

ความสามารถในการดูดซับไอระเหยโทลูอีนของถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์

A Performance of Toluene Adsorption Capacity from Pyrolysis Scrap Tires Char

เกียรติศักดิ์ สมสัย,¹ พลกฤษณ์ จิตรโต,^{2*} วรนนท์ นาคบรรพต³
Kiattisak Somsai,¹ Ponlakit Jitto,^{2*} Woranan Nakbanpote³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับโทลูอีนของถ่านที่เหลือจากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์โดยนำมาปรับสภาพด้วยเฮกเซน ความร้อน และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ผลการศึกษาพบว่า ถ่านมีองค์ประกอบหลัก คือ C, O, Zn และ S โดยพบร้อยละ 81.01, 6.12 6.49 และ 3.59 ตามลำดับ และธาตุรองลงมา คือ Cu, Si, Ca, Cl และ Al ร้อยละ 0.64, 0.81, 0.90, 0.26 และ 0.28 ตามลำดับ มีพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และเส้นผ่าศูนย์กลางของถ่านเท่ากับ 24.20 ตารางเมตรต่อกรัม 0.2574 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ 425.5 อังสตรอมตามลำดับ ที่ความเข้มข้นโทลูอีน 13.4 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรถ่านมีความสามารถในการดูดซับโทลูอีนเท่ากับ 532.0 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อทำการปรับสภาพถ่านด้วยสารเฮกเซนพบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้นเป็น 32.85 ตารางเมตรต่อกรัม 0.3648 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และมีเส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาดลดลงเหลือ 444.2 อังสตรอมความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น 682.17 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อทำการปรับสภาพถ่านด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส พบว่าถ่านสามารถดูดซับไอระเหยโทลูอีนได้ดีที่สุด 1,192.83 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับการปรับสภาพถ่านด้วยความร้อนที่ 500 องศาเซลเซียสร่วมกับสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าถ่านหลังการปรับสภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นแต่ความสามารถในการดูดซับลดลง ผลการศึกษามีแนวโน้มว่าคุณลักษณะของพื้นที่ผิวทางเคมีมีความสำคัญต่อความสามารถในการดูดซับโทลูอีนมากกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะ

คำสำคัญ : ไพโรไลซิส, การดูดซับ, โทลูอีน, ยางรถยนต์, มลพิษอากาศ

ABSTRACT

The objective of this research was to study toluene adsorption capacity using scrap tire char, which was modified by hexane, heat and KOH. The results showed that the major elements of the char were C, O, Zn and S, with the amounts of 81.01, 6.12, 6.49 and 3.59 percent, respectively. Minor elements were Cu, Si, Ca, Cl and Al with the amounts of 0.64, 0.81, 0.90, 0.26 and 0.28, respectively. BET surface, pore volume and

¹ นิสิตปริญญาโท, ² อาจารย์ หลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอ กันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ อาจารย์ สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอ กันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Graduated student, ² Lecturer, Environment Technology, Faculty of Environmental and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai, Mahasarakham, 44150, Thailand

³ Lecturer, Microbiology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai, Mahasarakham, 44150, Thailand

* Corresponding author : Ponlakit Jitto, Environment Technology, Faculty of Environmental and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai, Mahasarakham, 44150, Thailand, E-mail : flyandaway@hotmail.com

pore diameter of the char were $24.20 \text{ m}^2/\text{g}$, $0.2574 \text{ cm}^3/\text{g}$ and 425.5 \AA , respectively. At a toluene concentration of $13.4 \text{ mg}/\text{m}^3$, the adsorption capacity of the char was $532.0 \text{ mg}/\text{g}$. Char was modified by hexane. This increased the BET surface and pore volume, which became $32.85 \text{ m}^2/\text{g}$ and $0.3648 \text{ cm}^3/\text{g}$ respectively, while the pore diameter decrease to 444.2 \AA . The adsorption capacity was increase to $682.17 \text{ mg}/\text{g}$. Char was modified by heat at 500°C . It had the greatest toluene adsorption capacity of $1192.83 \text{ mg}/\text{g}$, while the char was modified by heat at 500°C with KOH. The BET surface was higher when the char was modified by heat at 500°C but the adsorption capacity decreased. The research showed the trend that the surface characteristics of the char were more effective for toluene adsorption capacity than the BET surface.

Keyword : Pyrolysis, Adsorption, Toluene, Tires, Air Pollution.

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยียางสังเคราะห์ได้ถูกพัฒนาและนำไปใช้เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วตามภาวะเศรษฐกิจ โดยอุตสาหกรรมที่มีการนำยางมาใช้สูงสุด คือ อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนรถยนต์¹ ซึ่งยางเหล่านี้เมื่อใช้งานเสร็จจนกลายเป็นยางเก่า การนำผลิตภัณฑ์ยางกลับมาใช้ใหม่นั้นทำได้ยาก เนื่องจากยางเมื่อผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์แล้วจะมีคุณสมบัติเป็นเทอร์โมเซตที่ไม่สามารถนำกลับมาหลอมเพื่อขึ้นรูปใหม่ได้ และไม่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติ ดังนั้นขยะจากยางจึงก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ และในการกำจัดขยะจากยางมีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น การรีไซเคิลยางด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนการนำยางไปเผาไหม้ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิประมาณ $450\text{-}700$ องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปของก๊าซของเหลว (น้ำมัน) และของแข็ง (ถ่าน)² ซึ่งก๊าซและของเหลวจะถูกแยกไปใช้ในรูปของพลังงานเชื้อเพลิง เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็งที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์

ในประเทศไทยพบว่า มีโรงงานผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์เป็นจำนวนมากซึ่งในขบวนการดังกล่าวมีเศษวัสดุที่เหลือทิ้งคือถ่าน ห้างหุ้นส่วนจำกัด มอดินแดงวิศวกรรม เป็นโรงงานผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากยางรถยนต์ตั้งอยู่ที่อำเภอเชียงยืน จังหวัดขอนแก่น ซึ่งทางโรงงานกำลังประสบปัญหาในการกำจัดถ่านที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจาก

กระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์ซึ่งมีจำนวนมากถึงประมาณร้อยละ 40 ของยางรถยนต์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ นอกจากนี้การประกอบกิจการโรงงานในกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์ เพื่อผลิตน้ำมันนั้น ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ โดยจะปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและสารออร์แกนิกระเหยง่าย เช่น พวกลูโธอิน เบนซิน ไซลีน และครีซอล ไดคลอโรพีเซน เป็นต้น การควบคุมมลพิษจากสารอินทรีย์ระเหยง่ายถูกแบ่งเป็น 2 วิธีได้แก่ การทำลายหรือเปลี่ยนโครงสร้างของสาร และการกักเก็บและเก็บรวบรวมสาร ซึ่งประกอบด้วย การดูดซึม การดูดซับ ความเข้มข้นของสารบนพื้นผิวที่เป็นของแข็ง การควบแน่นสาร และการแยกสารด้วยเยื่อเลือกผ่าน^{3,4,5} นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการดูดซับสารโทลูอีนโดยใช้พืช โดยทำการศึกษาการดูดซับสารโทลูอีนโดยใช้ต้นพลูด่าง ซึ่งสามารถดูดซับสารโทลูอีนได้ แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการนำไปใช้จริงในแง่ของวิศวกรรม การบำบัด ซึ่งต้องใช้พื้นที่ และระยะเวลามากในการฟื้นฟูสภาพของพืชเพื่อนำกลับมาใช้ในการบำบัดซ้ำ⁶

ถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสจากยางรถยนต์ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการรีไซเคิลยาง มีองค์ประกอบหลักเป็นสารไฮโดรคาร์บอนอยู่ถึงร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ด้วยคุณสมบัติที่มีลักษณะคล้ายถ่านกัมมันต์ ซึ่งสามารถดูดซับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้เช่นกัน ดังนั้น หากนำมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมสารมลพิษประเภทไฮโดรคาร์บอนและโดยเฉพาะสารโทลูอีนแล้ว จะทำให้สามารถควบคุมมลพิษทางอากาศได้ ช่วยลดต้นทุนในด้านค่าใช้จ่าย

ในการจัดซื้อถ่านกัมมันต์ พร้อมนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการพิจารณาเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดสารโพลีอินของโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้โพลีอินในกระบวนการผลิตต่อไปในอนาคต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์มาปรับสภาพพื้นผิวเพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับไอระเหยโพลีอิน (ถ่านที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากยางรถยนต์ของโรงงานของห้างหุ้นส่วนจำกัด มอดินแดงวิศวกรรม)

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

การเตรียมถ่านทดลอง

ถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์ นำมาจากห้างหุ้นส่วนจำกัด มอดินแดงวิศวกรรม จังหวัดขอนแก่น มีลักษณะสีดำ แข็ง แต่เปราะมีลักษณะเป็นเกล็ด ขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน เมื่อหักดูพบว่า บริเวณที่หักมีความมันวาว นำถ่าน(PST) มาทำการคัดแยกสิ่งเจือปนออก ทำความสะอาดโดยการล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปอบให้แห้ง จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องปั่น และร่อนผ่านตะแกรง (S/N 09428568 U.S.A. Standard Tyler, USA) เลือกถ่านขนาด 0.72-1 มิลลิเมตร นำไปเก็บในโถดูดความชื้นเพื่อนำไปทดลองต่อไป

การปรับสภาพถ่าน

ถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์ (PST) เมื่อนำไปใช้ในการดูดซับโดยตรงมีประสิทธิภาพการดูดซับไม่มาก เนื่องจากในรูพรุนของถ่านยังมีน้ำมัน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีปรับสภาพผิวถ่าน

การปรับสภาพถ่านด้วยสารเฮกเซน (PST-Hexane) นำถ่านขนาด 0.72-1 มิลลิเมตร กำจัดน้ำมันปนเปื้อนด้วยเฮกเซนโดยนำถ่าน 50 มิลลิกรัม ใส่ในสารละลายเฮกเซนร้อยละ 99 ปริมาตร 20 มิลลิกรัม เป็นเวลา 30 นาที กรองเฮกเซนออกจากถ่าน ทำการล้างด้วยเฮกเซน 7 ครั้ง แล้วทำการเพิ่มเวลาการล้างด้วยเฮกเซนเป็น 24 ชั่วโมง 3 ครั้ง ล้างด้วยน้ำ DI 5

ครั้งและนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปเก็บในโถดูดความชื้น

การปรับสภาพถ่านด้วยการให้ความร้อน นำถ่านขนาด 0.72-1 มิลลิเมตร ปริมาณ 10 กรัม บรรจุในถ้วยเผา (crucible) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางความกว้างของปากถ้วยเท่ากับ 5 เซนติเมตร และนำไปให้ความร้อนในเตาเผา (Carbolite model CWF 12/5, England) ที่อุณหภูมิ 400 (PST-400), 500 (PST-500), 600 (PST-600), 700 (PST-700), 800 (PST-800), 900 (PST-900) และ 1,000 (PST-1000) องศาเซลเซียส โดยไม่ปิดฝาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผา แล้วนำไปเก็บในโถดูดความชื้น

การปรับสภาพถ่านด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (PST-500-KOH) ถ่านปรับสภาพด้วยความร้อนที่ 500 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นในเตาเผา ใส่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1:1 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำ DI 5 ครั้ง และนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปเก็บในโถดูดความชื้น

อุปกรณ์การทดลอง และระบบการสร้างก๊าซโพลีอิน

ชุดอุปกรณ์ทดลองความสามารถการดูดซับโพลีอินโดยถ่าน ประกอบด้วยกล่องสร้างโพลีอินทำด้วยแก้วหนา 5 มิลลิเมตร ขนาด 15 X 15 X 25 เซนติเมตร (กว้าง X ยาว X สูง) ภายในมีบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิกรัม บรรจุสารละลายโพลีอิน กล่องต่อวาล์วสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เพื่อเป็นทางเข้าอากาศด้านบน และทางออกของโพลีอินด้านข้าง วาล์วต่อกับท่อเทปลอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1 เซนติเมตร ตำแหน่งที่ 1 คือ วาล์วสำหรับให้อากาศผสมกับไอระเหยโพลีอิน ตำแหน่งที่ 2 บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิกรัมสำหรับใส่สารละลายโพลีอินเพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดไอระเหยโพลีอิน ตำแหน่งที่ 3 ประกอบด้วยวาล์วจำนวน 2 วาล์วเพื่อให้อากาศผสมกับโพลีอินเพื่อควบคุมความเข้มข้นของไอระเหยโพลีอิน ตำแหน่งที่ 4 จุดตรวจวัดความเข้มข้นไอระเหยโพลีอินก่อนเข้าคอลัมน์ดูดซับ ตำแหน่งที่ 5 คอลัมน์บรรจุตัวดูดซับ และตำแหน่งที่ 6

จุดตรวจวัดความเข้มข้นของไอระเหยของโทลูอินหลังผ่านคอลัมน์ โดยที่ตำแหน่งวาล์วแต่ละตัวห่างกัน 5 เซนติเมตร และตำแหน่งคอลัมน์ห่างจากจุดตรวจวัด 5 เซนติเมตร แสดงดัง Figure 1

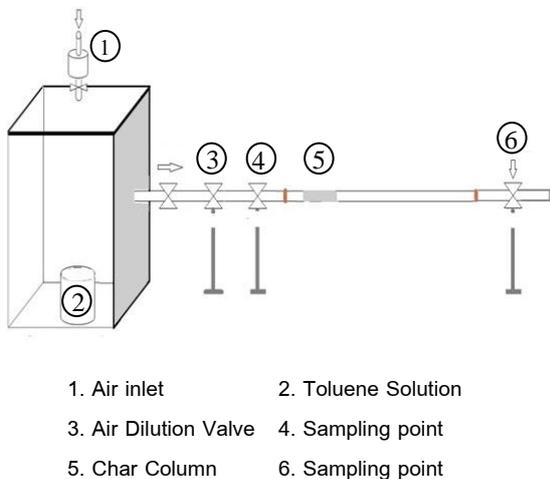


Figure 1 Toluene adsorption experiment diagram

คอลัมน์บรรจุตัวดูดซับ ทำจากหลอดแก้วใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร บรรจุถ่าน 2 กรัม นำคอลัมน์ที่มีใยแก้วปิดปลายข้างหนึ่งของคอลัมน์ไว้ บรรจุถ่านในคอลัมน์แล้ว นำใยแก้วอุดปิดรูคอลัมน์ จากนั้นนำไปต่อกับท่อเปปลอน ดังแสดง Figure 2



Figure 2 Absorption column set up

การวิเคราะห์ทางกายภาพของถ่าน

วิเคราะห์พื้นที่ผิวของถ่านด้วยเครื่อง SEM/EDS นำตัวอย่างถ่านที่ไม่ปรับสภาพ (PST) ถ่านที่ผ่านการกำจัดน้ำมันออกด้วยเฮกเซน ถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 400 500 600 700 800 900 และ 1,000 องศา

เซลเซียส และถ่านที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มาวัดให้มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร โรยผงตัวอย่างบนแผ่นคาร์บอนเทป ซึ่งแปะอยู่บนแท่นวัดตัวอย่าง จากนั้นเคลือบทองบนผิวหน้าตัวอย่าง ก่อนนำไปศึกษาลักษณะพื้นผิวและวิเคราะห์ร้อยละของธาตุบนพื้นผิววัสดุดูดซับ ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (Jeol JSM-6460 LV, Japan) ต่อพ่วงกับ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) (Inca X-Sight Oxford Instrument, UK)

การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและความพรุนด้วยเครื่อง BET surface analyzer นำตัวอย่างถ่านที่ไม่ปรับสภาพ (PST) ถ่านที่ผ่านการกำจัดน้ำมันออกด้วยเฮกเซน ถ่านที่เผาด้วยอุณหภูมิ 400 500 600 700 800 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส และถ่านที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) มาวัดให้มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร และทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง BET surface analyzer (Quanta Chrome Autosorb Automated Gas Sorption System, USA)

การศึกษาการดูดซับโทลูอิน

สภาวะที่ใช้ในการทดสอบการดูดซับไอระเหยโทลูอิน ทดสอบในสภาวะอุณหภูมิห้องประมาณ 30±5 องศาเซลเซียส

การเตรียมความเข้มข้นของไอระเหยโทลูอินเตรียมจากสารละลายโทลูอิน ความเข้มข้นร้อยละ 99.5 นำสารละลายโทลูอิน 80 มิลลิลิตร ตั้งไว้ในกล่องสร้างก๊าซโทลูอิน เมื่อสารละลายโทลูอินระเหยกลายเป็นไอทำการเปิดวาล์วด้านบนกล่อง และเปิดวาล์วด้านข้างกล่องทดสอบ ดูดโทลูอินด้วยปั๊มอัตราการไหล 450 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการวัดปริมาณไอระเหยตั้งต้น ทำการปรับระดับอากาศผสมเพื่อให้ได้ความเข้มข้นไอระเหยโทลูอินที่แตกต่าง ตรวจวัดค่าความเข้มข้นโทลูอินด้วยเครื่องมือวัดค่า VOCs Meter ยี่ห้อ Mini Rae รุ่น 2000

ศึกษาความสามารถในการดูดซับโพลูอินด้วย ถ่านได้จากกระบวนการไพโรไลซิสยางรถยนต์ (ชุดควบคุม) ถ่านที่ผ่านการกำจัดน้ำมันออกด้วยเฮกเซน ถ่านที่เผาที่อุณหภูมิ 400 500 600 700 800 900 และ 1,000 องศาเซลเซียส และถ่านที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ความเข้มข้นโพลูอิน ในการทดสอบการดูดซับที่ระดับความเข้มข้นของไอระเหยโพลูอิน โดยให้มีระดับความเข้มข้นที่ 13.4 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของไอระเหยโพลูอินทุก 5 นาที จนกระทั่งถ่านตัวดูดซับไม่สามารถดูดซับไอระเหยโพลูอิน

ศึกษาความสามารถในการดูดซับถ่าน PST กับระดับความเข้มข้นต่างๆ ของไอระเหยโพลูอิน ชนิดถ่านที่นำมาทดลองได้จากถ่านที่มีความสามารถในการดูดซับได้ดีในการทดลองแรก นำมาทดลองดูดซับโพลูอินที่ระดับความเข้มข้นของไอระเหยโพลูอิน 9.7 12.9 16.1 19.3 และ 22.5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของไอระเหยโพลูอินทุก 5 นาที จนกระทั่งถ่านตัวดูดซับไม่สามารถดูดซับไอระเหยโพลูอิน

วิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารโพลูอิน

ในการศึกษาใช้เครื่องวัด VOCs ชนิดหัววัด PID (Photoionization detector) ยี่ห้อ Mini Rae รุ่น 2000 โดยทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น VOCs จากเครื่องวัดกับค่า ความเข้มข้นของโพลูอิน ด้วยวิธี Method 1501 (NIOSH,1994) โดยเตรียมความเข้มข้นของไอระเหยโพลูอินจากสารละลายโพลูอิน ให้ อยู่ในสถานะไอระเหยโดยเทคนิค Headspace (จันท์เพ็ญ, 2546) นำสารละลายโพลูอินที่ปริมาณต่างๆ คือ 5 10 20 40 60 80 และ 100 ไมโครลิตร (μ l) หยดลงในจานเพาะเชื้อ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร) ลงในแต่ละกล่องทดลอง ปล่อยให้โพลูอินระเหยจนหมดในกล่องทดลองที่ปิดสนิท ทำการวัดความเข้มข้นของไอระเหยโพลูอิน ด้วยเครื่องวัด VOCs meterโดยมีอัตราการดูดตัวอย่างอากาศ 450 - 550 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ทำการบันทึกค่า แล้วทำการเก็บตัวอย่างอากาศไปวิเคราะห์ความเข้มข้น

ของสารโพลูอิน ด้วยวิธี Method 1501⁷ วัดโดยเครื่อง Gas Chromatography (Shimadzu 2014, Japan) ใช้ Column : RTX-Wax (30 mm x 0.25mm i.d.) Temperature program 45 องศาเซลเซียส คงที่เป็นเวลา 10 นาที Injector temperature 520 องศาเซลเซียส Detector temperature 300 องศาเซลเซียส, Carrier gas ฮีเลียม(He) Flow rate 2.10 มิลลิเมตรต่อ นาที Column pressure 139.7 กิโลปาสคาล และ Split ratio 20 Injection volume 1 ไมโครลิตร

ค่าความเข้มข้นของโพลูอิน ได้จากการนำเครื่องวัด VOCs วัดความเข้มข้นสารอินทรีย์ระเหยง่าย และถูกปรับเป็นความเข้มข้นโพลูอิน โดยนำค่าจากเครื่องวัด VOCs สร้างกราฟความสัมพันธ์กับวิธีวิเคราะห์ความเข้มข้นโพลูอินด้วยวิธี Method 1501 และหาสมการเส้นตรงเพื่อใช้ในการปรับค่าสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากเครื่องวัดเป็นค่าความเข้มข้นโพลูอิน

ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล

คุณสมบัติทางกายภาพของถ่าน

คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านทำการศึกษา พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรของรูพรุน และ ความกว้างของรูพรุน ของถ่าน PST PST-hexane PST-KOH และ PST ที่เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยเครื่อง BET Surface Area

ผลการศึกษาพบว่า ถ่าน PST ที่ยังไม่ปรับสภาพ มีพื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนต่ำ เมื่อปรับสภาพถ่าน PST ด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนเพิ่มมากขึ้นใกล้เคียงกับการปรับสภาพถ่านด้วย เฮกเซน การปรับสภาพถ่านด้วยอุณหภูมิ 500-1,000 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุน ซึ่งการให้ความร้อนในอุณหภูมิที่สูงขึ้นก่อให้เกิดรูพรุนขนาดกลางเพิ่มขึ้น⁸ แสดงดังภาพ Figure 3 (a,b) แต่มีผลทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุนมีขนาดเล็กลง แสดงดัง Figure 3 (c) การปรับสภาพถ่าน PST ด้วยความร้อนเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ออกจากช่องว่างของถ่าน

นอกจากนี้ความร้อนยังทำให้โครงสร้างโมเลกุลเกิดการจัดเรียงใหม่ทำให้เกิดรูพรุนเพิ่มขึ้น⁹

ปริมาณรูพรุนกับพื้นที่ผิวของถ่าน PST ที่เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจะได้พื้นที่ผิวและความพรุนเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะเกิดการสูญเสีย การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายของคาร์บอนในโครงสร้างและความร้อนจะเข้าไปแทนที่สารต่าง ๆ ในโครงสร้างของถ่าน เกิดเป็นโครงข่ายของคาร์บอนและบีบทำให้ปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้น¹⁰ แสดงดัง Figure 3

การปรับสภาพถ่าน PST ที่ 500 องศาเซลเซียสด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถทำให้พื้นที่ผิวของถ่านเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงดัง Figure 3(a) เนื่องจากอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกกำจัดด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสแล้ว เมื่อทำการปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มในภายหลังพบว่าสารละลายมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยทำให้ขนาดพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นจากเดิมแต่ไม่มาก¹¹ นอกจากนี้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะเข้าไปจับกับโครงสร้างของคาร์บอน (Goss-Links) ในถ่านมีผลให้ปริมาตรรูพรุน และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเพิ่มขึ้น¹⁰

การศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวของถ่าน จากกระบวนการไพโรไลซิสของรถยนต์ (PST, PST-hexane และ PST-500 ด้วยเครื่อง SEM/EDS ผลการศึกษาลักษณะภายนอกของถ่าน PST PST-hexane และPST-500 ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 500 และ 10,000 เท่า พบว่าถ่านทั้งสามชนิดมีพื้นที่ผิวภายนอกลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ เกาะกันพื้นผิวขรุขระ ไม่มีรูปรทรงที่แน่นอน ไม่พบรูพรุน เมื่อวิเคราะห์สัดส่วนของธาตุบนพื้นที่ผิวด้วยเครื่อง EDS พบว่าธาตุหลักของถ่าน PST, PST-hexane และ PST-500 คือคาร์บอน มีสัดส่วนร้อยละ 81.01 84.90 และ 80.35 ตามลำดับ ธาตุมีปริมาณรองลงมาโดยมีปริมาณระหว่างร้อยละ 1-15 คือ สังกะสี ออกซิเจน และ ซัลเฟอร์ ส่วนธาตุมีน้อยกว่าร้อยละ 1 ได้แก่ ซิลิกา ทองแดง แคลเซียม อลูมิเนียม การปรับสภาพด้วยความร้อนพบว่าออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความร้อนทำ

ให้คาร์บอนเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เป็นผลให้สัดส่วนของคาร์บอนลดลง ในขณะที่การปรับสภาพด้วยเฮกเซน สังกะสี ซัลเฟอร์ ทองแดง แคลเซียม อลูมิเนียมลดลง ทำให้สัดส่วนของคาร์บอนเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าถ่าน PST ทั้งสามชนิด ประกอบด้วยคาร์บอนมากกว่าร้อยละ 80 แสดงให้เห็นว่าถ่านทั้งสามชนิด มีลักษณะเด่นของถ่านที่มีความสามารถในการดูดซับ นอกจากนี้ยังเพิ่มความแข็งแรงของถ่าน¹² ในถ่าน PST พบปริมาณของคลอรีน ส่วน PST-500 และ PST-hexane ไม่พบคลอรีนเนื่องจากถูกกำจัดออกไปด้วยการตัวทำละลายเฮกเซน หรือระเหยเนื่องจากความร้อน แสดงดัง Table 1

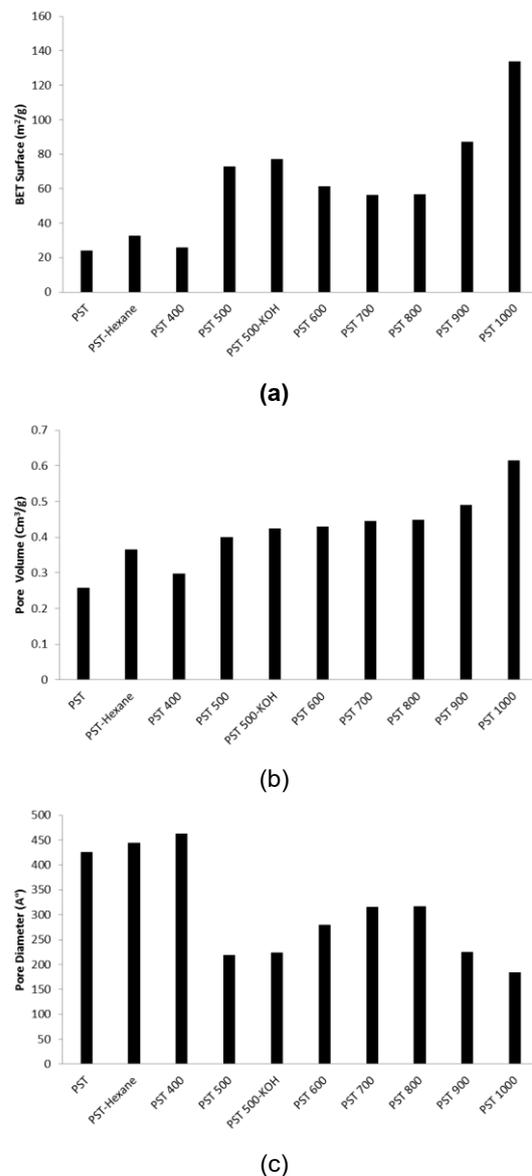


Figure 3 Bet Surface (a) Pore Volume (b) และ Pore Diameter (c) of PST

Table 1 Element Ratio of PST, PST-500 and PST-hexane by SEM/EDS

Element	PST (%)	PST-hexane (%)	PST-500 (%)
C	81.01	84.90	80.35
O	6.12	8.01	12.47
Zn	6.49	3.40	3.47
S	3.59	2.02	2.19
Si	0.81	0.80	0.67
Cu	0.64	0.40	0.24
Ca	0.90	0.30	0.47
Al	0.28	0.18	0.14
Cl	0.26	na	na

ผลการปรับสภาพถ่านต่อความสามารถในการดูดซับโทลูอีน

การศึกษาถ่าน PST PST-hexane และ PST ที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ทำการดูดซับโทลูอีน ความเข้มข้น 13.4 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาพบว่า ถ่าน PST-hexane และ PST มีความสามารถในการดูดซับ 682.2 และ 532.0 มิลลิกรัมโทลูอีนต่อกรัมถ่านตามลำดับ โดยมีระยะเวลาในการดูดซับ 1,605 และ 1,255 นาที ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ่าน PST-hexane มีความสามารถในการดูดซับได้สูงกว่า PST แสดงดัง Table 2 เนื่องจากสารเฮกเซนเข้าไปชะล้างน้ำมันปนเปื้อนในถ่านทำให้ถ่าน PST-hexane มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้นทำให้ดูดซับโทลูอีนมากขึ้น¹³

ผลการดูดซับไอระเหยของโทลูอีน ของถ่าน PST ที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าถ่าน PST ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการดูดซับไอระเหยของโทลูอีนสูงที่สุด โดยมีความสามารถในการดูดซับ 1,192.8 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่าน โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับถ่านที่เผาที่อุณหภูมิที่สูงกว่าคือ PST-600 ถึง PST-900 พบว่า ถ่าน PST-500 มีพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรรูพรุน ใกล้เคียงกัน แต่เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน PST-500 มีขนาดเล็กกว่า

PST-600 ถึง PST-900 เมื่อนำถ่าน PST-500 เปรียบเทียบกับ PST-1000 พบว่ามีเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกัน คือ 219.2 และ 183.9 อังสตรอม ทั้งนี้ ถ่าน PST-1000 มีพื้นที่ผิวสูงที่สุดคือ 133.7 ตารางเมตรต่อกรัม แต่มีความสามารถในการดูดซับน้อยกว่า PST-500 เนื่องจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในช่วงอุณหภูมิ 600-1000 องศาเซลเซียสสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ 500 องศาเซลเซียส ทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า แต่ลักษณะทางเคมีผิวถ่านมีความแตกต่างกับ PST-500 ดังนั้น จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าลักษณะทางเคมีของผิวถ่านมีความสำคัญต่อความสามารถในการดูดซับมากกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะ

Table 2 Toluene adsorption capacity of char

Type of PST	Adsorption Time (Minute)	q (mg/g)
PST	1,255	532.0
PST-hexane	1,605	682.2
PST-400	465	197.7
PST-500	2,770	1,192.8
PST-600	220	93.1
PST-700	285	105.7
PST-800	510	211.7
PST-900	445	188.7
PST-1000	775	326.4

การเปรียบเทียบ PST-500 กับ PST-500-KOH ทำการทดลองความสามารถในการดูดซับและบำบัดไอระเหยสารโทลูอีน ที่ความเข้มข้น 16.10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าถ่าน PST-500-KOH มีความสามารถในการดูดซับโทลูอีนได้น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับถ่าน PST-500 จะเห็นว่าความสามารถของถ่าน PST-500 KOH แสดงดัง Figure 4 แม้ว่า PST-500-KOH มีพื้นที่ผิวจำเพาะ และปริมาตรรูพรุนมากกว่า PST-500 แต่ PST-500 มีความสามารถในการดูดซับโทลูอีนมากกว่ามาก เนื่องจากโพแทสเซียมไฮ

ดรอไซค์ทำให้สภาพผิวถ่านเปลี่ยนไปเป็นผลให้ PST-500 มีความสามารถในการดูดซับโทลูอีนมากกว่า

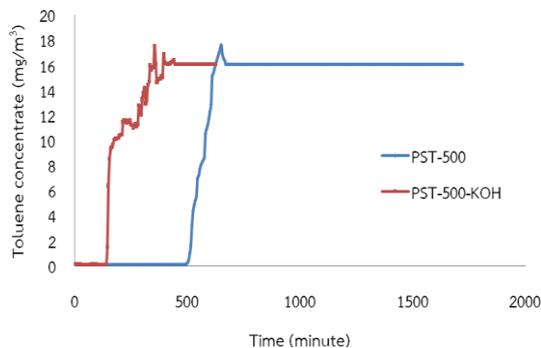


Figure 4 Comparison of adsorption breakthrough curve between PST-500 and PST-500-KOH

ผลของความเข้มข้นโทลูอีนต่อความสามารถในการดูดซับของถ่าน PST-500

นำถ่าน PST-500 ปริมาณ 2 กรัม นำไปทดสอบการดูดซับไอระเหยโทลูอีน ที่ระดับความเข้มข้น 9.70±0.16 12.90±0.14 16.10±0.16 19.30±0.01 และ 22.50±0.02 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอีนให้สูงขึ้น ระยะเวลาในการดูดซับจะสูงขึ้น คือ 1,043.6 1,155.2 1,214.4 1,277.2 และ 1,329.6 นาทีตามลำดับ เป็นผลให้ความสามารถในการดูดซับ (q) เพิ่มขึ้นคือ 227.8±1.5 335.3±7.9 439.9±29.5 554.6±5.3 และ 673.1±4.7 มิลลิกรัมต่อกรัมถ่านตามลำดับ แสดงดัง Figure 5 และ 6 เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไอระเหยสารโทลูอีนให้สูงขึ้น ทำความดันก๊าซโทลูอีนเพิ่มขึ้น เป็นผลให้โทลูอีนสามารถแทรกเข้าไปภายในถ่านได้มากขึ้น นอกจากนี้ความเข้มข้นสูงทำให้ความต้านทานการแลกเปลี่ยนสารในการดูดซับระหว่างอากาศและพื้นที่ผิวถ่านลดลง ทำให้ที่ความเข้มข้นของก๊าซมากสามารถดูดซับได้มากกว่า¹⁴

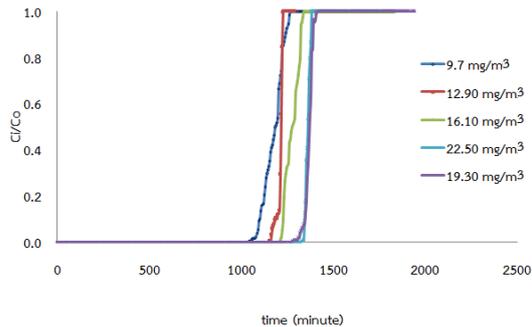


Figure 5 Break through curve of toluene adsorption at varied concentration

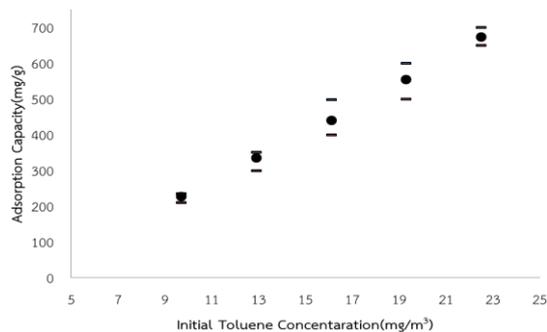


Figure 6 Adsorption Capacity of PST-500 at varied Concentration

4. สรุปผล

ผลการศึกษาพบว่าถ่าน PST มีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนสูง การปรับสภาพด้วยเฮกเซน สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 ถึง 1,000 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนให้สูงขึ้นได้ ในขณะที่เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของรูพรุนมีขนาดเล็กขององค์ประกอบของธาตุของ ถ่าน PST, PST-hexane และ PST-500 คือ คาร์บอน มีสัดส่วนมากที่สุด รองลงมาโดยมีปริมาณธาตุ ระหว่างร้อยละ 1-15 คือ สังกะสี ออกซิเจน และ ซัลเฟอร์ ส่วนธาตุน้อยกว่าร้อยละ 1 ได้แก่ ซิลิกา ทองแดง แคลเซียม อลูมิเนียม

ถ่าน PST ที่นำไปปรับสภาพด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้สูงสุด มีความสามารถในการดูดซับโทลูอีน 1,192.82 มิลลิกรัมต่อกรัม ในส่วนของกลไกการดูดซับพบว่าปกติถ่านที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่ามีแนวโน้มมีความสามารถในการดูดซับมากกว่า แต่ในกรณี

การศึกษานี้พบว่า PST-500 มีความสามารถในการดูดซับมากกว่า PST-1000 แม้ว่า PST-1000 มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า แสดงให้เห็นว่ากลไกการดูดซับนี้มีความไวต่อความสามารถในการดูดซับที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของพื้นผิวมากกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทุนวิจัยมหัศจรรย์ สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. – อุตสาหกรรม เลขที่สัญญา MRG-WI535S072 และห้างหุ้นส่วนจำกัด มอดินแดงวิศวกรรม สำหรับการให้ความสนับสนุนด้านและให้ทุนวิจัยร่วมกับสกว.

เอกสารอ้างอิง

- พงษ์ธร แซ่ฮุย. เทคโนโลยี รีไซเคิลยาง. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง; 2552: 3(3). หน้า 4.
- ดารณี เจริญสุข. การรีไซเคิลยางตัวกระบวนการไพโรไลซิส. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ยาง; 2552: 3(3). หน้า 21.
- Khan, I F and Ghoshal, Kr A. Removal of Volatile Organic Compounds from polluted air. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2000; 13:527-545.
- Huanhao C, Huiping Zh and Ying Y. Adsorption dynamics of toluene in structured fixed bed with ZSM-5 membrane/PSSF composites. *Chemical Engineering Journal*. 2013; 228:336-344
- Kwang-Dae K, Eun J P, Hyun O S, Myung-G J, Young D K and Dong C L. Effect of thin hydrophobic films for toluene adsorption and desorption behavior on activated carbon fiber under dry and humid conditions. *Chemical Engineering Journal*. 2012; 200–202:133-139
- Sukanya K and Ponlakit j. Performance of *Epipremnum aureum* (Lind. and Andre)

- Bunting to Remove Toluene. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2011; 6(6):354-357.
- NIOSH Manual of Analytical Method, 4th edition. V. 3, Method 1501. U.S. Department of Health and Human Services, Publ. (NIOSH), 1994: 1-7
- Ariyadejwanich P, Tanthapanichakoon W, Nakagawa K, Mukai S R and Tamon H. Preparation and characterization of mesoporous activated carbon. *Journal of Carbon*, 2003; 41:157-164.
- Aworn A, Thiravetyan P and Nakbanpote W. Preparation and characteristics of agricultural waste activated carbon by physical activation having micro- and mesopores. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2008; 82: 279-285.
- Teng H, Chuan Lin Y and Yeh Hsu L. Production of Activated Carbons from Pyrolysis of Waste Tires Impregnated with Potassium Hydroxide. *Journal of Air & Waste Manage*, 2000; 50:1940-1946.
- Ryoo K S and Kapida S. Conversion of Scrap Tire to Granular Activated Carbon and Its Evaluation as an Adsorbent. *Journal of Environ. Eng. Res.*, 1997; 2(2):144-150.
- Chiang Y, Chiang P and Huang C. Effects of pore structure and temperature on VOC adsorption on activated carbon. *Journal of carbon*, 2003; 39:523-524.
- จตุพร วิฑูรย์คุณ และนุรักษ์ กฤษดาณรงค์. การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานและการประยุกต์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2003.
- Mei-Chiun H, Chia-Huei C, and Hsisheng T. Pore-Size Effects on Activated-Carbon Capacities for Volatile Organic Compound Adsorption. *Journal of Met. Int. Elec. Pheno.*, 2002; 8(8):1804-1810.