

บทความวิจัย (Research Article)**อุปกรณ์ดูดซับราคาประหยัดสำหรับสารอินทรีย์แบ่งทิ้งจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี**
พิสมัย ปิ่นศรีทอง และ ศักดิ์ชัยบดี ปิ่นศรีทอง***Cost-effective device for split vent trap organic compounds from gas chromatograph**

Pisamai Pinsrithong and Sakchaibordee Pinsrithong*

Office of Scientific Instrument and Testing, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkhla Province, 90110

* Corresponding to: Sakchaibordee.s@psu.ac.th

Naresuan Phayao J. 2020;13(3): 84-95.*Received: 21 August 2020; Revised: 29 October 2020; Accepted: 5 November 2020***บทคัดย่อ**

จากปัญหาสารอินทรีย์แบ่งทิ้งจากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการนำไปสู่การประดิษฐ์อุปกรณ์ดูดซับสารอินทรีย์แบ่งทิ้งที่สามารถดูดซับสารอินทรีย์แบ่งทิ้งพร้อมกันได้ทั้งหัวฉีดด้านหน้าและหลัง โดยอุปกรณ์ดูดซับจะใช้กระบอกฉีดยาเป็นแกนหลักและใช้คาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วเป็นวัสดุดูดซับ จากการนำอุปกรณ์ดูดซับไปจำลองการใช้งานจริงในการดูดซับเฮปเทนและไดคลอโรมีเทนที่แบ่งทิ้งจากการฉีดสารของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี สามารถวัดค่าประสิทธิภาพในการดูดซับได้ถึง 99.51 – 99.98 และ 96.68 – 99.35 เปอร์เซ็นต์ของเฮปเทนและไดคลอโรมีเทนตามลำดับ อุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้นมีความสามารถในการกักเก็บสารที่ดูดซับไว้ได้นานถึง 7 เดือน มีความสามารถในการใช้ซ้ำได้ถึง 10 ซ้ำ และมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์ดูดซับที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์ถึง 18 เท่า จึงเหมาะสมในการประดิษฐ์และติดตั้งในห้องปฏิบัติการที่มีเครื่อง GC เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

คำสำคัญ: ตัวทำละลายอินทรีย์ คาร์บอนกัมมันต์ อุปกรณ์ดูดซับสารแบ่งทิ้ง เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

Abstract

Since, the problem of volatile organic matter split vent from the gas chromatograph, affecting the health of workers, lead to the invention of adsorption device for volatile organic matter that split from front and back of gas chromatograph, using in laboratories. The adsorption device includes a syringe containing the used activated carbon. In this work the device was studied under actual working conditions. Absorption efficiency of the device for heptane and dichloromethane adsorption were found as 99.51% - 99.98% and 96.68% - 99.35% respectively. The number of times that it can be reused is 10 with 7 months life time each. Moreover, the device is cheaper than commercial split vent trap 18 times. Therefore, it is appropriate to use this device in laboratories for worker safety.

Keywords: Organic solvent, Activated carbon, Split vent trap, Gas chromatograph

บทนำ

ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในตัวอย่าง เครื่องมือที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์คือเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph, GC) [1] โดยในการวิเคราะห์สารด้วยเครื่อง GC ในการฉีดสารเข้าสู่เครื่องมือ กรณีสารที่สนใจมีปริมาณมากจำเป็นต้องมีการแบ่งสารทิ้ง (Split ratio) เพื่อลดการโอเวอร์โหลด ทำให้กระบวนการแยกสารในคอลัมน์เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ พัดเกิดการแยกออกจากกันอย่างชัดเจน สัดส่วนสารอินทรีย์แบ่งทิ้งก่อนเข้าคอลัมน์จะมีทั้งสารที่สนใจและตัวทำละลาย โดยตัวทำละลายเป็นส่วนผสมที่มีสัดส่วนมากที่สุดที่ถูกแบ่งทิ้งออกมาจากเครื่อง GC ทางช่องแบ่งทิ้ง (Split vent) ต่อครั้งการฉีดสาร ซึ่งหากไม่มีการควบคุมการบำบัดหรือป้องกันที่เหมาะสมไอของสารอินทรีย์ที่แบ่งทิ้งจะฟุ้งกระจายระเหยอยู่ในห้องปฏิบัติการ ถึงแม้การปล่อยสารอินทรีย์แบ่งทิ้งจากเครื่อง GC จะมีปริมาณน้อยในระดับ 1 – 2 ไมโครลิตรต่อการฉีดสาร 1 ครั้ง จนทำให้บางห้องปฏิบัติการไม่ได้ให้ความสำคัญ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดูดซับสารอินทรีย์หรือสร้างระบบระบายอากาศออกนอกห้องปฏิบัติการ แต่ความเป็นจริงแล้วสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่สนใจและนำมาวิเคราะห์ทดสอบด้วยเครื่อง GC หลายชนิดเป็นสารอันตราย เช่น ยาฆ่าแมลง สารพาทาเลต [2, 3] เป็นต้น และสารอินทรีย์ที่เป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้ส่วนใหญ่ก็แสดงความเป็นพิษต่อร่างกาย เช่น อะซิโตน เมทานอล โทลูอิน เฮปเทน ไดคลอโรมีเทน เป็นต้น [4] ซึ่งหากผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องมีการทดสอบแปลผล คำนวณผลตลอดทั้งวันที่มีการฉีดสารอย่างต่อเนื่องก็อาจจะได้รับไอสารอินทรีย์เหล่านี้เข้าสู่ร่างกายในปริมาณต่อเนื่องเช่นกัน สำหรับผู้ปฏิบัติงานประจำเมื่อได้รับไอสาร อินทรีย์ระเหยอย่างต่อเนื่องและเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดการสะสมจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ [5, 6]

จากปัญหาดังกล่าวทางคณะผู้วิจัยที่เป็นผู้ปฏิบัติงานประจำห้องปฏิบัติการจึงได้คิดประดิษฐ์อุปกรณ์ดูดซับสารอินทรีย์แบ่งทิ้งจากเครื่อง GC เพื่อกักเก็บหรือลดปริมาณสารอินทรีย์แบ่งทิ้ง ให้ได้มากที่สุดเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานและลดการนำเข้าอุปกรณ์ดูดซับสารอินทรีย์จากต่างประเทศ หรือการสร้างระบบระบายอากาศออกนอกห้องปฏิบัติการที่ต้องใช้ต้นทุนสูงในการดำเนินการ โดยในการศึกษา

คณะผู้วิจัยจะออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถใช้กับช่องแบ่งสารทิ้งของเครื่อง GC ทั้งหัวฉีดสารด้านหน้าและหลังพร้อมกัน บรรจุด้วยวัสดุดูดซับที่มีราคาถูก และวัสดุอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ จะเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีในห้องปฏิบัติการหรือจัดหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศ และที่สำคัญเมื่อประกอบรวมเป็นอุปกรณ์ดูดซับแล้วต้องสามารถดูดซับสารอินทรีย์แบ่งทิ้งได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ ต้องมีอายุการใช้งานที่เหมาะสมเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการสามารถรู้และกำหนดการเปลี่ยนอุปกรณ์ดูดซับเมื่อหมดอายุการใช้งาน โดยในงานวิจัยนี้จะจำลองการใช้งานจริงในการดูดซับตัวทำละลายอินทรีย์ของเฮปเทนและไดคลอโรมีเทน เนื่องจากตัวทำละลายทั้งสองชนิดเป็นตัวทำละลายที่มีการใช้บ่อยครั้งในการให้บริการทดสอบตัวอย่าง [7] และยังมีรายงานการตรวจพบไดคลอโรมีเทนในห้องปฏิบัติการจากการตรวจสภาพแวดล้อมโดยเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ ซึ่งเฮปเทนมีรายงานการเกิดพิษต่อตับของสัตว์ทดลอง [8] และไดคลอโรมีเทนถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม 2A โดยสถาบันวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ ซึ่งเป็นสารกลุ่มที่อาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ (Probably carcinogenic to humans) [9] ดังนั้นสารอินทรีย์ทั้งสองชนิดจึงถูกเลือกในการศึกษาการใช้ได้ของอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้น

วัสดุและวิธีการ

1. วัสดุ สารเคมี

วัสดุที่ใช้ได้แก่ ท่อทองแดง ข้อต่อทองเหลือง ข้อต่อพลาสติก 3 ทาง ท่อยางซิลิโคน กระบอกฉีดยาปริมาตร 25 มล. บีบีบีขนาด 200 ไมโครลิตร วัสดุดูดซับสารเคมีได้แก่ คาร์บอนกัมมันต์ใช้แล้ว (Reuse AC) จากแผ่นดูดซับกลิ่นของเครื่องกรองอากาศ (Amway, USA) คาร์บอนกัมมันต์ยังไม่ผ่านการใช้งาน (New AC) จาก Restek (PA, USA) และแอมเบอร์ไลท์ XAD 2 จาก Supelcoport (Bellefonte, USA) สารเคมี เฮปเทน (เกรด HPLC) และไดคลอโรมีเทน (เกรด HPLC) จาก RCI Labscan (Bangkok, Thailand)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การจำลองการวิเคราะห์จะใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีร่วมกับตัวตรวจวัดชนิดเฟลมไอออนไนเซชัน (GC-FID) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7890 โดยสภาวะการทดสอบ (สภาวะจำลอง GC-FID) อุณหภูมิหัวฉีด อุณหภูมิตัวอบ และอุณหภูมิตัวตรวจวัด ตั้งค่าที่ 150 °C, 50 °C และ 160 °C ตามลำดับ อัตราไหล่แก๊สพาหีฮีเลียม (He) แก๊สเชื้อเพลิงไฮโดรเจน (H₂) แก๊สออกซิเจนและไนโตรเจน (N₂, Make up) ตั้งค่าที่ 1 มล./นาที่ 30 มล./นาที่ 300 มล./นาที่ และ 25 มล./นาที่ ตามลำดับ สัดส่วนสารเข้าคอลัมน์และแบ่งทิ้ง 1 ต่อ

50 ส่วน และในการวัดประสิทธิภาพการดูดซับสารเคมีของอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้น ใช้เครื่องแฮตสเปซรุ่น HP 7694 ต่อพ่วงกับแก๊สโครมาโทกราฟีร่วมกับตัวตรวจวัดชนิดเฟลมไอออนไนเซชัน ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 6850 (สภาวะทดสอบ HS-GC-FID) โดยสภาวะการทดสอบ แสดงดังตาราง 1 ตู้อบความร้อนไฟฟ้า (Oven) ยี่ห้อ Memmert กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ ยี่ห้อ Leica รุ่น Leica M205 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ FEI รุ่น QUANTA 400 เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (BET) ยี่ห้อ Micromeritics รุ่น ASAP2460

ตาราง 1 สภาวะในการวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดูดซับ (สภาวะทดสอบ HS-GC-FID)

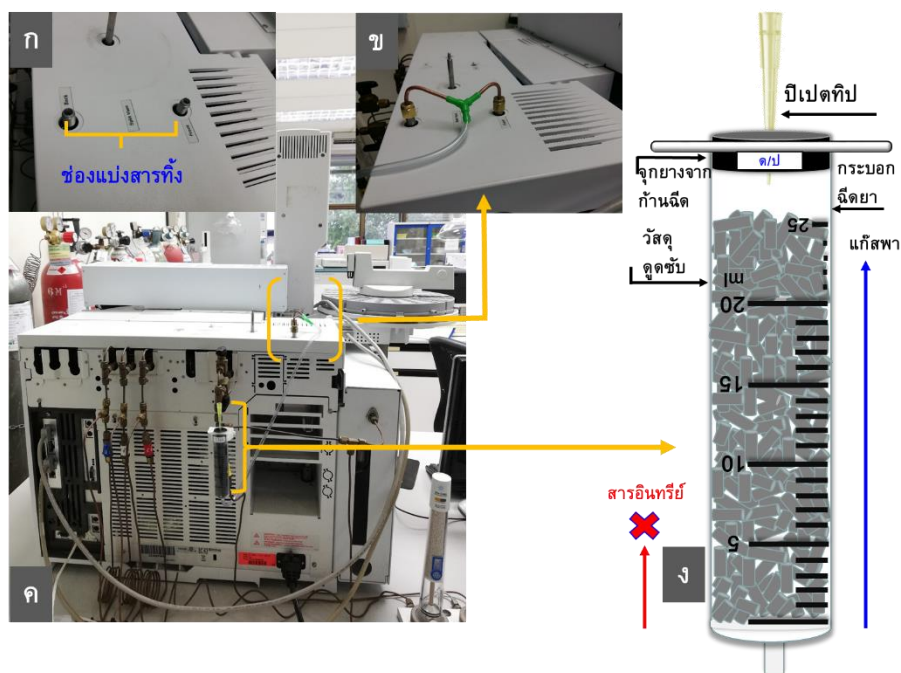
แฮตสเปซ (HS)	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)	ตัวตรวจวัดเฟลมไอออนไนเซชัน (FID)
อุณหภูมิสมมูล : 80 °C	อุณหภูมิหัวฉีด : 150 °C	อุณหภูมิตัวตรวจวัด : 160 °C
เวลาสมมูล : 20 นาที	สัดส่วนสารเข้าคอลัมน์ : 1 ต่อ 50	อัตราไหล่ไฮโดรเจน : 30 มล./นาที่
อุณหภูมิตัวอบ : 95 °C	อัตราไหล่ฮีเลียม : 1 มล./นาที่	อัตราไหล่แอร์ซีโร : 300 มล./นาที่
ขนาดรูป : 0.25 มล.	อุณหภูมิตัวอบ : 50 °C คงที่ 9 นาที	อัตราไหล่ไนโตรเจน : 25 มล./นาที่
	ชนิดคอลัมน์ : HP-Innowax (ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร)	

3. ขั้นตอนการออกแบบและศึกษาการใช้ได้ของอุปกรณ์ดูดซับ

3.1) การประดิษฐ์อุปกรณ์ดูดซับ

ได้ออกแบบอุปกรณ์ดูดซับแสดงดังรูป 1 โดยใช้ข้อต่อทองเหลืองสวมกับท่อทองแดง 2 ชุด แล้วนำไปต่อเข้ากับทางออกของช่องแบ่งสารทิ้งทั้งด้านหน้า (Front) และหลัง (Back) จากนั้นต่อกับข้อต่อพลาสติก 3 ทาง โดยปลายทางออกจะเชื่อมด้วยท่อยางซิลิโคน และอีกด้านของท่อยางซิลิโคนจะต่อกับกระบอกจีดยาปริมาตร 25 มล. ที่เติมวัสดุดูดซับ

ประมาณห้าส่วนหกของกระบอกจีดยา ปิดด้านบนด้วยจุกยางจากก้านจีดของกระบอกจีดยาขนาดเดียวกัน จากนั้นใช้ปิเปตที่ขนาด 200 ไมโครลิตรแทงทะลุผ่านเพื่อให้มีช่องว่างและทางออกเพียงพอให้แรงดันแก๊สฮีเลียมจากช่องแบ่งสารทิ้งของเครื่อง GC สามารถออกมาได้อย่างอิสระ เสร็จแล้วนำไปติดตั้งบริเวณหลังเครื่อง GC โดยระดับการติดตั้งของอุปกรณ์ดูดซับจะให้ต่ำกว่าช่องแบ่งสารทิ้ง เพื่อป้องกันการอุดตันจากเศษชิ้นส่วนวัสดุดูดซับหลุดเข้าสู่ช่องแบ่งสารทิ้งของเครื่อง GC



รูปที่ 1 อุปกรณ์ดูดซับสารอินทรีย์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

(ก) ช่องแบ่งสารทิ้งก่อนติดตั้งอุปกรณ์ดูดซับ และ (ข) ด้านบน

(ค) ด้านหลังเครื่อง GC หลังติดตั้งอุปกรณ์ดูดซับ และ (ง) ภาพขยายเสมือนจริง

3.2) การศึกษาประสิทธิภาพและคุณสมบัติ

ของวัสดุดูดซับ

ในกระบวนการประดิษฐ์อุปกรณ์ดูดซับ วัสดุดูดซับถือเป็นส่วนสำคัญของอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้น จึงได้มีการศึกษาหาวัสดุดูดซับที่เหมาะสมให้ประสิทธิภาพที่ดีและราคาถูก โดยเลือกวัสดุดูดซับจากที่มีการรายงานการใช้ในการเป็นวัสดุดูดซับสารเคมีระเหยง่ายได้แก่ คาร์บอนกัมมันต์ [10, 11] และ XAD 2 [12] โดยคาร์บอนกัมมันต์ก่อนนำมาใช้งานได้นำไปทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 °C เพื่อไล่สารอินทรีย์ระเหยง่ายตกค้างเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเสร็จแล้วนำมาวางในตู้ดูดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน ส่วน XAD 2 แช่น้ำและอะซิโตน (1:1) แล้วนำไปอัลตราโซนิก 10 นาที เปลี่ยนตัวทำละลายเป็นคลอโรฟอร์มกับอะซิโตน (1:1) อัลตราโซนิกซ้ำอีก 10 นาที กรองผ่านตะแกรงทำให้แห้งด้วยลมไนโตรเจน จากนั้นนำไปอบที่ 150 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้งาน [13]

จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุแต่ละชนิดเมื่อใช้ร่วมกับอุปกรณ์ดูดซับโดยใช้วิธีการคายการดูดซับสารอินทรีย์ที่ถูกดูดซับไว้ในวัสดุดูดซับด้วยความร้อนในระบบปิดด้วยเทคนิคเฮดสเปซและวัดสัญญาณสารอินทรีย์ที่ได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟที่มีตัวตรวจวัดชนิดเฟลมไอออไนเซชัน (HS-GC-FID) โดยในการศึกษาจะใช้วัสดุดูดซับใส่ในอุปกรณ์ดูดซับเพียง 5 ± 0.05 กรัมหรือน้อยกว่าครึ่งหนึ่งที่ใช้จริง เนื่องจากข้อจำกัดในการบรรจุวัสดุดูดซับทั้งหมดที่ดูดซับสารอินทรีย์จากอุปกรณ์ดูดซับ ลงในขวดเฮดสเปซขนาด 20 มล. ที่ใช้ร่วมกับเครื่องเฮดสเปซ ปริมาณของวัสดุดูดซับไม่ควรเกินกึ่งหนึ่งของขวดเพื่อให้มีบริเวณเฮดสเปซเหลือสำหรับการระเหยของสารอินทรีย์ที่คายการดูดซับและบริเวณสำหรับเจาะของเข็มฉีดยาแก๊สเพื่อนำไอสารไปสู่เครื่องมือวัด การจำลองการศึกษาจะฉีดสารอินทรีย์ผสมของเฮปเทนและไดคลอโรมีเทน (1:1) ตามสภาวะจำลอง GC-FID ที่ปริมาตรสาร 1 ไมโครลิตร จำนวน 50 ซ้ำ แล้วนำไปวิเคราะห์สัญญาณสารอินทรีย์ที่ดูดซับของวัสดุแต่ละชนิดตามสภาวะทดสอบ HS-GC-FID คำนวณหาปริมาณสารเปรียบเทียบจากสัญญาณ

สารมาตรฐานผสมเฮปเทนและไดคลอโรมีเทน (1:1) ปริมาตร 50 ไมโครลิตร (น้ำหนักเฮปเทน 17.0 มิลลิกรัม และไดคลอโรมีเทน 33.1 มิลลิกรัม) ที่เติมโดยตรงใน

ขวดเฮดสเปซ แล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพ การดูดซับแสดงดังสมการที่ 1

$$\text{เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับ} = 100 - \left[\left(\frac{M_E}{M_{STD}} \right) \times 100 \right] \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ M_E = ปริมาณสารที่คายการดูดซับจากวัสดุ หน่วยมิลลิกรัม
 M_{STD} = ปริมาณสารมาตรฐาน หน่วยมิลลิกรัม

นอกจากนี้เนื่องด้วยในการศึกษาชนิดวัสดุดูดซับมีการเลือกใช้ Reuse AC เพื่อลดต้นทุนวัสดุ จึงได้มีการศึกษาเพิ่มเติมถึงลักษณะทางกายภาพของวัสดุ Reuse AC โดยได้ศึกษาลักษณะพื้นผิวโดยใช้ภาพถ่าย 3 มิติ และสีจริงตามลักษณะวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ ศึกษาภาพพื้นผิวและรูพรุนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และใช้เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุนของวัสดุ (BET) วิเคราะห์ถึงปริมาณพื้นที่ผิว (Surface area) และขนาดของรูพรุน (Pore size distribution)

3.3) การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับของอุปกรณ์ดูดซับ

การทดลองศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของอุปกรณ์ดูดซับตามช่วงการใช้งานจริง จะศึกษาโดยการแบ่งการศึกษาเป็น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่

ชุดที่ 1 คือชุดใช้อุปกรณ์ดูดซับ ที่ทำการฉีดสารผสมเฮปเทนและไดคลอโรมีเทน (1:1) ผ่านเครื่อง GC ตามสภาวะการทดลอง สภาวะจำลอง GC-FID ปริมาตรที่ฉีดสารเข้าสู่เครื่อง GC คือ 1 ไมโครลิตร จำนวนซ้ำการฉีดผ่านการใช้อุปกรณ์ดูดซับที่บรรจุวัสดุดูดซับ โดยแต่ละการศึกษาคือ 10, 20, 50, 100, 200 และ 500 ซ้ำ ซึ่งเป็นช่วงการฉีดที่มีการใช้งานปกติของเครื่อง GC และที่ 500 ซ้ำ เป็นจำนวนซ้ำสูงสุดที่เข็มฉีดสารสามารถแทงทะลุผ่านเซปตัมของหัวฉีดเครื่อง GC โดยไม่ต้องเปลี่ยนเซปตัมใหม่ เมื่อฉีดครบตามจำนวนซ้ำที่กำหนดรีบนำวัสดุดูดซับทั้งหมดในอุปกรณ์ดูดซับถ่ายใส่ขวดเฮดสเปซ

ชุดที่ 2 คือชุดควบคุม ทำเพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าชุดใช้อุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถดูดซับสารอินทรีย์ที่ผ่านออกมาจากเครื่อง GC จริง ปริมาณ

ของสารอินทรีย์ไม่ได้หายไปบริเวณอื่น ๆ โดยจะเติมตัวทำละลายอินทรีย์ผสมเฮปเทนและไดคลอโรมีเทน (1:1) ลงในวัสดุดูดซับที่ควบคุมน้ำหนักเท่ากับการทดลองชุดที่ 1 และบรรจุอยู่ในขวดเฮดสเปซโดยตรง ปริมาตรที่เติมแต่ละการศึกษาคือ 10, 20, 50, 100, 200 และ 500 ไมโครลิตร

ชุดที่ 3 คือชุดสารมาตรฐาน โดยจะเติมสารมาตรฐานผสมเฮปเทนและไดคลอโรมีเทน (1:1) ลงในขวดเฮดสเปซที่ไม่มีวัสดุดูดซับ ปริมาตรที่เติมแต่ละการศึกษาคือ 10, 20, 50, 100, 200 และ 500 ไมโครลิตร ซึ่งจะประกอบด้วยเฮปเทนน้ำหนัก 3.4, 6.8, 17.0, 34.0, 68.0, 169.9 มิลลิกรัม และไดคลอโรมีเทนน้ำหนัก 6.6, 13.3, 33.1, 66.3, 132.5, 331.3 มิลลิกรัมตามลำดับ

จากนั้นนำชุดการทดลองทั้ง 3 ชุด ไปทำการวิเคราะห์สารอินทรีย์ในขวดเฮดสเปซ ดังสภาวะทดสอบ HS-GC-FID จากสัญญาณการวิเคราะห์ที่ได้สามารถคำนวณหาปริมาณสารที่คายการดูดซับจากการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2 เปรียบเทียบจากการทดลองชุดที่ 3 ที่จำนวนซ้ำการฉีดและปริมาตรสารมาตรฐานเท่ากัน แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับโดยใช้สมการที่ 1

3.4) การศึกษาอายุการกักเก็บสารอินทรีย์ของอุปกรณ์ดูดซับ

เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติ ในการใช้อุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้นถึงความสามารถกักเก็บสารอินทรีย์ไว้ได้ตามช่วงเวลาที่เหมาะสม และใช้งานได้ยาวนานเพียงพอ โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ดูดซับทุกครั้งหลังการใช้เครื่อง GC เสร็จในแต่ละครั้ง จึงได้มีการศึกษาอายุการ

กักเก็บสารอินทรีย์ของอุปกรณ์ดูดซับ โดยการศึกษาจะจำลองการฉีดสารอินทรีย์ผสมของเฮปแทนและไดคลอโรมีเทนตามสภาวะจำลอง GC-FID ที่ปริมาตรสาร 1 ไมโครลิตร จำนวน 50 ซ้ำ ผ่านเครื่อง GC ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดูดซับ โดยจะจัดเก็บแต่ละอุปกรณ์ดูดซับตามระยะเวลาที่ศึกษาคือ 0 เดือน (ทดสอบทันที) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 เดือน เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจะนำอุปกรณ์ดูดซับของแต่ละช่วงเวลาที่จัดเก็บ ไปวิเคราะห์สารอินทรีย์ที่ดูดซับไว้ตามสภาวะทดสอบ HS-GC-FID โดยการวิเคราะห์อุปกรณ์ดูดซับที่กักเก็บสารไว้ในแต่ละช่วงเวลา จะทำการวัดซ้ำจำนวน 5 ซ้ำในขวดเฮดสเปซไบเดม เพื่อความมั่นใจว่ายังคงมีสารอินทรีย์ที่คายการดูดซับด้วยความร้อนอยู่ในขวดเฮดสเปซออกมาอย่างต่อเนื่อง

3.5) การศึกษาความสามารถในการใช้ซ้ำ

เนื่องจากอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้นออกแบบไว้ให้สามารถนำวัสดุดูดซับในอุปกรณ์ดูดซับออกมาได้อย่างง่ายดายเพียงดึงปิเปตที่ปิจุยกทางด้านบนก็จะหลุดออก ทำให้ง่ายในการบรรจุวัสดุดูดซับเข้าไปใหม่ โดยการศึกษาจะจำลองการฉีดสารอินทรีย์ผสมของเฮปแทนและไดคลอโรมีเทน (1:1) ตามสภาวะจำลอง GC-FID ที่ปริมาตรสาร 1 ไมโครลิตร จำนวน 50 ซ้ำ ผ่านเครื่อง GC ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ดูดซับ จากนั้นนำอุปกรณ์ดูดซับที่ผ่านการดูดซับสารอินทรีย์

แล้ว ไปวิเคราะห์สารอินทรีย์ที่ดูดซับได้ตามสภาวะทดสอบ HS-GC-FID ทันที โดยจะวัดค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของการดูดซับดังสมการ 1 เมื่อแล้วเสร็จจะนำคาร์บอนกัมมันต์ทั้งหมดคายการดูดซับสารอินทรีย์ที่กักเก็บไว้ด้วยตูบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดจะนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ได้ไปบรรจุในอุปกรณ์ดูดซับอีกครั้ง และดำเนินการจำลองการใช้งานและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดูดซับซ้ำอีกครั้ง

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาการใช้อุปกรณ์ดูดซับสารอินทรีย์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์แบ่งทั้งจากเครื่อง GC เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้เครื่อง GC หรือปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการที่มีเครื่อง GC แสดงข้อมูลดังนี้

1. การศึกษาวัสดุดูดซับ

1.1) ชนิดของวัสดุดูดซับ

จากการศึกษาหาชนิดของวัสดุที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีในการดูดซับสารอินทรีย์แบ่งทั้งจากเครื่อง GC ด้วยการคายการดูดซับด้วยเครื่อง HS-GC-FID แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับ ผลที่ได้แสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุแต่ละชนิด (n = 5)

ชนิดวัสดุ	เฮปแทน			ไดคลอโรมีเทน		
	STD (mg)	Aver ± SD (mg)	%Eff	STD (mg)	Aver ± SD (mg)	%Eff
Reuse AC		0.005±0.001	99.97		0.199±0.023	99.40
New AC	17.0	0.001±0.000	99.99	33.1	0.128±0.013	99.61
XAD 2		0.036±0.005	99.79		1.197±0.162	96.39

หมายเหตุ: STD = ชุดสารมาตรฐาน, %Eff = เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับ

ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า Reuse AC และ New AC ปริมาณสารอินทรีย์คายการดูดซับออกมาจากวัสดุน้อยกว่า ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีกว่า XAD 2 และในกรณีการบำบัดเพื่อนำมาใช้ซ้ำ Reuse AC และ New AC ก็สามารถทำได้ง่ายเพียงใช้ความร้อนในการไล่สารอินทรีย์ตกค้างไม่จำเป็นต้องใช้การอินทรีย์

ในการบำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำเหมือน XAD 2 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง Reuse AC และ New AC วัสดุดูดซับทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์แบ่งทั้งเกิน 99% และ Reuse AC มีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับต่างกับ New AC ในการดูดซับสารอินทรีย์แบ่งทั้งน้อยกว่า 0.02 และ

0.21% ของเฮปแทนและไดคลอโรมีเทนตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเลือก Reuse AC ก็สามารถนำมาใช้ซ้ำให้เกิดประโยชน์ได้ และยังคงให้ประสิทธิภาพที่ดีในการดูดซับสารอินทรีย์แบ่งทิ้งจากเครื่อง GC ได้อย่างมีประสิทธิภาพ Reuse AC จึงถูกเลือกเป็นวัสดุดูดซับในอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์เพื่อลดต้นทุนค่าวัสดุ และเลือกใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ได้ต่อไป

1.2) ผลการศึกษาลักษณะกายภาพของ

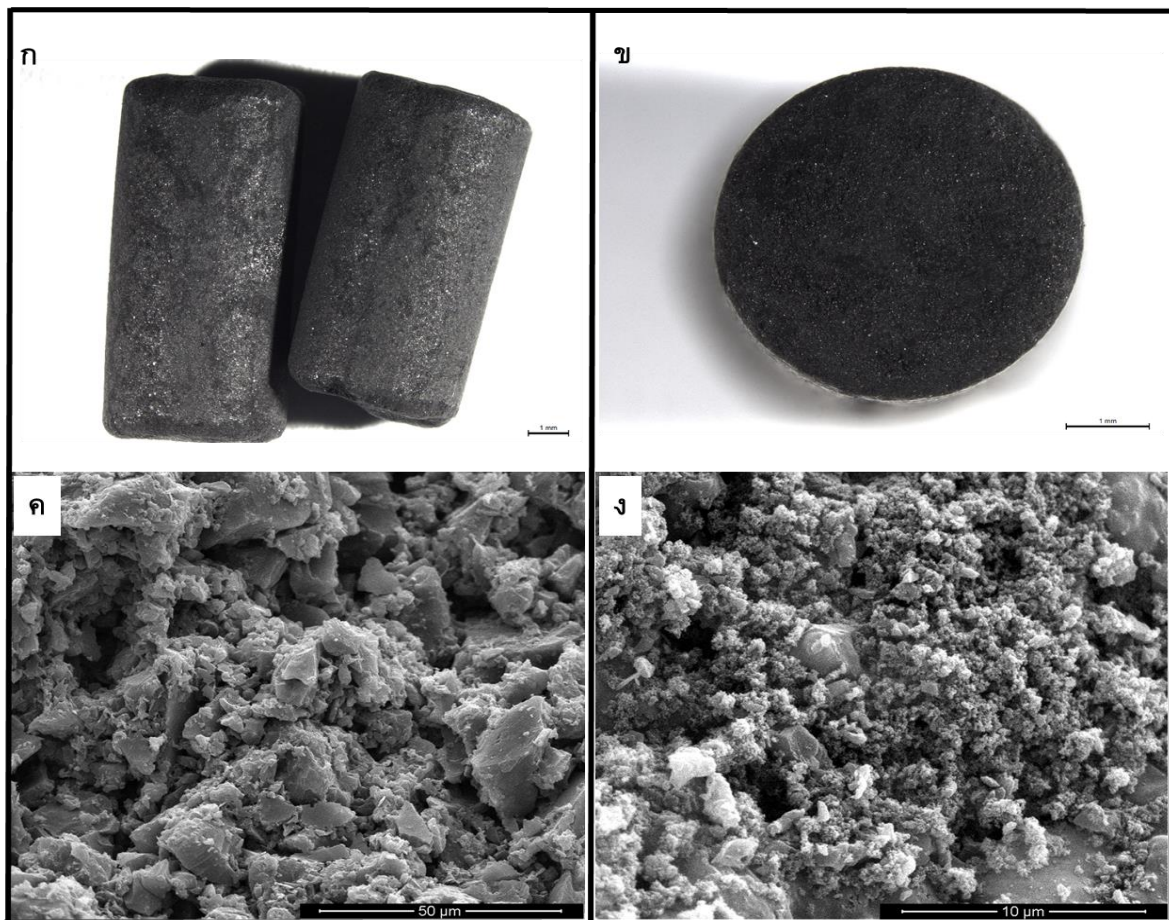
Reuse AC

จากการใช้กล้องจุลทรรศน์สแกนในการถ่ายภาพ 3 มิติของ Reuse AC ที่นำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับ รูป 2 ภาพถ่ายของ Reuse AC (ก) ด้านข้าง และ (ข) ด้านบน จะเห็นว่าแท่งคาร์บอนกัมมันต์มีลักษณะเป็นแท่งอัดแน่นเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้นและจากการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย (ค) 1000 เท่า และ (ง) 5000 เท่า จะเห็นว่า Reuse AC จะมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ แสดงลักษณะรูพรุนปริมาณมากอย่างเห็นได้ชัดเจน เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับในอุปกรณ์ดูดซับสารอินทรีย์ที่ประดิษฐ์ขึ้น และจากการศึกษาหาปริมาณพื้นที่ผิวและขนาดรูพรุนเฉลี่ยของ Reuse AC เพื่อเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกใช้คาร์บอนกัมมันต์เป็นวัสดุดูดซับที่เหมาะสมให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์แบ่งทิ้งจากเครื่อง GC ที่เพียงพอ ผลการทดลองที่ได้จากเครื่อง

วิเคราะห์พื้นที่ผิวและรูพรุน (BET) พบว่า Reuse AC มีขนาดรูพรุนเฉลี่ย (pore size) 19.0483 อังสตรอม เป็นรูพรุนแบบไมโครพอร์ (micropore) ขนาดรูพรุนไม่เกิน 2 นาโนเมตรคิดเป็นพื้นที่ผิว 604.5090 ตารางเมตรต่อกรัม และมีรูพรุนแบบมีโซพอร์ (mesopore) ขนาดรูพรุนช่วง 2 ถึง 50 นาโนเมตรคิดเป็นพื้นที่ผิว 513.1912 ตารางเมตรต่อกรัม ทำให้มีพื้นที่ผิวรวมในการดูดซับสารอินทรีย์สูงถึง 1117.7001 ตารางเมตรต่อกรัม

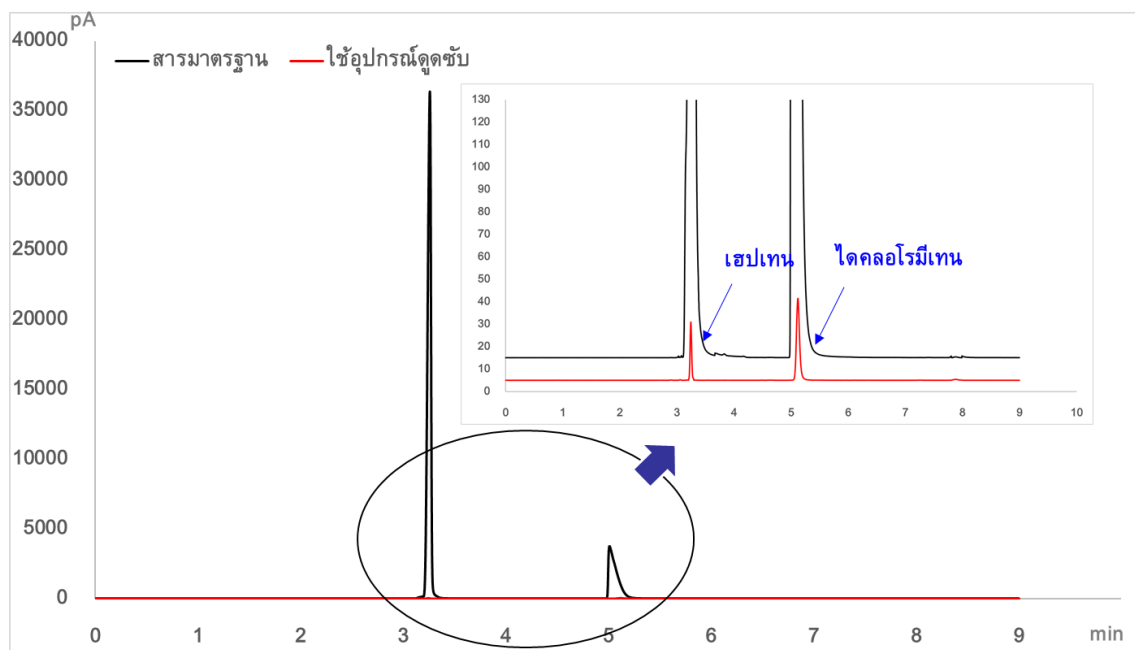
2. ผลประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดูดซับ

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดูดซับ โดยการวัดค่าสัญญาณของเฮปแทนและไดคลอโรมีเทนที่ถูกทำให้คายการดูดซับ แสดงผลการวิเคราะห์สารที่ได้ด้วยเครื่อง HS-GC-FID โครมาโทแกรมที่ได้แสดงดังรูป 3 โดยภาพขยายเส้นสีแดงคือโครมาโทแกรมของชุดใช้อุปกรณ์ดูดซับที่ดูดซับสารเฮปแทนและไดคลอโรมีเทนที่แบ่งทิ้งมาจากเครื่อง GC ที่มีการฉีดซ้ำ 50 ครั้ง ๆ ละ 1 ไมโครลิตร และเส้นสีดำคือโครมาโทแกรมของชุดสารมาตรฐานที่มีปริมาณเฮปแทนและไดคลอโรมีเทนปริมาตรสาร 50 ไมโครลิตร จากรูปจะเห็นว่าหากไม่มีการใช้อุปกรณ์ดูดซับสารอินทรีย์ ส่วนต่างของสัญญาณระหว่างโครมาแกรมเส้นสีดำและแดง ก็คือปริมาณที่สารอินทรีย์ระเหยฟุ้งกระจายในห้องปฏิบัติการที่ผู้ใช้เครื่อง GC หรืออยู่ในห้องปฏิบัติการอาจต้องสูดดมสารอินทรีย์เหล่านี้เข้าสู่ร่างกาย



รูป 2 ภาพถ่ายของ Reuse AC

(ก) ด้านข้าง, (ข) ด้านบน ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอและภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย, (ค) 1000 เท่า และ (ง) 5000 เท่า



รูป 3 ลักษณะโครมาโทแกรมของเฮปเทนและไดคลอโรมีเทนจากเครื่อง HS-GC-FID

ผลการศึกษาปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับของช่วงการศึกษาแสดงดังตาราง 3 โดยค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดูดซับที่ได้ในการดูดซับเฮปแทนตามช่วงที่ศึกษามีประสิทธิภาพการดูดซับได้ตั้งแต่ 99.51 – 99.98% ค่าประสิทธิภาพการดูดซับมีความแตกต่างจากชุดควบคุมอยู่ในช่วง $\pm 0.25\%$ และข้อมูลของไดคลอโรมีเทนประสิทธิภาพการดูดซับได้ตั้งแต่ 96.68 – 99.35% และค่าประสิทธิภาพการดูดซับมีความแตกต่างจากชุด

ควบคุมอยู่ในช่วง $\pm 0.57\%$ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถดูดซับสารอินทรีย์ที่แบ่งทิ้งจากเครื่อง GC ได้จริง และจากผลการศึกษาการใช้งานจริงของอุปกรณ์ดูดซับ ปริมาณสารมีการปลดปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับของเฮปแทนและไดคลอโรมีเทนมีแนวโน้มลดลงตามจำนวนซ้ำการฉีด GC ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มสารอินทรีย์เข้าไปในอุปกรณ์ดูดซับแต่อย่างไรก็ตามช่วงสูงสุดที่ศึกษาคือ 500 ซ้ำยังคงให้ประสิทธิภาพการดูดซับที่ดี

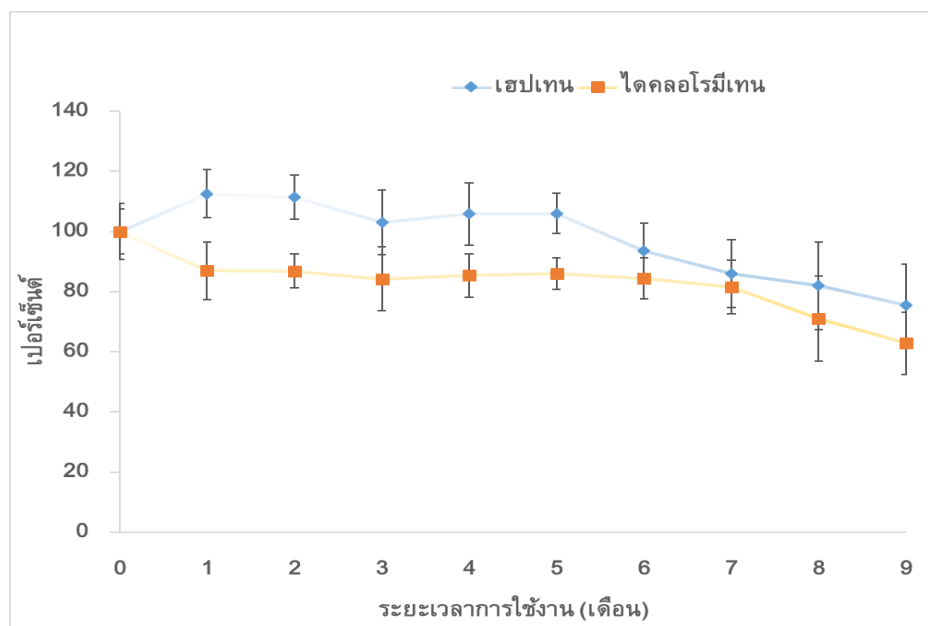
ตาราง 3 แสดงปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการดูดซับของแต่ละช่วงการศึกษา (n = 3)

STD (mg)	เฮปแทน				STD (mg)	ไดคลอโรมีเทน			
	ชุดใช้อุปกรณ์ดูดซับ		ชุดควบคุม			ชุดใช้อุปกรณ์ดูดซับ		ชุดควบคุม	
	Aver ± SD	% Eff	Aver ± SD	% Eff		Aver ± SD	% Eff	Aver ± SD	% Eff
	(mg)		(mg)			(mg)		(mg)	
3.4	0.001±0.000	99.98	0.0004±0.0000	99.99	6.6	0.047±0.002	99.28	0.014±0.002	99.79
6.8	0.001±0.000	99.98	0.002±0.000	99.97	13.3	0.103±0.006	99.23	0.038±0.002	99.71
17.0	0.008±0.001	99.96	0.005±0.001	99.97	33.1	0.216±0.018	99.35	0.270±0.013	99.19
34.0	0.030±0.003	99.91	0.012±0.001	99.97	66.3	1.123±0.107	98.31	0.886±0.115	98.66
68.0	0.181±0.017	99.73	0.087±0.011	99.87	132.5	2.216±0.226	98.33	2.972±0.416	97.76
169.9	0.828±0.091	99.51	0.402±0.036	99.76	331.3	11.004±1.297	96.68	12.561±1.382	96.21

3. ศึกษาอายุการกักเก็บสารอินทรีย์ของอุปกรณ์ดูดซับ

ผลการศึกษาการกักเก็บของสารอินทรีย์ที่ดูดซับไว้ของอุปกรณ์ดูดซับ โดยในการศึกษาจะให้การกักเก็บสารที่ 0 เดือนหรือการทดสอบทันทีหลังจำลองการวิเคราะห์ของเครื่อง GC เสร็จสิ้น เป็นค่าสัดส่วนสัญญาณ 100% จากนั้นเมื่อผ่านระยะเวลาการกักเก็บตามที่กำหนด จะนำอุปกรณ์ดูดซับแต่ละช่วงเวลาจัดเก็บมาคายการดูดซับตามสภาวะทดสอบ HS-GC-FID เทียบสัดส่วนสัญญาณกับการกักเก็บที่ 0 เดือน ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูป 4 จากกราฟจะเห็นว่าสัญญาณของเฮปแทนหลังการจัดเก็บนานขึ้นจะมีค่าสูงขึ้น อาจเป็นเพราะแรงพันธะที่แข็งแรงของเฮปแทนกับคาร์บอนกัมมันต์ที่เป็นสารไม่มีขั้วเหมือนกันทำให้เฮปแทนสร้างพันธะกับคาร์บอนกัมมันต์ได้ดี ผลให้การทดสอบทันทีของเฮปแทนคายการดูดซับ

จากคาร์บอนกัมมันต์ได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการปล่อยเวลากักเก็บไว้นานขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปหลัง 1 เดือน การคายการดูดซับก็จะแปรผันตามช่วงเวลาจนเมื่อเวลาผ่านไป 9 เดือนเปอร์เซ็นต์สัญญาณต่ำกว่า 80% จากค่าเริ่มต้น ในขณะที่ไดคลอโรมีเทนมีความเป็นขั้วสูงกว่า ทำให้สร้างแรงพันธะคาร์บอนกัมมันต์ได้น้อยกว่า สัญญาณที่ได้จึงลดลงตามระยะเวลาการจัดเก็บและต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จากค่าเริ่มต้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 เดือน อย่างไรก็ตามในการศึกษาคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้เป็นวัสดุดูดซับในอุปกรณ์ดูดซับใช้เพียงกึ่งหนึ่งของการใช้งานจริง ดังนั้นผลการใช้งานจริงอาจมีประสิทธิภาพการใช้นานกว่า 7 เดือน แต่อย่างไรก็ตามช่วงการใช้ 7 เดือนเป็นช่วงเวลาที่ถูกละเลือกเป็นจุดสิ้นสุดการใช้งานของอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้นตามผลการศึกษาที่ได้ และเพียงพอให้ผู้ปฏิบัติงานทำการเปลี่ยนวัสดุดูดซับชุดใหม่ตามเวลาที่กำหนด



รูป 4 เปอร์เซนต์สัญญาณการกักเก็บสารอินทรีย์ในแต่ละช่วงเวลา

4. ผลการศึกษาความสามารถในการใช้ซ้ำ

จากการศึกษาหาความสามารถในการใช้ซ้ำ ผลที่ได้คือ อุปกรณ์ดูดซับสามารถใช้งานซ้ำได้ถึง 10 ครั้ง และยังคงให้ประสิทธิภาพการดูดซับเกิน 99% โดยหลังการใช้งานซ้ำเกิน 10 ครั้ง คาร์บอนกัมมันต์ในอุปกรณ์ดูดซับมีลักษณะแตกลาย อาจเป็นผลมาจากการโดนความร้อนซ้ำ ๆ ในขั้นตอนการไล่สารอินทรีย์ระเหยง่าย และขั้นตอนการถ้ำยไอน์คาร์บอนกัมมันต์ระหว่างอุปกรณ์ดูดซับ ขวดเฮดสเปซ และตู้อบ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ซ้ำที่ 10 ครั้งเป็นจุดสิ้นสุดการใช้งาน เพื่อเป็นการป้องกันการเล็ดลอดของเศษคาร์บอนกัมมันต์เข้าไปในระบบเครื่อง GC ในระหว่างการเปลี่ยนถ้ำยวัสดุดูดซับลงไปให้อุปกรณ์ดูดซับ

วิจารณ์

จากการจำลองการใช้งานจริงของอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้น ในการดูดซับสารอินทรีย์ของเฮปเทนและไคคลอโรมีเทน ผลจากการศึกษาชนิดของวัสดุดูดซับสำหรับบรรจุในอุปกรณ์ดูดซับ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับทั้ง XAD 2 และคาร์บอนกัมมันต์ดูดซับสารอินทรีย์ไม่มีซ้ำได้ดีกว่าสารมีซ้ำ โดย XAD 2 การดูดซับสารอินทรีย์จะเป็นการดูดซับทางเคมี [14] ในขณะที่คาร์บอนกัมมันต์จากการศึกษางานวิจัยก่อน

หน้าของ Li และคณะ [15] ผลการดูดซับเป็นการดูดซับทางกายภาพ และยังมีแรงทางเคมีเนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์จะมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นวงแหวนของคาร์บอน ซึ่งเป็นสารประกอบไม่มีซ้ำเป็นองค์ประกอบหลักทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแบบแรงแวนเดอร์วาลส์กับสารอินทรีย์ที่ไม่มีซ้ำของเฮปเทนได้ดีกว่าไคคลอโรมีเทน ทำให้เฮปเทนที่เป็นสารอินทรีย์ซ้ำต่ำถูกดูดซับได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับ XAD 2 ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งเห็นได้ชัดในกรณีของไคคลอโรมีเทน โดย XAD 2 ให้ประสิทธิภาพดูดซับน้อยกว่าคาร์บอนกัมมันต์ ถึง 3% ทั้งชนิด Reuse AC/ New AC ซึ่งหากผู้สนใจต้องการประดิษฐ์อุปกรณ์ดูดซับใช้เองก็สามารถนำ New AC เมื่อผ่านการใช้งานแล้วครั้งหนึ่งแล้วและนำมาใช้ซ้ำก็จะกลายเป็น Reuse AC ก็ยังคงให้ประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีในการเป็นวัสดุดูดซับในอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้น แต่ต้องมีการศึกษาหาปริมาณพื้นที่ผิวและรูปทรงของวัสดุดูดซับก่อนนำไปใช้งาน

ผลจากการจำลองการใช้งานจริงในการดูดซับสารที่แบ่งทั้งจากเครื่อง GC เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการดูดซับ มีแนวโน้มลดลงตามจำนวนซ้ำการฉีด GC ที่เพิ่มขึ้น โดยเฮปเทนมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ในอุปกรณ์ดูดซับน้อยกว่าไคคลอโรมีเทน โดยอุปกรณ์ดูดซับสามารถกักเก็บสารอินทรีย์

ได้นานถึง 7 เดือน และจากผลการศึกษาความสามารถในการใช้ซ้ำของอุปกรณ์ดูดซับทำให้ทราบถึงความสามารถในการใช้ซ้ำ ซึ่งจะมีผลต่อต้นทุนของอุปกรณ์ดูดซับ เนื่องจากอุปกรณ์ดูดซับที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ออกแบบไว้เป็นแบบใช้แล้วทิ้ง ทำให้ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ดูดซับใหม่ทั้งชุดทุกปี ในขณะที่อุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้น มีลักษณะที่นำคาร์บอนกัมมันต์ที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุดูดซับออกไปบำบัดสารอินทรีย์ที่ดูดซับได้ง่าย ทำให้มีความสามารถในการใช้ซ้ำ (Reuse) ได้ถึง 10 ซ้ำ ผลให้ต้นทุนการผลิตของอุปกรณ์ดูดซับชิ้นแรกที่อยู่การใช้งานนาน 7 เดือนและชิ้นที่สิบที่อยู่การใช้งานรวม 70 เดือนหรือ 5.8 ปี ยังคงมีต้นทุนวัสดุอุปกรณ์คงที่ ยกเว้นต้นทุนการบำบัดสารอินทรีย์ที่จะเพิ่มขึ้นประมาณ 39 บาท/ครั้ง ในขณะที่ชุดดูดซับที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์มีต้นทุนสูงขึ้นตามจำนวนชิ้นการใช้ในแต่ละปี หากเปรียบเทียบด้านราคาต้นทุนของอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้นกับอุปกรณ์ดูดซับที่มี

จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ต่อการใช้งานในการดูดซับสารอินทรีย์ที่ปล่อยออกมาจากเครื่อง GC แสดงผลเปรียบเทียบดังตาราง 4 ต้นทุนของอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้น จะมีราคาต้นทุนประมาณ 88 บาท/ชิ้น สามารถใช้งานได้ 10 ซ้ำ ชุดอุปกรณ์ดูดซับมีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์จะมีราคา 1,305 บาท/ชิ้น ไม่สามารถใช้ซ้ำได้ จากตารางแสดงให้เห็นว่าที่ประดิษฐ์ขึ้นราคาถูกกว่าเชิงพาณิชย์ถึง 18 เท่าเมื่อเทียบจากการใช้งานต่ออายุสิ่งประดิษฐ์

ข้อเสนอแนะหากผู้สนใจหรือนักวิจัยต้องการผลิตอุปกรณ์ดูดซับเชิงพาณิชย์อาจเลือกใช้ New AC ซึ่งสามารถจัดหาได้ในปริมาณมาก แต่ในกรณีผลิตเพื่อใช้เองในห้องปฏิบัติการสามารถเลือกใช้ Reuse AC ได้ แต่อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็น New AC หรือ Reuse AC ควรจะมีข้อมูลพื้นที่ผิวและรูพรุนของวัสดุก่อนบรรจุวัสดุลงไปใส่อุปกรณ์ดูดซับเพื่อนำไปใช้งาน

ตาราง 4 ต้นทุนการผลิตและการใช้งานของอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้นเทียบกับที่มีจำหน่ายเชิงพาณิชย์

รายการ	ประดิษฐ์ขึ้น	จำหน่ายเชิงพาณิชย์
อุปกรณ์ดูดซับ/ชิ้น (บาท)	88	1,305
ความสามารถในการใช้ซ้ำ (ครั้ง)	10	-
อายุการใช้งาน (เดือน)	7	12
การใช้งานอายุสิ่งประดิษฐ์ 6 ปี (บาท)	439	7,830

สรุปผลจากการประดิษฐ์อุปกรณ์ดูดซับสารอินทรีย์ขึ้นเพื่อใช้ดูดซับสารอินทรีย์ที่ออกจากช่องแบ่งทิ้งของเครื่อง GC เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ และสอดคล้องตามการใช้ห้องปฏิบัติการปลอดภัยตาม มอก.2677-2558 ทำให้ผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการโดยเฉพาะผู้ปฏิบัติงานหน้าเครื่อง GC มีความมั่นใจในการทำงาน ไม่ต้องเสี่ยงต่อการสูดดมไอสารอินทรีย์ระเหยที่มีความเป็นพิษเข้าไปในร่างกาย และอุปกรณ์ดูดซับที่ประดิษฐ์ขึ้นทำจากอุปกรณ์ที่หาได้ในห้องปฏิบัติการ สามารถใช้งานได้จริงและมีลักษณะที่พอดีกับช่องแบ่งทิ้งของเครื่อง GC โดยสามารถเชื่อมกับช่องแบ่งทิ้งของเครื่อง GC ทั้งหัวฉีดด้านหน้าและด้านหลังได้พร้อมกัน นอกจากนี้สามารถใช้ร่วมกับเครื่อง GC และ GC-MS ได้หลายบริษัทและหลายรุ่น

เช่น เครื่อง GC ของบริษัท Agilent รุ่น GC6890 GC7890 บริษัท SHIMADZU รุ่น GC-2030 เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ ดร.อภิชัย พลชัย คณะวิทยาศาสตร์ คุณกิตติศักดิ์ ชูมาลี คณะแพทยศาสตร์ สำหรับการตรวจสอบข้อมูล และหัวหน้าฝ่ายบริการเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์ และท่านผู้อำนวยการสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนบุคลากรสร้างผลงานไคเซ็นจากการแก้ปัญหาหน้างานสู่งานวิจัย ทีมผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Poole CF. Ionization-based detectors for gas chromatography. *Journal of Chromatography A*. 2015; 1421: 137-53.
2. Liu L-B, Hashi Y, Qin Y-P, Zhou H-X, Lin J-M. Development of automated online gel permeation chromatography–gas chromatograph mass spectrometry for measuring multiresidual pesticides in agricultural products. *Journal of Chromatography B*. 2007; 845(1): 61-8.
3. Pinsrithong S, Bunkoed O. Hierarchical porous nanostructured polypyrrole-coated hydrogel beads containing reduced graphene oxide and magnetite nanoparticles for extraction of phthalates in bottled drinks. *Journal of Chromatography A*. 2018; 1570: 119-27.
4. Dirgha Raj Joshi NA. An Overview on Common Organic Solvents and Their Toxicity. *Journal of Pharmaceutical Research International*. 2019; 28: 1-18.
5. Yang N. Dichloromethane. In: Wexler P, editor. *Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)*. Oxford: Academic Press; 2014: 99-101.
6. Lizarra LE, Q. Jay Zhao M, Wesselkamper SC. Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for n-Heptane. United States Environmental Protection Agency US EPA. 2016: 1-65.
7. Pinsrithong S, Kulvijitra R. Analysis of methyl ester and ethyl ester in biodiesel from crude palm oil by gas chromatography. *CUAST Journal*. 2018; 7(3): 105-114.
8. Goel SK, Rao OS, Pandya KP. Toxicity of n-hexane and n-heptane: Some biochemical changes in liver and serum. *Toxicology Letters*. 1982; 14(3): 169-74.
9. IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans [Internet]. 2017. Available from: <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications>.
10. Borkar C, Tomar DS, Gumma S. Adsorption of Dichloromethane on Activated Carbon. *Journal of Chemical and Engineering Data - J CHEM ENG DATA*. 2009; 55.
11. Cai DF, Huang WQ, Wang DL, Zhang L, Yang G. [Study on adsorption properties of organic vapor on activated carbons]. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*. 2013; 34(12): 4694-700.
12. Dettmer K, Engewald W. Adsorbent materials commonly used in air analysis for adsorptive enrichment and thermal desorption of volatile organic compounds. *Analytical and bioanalytical chemistry*. 2002; 373: 490-500.
13. Juan-Peiró L, Bernhammer A, Pastor A, de la Guardia M. The use of amberlite adsorbents for green chromatography determination of volatile organic compounds in air. *J Anal Methods Chem*. 2012; 2012: 728143.
14. Marcillo A, Jakimovska V, Widdig A, Birkemeyer C. Comparison of two common adsorption materials for thermal desorption gas chromatography – mass spectrometry of biogenic volatile organic compounds. *Journal of Chromatography A*. 2017; 1514: 16-28.
15. Liqing Li ZS, Hailong Li, Tim C. Keener. Effects of activated carbon surface properties on the adsorption of volatile organic compounds. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2012; 62: 1196–202.