนำผงถ่านมาผสมกับน้ำยาฟารา เมื่อวัสดุดูดซับได้รูปแล้วจะเกิดเป็นแผ่นยางซึ่งทำให้ผิวสัมผัสลดลงมากเมื่อเทียบกับผงถ่าน แต่การพัฒนาให้เป็นแผ่นนั้น ทำให้ตัวดูดซับดังกล่าวสามารถนำมาใช้งานได้ง่ายขึ้น เช่น อาจนำมาพัฒนาต่อเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPE) หรือตัวกรองอากาศ หรือพัฒนาเป็นแผ่นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นนำไปบุบริเวณผนังห้องเก็บสารเคมี เป็นต้น เมื่อนำค่าประสิทธิภาพการดูดซับของแผ่นวัสดุดูดซับที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยสารโทลูอิน ของตัวดูดซับที่ได้จากงานวิจัยอื่นๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับตัวดูดซับต่อไปนี้ เปลือกเมล็ดอัลมอนต์ (253 มิลลิกรัม/กรัม) (Martínez de Yuso et al., 2013) และเบนโทไนด์ (228.2 มิลลิกรัม/กรัม) (Amaria et al., 2010) ในการทำวิจัยต่อไปในอนาคตควรทำการศึกษาเรื่องความสามารถในการดูดซับของน้ำยางที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน ขนาดรูพรุนของผงถ่าน ผลของอุณหภูมิ มวลของผงถ่าน ความเข้มข้นเริ่มต้นของโทลูอิน และปัจจัยอื่นๆต่อสมมูลการดูดซับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณชัยวัฒน์ คงมันกลาง คุณเนตรชนนี ดินवलพะเนา และ คุณรุจิรัตน์ กิจเลิศพรไพโรจน์ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ควบคุมห้องปฏิบัติการที่ให้คำแนะนำ อำนวย

ความสะดวก ติดต่อประสานงานในการใช้ห้องปฏิบัติการ และการเบิกวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- เกียรติศักดิ์ สมสัย, พลกฤษณ์ จิตรโรโต, และ วรนนท์ นาคบรรพต. (2557). ความสามารถในการดูดซับไอระเหยโทลูอินของผงถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิซายารอยนต์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 9: 1-9.
- Alexandre-Franco, M., Fernández-González, C., Alfaro-Domínguez, M. and Gómez-Serrano, V. (2011). Adsorption of cadmium on carbonaceous adsorbents developed from used tire rubber. *Journal of Environmental Management* 92(9): 2193-2200.
- Amaria, A., Chlenda, M., Gannounia, A. and Bellagib, A. (2010). Optimised activation of bentonite for toluene adsorption. *Applied Clay Science* 47(3-4): 457-461.
- Chafik, T., Darir, A. Achak, O., Carvalho, A.P. and Pires, J. (2012). Determination of the heat effects involved during toluene vapor adsorption and desorption from microporous activated carbon. *Comptes Rendus Chimie* 15(6): 474-481.
- Chao, C.Y.H., Kwong, C.W. and Hui, K.S. (2007). Potential use of a combined ozone and zeolite system for gaseous toluene elimination. *Journal of Hazardous Materials* 143: 118-127.
- Chen, H., Zhang, H. and Yan, Y. (2012). Preparation and characterization of a novel gradient porous ZSM-5 zeolite membrane/PSSF composite and its application for toluene adsorption. *Chemical Engineering Journal* 209: 372-378.

- Gall, T.P. and Kramer, E.J. (1991). Diffusion of deuterated toluene in polystyrene. *Polymer* 32(2): 265-271.
- Gil, R.R., Ruiz, B., Lozano, M.S., Martin, M.J. and Fuente, E. (2014). VOCs removal by adsorption onto activated carbons from biocollagenic wastes of vegetable tanning. *Chemical Engineering Journal* 245: 80-88.
- Kumagai, S., Ishizawa, H. and Toida, Y. (2010). Influence of solvent type on dibenzothiophene adsorption onto activated carbon fiber and granular coconut-shell activated carbon. *Fuel* 89: 365-371.
- Martínez de Yuso, A., Izquierdo, M.T., Valenciano, R. and Rubio, B. (2013). Toluene and n-hexane adsorption and recovery behavior on activated carbons derived from almond shell wastes. *Fuel Processing Technology* 110: 1-7.
- Pei, J. and Zhang, J.S. (2012). Determination of adsorption isotherm and diffusion coefficient of toluene on activated carbon at low concentrations. *Building and Environment* 48: 66-76.
- Pethrick, R.A. and Wilson, A.D. (1973). Adiabatic compressibility of polymer solutions—II. Polystyrene in toluene. *European Polymer Journal* 9(2): 169-175.
- Rouquerol, J., Rouquerol, F., Llewellyn, P. Maurin, G. and Sing, K.S.W. (2014). *Adsorption by Powders and Porous Solids. (2nd Edition)*. San Diego: Academic Press. pp. 237-268.
- Russo, P.A., Carrott, M.M.L.R. and Carrott, P.J.M. (2008). Adsorption of Toluene, Methylcyclohexane and neopentane on silica MCM-41. *Adsorption* 14(2-3): 367-375.
- Seo, H.S., Yang, M.S., Song, M.S., Kim, J.S., Kim, S.H., Kim, J.C., et al. (2010). Toluene inhibits hippocampal neurogenesis in adult mice, *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 94(4): 588-594.
- Tham, Y.J., Abdul, L.P., Abdullah, A.M., Shamala- Devi, A. and Taufiq-Yap, Y.H. (2011). Performances of toluene removal by activated carbon derived from durian shell. *Bioresource Technology* 102(2): 724-728.
- Troca-Torrado, C., Alexandre-Franco, M., Fernández-González, C., Alfaro-Domínguez, M. and Gómez-Serrano, V. (2011). Development of adsorbents from used tire rubber: Their use in the adsorption of organic and inorganic solutes in aqueous solution. *Fuel Processing Technology* 92(2): 206-212.

