



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การดูดซับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายโดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ

Volatile organic compounds adsorption using different types of adsorbent

พิมานเมศ ชนะโยธา และ สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม*

Pimanmes Chanayotha and Somjai Kajorncheappunngam*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand, 40002.

Received November 2013

Accepted April 2014

บทคัดย่อ

สังเคราะห์ตัวดูดซับจากวัสดุ กะลามะพร้าว ถ่านหิน และถ่านโค้ก โดยใช้วิธีการไพโรไลซิสตามด้วยการกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับในการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds, VOCs) ได้แก่ 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA) Octamethylcyclotetrasiloxane และสารผสม Alkanes standard solution (C_8 - C_{20}) พร้อมทั้งเปรียบเทียบการดูดซับของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้กับตัวดูดซับเกรดการค้า (Carbotrap™ B และ Carbotrap™ C) พบว่าในบรรดาตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ ตัวดูดซับ A402 ที่สังเคราะห์จากกะลามะพร้าวที่กระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สามารถดูดซับสาร HEMA และสาร Octamethylcyclotetrasiloxane ได้สูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 77.87 และ 50.82 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 79.73 และ 70.07 ของความสามารถในการดูดซับสาร HEMA และ Octamethylcyclotetrasiloxane ด้วย Carbotrap™ B ตามลำดับ นอกจากนี้ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ทั้ง 3 ชนิด (A402 C302 และ C402) สามารถใช้ในการดูดซับสารผสม Alkanes standard solution ได้ตลอดช่วง C_8 - C_{20} แต่จะดูดซับสารได้สูงในช่วง C_{10} - C_{11} ผลจากไอโซเทอมพล็อตแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการดูดซับบนผิวของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้มีรูปแบบการดูดซับที่ผิวในรูปแบบไอโซเทอมแบบที่ I ในขณะที่ตัวดูดซับเกรดการค้าจะเป็นรูปแบบไอโซเทอมแบบที่ III

คำสำคัญ : ตัวดูดซับ กะลามะพร้าว โค้ก ถ่านหิน การดูดซับ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย

Abstract

Adsorbents were synthesized from coconut shell, coal and coke by pyrolysis followed by chemical activation process. These synthesized materials were used as adsorbents in adsorption test to determine the amount of volatile organic compounds (VOCs) namely, 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA), Octamethylcyclotetrasiloxane and Alkanes standard solution (C_8 - C_{20}). The adsorption capacities of both synthesized adsorbents and commercial grade adsorbents (Carbotrap™ B and Carbotrap™ C) were also compared. It was found that adsorbent A402, which was produced from coconut shell, activated with 40% (wt.) potassium hydroxide and at activating temperature of 800°C for 1 hr, could adsorb higher amount of both HEMA and Octamethylcyclotetrasiloxane than other synthesized adsorbents. The maximum adsorption capacity of

* Corresponding author.

E-mail address: ksomja@kku.ac.th

adsorbent A402 in adsorbing HEMA and Octamethylcyclotetrasiloxane were 77.87% and 50.82% respectively. These adsorption capabilities were 79.73% and 70.07% of the adsorption capacity of the commercial adsorbent Carbotrap™ B respectively. All three types of the synthesized adsorbent (A402, C302, C402) showed the capability to adsorb alkanes standard solution through the range of C_8 - C_{20} . However, their adsorption capacities were high in a specific range of C_{10} - C_{11} . The result from the isotherm plot was indicated that surface adsorption of synthesized adsorbent was isotherm type I while the surface adsorption of commercial adsorbent was isotherm type III.

Keywords : Adsorbent, Coconut shell, Coke, Adsorption, Volatile organic compounds (VOCs)

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ การควบคุมความสะอาดถือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนาคุณภาพของการผลิต โดยในแต่ละขั้นตอนในระหว่างกระบวนการผลิตนั้นล้วนแต่มีการใช้สารเคมี ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีที่ผิวของชิ้นงานที่เป็นส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น การใช้กาวหรือสารเคลือบผิวต่างๆ ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์จำพวก Acrylates, Siloxanes หรือ Hydrocarbons บนผิวของชิ้นงานได้ [1] และหากมีการใช้สารเหล่านี้ในระหว่างการผลิตที่อุณหภูมิสูงก็จะทำให้เกิดการระเหยของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile organic compounds, VOCs) ไปเกาะที่ผิวของส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำให้เกิดคราบเหนียวที่ผิวของชิ้นงานกลายเป็นแหล่งดักจับฝุ่นของแข็งซึ่งอาจนำไปสู่การทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวของชิ้นงานได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการอ่านหรือเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง นอกจากนี้ตัวชิ้นส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เองหากถูกนำไปใช้งานในสภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงๆ ก็อาจปลดปล่อยไอระเหยสารอินทรีย์ออกมาจากชิ้นส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในระหว่างการใช้งานได้เช่นกัน ดังนั้นการตรวจวัดหาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนในชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงมีความจำเป็นและเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนของกระบวนการควบคุมคุณภาพของการผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในการตรวจวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นนิยมตรวจวัดโดยอาศัยหลักการดูดซับ (Adsorption) และคายซับ (Desorption) ของตัวดูดซับ (Adsorbent) โดยให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเพื่อให้เกิดการปลดปล่อยไอระเหยของสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกมาและทำการดูดซับไอของ

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นไว้ด้วยตัวดูดซับ แล้วจึงทำการคายซับและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเครื่องมือวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas chromatography-Mass spectrometer, GC-MS) เนื่องจากมีความแม่นยำสูงในการตรวจวัดแม้มีสารในปริมาณน้อย

ปัจจุบันได้มีการใช้ตัวดูดซับในอุตสาหกรรมต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย เช่น การใช้ตัวดูดซับในการบำบัดสี ย้อมผ้า การใช้ตัวดูดซับเพื่อดูดซับสารพิษจำพวกโลหะหนักในน้ำเสีย และการใช้ตัวดูดซับในการดูดซับสารอินทรีย์ในมลพิษทางอากาศ ในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้มีการใช้ตัวดูดซับเพื่อใช้ในการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยตัวดูดซับที่นิยมใช้จะเป็นตัวดูดซับประเภทแกรไฟต์คาร์บอนแบล็ค เช่น Carbotrap และ Tenax [2] ซึ่งเป็นตัวดูดซับเกรดการค้าที่นำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง อย่างไรก็ตามพบว่ามีการนำวัสดุที่มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบได้แก่ กะลามะพร้าว ถ่านหิน ถ่านโค้ก ขี้เถ้า ไม้ยางพารา หรือการนำยางรถยนต์เก่ามาเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์เป็นตัวดูดซับ เนื่องจากคุณสมบัติของวัตถุดิบที่มีพื้นฐานเป็นคาร์บอนนั้นจะมีความหนาแน่นสูง เมื่อสังเคราะห์จะได้ตัวดูดซับที่มีโครงสร้างรูพรุนภายในสม่ำเสมอ ยิ่งถ้าได้รับการกระตุ้นในสภาวะที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น [3] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสังเคราะห์ตัวดูดซับจากวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเพื่อใช้เป็นตัวดูดซับทดแทนตัวดูดซับที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ใช้ในขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนในชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

2. วิธีศและวิธีกรวิจัย

2.1 การสังเคราะห์ตัวดูดซับ

ในงานวิจัยนี้ได้เลือก กะลามะพร้าว ถ่านหิน และ ถ่านโค้ก เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการสังเคราะห์ตัวดูดซับ โดยกระบวนการสังเคราะห์ตัวดูดซับประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการไพโรไลซิส และ ขั้นตอนการกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี

2.1.1 การไพโรไลซิส

นำวัตถุดิบแต่ละชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าว ถ่านหิน และถ่านโค้ก ไปทำการไพโรไลซิสในเตาเผาใช้อุณหภูมิในการไพโรไลซิส 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในสภาวะบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนโดยป้อนก๊าซไนโตรเจนด้วยอัตราการไหล 150 มิลลิลิตรต่อนาที่ เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนไพโรไลซิสแล้ว นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปบดให้มีขนาดประมาณ 20-40 mesh (420-840 ไมครอน)

2.1.2 การกระตุ้นด้วยวิธีการทางเคมี

1) การกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก นำวัตถุดิบที่ผ่านการไพโรไลซิสแล้วไปเผาที่อุณหภูมิสูง 800 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน โดยป้อนก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการไหล 150 มิลลิลิตรต่อนาที่ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปแช่ในกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้น 3 โมลาร์ ที่อัตราส่วน 1: 5 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดจน pH เป็นกลางแล้วจึงนำไปอบในเตาอบให้แห้งสนิท

2) การกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ นำวัตถุดิบที่ผ่านการไพโรไลซิสแล้วไปแช่ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 40% โดยน้ำหนักในอัตราส่วน 1: 5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผากระตุ้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชม. ชั่วโมง ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน โดยให้อัตราการป้อนของก๊าซไนโตรเจนเท่ากับ 150 มิลลิลิตรต่อนาที่ จากนั้นล้างผลิตภัณฑ์ด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดจน pH เป็นกลาง แล้วจึงนำไปอบในเตาอบให้แห้งสนิท รายละเอียดสภาวะที่ใช้สังเคราะห์ตัวดูดซับแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวดูดซับจากวัตถุดิบกะลามะพร้าว ถ่านหิน และถ่านโค้ก

ชื่อตัวอย่าง	วัตถุดิบที่ใช้	อุณหภูมิ การเผาไพโรไลซิส	สารเคมีที่ใช้กระตุ้น	อุณหภูมิการเผา กระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี
A302	กะลามะพร้าว	500°C, 3 hr	กรดฟอสฟอริก	800°C, 1 hr
A402	กะลามะพร้าว	500°C, 3 hr	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	800°C, 1 hr
N302	ถ่านหิน	500°C, 3 hr	กรดฟอสฟอริก	800°C, 1 hr
N402	ถ่านหิน	500°C, 3 hr	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	800°C, 1 hr
C302	ถ่านโค้ก	500°C, 3 hr	กรดฟอสฟอริก	800°C, 1 hr
C402	ถ่านโค้ก	500°C, 3 hr	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	800°C, 1 hr

2.2 ตัวดูดซับเกรดการค้า

ตัวดูดซับเกรดการค้าที่นำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับในการทดลองคือ Carbotrap™ B และ Carbotrap™ C ซึ่งเป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้ในการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย หรือในการเก็บตัวอย่างสารระเหยชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถดูดซับสารได้หลายชนิด ได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารจำพวกฮาโลเจน คาร์บอนซิล หรืออะมิโน [4]

2.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับ

นำตัวดูดซับเกรดการค้า ได้แก่ Carbotrap™ B และ Carbotrap™ C และตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นเองทั้ง 6 ชนิด ไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับ ได้แก่ การตรวจวัดพื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุน โดยเทคนิค BET (Brunauer-Emmett-Teller) ด้วยเครื่อง Micromeritics ASAP 2010 และวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ

ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) (Hitachi S-3000N)

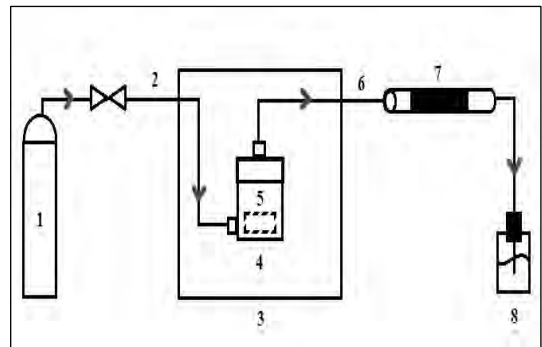
2.4 การทดสอบความสามารถในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย

2.4.1 การดูดซับ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ที่ใช้เป็นสารที่จะถูกดูดซับ (Adsorbate) บนตัวดูดซับ ได้แก่ 2-Hydroxyethyl methacrylate ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.025, 0.207 และ 0.415 มิลลิกรัมต่อไมโครลิตร Octamethylcyclotetrasiloxane ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.025, 0.200 และ 0.400 มิลลิกรัมต่อไมโครลิตร และ Alkanes standard solution C_8-C_{20} ที่ความเข้มข้นที่ 40 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับแต่ละชนิด 0.1 กรัม ต่อการทดสอบการดูดซับสารแต่ละชนิด ภาพชุดอุปกรณ์การทดสอบการดูดซับแสดงในรูปที่ 1 เริ่มต้นการทดสอบการดูดซับทำการหยดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่ต้องการศึกษาปริมาณ 20 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นกระจกหลุมรองรับสาร (5) ที่วางอยู่ใน Teflon chamber (4) ที่ต่อกับท่อก๊าซตัวพาทั้งขาเข้า (2) และขาออก (6) จากนั้นนำ Teflon chamber ที่พร้อมทำการดูดซับไปวางไว้ในตู้อบลมร้อน (3) โดยให้ท่อของก๊าซขาออกจาก Teflon chamber ต่อเข้ากับหลอดแก้วที่บรรจุตัวดูดซับ (7) ปริมาณ 0.1 กรัม และให้ปลายอีกด้านของหลอดแก้วที่บรรจุตัวดูดซับจุ่มลงในขวดบรรจุตัวทำละลายอะซีโตนไนโตรล์ (8) ขนาดปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อดักจับไอระเหยของสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่เกิดการดูดซับบนตัวดูดซับ เริ่มทำการทดสอบการดูดซับโดยปรับให้การไหลของก๊าซตัวพาไนโตรเจนจากถังบรรจุ (1) เข้าสู่ Teflon chamber ด้วยอัตราประมาณ 10-15 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที อุณหภูมิของตู้อบลมร้อน 85 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เกิดการดูดซับเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำตัวดูดซับไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ถูกดูดซับไว้บนตัวดูดซับ โดยการคายซับด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย

2.4.2 การคายซับ ใช้วิธีการคายซับด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยนำตัวดูดซับบรรจุในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติมตัวทำละลาย อะซีโตนไนโตรล์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปิดฝาให้แน่นและเขย่าที่

อุณหภูมิห้อง 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการสกัด 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิ (Sigma 6-16 K) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่ความเร็ว 5000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงนำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการสกัดไปวิเคราะห์หาปริมาณสารที่คายซับออกมาต่อไป [5]

2.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ตัวดูดซับสามารถดูดซับได้ นำสารละลายส่วนที่สกัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่คายซับออกมาจากตัวดูดซับด้วยเครื่อง GC-MS (GC-MS, QP2010 Shimadzu) โดยใช้คอลัมน์ชนิด HP-5MS ด้วยเทคนิค SCAN mode



รูปที่ 1 แผนภาพชุดอุปกรณ์การทดสอบการดูดซับ โดยที่ (1) ถังก๊าซตัวพาไนโตรเจน (2) ท่อทางเดินก๊าซไนโตรเจนขาเข้า (3) ตู้อบลมร้อน (4) Teflon chamber (5) แผ่นกระจกหลุมรองรับสาร (6) ท่อทางเดินไอระเหยขาออก (7) หลอดแก้วบรรจุตัวดูดซับ (8) ขวดบรรจุตัวทำละลาย อะซีโตนไนโตรล์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการวิเคราะห์ตัวดูดซับด้วยเทคนิค BET

ผลการวิเคราะห์สมบัติของตัวดูดซับด้วยเทคนิค BET ซึ่งวัดค่าพื้นที่ผิวรวม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย และปริมาณรูพรุนรวมของตัวดูดซับเกรดการค้า 2 ชนิด ได้แก่ Carbotrap™ B และ Carbotrap™ C และตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้น 6 ชนิด ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติของตัวดูดซับแต่ละชนิดด้วยเทคนิค BET

ชนิดตัวดูดซับ	พื้นที่ผิวรวม (BET surface area) (m ² /g)	พื้นที่ผิวรูพรุน ขนาดเล็ก (Micropore area) (m ² /g)	ปริมาตรรูพรุน รวม (Total pore volume) (cm ³ /g)	ปริมาตรรูพรุน ขนาดเล็ก (Micropore area) (cm ³ /g)	ขนาดรูพรุน เฉลี่ย (Average pore diameter) (Å)
Carbotrap™ B	116.01	5.25	1.063	0.00308	366.65
Carbotrap™ C	9.38	0.38	0.049	0.00010	210.87
A302	4.26	4.13	0.010	0.00220	90.21
A402	431.86	380.04	0.209	0.18144	19.39
C302	591.54	387.92	0.330	0.20281	22.32
C402	420.48	285.21	0.236	0.14731	22.44
N302	2.37	0.22	0.005	0.00018	79.50
N402	4.72	1.39	0.005	0.00018	47.83

จากตารางที่ 2 พบว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นชนิด N302 N402 และ A302 ให้ค่าพื้นที่ผิวรวมและปริมาตรรูพรุนรวมค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับตัวอื่นๆที่สังเคราะห์ได้ ดังนั้นจึงไม่นำตัวดูดซับชนิด A302 N302 และ N402 ไปทำการทดสอบการดูดซับในขั้นต่อไป

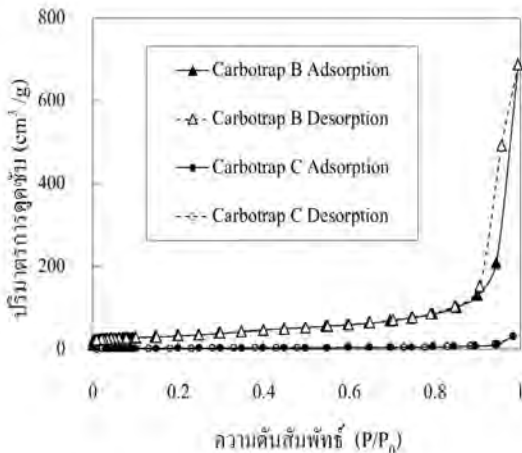
จากตารางที่ 2 ถึงแม้ว่าตัวดูดซับส่วนใหญ่ที่สังเคราะห์ได้มีค่าพื้นที่ผิวรวมมากกว่าตัวดูดซับเกรดการค้า แต่ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของตัวดูดซับเกรดการค้ามีขนาดใหญ่กว่ามาก ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับก๊าซไนโตรเจน เพื่อสังเกตความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรการดูดซับ (Adsorbed volume) กับความดันสัมพัทธ์ (Relative pressure) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2 ในรูปที่ 2 (ก) แสดงให้เห็นว่าตัวดูดซับเกรดการค้าทั้ง Carbotrap™ B และ Carbotrap™ C นั้นมีลักษณะไอโซเทอมของ Brunauer-Emmett-Teller (BET) ในรูปแบบที่ III ซึ่งไอโซเทอมในรูปแบบนี้เป็นการดูดซับของตัวดูดซับที่มีลักษณะเป็นของแข็งที่ไม่มีรูพรุน (Nonporous solid) โดยสารที่ถูกดูดซับจะมีการกระจายตัวกันเป็นช่วงกว้างบนผิวของตัวดูดซับ และมีแรงดึงดูดระหว่างกันอย่างไม่แข็งแรง ซึ่งอาจเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้น โดยที่ความดันสัมพัทธ์ (Relative pressure) ต่ำจะเกิดการดูดซับที่น้อยและเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว แต่ที่

ความดันสัมพัทธ์สูงจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างสารถูกดูดซับด้วยกันเองทำให้ดูดซับได้มากขึ้น [6] แตกต่างกับรูปแบบไอโซเทอมของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) ตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นทั้ง A402 C302 และ C402 มีรูปแบบไอโซเทอมแบบที่ I คือเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยสารถูกดูดซับจะถูกดูดซับและเรียงตัวอย่าง สมบูรณ์เข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับ จากนั้นจะเกิดการอิ่มตัวและเรียงตัวเป็นชั้นเดียว ซึ่งปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความดันสัมพัทธ์ต่ำและที่ความดันสัมพัทธ์สูงจะมีการดูดซับเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นปริมาณหรือประสิทธิภาพของการดูดซับจึงขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ ขนาดรูพรุนของตัวดูดซับเอง และสัดส่วนของพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็ก ขนาดกลาง หรือ ขนาดใหญ่ ต่อพื้นที่ผิวรวม

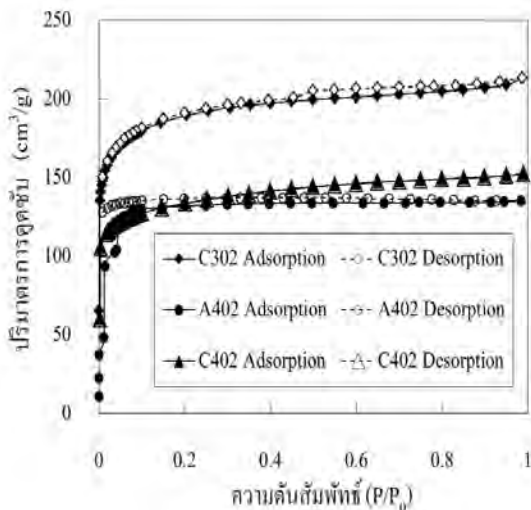
3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลของการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับทั้ง 5 ชนิดได้แก่ Carbotrap™ B Carbotrap™ C A402 C302 และ C402 แสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ โดยที่ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับเกรดการค้า Carbotrap™ B มีลักษณะของพื้นผิวที่ยากต่อการสังเกตและไม่สามารถสังเกตเห็นรูพรุนที่ชัดเจน มีเพียงพื้นผิวที่

ขรุขระ ถึงแม้ว่าจะใช้กำลังขยายที่สูงก็ตาม ซึ่งในเอกสารกำกับสินค้าก็ได้ระบุว่าเป็นตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนแต่มีผิวหน้าที่สามารถดูดซับสารและยึดไว้ด้วยพันธะลอนดอน ส่วน Carbotrap™ C มีลักษณะเป็นอนุภาคทรงกลมเกาะกลุ่มกัน ไม่สามารถสังเกตเห็นรูพรุนที่ชัดเจน และในเอกสารกำกับสินค้าก็ได้ระบุว่าเป็นตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนเช่นเดียวกัน



(ก)

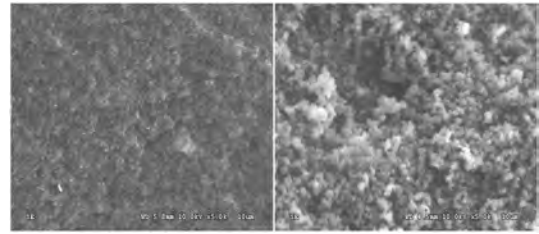


(ข)

รูปที่ 2 รูปแบบไอโซเทอมของตัวดูดซับ

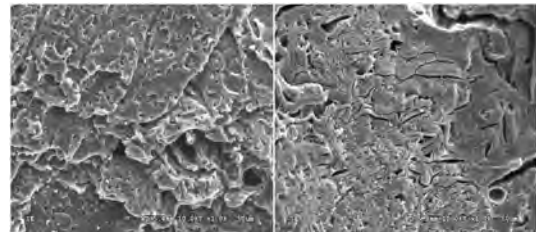
(ก) ไอโซเทอมของตัวดูดซับเกรดการค้า

(ข) ไอโซเทอมของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้น



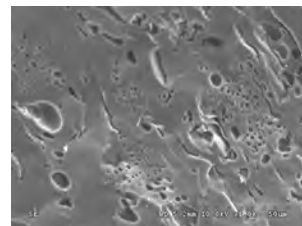
(ก)

รูปที่ 3 ภาพถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับเกรดการค้าที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ก) Carbotrap™ B (ข) Carbotrap™ C



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 4 ภาพถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ก) A402 (ข) C302 (ค) C402

ในรูปที่ 4 แสดงภาพลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้น ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับชนิด A402 มีลักษณะของรูพรุนภายนอกเป็นรูพรุนขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยเทคนิค BET ที่มีสัดส่วนพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็กต่อพื้นที่ผิวรวมว่ามีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 88 ของพื้นที่ผิวรวม ส่วนตัวดูดซับ C402 มีสัดส่วนของพื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดเล็กต่อพื้นที่ผิวรวมใกล้เคียงกับ C302 คือคิดเป็นร้อยละ 67.83 และ 65.58 ตามลำดับ ซึ่งผลนี้

สอดคล้องกับภาพถ่ายจาก SEM ที่แสดงให้เห็นถึงจำนวนรูพรุนขนาดเล็กของตัวดูดซับชนิด A402 ที่มีมากกว่า C402 และ C302 ตามลำดับ

นอกจากนี้ผลจากภาพถ่าย SEM ยังเป็นหลักฐานที่ยืนยันว่าตัวดูดซับเกรดการค้ามีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างจากตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้จึงทำให้รูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับของตัวดูดซับเกรดการค้า (มีรูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับแบบที่ III) และตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ (มีรูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับแบบที่ I) ต่างกัน

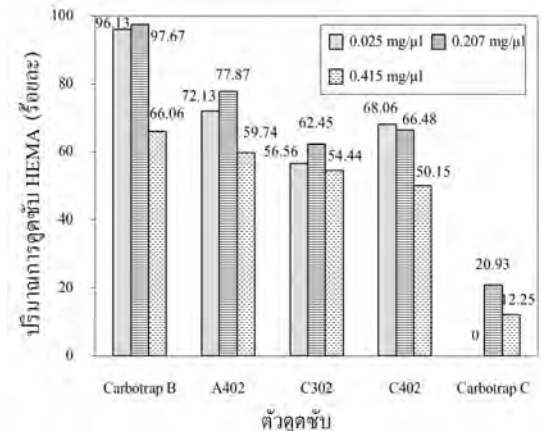
3.3 ผลการทดสอบการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายของตัวดูดซับแต่ละชนิด

3.3.1 ผลของการทดสอบความสามารถในการดูดซับสาร 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA)

จากรูปที่ 5 พบว่าการดูดซับของตัวดูดซับเกรดการค้า Carbotrap™ B สามารถดูดซับสาร 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA) ได้มากที่สุดในทุกความเข้มข้นตัวดูดซับ A402 สามารถดูดซับสาร HEMA ได้ในปริมาณมากที่สุดคือ ร้อยละ 77.87 เมื่อเทียบกับตัวดูดซับตัวอื่นที่สังเคราะห์ขึ้น และตัวดูดซับ A402 สามารถดูดซับโดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตัวดูดซับเกรดการค้า Carbotrap™ B กล่าวคือสามารถดูดซับสาร HEMA ได้สูงสุดคิดเป็นร้อยละ 79.73 ของการดูดซับสาร HEMA ของตัวดูดซับ Carbotrap™ B ที่ความเข้มข้น 0.415 มิลลิกรัมต่อไมโครลิตร รองลงมาคือตัวดูดซับ C302 และ C402 ตามลำดับ ส่วนการดูดซับของตัวดูดซับเกรดการค้า Carbotrap™ C ที่ความเข้มข้นของสาร HEMA ที่ต่ำที่สุด (0.025 mg/μl) นั้นมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง GC-MS

การที่ตัวดูดซับเกรดการค้า Carbotrap™ B สามารถดูดซับสารได้ในปริมาณที่มากกว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ เนื่องจากรูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับของตัวดูดซับเกรดการค้านั้นเป็นการดูดซับแบบหลายชั้นและมีปริมาตรรูพรุนรวมของตัวดูดซับ (ตารางที่ 2) สูงกว่าทุกตัวดูดซับ จึงทำให้ดูดซับสาร HEMA ได้ในปริมาณที่มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะในกลุ่มของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ก็พบว่า A402 ให้ปริมาณการดูดซับ HEMA ที่มากกว่า C302 และ C402 เนื่องจากมีสัดส่วนพื้นที่ผิวรูพรุนขนาดเล็กต่อพื้นที่ผิวรวมมากกว่า ซึ่งรูปแบบไอโซเทอมของการดูดซับของตัว

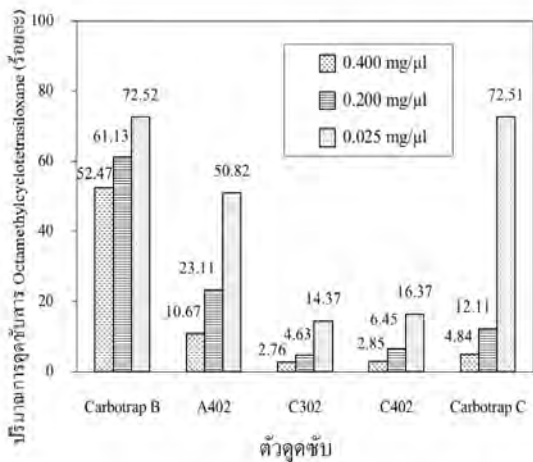
ดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นทั้งหมดนั้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว โดยที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะถูกเติมเต็มในช่องว่างรูพรุนและถูกกักเก็บไว้ในตัวดูดซับ ซึ่งหากตัวดูดซับมีรูพรุนขนาดใหญ่กว่าก็จะไม่สามารถเหนี่ยวรั้งสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กกว่าไว้ได้ [3]



รูปที่ 5 เปรียบเทียบร้อยละปริมาณการดูดซับสาร 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA) ของตัวดูดซับแต่ละชนิด

3.3.2 ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับสาร Octamethylcyclotetrasiloxane

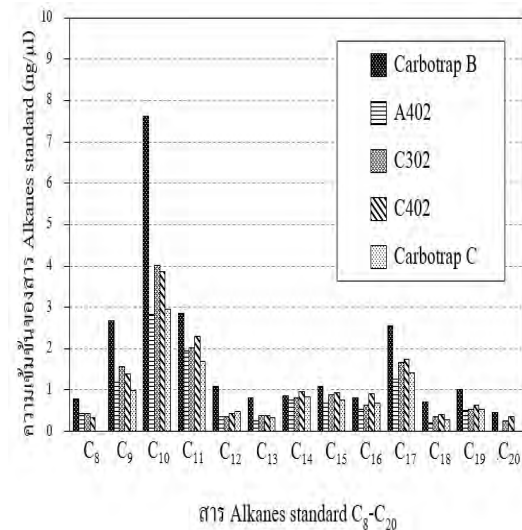
ผลการทดสอบในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้น A402 ยังคงเป็นตัวดูดซับที่ให้ผลของการดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นทั้งหมด คือ สามารถดูดซับ Octamethylcyclotetrasiloxane ได้สูงสุดร้อยละ 50.82 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 70.07 ของการดูดซับสารนี้ที่ค่าสูงสุดด้วยตัวดูดซับเกรดการค้า Carbotrap™ B โดยที่ตัวดูดซับ Carbotrap™ B สามารถดูดซับสารชนิดนี้ได้มากที่สุดเพียงร้อยละ 72.52 ซึ่งความสามารถในการดูดซับสารในทุกความเข้มข้นของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นที่รองลงมาคือตัวดูดซับชนิด C402 และ C302 ตามลำดับ และจากรูปที่ 6 พบว่าตัวดูดซับ Carbotrap™ C สามารถดูดซับสาร Octamethylcyclotetrasiloxane ได้ดีใกล้เคียงกับ Carbotrap™ B เฉพาะในช่วงปริมาณความเข้มข้นต่ำคือ 0.025 mg/μl และเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นเกิดการดูดซับลดลงอย่างชัดเจนเนื่องจากการมีปริมาณพื้นที่ผิวที่น้อยกว่า Carbotrap™ B [4]



รูปที่ 6 เปรียบเทียบร้อยละปริมาณการดูดซับสาร Octamethylcyclotetrasiloxane ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

3.3.3 ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับ สาร Alkanes standard solution (C_8 - C_{20})

กราฟแท่งที่แสดงในรูปที่ 7 ซึ่งให้เห็นว่าตัวดูดซับ เกรดการค้าที่สามารถดูดซับ Alkanes standard solution ตั้งแต่ C_8 ถึง C_{20} ได้ดีที่สุดคือ Carbotrap™ B รองลงมา คือ Carbotrap™ C และเมื่อพิจารณาในต่างกันภาพรวม ของตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นทั้งสามชนิด (A402 C302 และ C402) นั้นก็พบว่า การดูดซับสาร Alkanes standard solution ตั้งแต่ C_8 ถึง C_{20} มีผลการดูดซับโดยภาพรวม ดังนี้คือ ตัวดูดซับทุกตัวสามารถใช้เป็นตัวดูดซับ Alkanes standard solution ในช่วง C_8 ถึง C_{20} โดย Carbotrap™ B ยังคงเป็นตัวดูดซับที่ดีที่สุด ในบรรดาตัวดูดซับทั้งหมด ตัวดูดซับทุกตัวจะให้ผลการดูดซับ C_{10} ได้ในปริมาณที่ สูงสุด และตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้ (A402 C302 และ C402) เหมาะกับการดูดซับสารประกอบอัลเคนในช่วง C_{10} - C_{11} ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับนั้นมาจาก ขนาดของรูพรุนของตัวดูดซับที่มีขนาดเหมาะสมต่อขนาด โมเลกุลของสารถูกดูดซับ โดยที่ความสามารถในการดูดซับ สารที่มีขนาดโมเลกุลแตกต่างกันมีผลมาจากขนาดรูพรุน ของแต่ละตัวดูดซับ [7]



สาร Alkanes standard C_8 - C_{20}

รูปที่ 7 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของ ตัวดูดซับแต่ละชนิด ที่ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น 40 นาโน กรัมต่อไมโครลิตรของสาร Alkanes standard solution (C_8 - C_{20})

4. สรุป

ตัวดูดซับที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นจากกะลามะพร้าว และกระตุ้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซับที่ดี ที่สุดสำหรับการใช้ในการดูดซับสาร HEMA และสาร Octamethylcyclotetrasiloxane เมื่อเทียบกับตัวดูดซับตัว อื่นๆที่สังเคราะห์ขึ้น และสามารถดูดซับสาร HEMA และ สาร Octamethylcyclotetra-siloxane ได้สูงสุดคิดเป็น ร้อยละ 79.73 และ 70.07 ตามลำดับเมื่อเทียบกับการดูด ซับสารดังกล่าวด้วย Carbotrap™ B ตัวดูดซับที่ สังเคราะห์ได้ทั้ง 3 ชนิดสามารถใช้ในการดูดซับสารผสม Alkanes standard solution (C_8 - C_{20}) โดยเฉพาะในช่วง C_{10} - C_{11} สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างตัวดูดซับที่สังเคราะห์ได้กับ ตัวดูดซับเกรดการค้าคือ ขนาดของรูพรุนเฉลี่ยที่เล็กกว่า และการมีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนทำให้ ประสิทธิภาพในการดูดซับสารได้ต่างกัน นอกจากนี้ สารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้นในขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวดูด ซับนั้นอาจมีผลต่อความสามารถในการดูดซับของตัวดูด ซับจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านคุณสมบัติทางเคมีหรือ หมู่ฟังก์ชันที่ผิวของตัวดูดซับ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (I/UCRC in HDD Component) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Naotoshi A, Toshiaki O. Study of the adsorption of siloxane and hydrocarbon contaminants onto the surfaces at the head/disk interface of a hard disk drive by thermal desorption spectroscopy. *Tribology Letters*. 2002; 13 :15-20.
- [2] Sriphrom W. Effects of adsorbents on the detection of the contaminants from hard disk drive. Master Thesis of Science in Petrochemistry and Polymer Science. Faculty of Science. Chulalongkorn University. 2003.
- [3] Withitsan T. Activated carbon. Production and Utilization. Department of Technique Chemistry, Faculty of Sciences: Chulalongkorn University, Bangkok. 2010.(In Thai).
- [4] Bulletin 846D. Carbotrap Carbon Black: An Excellent Adsorbent for solvent or Thermal Desorption/GC Analyses of Airborne Organic Compounds. Pennsylvania: Supelco, Sigma-Aldrich ; 1998.
- [5] Olansandan Amagai T. Matsushita H. A passive sampler-GC/ECD method for analyzing 18 volatile organohalogen compounds in indoor and outdoor air and its application to a survey on indoor pollution in Shizuoka. *Talanta*.1999; 50: 851-863.
- [6] Rouqurol F. Rouqueral J. Sing K.S.W. Adsorption by powders and porous solids. Principles. methodology and applications. 1999; 167-170.
- [7] Mangun CL. Daley MA. Braatz RD. Economy J. Effect of pore size on adsorption of hydrocarbons in phenolic-based activated carbon fibers. *Carbon*.1997; 36: 123-131.