

การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนรองเท้าของผู้ต้องสงสัยโดยใช้เทคนิค

Gas Chromatography - Flame Ionization Detector (GC-FID)

Identification of Gasoline on Arson Suspects' Shoes by the Technique of Gas Chromatography-Flame Ionization Detector

ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง^{1*}, ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี¹ และ อรทัย เขียวพุ่ม²

Sirirat Choosakoonkriang^{1*}, Supachai Supaluknari¹ and Orathai Kheawpum²

¹ภาควิชาเคมี ²ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จ.นครปฐม

¹ Department of Chemistry, ² Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University,

Sanamchandra Palace campus, Nakorn Pathom

*Sirirat_157@yahoo.com , 0876647041

บทคัดย่อ

เพลิงไหม้ซึ่งเกิดจากการวางเพลิงเป็นอาชญากรรมที่ร้ายแรงประเภทหนึ่งที่ยากต่อการสืบสวน การตรวจวัดน้ำมันเบนซินที่ตกค้างอยู่บนสามารถให้ข้อมูลที่สำคัญที่เป็นพยานหลักฐานที่เชื่อมโยงกับผู้ต้องสงสัยในคดีวางเพลิงได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบของผู้ต้องสงสัยด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีที่มีเฟลมไอออนในเซชันเป็นตัวตรวจวัด ในการทดลองนี้หยดน้ำมันเบนซินปริมาตร 100 μL ลงบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ได้แก่ พื้นดิน พื้นคอนกรีต และพื้นกระเบื้อง ตัวอย่างถูกเก็บจากรองเท้าผ้าใบที่ถูกใส่โดยอาสาสมัคร และเหยียบบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ที่หยดน้ำมันลงไปเป็นเวลา 30 วินาที โดยใช้ activated carbon ที่บรรจุในถุงใส่ชา ในการเก็บตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างทันทีที่ระยะเวลา 1, 3, 6, 12, 16 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังการเหยียบบนพื้นผิวต่าง ๆ จากการทดลองได้โครมาโตแกรมของน้ำมันเบนซินที่มีพีคของ benzene, toluene, o-xylene, p-xylene และ ethyltoluene ใช้ในการยืนยันว่าเป็นน้ำมันเบนซิน และสามารถตรวจพบไอของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าตัวอย่างทุกตัวอย่างในตัวอย่างที่เก็บ 24 ชั่วโมงภายหลังการเหยียบรองเท้าผ้าใบในทุกพื้นผิว (8.06 - 8.48 ppm) สำหรับตัวอย่างที่เก็บทันทีภายหลังการหยดน้ำมันลงบนพื้นผิว ปริมาณน้ำมันเบนซินตรวจพบบนพื้นรองเท้ามีมากที่สุดบนพื้นรองเท้าที่เหยียบบนพื้นกระเบื้อง (30.11 ppm) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เหยียบบนพื้นดิน (12.83 ppm) นอกจากนี้ ปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบในทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในตัวอย่างที่เก็บภายหลังการหยดน้ำมัน 1 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามพบปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบนั้นมีค่าคงที่ (ประมาณ 8 - 10 ppm) ในทุกตัวอย่าง ที่เก็บ 6 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ตรวจหาน้ำมันเบนซินที่อาจติดบนรองเท้าผู้ต้องสงสัยในสถานที่เกิดเหตุในกรณีวางเพลิงได้

คำสำคัญ : การวางเพลิง แก๊สโครมาโทกราฟีที่มีเฟลมไอออนในเซชัน น้ำมันเบนซิน

Abstract

Arson fire is one of the most dangerous crime that is difficult to investigate. Detection of gasoline residue can provide important information to link evidence with an arson suspect. The objective of this project was to study the application of chromatography-flame ionization detector technique (GC-FID) to the detection of gasoline vapor on suspect's sneaker sole. In this work, 100 μL of gasoline liquid was dropped on the soil surface, concrete and tile floors. Samples were taken from sneakers that were worn by a volunteer and stepped on the substrates for 30 seconds. The sample of gasoline vapor was collected by using activated carbon packed in a tea bag. The samples were

taken immediately at 1 h., 3 h., 6 h, 12 h. 16 h., and 24 h. after stepping on the substrates. The peaks of benzene, toluene, o-xylene, p-xylene and ethyltoluene in the chromatogram of the sample were used to identify the gasoline. The gasoline vapor was detected in all samples even in the samples taken 24 h. (8.06-8.48 ppm) after the deposition of gasoline liquid. For the samples collected immediately after gasoline deposition, the higher amount of the gasoline vapor was found in the tile-floor sample (30.11 ppm) compared to that in the soil-surface sample (12.83 ppm). Moreover, a sharp drop in the amount of gasoline was observed in all samples collected at a longer period than one hour after the deposition of gasoline. However, the gasoline content remained constant (approximately 8-10 ppm) in all samples collected at 6 h. to 24 h. after gasoline deposition. The results obtained demonstrate the potential of this methodology to help in detection of gasoline on the suspect's sneaker in arson cases.

Keywords : Arson, GC-FID, Gasoline

1. บทนำ

การลอบวางเพลิงถือเป็นอาชญากรรมร้ายแรงที่ก่อให้เกิดความเสียหายมากมายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งเป็นการกระทำที่ผิดกฎหมายตามมตรากฎหมายอาญา ซึ่งผู้กระทำความผิดจะต้องได้รับโทษตามที่กฎหมายกำหนด แม้ว่าการลอบวางเพลิงนั้นจะเป็นอาชญากรรมที่ร้ายแรงแต่การสืบหาผู้ลอบวางเพลิงก็ทำได้ยากเช่นกันเพราะหลักฐานส่วนใหญ่ถูกเผาไหม้ในกองเพลิง ในการวางเพลิงนั้นพบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกตรวจพบและถูกใช้ในการวางเพลิง คือ น้ำมันเบนซิน (gasoline) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะทั่วไปหาซื้อได้ง่าย และยังมีควมไวไฟสูง ติดไฟได้ดีในทุกสภาวะอากาศ เมื่อเทียบกับน้ำมันประเภทอื่น โดยน้ำมันเบนซิน เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยไฮโดรเจน (hydrogen) และ คาร์บอน (carbon) ที่ต่อกันเป็นสายโซ่ ผลิตมาจากการกลั่นน้ำมันดิบที่ได้จากพื้นโลก โดยสายไฮโดรคาร์บอนที่มีความยาวต่างกันทำให้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีการระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่าง ๆ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ น้ำมันเบนซินระเหยได้เร็ว และมีคุณสมบัติที่สำคัญในการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันเบนซินคือจุดวาบไฟต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้อง น้ำมันเบนซินมีความไวไฟสูง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่มีจุดวาบไฟมากกว่า 60°C จะมีความไวไฟต่ำกว่ามาก (Chaiyavech, 2009) ในการที่จะเกิดไฟไหม้ ต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน (Jugjai, 2004) คือ เชื้อเพลิง (fuel) ออกซิเจน (oxygen) และ ความร้อน (heat) ในสภาวะที่เหมาะสมแล้วให้พลังงานออกมาในรูปของพลังงานความร้อนและพลังงานแสงสว่าง นอกเหนือจากนั้นจะต้องมีปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ของการสันดาป คือ เมื่อเชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากการเกิดก๊าซหรือไอที่ผิวมากพอที่จะติดไฟได้ และมีออกซิเจนในอากาศไม่ต่ำกว่า 16% ไฟก็จะติดขึ้น โมเลกุลของเชื้อเพลิงจะแตกตัวเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงจนแปรสภาพเป็นก๊าซแล้วลุกไหม้ต่อเนื่องกันไปเป็นลูกโซ่ แต่เมื่อปฏิกิริยาลูกโซ่ขาดตอนลงเมื่อใด การสันดาปก็จะหยุดลง

ในทางนิติวิทยาศาสตร์ การสืบสวนสอบสวนเพื่อสืบหาตัวผู้กระทำความผิดในคดีวางเพลิงนั้นถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ เพราะอาจจะนำมาซึ่งการจับกุมหรือป้องกันเหตุร้ายที่อาจเกิดขึ้นได้ อาทิเช่นในการวางเพลิง ถ้าสามารถจับตัวผู้ต้องสงสัย และสามารถพิสูจน์ได้ว่าผู้ต้องสงสัยเคยร่วมอยู่ในเหตุการณ์หรือได้สัมผัสถ่ายเทกับน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นต้นเหตุของการวางเพลิงนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญมาก และยังเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ชั้นสำคัญที่สามารถใช้บังคับตัวผู้กระทำความผิดได้ ด้วย ดัชนีของ Locard ได้นำเสนอแนวความคิดว่า “ทุกการสัมผัส จะมีการทิ้งร่องรอย” เป็นทฤษฎีซึ่งพัฒนามาจากแนวความคิดข้างต้น โดยมีการพิสูจน์และนำไปใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการตรวจหาร่องรอยต่าง ๆ มีหลักการว่าเมื่อวัตถุ 2 ชิ้น สัมผัสกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกันของวัตถุนั้น ดังนั้นผู้ต้องสงสัยถ้ามีการสัมผัสกับน้ำมันเบนซินในการวางเพลิงย่อมตรวจพบน้ำมันเบนซินบนตัวผู้ต้องสงสัยได้ อย่างไรก็ตามผู้ต้องสงสัยเมื่อมีการก่อเหตุแล้วมักมีการทำลายหลักฐานที่คาดว่าจะนำไปสู่การจับกุม เช่น อาบน้ำ ล้างมือ หรือเปลี่ยนเสื้อผ้า เป็นต้น

อย่างไรก็ตามผู้ต้องสงสัยหรือผู้ก่อเหตุมักจะมองข้ามการทำความสะอาดพื้นรองเท้า หรือเปลี่ยนรองเท้า เมื่อมีการใส่รองเท้าเข้ามาในสถานที่เกิดเหตุ และสิ่งที่ติดมากับรองเท้า นั้น ก็ย่อมมีประโยชน์และอาจจะสามารถนำมาซึ่งหลักฐานที่สำคัญช่วยในการสืบสวนได้

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำการศึกษในเรื่องนี้ ในปี 2000 Almirall *et al.* (2000) ได้ทำการทดลองศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผิวหนังของมนุษย์โดยใช้เทคนิค SPME/GC โดยเทคนิค gas chromatography-mass spectrometry พบว่าเป็นวิธีที่มี sensitivity ต่ำมากวิเคราะห์ได้ถึงระดับ 10 μL แต่ต้องทำในห้องปฏิบัติการเท่านั้น Coulson *et al.* (2000) ทำการทดลองศึกษาปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ตรวจพบบนเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย รองเท้า ขณะที่เทน้ำมันเชื้อเพลิงลงบนพื้นห้อง โดยได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากปัจจัยที่แตกต่างกัน คือ ความสูงในการเทน้ำมัน และชนิดของพื้นห้องที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าการเทน้ำมันที่ความสูงระดับสะโพกจะมีปริมาณของน้ำมันที่ตรวจพบได้มากที่สุด บนพื้นห้องที่แตกต่างกัน Becker *et al.* (2002) ได้ทำการทดลองศึกษาวิเคราะห์ total petrol hydrocarbons ในดิน โดยเปรียบเทียบการวิเคราะห์ total petrol hydrocarbons ระหว่าง 2 เทคนิค คือ GC-FID และ infrared spectrometry จากผลการทดลองพบว่าเทคนิค GC-FID มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 2.13 แต่เทคนิค infrared spectrometry มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 7.35 แสดงให้เห็นว่าเทคนิค GC-FID มีความแม่นยำในการวิเคราะห์

Coulson *et al.* (2008) ได้ทดลองศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิงบนเสื้อผ้าและรองเท้าของพยานวัตถุที่เก็บได้ จากผลการทดลองพบว่าการตรวจพบร่องรอยของน้ำมันเชื้อเพลิงบนเสื้อผ้า และรองเท้าอาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับกิจกรรมต่าง ๆ ที่ทำกับพยานวัตถุนั้น เช่น มีการเคลื่อนย้ายหรือตัดแบ่งวัตถุพยาน เป็นต้น และ Melinda *et al.* (2008) ทำการทดลองศึกษาการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินที่หลงเหลืออยู่บนมือของผู้ต้องสงสัยกับการใส่ถุงมือพบว่าถุงมือที่ทำจากวัสดุที่ต่างกันมีผลต่อการตรวจพบน้ำมันเบนซินบนมือ และสามารถตรวจพบน้ำมันเบนซินได้นานถึง 4 ชั่วโมงเมื่อมีการใช้น้ำมันเบนซินเพียง 500-1000 μL เท่านั้น นอกจากนี้ Raruenrom (2008) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเบนซินของ activated carbon และ charcoal strip ที่มีขายสำเร็จรูปในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า activated carbon มีประสิทธิภาพการดูดซับ 67.76% และเมื่อใช้ charcoal strip มีประสิทธิภาพการดูดซับ เท่ากับ 69.74% แสดงให้เห็นได้ว่าค่าที่ได้นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก และ Montani *et al.* (2010) ศึกษาการพัฒนากระบวนการการเก็บตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงบนมือผู้ต้องสงสัย โดยใช้ activated charcoal strip และถุงมือที่ทำจากวัสดุต่างกัน 16 ประเภท เช่น non-powdered latex glove เป็นต้น ในการเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์ด้วย headspace GC-MS เพื่อดู background และการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นก่อนที่จะนำไปใช้ในชุด prototype sampling kit พบว่าเลือกใช้ non-powdered latex glove ดีที่สุด Muller *et al.* (2011) ได้ศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือ หลังจากการสัมผัสน้ำมันเบนซินเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ activated charcoal strip ในการดูดซับน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือที่อุณหภูมิห้อง โดยได้มีการเปรียบเทียบกับเก็บตัวอย่างโดยใช้ activated charcoal strip ดูดซับน้ำมันเบนซินในขณะที่อุณหภูมิของมือประมาณ 45°C ใช้เวลาในการเก็บเพียง 15 นาที ในขณะที่การดูดซับน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือที่อุณหภูมิห้องนั้นต้องใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าทำให้ความร้อนแก่ฝ่ามือเพิ่มขึ้นนั้น จะทำให้ activated charcoal strip นั้นสามารถดูดซับน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือได้ดี และรวดเร็วขึ้นอีกด้วย

Li *et al.* (2014) ได้ศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนวัตถุที่เป็นของแข็ง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบเพลิงไหม้ โดยเครื่อง GC-MS ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงระยะเวลาความคงอยู่ของสารประกอบต่าง ๆ ในน้ำมันเบนซินบนวัตถุที่เป็นของแข็ง และ Soonkum (2015) ได้ทำการทดลองศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนฝ่ามือและเสื้อผ้าของผู้วางเพลิงโดยเทคนิค gas chromatography โดยได้ทำการตรวจพิสูจน์ปริมาณของน้ำมันเบนซิน บนฝ่ามือ และฝ่ามือที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ และน้ำยาล้างจาน และบนเสื้อผ้าของผู้วางเพลิง โดยใช้ activated carbon ในการดูดซับ ผลการทดลองพบว่าปริมาณที่ตรวจพบนั้นมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมงบนมือ ในขณะที่บนเสื้อผ้านั้นจะตรวจพบน้ำมันเบนซินที่เวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมงเท่านั้น

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าของผู้ต้องสงสัยที่ได้สัมผัสกับน้ำมันเบนซินเพียงเล็กน้อยในหน่วยไมโครลิตรบนพื้นชนิดต่าง ๆ และรองเท้าได้มีการสัมผัส โดยใช้เทคนิค GC-FID ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสม ง่าย สะดวก ในการตรวจวิเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงหรือสารเคมีที่อยู่ในสภาวะก๊าซได้ง่ายและสามารถตรวจได้แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อยในระดับ ppm หรือ ppb เท่านั้น โดยจะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบบนพื้นรองเท้าผ้าใบซึ่งเป็นรองเท้าที่นิยมใช้มาก ภายหลังการเหยียบหรือสัมผัสกับน้ำมันเบนซินบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ กัน 3 ชนิด คือ พื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดิน โดยตรวจเก็บตัวอย่างโดยใช้ activated carbon ที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดมีคุณสมบัติดูดซับสารประเภทนี้ได้ดี มาบรรจุในถุงชาเพื่อความสะดวกในการใช้งาน เพื่อที่จะได้พัฒนาวิธีในการเก็บตัวอย่างได้จริงสามารถใช้ในสถานที่เกิดเหตุได้ โดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย มีราคาถูก สะดวก มีขั้นตอนง่าย และรวดเร็ว เพื่อที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์หาหลักฐานเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตนผู้กระทำความผิด และเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสืบสวนสอบสวนต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีในการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบหรือสัมผัสกับน้ำมันเบนซิน บนพื้นผิว คือ พื้นกระเบื้อง บนพื้นคอนกรีต และพื้นดิน โดยใช้ Activated carbon
2. เพื่อศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบหรือสัมผัสกับน้ำมันเบนซิน บนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ได้แก่ พื้นกระเบื้อง บนพื้นคอนกรีต และพื้นดินที่ระยะเวลาทันที 1, 3, 6, 12, 16 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ
3. เพื่อศึกษาการตรวจวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของน้ำมันเบนซิน อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยใช้ GC-FID

2. วิธีการศึกษา

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

เครื่อง Gas Chromatograph - Flame Ionization Detector (GC-FID) (รุ่น GC - 17A ยี่ห้อ SHIMADZU) เครื่อง Ultrasonic Extraction บริษัท CREST ULTRASONIC เครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง รุ่น AB204 METTER Micropipette ขนาด 20,100,1000 μL พร้อม tip ยี่ห้อ BIO-RAD ถุงชา (tea bag) และถุงพลาสติกใส ขนาด 9 x 14 นิ้ว จากร้าน Daiso ไดรเป้าผมยี่ห้อ PHILIPS รองเท้าผ้าใบ ยี่ห้อแพน และแผ่นกระเบื้อง ชื้อจากร้านขายอุปกรณ์ก่อสร้าง ถุงพลาสติกใส จากตลาดนครปฐม

สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย น้ำมันเบนซิน 95 จากบิมน้ำมัน Dichloromethane และ Benzene จาก Merck (Thailand) Toluene และ Ethyl toluene จาก RCI Labscan Ltd. p-Xylene และ o-Xylene จาก Fluka Honeywell International Inc. และ Activated carbon จาก C.Gigantic Carbon Co., Ltd.



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 1 (a) ถุงชาจากร้าน Daiso, (b) Activated carbon, (c) Activated carbon ที่บรรจุอยู่ในถุงชา

2.2 วิธีการทดลอง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC-FID

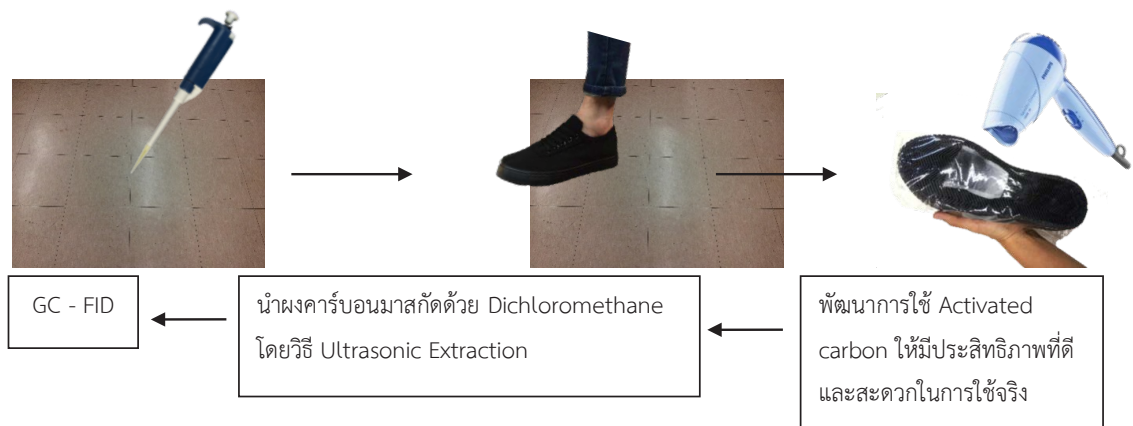
เตรียมสารละลายมาตรฐานน้ำมันเบนซินที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ (20-100 ppm) โดยทำการเจือจางในสารละลาย Dichloromethane นำสารมาตรฐานน้ำมันและสารมาตรฐานต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์โดยฉีดสารปริมาตร 1 μL ในเครื่อง GC-FID โดยใช้สภาวะต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ดังนี้

GC	: GC-17A SHIMADZU Gas Chromatograph-FID (Detector)
Column	: SGC - BPX5; Methyl Siloxane Capillary column (25.0 m x 320 μm . x 0.25 mm.)
Carrier gas	: Helium
Flow rate	: 2 mL/min
Injector temperature	: 180 °C
Detector temperature	: 300 °C
Temperature program	: 50 °C hold 5 min 50 °C to 300 °C เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 20 °C/min 300 °C hold 1 min

จากนั้นนำมาพล็อตระหว่างผลรวมของพื้นที่ใต้พีคของพีคที่ระบุว่าเป็นน้ำมันเบนซิน กับความเข้มข้นของน้ำมันเบนซิน เพื่อสร้าง Calibration Curve ในการหาปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจวัดได้ นอกจากนี้มีการศึกษาความใช้ได้ของวิธีการทดลอง ความถูกต้องแม่นยำ รวมทั้งขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection, LOD (3S/N) และขีดจำกัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ (10S/N)) ที่สามารถตรวจวัดได้ และศึกษาผลของสารรบกวนของสารตัวอื่น ๆ ที่อาจพบใน Chromatogram ของน้ำมันเบนซินในการวิเคราะห์ โดยนำวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยมาวิเคราะห์สารรบกวนด้วยเทคนิค GC-FID ที่สภาวะและคอลัมน์เดียวกัน

การศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบบนพื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดิน

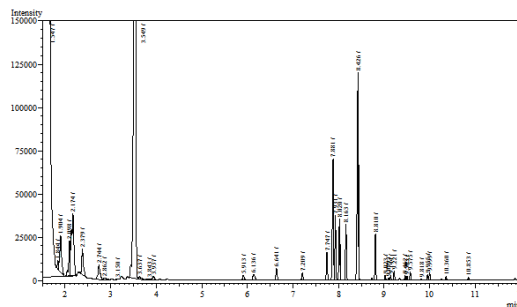
จัดการเตรียมพื้นผิวสำหรับการทดลอง จากนั้นเปิดน้ำมันเบนซินปริมาณ 100 μL โดยใช้ micropipette ลงบนพื้นตัวอย่างคือ พื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดิน จากนั้นให้อาสาสมัครสวมรองเท้าผ้าใบ (มีน้ำหนัก 43 กิโลกรัม หรือ 94.8 ปอนด์) และเหยียบบนบริเวณพื้นที่หยดน้ำมันลงไป โดยจะควบคุมเวลาที่สัมผัสเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเก็บตัวอย่างทันทีโดยการนำถุงชาที่บรรจุ activated carbon (0.2000 g) ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่สะดวกในการใช้งาน วางลงบนพื้นรองเท้าผ้าใบเพื่อเก็บตัวอย่างของน้ำมันเบนซินที่สามารถถ่ายเทไปยังพื้นรองเท้า นำมาสมด้วยถุงพลาสติกชนิดใส ปิดปากถุง แล้วใช้ไอร์เป่าลมให้ความร้อน เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นสกัด activated carbon ด้วย dichloromethane โดยเทคนิค ultrasonic extraction ที่เวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายน้ำมันเบนซินที่สกัดด้วย dichloromethane มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID ที่สภาวะที่ได้ศึกษาไว้ นำโครมาโทแกรมที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ทำการทดลองซ้ำโดยศึกษาถึงการคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าที่เวลา 1, 3, 6, 12, 16 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังการเหยียบน้ำมันเบนซินบนพื้นผิวต่าง ๆ ตามลำดับ โดยถอดรองเท้าวางไว้ในห้องที่อุณหภูมิห้อง แผนผังการทดลองแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังการทดลอง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทำการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินที่ความเข้มข้น 20 ppm ด้วยเทคนิค GC-FID แสดงพิกที่เป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำมันเบนซิน ดัง chromatogram ในภาพที่ 3 โดย chromatogram แสดงพิกที่ระบุได้ว่าเป็นน้ำมันเบนซิน ได้แก่ Benzene, Toluene, o-Xylene, p-Xylene และ Ethyltoluene (Stauffer *et al.* (2008)) โดยพบว่าแต่ละพิกมีค่า retention time ที่ได้ดังตารางที่ 1 จากตารางจะเห็นได้ว่าตรวจพบพิกที่บ่งชี้ว่าเป็นน้ำมันเบนซินครบถ้วน

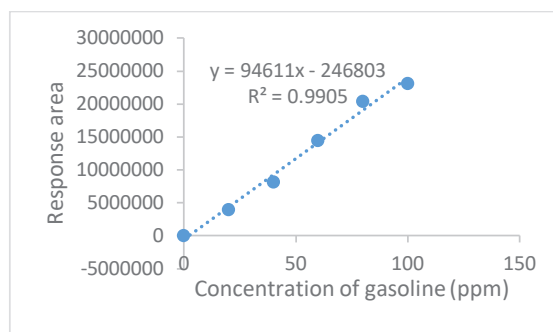


ภาพที่ 3 Chromatogram ของสารละลายน้ำมันเบนซินที่ความเข้มข้น 20 ppm

ตารางที่ 1 ค่า Retention time ของ profile of gasoline

	Retention time (min) (Average, n = 6, SD = ±0.10)
Benzene	2.230
C1 - Alkylbenzene (Toluene)	3.646
C2 - Alkylbenzene (p-Xylene)	6.373
C2 - Alkylbenzene (o-Xylene)	6.848
C3 - Alkylbenzene (3-Ethyltoluene)	8.448

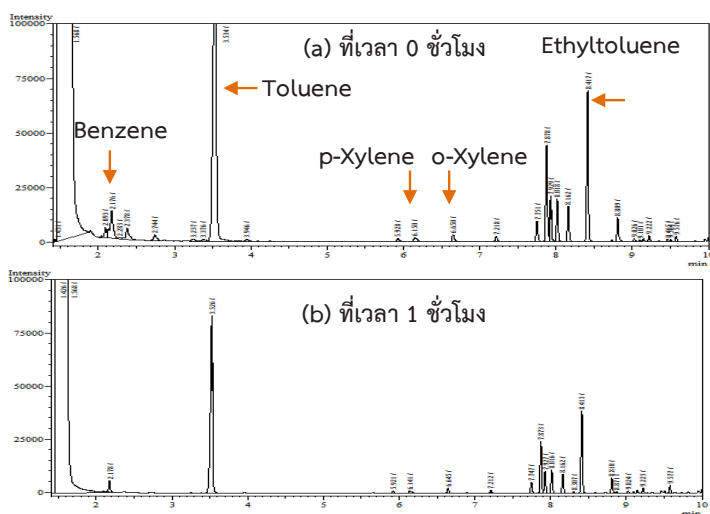
การวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำมันเบนซิน สามารถหาได้จากการสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารละลายน้ำมันเบนซิน โดยพล็อตกราฟผลรวมของพื้นที่ใต้พิก (summary of peak) ของพิกที่ระบุข้างต้น กับความเข้มข้นของน้ำมันเบนซินที่ 0, 20, 40, 60, 80, และ 100 ppm ได้ดังภาพที่ 4 จากกราฟพบว่าได้สมการเส้นตรง $y = 94611x - 246803$ โดยค่าสหสัมพันธ์ความเป็นเส้นตรง มีค่า $r = 0.9952$ พบว่าความสัมพันธ์มีค่าสหสัมพันธ์ความเป็นเส้นตรงสูง ซึ่งใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำมันเบนซินที่ติดอยู่บนรองเท้าได้

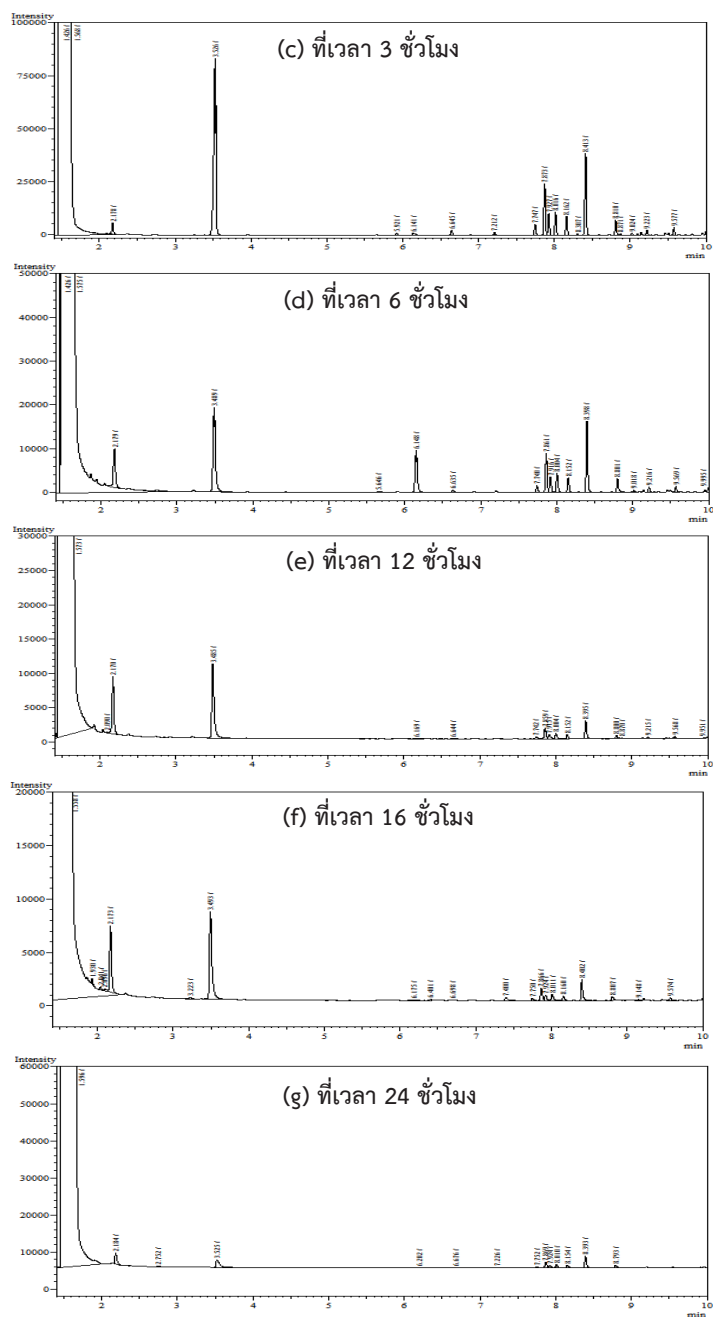


ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานระหว่างผลรวมของพื้นที่ใต้พีค ของพีคที่ระบุข้างต้น
กับความเข้มข้นของน้ำมันเบนซิน (ppm)

นอกจากนี้จากการทดลองพบว่า ค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ) มีค่าเท่ากับ 2.611 ppm และเท่ากับ 2.612 ppm ตามลำดับ และในการศึกษาสารปนเปื้อนสารตัวอื่น ๆ ที่อาจรบกวนการวิเคราะห์น้ำมันเบนซิน ได้นำวัสดุและสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยมาสกัดและตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID ที่สภาวะเดียวกัน จะพบว่าไม่ปรากฏพีคใด ๆ รบกวนพีคของน้ำมันเบนซินเลย

จากการศึกษาการคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องพื้นคอนกรีต และพื้นดิน เมื่อทำการหยดน้ำมันเบนซินปริมาณ 100 μ l ลงบนพื้นผิวตัวอย่าง คือ บนพื้นกระเบื้องพื้นคอนกรีต และพื้นดิน จากนั้นให้อาสาสมัครใส่รองเท้าผ้าใบแล้วเหยียบลงไปบนคราบน้ำมันบนพื้นชนิดต่าง ๆ จากนั้นจะวางรองเท้าผ้าใบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง และทำการเก็บตัวอย่าง ที่เวลาทันที 1, 3, 6, 12, 16 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังหยดน้ำมัน โดยนำ activated carbon ที่บรรจุอยู่ในถุงขามาวางบนพื้นรองเท้า และสวมที่รองเท้าด้วยถุงพลาสติกชนิดใส นำไปเผาให้ความร้อนโดยใช้ไอร์เป่าลม เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำผง activated carbon ที่ได้สกัดด้วย dichloromethane นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID จะได้โครมาโทแกรม ที่แสดงพีคองค์ประกอบของน้ำมันเบนซิน ได้แก่ Benzene, Toluene, p-Xylene, o-Xylene และ Ethyltoluene ดังแสดงในภาพที่ 5 เป็นการแสดง chromatogram ของไอของน้ำมันเบนซินที่เก็บบนพื้นรองเท้าผ้าใบภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่ระยะเวลาต่าง ๆ จากโครมาโทแกรมจะเห็นได้ว่า พีคที่ระบุว่าเป็นน้ำมันเบนซินทุกพีคมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป





ภาพที่ 5 Chromatogram ของน้ำมันเบนซินที่เก็บบนพื้นรองเท้าผ้าใบ

ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลาต่าง ๆ คือ

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| (a) ที่เวลา 0 ชั่วโมง | (e) ที่เวลา 12 ชั่วโมง |
| (b) ที่เวลา 1 ชั่วโมง | (f) ที่เวลา 16 ชั่วโมง |
| (c) ที่เวลา 3 ชั่วโมง | (g) ที่เวลา 24 ชั่วโมง |
| (d) ที่เวลา 6 ชั่วโมง | |

จากการใช้สมการเส้นตรง $y = 94611x - 246803$ คำนวณหาปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบบนพื้นรองเท้าผ้าใบภายหลังการเหยียบน้ำมัน บนพื้นผิวทั้ง 3 พื้นผิว ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบคราบน้ำมันเบนซินบนพื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดิน

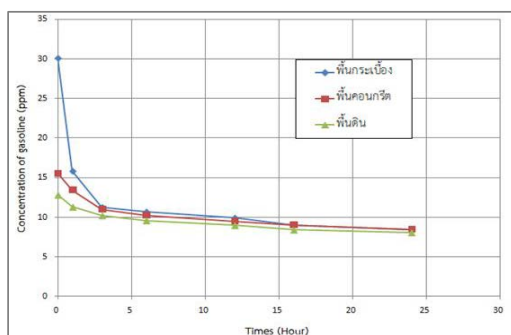
เวลา (hr.)	ปริมาณเฉลี่ยของน้ำมันเบนซิน (ppm $\pm$ SD*) (n=3)		
	พื้นกระเบื้อง	พื้นคอนกรีต	พื้นดิน
0	30.11 $\pm$ 1.16	15.57 $\pm$ 0.97	12.83 $\pm$ 0.28
1	15.85 $\pm$ 0.20	13.47 $\pm$ 0.47	11.31 $\pm$ 0.24
3	11.30 $\pm$ 0.14	11.02 $\pm$ 0.38	10.21 $\pm$ 0.12
6	10.72 $\pm$ 0.11	10.26 $\pm$ 0.43	9.58 $\pm$ 0.05
12	9.95 $\pm$ 0.10	9.49 $\pm$ 0.24	8.97 $\pm$ 0.11
16	9.03 $\pm$ 0.06	9.02 $\pm$ 0.10	8.40 $\pm$ 0.03
24	8.47 $\pm$ 0.02	8.48 $\pm$ 0.06	8.06 $\pm$ 0.03

*Standard Deviation (SD)

จากตารางที่ 2 เมื่อเก็บตัวอย่างพื้นรองเท้าผ้าใบที่เหยียบน้ำมันที่อยู่บนพื้นกระเบื้อง บนพื้นคอนกรีต และบนพื้นดิน ตรวจพบปริมาณของน้ำมันเบนซิน 30.11 ppm, 15.57 ppm และ 12.83 ppm ตามลำดับ ปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบ ภายหลังการเหยียบน้ำมันที่อยู่บนพื้นดินนั้นมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณที่ตรวจพบในพื้นกระเบื้อง และพื้นคอนกรีต โดยเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณที่ตรวจพบของน้ำมันเบนซินลดลงอย่างรวดเร็ว และที่เวลาหลังจาก 1 ชั่วโมง ในทั้งสามพื้นผิวที่รองเท้าสัมผัส และภายหลังจาก 6 ชั่วโมง เป็นต้นไปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบนั้นเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนรองเท้าของผู้ต้องสงสัย โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography - Flame Ionization Detector (GC-FID) จาก chromatogram ที่ได้จากการวิเคราะห์ จะพบ 5 พีคสำคัญที่ทำหน้าที่ระบุว่าเป็นน้ำมันเบนซิน ได้แก่ Benzene, Toluene, p-Xylene, o-Xylene และ Ethyltoluene โดยผลจากการทดลองพบปริมาณของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบคราบน้ำมันบนพื้นที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ พื้นกระเบื้อง, พื้นคอนกรีต และพื้นดิน ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อนำค่าได้ที่มาพล็อตกราฟระหว่างเวลา (ชั่วโมง) ให้เป็นแกน y เทียบกับความเข้มข้น (ppm) ให้เป็นแกน x จะได้ผลดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบเมื่อเวลาผ่านไปบนพื้นผิวพื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดินที่เวลาต่าง ๆ

ผลการทดลองพบว่าปริมาณของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบคราบน้ำมันบนพื้นทั้ง 3 ชนิด คือ พื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดิน จะพบปริมาณมากที่สุดที่เวลาทันทีและหลังจากนั้นไม่เกิน 1 ชั่วโมง

ปริมาณที่พบมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว โดยตรวจพบปริมาณของน้ำมันเบนซินมากที่สุดภายหลังการสัมผัสกับบนพื้นกระเบื้อง ที่เวลาทันที ถึง 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 30.11 - 8.47 ppm สำหรับพื้นผิวที่เป็นพื้นคอนกรีต พบปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 15.57 - 8.48 ppm และพบน้ำมันที่ปริมาณน้อยที่สุดบนพื้นรองเท้าภายหลังการเหยียบบนพื้นดิน ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 12.82 - 8.06 ppm และเมื่อพล็อตกราฟแสดงความคงอยู่ของน้ำมันเบนซิน (ภาพที่ 6) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปนานมากกว่า 6 ชั่วโมง ปริมาณของน้ำมันเบนซินที่พบนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก โดยตรวจพบประมาณ 8 - 9 ppm ภายหลังการสัมผัสทุกพื้นผิว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Coulson *et al.* (2000 & 2008) ที่ตรวจพบน้ำมันเชื้อเพลิงบนเสื้อผ้าและรองเท้าขณะที่เทน้ำมันเชื้อเพลิงลงบนพื้นห้อง และตรวจพบปริมาณของน้ำมันเบนซินพบในรองเท้าผ้าใบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ เสื้อผ้า กางเกง เช่นเดียวกันกับ Soonkum (2015) ตรวจพบน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือได้ถึง 12 ชั่วโมง เนื่องจากชั้นผิวหนังของมนุษย์ที่มีการซ้อนทับกันจึงมีช่องว่างให้น้ำมันเบนซินซึมลงไป ส่งผลให้การระเหยเป็นไปอย่างช้า ในขณะที่ตรวจพบน้ำมันเบนซินบนเสื้อผ้าที่เวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมงเท่านั้น

งานวิจัยนี้เก็บตัวอย่างโดยใช้ activated carbon ที่บรรจุอยู่ในถุงขามาเป็นตัวดูดซับ พบว่าสามารถใช้ดูดซับน้ำมันเบนซินที่เกาะอยู่ที่พื้นรองเท้าได้มากเนื่องจากเมื่อวิเคราะห์พบว่าผง activated carbon มีรูพรุนจำนวนมาก และมีขนาดเล็กประมาณ 10 nm เหมาะสำหรับการนำมาทำเป็นตัวดูดซับน้ำมันเบนซิน สอดคล้องกับ Muller *et al.* (2011) และคณะที่ใช้ activated charcoal strip ในการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือ พบว่าสามารถดูดซับน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือได้ดี เช่นเดียวกับ Raruenrom (2008) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเบนซินของ activated carbon และ charcoal strip ที่มีขายสำเร็จรูปในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิง พบว่ามีประสิทธิภาพการดูดซับใกล้เคียงกันมาก

จากการศึกษาจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณของน้ำมันเบนซิน ที่ตรวจพบบนพื้นรองเท้าผ้าใบภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องนั้นมีค่าสูงกว่าที่ตรวจพบภายหลังการเหยียบบนพื้นชนิดอื่น เนื่องจากพื้นกระเบื้องนั้นเป็นพื้นเรียบ ๆ และยังมีมีการเคลือบเงาอีกด้วย ส่งผลให้น้ำมันเบนซินซึมไม่สามารถซึมลงไปในพื้นกระเบื้องได้ เมื่อเหยียบจึงมีปริมาณของน้ำมันติดมาบนพื้นรองเท้าผ้าใบมากที่สุด ส่วนพื้นคอนกรีตนั้นมีส่วนผสมหลักของคอนกรีตประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (หิน หินทราย หรือ กรวด) และน้ำ เมื่อมันแข็งตัวแล้วพบว่าด้านบนสุดของผิวคอนกรีตทดลองนั้น พื้นผิวขรุขระไม่เรียบ และมีรูพรุน เมื่อหยดน้ำมันลงไปน้ำมันจึงซึมลงไปในพื้นคอนกรีต และจากการที่มีพื้นผิวไม่เรียบนั้น ส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันติดมากับรองเท้าได้น้อยกว่า ปริมาณที่ตรวจพบจึงน้อยกว่าพื้นกระเบื้องมาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Smale *et al.* (2014) ที่ศึกษาการเปรียบเทียบเทคนิคที่ใช้สกัดตัวอย่างที่ติดไฟได้จากพื้นคอนกรีต พบว่า 4 จาก 16 ตัวอย่างไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ และสัญญาณวัดได้ยังมีค่าน้อยและมีสัญญาณรบกวนเยอะ และในส่วนของพื้นดินนั้นจะพบปริมาณของน้ำมันน้อยที่สุด เป็นผลมาจากดินนั้นมีการทับถมกันเป็นชั้น ๆ ในแต่ละชั้นจะมีสี โครงสร้าง และขนาดของอนุภาคดินที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันอาจซึมผ่านลงไปดินในส่วนของดินชั้นบนได้มาก เนื่องจากเป็นชั้นของอินทรีย์วัตถุ และดินแร่ที่มีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว เนื้อดินจะมีความพรุนมากสามารถระบายน้ำและอากาศได้ดี

ผลการวิจัยนี้สามารถพัฒนาการเก็บตัวอย่างที่ง่ายและสะดวกและสามารถวิเคราะห์ได้ปริมาณน้อยด้วยเทคนิค GC-FID สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์หาหลักฐานเพื่อใช้ในการยืนยันตัวผู้กระทำความผิดและเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสืบสวนสอบสวน กระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย โครงการหลักสูตรบัณฑิตศึกษา สาขานิติวิทยาศาสตร์ จากกองทุนส่งเสริมและพัฒนาดุษฎีวิทยาดุษฎี สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร สัญญาเลขที่ SC-FS-2562-02

6. เอกสารอ้างอิง

- Almirall, J. R., J. Wang, K. Lothridge and K.G. Furton. 2000. **The detection and analysis of ignitable liquid residues extracted from human skin using SPME/GC.** Journal of Forensic Science International 45 (2), (June): 453-461.
- Becker R., M. Koch, S. Wachholz and T. Win. 2002. **Quantification of total petrol hydrocarbons (TPH) in soil by Infrared Spectrometry and Gas Chromatography - conclusions from three proficiency testing rounds.** Journal of Accreditation and Quality Assurance. 7, (March): 286-289.
- Chaiyavech P. 2009. **Petroleum Technology.** 2nd ed. Chulalongkorn University Press., Bangkok (in Thai)
- Coulson, S. and R. Morgan-Smith. 2000. **The transfer of petrol on to clothing and shoes while pouring petrol around a room.** Journal of Forensic Science International 112, (March): 135-141.
- Coulson, S., R. Morgan-Smith, S. Mitchell and T. McBriar. 2008. **An investigation into the presence of petrol on the clothing and shoes of members of the public.** Journal of Forensic Science International. 175, (June): 44-54
- Darrer, M., J. Jacquemet-Papilloud and O. Delémont. 2008. **Gasoline on hands: Preliminary study on collection and persistence.** Journal of Forensic Science International. 175, (August): 171-178.
- Jugjai S. 2004. **Combustion.** Chulalongkorn University Press., Bangkok. (in Thai)
- Li Y., L. Wang, J. Yan, D. Liang and H. Shen. 2014. **Persistence study on gasoline compound in soil matrix and its application in fire investigation.** Procedia Engineering, 71, 600-605
- Montani I., S. Comment, and O. Delémont. 2010. **The sampling of ignitable liquids on suspects' hands.** Journal of Forensic Science International. 194, (January): 115-124.
- Muller D., A. Levy , and R. Shelef. 2011. **Detection of gasoline on arson suspects' hands.** Journal of Forensic Science International. 206, (August): 150-154.
- Raruenrom J. 2008. **Application of activated carbon to the identification of flammable liquids.** Master's degree in forensic science program. Graduate school. Silpakorn University. (in Thai)
- Smale T., I. Arthur and D. Royds. 2014. **A comparison of techniques for extracting ignitable liquid residue from concrete.** Australian Journal of Forensic Sciences 46, (September): 216-223.
- Soonkum T. 2015. **Identification of gasoline on the arsonist's hands and clothes by the technique of gas chromatography-flame ionization detector (GC-FD).** Master's degree in forensic science program. Graduate school. Silpakorn University. (in Thai)
- Stauffer E., J.A. Dolan and R. Newman. 2008. **Fire Debris Analysis.** 1st ed. Academic Press., Massachusetts

(Received: 14/Apr/2019, Revised: 28/Apr/2020, Accepted: 5/May/2020)