



การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าด้วยเทคนิค Headspace - Gas Chromatography -
Mass Spectrometry (HS-GC-MS)



โดย
นางสาวปัทมกร ราชสาวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าด้วยเทคนิค Headspace - Gas
Chromatography – Mass Spectrometry (HS-GC-MS)



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

EXAMINATION OF GASOLINE FROM SHOE SOLES BY THE HEADSPACE - GAS
CHROMATOGRAPHY – MASS SPECTROMETRY (HS-GC-MS)



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science FORENSIC SCIENCE
Department of FORENSIC SCIENCE
Academic Year 2023
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าด้วยเทคนิค Headspace - Gas Chromatography – Mass Spectrometry (HS-GC-MS)
โดย	นางสาวปัทมากร ราชสาวงค์
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์ แผนก ก แบบ ก 2
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชุสกุลเกรียง

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นรงค์ นิรมพาลี)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. อรทัย เขียวพุ่ม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชุสกุลเกรียง)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ยุภาพร สมิน้อย)

650720023 : นิติวิทยาศาสตร์ แผน ก แบบ ก 2

คำสำคัญ : การวางเพลิง, น้ำมันเบนซิน, ถ่านกัมมันต์, เฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตริก

นางสาว ปกักร ราชสาวงค์: การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าด้วยเทคนิค Headspace - Gas Chromatography – Mass Spectrometry (HS-GC-MS) อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี

การวางเพลิงถือเป็นคดีอาชญากรรมร้ายแรงที่สร้างมูลค่าความเสียหายจำนวนมากทั้งทรัพย์สินและชีวิต การหาพยานหลักฐานมาตรวจพิสูจน์ยืนยันผู้กระทำความผิดจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง การตรวจพบน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถชี้ให้เห็นถึงความเชื่อมโยงกันระหว่างพยานหลักฐานและผู้ต้องสงสัยวางเพลิง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ 6 ชนิด ได้แก่ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นพียู (PU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไพล่อน ด้วยเทคนิค HS-GC-MS โดยในงานวิจัยนี้ใช้น้ำมันเบนซิน 100 μ l หยดลงบนพื้นกระเบื้องและให้อาสาสมัครสวมรองเท้าแล้วเหยียบลงบนแผ่นกระเบื้องเป็นเวลา 30 วินาที ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ Activated carbon บรรจุในถุงชาเป็นตัวดูดซับไอระเหยน้ำมันเบนซินที่ระยะเวลาทันที 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมงภายหลังจากการเหยียบน้ำมันเบนซิน ในการวิเคราะห์โครมาโทแกรมพบว่า มีพีคที่สามารถระบุถึงน้ำมันเบนซิน ได้แก่ i-Pentane (1.61 นาที), n-Pentane (1.64 นาที), 2,2-Dimethylbutane (1.69 นาที), 2-Methylpentane (1.74 นาที), 3-Methylpentane (1.78 นาที), n-Hexane (1.81 นาที), Methyl cyclopentane (1.91 นาที), Benzene (2.03 นาที), Toluene (2.58 นาที), Ethylbenzene (3.39 นาที), p-Xylene (3.47 นาที) and o-Xylene (3.73 นาที) ผลการวิจัยพบว่าไอระเหยน้ำมันเบนซินถูกตรวจพบบนพื้นรองเท้าทุกตัวอย่างแม้ว่าจะผ่านการเหยียบน้ำมันเบนซินมาแล้ว 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบในทุกตัวอย่างมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ผลจากการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าของผู้ต้องสงสัยในคดีลอบวางเพลิงได้

650720023 : Major FORENSIC SCIENCE

Keyword : Arson, Gasoline, Activated Carbon, HS-GC-MS

MISS Papangkorn RACHSAWONG : Examination of Gasoline from Shoe Soles by the Headspace - Gas Chromatography – Mass Spectrometry (HS-GC-MS) Thesis advisor : Supachai Supalaknari, Ph.D.

Arson is one of the serious crimes that causes huge amounts of damage to property and lives. Finding evidences to verify the arson suspect is therefore extremely important. The detection of fuel residue can offer significant information to link evidence with an arson suspect. The purpose of this research was to examination of gasoline from various types of shoe soles by the Headspace gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-MS). Six different types of suspect's shoe soles; namely EVA, natural rubber, synthetic rubber, PU, PVC and Phylon were selected in this study. One hundred μl of gasoline liquid was dropped on tile floors. Samples were taken from shoe sole that were worn by a volunteer and stepped on the tile surface for 30 seconds. Activated carbon packed in a tea bag were used to collected gasoline vapor. The samples were taken immediately and at 3 h and 6 h after stepping on the tile floors. The peaks of i-Pentane (1.61mins), n-Pentane (1.64 mins), 2,2-Dimethylbutane (1.69 mins), 2-Methylpentane (1.74 mins), 3-Methylpentane (1.78 mins), n- Hexane (1.81 mins), Methyl cyclopentane (1.91 mins), Benzene (2.03 mins), Toluene (2.58 mins), Ethylbenzene (3.39 mins), p-Xylene (3.47 mins) and o-Xylene (3.73 mins) in the chromatogram of the sample were used to identify the gasoline. The results found that the gasoline vapor was detected in all samples even in the samples taken 6 h. after the deposition of gasoline liquid. Moreover, decreasing in the amount of gasoline was observed from peak areas in all samples collected at a longer period than immediately after the deposition of gasoline. The method developed in this study can be applied in the detection of gasoline on the suspect's shoe soles in arson cases.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง “การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าด้วยเทคนิค Headspace - Gas Chromatography – Mass Spectrometry (HS-GC-MS)” สามารถดำเนินงานจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ ดร. ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี และอาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการจัดทำโครงงานวิจัย รวมทั้งคณาจารย์และบุคลากร สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้ให้ความรู้และความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัย จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อรทัย เขียวพุ่ม ประธานกรรมการ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ยุภาพร สมีน้อย กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เสียสละเวลาในการตรวจสอบและให้คำแนะนำ เพื่อปรับปรุงแก้ไขการวิจัยนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณชาลิณี เวชอินทร์ ที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ ทางผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ผู้ซึ่งมีพระคุณสูงสุดที่ได้ให้การอุปการะและสนับสนุนผู้วิจัยมาโดยตลอด และผู้มีพระคุณทุกท่าน รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคนในการให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการจัดทำโครงการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกยินดีเป็นอย่างยิ่งจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ปภักร ราชสาวงค์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ข้อจำกัดงานวิจัย	3
1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะ	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันเบนซิน	5
2.2 ความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบการเกิดไฟ	11
2.3 ความรู้เกี่ยวกับถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)	14
2.4 ความรู้เกี่ยวกับพื้นรองเท้า.....	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
2.6 กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	26

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	27
3.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	27
3.2 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย	27
3.3 การกำหนดอาสาสมัคร.....	28
3.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	31
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	34
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปและอภิปรายผลงานวิจัย.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย.....	46
รายการอ้างอิง	47
ประวัติผู้เขียน	73



สารบัญตาราง

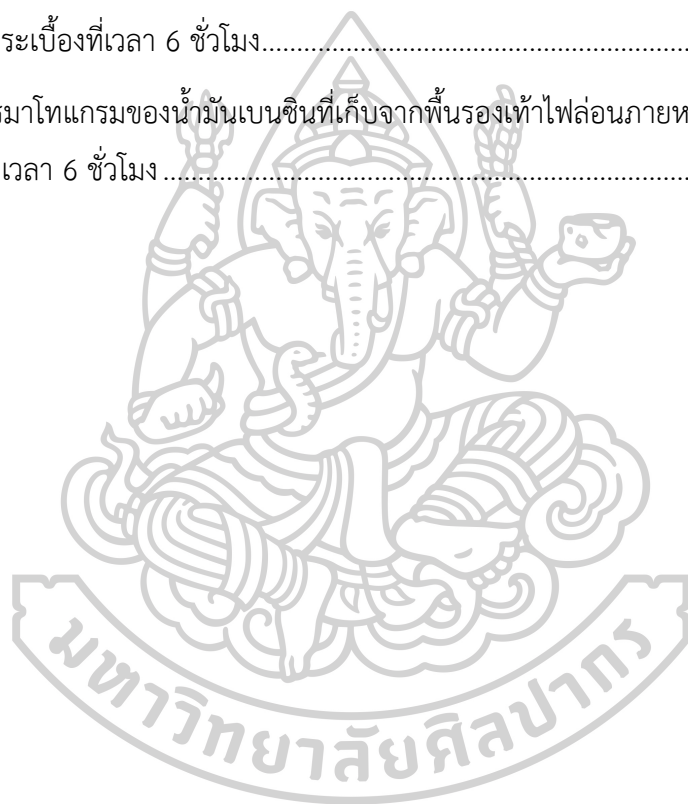
หน้า

ตารางที่ 1 ตัวอย่างพื้นรองเท้าชนิดต่างๆและแหล่งที่มา	29
ตารางที่ 2 สารประกอบ 12 ชนิดที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ที่ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมง	34
ตารางที่ 3 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าอีวีเอ (EVA) ภายหลังจากเหยียบน้ำมัน	35
ตารางที่ 4 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้ายางธรรมชาติภายหลังจากเหยียบน้ำมัน	36
ตารางที่ 5 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าพีวีซี (PVC) ภายหลังจากเหยียบน้ำมัน	36
ตารางที่ 6 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าพียู (PU) ภายหลังจากเหยียบน้ำมัน	37
ตารางที่ 7 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าโฟลนภายหลังจากเหยียบน้ำมัน...	38
ตารางที่ 8 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้ายางสังเคราะห์ภายหลังจากเหยียบน้ำมัน	39
ตารางที่ 9 ค่าการวิเคราะห์ขีดจำกัดของเครื่องมือ (Instrument Detection Limit, IDL) ของเครื่อง HS-GC-MS ของน้ำมันเบนซิน 1 µl.....	44
ตารางที่ 10 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าภายหลังจากเหยียบน้ำมันทันที (0 ชั่วโมง)	54
ตารางที่ 11 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าภายหลังจากเหยียบน้ำมันที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง.....	57
ตารางที่ 12 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าภายหลังจากเหยียบน้ำมันที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง.....	60
ตารางที่ 13 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Density) ของน้ำมันเบนซิน.....	63

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 องค์ประกอบของการเกิดไฟ.....	12
ภาพที่ 2 แบบจำลองโครงสร้างถ่านกัมมันต์ (Activated carbon).....	14
ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon).....	16
ภาพที่ 4 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated carbon)	17
ภาพที่ 5 ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดหรือชนิดเม็ด (Granular Activated carbon)	18
ภาพที่ 6 ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดขึ้นรูป (Extruded Activated carbon).....	18
ภาพที่ 7 กระบวนการผลิตยางพื้นรองเท้า.....	20
ภาพที่ 8 โครงสร้างโมเลกุล EVA (Ethylene-vinyl acetate).....	21
ภาพที่ 9 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ (Natural rubber).....	22
ภาพที่ 10 โครงสร้างโมเลกุลของยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) (a) ยางไนไตรล์ (Nitrile rubber หรือ Buna rubber) (b) ยางนีโอพรีน (Neoprene rubber หรือ Chloroprene Rubber)	22
ภาพที่ 11 โครงสร้างโมเลกุลของพียู (Polyurethane).....	23
ภาพที่ 12 โครงสร้างโมเลกุลของพีวีซี (Polyvinylchloride).....	24
ภาพที่ 13 กรอบแนวคิดงานวิจัย	26
ภาพที่ 14 แผนผังการทดลอง	32
ภาพที่ 15 กราฟสารประกอบน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้ายางสังเคราะห์	40
ภาพที่ 16 กราฟสารประกอบน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าพีวีซี (PVC).....	40
ภาพที่ 17 กราฟสารประกอบน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าโฟล่อน	41
ภาพที่ 18 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าอีวีเอ (EVA) ภายหลังจากเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลาต่าง ๆ คือ (a) ที่เวลา 0 ชั่วโมง (b) ที่เวลา 3 ชั่วโมง (c) ที่เวลา 6 ชั่วโมง	42

ภาพที่ 32 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้ายางสังเคราะห์ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 6 ชั่วโมง.....	70
ภาพที่ 33 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าพียู (PU) ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 6 ชั่วโมง.....	70
ภาพที่ 34 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้ายางธรรมชาติภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 6 ชั่วโมง.....	71
ภาพที่ 35 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าพีวีซี (PVC) ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 6 ชั่วโมง.....	71
ภาพที่ 36 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าโฟล่อนภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 6 ชั่วโมง.....	72



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการเกิดเหตุเพลิงไหม้มักพบความรุนแรงและมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากสถิติสาธารณสุขของประเทศไทยอันดับหนึ่ง คือ การเกิดเพลิงไหม้หรืออัคคีภัย ในปี พ.ศ. 2565 พบการเกิดเพลิงไหม้เป็นร้อยละ 70.93 หรือ 737 ครั้งเมื่อเทียบกับสาธารณสุขอื่น (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2566) จึงจำเป็นต้องตรวจหาข้อเท็จจริงของบริเวณที่เกิดเพลิงไหม้ก่อน (Area of Origin) และสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้โดยอาศัยกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ในการประกอบการสืบสวนเพื่อพิสูจน์ยืนยันสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้จนนำไปสู่การยืนยันตัวผู้กระทำ ความผิดหรือผู้รับผิดชอบ ซึ่งการลอบวางเพลิงนั้นถือเป็นการอาชญากรรมที่ร้ายแรงมีความผิดตามประมวลกฎหมายอาญามาตรา 217 – 220 ต้องระวางโทษตั้งแต่จำคุก จำคุกตลอดชีวิตจนถึงประหารชีวิต (ทวีป ศรีนวม, 2567) ดังนั้นการหาพยานหลักฐานเพื่อยืนยันบุคคลที่กระทำผิดเป็นสิ่งสำคัญ โดยการวางเพลิงใช้เพียง 3 องค์ประกอบหลักก็สามารถเกิดไฟได้ คือ ความร้อน (Heat) ออกซิเจน (Oxygen) และเชื้อเพลิง (Fuel) (Fan & Lau, 2009) ซึ่งเชื้อเพลิงที่มักพบในเหตุการณ์วางเพลิง คือน้ำมันเบนซิน (Gasoline) เนื่องจากน้ำมันเบนซินหาซื้อได้ง่าย ระเหยกลายเป็นไอได้ง่าย อุณหภูมิจุดติดไฟต่ำ ทำให้มีความไวไฟสูง ติดไฟได้ง่าย ซึ่งในขณะก่อเหตุลอบวางเพลิงนั้น น้ำมันเชื้อเพลิงอาจจะกระเด็นติดตามเสื้อผ้าหรือรองเท้าของผู้กระทำ ความผิดมาจากที่เกิดเหตุ เป็นไปตามทฤษฎีของ Locard ที่มีการเสนอแนวคิด “ทุกการสัมผัส ย่อมทิ้งร่องรอย” เป็นหลักการของวัตถุสองสิ่งสัมผัสกัน จะเกิดการแลกเปลี่ยนพื้นที่ผิวระหว่างกัน ในการกระทำ ความผิดจะเกิดการแลกเปลี่ยนร่องรอยระหว่างผู้กระทำ ความผิด เหยื่อและสภาพแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อมเสมอ (Jaquet-Chiffelle & Casey, 2021) ร่องรอยที่ปรากฏแสดงถึงความสัมพันธ์กัน ดังนั้น การตรวจหาร่องรอยของน้ำมันเชื้อเพลิงได้จึงอาจสามารถช่วยการสืบสวนในการยืนยันตัวผู้กระทำผิดได้

ในทางนิติวิทยาศาสตร์ การตรวจสอบพยานหลักฐานต่างๆในคดีเพลิงไหม้ เพื่อช่วยการสืบสวนในการยืนยันตัวผู้กระทำ ความผิดมีความสำคัญมาก ส่งผลให้มีการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ในการตรวจหาสารระเหยจากเศษซากเพลิงไหม้มากขึ้น ตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM E1618) เป็นแนวทางให้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์และสกัดน้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆร่วมกับการใช้แก๊สโครมาโทกราฟี (GC) ควบคู่กับแมสสเปกโตรเมตรี (MS) ต่อมามีการกำหนดตัวดูดซับที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างคดีเพลิงไหม้ให้เป็น ถ่านกัมมันต์ (Activated Charcoal) ตามมาตรฐาน ASTM E1412 (ธีรวัฒน์ อังสิทธิพูนพร และคณะ, 2564) ในปัจจุบันมีการศึกษาการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ในหลากหลายรูปแบบ ซึ่งมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน เช่น การใช้เทคนิคการสกัด

โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) ไดเอทิลอีเทอร์ (Et_2O) ไดคลอโรมีเทน (CH_2Cl_2) หรือเพนเทน (C_5H_{12}) ข้อดีคือ ขั้นตอนง่ายไม่ซับซ้อน ข้อเสียคือ มีความเป็นพิษและอาจเกิดฟีดของตัวทำละลายค่อนข้างมาก การใช้เทคนิค Automated Thermal Desorption (ATD) โดยจะให้ความร้อนเข้ามาช่วยในการให้สารระเหยเข้าสู่ GC เพื่อให้แยกสารและนำไปวิเคราะห์ต่อไป ถึงจะมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สารประกอบหนักน้อยกว่าการใช้ตัวทำละลาย แต่มีข้อดีคือ ไม่มีสัญญาณรบกวนหรือฟีดจากตัวทำละลาย วิธีการปฏิบัติง่าย ไม่ซับซ้อนและมีความเสี่ยงในการปนเปื้อนต่ำ (Martin Fabritius et al., 2018) อีกเทคนิคที่เริ่มนำเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ คือ เทคนิค Headspace Gas Chromatography – Mass Spectrometry (HS-GC-MS) ใช้ตัวดูดซับดูดซับไอระเหยน้ำมันจากตัวอย่างและนำตัวดูดซับมาใส่ในภาชนะที่ปิดสนิทและให้ความร้อนเพื่อให้สารระเหยที่ต้องการหาเป็นไอและถูกฉีดเข้าสู่ GC เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป ข้อดีคือ ตัวอย่างไม่ถูกทำลาย จึงสามารถนำมาใช้เพื่อตรวจพิสูจน์ยืนยันผลได้ แต่ข้อจำกัดของเทคนิคนี้คือ ปริมาตรในการฉีดตัวอย่างต่ำ

อย่างไรก็ตามหลังจากก่อเหตุวางเพลิง อาจเนื่องด้วยระยะเวลาที่จำกัด ความเร่งรีบในขณะก่อเหตุ ผู้กระทำความผิดมักจะมองข้ามการทำความสะอาดร่องเท้า ซึ่งร่องเท้าที่สวมใส่ขณะเกิดเหตุ นั้นมีความเป็นไปได้สูงที่จะสัมผัสกับน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการตรวจพิสูจน์หาน้ำมันเบนซินบนพื้นร่องเท้าที่แตกต่างกันโดยใช้ Activated carbon เป็นตัวดูดซับที่หาซื้อได้ง่าย ราคาถูกและตรงตามมาตรฐาน ASTM E1412 นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS ซึ่งเป็นเทคนิคมีขั้นตอนง่าย ได้ผลรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิงในคดีวางเพลิงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการใช้เทคนิค HS-GC-MS ในการวิเคราะห์หาน้ำมันเบนซินบนพื้นร่องเท้าชนิดต่างๆ ภายหลังจากการเหยียบน้ำมันบนพื้นผิวกระเบื้องที่ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมง
2. เพื่อศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นร่องเท้าชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นพียู (PU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นโฟล่อน ภายหลังจากการเหยียบน้ำมันบนพื้นผิวกระเบื้องที่ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมง

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. เทคนิคการวิเคราะห์ด้วย HS-GC-MS สามารถใช้วิเคราะห์หาน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ภายหลังจากเหยียบหรือสัมผัสน้ำมันเบนซินที่ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมงได้ ซึ่งเทคนิคนี้มีขั้นตอนง่าย ได้ผลรวดเร็ว ปลอดภัยทั้งผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อมเหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์
2. ระยะเวลาที่ผลต่อการตรวจพบน้ำมันเบนซินภายหลังจากเหยียบหรือสัมผัสน้ำมันที่เวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อระยะเวลาเพิ่มมากขึ้นน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบจะลดน้อยลง
3. ชนิดของพื้นรองเท้ามีผลต่อการตรวจพบน้ำมันเบนซิน ซึ่งพื้นรองเท้าที่มีลักษณะมันหรือพื้นผิวเรียบมีผลต่อการยึดเกาะของน้ำมันเบนซิน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Headspace - Gas Chromatography – Mass Spectrometry (HS-GC-MS)

1. พื้นรองเท้าที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นพียู (PU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นโฟล่อน
2. ปริมาณน้ำมันเบนซินที่ใช้ 100 μ l
3. ระยะเวลาที่ใช้วิเคราะห์ภายหลังจากเหยียบน้ำมันเบนซินทันที 3 และ 6 ชั่วโมง

1.5 ข้อจำกัดงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้ Activated carbon ชนิดผงละเอียดบรรจุในถุงชาเป็นตัวดูดซับไอน้ำมันเบนซิน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับเทียบเคียงกับ Charcoal strip โดยหาซื้อได้ง่ายและราคาต้นทุนถูกกว่า

1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หมายถึง สารดูดซับที่ทำมาจากถ่านหรือวัสดุคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นโดยสารเคมีหรือวิธีทางกายภาพ เพื่อให้เกิดรูพรุนหรือรอยแตกจำนวนมากขนาดนาโนเมตร ซึ่งขนาดของรูพรุนขนาดเล็กจะเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับมากขึ้น

น้ำมันเชื้อเพลิง หมายถึง ของเหลวที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ แล้วจึงนำมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ใช้เป็นพลังงานในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น

น้ำมันเบนซิน (Gasoline) หมายถึง น้ำมันเชื้อเพลิงส่วนที่เบาที่สุดที่ได้จากการปรุงแต่งคุณภาพจากการกลั่นน้ำมันโดยตรงหรือได้จากการแยกก๊าซธรรมชาติเหลวหรือก๊าซโซลีนธรรมชาติ น้ำมันเบนซินมีการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเติมสารต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น สารเพิ่มค่าออกเทน สารต้านการรวมตัวกับอากาศ สารป้องกันสนิม เป็นต้น

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเทคนิค HS-GC-MS มาใช้ในการตรวจพิสูจน์หาน้ำมันเบนซินจากพื้นร่องเท้าชนิดต่างๆ ภายหลังการเหยียบน้ำมันเบนซินเมื่อเวลาผ่านไปได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ ช่วยในการสืบสวนและยืนยันตัวบุคคลที่กระทำความผิดได้

2. เพื่อเป็นแนวทางหรือทางเลือกใหม่ในการนำเทคนิคในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์วัตถุพยานในคดีวางเพลิงได้

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าด้วยเทคนิค Headspace - Gas Chromatography – Mass Spectrometry (HS-GC-MS) ได้ทำการศึกษา รวบรวมเอกสาร งานวิจัย แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้วิเคราะห์เป็นแนวทางในการสร้างความรู้ความเข้าใจและสามารถดำเนินงานวิจัยให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยได้ทำการจำแนกประเด็นที่เกี่ยวข้องไว้ ดังนี้

- 2.1 ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันเบนซิน
- 2.2 ความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบเกิดการเกิดไฟ
- 2.3 ความรู้เกี่ยวกับถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)
- 2.4 ความรู้เกี่ยวกับพื้นรองเท้า
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.6 กรอบแนวคิดงานวิจัย

2.1 ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันเบนซิน

ปัจจุบันเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นหลักในงานทางด้านอุตสาหกรรม ยานพาหนะ คือ เชื้อเพลิงเหลวหรือน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน และยังเป็นเชื้อเพลิงที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงอีกด้วย

น้ำมันเชื้อเพลิง หมายถึง เชื้อเพลิงของเหลวที่ได้จากใต้พื้นดินและนำเข้าสู่กระบวนการกลั่นแบบลำดับส่วน (Fractional Distillation) โดยการใช้ความร้อนสูง เพื่อแยกน้ำมันดิบกับเกลือแร่หรือสารอื่นๆออกจากกัน จากนั้นนำมาให้ความร้อนหรือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างและคุณภาพ หรือการนำสารอื่นมาทำการผสม เพื่อปรุงแต่งให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำดีเซลใช้ในการเผาไหม้เพื่อเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนยานพาหนะ น้ำมันก๊าดใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้แสงสว่าง น้ำมันเตาใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม น้ำมันหล่อลื่นใช้สำหรับหล่อลื่นเครื่องจักรกลต่างๆ เป็นต้น ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงนี้ถือเป็นเชื้อเพลิงชนิดที่สิ้นเปลือง ในการนำมาใช้ก็สามารถหมดไปได้ จึงต้องทำการสำรวจภาคพื้นดินหาพลังงานฟอสซิลสำรองเพิ่มเพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น (supottwit, 2555)

น้ำมันเบนซิน (Gasoline) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นของน้ำมันปิโตรเลียมระเหยได้ง่ายและเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่เบาที่สุด โดยจากการกลั่นหรือตัดเอาส่วนที่เบาที่สุด เช่น แนฟธา (Naphtha), Isomate และ Reformate เป็นต้น แล้วจึงนำมาผสมและปรุงแต่งด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีหรือสารเติมแต่ง (Additives) เช่น เอทานอล (Ethanol), MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) สารเพิ่มออกเทน สารเคมีป้องกันการเกิดสนิม สารป้องกันการรวมตัวกับอากาศ เป็นต้น เพื่อปรับปรุงโครงสร้างและคุณภาพให้เหมาะสมต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์เบนซินที่มีหัวเทียนเป็นตัวจุดระเบิด (Spark Ignition Internal Combustion Engine) โดยที่การระเหยของน้ำมันเบนซินจะต้องเหมาะสมกับการเผาไหม้ของกระบอกสูบน้ำมันได้อย่างต่อเนื่อง (ศรีฟ้าโปรเกรส, ม.ป.ป.)

2.1.1 การแบ่งประเภทของน้ำมันเบนซินตามการใช้กับเครื่องยนต์

ในปัจจุบันน้ำมันเบนซินที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. น้ำมันเบนซินแบบธรรมดา (Regular Motor Gasoline) มีการกำหนดค่าออกเทนต้องไม่ต่ำกว่า 83 ปริมาณของสารตะกั่วต้องไม่เกิน 0.15 g/L หรือมีค่าออกเทน 91 น้ำมันสีแดง ซึ่งเหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) ต่ำกว่า 8:1 ได้แก่ รถยนต์ขนาดเล็กรุ่นเก่า รถจักรยานยนต์ เครื่องยนต์ขนาดเล็ก เช่น ปั้มน้ำขนาดเล็ก เครื่องปั่นไฟขนาดเล็ก รถตัดหญ้า เป็นต้น
2. น้ำมันเบนซินแบบพิเศษ (Premium Motor Gasoline) มีการกำหนดค่าออกเทนต้องไม่ต่ำกว่า 95 ปริมาณของสารตะกั่วต้องไม่เกิน 0.15 g/L หรือมีค่าออกเทน 95 น้ำมันสีเหลืองอ่อน ซึ่งเหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) สูงกว่า 8:1 ได้แก่ รถยนต์ทั่วไป รถบรรทุกขนาดเล็ก รถจักรยานยนต์ เป็นต้น
3. น้ำมันเบนซินแบบไร้สารตะกั่ว (Unleaded Motor Gasoline) มีการกำหนดค่าออกเทนต้องไม่ต่ำกว่า 95 ปริมาณของสารตะกั่วต้องไม่เกิน 0.013 g/L โดยการนำน้ำมันที่มีค่าออกเทนต่ำมาทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเพื่อให้มีค่าออกเทนสูงขึ้นและหลีกเลี่ยงการใช้สารตะกั่ว น้ำมันเบนซินแบบไร้สารตะกั่วเหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) สูงกว่า 8:1 ขึ้นไปและเหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีวาล์ว (Value seat) ทำมาจากโลหะพิเศษและเครื่องยนต์ที่มีเครื่องกรองไอเสีย (Catalytic Converter) (supottwit, 2555)

โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มค่าออกเทนสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การเติมตะกั่วและไม่เติมสารตะกั่ว โดยการเติมสารตะกั่วลงไปเพื่อควบคุมปฏิกิริยาการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน ซึ่งเป็นวิธีที่

นิยมใช้เนื่องจากประหยัดและสารตะกั่วที่นิยมใช้ คือ TEL (Tetraethyl lead) และ TML (Tetramethyl Lead) ในส่วนวิธีที่ไม่เติมสารตะกั่วสามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีการปรับเปลี่ยนที่กระบวนการกลั่น เช่น เปลี่ยนโครงสร้างของ Naphtha ให้มีลักษณะเป็นโซ่กิ่ง (Iso - chain หรือ Branch chain) มากขึ้น และวิธีการเติมสารออกเทนบูสเตอร์ (Octane Booster) เพื่อให้มีค่าออกเทนที่สูงขึ้น เช่น MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) (จิราภรณ์ ปรกรณ์, 2560)

2.1.2 คุณลักษณะน้ำมันเบนซิน

1. อัตราการระเหย (Volatility) อัตราการระเหยของน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM D86 สามารถหาได้จากการนำน้ำมันเบนซินมากลั่น โดยจะมีช่วงการกลั่นหรือช่วงของจุดเดือด (Distillation or Boiling Range) ประมาณ 20 – 200 °C ที่ความดันบรรยากาศมีความสำคัญต่อการใช้งานดังนี้

1) จุดเริ่มต้น (Initial Boiling Point : IBP) และจุดเดือด 10% (10% evaporated) เป็นส่วนเบา เรียกว่า Front End ซึ่งสามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำเพื่อช่วยให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่ายเมื่อมีอากาศเย็น

2) จุดกลาง หรือจุด 50% (Mid Fill or Mid Range) เป็นจุดที่ระเหยได้มากขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ช่วยให้เครื่องยนต์ร้อนได้เร็ว น้ำมันมีการกระจายตัวไปยังสูบต่าง ๆ ได้อย่างสม่ำเสมอ

3) จุดหนัก หรือจุด 90% (Back End) เป็นจุดที่ให้พลังงานกับเครื่องยนต์ หากมีอุณหภูมิสูงเกิน จะส่งผลให้น้ำมันระเหยไม่หมด

4) จุดสุดท้าย (Final Boiling Point : FBP) เป็นจุดที่แสดงให้เห็นว่ามีจุดหนักอยู่เล็กน้อยแค่ไหน หากจุดเดือดสุดท้ายและจุดเดือด 90% แตกต่างกันเกิน 30 °C อาจเกิดปัญหาด้านความสะอาดในห้องเผาไหม้และร่องแหวนลูกสูบได้

2. ค่าออกเทน (Octane number)

ตัวเลขแสดงคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่แสดงถึงความสามารถในการต้านทานการน็อกหรือความสามารถในการติดไฟของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ เมื่ออากาศผสมกับเชื้อเพลิงถูกจุดระเบิดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน การเผาไหม้จะเริ่มขึ้นและดำเนินติดต่อกันไปจนสุดห้องเผาไหม้ ค่าออกเทนของน้ำมันเบนซินจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 ซึ่งเฮปเทน (C_7H_{16}) จะมีค่าออกเทนเท่ากับ 0 ในขณะที่ไอโซออกเทน (C_8H_{18}) มีค่าออกเทนเท่ากับ 100 น้ำมันเบนซินจะมีค่าออกเทนอยู่ที่ประมาณ 80 ถึง 90

3. ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของน้ำมันเบนซินประมาณได้จากประเภทของไฮโดรคาร์บอนที่มี มวลและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงจะลดลงตามปริมาณของไฮโดรเจน ซึ่งหมายความว่า Paraffins, Naphthenes และ Aromatics จะอยู่ในอันดับต้น ๆ ตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น โดยน้ำมันเบนซินมีความหนาแน่นประมาณ 700 ถึง 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Hussain, 2022)

4. จุดเดือดและจุดแข็งตัว (Boiling and solidification points)

จุดเดือดและจุดแข็งตัวจะมีค่าไม่คงที่เนื่องจากเป็นสารผสม น้ำมันเบนซินที่ใช้กับเครื่องยนต์ทั่วไป จะมีช่วงจุดเดือดประมาณ 38 – 214 °C ส่วนน้ำมันเบนซินที่ใช้กับเครื่องยนต์ของเครื่องบินใบพัด จะมีช่วงจุดเดือดประมาณ 38 – 170 °C

5. ความถ่วงจำเพาะ

น้ำมันเบนซิน 95 จะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำมันเบนซิน 91 เนื่องจากน้ำมันเบนซิน 95 มีการเพิ่มสารคุณภาพ เช่น MTBE Ethanol Methanol เพื่อเพิ่มค่าออกเทนให้สูงขึ้น โดยปกติค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเบนซิน 91 มีค่าประมาณ 0.702 และน้ำมันเบนซิน 95 จะมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.743

6. ความดันไอ (Vapor Pressure)

ความดันไอไม่ควรเกินตามกำหนดมาตรฐาน เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาไอน้ำมัน (Vapor Lock) ที่ทางดูดปั้มน้ำมัน ทำให้เกิดการขาดตอนของคาร์บูเรเตอร์ จะทำให้เครื่องยนต์กระตุกหรือดับ การวัดความดันไอน้ำมันระเหยง่ายจะใช้วิธี Reid ซึ่งเป็นตามมาตรฐาน ASTM D323 หรือ ASTM D4953

7. ธาตุตะกั่ว (Leaded)

การใช้สารตะกั่วเพื่อเพิ่มค่าออกเทน แต่ในปัจจุบันไม่มีการเติมแล้วแต่อาจมีการปนเปื้อนมาจากน้ำมันดิบ หรือจากกระบวนการผลิตได้ เนื่องจากตะกั่วเป็นสารมลพิษในไอเสีย และเป็นอันตรายต่อร่างกาย

8. ธาตุกำมะถัน

เมื่อกำมะถันในน้ำมันถูกเผาไหม้จะสามารถกัดกร่อนเครื่องยนต์ทำให้เกิดการสึกหรอ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดฝุ่น ส่งผลให้เครื่องยนต์สกปรก และเป็นการก่อกมลพิษทางอากาศ (supottwit, 2555) เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงมีปริมาณกำมะถันมากเกินไป จะสร้างความเสียหายดังนี้

1) ออกไซด์ของกำมะถันที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ อาจเกิดการกัดก่อนโลหะ

2) สารประกอบของกำมะถันบางชนิดมีกลิ่นเหม็น

3) น้ำมันเตาที่มีสารกำมะถันปนซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมอาจทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำ

9. ธาตุฟอสฟอรัส

มักจะมาจากการเติมสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันเบนซิน ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เครื่องกรองไอเสีย (Catalytic Converter) ชำรุดเสียหาย

10. ยางเหนียว (Gum)

องค์ประกอบของน้ำมันที่มี Olefins Thiophenol หรือสารประกอบของไนโตรเจน เมื่อปล่อยทิ้งไว้ในอากาศจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้เกิดเป็นยางเหนียว ในช่วงแรกจะลอยอยู่ในน้ำมัน แล้วตกตะกอนสะสมอยู่ในปลอกนำก้านวาล์วหรือคาร์บูเรเตอร์ การทดสอบยางเหนียวจะใช้วิธี ASTM D381 และวัดความอยู่ตัวของน้ำมันในการเกิดยางเหนียวโดยวิธี ASTM D189

11. ปริมาณสารเบนซิน

น้ำมันเบนซินเป็นสารจำพวกอะโรมาติก ซึ่งมีค่าออกเทนสูง มีพิษต่อระบบทางเดินหายใจและสมอง การสูดดมสารนี้เป็นระยะเวลานาน ๆ อาจเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง

12. ปริมาณสารอะโรมาติก

สารอะโรมาติกบางชนิดมีค่าออกเทนสูง เช่น เบนซินโพลีไซคลิกอะโรมาติก ซึ่งก่อให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง นอกจากนี้แล้วการเผาไหม้ของน้ำมันที่มีสารอะโรมาติกสูงจะทำให้มีเขม่าในปริมาณที่สูงและหากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะส่งผลให้เกิดไอเสียที่มีสารอะโรมาติกด้วย

13. ปริมาณสารออกซิเจนเนท

การสารออกซิเจนเนทลงในน้ำมันเบนซิน เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจน โดยสารออกซิเจนเนท ได้แก่ MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ และลดการเกิดมลพิษ MTBE มีค่าออกซิเจนสูงกว่า 100 ทำให้ช่วยเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบนซินแบบสำเร็จรูปด้วย ทั้งนี้ MBTE สามารถดูดซับน้ำได้ดีทำให้ถูกควบคุมปริมาณการใช้งานให้มีความเหมาะสม

14. สารเติมแต่งและชะล้างทำความสะอาด

14.1 สารเติมแต่งในน้ำมันเบนซิน

1) สารต้านทานการเกิดการน็อก (Antiknock Compound)

ป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้

2) สารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Oxidation Inhibitor) ป้องกันการเกิดตะกอนและยางเหนียวจากการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน

3) สารป้องกันการกัดกร่อนและการเกิดสนิม (Corrosion and Rust Inhibitor) ป้องกันการกัดกร่อนและเกิดสนิมในระบบน้ำมันเบนซินของรถยนต์

4) สารลดตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะ (Metal Deactivator) ป้องกันการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะในน้ำมันเบนซิน

5) สารเพิ่มประสิทธิภาพการแยกตัวจากน้ำ (Demussifier) ช่วยให้น้ำแยกออกจากน้ำมันเบนซินได้ไวมากขึ้น

6) สารปรับสภาพเขม่า (Combustion Modifier) ช่วยทำให้ผิวของคราบเขม่าไม่สามารถเกิด Surface Ignition ได้

7) สี (Dye) ช่วยให้น้ำมันมีสีที่แตกต่างกัน เพื่อแยกประเภทของน้ำมันได้ชัดเจน

14.2 สารชะล้างทำความสะอาด

เมื่อมีการใช้งานเครื่องยนต์จะเกิดคราบสิ่งสกปรก เช่น หัวฉีด น้ำมัน คาร์บูเรเตอร์ ส่งผลทำให้เครื่องยนต์กำลังตก สิ้นเปลืองน้ำมัน และมีมลพิษจากไอเสียเพิ่มขึ้น สารชะล้างทำความสะอาดจะทำการช่วยชะล้างสิ่งสกปรกที่ตกค้างในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงและช่วยรักษาคาร์บูเรเตอร์ให้สะอาดอยู่เสมอ

2.1.3 อันตรายจากน้ำมันเบนซิน

เมื่อร่างกายได้รับหรือสัมผัสกับน้ำมันเบนซินเป็นระยะเวลาสั้นหรือนานสามารถเกิดผลเสียต่อร่างกายได้หลายด้าน ซึ่งน้ำมันเบนซินสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายช่องทาง ได้แก่ ทางระบบทางเดินหายใจ ทางการสัมผัสกับผิวหนังหรือดวงตา หรือแม้กระทั่งการเปลือกลิ้นกินเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร เป็นต้น

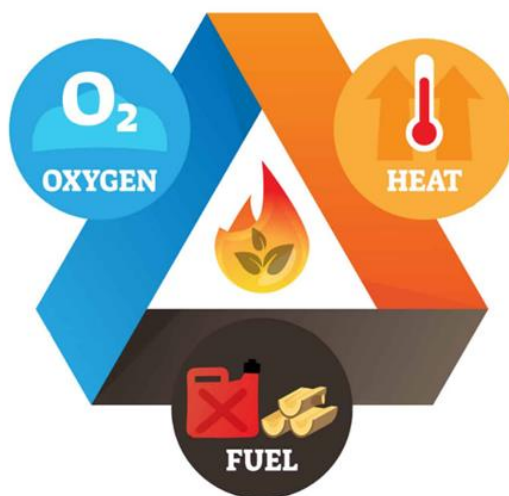
ผลเสียจากการได้รับหรือสัมผัสน้ำมันเบนซินมากเกินไปในระยะสั้น หรือการสูดดม น้ำมันเบนซินในความเข้มข้นสูงเข้าสู่ร่างกายทางระบบหายใจ ไอรระเหยจากน้ำมันเบนซินจะส่งผลกระทบต่อเยื่อเมือกในระบบทางเดินหายใจ ส่งผลให้มีอาการปวดศีรษะ วิงเวียน สลบหรืออาจมีอาการทางประสาทส่วนกลางร่วมด้วย หากได้รับในปริมาณมากเกินไปหรือเป็นเวลานานอาจทำให้ขาดออกซิเจนได้ มีอาการทางระบบทางเดินหายใจเรื้อรังได้ ในการสัมผัสน้ำมันเบนซินทางผิวหนังหรือดวงตา ทำให้เกิดความระคายเคือง อาจเกิดเป็นโรคผิวหนังอักเสบได้ ในกรณีการได้รับน้ำมันเบนซินโดย

การกลืนกินนั้นมีความเป็นพิษต่ำ หากมีน้ำมันเบนซินเข้าสู่ปอดระหว่างกลืนกินหรือเกิดการสำลัก อาเจียน อาจส่งผลให้เกิดอันตรายต่อปอดอย่างรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้

ผลเสียจากการได้รับหรือสัมผัสน้ำมันเบนซินมากเกินไปในระยะเวลานาน จากการศึกษาทางระบาดวิทยาพบว่า การได้รับหรือสัมผัสสารที่มีส่วนผสมของ benzene ซ้ำๆหรือเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลต่อระบบผลิตเม็ดเลือดและระบบเลือดให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง สามารถกลายเป็นโรคมะเร็งเม็ดเลือดได้ (Leukemia) และหากมีการได้รับหรือสัมผัสกับสารที่มีส่วนประกอบของ n-hexane ซ้ำๆหรือเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลต่อระบบประสาทส่วนปลายได้ (EasyInsureBroker, 2562)

2.2 ความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบการเกิดไฟ

องค์ประกอบพื้นฐานของการเกิดไฟมีทั้งหมด 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ออกซิเจน (Oxygen) เชื้อเพลิง (Fuel) และความร้อน (Heat) โดยปริมาณขององค์ประกอบในการเกิดเพลิงไหม้แต่ละชนิดไม่คงที่ ซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาวะการเกิดเพลิงไหม้ รวมไปถึงสมบัติของเชื้อเพลิงอีกด้วย (กิจจา จิตรภิมณ, 2557) ทั้งนี้การที่ทำให้เกิดไฟลุกติดได้นั้นต้องอาศัยปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) หรือกระบวนการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นกระบวนการเผาไหม้ที่เริ่มตั้งแต่เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนเกิดการติดของไฟ คือ เมื่อเกิดก๊าซและมีออกซิเจนในอากาศไม่ต่ำกว่าร้อยละ 16 ขึ้นไป จะทำให้ไฟลุกติดขึ้นมา จากนั้นโมเลกุลของเชื้อเพลิงจะแตกตัวกลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กจนเปลี่ยนแปลงก๊าซทำให้เกิดไฟลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแสดงองค์ประกอบของการเผาไหม้เป็นรูปแบบพีรามิดของไฟ และเมื่อปฏิกิริยาลูกโซ่ขาดตอนลง การสันดาปก็จะหยุดลง (ธัญญา ศูนย์คุ้ม, 2557)



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของการเกิดไฟ

ที่มา <https://www.safesiri.com/fire-component/>

องค์ประกอบในการเผาไหม้มี 4 องค์ประกอบ ดังนี้ (ธนัญญา ศุภย์คุ้ม, 2557)

1. เชื้อเพลิง (Fuel)

วัตถุที่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างรวดเร็ว เช่น กระดาษ ไม้ น้ำมัน พลาสติก เป็นต้น ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นก๊าซจะสามารถติดไฟได้ แต่เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็ง และของเหลวจะไม่สามารถติดไฟได้ หากโมเลกุลที่พื้นผิวของเชื้อเพลิงไม่อยู่ในสถานะเป็นก๊าซ ทั้งนี้โมเลกุลของแข็งหรือของเหลวจะสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซได้ต้องอาศัยความร้อนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง โดยความแตกต่างของลักษณะการติดไฟขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ 4 ประการ ดังนี้

1) ความสามารถในการติดไฟของสาร (Flammability Limits) ปริมาณไอของสารที่เป็นเชื้อเพลิงในอากาศ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศต้องมีมากพอจึงจะติดไฟได้ โดยปริมาณต่ำสุดของไอเชื้อเพลิงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในอากาศที่สามารถติดไฟได้ เรียกว่า ค่าต่ำสุดของเชื้อเพลิง และปริมาณสูงสุดของไอเชื้อเพลิงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในอากาศที่สามารถติดไฟได้ เรียกว่า ค่าสูงสุดของเชื้อเพลิง ทั้งนี้ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของเชื้อเพลิงจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสารเชื้อเพลิง

2) จุดวาบไฟ (Flash Point) อุณหภูมิต่ำที่สุดที่สามารถทำให้เชื้อเพลิงคายไอออกมาผสมกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมถึงจุดที่ค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของไอเชื้อเพลิง และเมื่อมีประกายไฟก็จะเกิดการติดเป็นไฟวาบขึ้นมาแล้วดับไป

3) จุดติดไฟ (Fire Point) อุณหภูมิของสารที่เป็นเชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนถึงจุดที่ไฟสามารถติดได้ ทั้งนี้การติดไฟนั้นจะต้องติดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งโดยปกติความร้อนของจุดติดไฟจะสูงกว่าจุดวาบไฟประมาณ 7 องศาเซลเซียส

4) ความหนาแน่นไอ (Vapor Density) อัตราส่วนน้ำหนักของสารเคมีที่อยู่ในสถานะเป็นก๊าซต่อน้ำหนักของอากาศเมื่อมีปริมาณเท่ากัน ทั้งนี้ความหนาแน่นของไอเป็นสิ่งที่ใช้บอกว่าก๊าซหนักกว่าหรือเบากว่าอากาศ

2. ออกซิเจน (Oxygen)

อากาศมีก๊าซออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 21 ซึ่งในการเผาไหม้แต่ละครั้งต้องการออกซิเจนประมาณร้อยละ 16 เท่านั้น ดังนั้นเชื้อเพลิงที่อยู่ในบรรยากาศรอบตัวเราถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจนที่มีปริมาณมากพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ ในการเผาไหม้หากมีปริมาณออกซิเจนมากเชื้อเพลิงจะยิ่งติดไฟได้ง่ายขึ้น ทั้งนี้ในเชื้อเพลิงบางชนิดมีออกซิเจนในตนเองมากพอที่จะทำให้ตนเองเกิดการเผาไหม้โดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจนบริเวณรอบเลย

3. ความร้อน (Heat)

ความร้อนเป็นองค์ประกอบในการเกิดไฟอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นพลังงานที่ทำให้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดเกิดการคายไอออกมา

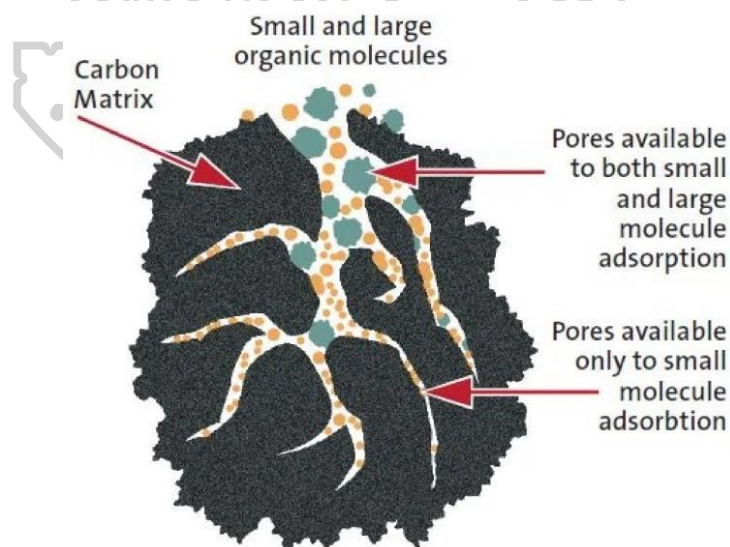
4. ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction)

การเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง หรือกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นตั้งแต่การที่เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจนติดไฟขึ้นมา ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นโดยอะตอมจะถูกเหวี่ยงออกจากโมเลกุลของเชื้อเพลิง ส่งผลให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ จากนั้นอนุมูลอิสระจะกลับไปอยู่ที่บริเวณฐานของไฟอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเปลวไฟขึ้นมา

2.3 ความรู้เกี่ยวกับถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์ หรือ Activated carbon คือ สารดูดซับที่ทำมาจากถ่านหรือวัสดุคาร์บอนที่มีคุณสมบัติที่ได้รับจากการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโดยต้องผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีหรือทางกายภาพก่อน เพื่อให้โครงสร้างมีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้นนั้นยังมีขนาดเล็กจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีขึ้น (vayogroup, 2564) ถ่านกัมมันต์ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเป็นหลัก (ประมาณ 87 - 97%) และมีธาตุอื่นๆ เช่น ออกซิเจน ไฮโดรเจน กำมะถัน ไนโตรเจน เป็นต้น โดยจะมีธาตุอื่นที่ไม่มีประโยชน์ (ประมาณ 1 - 20%) จากที่มีอยู่เดิมจากวัสดุตั้งต้นหรือที่เติมเข้าไปในกระบวนการผลิต มักจะถูกกำจัดออกไปและอยู่ในรูปของเถ้า (ประมาณ 0.1 - 0.2%) (สัมฤทธิ์ ไม้พวง, 2564)

ในการดูดซับหรือดูดซับโมเลกุลหรือไอออนต่างๆ โมเลกุลหรือไอออนต่างๆจะถูกดูดซับกับรูพรุนที่ขนาดพอดีกันและจะถูกกักเก็บไว้ในรูพรุนที่อยู่ลึกในเนื้อของถ่านกัมมันต์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแรงดึงดูดแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals force) (บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด, 2561) ซึ่งเมื่อระยะเวลาผ่านไปประสิทธิภาพในการดูดซับจะลดน้อยลง เนื่องจากพื้นที่ว่างของรูพรุนภายในถ่านกัมมันต์น้อยลง จึงต้องทำการเปลี่ยนถ่านกัมมันต์ใหม่เพื่อใช้ทดแทนหรือสามารถนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำ (Re-activated) เพื่อขจัดโมเลกุลหรือสารต่างๆออกแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้



ภาพที่ 2 แบบจำลองโครงสร้างถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ที่มา : <https://farm.vayo.co.th/blog/activated-carbon/>

2.3.1 วัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์

วัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิด มักเป็นสารอินทรีย์ประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอน (อิงอร สิทธิรักษ์, 2552) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ ดังนี้

1. วัตถุดิบจำพวกเซลลูโลสที่ได้จากพืช เช่น ไม้ยูคาลิปตัส ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้ เหลือทิ้งชนิดต่างๆ เป็นต้น
2. วัตถุดิบเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น เปลือกไม้ กะลามะพร้าว แกลบ ชี้เลื่อย ชัง ข้าวโพด ชานอ้อย เป็นต้น
3. วัตถุดิบจำพวกถ่านหิน เช่น ลิกไนต์ แอนทราไซต์ พีท บิทูมินัส เป็นต้น
4. วัตถุดิบที่ได้จากสัตว์ซึ่งไม่มีมากนัก เช่น เลือด กระดุก เขาสัตว์ เป็นต้น

2.3.2 การผลิตถ่านกัมมันต์

ในการผลิตถ่านกัมมันต์เริ่มจากการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่านหรือการคาร์บอนในเซชัน มักจะใช้การเผาโดยไม่ให้มีอากาศเพื่อป้องกันการกลายเป็นเถ้า ซึ่งกระบวนการคาร์บอนในเซชันใช้อุณหภูมิสูงประมาณ 400 – 500 °C เพื่อให้ได้ถ่านที่มีปริมาณคาร์บอนสูง (สัมฤทธิ์ ไม้พวง, 2564) และจะนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. การกระตุ้นทางเคมี (Chemical Activation)

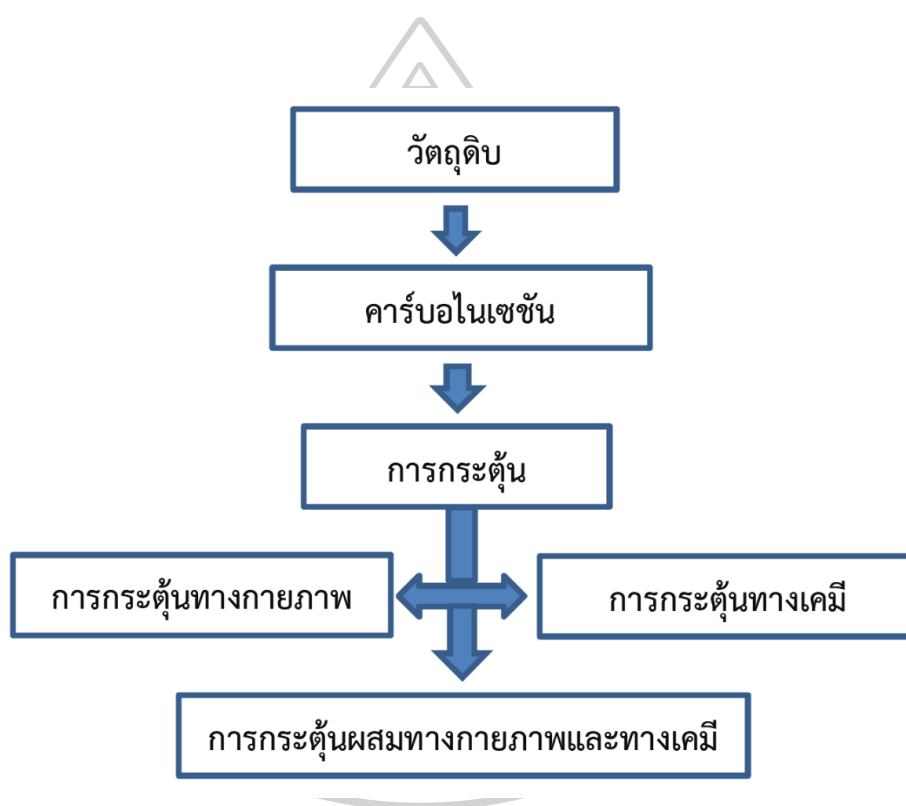
การกระตุ้นทางเคมีนั้น เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดเป็นถ่านในสถานะเฉื่อย และทำการกระตุ้นโดยใช้สารเคมี (Activated reagent) เช่น Phosphoric acid, Zinc chloride, Sodium hydroxide และ Potassium hydroxide โดยใช้อุณหภูมิ 450 – 900 °C จากนั้นนำมาล้างเพื่อชะสารเคมีต่างๆออกและทำให้แห้ง (ชัยวุฒิ นาคเวียง, 2553) ซึ่งการกระตุ้นด้วยสารเคมีมีกนิยมใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากใช้เวลาน้อยกว่าการกระตุ้นทางกายภาพ แต่ข้อเสียของการกระตุ้นด้วยสารเคมีคือการมีสารตกค้างในถ่านกัมมันต์ ส่งผลเสียต่อร่างกายโดยเมื่อมีการสะสมภายในร่างกายที่ตับและไต ส่งผลให้โครโมโซมทำงานผิดปกติ (ฉวีวรรณ เฟ็งพิทักษ์, 2562)

2. การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Activation)

การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นกระบวนการที่นำถ่านมาเผาไหม้ในสถานะที่มีออกซิเจนน้อยและทำการกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) หรือไอน้ำประเภท Superheated

Stream ที่มีอุณหภูมิสูงมากที่ 600 – 950 °C เพื่อให้โครงสร้างภายในของถ่านกัมมันต์เกิดรูพรุนจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ต่างๆ ส่งผลให้รูพรุนของการกระตุ้นทางกายภาพมีขนาดเล็กกว่าการกระตุ้นทางเคมี โดยข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพ คือ ต้นทุนในกระบวนการนี้ต่ำกว่าและสามารถนำไปใช้ได้ทันทีเนื่องจากไม่ต้องล้างสารตกค้างออกแต่ใช้เวลานานกว่า (ชัยวุฒิ นาคเวียง, 2553)

นอกจากนี้ยังสามารถใช้กระบวนการกระตุ้นทั้งสองวิธีร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ให้ดียิ่งขึ้นได้ โดยทำการกระตุ้นด้วยสารเคมีก่อน และนำไปกระตุ้นต่อด้วยทางกายภาพ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือไอน้ำ (อิงอร สิทธิรักษ์, 2552)



ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ที่มา : <https://www.nupress.grad.nu.ac.th/activated-carbon/>

2.3.3 ประเภทของถ่านกัมมันต์

ในปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ให้มีลักษณะทางกายภาพให้เหมาะสมกับการใช้งานได้หลากหลายชนิด สามารถแบ่งเป็น 5 ชนิด ดังนี้

1. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated carbon) มีขนาดรูพรุนประมาณ 5 – 150 °A ซึ่งส่วนมากจะถูกนำมาใช้กับของเหลว โดยการนำถ่านกัมมันต์ชนิดผงผสมลงในของเหลวที่

ต้องการดูดซับและทำการตกตะกอนหรือกรองเพื่อแยกถ่านกัมมันต์ออกมา โดยถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับหรืออิ่มตัวแล้วจะไม่สามารถนำกลับมากระตุ้นและนำกลับมาใช้งานใหม่ได้



ภาพที่ 4 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powdered Activated carbon)

ที่มา : <https://www.carbokarn.co.th/ถ่านกัมมันต์/>

2. ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดหรือชนิดเม็ด (Granular Activated carbon) มีขนาดใหญ่กว่าชนิดผง ขนาดเม็ดจะมีขนาดที่ต่างกันเกิดจากการบดและร่อนเพื่อคัดขนาด โดยมีขนาดตั้งแต่ 0.2 - 5 มิลลิเมตร ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดหรือเม็ดมีคุณสมบัติในเรื่องความแข็งแรง มีระยะเวลาใช้งานได้นานและใช้งานได้สะดวกกว่าชนิดผง ซึ่งสามารถดูดซับหรือกรองก๊าซหรือของเหลวได้ในปริมาณมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถฟื้นฟูและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มักนิยมใช้ในการบำบัดแก๊สหรือของเหลวทั้งสารกรองอยู่นิ่งหรือสารกรองที่หมุนเวียนในระบบ



ภาพที่ 5 ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดหรือชนิดเม็ด (Granular Activated carbon)

ที่มา : <https://www.carbokarn.co.th/ถ่านกัมมันต์/>

3.) ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดขึ้นรูป (Extruded Activated carbon) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาด 1 – 5 มิลลิเมตร การอัดหรือขึ้นรูปทำด้วยเครื่องอัดรีด (Extruder) เหมาะสำหรับการใช้งานหนัก เนื่องจากถ่านกัมมันต์ชนิดอัดขึ้นรูปมีความแข็งแรงสูง แรงดันต้านทานต่ำเหมาะในการใช้ดูดซับทั้งก๊าซและของเหลว เช่น การนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ (Solvent Recovery) การฟอกอากาศ เป็นต้น (บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด, 2561)



ภาพที่ 6 ถ่านกัมมันต์ชนิดอัดขึ้นรูป (Extruded Activated carbon)

ที่มา : <https://www.carbokarn.co.th/ถ่านกัมมันต์/>

4. ถ่านกัมมันต์ชนิดเคลือบอนุภาค (Impregnated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ชนิดพิเศษที่มีการผสมสารอนินทรีย์ลงไปโครงสร้าง เช่น โลหะเงิน ไอโอดีน หรือไอออนบวกของสังกะสี ลิเทียม แคลเซียม เพื่อให้สามารถนำไปฆ่าเชื้อโรคได้ เหมาะสำหรับใช้ในการดูดซับสิ่งปนเปื้อนในน้ำ หรือใช้กรองน้ำในระบบของเครื่องกรองน้ำ (จันทนา ธีรรัตน์, 2551)

5. ถ่านกัมมันต์ชนิดเคลือบพอลิเมอร์ (Polymer-Coated Carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ถูกเคลือบด้วยพอลิเมอร์ชนิดที่เข้ากันได้กับชีวภาพ (Biocompatible polymer) ทำให้พื้นผิวเรียบและมีประสิทธิภาพในการดูดซับได้โดยไม่ปิดกั้นรูพรุน มักใช้ในการดูดซับสารพิษหรือยาออกจากเลือด หรือใช้ในกระบวนการฟอกเลือด (ฉวีวรรณ เพ็งพิทักษ์, 2562)

2.3.4 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ในปัจจุบันถ่านกัมมันต์มีหลากหลายชนิดและขนาด เพื่อให้เหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งแต่ละชนิดมีประโยชน์แตกต่างกัน ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับค่อนข้างสูง เนื่องจากมีพื้นที่ผิวที่มีลักษณะจำเพาะมาก อีกทั้งยังมีโครงสร้างภายในมีรูพรุน บางชนิดยังสามารถฟื้นฟูและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ถือเป็นทางเลือกหนึ่ง ถ่านกัมมันต์จึงเป็นที่นิยมมากทั้งงานทางด้านอุตสาหกรรมและการแพทย์ เช่น การบำบัดน้ำเสีย การกรองน้ำ ดักจับ CO₂ เพื่อควบคุมมลพิษทางอากาศ การคืนกลับของทอง การกำจัดกลิ่น การทำให้สารกลับมาบริสุทธิ์ การขจัดสารพิษออกจากเลือด เป็นต้น (สัมฤทธิ์ ไม้พวง, 2564)

2.4 ความรู้เกี่ยวกับพื้นรองเท้า

ในปัจจุบัน “รองเท้า” ถือเป็นอุปกรณ์เครื่องแต่งกายสำคัญอย่างหนึ่งที่มนุษย์ทุกคนต้องใช้ในการชีวิตประจำวันและมีความหลากหลายตามสมัยนิยม ซึ่งทุกคนต้องมีรองเท้าอย่างน้อยคนละหนึ่งคู่ เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกหรืออันตรายที่เกิดจากการสัมผัสเท้ากับพื้นผิวต่างๆ เช่น การบาดเจ็บจากการเดินหรือวิ่ง โดยรองเท้ามีความหลากหลายประเภทตามวัสดุและความเหมาะสมต่อการใช้งาน (วิระวัฒน์ พันธุ์ครุฑ, 2558) ซึ่งวัสดุพื้นรองเท้าที่นิยมใช้และพบได้โดยทั่วไป เช่น พื้นไม้ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยาง โดยจะมีพื้นยางธรรมชาติ (Natural rubber) พื้นยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) หรือพื้นยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์ มักพบ 3 รูปแบบ คือ พื้นยางแข็ง พื้นยางพองน้ำ พื้นพีวีซี (PVC) (ดารณี เจริญสุข, 2556)

2.4.1 กระบวนการผลิตรองเท้า

1. การออกแบบและการสร้างรูปแบบ

การออกแบบและการสร้างรูปแบบเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการผลิต เป็นการวางแผนรูปแบบของรองเท้า วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ องค์ประกอบต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานและความทันสมัย ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจำเพาะสำหรับส่วนต่างๆของรองเท้า เช่น การขึ้นรูป การตัดเย็บ ชนิดพื้นรองเท้า สายรัดและแผ่นรองฝ่าเท้า เป็นต้น

2. การเตรียมวัสดุ

เป็นกระบวนการจัดหาและเตรียมวัสดุที่จำเป็นสำหรับการผลิตรองเท้า เช่น ยาง ฝ้าย หรือสายรัด พลาสติก โฟมหรือวัสดุอื่นๆ

3. การหลอมโลหะ

การหลอมโลหะเป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตยางหรือรองเท้าแตะยางเรียกกระบวนการนี้ว่า วัลคาไนซ์ โดยจะใช้ความร้อนอยู่ที่ 150-200 °C ความดันที่ 15-20 psi และเติมสารวัลคาไนซ์ เช่น กำมะถัน บ่มยางที่ผสมแล้วอย่างน้อย 16 ชั่วโมง เพื่อช่วยในการยึดเกาะของโมเลกุลของยาง โดยโมเลกุลของยางจะถูกเชื่อมขวาง ทำให้ได้วัสดุที่แข็งแรง ทนทาน มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและยังช่วยปรับปรุงด้านความต้านทานของยางต่อความร้อน สารเคมีและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ซึ่งกระบวนการวัลคาไนซ์สามารถทำได้ทั้งแบบแบทช์และแบบต่อเนื่องขึ้นอยู่กับโรงงานผลิต จากนั้นขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอัดหรือแบบฉีดและทำการตัดชิ้นงานตามแบบที่ต้องการ



ภาพที่ 7 กระบวนการผลิตยางพื้นรองเท้า

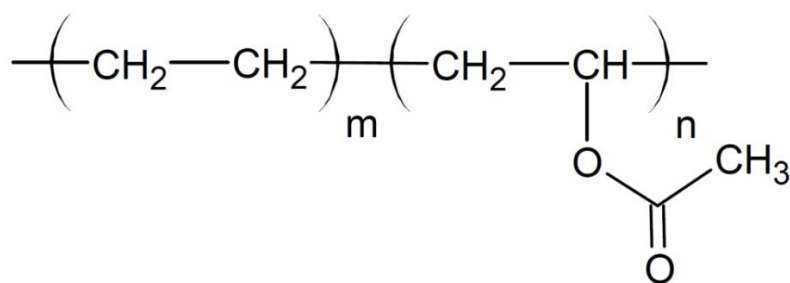
ที่มา : http://www.mahidolrubber.org/lc_rtec/rubber_product/2556_soles_rtec.pdf

4. การประกอบ

เป็นกระบวนการประกอบส่วนต่างๆของรองเท้าเข้าด้วยกัน ประกอบด้วย การติดสายรัดอาจติดด้วยกาว เย็บหรือวิธีอื่นเพื่อยึดสายรัดกับพื้นรองเท้า การใส่แผ่นรองเท้าหรือแผ่นรองฝ่าเท้าเพื่อเพิ่มความสบายและรองรับน้ำหนัก การตกแต่งเป็นการประดับหรือเสริมแต่งเพิ่มเติม เช่น การสกรีนลวดลาย การปักด้วยกระดุมเพื่อความสวยงามและความทันสมัย เป็นต้น (PremiumFlipflops, 2566)

2.4.2 ชนิดของพื้นรองเท้า

1. พื้นรองเท้าอีวีเอ (EVA) หรือเรียกว่า Ethylene-vinyl acetate เป็นโคพอลิเมอร์เชิงเส้นแบบสุ่มที่เกิดจากโคพอลิเมอร์ไรเซชัน (Copolymerization) ของโมโนเมอร์ของเอทิลีน (Ethylene monomer) และโมโนเมอร์ของไวนิลอะซิเตต (Vinyl acetate monomer, VA) ซึ่งคุณสมบัติส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและปริมาณของไวนิลอะซิเตต (VA) (บริษัท เอ็มดีอาร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, 2565) หรือเรียกว่า %VA โดยโคพอลิเมอร์ EVA มีโครงสร้างที่การเรียงของโมเลกุลไม่เป็นระเบียบ มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ทำให้มีคุณสมบัติการยืดหยุ่นสูง มีความทนทาน น้ำหนักเบา สามารถทำให้บวมหรือขึ้นรูปได้ เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรม เช่น บรรจุภัณฑ์อาหารและยา กาวร้อน พื้นรองเท้า แผ่นกันลื่น เป็นต้น (Cooper, 2013)

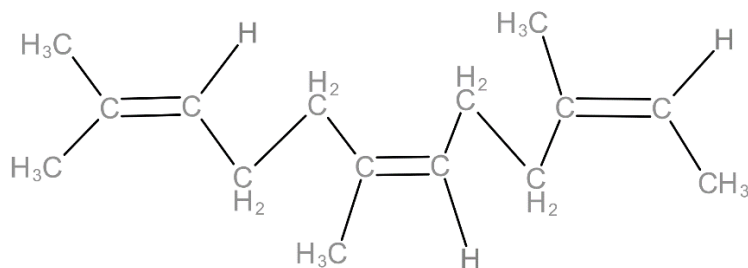


ภาพที่ 8 โครงสร้างโมเลกุล EVA (Ethylene-vinyl acetate)

ที่มา : <https://www.mdr-thai.com/ethylene-vinyl-acetate-eva/>

2. พื้นยางธรรมชาติ (Natural rubber) เป็นโพลิเมอร์ประเภทอีลาสโตเมอร์ (Elastomer) ซึ่งมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นที่ดี โมเลกุลใหญ่ต่อกันเป็นสายยาวเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโมเลกุลอ่อนๆ ยางธรรมชาติได้มาจากน้ำยางสดที่กรีตจากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) มีลักษณะเป็นสีขาวคล้ายน้ำมัน (Cornish, 2017) สามารถนำมาทำให้แข็งตัวหรือเอาน้ำออกได้หลายวิธี เช่น การระเหย การปั่นเหวี่ยง รวมถึงการเติมสารที่รักษาสภาพน้ำยางป้องกันไม่ให้น้ำยางแข็งตัวเพื่อนำไปแปรรูปต่อไปได้ ยางธรรมชาติเป็นสารที่ไม่มีขั้ว มีความยืดหยุ่นสูง ทนต่อการฉีกขาด เสื่อมสภาพ

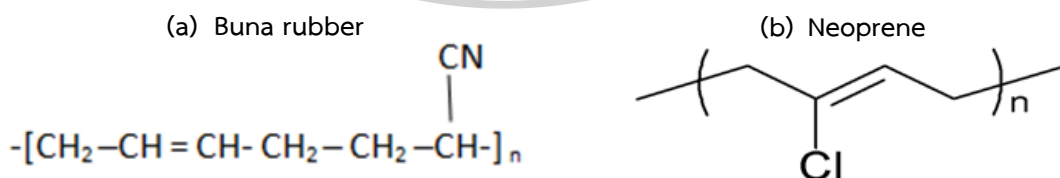
ง่ายเมื่อเจอแสงแดดและความร้อนจัด ไม่ทนต่อตัวทำละลายไม่มีขี้ เช่น น้ำมันปิโตรเลียมหรือสารเคมีอื่นๆ (Pocius, 2012)



ภาพที่ 9 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ (Natural rubber)

ที่มา : <https://www.mdpi.com/2313-4321/6/4/78>

3. พลาสติกสังเคราะห์ (Synthetic rubber) เป็นยางที่สังเคราะห์จากสารเคมี เป็นพอลิเมอร์อีลาสโตเมอร์ (Elastomer) อีกประเภทหนึ่งที่มีการพัฒนามาจากยางธรรมชาติเพื่อให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น ยางสังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น ยางไนไตรล์ (Nitrile rubber หรือ Buna rubber) ยางบิวทิล (Butyl rubber) และยางนีโอพรีน (Neoprene rubber หรือ Chloroprene Rubber) (Hazeltine, 2003) ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมในการใช้งาน คุณสมบัติของยางสังเคราะห์ มีความยืดหยุ่น ทนต่อการสึกหรอ การดึงและการฉีก ทนต่อสภาพอากาศทั้งความร้อนได้ถึง 200 °C และทนต่อแสงแดด อีกทั้งยังสามารถทนต่อสารเคมีจำพวกน้ำมันปิโตรเลียมได้ดีกว่ายางธรรมชาติ (Crawford & Quinn, 2017)



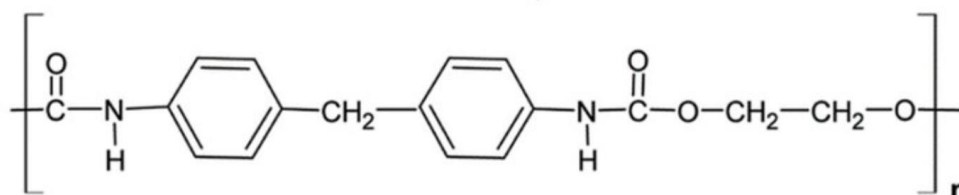
ภาพที่ 10 โครงสร้างโมเลกุลของยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber)

(a) ยางไนไตรล์ (Nitrile rubber หรือ Buna rubber)

(b) ยางนีโอพรีน (Neoprene rubber หรือ Chloroprene Rubber)

ที่มา : <https://byjus.com/chemistry/natural-rubber-and-properties/>

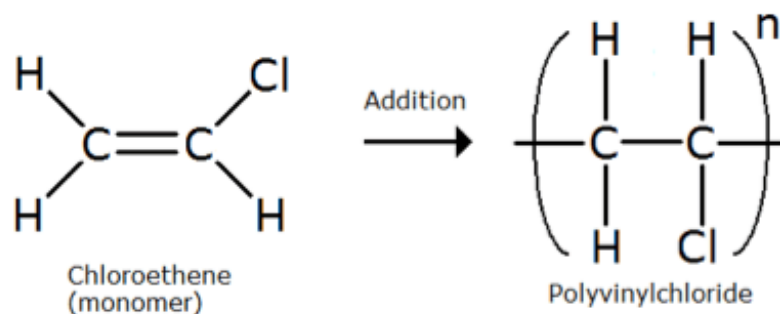
4. ฟีนพียู (PU) หรือเรียกว่า Polyurethane เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งประกอบด้วย การเชื่อมต่อกันของยูรีเทนและโพลิเมอร์ของยูรีเทน (Support Going Studio, 2562) ถูกพบครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1938 โดย Otto Bayer ถูกพัฒนาและนำมาผลิตเชิงพาณิชย์โดย DuPont ภายใต้ชื่อทาง การค้า Lycra โดย Polyurethane เป็นได้ทั้งเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) หรือ เทอร์โมเซต (Thermosets) ทำให้ไม่สามารถหลอมเหลวและขึ้นรูปใหม่ได้ มีคุณสมบัติโดดเด่นคือ มีความเหนียว ทนต่อการสึกหรอ ทนทานต่อการเสียดสี การอัดลม ความร้อนและสารเคมีได้ดี ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากฟิอี (PU) มีหลายชนิด เช่น โฟมอ่อน ใช้ผลิตที่นอน เบาะรถยนต์หรือจักรยานยนต์ โฟมแข็งมักใช้เป็น ฉนวนรถยนต์ สารเคลือบรองเท้าหรือเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ รวมถึงใช้ทางการแพทย์ เช่น โครงหรือวัสดุอุด ฟัน เป็นต้น (Faktynowicz et al., 2022)



ภาพที่ 11 โครงสร้างโมเลกุลของฟิยู (Polyurethane)

ที่มา : <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/3/782>

5. ฟีนพีวีซี (PVC) หรือเรียกว่า Polyvinylchloride เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วย การเชื่อมกันของไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์ (Vinyl chloride monomer, VCM) ซึ่งมีเอทิลีนและ คลอรีนเป็นสารตั้งต้น (กรรณิการ์ บุตรเอก, 2555) ถูกคิดค้นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1912 และมีการผลิต เชิงพาณิชย์เมื่อปี ค.ศ. 1931 เนื่องจากเป็นช่วงทำสงคราม กองทัพอากาศได้มีการผลิตผ้าเรยอนจำนวนมาก ทำให้มีคลอรีนจำนวนมากเป็นผลพลอยได้ พีวีซี (PVC) เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) ที่ใช้ความร้อนในการหลอมเหลวและขึ้นรูปได้ โดยสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ ให้เหมาะสมต่อการใช้งานได้โดยการเติมสารเคมีปรุงแต่ง เช่น เช่น plasticizer, modifier และ fillers เป็นต้น เพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้มีความแข็ง คงตัวหรืออ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นได้ โดยทั่วไปแล้ว PVC เป็นวัสดุที่แข็ง มีน้ำหนักเบา ทนต่อสภาพอากาศ สารเคมีและน้ำได้ดี เป็นฉนวนที่ดี สามารถเติมแต่งสี ให้หลากหลายได้ แต่กันสั่นได้ไม่ดีนัก (Koerner & Koerner, 2018) ซึ่ง PVC นิยมใช้ในอุตสาหกรรม อื่นมากกว่าอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์หรือเกี่ยวกับอาหาร



ภาพที่ 12 โครงสร้างโมเลกุลของพีวีซี (Polyvinylchloride)

ที่มา : <https://www.researchgate.net/publication/326405385>

6. ฟีนไฟลอน หรือ Phylon เป็นที่รู้จักในชื่อว่า Feilong โดยทั่วไปแล้วมักใช้เป็นวัสดุทำพื้นรองเท้าแลฟพื้นรองเท้าชั้นกลาง เป็นส่วนผสมจากวัสดุโพลีเอทิลีน (PE) ที่ถูกให้ความร้อนและบีบอัด จะเกิดการขยายตัวเมื่อให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นลงในแม่พิมพ์เพื่อขึ้นรูป มีคุณสมบัติน้ำหนักเบา สามารถรับน้ำหนักได้ดี แข็งแรง มีความยืดหยุ่นสูง ยึดเกาะได้ดี จึงนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตแผ่นกันลื่นหรือพื้นรองเท้า (ideastep, 2021)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาของ Frontela et al. (1995) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการตรวจพิสูจน์หาน้ำมันเชื้อเพลิงจากเศษซากเพลิงไหม้โดยการกลั่นด้วย n-hexane และการใช้ Activated charcoal ในการดูดซับน้ำมัน โดยนำมาสกัดด้วย CS₂ วิเคราะห์โดย GC-MS พบว่าวิธีที่ใช้ Activated charcoal เป็นตัวดูดซับได้ผลรวดเร็วกว่า แต่วิธีการกลั่นมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สูงกว่า (Frontela et al., 1995)

การศึกษาของ Coulson & Morgan-Smith (2000) ได้ศึกษาหาปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงบนเสื้อผ้าและรองเท้าระหว่างการเทน้ำมันเชื้อเพลิงลงบนพื้นห้อง โดยศึกษาเปรียบเทียบระดับความสูงในการเท (ระดับเข่าและสะโพก) และพื้นผิวของพื้นห้อง (พรมและคอนกรีต) พบว่าการเทระดับสะโพกมีปริมาณน้ำมันพบมากที่สุดที่รองเท้า กางเกงและเสื้อตามลำดับ (Coulson & Morgan-Smith, 2000)

การศึกษาของ Darrer et al. (2008) ได้ศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือโดยใช้ถุงมือ PVC, PE, Latex และกระดาษกรองความชื้น โดยใช้ Charcoal strip (DFLEX) ในการดูดซับ

และวิเคราะห์ด้วย GC-FID พบว่าถุงมือ PVC สามารถเก็บตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดีที่สุดและพบน้ำมันมากที่สุดในช่วงเวลาก่อน 30 นาที (Darrer et al., 2008)

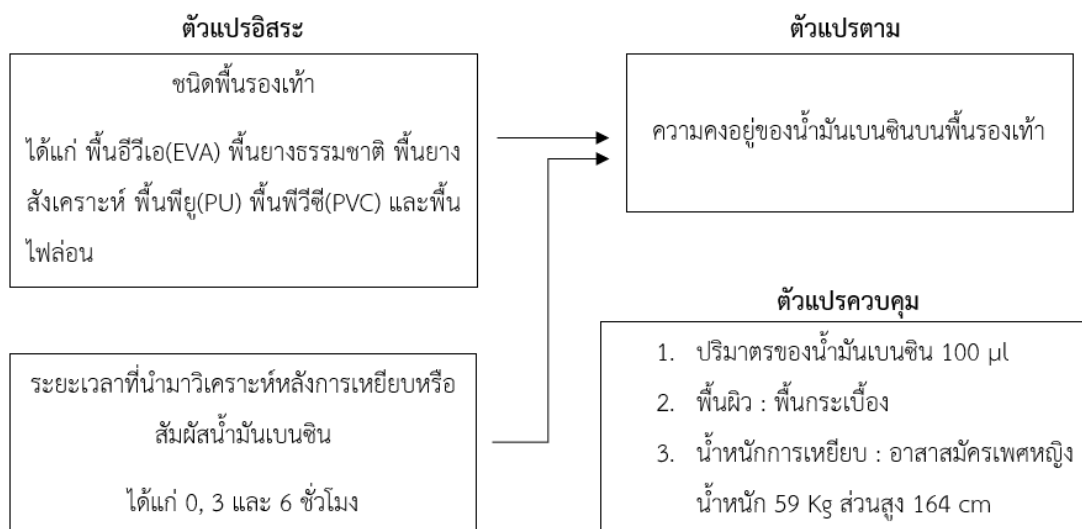
ต่อมามีการศึกษาของ Ferreiro-González et al. (2015) ได้เสนอแนวทางใหม่ในการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินโดย Activated charcoal strip (ACS) มาวิเคราะห์ด้วย HS-MS เทียบกับการสกัดด้วย Dichloromethane แล้ววิเคราะห์ด้วย GC-MS พบว่าผลการทดลองทั้งสองวิธีสามารถเทียบเคียงกันได้ (Ferreiro-González et al., 2015)

จากการศึกษาของจันทนา ธรินทร์รัมย์ (2551) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวดูดซับระหว่าง DFLEX และ Activated carbon ที่นำมาสกัดด้วย Dichloromethane และวิเคราะห์โดยเทคนิค GC-FID พบว่า %Recovery ของตัวดูดซับทั้งสองชนิดมีความใกล้เคียงกัน Activated carbon (67.76%) และ DFLEX (69.74%) จึงสรุปได้ว่าสามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ (จันทนา ธรินทร์รัมย์, 2551)

ในการศึกษาของธัญญา ศุภย์คุ้ม (2557) ได้ทำการตรวจพิสูจน์หาน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือและเสื้อผ้าภายหลังที่สัมผัสน้ำมันทันที 1, 3, 6 และ 12 ชั่วโมง โดยใช้ Activated carbon เป็นตัวดูดซับและวิเคราะห์ด้วย GC-FID พบว่าถึงแม้จะทำความสะอาดฝ่ามือด้วยน้ำหรือน้ำยาล้างจานยังสามารถตรวจพบน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือมากกว่า 12 ชั่วโมง แต่บนเสื้อผ้าพบได้ถึง 3 ชั่วโมง (ธัญญา ศุภย์คุ้ม, 2557)

จากการศึกษาของศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และคณะ (2563) ได้ศึกษาการตรวจพิสูจน์หาน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบที่พื้นผิวต่างกัน (พื้นดิน พื้นคอนกรีตและพื้นกระเบื้อง) ภายหลังจากเหยียบน้ำมันระยะเวลาทันที 1, 3, 6, 12, 16 และ 24 ชั่วโมงโดยใช้ Activated carbon เป็นตัวดูดซับและวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID สามารถตรวจพบน้ำมันเบนซินทุกพื้นผิวภายหลังจากเหยียบน้ำมันที่ 24 ชั่วโมงและในการวิเคราะห์ทันทีที่เหยียบน้ำมันพบว่าพื้นผิวที่พบปริมาณน้ำมันเบนซินมากที่สุดคือ พื้นกระเบื้อง (30.11 ppm) พื้นคอนกรีต (15.57 ppm) และพื้นดิน (12.83 ppm) ตามลำดับ (ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และคณะ, 2563)

2.6 กรอบแนวคิดงานวิจัย



ภาพที่ 13 กรอบแนวคิดงานวิจัย



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experiment Research) เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ภายหลังจากการเหยียบน้ำมันที่ระยะเวลาทันที 3 และ 6 ชั่วโมง โดยใช้เทคนิค HS-GC-MS ในการวิเคราะห์ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินงานวิจัยเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

- 3.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย
- 3.2 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย
- 3.3 การกำหนดอาสาสมัคร
- 3.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
- 3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการใช้เทคนิค HS-GC-MS ในการวิเคราะห์หาน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ภายหลังจากการเหยียบน้ำมันบนพื้นผิวกระเบื้องที่ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมง
2. เพื่อศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นพียู (PU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นโฟล่อน ภายหลังจากการเหยียบน้ำมันบนพื้นผิวกระเบื้องที่ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมง

3.2 การศึกษาเพื่อกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย

การศึกษาระดับวิเคราะห์หาน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ภายหลังจากการเหยียบน้ำมันเบนซินในระยะเวลาทันที 3 และ 6 ชั่วโมง ตามแนวคิด ทฤษฎีและผลงานวิจัย โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาในการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค HS-GC-MS เพื่อศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซิน รวมถึงแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบน้ำมันเบนซิน Activated carbon ที่ใช้เป็นตัวดูดซับไอระเหยน้ำมันเบนซินและงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาวิเคราะห์จนได้ข้อสรุปเป็นกรอบแนวคิดในงานวิจัยครั้งนี้

3.3 การกำหนดอาสาสมัคร

อาสาสมัครเพศหญิงจำนวน 1 คน น้ำหนัก 59 กิโลกรัม ส่วนสูง 164 เซนติเมตร ซึ่งในขั้นตอนของการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินบนแผ่นกระเบื้องนั้นให้อาสาสมัครสวมรองเท้าและเหยียบลงบนแผ่นกระเบื้องที่มีน้ำมันเบนซินเติมน้ำหนักตัวเพื่อควบคุมน้ำหนักที่ใช้ในการเหยียบ

3.4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. พื้นรองเท้าที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นพียู (PU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นไพล่อน
2. น้ำมันเบนซิน จากปั้มน้ำมันเชลล์
3. แผ่นกระเบื้องสีขาว จากร้านวัสดุก่อสร้าง
4. ถุงชา (Tea Bag) ขนาด 9.5x0.1x7 เซนติเมตร จากร้าน Daiso
5. ถุงพลาสติกใสขนาด 10x15 นิ้ว จากร้านที่เคพลาสติกนครปฐม
6. ไดรฟ์เป่าผมยี่ห้อ Xiaomi ความเร็วมอเตอร์ 20,000 รอบ/นาที
7. ขวด vial ขนาด 20 ml จาก CeiExpert
8. Activated carbon ชนิดผงละเอียดพิเศษ (40.615 μm) จาก Amouriq
9. เครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง
10. Micropipette
11. Tip sterile

ตารางที่ 1 ตัวอย่างพื้นรองเท้าชนิดต่างๆและแหล่งที่มา

ตัวอย่างพื้นรองเท้า	แหล่งที่มา
<p data-bbox="587 427 756 472">พื้นอีวีเอ (EVA)</p> 	<p data-bbox="1098 600 1358 757">ถนนคนเดินทวารวดีศรี นครปฐม จ.นครปฐม</p>
<p data-bbox="576 943 767 987">พื้นยางธรรมชาติ</p> 	<p data-bbox="1139 1115 1318 1211">ร้านใจเฮง อ.เถิน จ.ลำปาง</p>
<p data-bbox="571 1451 772 1496">พื้นยางสังเคราะห์</p> 	<p data-bbox="1166 1686 1291 1783">ตลาดล่าง จ.นครปฐม</p>

ตัวอย่างพื้นรองเท้า	แหล่งที่มา
<p data-bbox="603 344 743 394">พื้นพียู (PU)</p> 	<p data-bbox="1094 517 1361 562">ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัล</p> <p data-bbox="1190 577 1265 622">ลำปาง</p> <p data-bbox="1177 633 1278 678">จ.ลำปาง</p>
<p data-bbox="592 857 754 907">พื้นพีวีซี (PVC)</p> 	<p data-bbox="1094 1032 1361 1077">ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัล</p> <p data-bbox="1190 1093 1265 1137">ลำปาง</p> <p data-bbox="1177 1149 1278 1193">จ.ลำปาง</p>
<p data-bbox="612 1370 734 1420">พื้นโฟล่อน</p> 	<p data-bbox="1171 1603 1283 1648">ตลาดล่าง</p> <p data-bbox="1166 1659 1287 1704">จ.นครปฐม</p>

3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.5.1 การวิเคราะห์ HS-GC-MS

ในการวิเคราะห์หาน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ โดยเทคนิค HS-GC-MS จะใช้เครื่อง GC-MS ยี่ห้อ Thermo Scientific (รุ่น Trace1300GC และ ISQ7000MS) ควบคู่กับ HS Autosampler (Thermo Scientific-Triplus RSH) และใช้ Column TG-5MS ขนาด 30m x 0.25mm x 0.25 μ m โดยจะศึกษาตามสภาวะการทดลองดังนี้

Incubation parameter

Agitator Temperature	: 100 °C
Incubation time	: 10 min
Agitator on	: 10 min
Agitator off	: 2 min

Injection parameter

Injected volume	: 100 μ l
Injection mode	: Slit flow 50
Injection temperature	: 200 °C

Chromatograph parameter

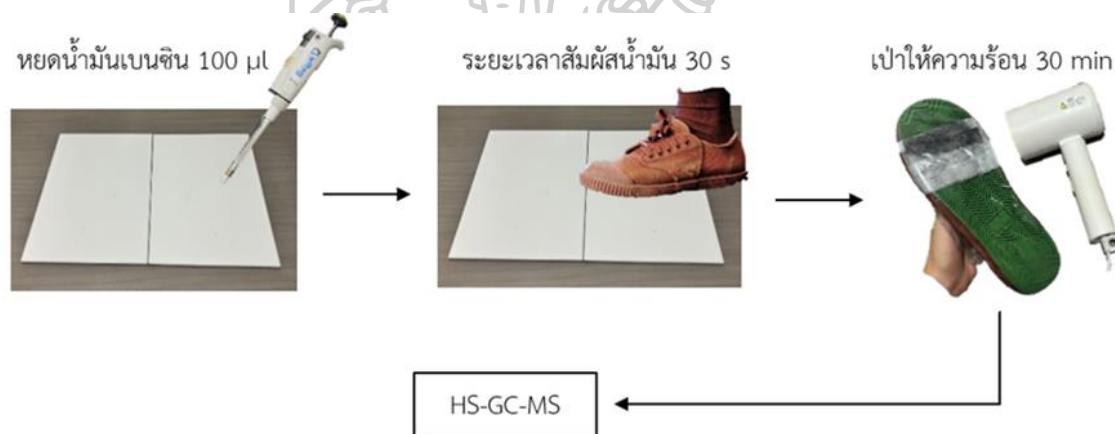
Carrier gas	: Helium
Carrier gas flow rate	: 1ml/min
Oven temperature	: 60 °C to 100 °C เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 10 °C 100 °C to 200 °C เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 15 °C

Mass Spectrometry parameter

Transfer line temperature	: 250 °C
Source temperature	: 250 °C
Ionisation mode	: Electron Impact (EI)
Acquisition mode	: Scan
Solvent delay	: 0.0 min
Full scan mass range	: 50 – 500 amu

3.5.2 การเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้า

ในขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซิน โดยเริ่มจากหยดน้ำมันเบนซินปริมาตร 100 μl บนแผ่นกระเบื้องที่ทำความสะอาดแล้ว จากนั้นให้อาสาสมัคร (เพศหญิง น้ำหนัก 59 kg ส่วนสูง 164 cm) สวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นพียู (PU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นโฟล่อน เหยียบบนแผ่นกระเบื้องเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างทันทีโดยวางถุงชาที่บรรจุ Activated carbon 0.2000 g ที่เตรียมพร้อมใช้งานแล้วบนพื้นรองเท้าบริเวณที่สัมผัสกับน้ำมันเบนซิน แล้วนำมาสวมด้วยถุงพลาสติกใสและปิดปากถุงให้สนิท นำไตรมาเป่าให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำถุงชาที่บรรจุ Activated carbon ใส่ลงในขวด vial ปิดฝาให้สนิทโดยทันทีและนำไปวิเคราะห์โดยเทคนิค HS-GC-MS ทำการทดลองซ้ำโดยศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ที่ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมงภายหลังจากการเหยียบกับน้ำมันเบนซิน โดยจะถอดรองเท้าวางไว้ในห้องที่มีการถ่ายเทและอยู่ในอุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 14 แผนผังการทดลอง

3.5.3 การวิเคราะห์หาขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องมือ (Instrumental Detection Limit, IDL)

เตรียมน้ำมันเบนซินที่ใช้ในการศึกษานี้ปริมาตร 10, 7, 5, 3 และ 1 μl บรรจุลงในขวด vial ที่ปิดสนิท นำไปวิเคราะห์โดยเทคนิค HS-GC-MS ตามสภาวะการทดลอง (ข้อ 3.5.1) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องมือที่จะสามารถตรวจวัดปริมาณน้ำมันเบนซินที่ใช้ในการทดลองได้ เมื่อได้ปริมาตรที่ต่ำที่สุดที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้แล้ว นำน้ำมันเบนซินที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาตรดังกล่าวบรรจุลงขวด vial ปิดฝาให้สนิทและนำมาวิเคราะห์หาขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องมือ (Instrumental Detection Limit, IDL) โดยใช้เทคนิค HS-GC-MS ตามสภาวะการทดลอง (ข้อ 3.5.1) จำนวน 10 ซ้ำ ตรวจสอบค่าสัญญาณของสารที่ต้องการวิเคราะห์เทียบกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio, S/N) โดยกำหนดเกณฑ์ยอมรับค่าสัญญาณของสารที่ต้องการวิเคราะห์ต้องมีค่ามากกว่า 3 เท่าของสัญญาณรบกวน หรือ $S/N \geq 3$



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการวิเคราะห์หาน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นพียู (PU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นโฟล่อน เมื่อทำการหยดน้ำมันเบนซิน 100 μ l ลงบนแผ่นกระเบื้องที่ทำความสะอาดแล้ว จากนั้นให้อาสาสมัครสวมรองเท้าแล้วเหยียบลงบริเวณที่หยดน้ำมันเบนซินไว้โดยให้มีระยะเวลาสัมผัสน้ำมัน 30 วินาที แล้ววางรองเท้าไว้ที่อุณหภูมิห้องและทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินในระยะเวลาที่ 0, 3 และ 6 ชั่วโมง ภายหลังจากเหยียบน้ำมัน จากนั้นนำถุงชาที่บรรจุ Activated carbon วางบนพื้นรองเท้าบริเวณที่สัมผัสน้ำมัน และนำมาสวมด้วยถุงพลาสติกใส่โดยปิดปากถุงให้สนิท นำไดร์เป่าผมมาเป่าให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำถุงชาที่บรรจุ Activated carbon ใส่ลงในขวด vial ปิดฝาให้สนิททันที นำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค HS-GC-MS จึงได้โครมาโทแกรมที่แสดงองค์ประกอบของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ที่ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมง ภายหลังจากการเหยียบน้ำมันเบนซินมีลักษณะตำแหน่งของพีค (Peak) ที่ปรากฏใกล้เคียงกันและเมื่อนำมาวิเคราะห์สารประกอบโดยใช้ฐานข้อมูล (MS Libraries) จาก Replib และ Mainlib พบว่าโครมาโทแกรมของพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ทั้ง 3 ระยะเวลา มีสารประกอบ 12 ชนิดที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันเบนซิน ได้แก่ i-Pentane, n-Pentane, 2,2-Dimethylbutane, 2-Methylpentane, 3-Methylpentane, n-Hexane, Methylcyclopentane, Benzene, Toluene, Ethylbenzene, p-Xylene และ o-Xylene แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Naggar et al., 2017) น้ำมันเบนซินมีส่วนประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจุดเดือดต่ำหลายชนิด ซึ่งความเข้มข้นสัมพัทธ์จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำมันดิบและกระบวนการกลั่นของน้ำมัน

ตารางที่ 2 สารประกอบ 12 ชนิดที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ที่ระยะเวลา 0, 3 และ 6 ชั่วโมง

No.	สารประกอบ	Retention time (min)
1	i-Pentane	1.61
2	n-Pentane	1.64
3	2,2-Dimethylbutane	1.69
4	2-Methylpentane	1.74
5	3-Methylpentane	1.78
6	n-Hexane	1.81
7	Methylcyclopentane	1.91

No.	สารประกอบ	Retention time (min)
8	Benzene	2.03
9	Toluene	2.58
10	Ethylbenzene	3.39
11	p-Xylene	3.47
12	o-Xylene	3.73

ตารางที่ 3 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าอีวีเอ (EVA) ภายหลังจากเหยียบน้ำมัน

สารประกอบ	ระยะเวลาหลังการเหยียบน้ำมันเบนซิน		
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
i-Pentane	✓	✓	
n-Pentane	✓	✓	✓
2,2-Dimethylbutane	✓	✓	✓
2-methylpentane	✓	✓	✓
3-Methylpentane	✓	✓	
n-Hexane	✓	✓	
Methylcyclopentane	✓	✓	
Benzene	✓	✓	✓
Toluene	✓	✓	✓
Ethylbenzene	✓	✓	✓
p-Xylene	✓	✓	✓
o-Xylene	✓	✓	✓

ตารางที่ 4 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้ายางธรรมชาติภายหลังจากเหยียบน้ำมัน

สารประกอบ	ระยะเวลาหลังการเหยียบน้ำมันเบนซิน		
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
i-Pentane	✓	✓	✓
n-Pentane	✓	✓	✓
2,2-Dimethylbutane	✓	✓	✓
2-methylpentane	✓	✓	✓
3-Methylpentane	✓	✓	✓
n-Hexane	✓	✓	✓
Methylcyclopentane	✓	✓	✓
Benzene	✓	✓	✓
Toluene	✓	✓	✓
Ethylbenzene	✓	✓	✓
p-Xylene	✓	✓	✓
o-Xylene	✓	✓	✓

ตารางที่ 5 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าพีวีซี (PVC) ภายหลังจากเหยียบน้ำมัน

สารประกอบ	ระยะเวลาหลังการเหยียบน้ำมันเบนซิน		
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
i-Pentane	✓	✓	✓
n-Pentane	✓	✓	✓
2,2-Dimethylbutane	✓	✓	✓
2-methylpentane	✓	✓	✓
3-Methylpentane	✓	✓	✓
n-Hexane	✓	✓	✓

สารประกอบ	ระยะเวลาหลังการเหยียบน้ำมันเบนซิน		
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
Methylcyclopentane	✓	✓	
Benzene	✓	✓	✓
Toluene	✓	✓	✓
Ethylbenzene	✓	✓	✓
p-Xylene	✓	✓	✓
o-Xylene	✓	✓	✓

ในการวิเคราะห์โครมาโทแกรมน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ ภายหลังจากการเหยียบน้ำมันเบนซินบนพื้นกระเบื้องทันที (0 ชั่วโมง) นอกจากสารประกอบทั้ง 12 ชนิดแล้ว พื้นรองเท้าทุกชนิดยังพบพีคของสารประกอบอื่นของน้ำมันเบนซิน เช่น i-Butane (1.56 นาที), methylcyclohexane (2.31 นาที) เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบพีคของ 3-Ethyltoluene (4.52 นาที) และ 1,2,3-Trimethylbenzene (4.92 นาที) ซึ่งถือเป็นพีคเอกลักษณ์ที่สามารถบ่งชี้ถึงน้ำมันเบนซินได้ (Jhaumeer Laulloo et al., 2013) โดยพีคของ 3-Ethyltoluene พบบนพื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางสังเคราะห์ พื้นพียู (PU) และพื้นโฟล่อน และพีคของ 1,2,3-Trimethylbenzene พบบนพื้นรองเท้าทุกชนิดยกเว้นพื้นพีวีซี (PVC) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา (จุฑามาศ ยิ้มนุ่น, 2559) ระบุว่าพื้นพีวีซี (PVC) เป็นพื้นรองเท้าที่มีลักษณะมันทำให้น้ำมันเบนซินไม่ยึดเกาะบนพื้นรองเท้าหรือยึดเกาะได้น้อย

ตารางที่ 6 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าพียู (PU) ภายหลังจากการเหยียบน้ำมัน

สารประกอบ	ระยะเวลาหลังการเหยียบน้ำมันเบนซิน		
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
i-Pentane	✓	✓	✓
n-Pentane	✓	✓	
2,2-Dimethylbutane	✓	✓	✓
2-methylpentane	✓	✓	✓
3-Methylpentane	✓	✓	
n-Hexane	✓	✓	
Methylcyclopentane	✓	✓	

สารประกอบ	ระยะเวลาหลังการเหยียบน้ำมันเบนซิน		
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
Benzene	✓	✓	✓
Toluene	✓	✓	✓
Ethylbenzene	✓	✓	
p-Xylene	✓	✓	
o-Xylene	✓		

ตารางที่ 7 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าไพล่อนภายใต้การเหยียบน้ำมัน

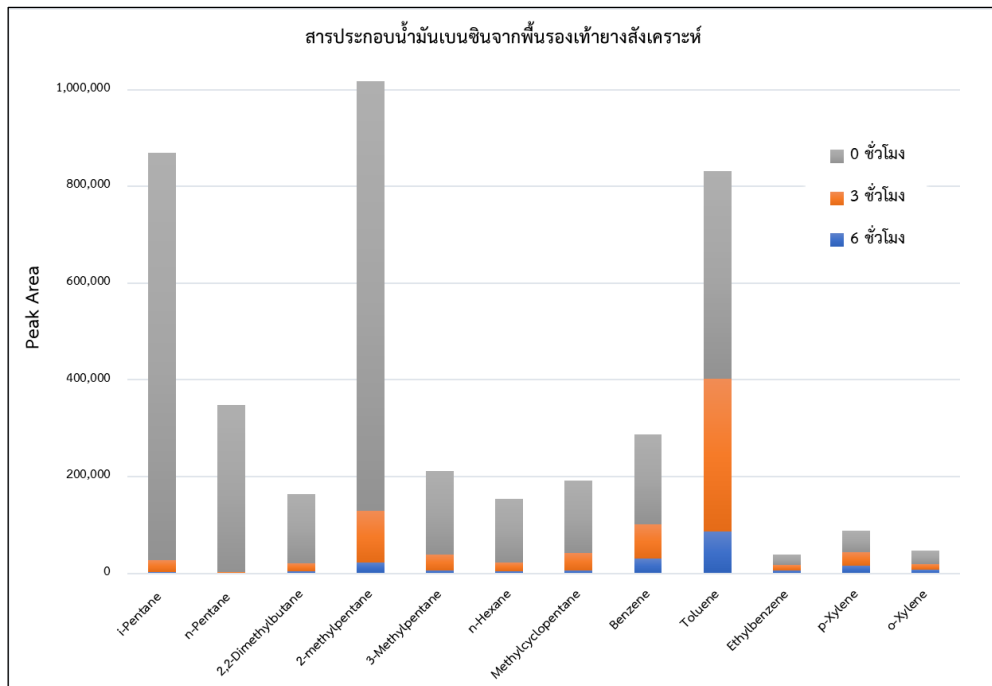
สารประกอบ	ระยะเวลาหลังการเหยียบน้ำมันเบนซิน		
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
i-Pentane	✓	✓	✓
n-Pentane	✓		✓
2,2-Dimethylbutane	✓	✓	✓
2-methylpentane	✓	✓	✓
3-Methylpentane	✓	✓	✓
n-Hexane	✓	✓	✓
Methylcyclopentane	✓	✓	✓
Benzene	✓	✓	✓
Toluene	✓	✓	✓
Ethylbenzene	✓		✓
p-Xylene	✓		✓
o-Xylene	✓		✓

จากการวิเคราะห์โครมาโทแกรมภายใต้การเหยียบน้ำมันเบนซินบนพื้นกระเบื้องที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 6 และตารางที่ 7 พบว่าพื้นพียู (PU) ตรวจไม่พบพีคของ o-Xylene และบนพื้นไพล่อนตรวจไม่พบพีคของ Ethylbenzene, p-Xylene และ o-Xylene

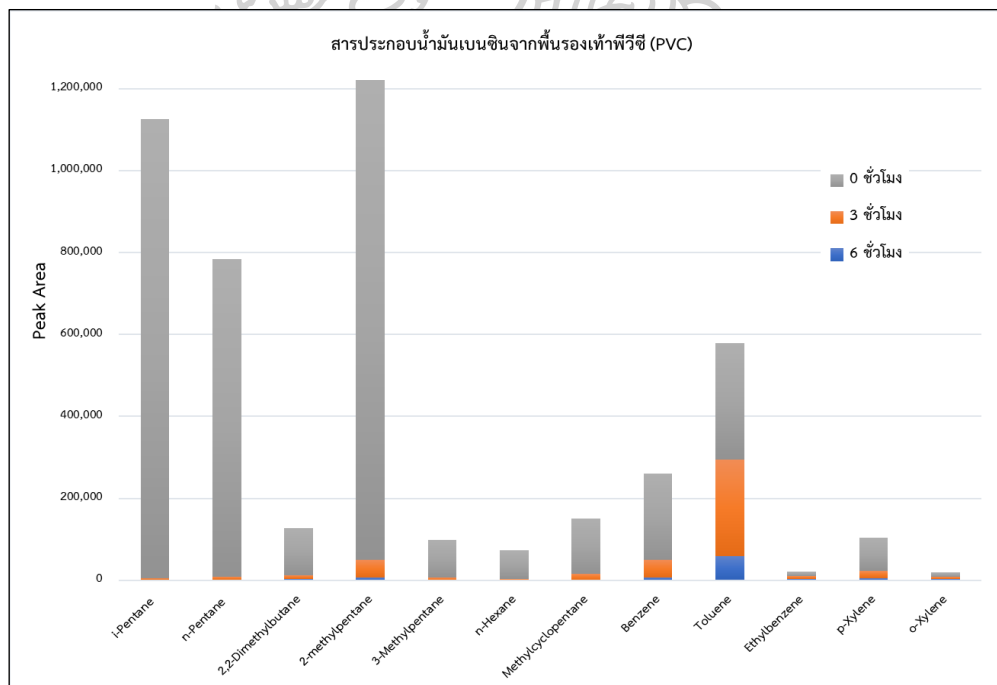
ตารางที่ 8 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้ายางสังเคราะห์ภายหลังการเหยียบน้ำมัน

สารประกอบ	ระยะเวลาหลังการเหยียบน้ำมันเบนซิน		
	0 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง
i-Pentane	✓	✓	✓
n-Pentane	✓	✓	✓
2,2-Dimethylbutane	✓	✓	✓
2-methylpentane	✓	✓	✓
3-Methylpentane	✓	✓	✓
n-Hexane	✓	✓	✓
Methylcyclopentane	✓	✓	✓
Benzene	✓	✓	✓
Toluene	✓	✓	✓
Ethylbenzene	✓	✓	✓
p-Xylene	✓	✓	✓
o-Xylene	✓	✓	✓

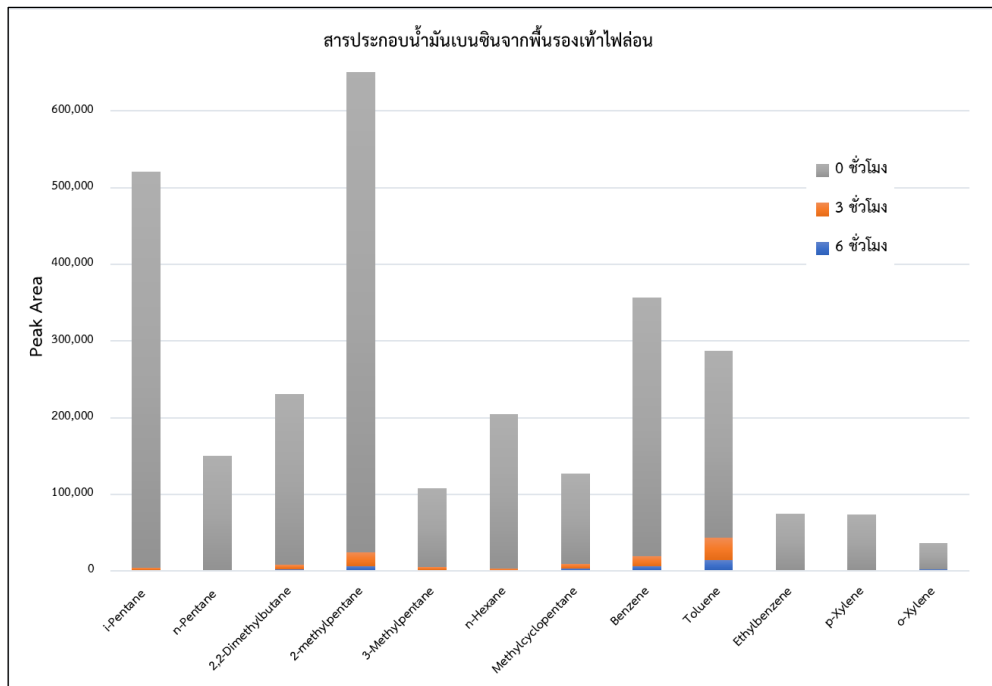
จากการวิเคราะห์โครมาโทแกรมภายหลังการเหยียบน้ำมันเบนซินบนพื้นกระเบื้องที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 3 ถึง 8 จะพบว่ามีเพียงพินยางสังเคราะห์และพื้นโฟลนเท่านั้นที่มีการตรวจพบสารประกอบหลักที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันเบนซินทั้ง 12 ชนิด พินยางธรรมชาติ ตรวจไม่พบสารประกอบ 2 ชนิด ได้แก่ 3-methylpentane และ n-hexane พื้นพีวีซี (PVC) ตรวจไม่พบสารประกอบ 3 ชนิด ได้แก่ 3-methylpentane, n-hexane และ methylcyclopentane พื้นอีวีเอ (EVA) ตรวจไม่พบสารประกอบ 4 ชนิด ได้แก่ i-Pentane, 3-methylpentane, n-hexane และ methylcyclopentane ในส่วนพื้นพียู (PU) ซึ่งตรวจพบสารประกอบของน้ำมันเบนซินได้น้อยที่สุด ได้แก่ i-Pentane, 2,2-dimethylbutane, 2-methylpentane, Benzene และ Toluene



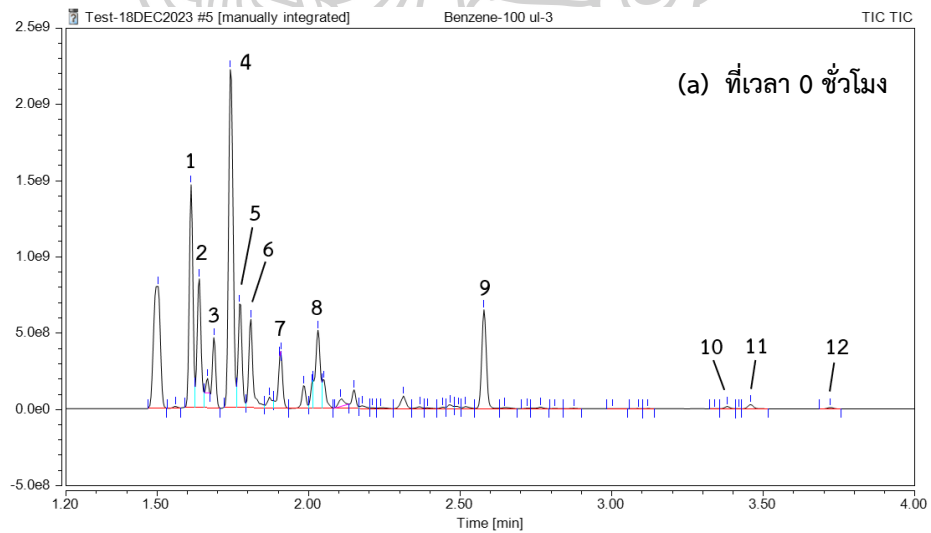
ภาพที่ 15 กราฟสารประกอบน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้ายางสังเคราะห์

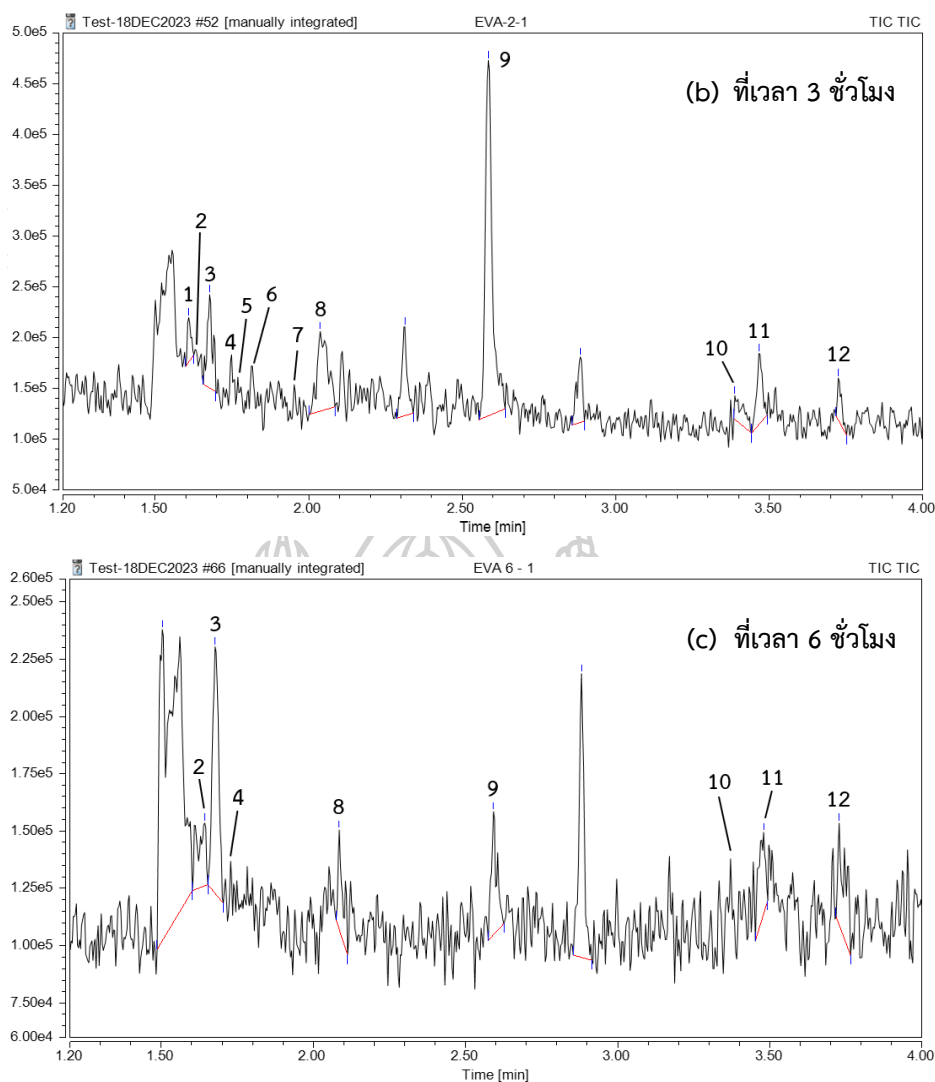


ภาพที่ 16 กราฟสารประกอบน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าพีวีซี (PVC)



ภาพที่ 17 กราฟสารประกอบน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าไฟล่อน



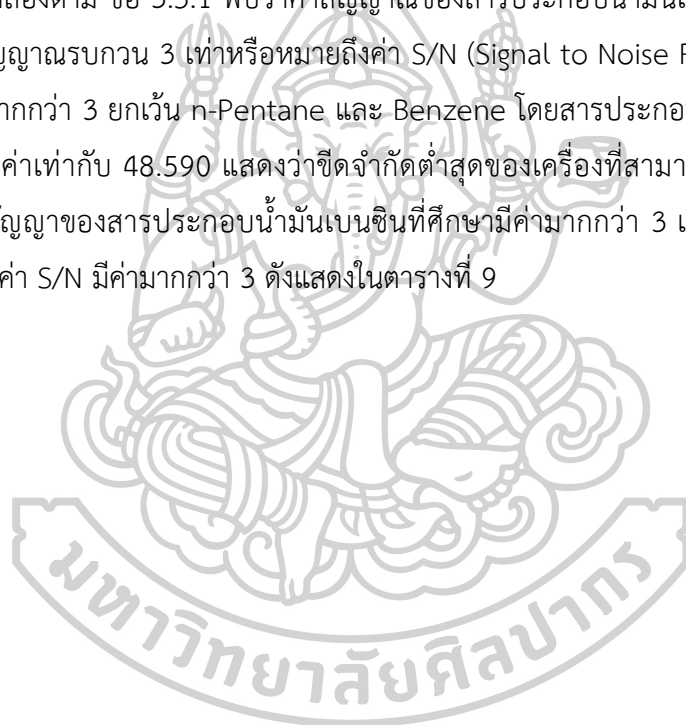


ภาพที่ 18 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าอีวีเอ (EVA) ภายหลังจากเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลาต่าง ๆ คือ (a) ที่เวลา 0 ชั่วโมง (b) ที่เวลา 3 ชั่วโมง (c) ที่เวลา 6 ชั่วโมง

จากนั้นได้ทำการนำพื้นที่ใต้พีก (Peak area) ของสารประกอบน้ำมันเบนซินแต่ละชนิดมาพล็อตแสดงเป็นกราฟแท่งทั้ง 3 ระยะเวลา เพื่อศึกษาแนวโน้มในการตรวจพบปริมาณของน้ำมันเบนซิน โดยได้นำมายกตัวอย่างเป็นพื้นรองเท้ายางสังเคราะห์ พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นโฟล่อน แสดงดังภาพที่ 15 ถึง 17 และนอกจากนี้ยังได้ทำการยกตัวอย่างโครมาโทแกรมของพื้นรองเท้าชนิดอีวีเอ (EVA) แสดงดังภาพที่ 18 มาทำการเปรียบเทียบทั้ง 3 ระยะเวลา (0, 3 และ 6 ชั่วโมง) ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าสารประกอบที่สามารถบ่งชี้ถึงน้ำมันเบนซินนั้นถูกพบในปริมาณที่ลดน้อยลงตามลำดับและยังพบว่ามีสัญญาณรบกวน (Noise) มากขึ้นตั้งแต่ที่เวลา 3 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์โคร

มาโทแกรมของทุกพื้นรองเท้าที่ระยะเวลาตั้งแต่ 0 ชั่วโมงถึง 6 ชั่วโมง ยังคงสามารถตรวจพบสารประกอบที่สามารถบ่งชี้ถึงน้ำมันเบนซินได้อยู่

จากการวิเคราะห์เพื่อหาขีดจำกัดของเครื่องมือ (Instrument Detection Limit, IDL) โดยการนำน้ำมันเบนซินปริมาตร 10, 7, 5, 3 และ 1 μl มาวิเคราะห์โดย HS-GC-MS พบว่าในการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินปริมาตร 1 μl ถือเป็นน้ำมันเบนซินปริมาตรต่ำที่สุดและยังคงสามารถตรวจพบสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันเบนซินได้อยู่ จึงเลือกใช้น้ำมันเบนซินในปริมาตรดังกล่าวเพื่อวิเคราะห์หาขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องมือที่สามารถตรวจวัดน้ำมันเบนซินได้ ดังนั้น เตรียมน้ำมันเบนซินที่ใช้ในการศึกษานี้ปริมาตร 1 μl มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HS-GC-MS จำนวน 10 ซ้ำ โดยใช้สภาวะการทดลองตาม ข้อ 3.5.1 พบว่าค่าสัญญาณของสารประกอบน้ำมันเบนซินที่ต้องการศึกษามีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวน 3 เท่าหรือหมายถึงค่า S/N (Signal to Noise Ratio) ของสารประกอบทุกชนิดมีค่ามากกว่า 3 ยกเว้น n-Pentane และ Benzene โดยสารประกอบที่มีค่า S/N ต่ำที่สุดคือ i-Pentane มีค่าเท่ากับ 48.590 แสดงว่าขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์ได้คือ 1 μl เนื่องจากค่าสัญญาณของสารประกอบน้ำมันเบนซินที่ศึกษามีค่ามากกว่า 3 เท่าของสัญญาณรบกวน (Noise) หรือ ค่า S/N มีค่ามากกว่า 3 ดังแสดงในตารางที่ 9



ตารางที่ 9 ค่าการวิเคราะห์ที่ขีดจำกัดของเครื่องมือ (Instrument Detection Limit, IDL) ของเครื่อง HS-GC-MS ของน้ำมันเบนซิน 1 μ l

สารประกอบ	Signal to Noise Ratio (S/N)										Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
i-Pentane	46.996	64.107	55.638	51.427	60.668	38.606	69.221	17.255	42.459	39.519	48.590
Pentane	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2,2-Dimethylbutane	105.841	103.982	365.722	162.519	170.875	244.561	122.436	130.057	249.839	156.119	181.195
2-methylpentane	654.577	654.356	2568.258	1119.075	1073.753	1520.623	767.886	904.483	1662.643	975.967	1190.162
3-Methylpentane	155.022	159.557	545.114	257.653	248.066	341.064	186.857	203.089	398.409	217.543	271.237
n-Hexane	32.670	35.863	147.965	60.923	57.726	75.010	42.258	46.825	94.1525	50.945	61.132
Methylcyclopentane	148.918	77.861	306.861	134.231	122.094	162.719	90.752	98.802	192.654	108.041	144.293
Benzene	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Toluene	726.840	1624.380	1826.328	1948.044	1342.058	729.105	1758.274	458.177	1844.823	1551.022	1380.905
Ethylbenzene	174.019	443.239	431.424	476.484	300.161	173.114	459.370	113.923	426.627	349.575	334.794
p-Xylene	500.814	1253.930	1226.810	1373.983	862.132	462.501	1316.244	314.526	1193.878	959.137	946.395
o-Xylene	359.547	912.016	880.579	965.913	629.266	357.599	948.751	229.280	872.225	706.744	686.192

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ 6 ชนิด ได้แก่ พื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติ พื้นยางสังเคราะห์ พื้นพียู (PU) พื้นพีวีซี (PVC) และพื้นโฟล่อน โดยใช้เทคนิค HS-GC-MS จากการวิเคราะห์โครมาโทแกรมจะพบว่าทั้ง 3 ระยะเวลา (0, 3 และ 6 ชั่วโมง) สามารถระบุถึงสารประกอบ 12 ชนิดที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันเบนซิน ได้แก่ i-Pentane, n-Pentane, 2,2-Dimethylbutane, 2-Methylpentane, 3-Methylpentane, n-Hexane, Methylcyclopentane, Benzene, Toluene, Ethylbenzene, p-Xylene และ o-Xylene ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Naggar et al., 2017) และ (Dorgerloh et al., 2018) โดยการวิเคราะห์ภายหลังการเหยียบน้ำมันทันที (0 ชั่วโมง) พบว่ามี 3-Ethyltoluene และ 1,2,3-Trimethylbenzene ถือเป็นพีคที่ระบุถึงน้ำมันเบนซินสอดคล้องกับการศึกษาของ (Stauffer et al., 2008) ได้ระบุพีคที่บ่งบอกได้ว่าเป็นน้ำมันเบนซิน คือ Benzene, Toluene, p-Xylene, o-Xylene และ 3-Ethyltoluene เนื่องจากพีคดังกล่าวจะไม่พบในน้ำมันชนิดอื่น และเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไป 3 และ 6 ชั่วโมงพีคที่ระบุถึงน้ำมันเบนซินมีแนวโน้มที่ถูกลบลดน้อยลง แต่ยังคงตรวจพบสารประกอบที่สามารถบ่งชี้ถึงน้ำมันเบนซินได้อยู่ เป็นไปตามการศึกษาของ (ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และคณะ, 2563) ที่สามารถตรวจพบสารประกอบที่บ่งชี้ถึงน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าผ้าใบภายหลังการเหยียบน้ำมันเบนซินไปแล้วได้ถึงเวลาที่ 24 ชั่วโมง

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของพื้นรองเท้า พบว่าพื้นยางสังเคราะห์และพื้นโฟล่อนที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมงยังพบสารประกอบที่ระบุถึงน้ำมันเบนซินได้ครบ 12 ชนิด ในทางกลับกันพื้นพียู (PU) พบสารประกอบน้ำมันน้อยลงตั้งแต่ระยะเวลา 3 ชั่วโมงภายหลังการเหยียบน้ำมัน ในส่วนของพื้นอีวีเอ (EVA) พื้นยางธรรมชาติและพื้นพีวีซี PVC พบน้อยลงที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมงสอดคล้องกับการศึกษาของ (จุฑามาศ ยิ้มนุ่น, 2559) และ (ทองคำ ตะโกเผือก, 2559) กล่าวไว้ว่าลักษณะของพื้นรองเท้ามีผลต่อการยึดเกาะ ซึ่งพื้นรองเท้าที่มีลักษณะมันหรือพื้นผิวเรียบอาจส่งผลให้น้ำมันเบนซินยึดเกาะได้น้อยและระเหยออกไปได้ง่ายกว่า

จากผลการศึกษาสามารถนำ Activated carbon มาใช้พัฒนาการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินได้ด้วยเทคนิค HS-GC-MS เนื่องจากมีขั้นตอนที่ง่าย รวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถระบุถึงน้ำมันเบนซินได้ นอกจากนี้ยังปลอดภัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้สารละลายในการสกัด (Ferreiro-González et al., 2015) และสามารถนำไปประยุกต์ในทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อการตรวจพิสูจน์ยืนยันตัวผู้กระทำความผิดได้

5.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

ในการทำงานวิจัยครั้งต่อไป ควรทำการศึกษาการเก็บน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าที่มีความหลากหลายมากขึ้นและเพิ่มระยะเวลาภายหลังการเหยียบน้ำมันเบนซินเพื่อหาขีดจำกัดของการตรวจพิสูจน์หาน้ำมันเบนซินจากพื้นรองเท้าเมื่อเวลาผ่านไป



รายการอ้างอิง

- Akbas, A., & Yuhana, N. Y. (2021). Recycling of Rubber Wastes as Fuel and Its Additives. *Recycling*, 6(4), 78. <https://doi.org/10.3390/recycling6040078>
- BYJUS. (2019). *Natural Rubber and Synthetic Rubber - Examples, Preparation, Properties, Uses and FAQs of Natural and Synthetic Rubber*. BYJUS. Retrieved 2024-05-20 from <https://byjus.com/chemistry/natural-rubber-and-properties/>
- Cooper, T. A. (2013). 4 - Developments in plastic materials and recycling systems for packaging food, beverages and other fast-moving consumer goods. In N. Farmer (Ed.), *Trends in Packaging of Food, Beverages and Other Fast-Moving Consumer Goods (FMCG)* (pp. 58-107). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9780857098979.58>
- Cornish, K. (2017). Rubber Production. In B. Thomas, B. G. Murray, & D. J. Murphy (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition)* (pp. 410-419). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394807-6.00088-5>
- Coulson, S. A., & Morgan-Smith, R. K. (2000). The transfer of petrol on to clothing and shoes while pouring petrol around a room. *Forensic Science International*, 112(2), 135-141. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(00\)00179-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0379-0738(00)00179-1)
- Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). 4 - Physiochemical properties and degradation. In C. B. Crawford & B. Quinn (Eds.), *Microplastic Pollutants* (pp. 57-100). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00004-9>
- Darrer, M., Jacquemet-Papilloud, J., & Delémont, O. (2008). Gasoline on hands: Preliminary study on collection and persistence. *Forensic Science International*, 175(2), 171-178. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.06.017>
- Dorgerloh, U., Becker, R., & Nehls, I. (2018). Volatile Hydrocarbons in Contaminated Soil: Robustness of Fractional Quantification Using Headspace Gas Chromatography-Mass-Spectrometry. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 27(1), 1-12. <https://doi.org/10.1080/15320383.2018.1418287>
- EasyInsureBroker. (15-07-2562, 23-05-2567). น้ำมันเชื้อเพลิง คืออะไร มีกี่ประเภท อะไรบ้าง เรื่อนำรู้ก่อนขับรถเข้าปั้มน้ำมัน. *Easyinsure Broker*.

<https://www.easyinsure.co.th/news/?p=5560>

- Fałtynowicz, H., Janik, H., Kucinska-Lipka, J., & Sienkiewicz, M. (2022). Chapter 9 - Polyurethanes. In H. Dodiuk (Ed.), *Handbook of Thermoset Plastics (Fourth Edition)* (pp. 231-262). William Andrew Publishing.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821632-3.00007-5>
- Fan, J., & Lau, L. (2009). 10 - Flammability of fabrics and garments. In J. Fan & L. Hunter (Eds.), *Engineering Apparel Fabrics and Garments* (pp. 261-282). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845696443.261>
- Fazli, A., & Rodrigue. (2020). Waste Rubber Recycling: A Review on the Evolution and Properties of Thermoplastic Elastomers. *Materials*, 13, 782.
<https://doi.org/10.3390/ma13030782>
- Ferreiro-González, M., Ayuso, J., Álvarez, J. A., Palma, M., & Barroso, C. G. (2015). Application of an HS-MS for the detection of ignitable liquids from fire debris. *Talanta*, 142, 150-156.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.04.030>
- Frontela, L., Pozas, J. A., & Picabea, L. (1995). A comparison of extraction and adsorption methods for the recovery of accelerants from arson debris. *Forensic Science International*, 75(1), 11-23. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0379-0738\(95\)01773-C](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0379-0738(95)01773-C)
- Hazeltine, B. (2003). CHAPTER 7 - Household Technologies. In B. Hazeltine & C. Bull (Eds.), *Field Guide to Appropriate Technology* (pp. 665-729). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012335185-2/50051-6>
- Hussain, N. (15-12-2022, 14-5-2024). Properties of Gasoline Fuel. *Section: Petroleum Products Quality*. <https://thepetrosolutions.com/properties-of-gasoline-fuel/>
- ideastep. (2021). *Distinguish Different Shoe Materials*. Retrieved 20-05-2567 from <https://www.aideastep.com/distinguish-different-shoe-materials/>
- Ihemaguba, C. (2018). *Using Physical methods for investigation and characterization of fine structure of fluids additives and selected polymeric materials* University of Miskolc]. Bochum, NRW, Germany.
<https://www.researchgate.net/publication/326405385>
- Jaquet-Chiffelle, D.-O., & Casey, E. (2021). A formalized model of the Trace. *Forensic*

Science International, 327, 110941.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110941>

Jhaumeer Laulloo, J. M., Late Ramtoola, K. Duyman, A. Toofany. (2013). Characterisation of background and pyrolysis products that may interfere with forensic analysis of fire debris in Mauritius. *Pure Appl. Chem. Anal.*, 1, 51-61.

<https://doi.org/10.12988/pacs.2013.3413>

Koerner, G. R., & Koerner, R. M. (2018). 7.3 - Polymeric Geomembrane Components in Landfill Liners. In R. Cossu & R. Stegmann (Eds.), *Solid Waste Landfilling* (pp. 313-341). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407721-](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407721-8.00017-6)

[8.00017-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407721-8.00017-6)

Martin Fabritius, M., Broillet, A., König, S., & Weinmann, W. (2018). Analysis of volatiles in fire debris by combination of activated charcoal strips (ACS) and automated thermal desorption–gas chromatography–mass spectrometry (ATD/GC–MS). *Forensic Science International*, 289, 232-237.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.05.048>

Naggar, A. Y. E., Elkhateeb, A., Altalhi, T. A., El Nady, M. M., Alhadhrami, A., Ebiad, M. A., Salem, A. A., & Elhardallou, S. B. (2017). Hydrocarbon compositions and physicochemical characteristics for the determination of gasoline quality: An implication from gas chromatographic fingerprints. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(15), 1694-1699.

<https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1370515>

Pocius, A. V. (2012). 8.12 - Adhesives and Sealants. In K. Matyjaszewski & M. Möller (Eds.), *Polymer Science: A Comprehensive Reference* (pp. 305-324). Elsevier.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53349-4.00210-7>

prawit. (2564). องค์ประกอบของการลุกติดไฟ : เรียนรู้พื้นฐานของการเกี่ยวกับไฟ.

<https://www.safesiri.com/fire-component/>

PremiumFlipflops. (2566, 16-05-2567). ขั้นตอนการทำรองเท้ายางและความสำคัญของการควบคุมคุณภาพ. *PremiumFlipflops.com*.

<https://www.premiumflipflops.com/th/%e0%b8%82%e0%b8%b1%e0%b9%89%e0%b8%99%e0%b8%95%e0%b8%ad%e0%b8%99%e0%b8%81%e0%b8%b2%e0%b8%a3%e0%b8%97%e0%b8%b3%e0%b8%a3%e0%b8%ad%e0%b8%87%e0>

[%b9%80%e0%b8%97%e0%b9%89%e0%b8%b2%e0%b8%a2%e0%b8%b2%e0%b8%87](#)

Stauffer, E., Dolan, J. A., & Newman, R. (2008). Fire Debris Analysis. *Fire Debris Analysis*.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-663971-1.X5001-5>

supottwit. (26-09-2555). น้ำมันเชื้อเพลิง. Retrieved 23-05-2567 from

<https://oillabexcise.wordpress.com/2012/09/26/16/>

Support Going Studio. (19-09-2562). Polyurethane (PU) System (โพลียูรีเทน). Retrieved 19-

05-2567 from <https://www.tinnakorn.com/pu/>

vayogroup. (2564). ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) คืออะไร? Retrieved 2567-05-21 from

<https://farm.vayo.co.th/blog/activated-carbon/>

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. (03/09/2566). กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. Retrieved 02-01-

2567 from <https://dpmreporter.disaster.go.th/portal/disaster-statistics>

กรรณิการ์ บุตรเอก. (2555). มาร์จิกไวโนลคลอไรด์มอนอเมอร์กันเฉอะ. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 60(189),

20-21.

กัจจา จิตรภริมณ. (2557). ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอัคคีภัย (Basic Knowledge about Fire). ก้าวทันโลก

วิทยาศาสตร์, 14(1), 1-17. [https://sci.bsru.ac.th/sciweb/e-magazine/14-1/chapter-](https://sci.bsru.ac.th/sciweb/e-magazine/14-1/chapter-1.pdf)

[1.pdf](#)

จันทนา ธารีธรรม. (2551). การประยุกต์ใช้ Activated Carbon ในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิง [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร]. นครปฐม.

<https://sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/11779>

จิราภรณ์ ปกรณ์. (24-10-2560). ทำความรู้จักน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับรถยนต์. Retrieved 23-05-2567 from

<https://www.scimath.org/article-science/item/7473-2017-09-08-03-40-23>

จุฑามาศ ยี่มนุ่น. (2559). การตรวจคราบโลหะของมนุษย์ด้วยวิธีฟิโนฟอสฟอรัส ลูมินอลและฟลูออเรสเซนต์ บนพื้นรองเท้า

ชนิดต่างๆ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร]. นครปฐม.

<https://sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/25997>

ฉวีวรรณ เพ็งพิทักษ์. (2562). ถ่านกัมมันต์. Retrieved 21-05-2567 from

<https://lib1.dss.go.th/bsti/index.php/th/interesting-articles/4909-2020-09-11-08-23-31>

ชัยวุฒิ นาคเวียง. (2553). การผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลโดยใช้คาร์บอนกัมมันต์และแคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่ง

ปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร]. นครปฐม.

<https://sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/10074>

ดารณี เจริญสุข. (2556). ยางพื้นรองเท้า. Retrieved 16-05-2567 from

http://www.mahidolrubber.org/lc_rtec/rubber_product/2556_soles_rtec.pdf

ทวีป ศรีน่วม. (2567). ลักษณะ ๖ ความผิดเกี่ยวกับการก่อให้เกิดอันตรายต่อประชาชน (มาตรา ๒๑๗ - ๒๓๙) / สถาบันนิติธรรมาลัย. Retrieved 05-02-2567 from

<https://www.drthawip.com/criminalcode/1-32>

ทองคำ ตะโกเผือก. (2559). การตรวจหาคราบเลือดของมนุษย์ที่พื้นรองเท้าหลังจากล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาด
ห้องน้ำโดยวิธีลูมินอลและฟีนอล์ฟทาลีน [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร]. นครปฐม.

<https://sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/28064>

ชญัญญา ศูนย์คุ้ม. (2557). การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนฝ่ามือและเสื้อผ้าของผู้วางเพลิง โดยเทคนิค *Gas Chromatography - flame ionization Detector (GC-FID)* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร]. นครปฐม. <https://sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/11950>

ธีรวัฒน์ อึ้งสิทธิพูนพร, เอกดนัย ธิมาชัย, สมศักดิ์ พองสุภา. (2564). การประยุกต์ใช้ตัวดูดซับในการเตรียมตัวอย่าง
สำหรับการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินจาก วัตถุพยานด้วยเทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตร
เมตรี. วารสารวิชาการอาชีวศึกษาและนิติวิทยาศาสตร์, 7(2), 57-74. [https://so02.tci-](https://so02.tci-thaijo.org/index.php/forensic/article/view/248022)

[thaijo.org/index.php/forensic/article/view/248022](https://so02.tci-thaijo.org/index.php/forensic/article/view/248022)

บริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด. (2561). ถ่านกัมมันต์. Retrieved 21-05-2567 from

<https://www.carbokarn.co.th/ถ่านกัมมันต์/>

บริษัท เอ็มดีอาร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด. (28-03-2565). *ETHYLENE VINYL ACETATE (EVA) - MDR International*. Retrieved 17-05-2567 from <https://www.mdr-thai.com/ethylene-vinyl-acetate-eva/>

วีระวัฒน์ พันธุ์ครุฑ. (23-10-2558). รองเท้านั้นสำคัญไฉน. Retrieved 16-05-2567 from

<https://www.doctor.or.th/article/detail/400381>

ศรีฟ้าโปรเกรส. (ม.ป.ป.). ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันเชื้อเพลิง(เบนซิน). Retrieved 23-05-2567 from

<https://www.pumpprogress.com/default.asp?content=contentdetail&id=12225>

ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง, ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี, อรทัย เขียวพุ่ม. (2563). การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนรองเท้าของผู้
ต้องสงสัยโดยใช้เทคนิค *Gas Chromatography - Flame Ionization Detector (GC-FID)*.
วารสารวิจัย มหาลัยเทคโนโลยีราชชมตะวันออก, 13(1), 48-58.

สัมฤทธิ์ ไม้พวง. (02-02-2564). ถ่านกัมมันต์ (*Activated Carbon*). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Retrieved 21-05-2564 from <https://www.nupress.grad.nu.ac.th/activated-carbon/>

อิงอร สิทธิรักษ์. (2552). การเตรียมและกัมมันตภาพของโพโตคะตะลิสต์จากคอมพอลิเมอร์ระหว่างไทเทเนียมออกไซด์กับ
คาร์บอนกัมมันต์ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร]. นครปฐม.

<https://sure.su.ac.th/xmlui/handle/123456789/10076>





ภาคผนวก

ตารางที่ 10 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากฟีนอลทำปฏิกิริยาหลังการเทียบน้ำมันทันที (0 ชั่วโมง)

สารประกอบ	ชนิดฟีนอล					
	ฟีนอลอีเอ (EVA)	ฟีนอลสังเคราะห์	ฟีนอลยู (PU)	ฟีนอลธรรมชาติ	ฟีนอลวีซี (PVC)	ฟีนอลอน (Phylon)
1.51 Oxygen	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.56 Isobutane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.61 Isopentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.64 Pentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.67 2-Pentene	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.69 2,2-Dimethylbutane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.74 2-Methylpentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.78 3-Methylpentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.81 n-Hexane	✓	✓	✓	✓	✓	✓

สารประกอบ	ชนิดพ่นรองเท้า					
	พ่นอีวีเอ (EVA)	พ่นยางสังเคราะห์	พ่นพียู (PU)	พ่นยางธรรมชาติ	พ่นพีวีซี (PVC)	พ่นไฟลอน (Phylon)
1.87 2,4-Dimethylpentane	✓		✓	✓	✓	
1.91 Methylcyclopentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.99 1-Propoxy-pentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.01 2-Methylhexane	✓	✓		✓		✓
2.03 Benzene	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.05 3-Methylhexane	✓	✓				✓
2.11 2,4-dimethyl-1-hexene	✓	✓		✓		✓
2.15 n-Heptane	✓	✓		✓	✓	✓
2.31 Methylcyclohexane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.37 Cyclopentane	✓				✓	✓

สารประกอบ	ชนิดพ่นรองเท้า					
	พ่นอีวีเอ (EVA)	พ่นยางสังเคราะห์	พ่นพียู (PU)	พ่นยางธรรมชาติ	พ่นพีวีซี (PVC)	พ่นไฟลอน (Phylon)
2.44	✓					✓
2,3,4-Trimethylpentane						
2.47	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1-(ethenyl)oxy-pentane						
2.58	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Toluene						
2.88		✓				✓
1,4-Bis(trimethylsilyl)benzene						
3.39	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ethylbenzene						
3.47	✓	✓	✓	✓	✓	✓
p-Xylene						
3.73	✓	✓	✓	✓	✓	✓
o-Xylene						
4.52	✓	✓	✓			✓
3-Ethyltoluene						
4.59						
2-Ethyltoluene						
4.92	✓	✓	✓	✓		✓
1,2,3-Trimethylbenzene						

ตารางที่ 11 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากฟีนรอกทำภายหลังการเทียบน้ำมันที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง

สารประกอบ	ชนิดฟีนรอกทำ					
	ฟีนอีโธ (EVA)	ฟีนยางสังเคราะห์	ฟีนพียู (PU)	ฟีนยางธรรมชาติ	ฟีนพีวีซี (PVC)	ฟีนไพลอน (Phylon)
1.56 Isobutane						
1.61 isopentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.64 Pentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.67 2-Pentene	✓	✓			✓	
1.69 2,2-Dimethylbutane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.74 2-Methylpentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.78 3-Methylpentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.81 n-Hexane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.87 2,4-Dimethylpentane		✓				

สารประกอบ	ชนิดพ่นรองเท้า					
	พีนอวีเอ (EVA)	พีนยางสังเคราะห์	พีนพียู (PU)	พีนยางธรรมชาติ	พีนพีวีซี (PVC)	พีนไพล่อน (Phylon)
1.91 Methylcyclopentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.99 1-Propoxy-pentane		✓	✓		✓	✓
2.01 2-Methylhexane		✓				
2.03 Benzene	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.05 3-Methylhexane		✓				
2.11 2,4-Dimethyl(-1-hexene		✓		✓	✓	
2.15 n-Heptane		✓		✓		
2.31 Methylcyclohexane	✓	✓		✓	✓	✓
2.37 Cyclopentane		✓				
2.44 2,3,4-Trimethylpentane		✓				

สารประกอบ	ชนิดพื้กรองเท้า					
	พื้เอวีเอ (EVA)	พื้ยางสังเคราะห์	พื้พียู (PU)	พื้ยางธรรมชาติ	พื้พีวีซี (PVC)	พื้ไพล่อน (Phylon)
2.47 1-(ethenylloxy)-pentane					✓	
2.58 Toluene	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.88 1,4-Bis(trimethylsilyl)benzene	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.39 Ethylbenzene	✓	✓	✓	✓	✓	
3.47 p-Xylene	✓	✓	✓	✓	✓	
3.73 o-Xylene	✓	✓		✓	✓	
4.52 3-Ethyltoluene						
4.59 2-Ethyltoluene		✓				
4.92 1,2,3-Trimethylbenzene		✓				

ตารางที่ 12 ข้อมูลสารประกอบของน้ำมันเบนซินจากฟีนรอกทำภายหลังการเทียบน้ำมันที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

สารประกอบ	ชนิดฟีนรอกทำ					
	ฟีนอีโธ (EVA)	ฟีนยางสังเคราะห์	ฟีนพียู (PU)	ฟีนยางธรรมชาติ	ฟีนพีวีซี (PVC)	ฟีนไพลอน (Phylon)
1.56 Isobutane						
1.61 Isopentane		✓	✓	✓	✓	✓
1.64 Pentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.67 2-Pentene	✓		✓			
1.69 2,2-Dimethylbutane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.74 2-Methylpentane	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.78 3-Methylpentane		✓				✓
1.81 n-Hexane		✓				✓
1.87 2,4-Dimethylpentane						

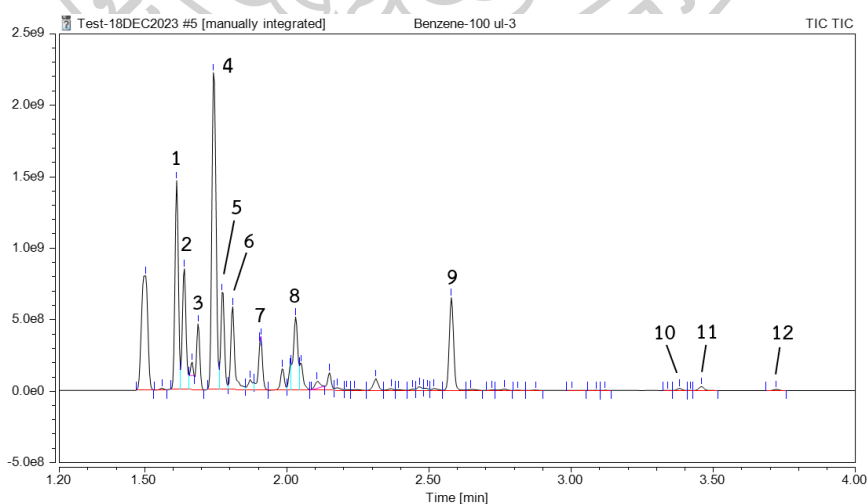
สารประกอบ	ชนิดพินรองเท้า					
	พีนอีเอ (EVA)	พีนยางสังเคราะห์	พีนพียู (PU)	พีนยางธรรมชาติ	พีนพีวีซี (PVC)	พีนไพล่อน (Phylon)
1.91 Methylcyclopentane		✓		✓		✓
1.99 1-Propoxy-pentane		✓	✓			
2.01 2-Methylhexane						
2.03 Benzene	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.05 3-Methylhexane		✓				
2.11 2,4-Dimethyl(-1-hexene		✓				✓
2.15 n-Heptane		✓				✓
2.31 Methylcyclohexane	✓	✓				✓
2.37 Cyclopentane						
2.44 2,3,4-Trimethylpentane						

สารประกอบ	ชนิดพื้กรองเท้า					
	พื้เอวีเอ (EVA)	พื้ยางสังเคราะห์	พื้พียู (PU)	พื้ยางธรรมชาติ	พื้พีวีซี (PVC)	พื้ไพล่อน (Phylon)
2.47 1-(ethenylloxy)-pentane					✓	
2.58 Toluene	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.88 1,4-Bis(trimethylsilyl)benzene	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.39 Ethylbenzene	✓	✓		✓	✓	✓
3.47 p-Xylene	✓	✓		✓	✓	✓
3.73 o-Xylene	✓	✓		✓	✓	✓
4.52 3-Ethyltoluene	✓	✓				
4.59 2-Ethyltoluene	✓	✓				
4.92 1,2,3-Trimethylbenzene	✓	✓				

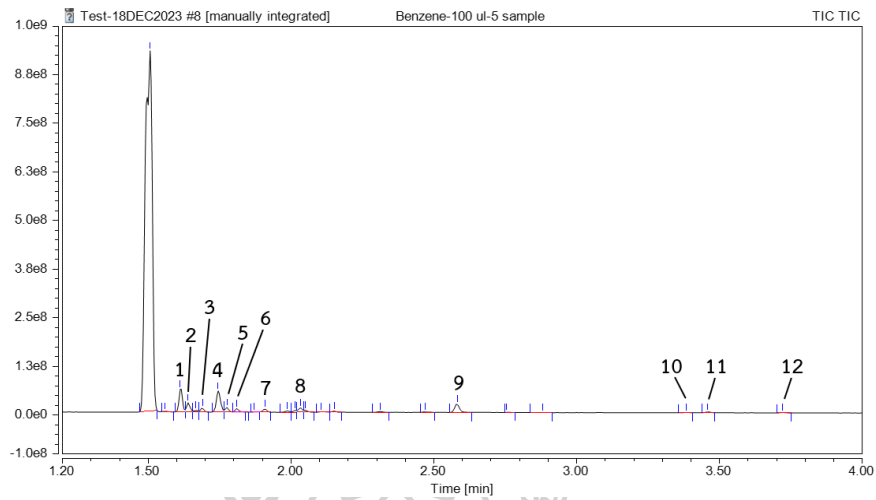
ตารางที่ 13 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น (Density) ของน้ำมันเบนซิน

No.	น้ำหนักน้ำมันเบนซิน 1 ml (g)
1	0.7167
2	0.7167
3	0.7165
4	0.7167
5	0.7167
6	0.7166
7	0.7165
8	0.7165
9	0.7167
10	0.7166
Average	0.71662

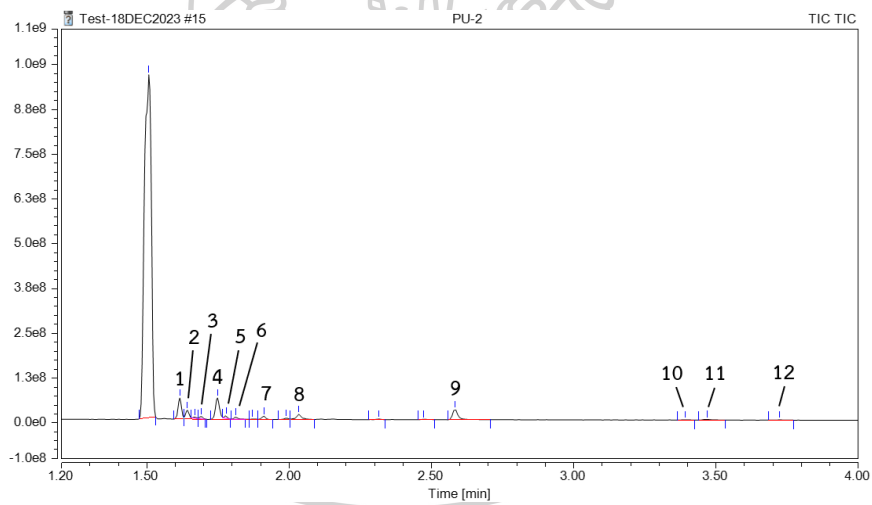
** ความหนาแน่น (Density) ของน้ำมันเบนซิน = 0.7166 g/ml



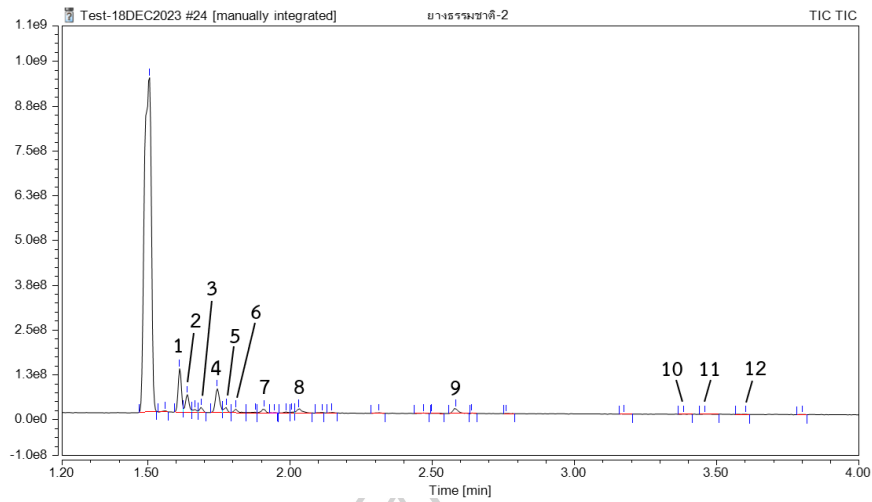
ภาพที่ 19 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าอีวีเอ (EVA) ภายหลังจากเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 0 ชั่วโมง



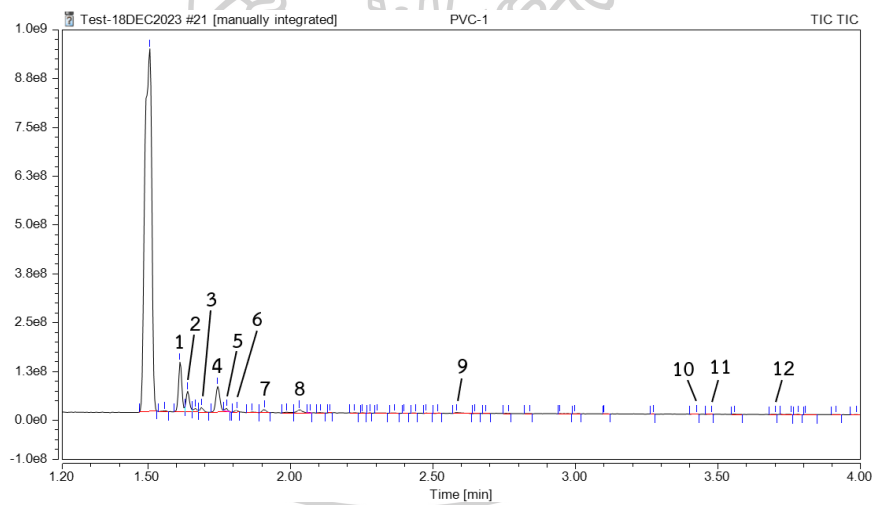
ภาพที่ 20 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้ายางสังเคราะห์ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 0 ชั่วโมง



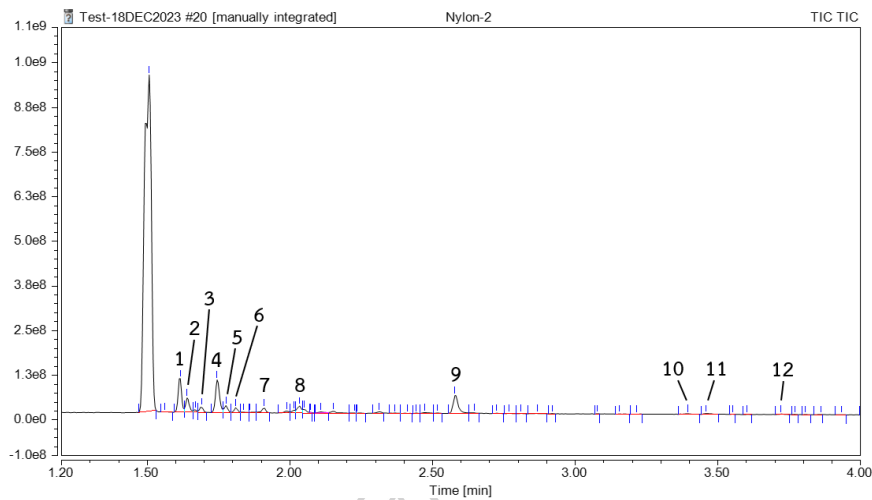
ภาพที่ 21 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าฟิยู (PU) ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 0 ชั่วโมง



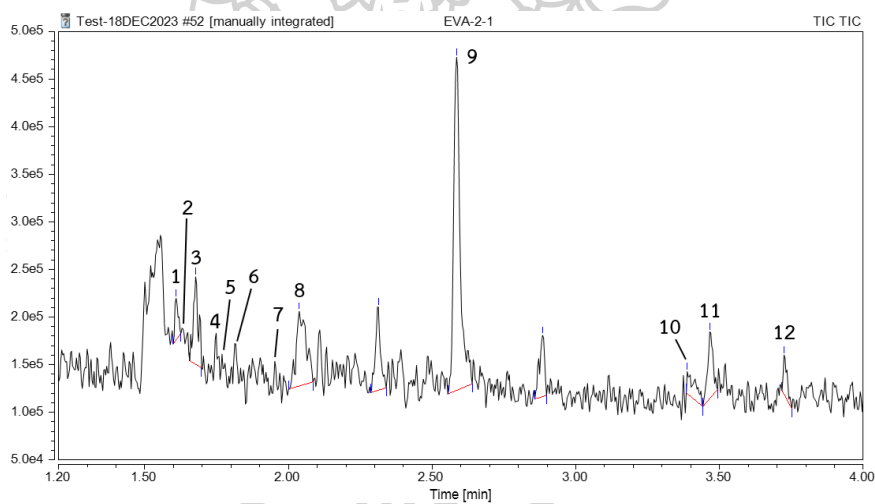
ภาพที่ 22 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้ายางธรรมชาติภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 0 ชั่วโมง



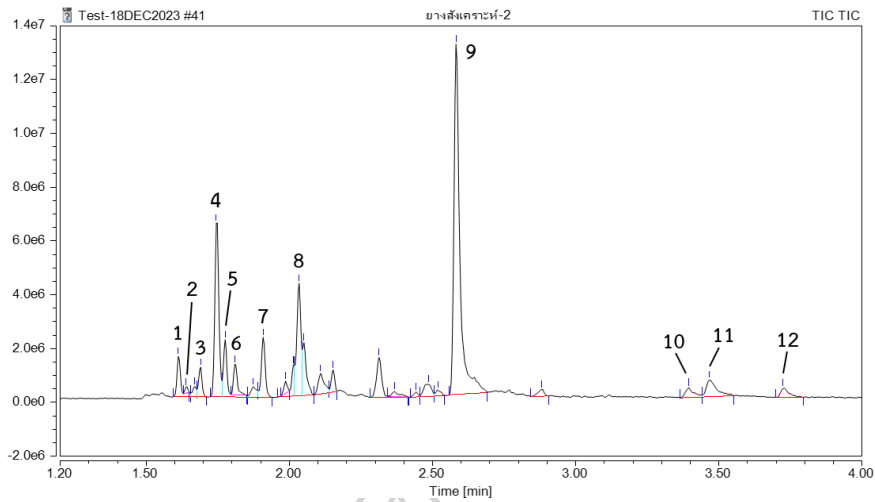
ภาพที่ 23 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าพีวีซี (PVC) ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 0 ชั่วโมง



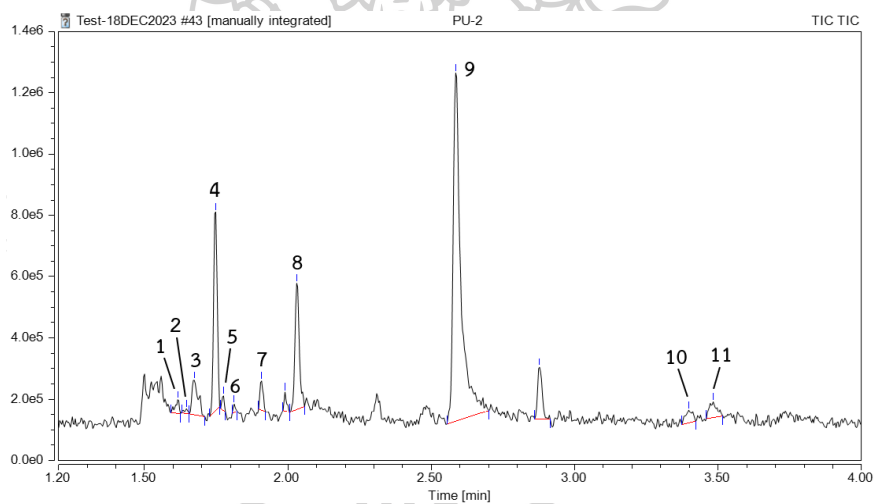
ภาพที่ 24 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าไฟลอนภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 0 ชั่วโมง



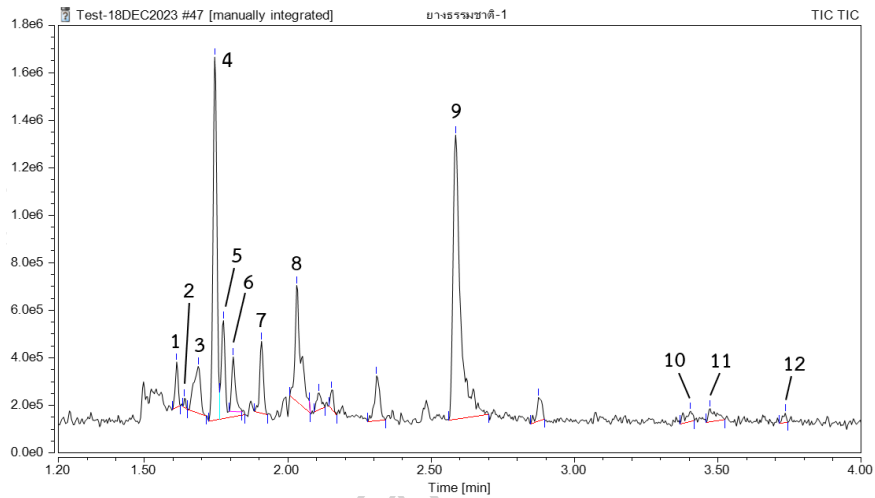
ภาพที่ 25 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าอีวีเอ (EVA) ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลา 3 ชั่วโมง



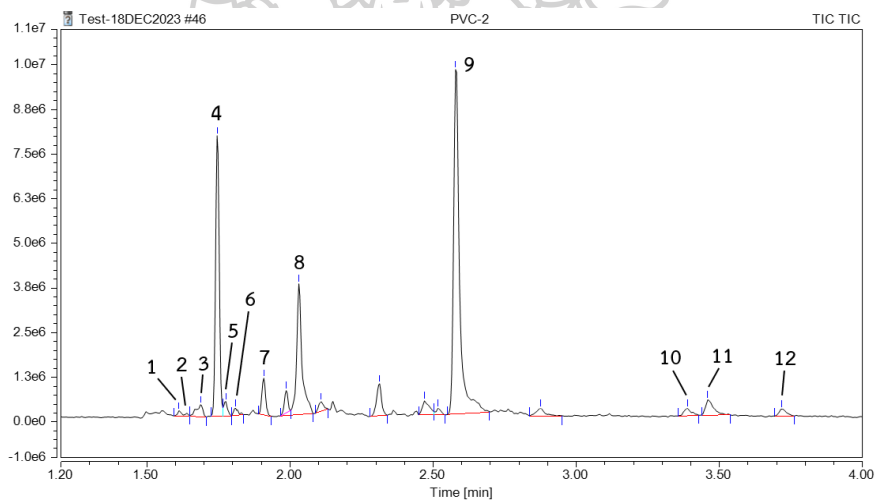
ภาพที่ 26 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้ายางสังเคราะห์ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



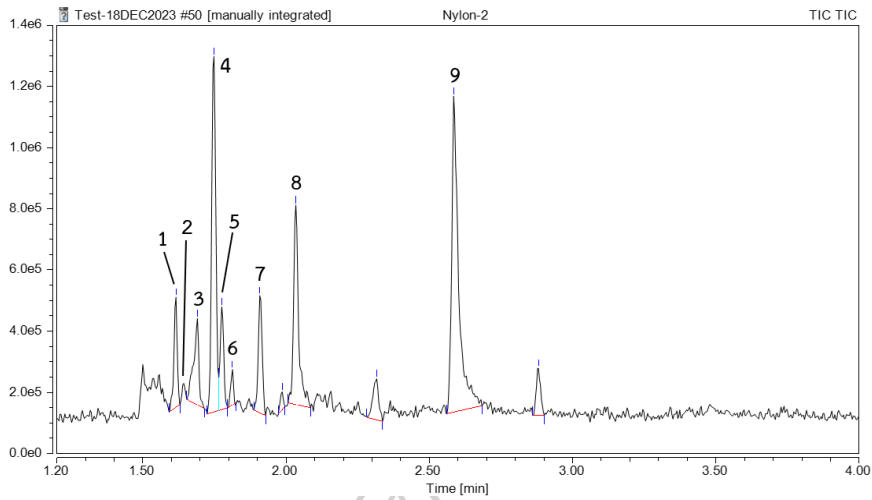
ภาพที่ 27 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าฟิยู (PU) ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



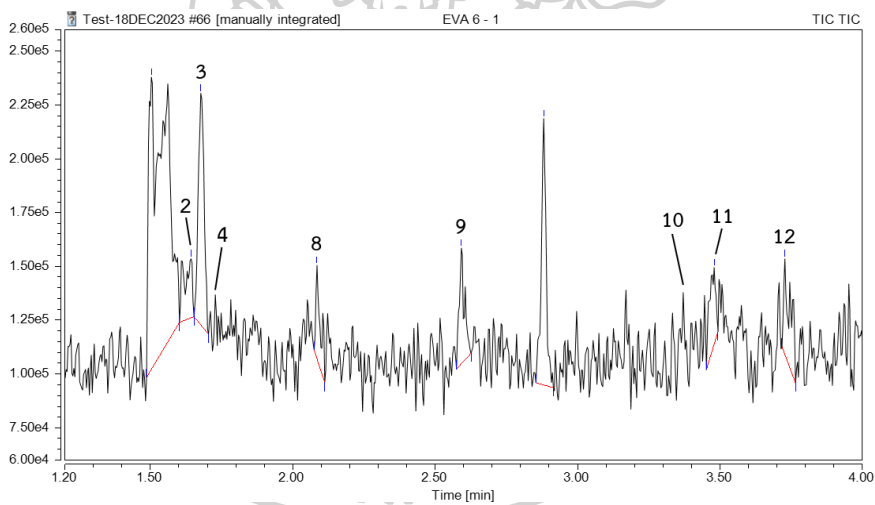
ภาพที่ 28 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้ายางธรรมชาติภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



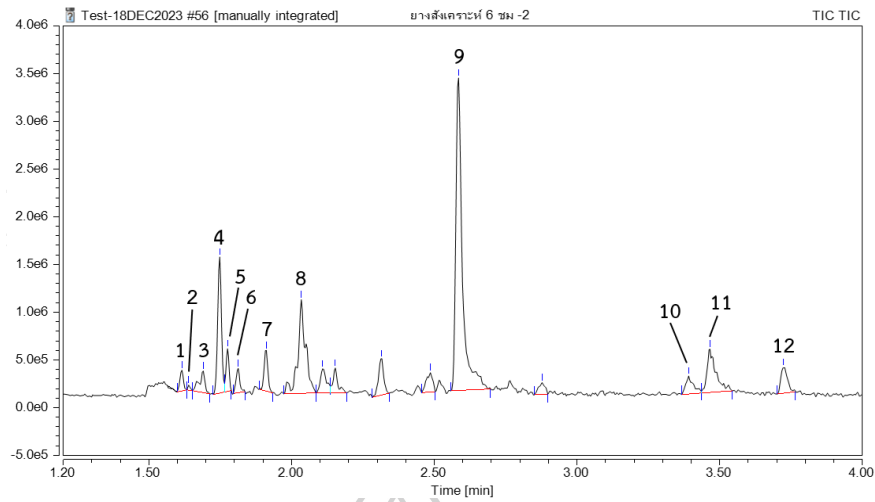
ภาพที่ 29 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าพีวีซี (PVC) ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



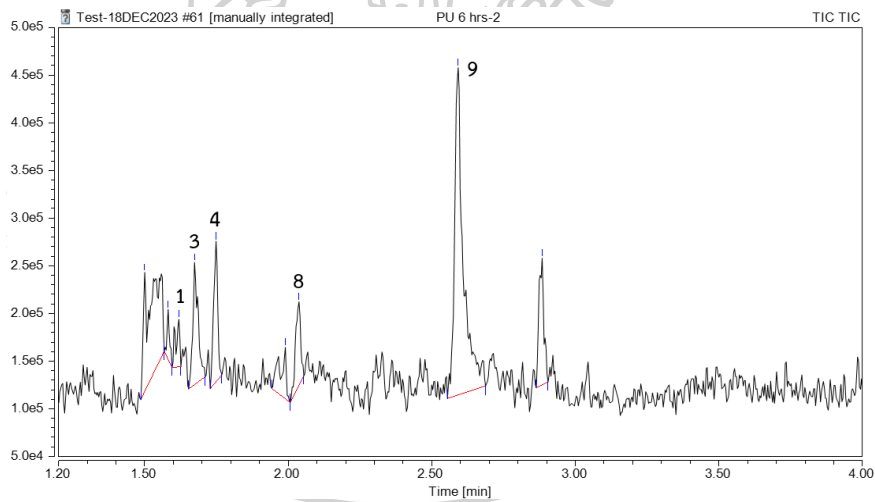
ภาพที่ 30 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าไพล่อนภายใต้การเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง



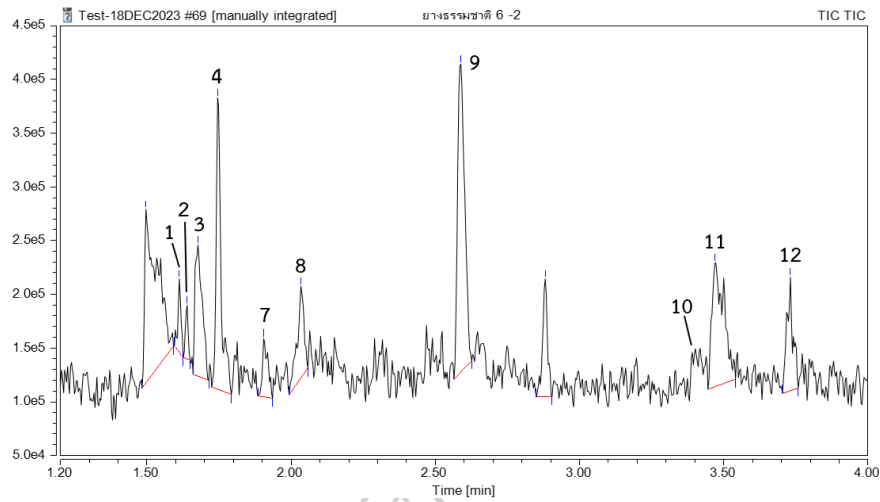
ภาพที่ 31 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าอีวีเอ (EVA) ภายใต้การเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



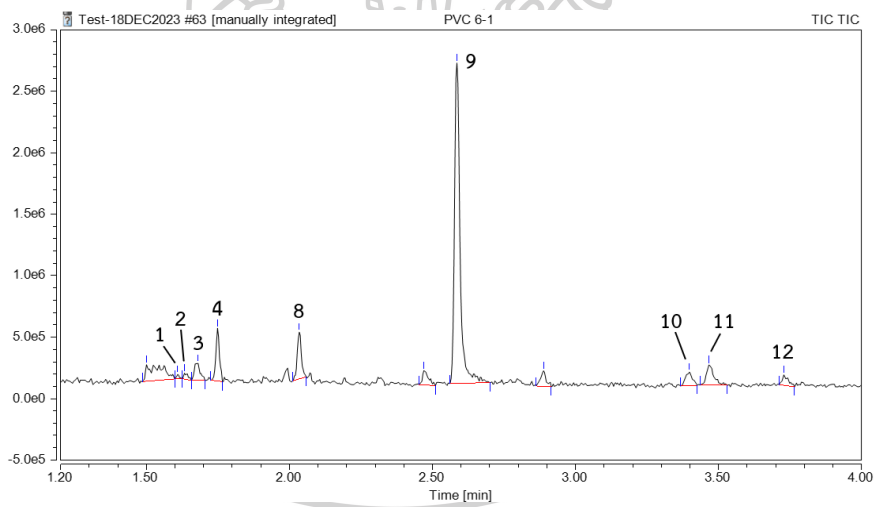
ภาพที่ 32 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้ายางสังเคราะห์ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



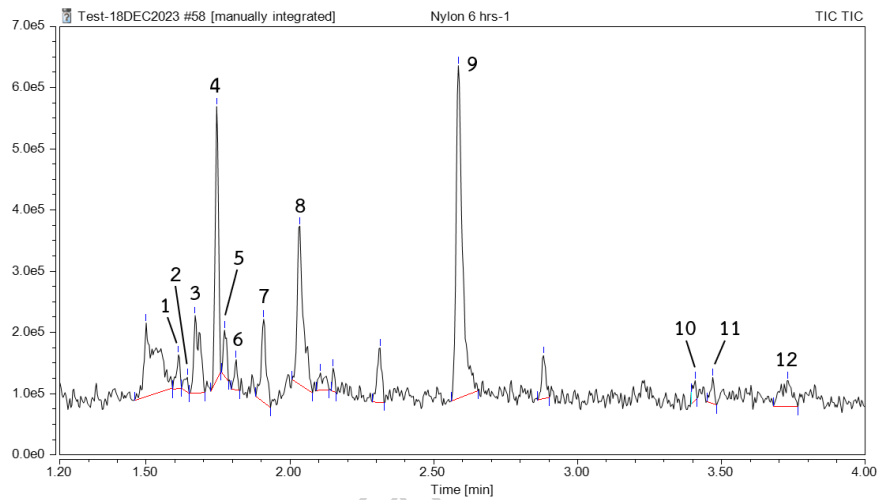
ภาพที่ 33 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าฟิยู (PU) ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 34 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้ายางธรรมชาติภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 35 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าพีวีซี (PVC) ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



ภาพที่ 36 โครมาโทแกรมของน้ำมันเบนซินที่เก็บจากพื้นรองเท้าไฟลอนภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวปัทมกร ราชสวางค์
วุฒิการศึกษา	ปี พ.ศ. 2558 - มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย จังหวัด ลำปาง ปี พ.ศ. 2562 - ปริญญาตรี สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

