



Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology



Volume 17, Issue 1, January - June 2025, Pages 1 – 12 ISSN 2985-2641 (Online)

Research Article

การตรวจพิสูจน์ร่องรอยเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือจากเหตุลอบวางเพลิง Identification trace residue of solid alcohol fuel in arson case

ธัญญา ศูนย์คุ้ม^{1*}, ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง²

Thananya Soonkum^{1*}, Sirirat Choosakoonkriang²

¹สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

¹Forensic Science Program, Faculty of Science, Silpakorn University.

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

²Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University.

*Corresponding author, e-mail: Thananya.soonkum@gmail.com

Received: 8 March 2024; **Revised:** 4 November 2024; **Accepted:** 6 November 2024

บทคัดย่อ

การวางเพลิงเป็นอาชญากรรมที่ร้ายแรงชนิดหนึ่งที่ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ในการลอบวางเพลิงพบว่ามีการใช้ในการวางเพลิง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อตรวจพิสูจน์ร่องรอยเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือจากเหตุลอบวางเพลิงด้วยเทคนิค SPME-GCMS โดยการทดลองนำแอลกอฮอล์แข็ง 1 ชิ้น (ขนาด 12 กรัม) วางลงบนกองผ้า (20 x 20 x 15 ซม.) จากนั้นจุดไฟให้มีการเผาไหม้เป็นเวลา 30 นาที ดับไฟโดยใช้น้ำ จากนั้นเก็บตัวอย่างที่เหลืออยู่จากการเผาไหม้ หลังจากดับเพลิงทันที ผ่านไป 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง 5 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 7 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง 9 ชั่วโมง 10 ชั่วโมง 11 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค solid-phase microextraction (SPME) gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) เป็นตัวตรวจวัด ผลการทดลองตรวจพบเอทานอลและไอโซโพรพานอลที่ใช้อยู่เป็นในตัวอย่างที่เหลืออยู่จากการเผาไหม้ และสามารถตรวจพบตัวบ่งชี้ของการมีอยู่ของเมื่อเวลาผ่านไป 7 ชั่วโมงภายหลังการดับไฟ ถ้าเก็บตัวอย่างนานกว่านั้นตรวจไม่พบร่องรอยของได้อีก งานวิจัยนี้ช่วยสนับสนุนการตรวจพิสูจน์เหตุลอบวางเพลิงที่ใช้เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งในการวางเพลิงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง; เอทานอล; ไอโซโพรพานอล; SPME GC-MS; ลอบวางเพลิง

Abstract

Arson is one of the most dangerous crimes. Fires can extensively damage properties and endanger human lives. Accelerant probably used in arson fires was solid alcohol fuel sources. The objectives of this work were for the detection and identification of ignitable solid alcohol fuel residues by solid-phase microextraction (SPME) gas chromatography – mass spectrometry (GC-MS) technique. In this experiment, one piece of solid alcohol fuel was placed on a pile of cloth (20 x 20 x 15 cm) and then the samples were ignited using a gas torch. The fires were left to burn freely for thirty minutes and extinguished with dry chemical. The burnt remains were collected immediately and at 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 and 12 hours after the fire had been put out and analyzed by SPME-GCMS. The results showed that remains burned with ethanol and isopropanol tested positive for solid alcohol fuels, while those burned without solid alcohol fuel tested negative. The ethanol and isopropanol components on samples collected at 7 hours after the fire were still detected. This work reveals the capability of the method used to identify solid alcohol fuel residues that may be applicable in forensic investigation cases.

Keywords: Solid Alcohol Fuel; Ethanol; Isopropanol; SPME GC-MS; Arson

บทนำ

การวางเพลิงเป็นอาชญากรรมที่ร้ายแรงชนิดหนึ่งที่เกิดจากความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินของผู้เสียหาย แต่ในทางกลับกันกลับเกิดขึ้นได้ง่าย โดยใช้เพียงไม้ขีดไฟ เชื้อเพลิง และวัสดุที่ติดไฟก็สามารถทำให้เกิดจุดต้นเพลิงที่จะลุกลามไปเป็นเพลิงไหม้ ซึ่งจะพบว่าสิ่งที่กล่าวมาข้างต้นเป็นสิ่งของที่สามารถพบเจอในชีวิตประจำวัน โดยน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงพื้นฐานในยานพาหนะที่ใช้อยู่เป็นประจำ น้ำมันเชื้อเพลิงที่นิยมใช้ในการวางเพลิง คือ น้ำมันเบนซิน ที่ถูกใช้เป็นส่วนใหญ่ แต่เมื่อไม่นานมานี้มีเชื้อเพลิงทางเลือกที่มีแนวโน้มว่าจะมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการลงวางเพลิงอีกชนิดหนึ่งคือ ก้อนแอลกอฮอล์ แข็งสำหรับประกอบอาหาร เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก และสามารถพบเจอในชีวิตประจำวัน

แอลกอฮอล์แข็ง หมายถึง เชื้อเพลิง ที่ใช้แอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบหลัก อาศัยอยู่ในสภาพแข็ง กึ่งแข็ง หรือเจล เหมาะสำหรับการอุ่นอาหาร และหุงต้ม ผลิตมาจากการดัดเตยริก แอลกอฮอล์เหลว โซเดียมไฮดรอกไซด์ น้ำ และ Hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) [1] ทั้งนี้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข (2547) กำหนดว่าแอลกอฮอล์น้ำที่นำมาผลิตเป็นแอลกอฮอล์แข็งๆ จะต้องไม่ใช่เมทิลแอลกอฮอล์ (เมทานอล) และ/หรือกำหนด ไม่เกินร้อยละ 1 โดยปริมาตร [2] จึงนิยมใช้เอทานอล หรือเอทิลแอลกอฮอล์ มีสูตรเคมี C_2H_5OH เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งเป็นของเหลวไม่มีสี ระเหยง่ายสามารถลอยได้ในน้ำ และสารละลายอินทรีย์อื่น ๆ เช่น ไอโซโพรพานอล เป็นองค์ประกอบ เนื่องจากเอทานอลติดไฟง่าย มีความไวไฟ และค่าออกเทนสูง โดยเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 ให้ค่าออกเทนสูงถึง 113 เอทานอลประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นอนุพันธ์หมู่ไฮดรอกซิลของไฮโดรคาร์บอน เกิดจากการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมด้วย hydroxyl group (OH) มีน้ำหนักโมเลกุล 46.07 ความหนาแน่น 0.789 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว -114.1 องศาเซลเซียส จุดเดือด 78.5 องศาเซลเซียส สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย อาทิ ใช้ผลิตอาหาร และเครื่องดื่ม แอลกอฮอล์ ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากเอทานอล และไอโซโพรพานอล มีจุดวาบไฟต่ำ ที่ 12 องศาเซลเซียส และขีดจำกัดต่ำสุดของการติดไฟร้อยละ 1.3 และร้อยละ 2.0 ตามลำดับ นั่นคือส่วนที่เป็นไอระเหย

เพียงร้อยละ 1.3 และร้อยละ 2.0 ของอากาศ ตามลำดับ ทำให้เกิดการจุดติดไฟได้ สำหรับการเกิดไฟต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน [3] คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน และ ความร้อน ในสถานะที่เหมาะสมแล้วให้พลังงานออกมาในรูปของพลังงานความร้อนและพลังงานแสงสว่าง นอกจากนี้จะต้องมีปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) ของการสันดาป แต่เมื่อปฏิกิริยาลูกโซ่ขาดตอนลงเมื่อใดการสันดาปก็จะหยุดลง ไฟก็จะดับลงด้วย

จากการค้นคว้าหาข้อมูลจะพบว่า Marta Ferreiro-Gonzalez และคณะ (2015) [4] ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาตัวดูดซับแบบผงคาร์บอนนำมาใช้ร่วมกับเทคนิค HS-MS (headspace mass spectrometry) สำหรับการตรวจพิสูจน์เชื้อเพลิง โดยอ้างอิงสภาวะการทดสอบ Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) ของ ASTM E1412-19 และ ASTM E1618 - 11 นำ carbon strips มาดูดซับเชื้อเพลิงที่หลงเหลือจากเหตุเพลิงไหม้ ชนิดของเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันก๊าด น้ำมันพาราฟิน และ แอลกอฮอล์ และวัตถุติดไฟ ได้แก่ ไม้ ผ้าฝ้าย ไม้คอก กระดาษ และกระดาษแข็ง เก็บตัวอย่างแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค headspace mass spectrometry พบว่าเป็นวิธีที่ให้ผลการทดสอบที่รวดเร็ว ปลอดภัย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมถึงยังมีงานวิจัยของ Ina Fettig และคณะ(2014) [5] ที่ศึกษาการพัฒนาเทคนิค Headspace Solid-Phase Microextraction (SPME) ในการวิเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากเศษซากที่หลงเหลือจากการเกิดไฟไหม้ โดยเทคนิค SPME ใช้วัสดุดูดซับ (Fiber) ในการดูดซับไอระเหยเชื้อเพลิงเหลวแล้ววิเคราะห์ด้วยเข้าสู่ GC-MS ต่อไป ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วัสดุดูดซับ (Fiber) ชนิด Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS) โดยการพัฒนาเทคนิคดังกล่าว ด้านอุณหภูมิและเวลาของการสกัดตัวอย่าง อุณหภูมิและเวลาของการดูดซับจากตัวอย่าง และเวลาของการปลดปล่อยออกจากตัวดูดซับเข้าสู่ GC-MS ต่อไป เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ในการวิจัยคือ น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลที่ถูกเติม (spike) ลงบนวัสดุที่ถูกเผาไหม้ พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการตรวจวัดน้ำมันเบนซินคือ อุณหภูมิและเวลาของการสกัดตัวอย่างรวมถึงการดูดซับจากตัวอย่างที่ 50 องศาเซลเซียส และ 30 นาที ตามลำดับ และเวลาของการปลดปล่อยออกจากตัวดูด 5 นาที ถ้าเป็นน้ำมันดีเซลต้องใช้อุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียส

Addulrhman M Dhabbah และคณะ (2014) [6] ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการตรวจพบร่องรอยของน้ำมันเบนซินบนพรมหนา 5 มิลลิเมตร ที่เป็นความหนาที่ให้ผลการตรวจพบร่องรอยของน้ำมันเบนซินที่ดีที่สุด หลังจากเกิดการเผาไหม้ได้นานถึง 5 ชั่วโมง ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ทั้งนี้สามารถตรวจพบร่องรอยของน้ำมันเบนซินที่ปริมาตรน้อยกว่า 200 ไมโครลิตร บนวัสดุ 4 ชนิด ได้แก่ ไม้ ผ้าไหม ผ้าฝ้าย และผ้าพอลิเอสเตอร์ พบว่าสามารถตรวจพบร่องรอยของน้ำมันเบนซินได้นาน 5 ชั่วโมง ดูจาก % evaporation เป็น 100% เมื่อผ่านไปมากกว่า 6 ชั่วโมง ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS

A. Akmeemana และคณะ (2017) [7] ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการไพโรไลซิส (Pyrolysis) วัสดุที่สามารถสะสมเชื้อเพลิง เช่น ไม้ พรม ผ้าฝ้าย เป็นต้น เมื่อนำมาทำปฏิกิริยาสลายตัวด้วยความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจนจะทำให้กากของแข็ง ก๊าซที่ไม่ควบแน่น และของเหลว โดยเมื่อใช้เทคนิค GC-MS ตามวิธีทดสอบของ ASTM E1618 (2014) [8] จะให้องค์ประกอบหลักที่ตามผลบ่งชี้จากฐานข้อมูล the Ignitable Liquids Reference Collection (ILRC) แสดงว่ามีองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน 221 ชนิด อาทิ เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล เบนซิน และโทลูอิน สอดคล้องกับฐานข้อมูลมาตรฐานของ ASTM E1618-14 อีกด้วย

งานวิจัยที่พบส่วนใหญ่นั้นใช้เชื้อเพลิงเหลว คือ น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล เป็นหลักในการลอบวางเพลิง จะพบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจพิสูจน์ร่องรอยแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือจากเหตุลอบวางเพลิงมีอยู่ไม่มาก และเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่มีแนวโน้มจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงก่อเหตุ เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงในชีวิตประจำวันทั่วไปและใช้กันอย่างแพร่หลายทางในการอุ่นอาหาร อุปกรณ์ที่แอลกอฮอล์แข็งถูกนำมาใช้ในการวางเพลิงในต่างประเทศและในประเทศไทย ยังไม่พบว่าถูกใช้ระบุในสำนวนคดีว่าถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการลอบวางเพลิง และเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดในการหาชนิดของเชื้อเพลิงไม่พบ เมื่อใช้การตรวจหาเชื้อเพลิงด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ในสภาวะที่ใช้งานเป็นประจำที่มีอยู่

(สภาวะเบนซิน) ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเทคนิค SPME-GC-MS สำหรับวิเคราะห์ร่องรอยของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้ให้สภาวะการทดลองของเทคนิค SPME-GC-MS ในงานวิจัยนี้ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ระบุว่าเป็นเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง ซึ่งกำหนดโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม และสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข (2547) [1] สามารถใช้เป็นเอทานอลและไอโซโพรพานอลเป็นองค์ประกอบหลัก จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยเห็นถึงความสำคัญการตรวจพิสูจน์ร่องรอยของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้ที่จะเป็นแนวตรวจพิสูจน์เชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ ๆ ที่มีโอกาสเป็นเชื้อเพลิงก่อเหตุวางเพลิงต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาร่องรอยและระยะเวลาการคงอยู่ของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ที่ปัจจุบันใช้กันอย่างแพร่หลายในการอุ่นอาหารจานร้อน หรือเป็นเชื้อก่อเตาไฟ มีความสามารถในการติดไฟใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจพิสูจน์เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง โดยใช้ SPME-GC-MS

ชั่งเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งแบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์สีชมพู 1 g (ภาพที่ 1) ใส่ลงในขวด Headspace Vial ขนาด 20 ml พร้อมปิดฝาให้เรียบร้อย จากนั้นวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ในสภาวะการทดลองดังนี้

GC:	SPME-GC-MS ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 7890A-5977B	
SPME fiber:	50/30 μ m DVB/CAR/PDMS, 23Ga Autosampler (Gray, Supelco)	
คอลัมน์:	HP-5MS; Methyl Siloxane Capillary (ความยาว 30 เมตร ความหนา 500 ไมโครเมตร และความกว้าง 0.32 มิลลิเมตร)	
ตัวตรวจวัด:	Mass Spectrometer	
แก๊สดำพา:	Helium	อัตราการไหล: 1 mL/min
อัตราส่วนเข้าส่วนที่ฉีด:	100:1	อุณหภูมิที่ส่วนฉีด: 220 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิที่ตัวตรวจวัด:	220 องศาเซลเซียส	ช่วงมวลที่ตรวจวัด: 45-300 amu

โปรแกรมอุณหภูมิ: เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยคงที่เป็นเวลา 0.8 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์จนถึง 50 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที คงไว้เวลาน 0.4 นาที เพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์จนถึง 100 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 30 องศาเซลเซียส/นาที คงไว้เวลาน 0.1 นาที เพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์จนถึง 180 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 90 องศาเซลเซียส/นาที และเพิ่มอุณหภูมิของคอลัมน์จนถึง 220 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 120 องศาเซลเซียส/นาที คงไว้เวลาน 5.0 นาที

สภาวะของ SPME: อุณหภูมิการสกัด 40 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

อุณหภูมิการดูดซับ 40 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

เวลาการปลดปล่อยจากตัวดูดซับ 3 นาที

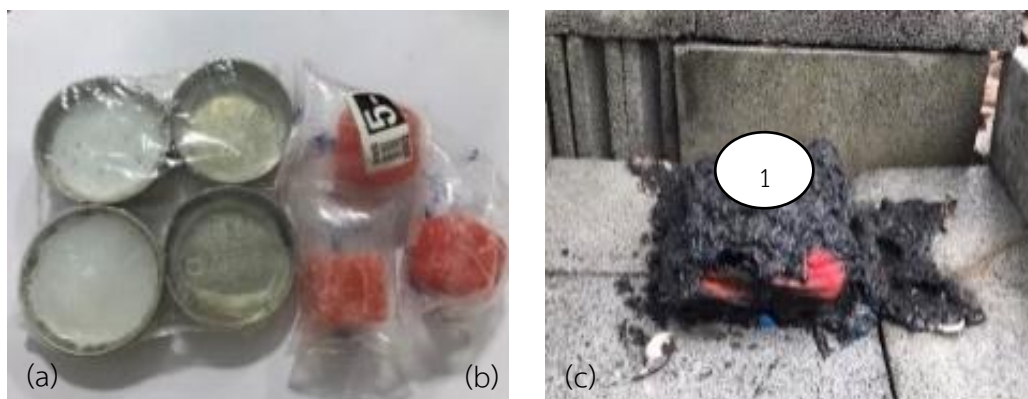
(ดัดแปลงมาจาก ASTM E1618(2014) [8]) ทำการทดลองซ้ำกับตัวอย่างเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งแบบถาดอลูมิเนียมสีขาว (ภาพที่ 1) ดังสภาวะข้างต้น

2. การศึกษาการตรวจวัดปริมาณเอทานอลที่หลงเหลือภายหลังการเกิดเพลิงไหม้โดยการสร้างกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารมาตรฐานเอทานอลที่ปริมาตร 0, 171, 343, 856, 1,713, 2,569 และ 3,425 mmol (mL) ลงในขวด Headspace Vial ขนาด 20 ml พร้อมปิดฝาให้เรียบร้อย จากนั้นนำเอทานอลที่เตรียมวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ในสภาวะการทดลองดังข้อ 1 จากนั้นนำพื้นที่ใต้พีคของเอทานอล และปริมาณของเอทานอลที่ใช้มาสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) เพื่อใช้เปรียบเทียบปริมาณที่ตรวจวัดได้ของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งในซากตัวอย่างภายหลังการเผาไหม้ต่อไป

3. ศึกษาการตรวจพิสูจน์ร่องรอยของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนตัวอย่างที่ผ่านการเผาไหม้

นำเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง 1 ชิ้น วางลงบนกองผ้าขนาด 20 x 20 x 15 เซนติเมตร จากนั้นจุดไฟที่เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง ปล่องไฟให้ไฟลุกไหม้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นดับไฟด้วยน้ำ เก็บตัวอย่างผ้าฝ้ายภายหลังการเผาไหม้ที่ตำแหน่งหมายเลข 1 ขนาด 1x1 เซนติเมตร ใส่ลงในขวด Headspace Vial ขนาด 20 ml เป็นตัวอย่างของหลังจากดับเพลิงทันทีผ่านไป 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง 5 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 7 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง 9 ชั่วโมง 10 ชั่วโมง 11 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ในสภาวะการทดลองดังข้อที่ 1



ภาพที่ 1 เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่ใช้ในการทดลอง

(a) แบบถาดอลูมิเนียมสีขาว ยี่ห้อ เพาเวอร์ (POWER) (b) แบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์สีชมพู ยี่ห้อ ริโกะ (RIKO)

(c) ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่างผ้า ตำแหน่งหมายเลข 1

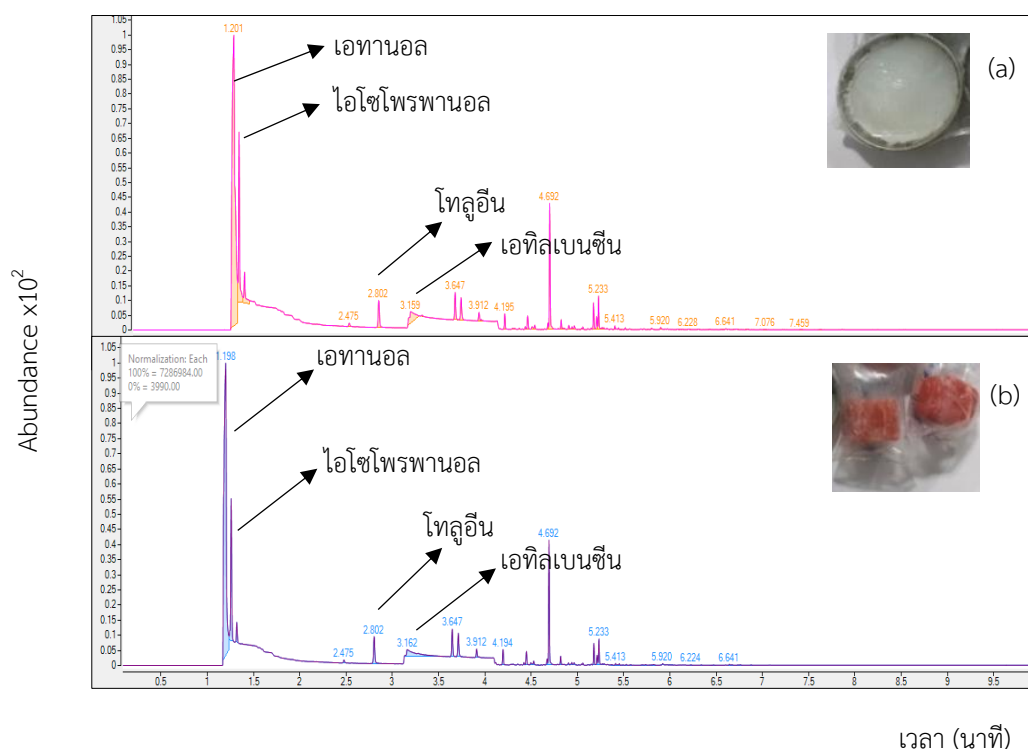
ผลการวิจัย

ผลการศึกษาลักษณะของไอออนโครมาโตแกรม เมื่อทำการวิเคราะห์เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง 2 แบบ ดังภาพที่ 1 ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ได้แสดงไอออนโครมาโตแกรมขององค์ประกอบต่าง ๆ ในเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง พบว่าเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง 2 แบบ มีลักษณะไอออนโครมาโตแกรมไม่แตกต่างกัน สามารถใช้สภาวะการทดลองร่วมกันได้ เมื่อใช้เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งต่างชนิดกัน ดังภาพที่ 2 และมีค่า Retention time ดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งทั้ง 2 แบบ ประกอบด้วย เอทานอล ไอโซโพรพานอล โทลูอีน เอทิลเบนซีน และกลุ่มสารประกอบเติมแต่งสี กลิ่น และสารคงรูป เช่น alpha-Pinene beta-Pinene o-Cymene และ D-Limonene เป็นต้น ทั้งนี้ สเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์เทียบกับสเปกตรัมของฐานข้อมูล NIST17 [9] พบว่าองค์ประกอบที่ Retention time เท่ากับ 1.198 นาที และ 1.259 นาที คือ เอทานอล และไอโซโพรพานอล ที่มี mass

spectrum แสดง m/z เด่นของเอทานอล และไอโซโพรพานอล ตามลำดับ มีค่า Resolution เท่ากับ 1.53 โดยค่าอ้างอิง Resolution ของ USP 31 มากกว่า 1.50 อีกทั้งค่า Alkane Index ที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 480 และ 496 ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง ± 15 กับ Alkane Index จากฐานข้อมูล NIST17 ดังนั้น เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งทั้ง 2 แบบ มีองค์ประกอบหลักคือ เอทานอล และไอโซโพรพานอล จึงเป็นองค์ประกอบที่ใช้ในการบ่งชี้ว่าเป็นเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง สำหรับการตรวจพิสูจน์ร่องรอยเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้

เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการรบกวนของสารตัวอื่น ๆ ต่อไอออนโครมาโตแกรมของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งในการวิเคราะห์ จึงนำขวด Headspace Vial ขนาด 20 ml และตัวอย่างจากกองเสื้อผ้า มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME GC-MS ที่สภาวะและคอลัมน์เดียวกัน พบว่าไอออนโครมาโตแกรมที่ได้ไม่ปรากฏโครมาโตแกรมใด ๆ ที่รบกวนโครมาโตแกรมของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง รวมถึงโครมาโตแกรมของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่ปนเปื้อนวัตถุมาก่อน

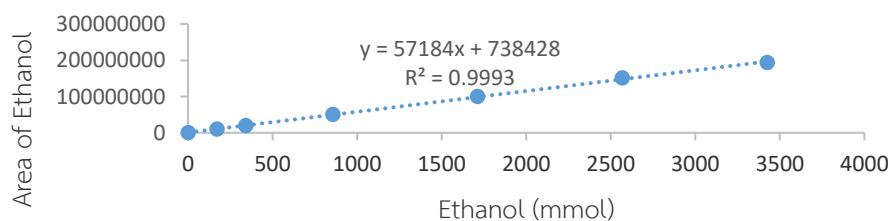


ภาพที่ 2 ไอออนโครมาโตแกรมของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง (a) เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งแบบถาดลูมิเนียมสีขาว ยี่ห้อ เพาเวอร์ (POWER) (b) เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งแบบสีเหลี่ยมลูกบาศก์สีชมพู ยี่ห้อ ริโกะ (RIKO)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบเนื้อพืชแอลกอฮอล์แข็ง									
ชื่อพืชแอลกอฮอล์แข็ง		สเปกตรัมของสารประกอบ			สเปกตรัมของสารประกอบ			Library NIST17 Alkane index	
สารประกอบ	โครงสร้าง	มวลโมเลกุล	Retention time (min)	Qual*	Alkane index**	Qual*	Alkane index**	Alkane index**	LRI
Ethanol		46	1.198	9	480	9	480	480	421
Isopropyl Alcohol		60	1.257	5	496	5	496	496	496
Toluene		91	2.802	90	709	90	709	709	751
Ethylbenzene		106	3.647	50	1316	50	1316	1316	2024
alpha-Pinene		136	4.194	94	977	97	977	977	937
beta-Pinene		136	4.450	94	1508	94	1508	-	943
o-Cymene		134	4.674	92	950	94	1050	1015	1015
D-Limonene		136	4.692	99	1062	99	1062	1018	1018
gamma-Terpinene		136	4.820	97	1213	97	1213	1240	1240
Cyclohexanone, 5-methyl-2-(1-methyl-2-propenyl)-, cis-		154	5.179	97	1334	97	1334	1165	1165

* Qual คือ ค่าแสดงความเหมือนของสเปกตรัมเมื่อเทียบกับสเปกตรัมของฐานข้อมูล NIST17
** Alkane Retention Index

ผลการศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง พบว่าการวิเคราะห์ปริมาณของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง โดยวิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve) ของเอทานอล โดยพลอตกราฟให้แกน y เป็นค่าจากพื้นที่ใต้พีคของเอทานอล และส่วนแกน x เป็นปริมาตรของเอทานอล 0, 171, 343, 856, 1,713, 2,569 และ 3,425 mmol (mL) จะได้สมการเส้นตรง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สมการเส้นตรง (Linear Equation) ของเอทานอล

จากภาพที่ 3 สมการเส้นตรง (Linear Equation) คือ $y = 57184x - 738428$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9993 แสดงให้เห็นว่าสมการเส้นตรงที่มีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งมีความมากกว่า R^2 ของ ไอโซโพรพานอล เท่ากับ 0.9990 จึงเลือกใช้สมการดังกล่าวคำนวณหาปริมาณของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง มีขีดจำกัดการตรวจพบ (LOQ) เท่ากับ 41 mmol (mL) และมีค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 12 mmol (mL)

ผลการศึกษาการตรวจพิสูจน์ร่องรอยของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้ พบว่าการศึกษาตรวจพิสูจน์ร่องรอยเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้ ทำการทดลองโดยนำเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งแบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์สีชมพู 1 ชิ้น วางลงบนกองผ้า จากนั้นจุดไฟที่เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งปล่อยให้ไฟลุกไหม้จนกระทั่งไฟดับลง เก็บตัวอย่างขนาด 1x1 เซนติเมตร หลังจากดับเพลิงทันที ผ่านไป 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง 5 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 7 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง 9 ชั่วโมง 10 ชั่วโมง 11 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SPME GC-MS ได้ไอออนโครมาโตแกรมที่แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ และตรวจพบโครมาโตแกรมที่ Retention time 1.198 นาที และ 1.257 นาที นั่นคือ เอทานอล และไอโซโพรพานอล ตามลำดับ จึงระบุได้ว่าตรวจพบเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง พบร่องรอยของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งชัดเจนที่สุดไม่เกิน 2 ชั่วโมง มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และเมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมงแล้วจะตรวจไม่พบร่องรอยของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งอีก ดังภาพที่ 4



(b) แบบภาคต่อลิเนียร์สีขาว หลังจากดับเพลิงทันที เวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ร่องรอยเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้

เวลาที่เก็บตัวอย่าง หลังดับไฟ	เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง แบบสี่เหลี่ยมลูกบาศก์สี่มุม		เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง แบบถาดอลูมิเนียมสี่ขา	
	ปริมาณของ	ร้อยละของเอทานอล	ปริมาณของ	ร้อยละของเอทานอล
	เอทานอล	ในที่หลงเหลือ	เอทานอล	ในที่หลงเหลือ
	ที่หลงเหลือ	(% Relative Residues)	ที่หลงเหลือ	(% Relative Residues)
	mmol (mL)		mmol (mL)	
หลังจากดับเพลิงทันที	6,748	100	6,742	100
1 ชั่วโมง	6,580	98	6,515	97
2 ชั่วโมง	4,135	61	4,225	63
3 ชั่วโมง	2,769	41	2,963	44
4 ชั่วโมง	1,530	23	2,592	38
5 ชั่วโมง	563	8	564	8
6 ชั่วโมง	297	4	293	4
7 ชั่วโมง	282	4	280	4
8 ชั่วโมง	Not detect	0	Not detect	0

จากตารางที่ 2 พบว่าตรวจพบปริมาณเอทานอลของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งทั้ง 2 แบบที่หลงเหลือในตัวอย่างผ้าฝ้ายภายหลังการเผาไหม้ โดยพบว่าเมื่อเก็บตัวอย่างผ้าฝ้ายภายหลังการดับไฟ เมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 6 ชั่วโมง ปริมาณเอทานอลจะลดลงอย่างรวดเร็ว ตรวจพบร่องรอยเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งเพียง ร้อยละ 4 (297 mmol (mL)) เมื่อเทียบกับปริมาณเอทานอลที่เก็บตัวอย่างผ้าฝ้ายทันทีภายหลังไฟดับ ซึ่งมากกว่าขีดจำกัดการตรวจพบ (LOQ) ปริมาณเอทานอลของแอลกอฮอล์แข็งคือ 41 mmol (mL) และหลังจากระยะเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมง จะไม่สามารถตรวจพบปริมาณเอทานอลของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ M. F. Gonzalez และคณะ (2015) [4] เกี่ยวกับการพัฒนาเทคนิค HS-MS (headspace mass spectrometry) สำหรับการตรวจพิสูจน์เชื้อเพลิง โดยมีเอทานอลเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงวิจัย ทำการทดลองหาค่าเอทานอลปริมาณ 500 ไมโครลิตร บนผ้าฝ้าย (วัสดุเผาไหม้ที่ศึกษา) เผาและดับไฟ นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-MS พบว่าไอออนโครมาโตแกรมที่ได้ตรวจพบร่องรอยของเอทานอลจากผ้าฝ้ายที่ถูกเผาไหม้เช่นเดียวกัน

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยเรื่อง การตรวจพิสูจน์เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้ด้วยเทคนิค SPME-GC-MS ได้ไอออนโครมาโตแกรมที่แสดงองค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งทั้ง 2 แบบ ประกอบด้วยเอทานอล ไอโซโพรพานอล โทลูอิน และเอทิลเบนซีน เช่นเดียวกัน และใช้สำหรับการบ่งชี้ร่องรอยเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งที่หลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้ด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ A. Akmeemana และคณะ (2017) [6] ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับฐานข้อมูลมาตรฐานองค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงเหลว พบว่ามีองค์ประกอบถึง 221 ชนิดในตัวอย่างของเชื้อเพลิงเหลว สารเคมีที่ใช้บ่งชี้เชื้อเพลิงเหลว พบว่ามีเมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล เบนซีน และโทลูอิน เป็นต้น งานวิจัยของ A. Grafit และคณะ (2018) [10] ศึกษาเกี่ยวกับเทคนิค Solid-phase microextraction (SPME) เป็นทางเลือกที่ดีมาก ใช้ทดแทนวิธีการสกัดแบบเดิม ๆ เริ่มใช้ในช่วงต้นทศวรรษ 1990 อุปกรณ์ที่สำคัญ คือ Fiber SPME ได้ทำการทดสอบวิเคราะห์ไอระเหยของน้ำมันเบนซินและเชื้อเพลิงดีเซลของ headspace-SPME พบว่าเป็นเทคนิคที่มีการประสิทธิภาพ สะดวก รวดเร็ว และการศึกษาผลกระทบของสารเร่งปฏิกิริยาเพลิงไหม้ต่อการเกิดเพลิงไหม้ในห้องและการสูดตัวอย่างเพื่อตรวจพิสูจน์ของเหลวติดไฟในเศษซากเพลิงไหม้ถือเป็นเครื่องมือสำคัญในการสืบสวนเหตุเพลิงไหม้ในคดีต้องสงสัยวางเพลิง โดยเลือกใช้เทคนิค Solid-phase microextraction (SPME) GCMS พบว่าเป็นเทคนิคที่มีการประสิทธิภาพ สะดวก รวดเร็วด้วยเช่นกัน [11]

ผลการวิจัยพบว่า ตรวจพบร่องรอยเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งหลงเหลือบนวัสดุที่ผ่านการเผาไหม้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ M. F. Gonzalez และคณะ (2015) [4] สามารถใช้เทคนิค SPME-GC-MS ในการตรวจพบร่องรอยเอทานอลหลงเหลือบนผ้าฝ้าย (วัสดุเผาไหม้ที่ศึกษา) ที่ผ่านการเผาไหม้เช่นเดียวกัน ในการทดลองนี้เอทานอลที่ตรวจพบเป็นองค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งสามารถตรวจพบร่องรอยบนซากตัวอย่างภายหลังการเผาไหม้ได้ โดยเมื่อเก็บตัวอย่างหลังจากเผาไหม้เป็น 4 ชั่วโมง พบปริมาณเอทานอลลดลงอย่างรวดเร็วเหลือเพียงร้อยละ 23 และร้อยละ 38 (ตารางที่ 2) และเมื่อเวลาผ่านไป 8 ชั่วโมงเป็นต้นไป จะไม่สามารถตรวจพบร่องรอยเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งได้อีก และงานวิจัยของ J.I. Cacho และคณะ (2014) [12] พัฒนาวิธีการตรวจวัดและแยกสารเชื้อเพลิงของเหลวด้วยเทคนิค headspace sorptive extraction (HSSE) จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันไฟแช็ก และน้ำมันสน เมื่อลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ A. M. Dhabbah และคณะ (2014) [6] ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการตรวจพบร่องรอยของน้ำมันเบนซินบนพรมที่เผาไหม้ สามารถตรวจพบร่องรอยของน้ำมันเบนซินชัดเจนได้แม้ผ่านไป 5 ชั่วโมงหลังจากดับไฟ และงานวิจัยของ M. Hodálík และคณะ (2022) [13] ตรวจพบร่องรอยของน้ำมันเบนซินได้ใน 6 ชั่วโมง ทั้งนี้ งานวิจัยของ A. N. Baghani

และคณะ (2022) [14] ศึกษาเกี่ยวกับการใช้น้ำมันประกอบอาหารมาผลิตเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็ง โดยมีองค์ประกอบดังนี้ เอทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดสเตียริก และ B-WCO (วัสดุทดลอง) มาทำปฏิกิริยากัน การตรวจพบเอทานอล ไอโซโพรพานอล โทลูอิน และเอทิลเบนซีน ในตัวอย่างหลงเหลือจากการเผาไหม้ เมื่อใช้เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งในการวางเพลิงนั้นพบว่า ในขณะที่เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งกำลังลุกไหม้ก่อนเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์เริ่มละลาย ทำให้ของเหลวบางส่วนซึมลงไปรอบๆบนวัสดุที่เกิดการเผาไหม้ เมื่อการเผาไหม้สิ้นสุดลงยังสามารถพบร่องรอยเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งหลงเหลืออยู่ให้ตรวจพิสูจน์ได้ แต่เนื่องจากเอทานอล และไอโซโพรพานอล ที่เป็นองค์ประกอบหลัก มีจุดเดือดค่อนข้างต่ำ ทำให้ระเหยได้ดี งานวิจัยนี้สามารถช่วยให้ทราบว่า การเก็บตัวอย่างจากคดีเพลิงไหม้ควรจะมีเก็บตัวอย่าง ไม่ควรปล่อยให้ระเหยหายไป เพราะจะทำให้ร่องรอยของการใช้เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แข็งหายไป งานวิจัยนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ได้ดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Aupaiboon, W. (1997). *Study to develop and improve the quality of hard alcohol*. Department of Science Service, pp. 1-16.
- [2] Thai Industrial Standards Institute. (2004). *TIS 950-247 solid alcohol fuel, list of compulsory standards*. Author.
- [3] Jugjai, S. (2003). *Combustion*. Chulalongkorn University Printery.
- [4] Gonzalez, M. F., Ayuso, J., Alvarez, J. A., Palma, M., and Barroso, C. G. (2015). Application of an HS-MS for the detection of ignitable liquids from fire debris. *Talanta*, 142, 150-156.
- [5] Fettig, I., Kruger, S., Deubel, J. H., Werrel, M., Raspe, T., and Piechotta, C. (2014). Evaluation of a headspace solid-phase microextraction method for the analysis of ignitable liquids in fire debris. *Forensic Sciences*, 59, 743-749.
- [6] Dhabbah, A. M., Al-Jaber, S. S., Al-Ghamdi, A. H., and Aqel, A. (2014). Determination of gasoline residues on carpets by spme-gc-ms technique. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 39(9), 6749-6756.
- [7] Akmeemana, A., Williams, M. R., and Sigman, M. E. (2017). Major chemical compounds in the Ignitable Liquids Reference Collection and Substrate databases. *Forensic Chemistry*, 5, 91-108.
- [8] American Society for Testing and Materials. (2014). *ASTM E1618: Standard test method for ignitable liquid residues in extracts from fire debris samples by gas chromatography-mass spectrometry*. West Conshohocken, PA: Author.
- [9] NIST Standard Reference Database. (2017). *NIST: NIST/EPA/NIH mass spectral library (NIST 17) and NIST mass spectral search program*. Gaithersburg, PA: National Institute of Standards and Technology.
- [10] Graft, A., Muller, D., Kimchi, S., and Avissar, Y. Y. (2018). Development of a Solid-phase microextraction (SPME) Fiber protector and its application in flammable liquid residues analysis. *Forensic Science International*, 292, 138-147.
- [11] Krüger, S., Deubel, J. H., Werrel, M., Fettig, I., and Raspe, T. (2014). Experimental studies on the effect of fire accelerants during living room fires and detection of ignitable liquids in fire debris. *Fire and Materials*, 39, 636-646.

- [12] Cacho, J. I., Campillo, N., Aliste, M., Viñas, P., and Hernández-Córdoba, M. (2014). Headspace sorptive extraction for the detection of combustion accelerants in fire debris. *Forensic Science International*, 238, 26-32.
- [13] Hodalik, M., Velkova, V., and Kackova, D. (2022). Comparing the weathering process of gasoline in selected residues by HS-GC-MS method. *Delta*, 16(1), 38-48.
- [14] Baghani, A. N., Sadjadi, S., and Yaghmaeian, K. (2022). Solid alcohol biofuel based on waste cooking oil: Preparation, properties, micromorphology, heating value optimization and its application as candle wax. *Renewable Energy*, 192, 617-630.