



การประยุกต์ใช้ตัวดูดซับในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจาก วัตถุพยานด้วยเทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี Application of Adsorbents in Sample Preparation for Analysis of Gasoline by The Headspace-gas Chromatography-mass Spectrometry Technique

ธีรวัฒน์ อึ้งสิทธิพูนพร¹ เอกดนัย ธิมาชัย² และ สมศักดิ์ ฟองสุภา^{1,3}

¹ บัณฑิตศึกษา คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

² กลุ่มงานตรวจทางเคมี ฟิสิกส์ ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 2

³ ภาควิชาเทคนิคการแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Thirawat Aungsittipoonporn¹, Ekdanai Timachai², and Somsak Fongsupa^{1,3}

¹ Graduate Program in Forensic Science, Faculty of Allied Health Sciences, Thammasat University

² Chemistry Physics Sub-Division, Police Forensic Science Center 2

³ Department of Medical Technology, Faculty of Allied Health Sciences, Thammasat University

Received March 20, 2021 | Revised August 20, 2021 | Accepted October 26, 2021

บทความวิจัย (Research Article)

บทคัดย่อ

การตรวจพิสูจน์พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ติดอยู่กับวัตถุพยานจากเหตุเพลิงไหม้ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography-mass spectrometry หรือ GC-MS) นั้น ในบางครั้งจำเป็นต้องมีการสกัดเอาน้ำมันเชื้อเพลิงออกจากวัตถุพยานเนื่องจากวัตถุพยานมีขนาดใหญ่หรือมีน้ำเจือปน ซึ่งทำให้มีการทำลายวัตถุพยานและสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงระหว่างขั้นตอนการสกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ตัวดูดซับสำหรับการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินที่ติดอยู่กับวัตถุพยานด้วยเทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (Headspace Gas Chromatography-Mass Spectrometry หรือ HS-GC-MS) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ทำลายตัวอย่าง โดยทดลองใช้ตัวดูดซับ 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนสตริป ถ่านกัมมันต์ และถ่านไม้ไผ่ แล้วศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันเบนซิน เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดเอาน้ำมันเบนซินออกจากวัตถุพยานแล้วทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS ผลการทดลองพบว่า ภายใต้สภาวะการดูดซับที่อุณหภูมิ 60°C นาน 8 ชั่วโมง ตัวดูดซับชนิดคาร์บอนสตริปมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเบนซินสูงกว่าถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และค่าร้อยละการกลับคืนเฉลี่ยของตัวดูดซับคาร์บอนสตริป ถ่านกัมมันต์ และถ่านไม้ไผ่ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS เท่ากับ 85.22, 68.97 และ 38.42 ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS เท่ากับ 79.94, 56.34 และ 40.29 ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงนำตัวดูดซับคาร์บอนสตริปไปทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินที่ตกค้างอยู่ในวัตถุพยานจำลอง 4 ชนิด คือ เสื้อผ้า กระดาษ ไม้อัด และดิน พบว่าการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค HS-GC-MS โดยไม่สกัดตัวดูดซับ มีค่าร้อยละการวิเคราะห์ที่กลับคืนสูง



กว่าเทคนิค GC-MS โดยการสกัดตัวดูดซับและวัตถุพยาน อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากการศึกษาในงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าคาร์บอนสตริปสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานด้วยเทคนิค HS-GC-MS ได้ดีที่สุด โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่าง

คำสำคัญ: น้ำมันเบนซิน, ตัวดูดซับสารเคมี, แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี, เฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี

Abstract

Forensic investigation of flammable liquids from fire evidence using the gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) with sample extraction from fire evidence was studied, because the sample of fire evidence is large and contaminated with water. However, this method causes damage of the evidence and loss of gasoline components. The aim of this research was to study the application of adsorbents for direct analysis of gasoline by headspace gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-MS) without the extraction. This research studied three types of adsorbents, including carbon strip, activated carbon and bamboo charcoal, subjected to absorb gasoline vapor. Then, the adsorbents were analyzed by using the HS-GC-MS without sample extraction compared with GC-MS with sample and adsorbent extraction. The results showed that the efficiency of carbon strip for analysis of gasoline by the HS-GC-MS was significantly higher than that of activated carbon and bamboo charcoal ($p < 0.05$) under optimal conditions for gasoline absorption at 60 °C and 8 hours. The means of percent recovery for direct analysis of gasoline from carbon strip, activated carbon and bamboo charcoal by using the HS-GC-MS were 85.22, 68.79 and 38.42, respectively, whereas the means of percent recovery for analysis of gasoline extraction from carbon strip, activated carbon and bamboo charcoal by using the GC-MS were 79.94, 56.34 and 40.29, respectively. After that, carbon strip adsorbent was then tested for its performance for gasoline investigation of mock-up fire evidence, including cloth, plywood, papers and soil. The gasoline investigation of mock-up fire evidence showed that analysis of gasoline directly from carbon strip adsorbent by using the HS-GC-MS had significantly higher percent recovery than analysis of gasoline extracted from carbon strip adsorbent and work-up fire evidence by using the GC-MS ($p < 0.05$). Altogether, it can be concluded that carbon strip is the best studied adsorbent for forensic investigation by using the HS-GC-MS without sample extraction.

Keywords: Gasoline, Chemical Adsorbent, Gas Chromatography-mass Spectrometry, Headspace Gas Chromatography-mass Spectrometry



บทนำ

การวางเพลิงเป็นคดีอาชญากรรมที่มีความรุนแรงและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากความตั้งใจหรือความประมาท การทำให้เกิดเพลิงไหม้โดยความตั้งใจมีความผิดเป็นคดีอุกฉกรรจ์ตามประมวลกฎหมายอาญา มาตรา 217, 218 และ 219 (Menakanit, 2019) มีโทษตั้งแต่การจำคุกจนถึงการประหารชีวิต ดังนั้นการนำบุคคลที่มีความผิดมาลงโทษจำคุกจำเป็นต้องมีการพิสูจน์อย่างถูกต้องและยุติธรรมโดยอาศัยกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ตรวจพิสูจน์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของการเกิดเพลิงไหม้โดยการตรวจหาชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงจากวัตถุพยานมาประกอบการสืบสวนสอบสวนในการพิจารณาคดีตามกระบวนการยุติธรรม ในการวางเพลิงโดยทั่วไปมักจะนิยมใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินซึ่งพบได้บ่อยเนื่องจากมีอุณหภูมิการจุดติดไฟต่ำ (จุดเดือด 40-150 องศาเซลเซียส) ติดไฟง่ายและจัดหาซื้อได้ง่าย

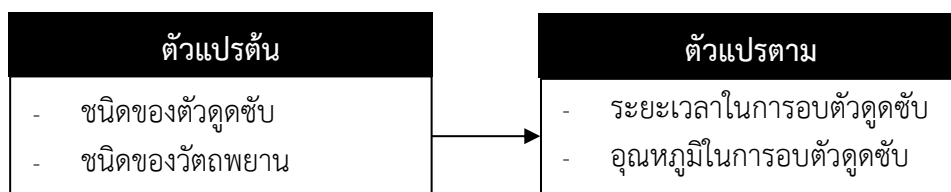
กระบวนการและวิธีการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานในคดีเพลิงไหม้นั้น ในบางครั้งจำเป็นต้องมีการสกัดเอาน้ำมันเบนซินที่ติดอยู่กับวัตถุพยานออกมาวัตถุพยานก่อนเนื่องจากวัตถุพยานมีขนาดใหญ่หรือมีน้ำเจือปนโดยใช้ทำละลายเอ็กเซนซึ่งทำให้การทำลายวัตถุพยานและสูญเสียน้ำมันเบนซินระหว่างขั้นตอนการสกัด หลังจากนั้นนำสารที่สกัดได้ไปทำตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (ASTM E1618-11, 2011) และเนื่องจากในปัจจุบันมีการกำหนดมาตรฐานวิธีการเตรียมตัวอย่างที่ได้จากคดีเพลิงไหม้ (ASTM. E1412-12, 2012) สามารถใช้ตัวดูดซับ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal) เป็นตัวดูดซับไอน้ำมันเชื้อเพลิงจากวัตถุพยาน และนำไปเซ (Elute) หรือสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานต่อไป และยังมีการนำเทคนิคการตรวจวิเคราะห์ใหม่ ๆ ที่สามารถใช้เตรียมตัวอย่างไอน้ำมันเชื้อเพลิงโดยไม่ต้องสกัดจากตัวดูดซับก่อนการวิเคราะห์ ได้แก่ เทคนิคเฮดสเปซ (Headspace Technique) โดยการนำตัวอย่างวัตถุพยานใส่ในขวดเล็ก ๆ ที่ปิดสนิทแล้วนำไปให้อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อให้สารที่เราต้องการตรวจวิเคราะห์กลายเป็นไอก่อนนำไปวิเคราะห์ ดังนั้นอาจจะสามารถนำเอาตัวดูดซับมาใช้ดูดซับไอน้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานที่มีขนาดใหญ่ก่อนแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (HS-GC-MS) โดยไม่ต้องสกัดไอน้ำมันเบนซินออกจากวัตถุพยานได้ แต่ที่ผ่านมามีการศึกษาการประยุกต์ใช้ตัวดูดซับสำหรับเตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานในคดีเพลิงไหม้แล้วตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS ยังไม่แพร่หลายและมีข้อมูลน้อย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของตัวดูดซับ และนำตัวดูดซับนั้นไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการตรวจวิเคราะห์น้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานจำลองโดยใช้เทคนิค HS-GC-MS ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนในการสกัดตัวอย่างก่อนการตรวจวิเคราะห์ ซึ่งวัตถุพยานจะไม่ถูกทำลายส่งผลให้สามารถนำวัตถุพยานไปตรวจหาดีเอ็นเอและรอยลายนิ้วมือแฝงต่อ รวมทั้งสามารถนำข้อมูลประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับของตัวดูดซับไปใช้อ้างอิงในการพัฒนาเทคนิคการตรวจวิเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงจากวัตถุพยานได้จริงต่อไป

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวดูดซับในการดูดซับไอน้ำมันเบนซิน พร้อมทั้งศึกษาชนิดของตัวดูดซับที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับไอน้ำมันเบนซิน
- 2) เพื่อประยุกต์ใช้ตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการตรวจวิเคราะห์น้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานโดยใช้เทคนิค HS-GC-MS

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ทบทวนวรรณกรรม

1) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นของเหลวที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude oil) ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล และน้ำมันหล่อลื่นอื่น ๆ (Eser, 2020) โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีอยู่ 2 ประเภท คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน และน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลน้ำมันเบนซินเป็นสารผสมที่ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนมากถึง 400 ชนิด โดยประมาณ ได้แก่ พาราฟิน (Paraffin) ไซโคลพาราฟิน (Cycloparaffin) โอลิฟิน (Olefins) และสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic) และสารเติมแต่งบางชนิดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจุดระเบิดและการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เช่น เมทิลเทอร์เชียรี บิวทิล อีเทอร์ (Methyl Tertiary Butyl Ether หรือ MTBE) และเอทานอล เป็นต้น

ตัวดูดซับเป็นสารที่โครงสร้างเป็นรูพรุนหรือมีรอยแยกที่มีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตรในเนื้อของสารซึ่งมีคุณสมบัติในการเก็บกักโมเลกุลของสารหรือก๊าซให้อยู่บนพื้นผิวของรูพรุนได้ เช่น ถ่านกัมมันต์ (Ahmedna, Marshallb & Raoa, 2000; Asada et al., 2002) ซึ่งเป็นผงถ่านที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมี เกิดเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างทางกายภาพมีรูพรุนที่มีพื้นที่ผิวจำนวนมาก (ประมาณ 500-1,500 ตารางเมตร/กรัม) ทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลของสารหรือก๊าซให้อยู่ในเนื้อของถ่านได้โดยอาศัยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) โดยทั่วไปจะประยุกต์ใช้ถ่านกัมมันต์ในการกรองกรองน้ำ และเป็นตัวดูดซับในงานทางด้านอุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์มีการผลิตออกมาหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon) ถ่านกัมมันต์แบบอัดแท่ง (Extruded Activated Carbon) หรืออัดเป็นแผ่น (Carbon Strip) แล้วเคลือบด้วยเทฟลอน (Teflon) นอกจากถ่านกัมมันต์ที่นิยมใช้เป็นตัวดูดซับ ยังมีถ่านที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ถ่านไม้ไผ่ (Bamboo Charcoal) ซึ่งเป็นวัสดุที่ทำมาจากการเผาไม้ไผ่ในเตาอบที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำนวนมาก (ประมาณ 300-700 ตารางเมตร/กรัม) (Asada et al., 2002) ทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับไอน้ำมันเบนซินได้ด้วย (Thambandit, 2011) และสามารถดูดซับและลดการดูดซึมสารพิษที่กินเข้าไป (Watarai and Tana, 2005)

2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kocharit (2002) ได้ทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพของสารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างน้ำมันเบนซิน โดยใช้ตัวดูดซับชนิดคาร์บอน (Carbon Sorbent) และสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี (HS-GC) พบสารที่เป็นส่วนประกอบหลัก ได้แก่ เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene), โทลูอิน (Toluene),



ไซลีน (Xylene) และ เมทิล เทอร์เชียรี บิวทิล อีเทอร์ และพบว่ามีความไว (Sensitivity) สูง ต่อมา Raruenrom (2008) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันเชื้อเพลิงระหว่างคาร์บอนสตริป (Charcoal Strip, DFLEX) กับถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) โดยวิธีการสกัดจากตัวดูดซับซับไอน้ำมันเชื้อเพลิง และทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography-flame Ionization Detector (GC-FID) พบว่าร้อยละการกลับคืน (%Recovery) ของการตรวจวิเคราะห์โดยใช้ตัวดูดซับชนิดคาร์บอนสตริป (69.74%) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ (67.76%) และแนะนำว่าสามารถนำถ่านกัมมันต์มาใช้เป็นตัวดูดซับแทนคาร์บอนสตริปได้ และมีราคาที่ถูกกว่า และ Thambandit (2011) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยน้ำมันเบนซินของถ่านไม้ไผ่กับถ่านกัมมันต์เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับไอระเหยของน้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC-MS พบว่าถ่านไม้ไผ่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยของน้ำมันเบนซินใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ โดยมีร้อยละการกลับคืนของน้ำมันเบนซินที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 $\mu\text{L}/\text{mL}$ เท่ากับ 75.85% และ 55.20 % ตามลำดับ นอกจากนี้ Ferreiro-González et al. (2015) ได้เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินที่ได้จากการวางเพลิงด้วยเทคนิค GC-MS โดยการสกัดจากตัวดูดซับคาร์บอนสตริป (Activated Charcoal Strips) และเทคนิคเฮดสเปซ-แมสสเปกโตรเมตรี (HS-MS) โดยวิธีไม่สกัด พบว่าเทคนิค HS-MS โดยไม่สกัดสามารถแยกส่วนประกอบของน้ำมันเบนซินได้เทียบเคียงกับเทคนิคมาตรฐาน GC-MS โดยวิธีสกัดตัวดูดซับคาร์บอนสตริป

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับดังกล่าวข้างต้นพบว่าคาร์บอนสตริป (Charcoal Strips) มีประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีกว่าถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่ด้วยเทคนิค GC-MS แต่ยังคงขาดการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับและการประยุกต์ใช้กับเทคนิคเฮดสเปซแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี (HS-GC-MS) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ศึกษาประสิทธิภาพตัวดูดซับไอน้ำมันเชื้อเพลิงในสถานะเดียวกันแล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานเทคนิค GC-MS โดยการสกัดและเลือกตัวดูดซับที่ดีที่สุดไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวิเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงในตัวอย่างวัตถุพยานจำลองโดยใช้เทคนิค HS-GC-MS

ระเบียบวิธีวิจัย

1) การเตรียมตัวดูดซับ

ทำการคัดเลือกตัวดูดซับ (Adsorbent) ที่นิยมใช้และมีจำหน่ายในประเทศ 3 ชนิด ได้แก่ 1) คาร์บอนสตริป (Charcoal Strip, Albrayco) มีลักษณะเป็นแผ่น ขนาด 9 X 20 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 0.1 กรัม วิธีการใช้ 1 แผ่น/1 ตัวอย่าง 2) ถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal, Rankem) มีลักษณะเป็นผง วิธีการใช้ ใส่บรรจุถุงชาที่มีรูพรุน ขนาด 9 X 20 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 0.1 กรัม/1 ตัวอย่าง และถ่าน 3) ไม้ไผ่ (Bamboo Charcoal, Buntan) ใส่บรรจุถุงชาที่มีรูพรุน ขนาด 9 X 20 มิลลิเมตร มีน้ำหนัก 0.1 กรัม/1 ตัวอย่าง และก่อนใช้งานนำไปอบความร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส

2) การเตรียมดูดซับและการสกัดไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับ

หยดน้ำมันเบนซินปริมาตร 10 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นกระดาษกรองเบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในขวดปริมาตร 10 มิลลิตร และปิดฝาซึ่งผูกตัวดูดซับที่ต้องการศึกษาทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนสตริป (Charcoal Strip) ถ่านกัมมันต์ และถ่านไม้ไผ่ (Bamboo Charcoal) ให้แน่นด้วยอุปกรณ์สำหรับปิดฝาขวดเตรียมตัวอย่าง แล้วนำขวดไปอบด้วยความร้อน จากนั้นนำขวดบรรจุตัวดูดซับออกจากตู้อบไว้รอจนเย็นที่อุณหภูมิปกติประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวดูดซับที่ดูดซับไอน้ำมันเบนซินแล้ว

ไปสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนปริมาตร 10 มิลลิลิตร จะได้ความเข้มข้นของน้ำมันเบนซินประมาณ 1,000 ppm จากนั้นปิดฝาขวดเตรียมตัวอย่างและนำไปสกัดด้วยเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่สูง (Sonication) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 20 นาที นำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์น้ำมันเบนซินต่อไป

3) การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC-MS และ HS-GC-MS

เพื่อหาองค์ประกอบหลักของส่วนประกอบของน้ำมันเบนซินสำหรับใช้เป็นตัวบ่งชี้ (Markers) โดยการนำน้ำมันเบนซินแก๊สโซฮอล์ 95 ที่ได้จากสถานีบริการน้ำมันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) มาเตรียมให้มีความเข้มข้น 5,000 ppm ในตัวทำละลายเฮกเซน และนำสารละลายน้ำมันเบนซินที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง GC-MS (Agilent, 7890GC/5977AMSD) กับเครื่อง HS-GC-MS (Agilent, 7890GC/5977AMSD-7697A Headspace Sampler) ในแต่ละเทคนิคทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง โดยพิจารณาจากรูปแบบของโครมาโทแกรมที่ได้

4) การหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวดูดซับสำหรับดูดซับไอน้ำมันเบนซิน

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับ โดยนำตัวดูดซับทั้ง 3 ชนิดที่ต้องการศึกษา จำนวน 2 ชุด ไปอบด้วยไอน้ำมันเบนซินที่ อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส และอบในแต่ละอุณหภูมิเป็นเวลานาน 6, 8 และ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวดูดซับออกจากตู้อบไว้ภายนอก รอจนเย็นที่อุณหภูมิปกติประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวดูดซับไอน้ำมันเบนซิน ชุดที่ 1 ไปสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซนและวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS ทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง และ นำตัวดูดซับไอน้ำมันเบนซิน ชุดที่ 2 ใส่ลงในขวดเตรียมตัวอย่างสำหรับการทำเฮดสเปซ และเติมตัวทำละลายเฮกเซน ลงไปในขวด 100 ไมโครลิตร ปิดฝาขวดให้แน่น แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์น้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค HS-GC-MS ทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง สังเกตและบันทึกค่าพื้นที่ใต้กราฟ (Peak Area) ของสารตัวบ่งชี้ (Markers) ที่กำหนดไว้ และนำผลตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้น (Peak Area) ที่ได้ไปคำนวณค่าร้อยละการวิเคราะห์กลับคืน (% Recovery)

5) การตรวจวิเคราะห์น้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานจำลอง

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเทคนิคการตรวจวิเคราะห์น้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค HS-GC-MS โดยใช้ตัวดูดซับโดยตรงเทียบกับเทคนิค GC-MS โดยการสกัดตัวดูดซับและวัตถุพยานโดย นำวัตถุพยานจำลอง 4 ชนิด คือ เสื้อผ้า กระดาษ ดิน และไม้อัด มาตัดให้มีขนาด 7 x 7 ตารางเซนติเมตร โดยแบ่งออกเป็น (3 x 2) ชุด ๆ 5 ตัวอย่าง เพื่อใช้ตรวจวิเคราะห์ ดังนี้ ชุดที่ 1 สำหรับเทคนิค GC-MS โดยการสกัดจากวัตถุพยานโดยตรง ชุดที่ 2 สำหรับเทคนิค GC-MS โดยการสกัดจากตัวดูดซับ และชุดที่ 3 สำหรับเทคนิค HS-GC-MS โดยการนำตัวดูดซับไปวิเคราะห์โดยตรงโดยไม่ผ่านการสกัด หลังจากนั้นทำการหยดน้ำมันเบนซินที่ไม่เจือจางปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงบนวัตถุพยานจำลองแต่ละชนิด แล้วนำไปเผาเป็นเวลานาน 5 และ 10 วินาที เพื่อใช้เป็นวัตถุพยานจำลองจากการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน จากนั้นนำตัวดูดซับไปดูดซับไอน้ำมันเบนซินด้วยตัวดูดซับที่ดีที่สุดที่ในสภาวะที่เหมาะสมทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบไอน้ำมันเบนซินที่ให้ค่าร้อยละกลับคืน (% Recovery) สูงที่สุด แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS ทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง โดยการสกัดจากวัตถุพยานโดยตรงและสกัดจากตัวดูดซับ และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS ทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง โดยใช้ตัวดูดซับ นำผลตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้น (Peak Area) ที่ได้ไปคำนวณค่าร้อยละการวิเคราะห์กลับคืน (% Recovery)

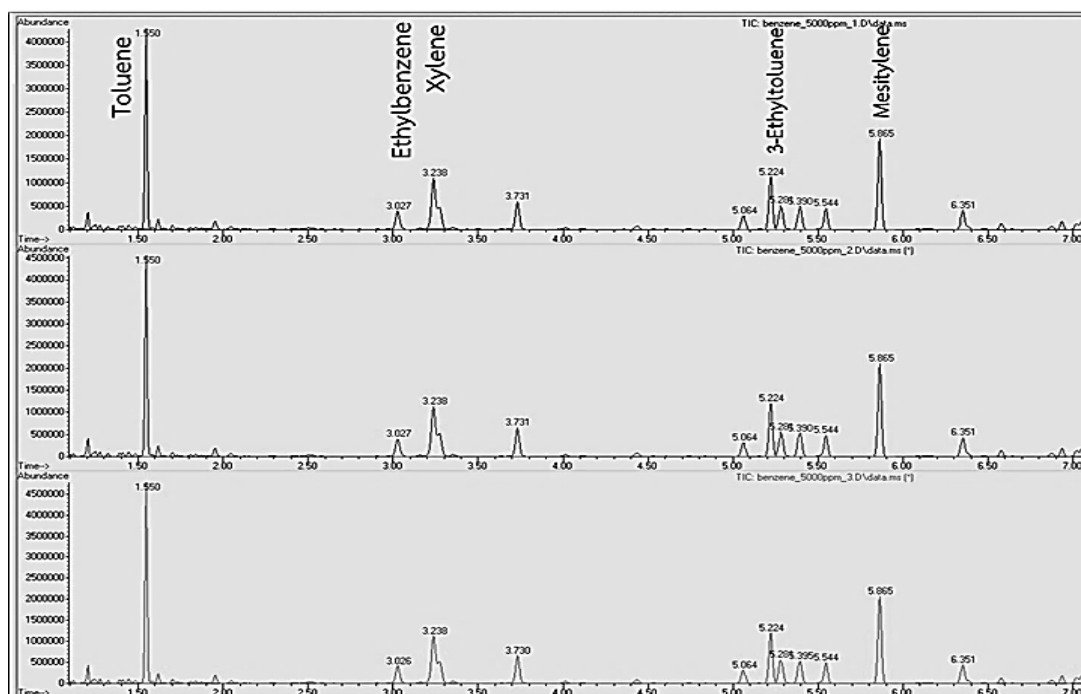
6) สถิติและการวิเคราะห์

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันเบนซินโดยคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) ของค่าร้อยละการกลับคืน (% Recovery) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับจากผลการวิเคราะห์โดยใช้ ANOVA (One-way / Two-Way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P-value < 0.05)

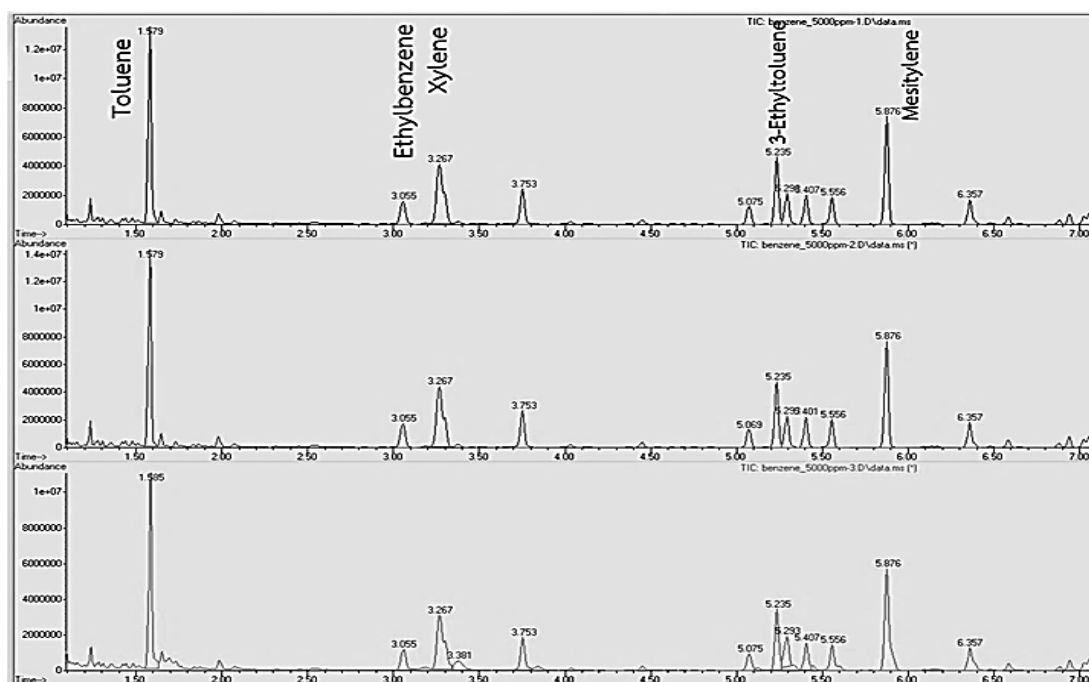
ผลการวิจัย

ส่วนประกอบของน้ำมันเบนซิน

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำมันเบนซินที่ความเข้มข้น 5,000 ppm ด้วยเทคนิค GC-MS กับ HS-GC-MS โดยการฉีดเข้าเครื่องโดยตรง (ไม่ใช่ตัวดูดซับและการสกัด) เพื่อหาสารเคมีที่เป็นส่วนผสมของน้ำมันเบนซินสำหรับใช้เป็นตัวบ่งชี้ (Markers) พบว่าลักษณะและรูปแบบ (Pattern) ของโครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่วิเคราะห์ได้จากทั้ง 2 เทคนิค แสดงในภาพที่ 2-3 พบว่าโครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่วิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค GC-MS และ HS-GC-MS มีรูปแบบและตำแหน่งของ โครมาโทแกรม (Peaks) ที่ปรากฏไม่แตกต่างกัน และเมื่อนำมาวิเคราะห์สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบโดยใช้ฐานข้อมูล NIST (NIST mass spectral library) พบว่าน้ำมันเบนซินประกอบด้วย โทลูอีน (Toluene), เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene), ไซลีน (Xylene), 3-เอทิลโทลูอีน (3-Ethyltoluene) และเมซีทิลีน (Mesitylene) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าจึงเลือกใช้สารเหล่านี้เป็นตัวบ่งชี้ (Markers) สำหรับการตรวจวิเคราะห์น้ำมันเบนซิน ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E1618-11 ในการประเมินประสิทธิภาพการดูดซับไอน้ำมันเบนซิน



ภาพที่ 2 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินความเข้มข้น 5,000 ppm ที่วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค GC-MS (ในช่วงเวลา 1-7 นาที)



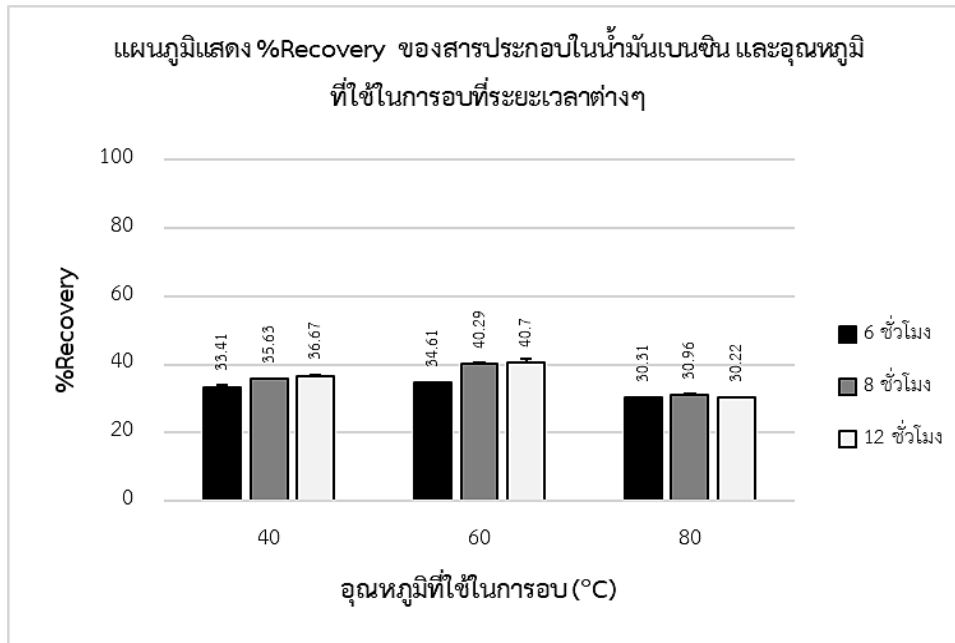
ภาพที่ 3 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินความเข้มข้น 5,000 ppm ที่วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค HS-GC-MS จำนวน 3 ครั้ง (ในช่วงเวลา 1-7 นาที)

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS

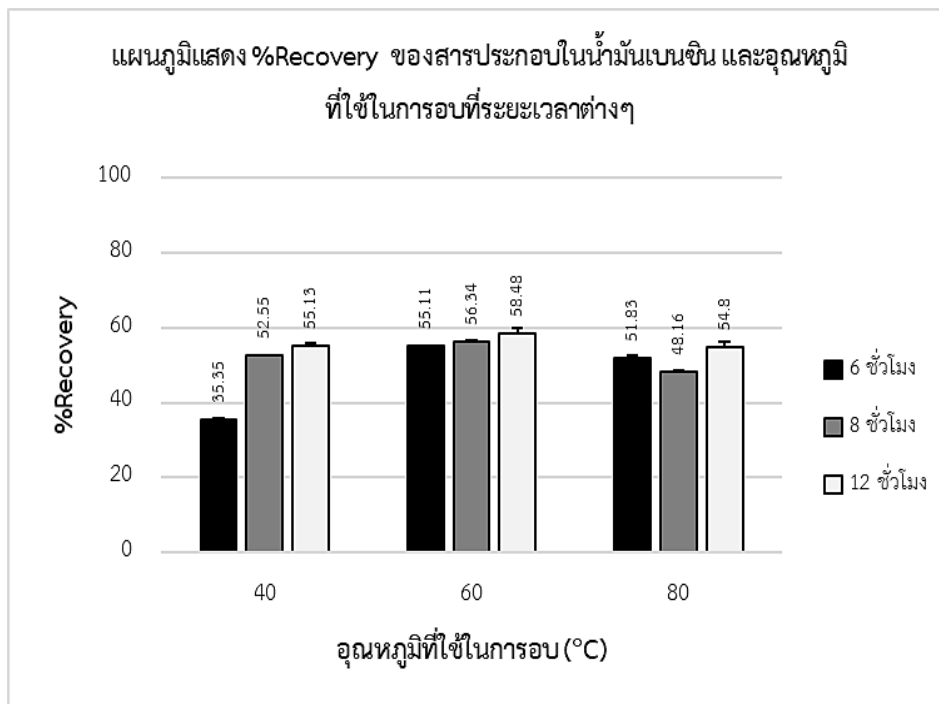
เมื่อนำตัวดูดซับ 3 ชนิด คือ ถ่านไม้ไผ่ ถ่านกัมมันต์ และคาร์บอนสตริป ไปอบด้วยไอน้ำมันเบนซิน ในขวดที่บรรจุด้วยแผ่นกระดาษกรองซึ่งหยดด้วยน้ำมันเบนซินมีความเข้มข้นประมาณ 1,000 ppm ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80°C และอบแต่ละอุณหภูมิเป็นเวลา 6, 8 และ 12 ชั่วโมง แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS โดยการสกัด พบว่าประสิทธิภาพ (%Recovery) ในการดูดซับไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับชนิดถ่านไม้ไผ่ ถ่านกัมมันต์ และคาร์บอนสตริป ที่สภาวะอุณหภูมิ 40, 60 และ 80°C เป็นเวลานาน 6, 8, และ 12 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 4A, 4B และ 4C และพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแต่ละเวลา และเวลาที่ใช้ในการอบแต่ละอุณหภูมิของตัวดูดซับไม้ไผ่ ถ่านกัมมันต์ และคาร์บอนสตริป มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการวิเคราะห์กลับคืน (%recovery) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยใช้ Two-Factors ANOVA (Two-Way ANOVA) นอกจากนั้นยังพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับของตัวดูดซับถ่านไม้ไผ่ ถ่านกัมมันต์ และคาร์บอนสตริปสำหรับการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินโดยใช้เทคนิค GC-MS ด้วยการอบที่อุณหภูมิ 60°C นาน 8 ชั่วโมง เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยร้อยละการกลับคืนมีแนวโน้มสูง



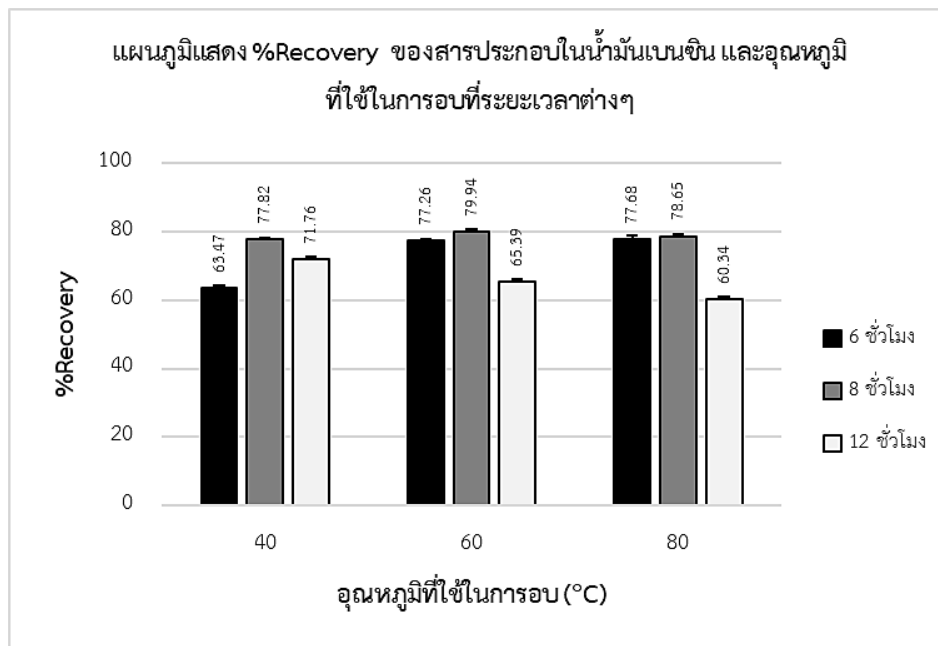
(A) ถ่านไม้ไผ่



(B) ถ่านกัมมันต์



(C) คาร์บอนสตริป



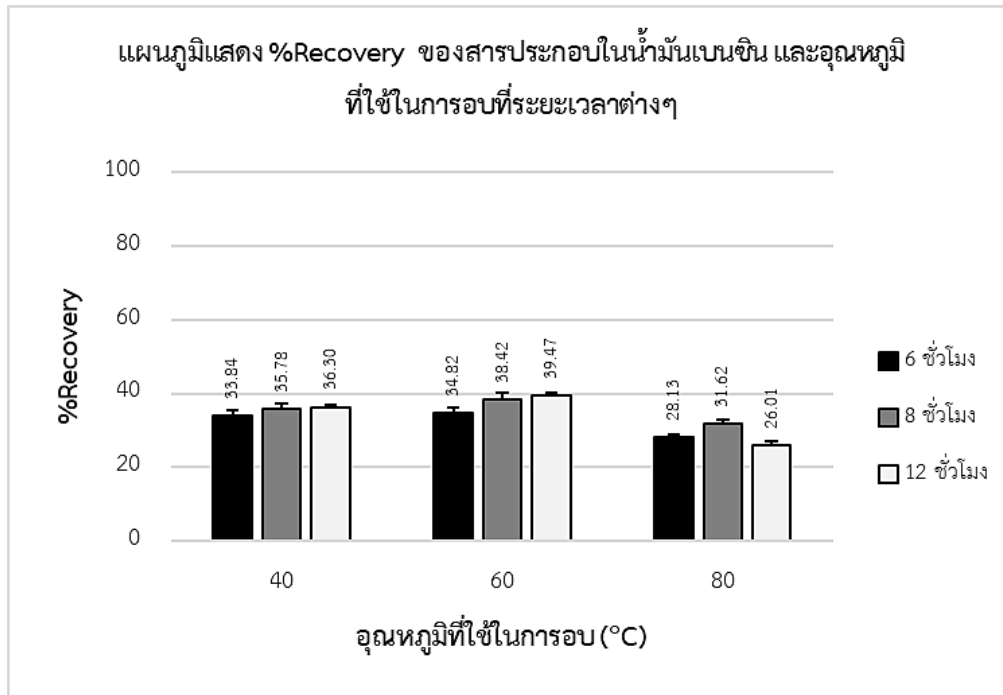
ภาพที่ 4 แสดงประสิทธิภาพ (%recovery) การดูดซับไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับและวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS; (A) ถ่านไม้ไผ่ (B) ถ่านกัมมันต์ และ (C) คาร์บอนสตริป (n=5)

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS

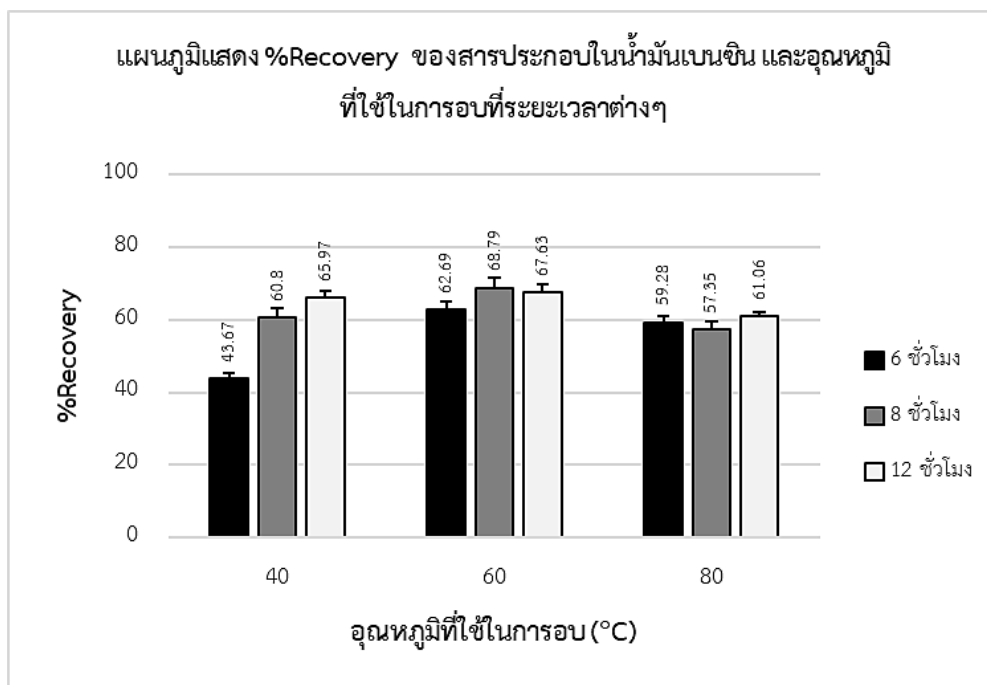
เมื่อนำตัวดูดซับ 3 ชนิด ได้แก่ ถ่านไม้ไผ่ ถ่านกัมมันต์ และคาร์บอนสตริป ไปอบไอน้ำมันเบนซินในแผ่นกระดาษกรองซึ่งมีความเข้มข้นประมาณ 1,000 ppm ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80°C นานแต่ละเวลาที่ 6, 8 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ และนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับ (%Recovery) ไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับ ดังแสดงในภาพที่ 5A, 5B และ 5C และพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบในแต่ละเวลา และระยะเวลาในการอบแต่ละอุณหภูมิ ของตัวดูดซับถ่านไม้ไผ่ ถ่านกัมมันต์ และคาร์บอนสตริป มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการวิเคราะห์กลับคืน (%Recovery) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยใช้ Two-Factors Two-Way ANOVA ยังพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับของตัวดูดซับสำหรับเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค HS-GC-MS คือสภาวะการอบที่อุณหภูมิ 60°C นาน 8 ชั่วโมง เนื่องจากค่าเฉลี่ยร้อยละการวิเคราะห์กลับคืนมีแนวโน้มสูง



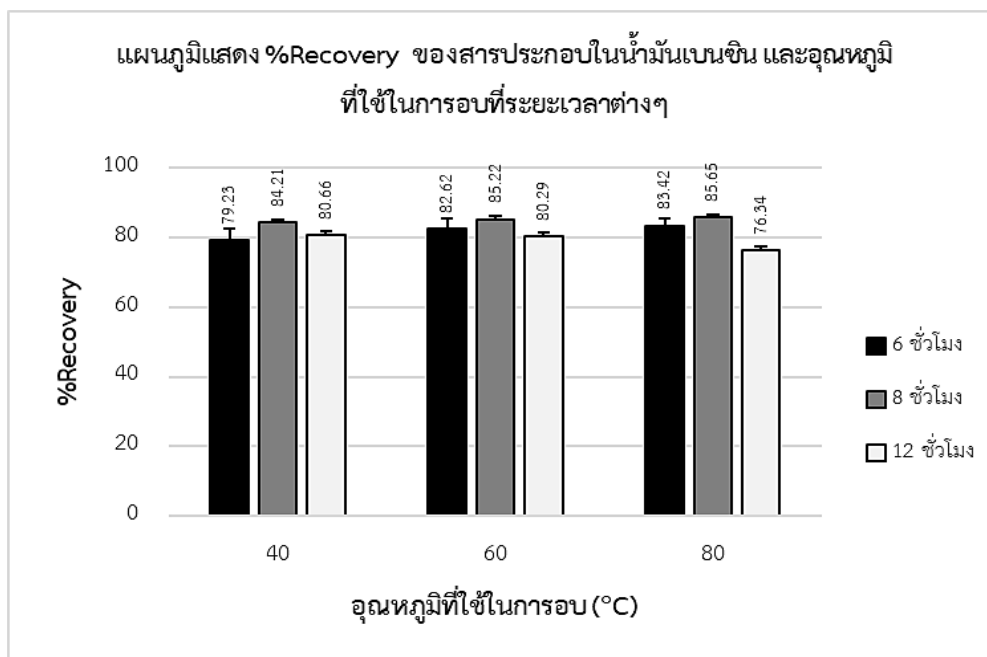
(A) ถ่านไม้ไผ่



(B) ถ่านกัมมันต์



(C) คาร์บอนสตริป

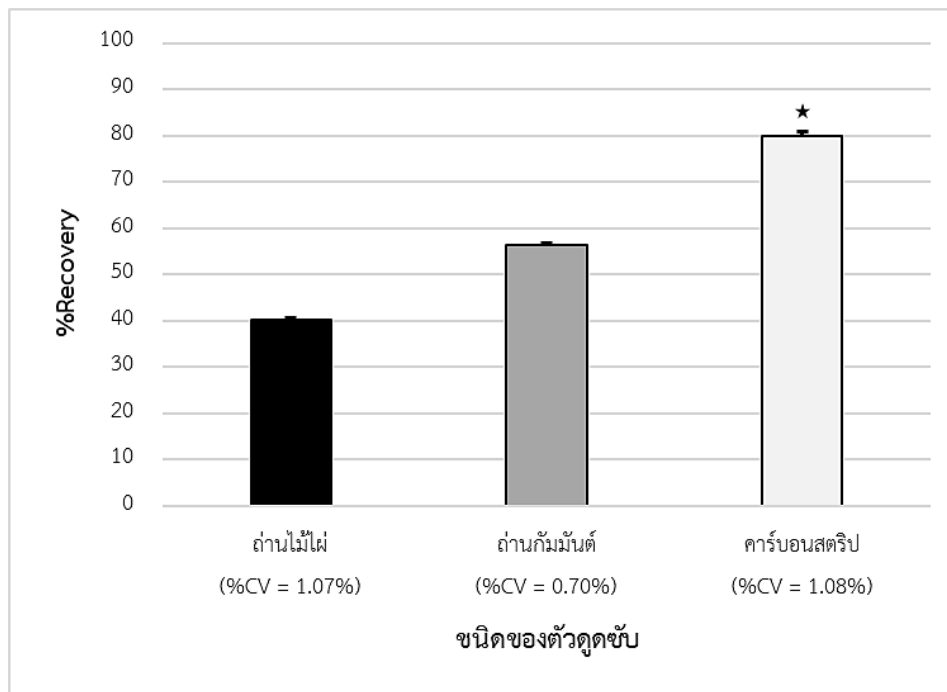


ภาพที่ 5 แสดงประสิทธิภาพ (%recovery) การดูดซับไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับและวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS; (A) ถ่านไม้ไผ่, (B) ถ่านกัมมันต์ และ (C) คาร์บอนสตริป (n=5)

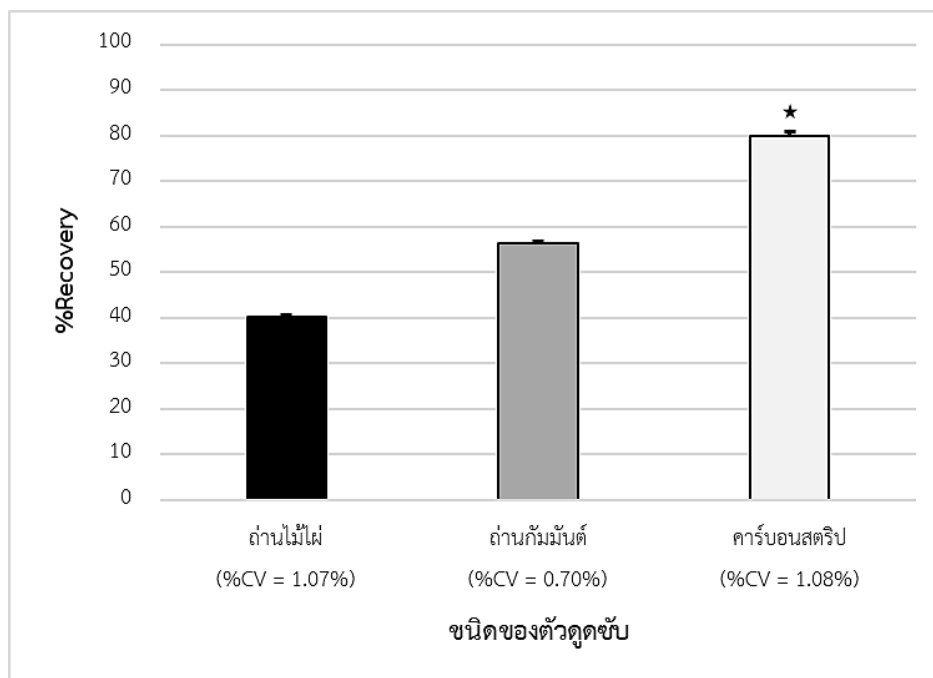
ประสิทธิภาพการดูดซับไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับ

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการดูดซับน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับถ่านไม้ไผ่ ถ่านกัมมันต์ และคาร์บอนสตริป ที่อุณหภูมิการอบ 60°C นาน 8 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการกลับคืนในเทคนิคการวิเคราะห์ GC-MS เท่ากับ 40.29, 56.34 และ 79.94% ตามลำดับ ในขณะที่เทคนิค HS-GC-MS เท่ากับ 38.42, 68.79 และ 85.22% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6A-6B และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการกลับคืนของการดูดซับน้ำมันเบนซินของคาร์บอนสตริปสูงกว่าถ่านไม้ไผ่และถ่านกัมมันต์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกตัวดูดซับคาร์บอนสตริป และสภาวะการอบที่ 60°C นาน 8 ชั่วโมง ไปประยุกต์ใช้ดูดซับไอน้ำมันเบนซินจากวัตถุดิบจำลอง สำหรับการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS โดยวิธีสัปดาห์ต่อไป

(A) GC-MS



(B) HS-GC-MS

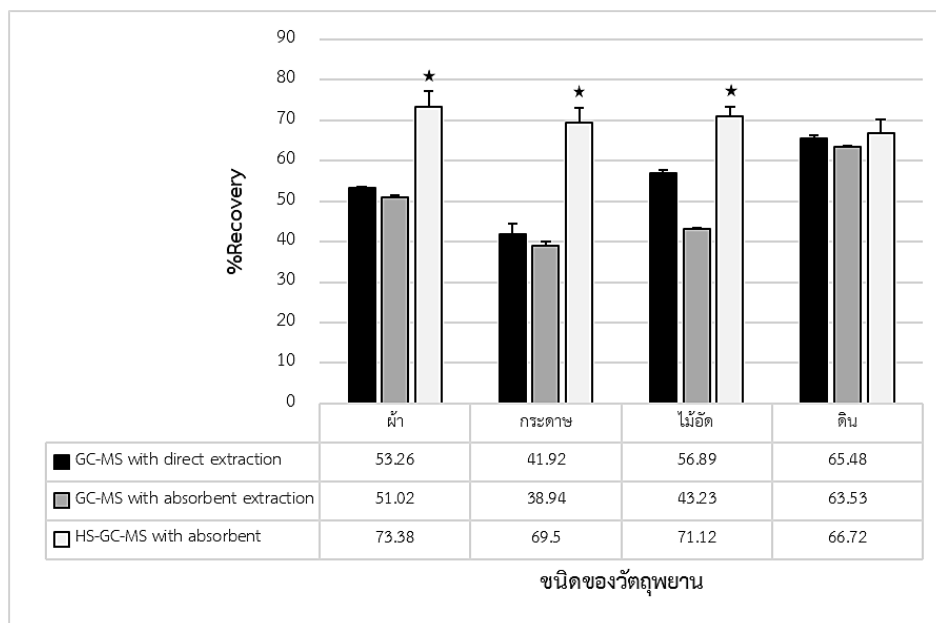


ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ (% recovery) การดูดซับไอน้ำมันเบนซิน (ที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 8 ชั่วโมง) ของตัวดูดซับ; (A) เทคนิค GC-MS, (B) เทคนิค HS-GC-MS,* $p < 0.05$ โดยใช้ One-Way ANOVA

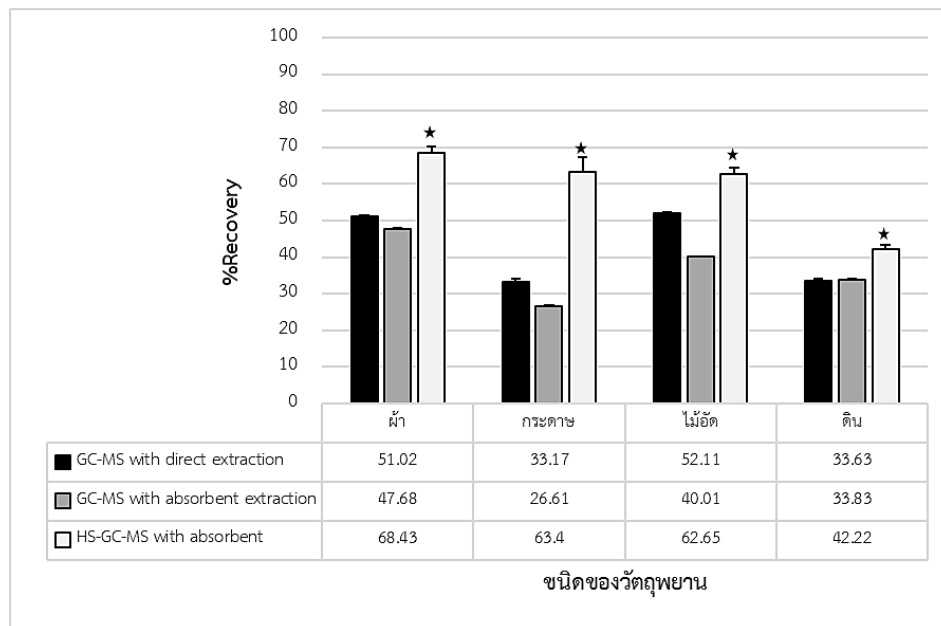
ประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้ตัวดูดซับคาร์บอนสตริปในการดูดซับไอน้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานเผาไหม้จำลอง

เมื่อนำวัตถุพยานจำนวนทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เสื้อผ้า กระดาษ ดิน และไม้อัด เผาด้วยน้ำมันเบนซินเป็นระยะเวลา 5 และ 10 วินาที แล้วดูดซับไอน้ำมันเบนซินด้วยตัวดูดซับคาร์บอนสตริป และนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS โดยการสกัดน้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานและตัวดูดซับคาร์บอนสตริป และด้วยเทคนิค HS-GC-MS โดยไม่สกัดน้ำมันเบนซินตัวดูดซับคาร์บอนสตริป พบว่าประสิทธิภาพ (%recovery) ในการดูดซับของคาร์บอนสตริป ดังแสดงในภาพที่ 7A-7B และพบว่าเมื่อเผาวัตถุพยานทั้ง 4 ชนิด นาน 10 วินาที มีค่าเฉลี่ยของร้อยละการวิเคราะห์กลับคืนของการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของร้อยละการกลับคืนของการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS โดยวิธีสกัดตัวดูดคาร์บอนสตริปและจากวัตถุพยาน อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 7B ดังนั้น การเตรียมตัวอย่างโดยใช้ตัวดูดคาร์บอนสตริปดูดซับไอน้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานสำหรับการตรวจวิเคราะห์น้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค HS-GC-MS โดยวิธีไม่สกัดให้ผลมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS โดยการสกัดทั้งจากตัวดูดซับและวัตถุพยาน

(A) เผา 5 วินาที



(B) เพล 10 วินาที



ภาพที่ 7 แสดงประสิทธิภาพ (%recovery) การดูดซับไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับคาร์บอนสตริป ในการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินจากวัตถุพยานด้วยเทคนิค GC-MS และ HS-GC-MS (n=5); (A) เพล 5 วินาที, (B) เพล 10 วินาที, *p<0.05 โดยใช้ One-Way ANOVA

สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC-MS และ HS-GC-MS พบสารที่เป็นองค์ประกอบหลักที่เหมือนกันจำนวน 5 ชนิด คือ Toluene, Ethylbenzene, Xylene, 3-Ethyl toluene และ mesitylene ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Thambandit (2011) และ Kocharit (2002)

ในการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับไอน้ำมันเบนซินของตัวดูดซับชนิดถ่านไม้ไผ่ ถ่านกัมมันต์ และคาร์บอนสตริป โดยการอบด้วยกระดาษกรองที่มีน้ำมันเบนซิน และนำไปตรวจวิเคราะห์ส่วนประกอบ น้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC-MS โดยการสกัดตัวดูดซับที่ผ่านการอบไอน้ำมันเบนซิน และ HS-GC-MS โดยไม่ต้องสกัด พบว่าช่วงระยะเวลาในการอบ 6, 8 และ 12 ชั่วโมง ในแต่ละอุณหภูมิที่ 40, 60 และ 80 °C ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ (% Recovery) การดูดซับอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดตามวิธีมาตรฐาน (ASTM E-1412, 2012) ซึ่งมีการกำหนดช่วงเวลาในการดูดซับไว้ที่ระยะเวลา 2-24 ชั่วโมง (อบที่อุณหภูมิ 50-80°C) แต่การศึกษาครั้งนี้พบว่าการอบที่อุณหภูมิ 60°C ซึ่งมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพ (%recovery) สูงที่สุด ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการศึกษาของ Ferreiro et al. (2015) ซึ่งใช้เวลาในการอบนาน 18 ชั่วโมง (ที่อุณหภูมิ 66 °C) และเมื่อศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับของตัวดูดซับ ถ่านไม้ไผ่ ถ่านกัมมันต์ และคาร์บอนสตริป โดยการอบกับวัตถุกระดาษกรองที่มีน้ำมันเบนซินพบว่าช่วงในการอบ 40, 60 และ 80 °C ในแต่ละระยะเวลานาน 6, 8 และ 12 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ (%recovery) การดูดซับอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่การศึกษาครั้งนี้พบว่าการอบตัวดูดซับที่อุณหภูมิ

60 °C นาน 8 ชั่วโมง มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Ferreiro et al. (2015) ซึ่งอบที่อุณหภูมิ 66 °C (นาน 18 ชั่วโมง)

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สภาวะในการอบตัวดูดซับถ่านไม้ไฟ ถ่านกัมมันต์ และคาร์บอนสตริป กับน้ำมันเบนซินในวัฏจักรตาชกรอง ที่ 60 °C เป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ส่วนประกอบของน้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC-MS โดยวิธีการสกัดตามวิธีมาตรฐาน (ASTM E1618-11, 2011) กับเทคนิค HS-GC-MS โดยไม่ต้องสกัด พบว่าตัวดูดซับชนิดคาร์บอนสตริปมีประสิทธิภาพ (% recovery) ในการดูดซับดีที่สุด รองลงมาคือตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ และถ่านไม้ไฟตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Raruenrom (2008) และ Thambandit (2011) และยังพบว่าประสิทธิภาพ (% recovery) การตรวจของตัวดูดซับชนิดคาร์บอนสตริปที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS (85.22%) มีค่าสูงกว่าเทคนิค GC-MS (79.94%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวดูดซับคาร์บอนสตริปสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS

ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อนำตัวดูดซับคาร์บอนสตริปไปทดสอบกับวัฏพยานจริงจากเหตุการณ์จำลองซึ่งพบได้บ่อยในเหตุการณ์เพลิงไหม้ได้แก่ เสื้อผ้า กระดาษ ไม้อัด และดิน ก็ยังพบว่าที่ระยะเวลาการเผาวัฏพยานด้วยน้ำมันเบนซินจากเหตุการณ์ที่จำลองนาน 5 และ 10 วินาที แล้วดูดซับไอน้ำมันด้วยตัวดูดซับคาร์บอนสตริปซึ่งตรวจวิเคราะห์น้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค HS-GC-MS โดยไม่สกัด มีประสิทธิภาพ (% recovery) สูงกว่าเทคนิค GC-MS โดยวิธีสกัดวัฏพยานและตัวดูดซับอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ตัวดูดซับเพื่อดูดซับไอของน้ำมันเบนที่ติดอยู่กับวัฏพยานโดยการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างน้ำมันเพลิงเบนซินจากวัฏพยานสำหรับการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค HS-GC-MS จะช่วยให้การวิเคราะห์น้ำมันเบนซินที่ติดอยู่ที่วัฏพยานมีประสิทธิภาพมากกว่าเทคนิค GC-MS โดยวิธีสกัดวัฏพยานและตัวดูดซับซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และยังเป็นเทคนิคที่รวดเร็วกว่า ปลอดภัยกว่า และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Ferreiro et al., 2015) เนื่องจากเทคนิคเฮดสเปซสามารถลดขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างโดยการสกัดและยังลดการใช้ตัวทำละลายเฮกเซนซึ่งมีความเป็นอันตรายและมีความเป็นพิษต่อร่างกายสูง (Jorgensen & Cohr, 1981) นอกจากนี้ผู้วิจัยคาดว่า จะมีการพัฒนาและนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากวัฏพยานจากเหตุการณ์ไฟไหม้จริงต่อไป

จากการวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าการใช้ตัวดูดซับในการเตรียมตัวอย่างไอน้ำมันเบนซินจากวัฏพยานสำหรับการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานเดิมโดยการสกัดแล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-MS

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากตัวดูดซับชนิดคาร์บอนสตริปที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีราคาต่อชิ้นสูง ในการประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจพิสูจน์จริงอาจมีการนำตัวดูดซับชนิดอื่น ๆ เช่น ถ่านกัมมันต์ซึ่งมีราคาถูกกว่า (50-60 เท่า) และยังมีประสิทธิภาพในการดูดซับใกล้เคียงกับตัวดูดซับชนิดคาร์บอนสตริป ซึ่งในที่นี้อาจใช้ตัวดูดซับถ่านกัมมันต์ทดแทนได้ หรือมีศึกษาวิธีการนำตัวดูดซับชนิดคาร์บอนสตริปกลับมาใช้ซ้ำอีกครั้ง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย



เอกสารอ้างอิง

- Ahmedna, M., Marshallb, W.E. and Raoa, R.M. (2000). Production of granular activated carbons from select agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. **Bioresource Technology**. 71, 113-123.
- Asada, T., Ishihara, S., Yamane, T., Toba, A., Yamada, A. and Oikawa, K. (2002). Science of bamboo charcoal: Study on carbonizing temperature of bamboo charcoal and removal capability of harmful gases. **Journal of Health Science**. 48 (6), 473-479.
- ASTM E1618-11. (2011). **Standard Test Method for Ignitable Liquid Residues in Extracts from Fire Debris Samples by Gas Chromatography-Mass Spectrometry**. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM. E1412-12. (2012). **Standard Practice for Separation of Ignitable Liquid Residues From Fire Debris Samples by Passive Headspace Concentration with Activated Charcoal**. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM. D5769-20. (2020). **Standard Test Method for Determination of Benzene, Toluene, and Total Aromatics in Finished Gasolines by Gas Chromatography/Mass Spectrometry**. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Eser, S. (2020). **Introduction to Petroleum Refining and Crude Oil Composition**. Retrieved January 9, 2021, from <https://www.e-education.psu.edu/fsc432/node/3>
- Ferreiro-González, M., Ayuso, J., Álvarez, J.A., Palma, M. and Barroso, C.G. (2015). Application of HS-MS for detection of ignitable liquids from fire debris. **Talanta**. 142, 150-156.
- Kocharit, A. (2002). **Analysis of volatile organic compounds (VOCs) in the air by Headspace Gas Chromatography (HS-GC)**. Master of Science (Analytical Chemistry) Thesis Prince of Songkhla University, Songkhla province. (In Thai)
- Menakanit T. (2019). **Criminal Law Code: Reference Issue**. 42th ed. Bangkok: Winyuchon (in Thai).
- Niels, K., Jorgensen, NK. and Cohr, KH. (1981). n-Hexane and its toxicologic effects. **Scand J work environ health**. 7, 157-168.
- Raruenrom J. (2008). **Application of activated carbon to the identification of flammable liquids**. Master of Science (Forensic Science) Thesis Silpakorn University, Nakhon Pathom province (Thesis) (In Thai).
- Thambandit, J. (2011). **Efficiency Testing of Bamboo Charcoal Using as an Adsorbent for Flammable Liquids**. Master of Science (Forensic Science) Thesis Chiang Mai University, Chiang Mai. (In Thai).
- Watarai, S. and Tana. (2005). Eliminating the carriage of *Salmonella enterica* serovar enteritidis in domestic fowls by feeding activated charcoal bark containing wood vinegar liquid (Nekka-rich). **Poultry Science**. 84, 515-521.



ประวัติผู้เขียน

คำนำหน้า ชื่อ-สกุล	ร้อยตำรวจเอก วีรวัฒน์ อึ้งสิทธิพูนพร
ตำแหน่ง/สถานะ	นักศึกษาปริญญาโท
ที่อยู่หน่วยงาน/สังกัด	คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) อาคารปิยชาติ ชั้น 9 99 หมู่ 18 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์	thirawat.a75@gmail.com
คำนำหน้า ชื่อ-สกุล	พันตำรวจโท เอกดนัย ธิมาชัย
ตำแหน่ง/สถานะ	นักวิทยาศาสตร์ (สัญญาบัตร 3)
ที่อยู่หน่วยงาน/สังกัด	กลุ่มงานตรวจทางเคมี ฟิสิกส์ ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 2 ถ.โรงพยาบาลเก่า ตำบลบางปลาสร้อย อำเภอมะเมือง จังหวัดชลบุรี 20000
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์	ekdanai.ek@gmail.com
คำนำหน้า ชื่อ-สกุล	อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ฟองสุภา *
ตำแหน่ง/สถานะ	อาจารย์
ที่อยู่หน่วยงาน/สังกัด	คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) อาคารปิยชาติ ชั้น 9 99 หมู่ 18 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์	somsak.f@allied.tu.ac.th

* ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (Corresponding Author)