

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารดูดซับธรรมชาติกับถ่านกัมมันต์
ในการดูดซับน้ำมันเชื้อเพลิง
Comparative Studies of Adsorption Capacit for Natural
Absorbent with Activated Carbon to Identify Flammable

กษมา ศรีพลัง

นักศึกษาลัทธิปริยญาวิทยาสาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์
โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

E-mail: kasamasripalang@hotmail.com

บทคัดย่อ: ในปัจจุบันนิยมใช้ Charcoal strip (DFLEX) ในการเก็บไอระเหยน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อตรวจพิสูจน์คราบน้ำมันเชื้อเพลิงในคดีเพลิงไหม้ และได้มีการทดลองนำ Activated carbon มาใช้แทน Charcoal strip เนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนเหมือนกันจึงมีประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกันสามารถนำมาใช้แทนกันได้ เนื่องจากมีราคาที่ถูกกว่าและหาซื้อได้ทั่วไป ในการศึกษาจะนำสารดูดซับธรรมชาติ (ถ่านไม้ไผ่, ถ่านยูคาลิปตัส, ถ่านไม้ขาว) มาเปรียบเทียบกับ Activated carbon ว่าสามารถนำมาใช้แทนกันได้หรือไม่ โดยนำสารดูดซับธรรมชาติและ Activated carbon มาดูดซับไอระเหยน้ำมันเบนซินในภาชนะปิดและทำการสกัดด้วยไดคลอโรมีเทน เพื่อนำไปตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC/MS) จากการทดลองพบว่า Activated carbon และสารดูดซับธรรมชาติ (ถ่านไม้ไผ่) มี %Recovery ที่ใกล้เคียงกัน (Activated carbon = 76.99 %, ถ่านไม้ไผ่ = 75.05 %) และไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ยิ่งไปกว่านั้น Bamboo charcoal ยังมีราคาถูกกว่า Activate carbon มากดังนั้นจึงสมควรที่จะนำ Bamboo charcoal มาใช้เป็นตัวดูดซับน้ำมัน เชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นทางเลือกและลดต้นทุนในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิง

คำสำคัญ: น้ำมันเชื้อเพลิง, ถ่านกัมมันต์, สารดูดซับธรรมชาติ

Abstract: Currently, the charcoal strip (DFLEX) is normally used to collect the vapor of remaining flammable liquid in the arson cases. Activated carbon is also applied as a replacement of charcoal strip because of similarity of porous structure. However, activated carbon is more preferable because of its lower cost and popularity. In this experiment, the alternative sources of charcoal made from bamboo, eucalyptus and activated carbon were used as the substitute for the charcoal strip. The charcoal strip and alternative sources of charcoal absorbent were used to adsorb the vapor of gasoline in closed container. The absorbent was then extracted by using dichloromethane and analyzed by Gas Chromatography /Mass Spectrometry (GC/MS) technique. The result was found that both bamboo charcoal and activate carbon absorbed the gasoline vapor with the percentage of recovery nearly the same at 75.05 and 76.99 respectively. Additionally, bamboo charcoal is less expensive than activated carbons. Therefore, the bamboo charcoal should be used as an alternative source of flammable liquid absorbent to reduce the cost of examination.

Keywords: Flammable, Activated carbon, Natural absorbent

1. บทนำ

การวางเพลิง หมายถึง การเกิดเพลิงไหม้ เนื่องจากการกระทำโดยเจตนาของบุคคล หรือ กลุ่มบุคคลที่ตั้งใจทำให้เกิดเพลิงไหม้โดยการจุดไฟเผา โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงที่นิยมใช้ในการวางเพลิงคือ น้ำมันเบนซิน หรือน้ำมันก๊าด ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีจุดติดไฟต่ำ ระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย ทำให้เกิดการเผาไหม้และแผ่ขยายได้อย่างรวดเร็ว การตรวจพิสูจน์หาชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงจึงต้องอาศัยการเก็บวัตถุพยานที่ถูกต้อง และเหมาะสม เพราะตัวดูดซับที่ได้นั้นจะต้องช่วยป้องกันการสูญเสียของน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อนำมาทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas chromatography (GC) หรือบางครั้งอาจใช้ร่วมกับเทคนิค Mass spectrometer แล้วนำมาเปรียบ

เทียบกับสารมาตรฐานที่ทราบชนิดว่าตัวอย่าง ที่ทำการวิเคราะห์เป็นสารชนิดเดียวกันหรือไม่

ปัจจุบันการเก็บวัตถุพยานในคดีเพลิงไหม้ตัวดูดซับที่นิยมใช้นั้นคือ Charcoal strip (DFLEX) ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศเท่านั้น และได้เคยมีผู้ทำการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยน้ำมันเชื้อเพลิงระหว่าง Charcoal strip (DFLEX) กับ Activated carbon ผลปรากฏว่า Activated carbon มีประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยน้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับ Charcoal strip และสามารถนำมาใช้แทนกันได้ [1] ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาตัวดูดซับชนิดใหม่ (สารดูดซับจากธรรมชาติ) ที่มีองค์ประกอบคล้ายกันกับ Activated carbon

เป็นสารที่มีรูพรุนและมีความสามารถในการดูดซับได้ใกล้เคียงกัน แต่หาซื้อได้ทั่วไป ต้นทุนต่ำ และสามารถผลิตได้เองในประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของ Activated carbon กับสารดูดซับจากธรรมชาติ ได้แก่ พงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal) พงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และพงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (White charcoal) ที่ใช้เป็นตัวดูดซับในการตรวจเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง และเพื่อนำสารดูดซับจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้แทนการใช้ Charcoal strip และ Activated carbon

3. ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีการดูดซับ

การดูดซับเป็นการเคลื่อนย้ายมวลสารมาสะสมที่ผิวหน้าหรือระหว่างผิวโดยให้สารละลายที่มีตัวดูดซับไหลมาสัมผัสกับของแข็งที่เป็นตัวดูดซับ องค์ประกอบแต่ละชนิดของสารละลายจะมีความสามารถในการกระจายที่ผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างพื้นที่ผิวและรูพรุนของตัวดูดซับประกอบกับความสามารถในการละลายของตัวถูกละลาย และความชอบของตัวถูกละลายที่มีต่อตัวดูดซับ

3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวดูดซับ ได้แก่ พื้นที่ผิว ขนาดของรูพรุน และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น

2. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวถูกละลาย ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล ประจุไฟฟ้าของโมเลกุล และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น

3. ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

4. ลักษณะของสารละลาย เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ เป็นต้น

5. ระยะเวลาในการดูดซับ

3.3 คุณสมบัติของถ่านชนิดต่างๆ

ถ่านกัมมันต์ เป็นถ่านที่ต้องนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมี หรือกระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพก่อน เพื่อให้โครงสร้างทางกายภาพของถ่านเกิดรูพรุนหรือรอยแตกขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรจำนวนมหาศาล ซึ่งพื้นที่ผิวภายในผนังรูพรุนหรือรอยแตกเหล่านั้นทำให้เกิดพื้นที่ว่างขนาดใหญ่ที่อนุภาคสารและโมเลกุลก๊าซจำนวนมากสามารถเกิดปฏิกิริยาหรือถูกกักอยู่ในถ่าน (ถ่านกัมมันต์น้ำหนักเพียง 1 กรัมจะมีพื้นที่ผิวภายในโดยรวมระหว่าง 500-1,500 ตารางเมตรขึ้นอยู่กับเกรดของถ่าน ชนิดวัตถุดิบ และกระบวนการผลิต)

ถ่านไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus Charcoal) ผลิตด้วยกรรมวิธีการผลิตถ่าน ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงมากกว่า $1,000^{\circ}\text{C}$ ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Moisture%) = ต่ำ (≤ 8.5), เปอร์เซ็นต์ขี้เถ้า (Ash%) = ต่ำ (≤ 3.0), เปอร์เซ็นต์สารระเหยตกค้าง (Volatile matter%) = ต่ำ (≤ 10.0), เปอร์เซ็นต์ค่าความเป็นถ่านบริสุทธิ์ (Fixed carbon%) = สูง และปริมาณความร้อน (Calorific value. cal/g) = สูง (≥ 85.0)

ถ่านไม้ไผ่ (Bamboo charcoal ทำมาจาก ไม้ไผ่ (Bamboo) เป็นถ่านที่ผ่านกรรมวิธีการ ผลิตด้วยอุณหภูมิภายในเตามากกว่า 1,000°C คุณสมบัติถ่านไม้ไผ่ที่ผ่านการเผาถ่านด้วย อุณหภูมิที่สูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส จะทำให้ ถ่านไม้ไผ่มีรูพรุนเป็นจำนวนมาก มีคาร์บอน เสถียร (Fixed carbon) สูงมากกว่า 85%, มี สารระเหยง่ายต่ำ, มีแร่ธาตุมาก และค่าความ ต้านทาน (Resistance) ไม่เกิน 100 Ω

ถ่านไม้ขาวลักษณะทั่วไปของถ่านไม้ขาว จะไม่มีเปลือกไม้ติดอยู่บนก้อนถ่าน ผิวของถ่าน จะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมของซี่ไถ้ออกสีขาวเมื่อหัก ก้อนถ่านดู ผิวของแท่งถ่านจะเป็นมันวาว เป็น เกล็ดสวย น้ำหนักจะหนักมากกว่าถ่านไม้ทั่วไป ประมาณ 30% เวลาเคาะก้อนถ่านจะเสียงดังก้อง กังวาน คล้ายเสียงเหล็กกระทบกัน และมีความ หนาแน่นสูงมาก (มากกว่าถ่านทั่วไป 20%)

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จันทนา ธีรธรรมย์ (2551) ได้ทำการวิจัย เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับระหว่าง Charcoal strip (DFLEX) กับ Activated carbon โดยนำสารดูดซับทั้งสองชนิด มาดูดซับ ไอระเหยน้ำมันเบนซินในภาชนะปิดแล้วสกัดด้วย ไดคลอโรมีเทน เพื่อนำไปตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิค GC/FID จากการทดลองพบว่า Activated carbon สามารถดูดซับน้ำมันเบนซินได้ เมื่อทำการ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับพบว่า % Recovery เมื่อใช้ Activated carbon ได้เท่ากับ 67.76% และเมื่อใช้ Charcoal strip ได้เท่ากับ 69.74% ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก จึง สามารถนำ Activated carbon มาใช้เป็นตัวดูด ซับน้ำมันเชื้อเพลิงแทนได้ เพื่อเป็นการลดต้นทุน ในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิง

จิราธร ธรรมบัณฑิต (2554) ได้ทำการวิจัย เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านไม้ไผ่กับ ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับไอระเหยของน้ำมัน เชื้อเพลิง โดยนำสารดูดซับทั้งสองชนิด มาดูดซับ ไอระเหยน้ำมันเบนซินในภาชนะปิดแล้วสกัด ด้วยไดคลอโรมีเทน เพื่อนำไปตรวจพิสูจน์ด้วย เทคนิค GC/MS พบว่าถ่านไม้ไผ่สามารถดูดซับ น้ำมันเบนซินได้ดี และเมื่อทำการเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านไม้ไผ่ และถ่าน กัมมันต์พบว่าเปอร์เซ็นต์การกลับคืนในระดับ ความเข้มข้นของน้ำมันเบนซินที่ 0.5 และ 1.0 $\mu\text{L/mL}$ เมื่อใช้ถ่านไม้ไผ่ได้เท่ากับ 75.85% และ 55.20% ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้สามารถ นำไปประยุกต์ใช้และเพื่อเป็นการลดต้นทุนใน การเก็บวัตถุพยานในคดีเพลิงไหม้ต่อไป

ASTM E 1412-00 กล่าวถึงการตรวจพิสูจน์ คราบน้ำมันเชื้อเพลิงจากเศษซากที่เหลือจากที่ เกิดเหตุโดยเทคนิค Passive Headspace โดยใช้ Activated charcoal สามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง GC, GC/MS และ GC/IR และยังแนะนำให้ใช้ถ่าน ขาวในการบรรจุ Activated charcoal

Luis Frontela et al. (1995) ได้ศึกษา เปรียบเทียบการเอาน้ำมันเชื้อเพลิงจากเศษซาก ที่ได้จากเพลิงไหม้กลับคืนมาระหว่างการนำวัตถุ พยานไปกลั่นไอน้ำโดยผสมกลับ n-hexane และ การใช้ Activated charcoal ในการดูดซับน้ำมัน เชื้อเพลิง โดยอบที่ 70°C เป็นเวลา 30 นาที แล้ว มาสกัดด้วย Carbon disulfide ซึ่งทั้งสองวิธี วิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS ผลปรากฏว่าการ ใช้ Activated charcoal ในการดูดซับน้ำมันเชื้อ เพลิง จะได้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วกว่า ส่วน การกลั่นด้วยไอน้ำจะมีประสิทธิภาพมากกว่า

4. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

4.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

4.1.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. Activated carbon
2. ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal)
3. ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal)
4. ผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (White charcoal)

หมายเหตุ สารดูดซับธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส, ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส นำมาจากบ้านไม้ไผ่ไทยอากาศดี (บ้านต้น) จังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งเป็นถ่านที่ผ่านกรรมวิธีมาตรฐานโดยการเผาภายในเตามากกว่า 1,000 °C

4.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. น้ำมันเบนซิน
2. Dichloromethane

4.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. กระจงอะลูมิเนียมพร้อมฝา (2.5×2.5×4 inch)
2. กระดาษซับน้ำมัน (ยี่ห้อ Kimberly-Clark)
3. ถัง (ขนาด 5×5 cm)
4. Pipette พร้อม Tip (ขนาด 1, 5, 10 μ L)
5. Vial (ขนาด 5 ml)
6. เทปขาว
7. เครื่องชั่งไฟฟ้า (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
8. Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)

4.2 วิธีการวิจัย

4.2.1 วิเคราะห์หาความเหมาะสมของวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองโดยดูจากโครมาโตแกรมที่ได้ต้องไม่ปรากฏพีคของน้ำมันเบนซิน โดยนำกระดาษซับมัน, ถัง, สารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal), ผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (White charcoal) และ Activated carbon ปริมาณ 0.1 g มาสกัดด้วย Dichloromethane 1 mL จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)

4.2.2 วิเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อหาพีคที่เป็นเอกลักษณ์ของน้ำมันเบนซิน โดยผสมน้ำมันเบนซินปริมาตร 1.0, 5.0, 10.0 และ 15.0 μ L กับ Dichloromethane 1.0 mL จากนั้นนำพื้นที่ใต้พีคในแต่ละ Retention time มาทำ Calibration Curve น้ำมันเบนซิน

4.2.3 การเตรียมสารดูดซับ (สารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ) ที่ใช้ในการทดลองซึ่งสารดูดซับทุกชนิดใหม่ปริมาณ 0.1, 0.5 และ 1.0 g บรรจุลงในถังชาปิดปากถุงให้เรียบร้อย

4.2.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารดูดซับทุกชนิด ทำโดยหยดน้ำมันเบนซินลงบนกระดาษซับน้ำมันปริมาตรต่างๆ กัน ดังนี้ 0.5, 1.0 และ 10.0 μ L วางลงในกระจงอะลูมิเนียม จากนั้นวางถังชาที่มีสารดูดซับลงไป ปิดฝาอย่างรวดเร็วแล้วปิดด้วยเทปอีกชั้นหนึ่ง) นำกระจงที่บรรจุเรียบร้อยแล้วไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารดูดซับในถังชาออกมาสกัดออกด้วย Dichloromethane 1 mL เก็บสารที่สกัดออกมาได้ไว้

ใน vial นำสารละลายที่อยู่ใน vial ไปเขย่าด้วย ultrasonic เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) โดยมีสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

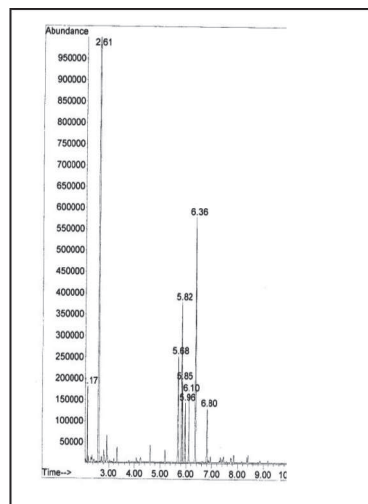
Column: HP-1
Carrier: Helium
Flow: 2 mL/min
Injector: 180°C
Detector: 300°C

Temperature program: 50°C hold 5 min, 50°C to 300°C @20°C/min, 300°C hold 7 min บันทึกและวิเคราะห์ผล Chromatogram ที่ได้ (ทำซ้ำจนสารดูดซับครบทุกชนิด) วิเคราะห์ผลการทดลอง แล้วนำผลที่ได้มาหาค่า %Recovery เพื่อหาปริมาณโอระเหยของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบได้ และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับความแตกต่างโดยใช้สถิติ Fisher's least-Significant Different (LSD)

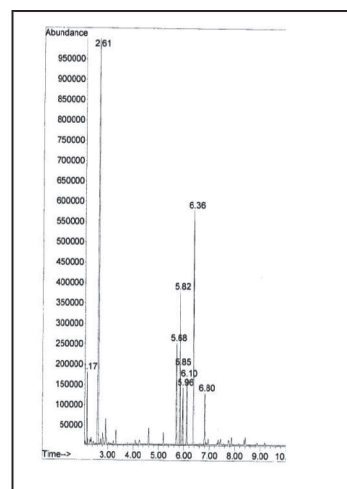
5. ผลการวิจัย

5.1 วิเคราะห์น้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)

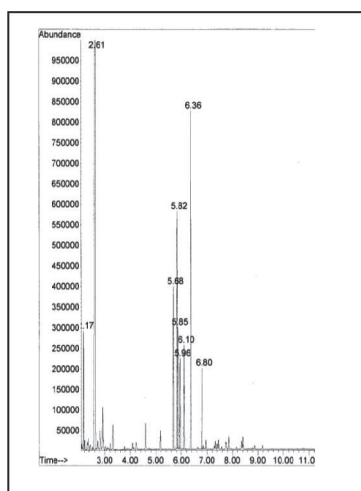
เมื่อผสมน้ำมันเบนซินปริมาตร 1.0, 5.0, 10.0, 15.0 μL กับ Dichloromethane 1 mL แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) ได้ผลการทดลองดังโครมาโตแกรมที่แสดงไว้ในภาพที่ 1-4



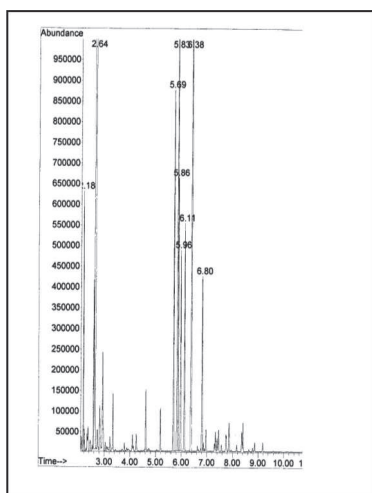
ภาพที่ 1 ภาพโครมาโตแกรมของน้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC/MS ที่ความเข้มข้น 1.0 $\mu\text{L/mL}$



ภาพที่ 2 ภาพโครมาโตแกรมของน้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC/MS ที่ความเข้มข้น 5.0 $\mu\text{L/mL}$



ภาพที่ 3 ภาพโครมาโตแกรมของน้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC/MS ที่ความเข้มข้น 10.0 $\mu\text{L}/\text{mL}$



ภาพที่ 4 ภาพโครมาโตแกรมของน้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC/MS ที่ความเข้มข้น 15.0 $\mu\text{L}/\text{mL}$ (ล่างซ้าย)

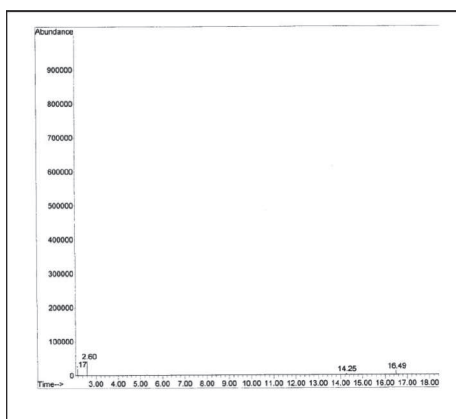
นำโครมาโตแกรมที่ได้ไปเปรียบเทียบกับโครมาโตแกรมเอกลักษณ์ของน้ำมันเบนซิน (Stauffer, 2008) พบว่ามีพีคที่ตรงกับโครมาโตแกรมเอกลักษณ์ของน้ำมันเบนซินที่ Retention time ต่างๆ ดังที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดง Retention time ที่สนใจ

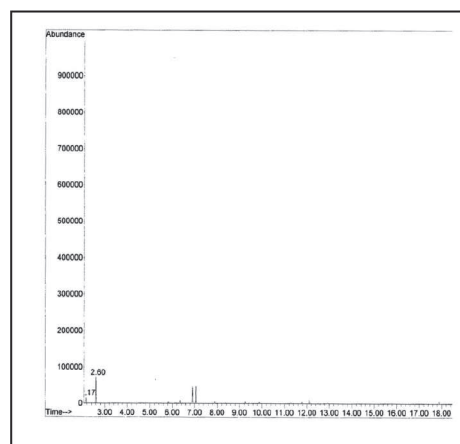
Retention time(min)	Group(Name)	m/z
2.614	C1-Alkylbenzene(Toluene)	91
3.338	C2-Alkylbenzene(Ethyl benzene)	91, 106
5.821	C3-Alkylbenzene(Propyl benzene)	91, 120
6.361	C3-Alkylbenzene(Ethyl Toluene)	105, 120

5.2 การทดสอบวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

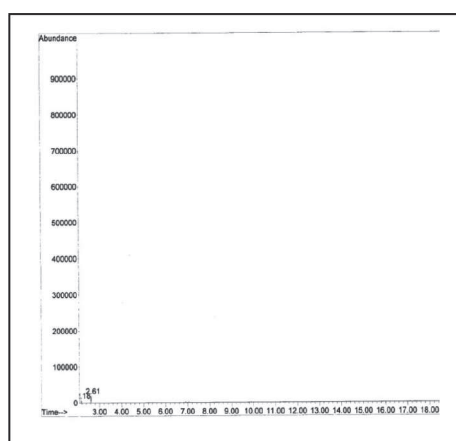
จากการนำถ่าน กระจาดขี้ป่าน้ำมัน และผงถ่านที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส 0.1 g มาทำการทดสอบโดยนำมาสกัดด้วย Dichloromethane พบว่าไม่มีพีคที่บ่งบอกถึงพีคที่เป็นของน้ำมันเบนซินในถ่าน กระจาดขี้ป่าน้ำมัน และผงถ่านที่ผลิตจากธรรมชาติ ที่นำมาทดสอบดังโครมาโตแกรมที่แสดงไว้ในภาพที่ 5-10



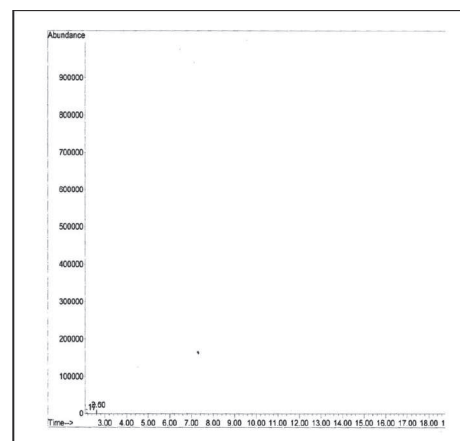
ภาพที่ 5 แสดงโครมาโตแกรมของ Activated carbon



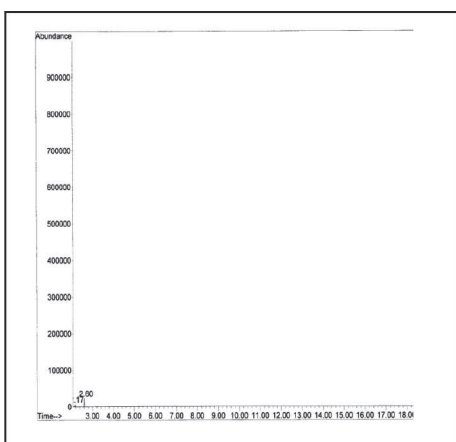
ภาพที่ 8 โครมาโตแกรมของ White charcoal



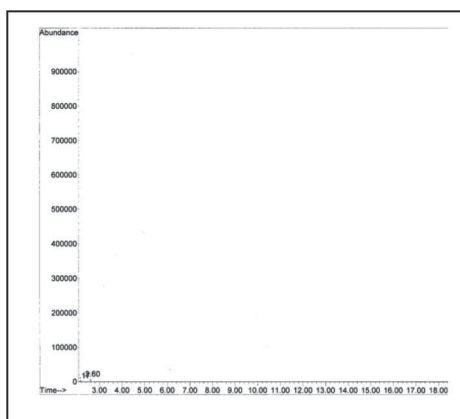
ภาพที่ 6 โครมาโตแกรมของ Bamboo charcoal



ภาพที่ 9 โครมาโตแกรมของ Ungu



ภาพที่ 7 โครมาโตแกรมของ Eucalyptus charcoal

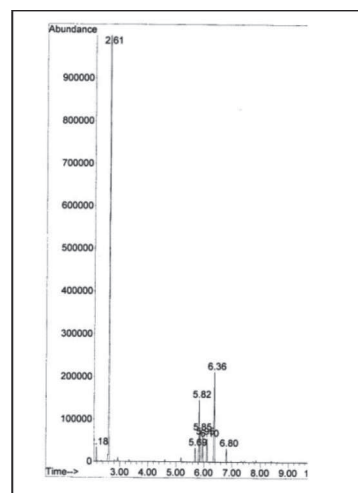


ภาพที่ 10 โครมาโตแกรมของกระดาศับน้ำมัน

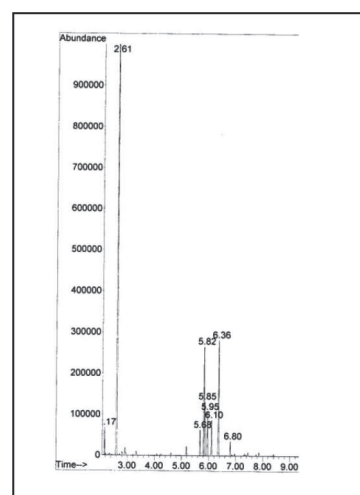
จากโครมาโตแกรม พบว่าไม่มีพีคที่บ่งบอกถึงพีคที่เป็นของน้ำมันเบนซินในถุงชากระดาษซับน้ำมันและผงถ่านที่ผลิตจากธรรมชาติที่นำมาทดสอบ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการทดลองต่อไปได้

5.3 การทดสอบหาปริมาณสารดูดซับที่เหมาะสม

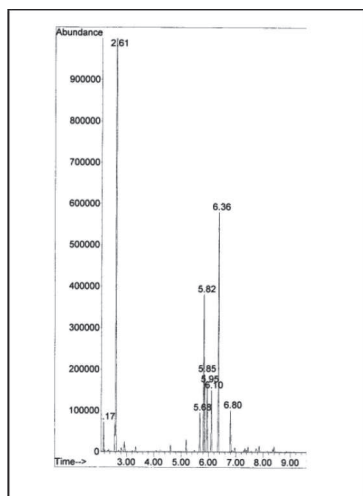
เมื่อนำ Activated carbon ที่มีปริมาณแตกต่างกัน (0.1, 0.5 และ 1.0 g) มาทำการดูดซับไอระเหยของน้ำมันเบนซินที่มีปริมาตรเท่ากัน จากนั้นนำไปสกัดด้วย Dichloromethane 1 mL แล้ววิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) เพื่อทดสอบหาปริมาณของ Activated carbon ที่เหมาะสม ดังโครมาโตแกรมที่แสดงไว้ในภาพที่ 11-13



ภาพที่ 11 แสดงโครมาโตแกรมของ Activated carbon 0.1g ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น $1 \mu\text{L/mL}$



ภาพที่ 12 โครมาโตแกรมของ Activated carbon 0.5 g ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น $1 \mu\text{L/mL}$

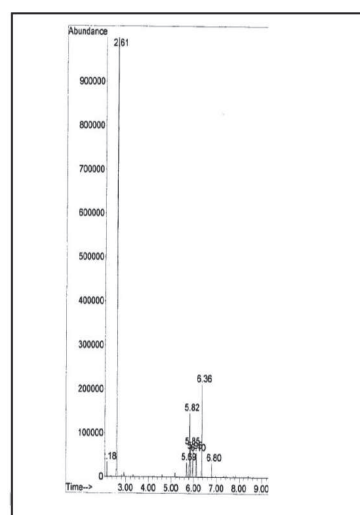


ภาพที่ 13 โครมาโตแกรมของ Activated carbon
1.0 g ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น $1.0 \mu\text{L/mL}$

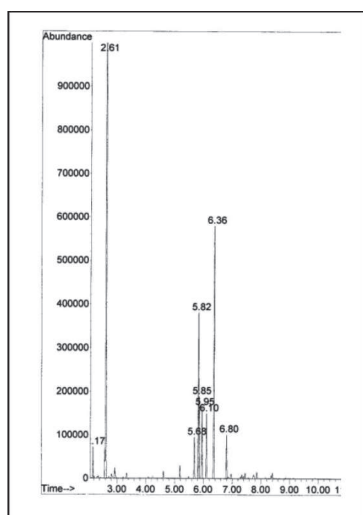
จากผลการทดลองพบว่าโครมาโตแกรมของ Activated carbon ทั้ง 3 ปริมาณ (0.1, 0.5 และ 1.0 g) พบว่ามีพีคที่บ่งบอกว่าเป็นน้ำมันเบนซินเหมือนกัน และได้มีการทดสอบหาปริมาณสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส จากผลการทดลองก็พบว่ามีพีคที่บ่งบอกว่าเป็นน้ำมันเบนซินทั้ง 3 ปริมาณ แต่ทางผู้วิจัยเลือกที่ปริมาณของสารเท่ากับ 0.1 g เพื่อใช้ในการทดลองกับสารดูดซับที่เหลือ เนื่องจากมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับที่ American Society for Testing and Materials (ASTM) 1412-00 ได้แนะนำไว้คือ 0.2 g

5.4 การทดสอบหาปริมาณของน้ำมันเบนซินที่สารดูดซับสามารถดูดซับไอระเหยไว้ได้

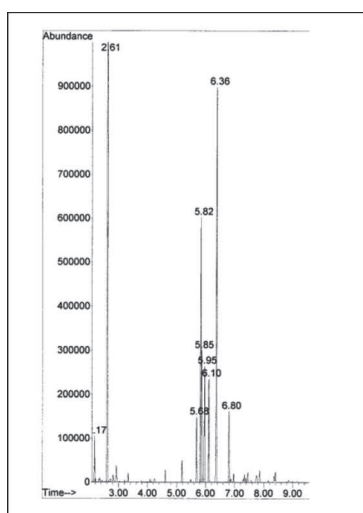
นำน้ำมันเบนซินที่มีปริมาตรแตกต่างกัน (1, 5 และ 10 mL) มาทำการทดลองกับสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส ที่ปริมาณเท่ากัน (0.1 g) แล้วสกัดด้วย Dichloromethane 1 mL. เพื่อทำการทดสอบหาปริมาณน้ำมันเบนซินที่น้อยที่สุดที่ผงถ่านสามารถดูดซับไว้ได้ ผลที่ได้ตั้งโครมาโตแกรมที่แสดงไว้ในภาพที่ 14-16



ภาพที่ 14 แสดงโครมาโตแกรมของ Activated carbon 0.1g ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น $1 \mu\text{L/mL}$



ภาพที่ 15 โครมาโตแกรมของ Activated carbon 0.1 g ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น 5.0 $\mu\text{L/mL}$



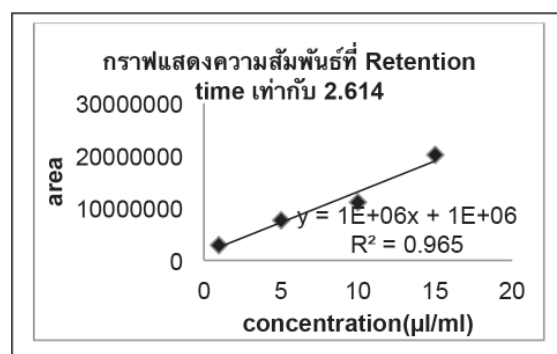
ภาพที่ 16 โครมาโตแกรมของ Activated carbon 0.1 g ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น 10 $\mu\text{L/mL}$

จากผลของโครมาโตแกรมของ Activated carbon 0.1 g ที่น้ำมันเบนซินความเข้มข้นต่างๆ

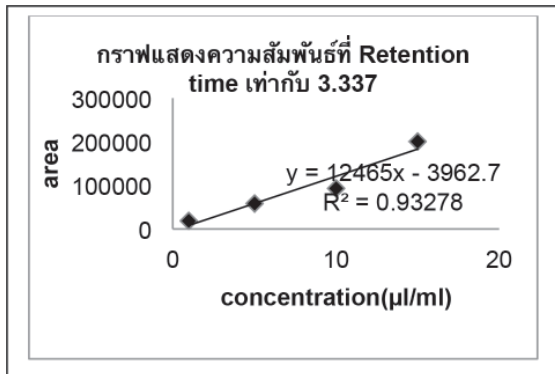
(1.0, 5.0 และ 10.0 $\mu\text{L/mL}$) พบพีคของน้ำมันเบนซินที่ Retention time ต่างๆ ทั้ง 3 ความเข้มข้น และได้มีการทดสอบกับสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส พบว่าสามารถแสดงพีคของน้ำมันเบนซินได้ทั้ง 3 ความเข้มข้นเช่นกัน ดังนั้นผงถ่านสามารถดูดซับโอโรเอของน้ำมันเบนซินได้แม้ว่าจะมีปริมาณน้ำมันเบนซินเพียงเล็กน้อย (1.0 μL)

5.5 การทำ Calibration curve

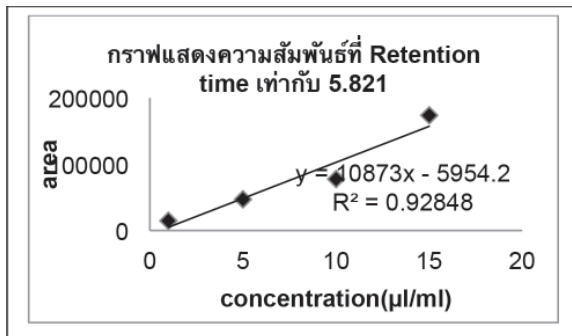
เพื่อหาปริมาณของน้ำมันเบนซิน ทำโดยนำพื้นที่ใต้พีคทั้ง 4 พีคของน้ำมันเบนซินที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 1.0, 5.0, 10.0, 15.0 $\mu\text{L/mL}$ ซึ่งอ้างอิงมาจากภาพที่ 1-4 มาสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นได้ดังภาพที่ 17-20



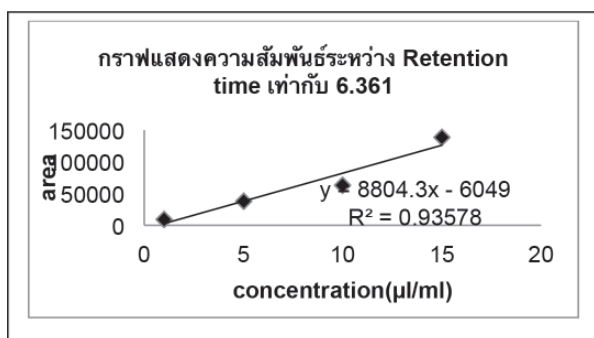
ภาพที่ 17 ภาพของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ Retention time เท่ากับ 2.614



ภาพที่ 18 ภาพของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้น
ที่ Retention time เท่ากับ 3.337



ภาพที่ 19 ภาพของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้น
ที่ Retention time เท่ากับ 5.821



ภาพที่ 20 ภาพของกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้น
ที่ Retention time เท่ากับ 6.361

จากความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ Retention time ต่างๆ พบว่า

Retention time ที่ 2.614 ได้สมการ $y = 1 \times 10^6 x + 1 \times 10^6$ และค่า $R^2 = 0.965$

Retention time ที่ 3.337 ได้สมการ $y = 12465x - 3962$ และค่า $R^2 = 0.932$

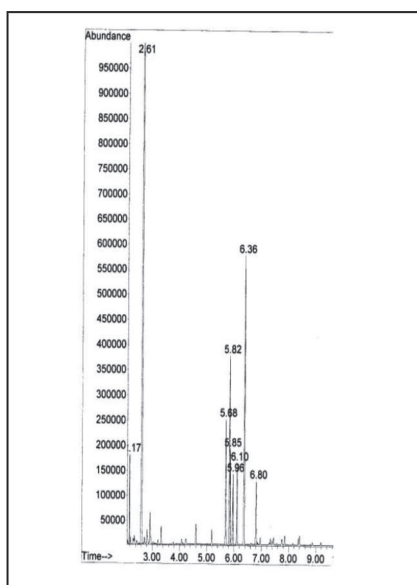
Retention time ที่ 5.821 ได้สมการ $y = 10873x - 5954$ และค่า $R^2 = 0.928$

Retention time ที่ 6.361 ได้สมการ $y = 8804x - 6049$ และค่า $R^2 = 0.935$

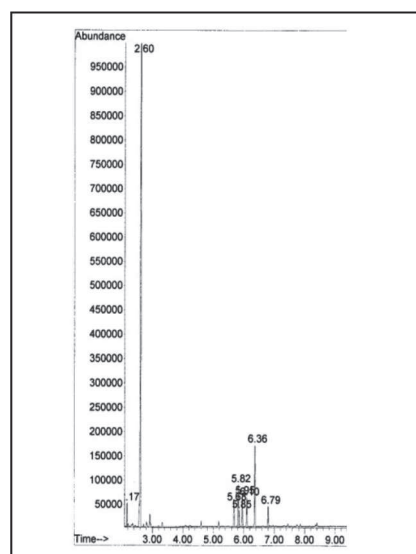
จากค่า R^2 ในแต่ละ Retention time พบว่าที่ค่ามากกว่า 0.5 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ จึงสามารถนำสมการในแต่ละ Retention time ที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำมันเบนซินในสารตัวอย่างได้

5.6 การทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Activated carbon กับสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส ที่ดูดซับไอระเหยน้ำมันเบนซิน

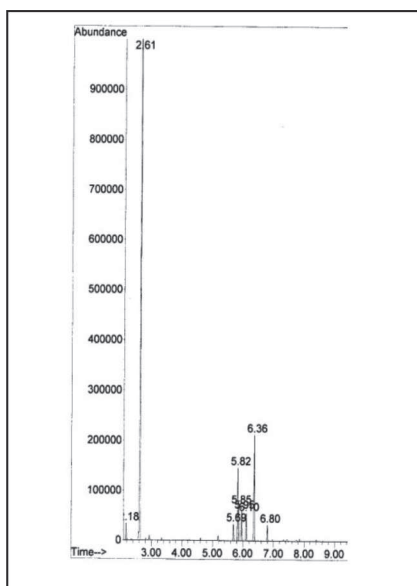
จากการนำ Activated carbon กับสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส ปริมาณ 0.1 g มาดูดซับไอระเหยของน้ำมันเบนซินปริมาตร 1.0 μL แล้วนำมาสกัดด้วย Dichloromethane 1 mL จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) ผลที่ได้ตั้งโครมาโตแกรมที่แสดงไว้ในภาพที่ 21-24



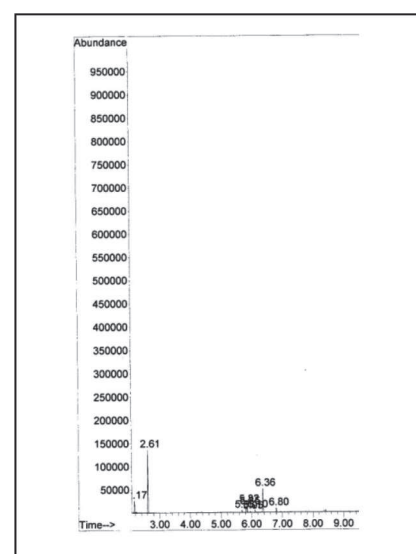
ภาพที่ 21 แสดงโครมาโตแกรมของ
Activated carbon 0.1g
ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น $1 \mu\text{L/mL}$



ภาพที่ 23 โครมาโตแกรมของ Eucalyptus
charcoal 0.1 g ที่น้ำมันเบนซิน
เข้มข้น $1 \mu\text{L/mL}$



ภาพที่ 22 โครมาโตแกรมของ Bamboo
charcoal 0.1 g ที่น้ำมันเบนซิน
เข้มข้น $1 \mu\text{L/mL}$



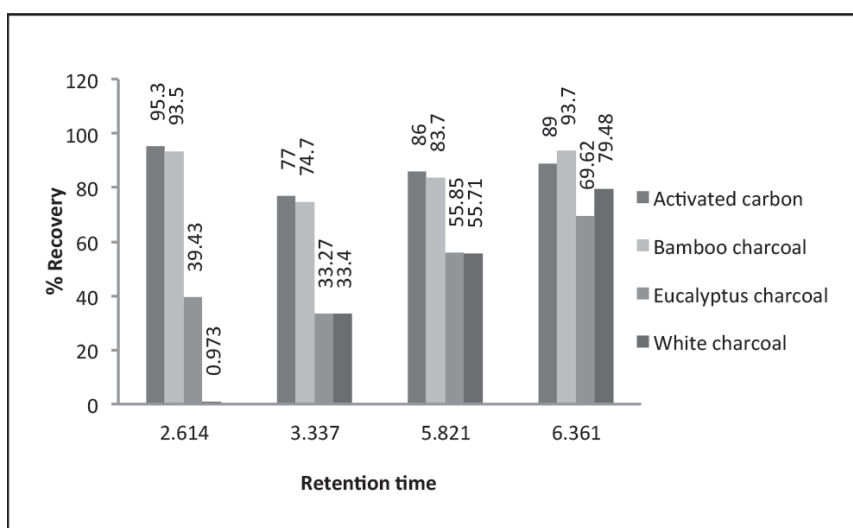
ภาพที่ 24 โครมาโตแกรมของ White charcoal
0.1 g ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น $1 \mu\text{L/mL}$

จากโครมาโตแกรมพบว่าเมื่อนำสารดูดซับทั้ง 4 ชนิด คือ Activated carbon กับสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส ที่สกัดด้วย Dichloromethane แล้ว มาเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินที่ความเข้มข้นเดียวกัน สารดูดซับทั้ง 4 ชนิด สามารถดูดซับไอระเหยของน้ำมันเบนซิน

ได้ เนื่องจากพบพีคที่ตรงกับพีคของน้ำมันเบนซิน และเมื่อนำพื้นที่ใต้พีคที่สนใจคือ Retention time ที่ 2.614, 3.338, 5.821 และ 6.361 แล้วนำมาคำนวณหา %Recovery ได้ผลดังตารางที่ 2 เมื่อนำข้อมูลจากตารางมาแสดงผลเป็นแผนภูมิได้แผนภูมิที่ 1 จากผลการทดลองดังกล่าวจึงได้นำค่า %Recovery ในทุก Retention time มาคิดเป็นค่าเฉลี่ย ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงค่า %Recovery ของสารดูดซับปริมาณ 0.1g ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น $1.0 \mu\text{L/mL}$ ที่ Retention time ต่างๆ

Retention time	%Recovery			
	Activated carbon	Bamboo charcoal	Eucalyptus charcoal	White charcoal
2.614	95.30	93.50	39.43	0.973
3.338	77.00	74.70	33.27	33.40
5.821	86.00	83.70	55.85	55.71
6.361	89.00	93.70	69.62	79.48



แผนภูมิที่ 1 แผนภูมิการเปรียบเทียบ %Recovery ของสารดูดซับทั้ง 4 ปริมาณ 0.1 g ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น $1.0 \mu\text{L/mL}$ ที่ Retention time ต่างๆ

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยของ %Recovery ของ Activated carbon กับสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัสปริมาณ 0.1 g ที่น้ำมันเบนซินเข้มข้น 1.0 $\mu\text{L/mL}$

ปริมาณสารดูดซับ (กรัม)	ค่าเฉลี่ยของ %Recovery			
	Activated carbon	Bamboo charcoal	Eucalyptus charcoal	White charcoal
0.1	86.83	86.40	49.57	42.39

จากค่าของ %Recovery พบว่าของ Activated carbon กับสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส พบว่า Activated carbon กับสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ที่เป็นผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal) มีประสิทธิภาพการดูดซับไอระเหยน้ำมันเบนซินที่ใกล้เคียงกัน และสูงกว่าผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) กับผงถ่านที่ผลิตจากไม้ขาว เพื่อทดสอบว่า %Recovery ที่คำนวณได้ในแต่ละ Retention time การดูดซับไอระเหยของ Activated carbon กับผงถ่านที่ผลิตจากธรรมชาติชนิดอื่นๆ ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันหรือต่างกันโดยใช้ วิธีการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ Multiple Comparison ด้วยวิธี LSD (Fisher's Least-Significant Different) สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4 ตารางแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติ

ชนิดของสารดูดซับ	ผลทางสถิติ
Activated carbon	ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
Bamboo charcoal	ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
Eucalyptus charcoal	มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือที่ Retention time ที่ 3.338 และ 6.361
White charcoal	มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในทุก Retention time

6. อภิปรายผล

การตรวจหาน้ำมันเชื้อเพลิงในวัตถุพยานของคดีเพลิงไหม้เป็นสิ่งสำคัญของกระบวนการเก็บวัตถุพยาน ทั้งนี้วัตถุพยานในคดีเพลิงไหม้มักหลงเหลืออยู่จำนวนไม่มากนัก ถ้าการเก็บวัตถุพยานไม่ถูกวิธี อาจจะทำให้ไม่ได้ข้อเท็จจริงที่เป็นประโยชน์ต่อรูปคดี การเก็บวัตถุพยานวิธีหนึ่งทำได้โดยใช้ตัวดูดซับเพื่อดูดซับไอระเหยของน้ำมันบนวัตถุพยานที่อาจสูญหายไปในช่วงการขนส่งจากสถานที่เกิดเหตุไปยังห้องปฏิบัติการ ซึ่งในต่างประเทศนิยมใช้ Charcoal strip เป็นตัวดูดซับไอระเหยของน้ำมันเบนซิน แต่มีราคาที่สูง ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาตัวดูดซับชนิดอื่นๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการเก็บวัตถุพยานในคดีเพลิงไหม้ โดยเลือกสารดูดซับชนิดใหม่ที่เป็นสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส ที่ผลิตในประเทศ และหาซื้อได้ทั่วไปมาทำการทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพในการดูดซับไอระเหยจากน้ำมันเชื้อเพลิง ในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิงนิยมใช้เทคนิค GC/MS เนื่องจากสามารถระบุว่ามีสารใดเป็นสารประกอบ การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านไม้ชนิดต่างๆ โดยดูจากรูปแบบของโครมาโตแกรม การคำนวณ %Recovery และการเปรียบเทียบผลทางสถิติด้วยวิธี Fisher's least-Significant Different (LSD)

6.1 การทดสอบวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

จากการทดสอบวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองโดยนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC/MS เพื่อดูรูปแบบโครมาโตแกรมว่ามีพีคบริเวณหรือไม่ จากภาพที่ 5-10 รูปแบบโครมาโตแกรมทั้ง 6 ชนิด ไม่พบพีคที่บริเวณพีคของน้ำมันเบนซิน และสามารถสกัดน้ำมันเบนซินออกจากตัวดูดซับได้โดยใช้ Dichloromethane เพื่อแยก Alkane และ Aromatic ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของจินทนา วรรณรัมย์ (2551)

6.2 การวิเคราะห์น้ำมันเบนซิน

จากการวิเคราะห์หาสารประกอบหลักของน้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC/MS จากภาพที่ 1-4 พบพีคหลัก 4 พีค ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของน้ำมันเบนซิน จะไม่ปรากฏในน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าด แต่จะพบ Toluene ในทินเนอร์เท่านั้น (ASTME1618-01,2004) พีคทั้ง 4 มีดังนี้ ที่ Retention time 2.614 คือ C1-Alkylbenzene (Toluene), Retention time 3.338 คือ C2-Alkylbenzene (Ethyl benzene), Retention time 5.821 คือ C3-Alkylbenzene (Propyl benzene), Retention time 6.361 คือ C3-Alkylbenzene (Ethyl Toluene)

6.3 การทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Activated carbon กับสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส ที่ดูดซับไธระเหยน้ำมันเบนซิน

เมื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับไธระเหยน้ำมันเบนซินระหว่างสารดูดซับทั้ง 4 ชนิด Activated carbon กับสารดูดซับที่ผลิตจากธรรมชาติ ได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส โดยการนำพื้นที่ใต้พีคมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ % Recovery พบว่า % Recovery ของผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (bamboo charcoal) มีค่าใกล้เคียงกับ % Recovery ของ Activated carbon มากที่สุด โดยมีค่าดังนี้ % Recovery ของ Activated carbon = 76.99 และ % Recovery ของ Bamboo charcoal = 75.05

จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของ % Recovery เมื่อนำมาคำนวณทางสถิติโดยวิธี LSD (Fisher's Least-Significant Different) พบว่าสารดูดซับ Activated carbon กับสารดูดซับจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal) มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการทดลอง พบว่าถ่านไม้ไผ่มีความสามารถในการดูดซับไธระเหยน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของจิราธรธรรมบัณฑิต (2554) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบ

กับถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับไธระเหยน้ำมันเชื้อเพลิงดีกว่า เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างรูพรุนและมีคุณสมบัติในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในของเหลว หรือก๊าซเอาไว้ได้ในปริมาณสูง ส่วนถ่านไม้ยูคาลิปตัสและถ่านไม้ขาวมีประสิทธิภาพในการดูดซับไธระเหยน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำกว่านั้นก็เนื่องมาจากโครงสร้างรูพรุนของถ่านไม้ยูคาลิปตัสและถ่านไม้ขาวมีน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์และถ่านไม้ไผ่

7. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารดูดซับธรรมชาติกับถ่านกัมมันต์ในการดูดซับน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่าสารดูดซับทั้ง 4 ชนิดสามารถดูดซับสารประกอบหลักของน้ำมันเบนซินได้ดี แต่สารดูดซับจากธรรมชาติได้แก่ ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ไผ่ (Bamboo charcoal), ผงถ่านที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส (Eucalyptus charcoal) และผงถ่านไม้ขาวที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัส มีประสิทธิภาพในการดูดซับไธระเหยต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ หากแต่เปรียบเทียบเฉพาะสารดูดซับธรรมชาติ จะพบว่าถ่านไม้ไผ่มีประสิทธิภาพในการดูดซับไธระเหยน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดีกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัสและถ่านไม้ขาว ดังนั้นเพื่อประโยชน์ในการเก็บรักษาวัตถุดิบในคดีเพลิงไหม้และสามารถประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบในคดีเพลิงไหม้ควรทดลองกับน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ และเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการทดลองให้มากขึ้น รวมทั้งพัฒนาตัวดูดซับในสะดวกและเหมาะสมต่อการเก็บวัตถุดิบในคดีเพลิงไหม้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในกระบวนการเก็บวัตถุดิบในคดีเพลิงไหม้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พันตำรวจเอกสันต์ สุขวัจน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันตำรวจโท ดร.สฤณี สืบพงษ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ พันตำรวจเอก นายแพทย์ อุทัย ตีระวินทร ประธานกรรมการ และ อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง กรรมการ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เสียสละเวลาในการตรวจสอบ และให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่คณะศิลปศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์ ในการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการกลาง ศสวท. พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ ในการใช้เครื่องมือ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการ ใช้เครื่องมือเป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

- [1] จันทนา ระรื่นรมย์, 2551. การประยุกต์ใช้ Activated carbon ในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิต วิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [2] ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์ และคณะ, 2549. การลดความชื้น ข้าวเปลือกด้วยผงถ่านไม้ไผ่. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 37(2,พิเศษ) ; 162-165
- [3] จิราธร ธรรมบัณฑิต, 2554. การทดสอบประสิทธิภาพของ ถ่านไม้ไผ่ในการใช้เป็นตัวดูดซับของเหลวไวไฟ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิต วิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

- [4] บุญรักษ์ กาญจนวราณิชย์, 2555. ถ่านปลุกฤทธิ [Online] http://www.neutron.rmutphysics.com/news/index.php?option=com_content&task=view&id=1606
- [5] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555. แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี [online] <http://www.kmitl.ac.th/sisc/GC-MS/main.html>
- [6] อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552. นิติวิทยาศาสตร์ 1 เพื่อการสืบสวนสอบสวน. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : ที่ สีจี พรินต์
- [7] อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์ และคณะ, 2552. นิติวิทยาศาสตร์ 2 เพื่อการสืบสวนสอบสวน. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : ที่ สีจี พรินต์
- [8] อานุกาพ, 2556. ถ่านไม้ขาว [Online] <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/whitecharcoal.php>
- [9] อานุกาพ, 2556. ถ่านไม้ไผ่ [Online] <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/bamboocharcoal.php>
- [10] อานุกาพ, 2556. ถ่านไม้ยูคาลิปตัส [Online] <http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/whitecharcoal.php>
- [11] Frontela, L., Pozas, J.A., Pieabea, L., 1995. A comparison of extraction and adsorption method for the recovery of accelerants from arson debris. Forensic Sci. Int., 75 : 11-23.
- [12] Suwanna Lapsuwatchananon, 2006 Identification of flammable solvent residue on skin by GC/MS. Master of Science in Forensic science, Mahidol University.