การหาปริมาณ DPA ในดินปืนและเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนออโตเมติก 4 ขนาดโดยเทคนิค HPLC

โดย

นางสาวนิภาพรรณ จันต๊ะมา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DETERMINATION OF DPA IN PROPELLANTS AND GUNSHOT RESIDUES FROM FOUR AUTOMATIC BULLETS OF DIFFERENT CALIBRES BY HPLC TECHNIQUE

By

Nipaphan Jantama

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Program of Forensic Science

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2008

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การหาปริมาณ DPA ในดินปืนและเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนออโตเมติก 4 ขนาดโดยเทคนิค HPLC ” เสนอโดย นางสาวนิภาพรรณ จันต๊ะมา เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

…….....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง
2. อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี
3. พันตำรวจตรีอัครวัฒน์ ชินวรสวัสดิ์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(พันตำรวจโทณภพ ชุณหกรรณ์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์อรทัย เขียวพุ่ม)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

...../...../.....

..... กรรมการ

(พันตำรวจตรีอัครวัฒน์ ชินวรสวัสดิ์)

...../...../.....

49312313 : สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์
คำสำคัญ : นิติวิทยาศาสตร์/ดินปืน/ดินควันน้อย/สารอินทรีย์ในเขม่าดินปืน/ดินขับกระสุน

นิภาพรรณ จันต๊ะมา : การหาปริมาณ DPA ในดินปืนและเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนออโตเมติก 4 ขนาด โดยเทคนิค HPLC. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ.ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง , อ.ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี และ พ.ต.ต.อัครวัฒน์ ชินวรสวัสดิ์. 76หน้า.

การวิเคราะห์เขม่าปืนที่นิยมใช้กันทั่วไปคือเทคนิค SEM/EDX อย่างไรก็ตามเทคนิคดังกล่าวอาจมีข้อจำกัดเนื่องจากกระสุนปืนบางชนิดอาจมีตะกั่วอยู่ในปริมาณน้อยหรือไม่มีตะกั่วเลย ในการศึกษานี้จึงพัฒนาเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เพื่อการวิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในดินปืนและในเขม่าดินปืน สารที่วิเคราะห์คือ Diphenylamine (DPA) ซึ่งใช้เป็นสารที่ทำให้ดินปืนเสถียร(Stabilizer) ในงานวิจัยนี้จะหาปริมาณ DPA ในกระสุนปืน 4 ขนาดและในเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนนั้น

ในการทดลอง ตัวอย่างจะถูกสกัดด้วย Methanol โดยวิธี sonication เป็นเวลา 75 นาที ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC โดยใช้คอลัมน์ RP-18 ใช้ mobile phase เป็น methanol : DI water ในอัตราส่วน 75:25 และ flow rate เท่ากับ 1.0 mL/min โดยใช้ UV detector ที่ความยาวคลื่น 214 nm

จากผลการทดลองพบว่าพีคของสาร DPA แยกออกจากสารตัวอื่นได้อย่างชัดเจน โดยค่า LOD เท่ากับ 0.033 mg/L และค่า LOQ เท่ากับ 0.11 mg/L ค่าความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 5-100 mg/L มี $R^2 = 1$

การวิเคราะห์หาปริมาณ DPA โดยเทคนิค HPLC ในงานวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจวิเคราะห์เขม่าดินปืนในงานสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. ..... 2. ..... 3. .....

49312313 : MAJOR : FORENSIC SCIENCE
KEY WORD : FORENSIC SCIENCE/ GUN POWDER/ SMOKELESS POWDER/ ORGANIC GUNSHOT RESIDUE/ PROPELLANT
NIPAPHAN JANTAMA : DETERMINATION OF DPA IN PROPELLANTS AND GUNSHOT RESIDUES FROM FOUR AUTOMATIC BULLETS OF DIFFERENT CALIBRES BY HPLC TECHNIQUE. THESIS ADVISORS : SIRIRAT CHOOSAKULKRIENG Ph.D., SUPACHAI SUPALUKNARI, Ph.D. AND POL .MAJ. AKKARAWAT CHINAWARNSAWAD. 76pp.

The technique of SEM/EDX has been widely used to analyse samples of gunshot residue (GSR). However, there may be a limitation of the technique, because of the small content of lead in the sample or the use of lead-free ammunition. In this study, the technique of High Performance Liquid Chromatography(HPLC) was developed for the determination of organic compounds present in the ammunition and in GSR. The compound chooser in this work was Diphenylamine (DPA). The DPA is used as a stabilizer in the propellant. Four automatic bullets of different calibres and their GSR were investigated.

The sample was ultrasonicated for 75 min using methanol as a solvent. The extract was then analysed by the HPLC. The Chromatographic column was a RP-18 column. The mobile phase was methanol:DI water(75:25) and the flow rate was 10 mL/min. The UV detector was used at the wavelength of 214 nm.

The chromatograms of all samples displayed a well separated peak of the DPA. The LOD and LOQ are 0.033 and 0.11 mg/L respectively. The linearity of the calibration curve was found in the concentration range of 5-100 mg/L with the value of $R^2 = 1.0$

The method of DPA analysis by HPLC developed in this work can be applied to the analysis of GSR in forensic investigations.

Program of Forensic Science Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2008
Student's signature .....
Thesis Advisors' signature 1. ..... 2. ..... 3. …….....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยเรื่องการหาปริมาณ DPA ในดินปืนและเขม่าปืนจากลูกกระสุนหลายชนิด โดยเทคนิค HPLC สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างจากวิทยาการเขต 15 (นครปฐม) และบุคคลหลายท่านที่ได้กรุณาสละเวลาให้ความรู้ ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่มีคุณค่า และเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี และ อาจารย์ ดร.ศริริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ที่ได้กรุณาเป็นที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกด้าน และอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ต่างๆ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดาบตำรวจสุขสันต์ พวงสมบัติ ที่ให้ความช่วยเหลือสละเวลาในการช่วยทำการวิจัย และให้คำแนะนำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือทำให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างราบรื่นมากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอด และขอขอบพระคุณผู้ที่มิได้เอ่ยนามมา ณ โอกาสนี้ ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

สมมติฐานของการศึกษา 3

ขอบเขตของการศึกษา 3

ข้อจำกัดในการวิจัย 3

นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย 3

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย 4

กรอบแนวความคิดในการวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 5

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน 6

กระสุนปืน (Metallic Cartridge) 8

ลูกกระสุนปืน (Bullet) 10

ปลอกกระสุนปืน (Cartridge Case) 12

ดินส่งกระสุนปืน หรือดินปืน (Gun Powder, Propellant) 14

แก็ป (Primer cap) 20

เขม่าปืนที่เกิดจากการยิงปืน (Gunshot Residue, GSR) 21

สารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในดินส่งกระสุน 22

คุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์ที่พบมากในดินส่งกระสุน 23

หลักการพื้นฐานของเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) 26

บทที่ หน้า
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ... 29
3 การทดลอง ... 31
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ... 31
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ... 34
วิธีการทดลองหาปริมาณ DPA ในดินปืนและเขม่าปืนโดยเทคนิค HPLC ... 34
วิธีการทดลองหาค่า LOD และ LOQ ... 36
4 ผลการทดลอง ... 36
การวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในดินปืน ... 38
การวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในเขม่าปืน ... 39
รูปร่างของดินปืนจากกระสุนปืนทั้ง 4 ขนาด ... 40
การเตรียมสารมาตรฐาน DPA ใน methanol ... 43
การเติมสารมาตรฐาน DPA ลงในตัวอย่างก่อนยิง ... 44
การหาค่า LOD และ LOQ ... 46
5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง ... 44
การวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในดินปืน ... 47
การวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในเขม่าดินปืน ... 48
การเติมสารมาตรฐาน DPA ลงในตัวอย่างก่อนยิง ... 49
ข้อเสนอแนะ ... 49

บรรณานุกรม ... 50

ภาคผนวก ... 51

ประวัติผู้วิจัย ... 76

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	รายละเอียดของอาวุธปืนที่ใช้ในการทดลอง	31
2	รายละเอียดของกระสุนปืนที่ใช้ในการทดลอง	32
3	การเตรียมสารละลายมาตรฐาน DPA	35
4	ค่า Retention time ของสารอินทรีย์ในดินปืน	38
5	Peak area ของสาร DPAที่มีอยู่ในดินปืน	39
6	Peak area ของสาร DPAในเขม่าดินปืน	40
7	ขนาดและรูปร่างของดินส่งกระสุนที่ใช้ทำการทดลอง	42
8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของ DPA (mg/l)	43
9	พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างที่มี retention time ตรงกับสาร DPA	45
10	ปริมาณ DPA ในดินปืนจากกระสุนปืน 4 ขนาด	47
11	ปริมาณ DPA ในดินปืนจากกระสุนปืน 4 ขนาด	48
12	ปริมาณ DPA ในเขม่าดินปืนจากกระสุนปืน 4 ขนาด	45

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระสุนปืนแบบ Pin Fire Cartridge	8
2	กระสุนปืนแบบ Rim Fire Cartridge	8
3	กระสุนปืนแบบ Center Fire Cartridge	9
4	องค์ประกอบในลูกกระสุนปืนชนิดต่างๆ	10
5	รูปร่างของปลอกกระสุนปืนทั้ง 3 แบบ	13
6	รูปร่างลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืน	13
7	รูปร่างลักษณะของดินดำ	16
8	รูปร่างลักษณะของดินควันน้อย (Smokeless powder) แบบต่างๆ	20
9	ส่วนสำคัญของ Primer Cap	21
10	เครื่องมือ High Performance Liquid Chromatography	26
11	องค์ประกอบสำคัญของเครื่อง High Performance Liquid Chromatography	27
12	อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติที่ใช้ในการทดลอง	32
13	กระสุนปืนออโตเมติกที่ใช้ในการทดลอง	33
14	กล่องพลาสติกที่ใช้ทำการเก็บเขม่าดินปืน	33
15	Chromatogram ของสารตัวอย่างความเข้มข้น 1 mg/mL	37
16	Chromatogram ตัวอย่างดินปืนความเข้มข้น 1 mg/mL จากกระสุนปืนขนาด .45	38
17	Chromatogram ตัวอย่างเขม่าปืนจากกระสุนปืนขนาด .45	39
18	ดินส่งกระสุนจากกระสุนปืนทั้ง 4 ขนาด	40
19	Chromatogramของสารมาตรฐาน DPAความเข้มข้น 100 mg/mL	43
20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ DPA ตั้งแต่ 5 ถึง 100 mg/L กับพื้นที่ใต้พีค	44
21	Chromatogram ของดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger	44
22	Chromatogram ของดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger ที่ได้เติมสารมาตฐาน DPA ความเข้มข้น 2 mg/L	45
23	Cromatogram ของ Blank (methanol:DI water 75:25)	46
24	Chromatogram ของ DPA ที่ความเข้มข้น 5 mg/L	52
25	Chromatogram ของ DPA ที่ความเข้มข้น 10 mg/L	52
26	Chromatogram ของ DPA ที่ความเข้มข้น 20 mg/L	53

ภาพที่ หน้า

27 Chromatogram ของ DPA ที่ความเข้มข้น 60 mg/L 53

28 Chromatogram ของ DPA ที่ความเข้มข้น 100 mg/L 54

29 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super (ครั้งที่ 1)..... 55

30 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 1) 55

31 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 1)..... 56

32 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 1) 56

33 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super (ครั้งที่ 2)..... 57

34 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 2) 57

35 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 2)..... 58

36 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 2) 58

37 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super (ครั้งที่ 1)..... 59

38 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 1)..... 59

39 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 1)..... 60

40 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 1)..... 60

41 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 2)..... 61

42 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 2)..... 61

43 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 2)..... 62

44 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super non-spike (ครั้งที่ 1)..... 63

45 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super (ครั้งที่ 1)..... 63

46 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto non-spike (ครั้งที่ 1)..... 64

47 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 1) 64

ภาพที่ หน้า

48 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger non-spike (ครั้งที่ 1) 65

49 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 1) 65

50 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br non-spike (ครั้งที่ 1) 66

51 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 1) 66

52 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super non-spike (ครั้งที่ 2) 67

53 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super (ครั้งที่ 2) 67

54 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto non-spike (ครั้งที่ 2) 68

55 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 2) 68

56 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger non-spike (ครั้งที่ 2) 69

57 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 2) 69

58 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br non-spike (ครั้งที่ 2) 70

59 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 2) 70

60 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 1 71

61 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 2 71

62 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 3 72

63 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 4 72

64 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 5 73

ภาพที่ หน้า

65 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 6 73
66 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 7 74
67 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 8 74
68 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 9 75
69 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 10 75

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ได้เกิดปัญหาทางด้านอาชญากรรมขึ้นมากมาย ซึ่งการที่จะเอาตัวผู้กระทำผิดที่แท้จริงมาลงโทษตามกระบวนการยุติธรรมนั้นเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะจะต้องมีการรวบรวมพยานหลักฐานมายืนยันให้สามารถพิสูจน์ความผิดได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในประเทศที่พัฒนาแล้ว อาทิเช่น ประเทศญี่ปุ่น ยุโรปและสหรัฐอเมริกา จึงมีการนำเอาความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีต่างๆ มาพัฒนาใช้ในการตรวจพิสูจน์หลักฐานต่างๆให้ได้ผลที่ถูกต้องแท้จริงตามหลักวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้ผลอย่างดียิ่งในการสืบสวนติดตามหาคนร้ายต่างๆ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น เมื่อเกิดคดีฆาตกรรมเกิดขึ้น สามารถจับกุมคนร้ายได้ถึง 90% โดยการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ค้นคว้าวิจัยและผลิตขึ้นอย่างทันสมัย ผสานกับหลักนิติวิทยาศาสตร์นี้ ให้บรรลุผลได้เป็นอย่างมาก จากประโยชน์ดังกล่าวข้างต้น จึงมีการนำเอานิติวิทยาศาสตร์มาใช้ในขอบเขตโดยทั่วไป ดังนี้

1. การตรวจสถานที่เกิดเหตุและการถ่ายรูป (Crime Scene Investigation and Forensic Photography)
2. การตรวจลายนิ้วมือ ฝ่ามือ ฝ่าเท้า (Fingerprint, Palm print, Footprint)
3. การตรวจเอกสาร (Document Examination) เช่น ตรวจลายเซ็น ลายมือเขียน
4. การตรวจอาวุธปืน และกระสุนปืนของกลาง (Forensic Ballistics)
5. การตรวจทางเคมี (Forensic Chemistry) เช่น ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารต่างๆ
6. การตรวจทางฟิสิกส์ (Forensic Physics) เช่น ร่องรอยการเฉี่ยวชนของรถ
7. การตรวจทางชีววิทยา (Biological Trace Evidence) เช่น ตรวจเส้นผม เลือด อสุจิ
8. การตรวจทางนิติเวช (Forensic Medicine) ได้แก่ งานนิติพยาธิ งานนิติวิทยางานชีวเคมี งานพิสูจน์บุคคล งานภาพทางการแพทย์

ทั้งนี้โดยทั่วไปการพิจารณาประเภทของพยานวัตถุและจุดประสงค์ในการตรวจพิสูจน์สามารถแยกวิธีการออกได้ดังนี้

1. การตรวจโดยวิธีทางเคมี และชีววิทยา(Chemical and Biological Analysis)
2. การตรวจโดยการใช้วิธีทางกายภาพ (Physical Experiments)
3. การตรวจโดยใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ (Instrument Analysis)

โดยสรุปแล้วถือได้ว่านิติวิทยาศาสตร์นี้เป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิชาการทางด้านต่างๆผนวกเข้ากับการบังคับใช้ทางกฎหมาย เพื่อเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการยุติธรรม ให้สามารถอำนวยความยุติธรรมให้กับผู้เสียหาย และผู้ต้องหาได้เป็นอย่างดี ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ที่ประเทศไทยจะต้องส่งเสริมให้มีการพัฒนา ทางด้านการตรวจวิเคราะห์ต่างๆดังกล่าวข้างต้น รวมถึงการนำเอานิติวิทยาศาสตร์นี้มา ส่งเสริมกระบวนการยุติธรรมของประเทศไทยให้ทัดเทียมกับอารยประเทศ
ที่มา : นิติวิทยาศาสตร์ (Forensic Science) [Online]. Accessed 28 April 2009. Available from http://www.barascientific.com/article/Forensice/forensic.php

ทุกวันนี้แทบจะกล่าวได้ว่าในแต่ละวันของทุกประเทศทั่วโลกมีอาชญากรรมเกิดขึ้นมากมายและเกือบทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก็มักมีการใช้อาวุธปืนร่วมด้วยเสมอ และหากยังไม่สามารถจับตัวผู้กระทำการได้ เจ้าหน้าที่ตำรวจหรือพนักงานสืบสวนจะต้องประสบกับปัญหาไม่น้อยเลยในการดำเนินการสืบหาแหล่งที่มาของอาวุธปืนจากร่องรอยของปลอกหรือลองลูกปืนที่ตกหล่นอยู่ในที่เกิดเหตุ เพื่อใช้ในทำการสืบหาตัวคนร้ายต่อไป โดยในปัจจุบันทำได้อย่างมากก็เพียงทราบชนิดและขนาดของปืนที่คนร้ายใช้ในการก่อการเท่านั้น แต่จะไม่สามารถทราบได้ว่าลูกปืนนั้นๆ ถูกยิงออกจากปืนกระบอกใด แต่ในวันนี้มีเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังเป็นที่สนใจอย่างยิ่งของกระทรวงยุติธรรมสหรัฐอเมริกา ซึ่งกำลังมองหาวิธีควบคุมการซื้ออาวุธปืน โดยเฉพาะปืนสั้นซึ่งอาชญากรในอเมริกันนิยมใช้ก่ออาชญากรรม โดยเทคโนโลยีแบบใหม่นี้จะช่วยป้องกันเรื่องการใช้อาวุธปืนในการก่ออาชญากรรมได้ และจะช่วยให้พนักงานสอบสวน ตามหาแหล่งที่มาของอาวุธปืนและบางทีอาจจะหาตัวผู้ใช้ปืนได้ก่อนที่จะพบปืนกระบอกที่ใช้ก่ออาชญากรรม

ที่มา : เทคโนโลยีใหม่ในการใช้ติดตามปืนที่ใช้ก่ออาชญากรรม [Online], accessed 28 April 2009. Available from http://www.navy.mi.th/ordn/educ_web/news50/c53.html

สำหรับการวิเคราะห์เขม่าปืน (Gunshot Residue) โดยทั่วไปที่มักใช้เทคนิค SEM/EDX ซึ่งพบว่ายังมีข้อจำกัดหลายประการ อาทิเช่น กรณีที่เขม่าปืนที่ต้องการวิเคราะห์ได้จากการยิงปืนที่มีปริมาณโลหะหนักน้อยหรือไม่มีเลย ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ได้จากการเผาไหม้ของชนวนท้ายกระสุนปืนหรือแก๊ปปืน (Primer cap) ทำให้ไม่สามารถใช้เทคนิค SEM/EDX วิเคราะห์ได้ จึงได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในดินส่งกระสุนแทน

ซึ่งสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในดินส่งกระสุน (propellant) แบ่งตามหน้าที่การทำงานออกเป็น 7 ชนิด คือ

- สารที่ให้แรงขับในกระสุน (energetics)
- สารที่ให้ความเสถียร (stabilizers)
- สารที่ให้ความอ่อนตัวและลดความชื้นกับดินส่งกระสุน (plasticizers)
- สารที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของ free radical (flash suppressants)
- สารลดการเผาไหม้ที่พื้นผิวของดินส่งกระสุนและลดอุณหภูมิจุดติดไฟ (deterrents)
- สารที่เพิ่มอัตราการเผาไหม้ (opacifiers)
- สารย้อมสี (dyes)

ซึ่งสารอินทรีย์ที่นิยมใช้เป็นสารให้ความเสถียรในดินส่งกระสุน (stabilizers) คือ Diphenylamine (DPA)

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาหาปริมาณ DPA ในเขม่าปืนและในดินปืนด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC)
2. ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณ DPA ในดินส่งกระสุนของกระสุนปืนแต่ละขนาด

3. สมมติฐานของการศึกษา

1. ปริมาณ DPA ที่พบในกระสุนปืนแต่ละขนาดมีความแตกต่างกัน
2. เขม่าดินปืนที่นำมาวิเคราะห์ยังคงพบ DPA อยู่แต่พบในปริมาณน้อย

4. ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาปริมาณสาร DPA ในดินปืนและในเขม่าดินปืน โดยเปรียบเทียบในกระสุนปืนขนาดเดียวกัน และศึกษาปริมาณสาร DPA ในดินปืนของกระสุนปืนแต่ละขนาดว่ามีความแตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาต่อไป

5. ข้อจำกัดในการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้มีปัญหาขาดกระสุนปืนขนาดเดียวกัน และยี่ห้อเดียวกัน เนื่องจากกระสุนปืนที่นำมาทดลองวิจัย เป็นกระสุนปืนที่ได้รับความอนุเคราะห์จากวิทยาการเขต 15 (นครปฐม)
2. การเก็บตัวอย่างเขม่าดินปืนทำได้ยากมาก เนื่องจากต้องใช้กระสุนปืนจำนวนมาก จึงสามารถชั่งตัวอย่างเขม่าดินปืนได้

6. นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

นิติวิทยาศาสตร์ (Forensic science) คือ การนำวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์แห่งกระบวนการยุติธรรม

เขม่าปืน(Gunshot Residue, GSR) คือ วัตถุพยานทางวิทยาศาสตร์อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นภายหลังจากการยิงปืนโดยไออนุภาคต่างๆที่เกิดขึ้นจะปลิวฟุ้งกระจายออกมายังรอบอาวุธปืน

ดินควันน้อย (Smokeless powder) คือ ดินปืนที่ถูกนำมาใช้แทนดินดำ เนื่องจากดินควันน้อยให้แรงระเบิดสูงกว่าดินดำมากในปริมาณเท่ากัน และเมื่อใช้ยิงแล้วมีเขม่าหรือควันน้อยมากเมื่อเทียบกับดินดำ อีกทั้งง่ายต่อการควบคุมการจุดระเบิด

7. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

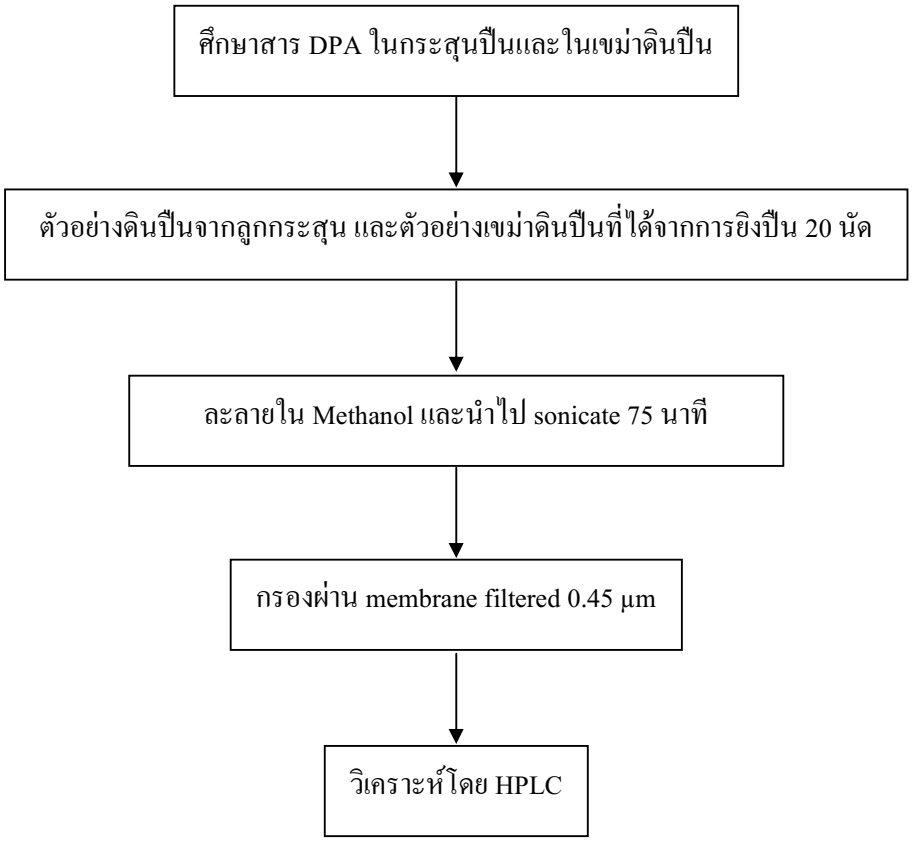
ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ขนาดของกระสุนปืน

ตัวแปรตาม ได้แก่ ปริมาณ DPAในดินปืน และ ปริมาณ DPA ในเขม่าดินปืน

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ จำนวนนัดของกระสุนปืนที่ยิง, ระยะยิง และกล่องเก็บตัวอย่างเขม่าปืน

8. กรอบแนวความคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษากระสุนปืน 4 ขนาด ได้แก่ .45 auto, .38 super, 9 mm luger และ 7.65 mm



9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

การตรวจวิเคราะห์คราบเขม่าปืนโดยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจพบโลหะหนักในคราบเขม่าปืนจากเทคนิค SEM/EDX

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน (อัมพร จารุจินดา 2542)

ปัจจุบันมีการแบ่งประเภทอาวุธปืนตามการใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1.1 ปืนพก (Pistol) ปืนจำพวกนี้สามารถใช้ยิงได้ด้วยมือเดียว เพราะมีขนาดเล็กทำให้พกพาติดตัวไปได้สะดวก สามารถซ่อนหรือปกปิดได้ง่าย และเนื่องจากเป็นอาวุธปืนที่มีขนาดเล็ก จึงทำให้อำนาจการยิงมีระยะไม่ไกลมากนัก ซึ่งถ้าแบ่งตามลักษณะของอาวุธปืนจำพวกนี้แล้ว สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

ก. ปืนพกกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic Pistol) เป็นปืนพกที่บรรจุกระสุนปืนได้หลายนัดด้วยการบรรจุไว้ในซองกระสุนปืน (Magazine)

ข. ปืนพกลูกโม่ (Revolver) เป็นปืนพกที่มีส่วนบรรจุกระสุนที่เรียกว่า ลูกโม่ (Cylinder) ปืนพกชนิดนี้รังเพลิงและลำกล้องปืนแยกออกเป็นคนละส่วนกัน

ค. ปืนพกแบบอื่น ๆ (Miscellaneous Handgun) เป็นปืนที่ผลิตออกมา เพื่อให้ผู้ที่ไม่เคยพบเห็นคิดว่าไม่ใช่อาวุธปืน การผลิตดังกล่าวส่วนใหญ่เพื่อนำไปให้สายลับใช้ป้องกันตัวยามจำเป็น มีบ้างที่ผลิตเพื่อการค้า แต่ก็มักเป็นของต้องห้ามในเกือบทุกประเทศ เพราะปืนเหล่านี้มีขนาดเล็ก ซุกซ่อนได้ง่ายและยังสังเกตได้ยากว่าเป็นปืนหรือไม่ ตัวอย่างเช่น ปืนปากกา, ปืนหัวเข็มขัด, ปืนไฟแช็ค, ปืนพวงกุญแจ, ปืนไม้เท้า ฯลฯ เป็นต้น

1.2. ปืนกลมือ (Sub-Machine Gun) มีลักษณะอันพึงประสงค์อย่างหนึ่งคือ สามารถใช้กระสุนปืนร่วมกับปืนพกได้ นอกจากนั้นยังสามารถยิงได้ทั้งแบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ ระยะยิงหวังผลได้ดีกว่าปืนพก

1.3. ปืนเล็ก ชนิดของปืนเล็กในที่นี้ หมายถึง ปืนที่ทำการยิงโดยอาศัยการประทับไหล่ ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กัน ดังนี้

ก. ปืนเล็กยาว (Rifle) เป็นอาวุธเล็กที่มีความยาวลำกล้องประมาณ 24-30 นิ้ว

ข. ปืนเล็กสั้น (Carbine) เป็นปืนที่สร้างขึ้นโดยประสงค์ให้ผู้ที่มีหน้าที่ขี่ม้าได้ใช้โดยไม่เกิดความเกะกะในการนำไปนำมา และสามารถใช้ได้คล่องตัวขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับปืนเล็ก

ยาวทุกอย่าง ตลอดจนการทำงานของเครื่องกลไก จะต่างกันเพียงความยาวลำกล้องที่สั้นกว่าเท่านั้น

ค. ปืนเล็กยาวบรรจุเอง (Self Loading Rifle) เป็นปืนเล็กยาวที่สามารถยิงซ้ำต่อเนื่องได้กล่าวคือ ผู้ยิงเพียงแต่ทำหน้าที่ในการเหนี่ยวไกเมื่อต้องการยิงกระสุนนัดต่อไป จึงทำให้การยิงมีความรวดเร็วขึ้น ประมาณ 8-16 นัด ภายในเวลา 3-4 วินาที

ง. ปืนเล็กสั้นบรรจุเอง (Self Loading Carbine) ก็มีหลักการเดียวกันกับปืนเล็กยาวบรรจุเอง ต่างกันก็เฉพาะลำกล้องที่สั้นกว่าเท่านั้นเอง

จ. ปืนกลเล็ก (Assault Rifle) เป็นปืนยาวที่สามารถยิงทั้งอัตโนมัติและแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.4 ปืนกล (Machine Gun) เป็นปืนที่มีการยิงระบบครอบรอบอัตโนมัติสมบูรณ์ (Full Automatic) กล่าวคือ ตลอดเวลาที่ผู้ยิงยังเหนี่ยวไกไว้ ปืนจะทำการยิงติดต่อกันได้โดยตลอดและจะหยุดยิงต่อเมื่อผู้ยิงปล่อยไกปืน หรือกระสุนหมด ใช้กับกระสุนปืนไรเฟิลทางทหาร เนื่องจากการยิงลักษณะนี้จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนกับตัวปืน จึงจำเป็นต้องอาศัยขาทรายหรือขาหยั่งเป็นส่วนประกอบเพิ่มขึ้น อีกทั้งตัวปืนมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ต้องใช้คนยิงตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป และมีระบบการป้อนกระสุนปืนด้วยแมกกาซีน ปืนกลแบบนี้มี 2 ชนิด คือ

ก. ปืนกลเบา เป็นปืนกลที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 35 ปอนด์ลงไป

ข. ปืนกลหนัก เป็นปืนกลที่มีน้ำหนักมากกว่า 35 ปอนด์ขึ้นไป

อาวุธปืนแบบต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวมานั้น จะใช้ได้ผลดีมีอานุภาพสูงสุด ก็ต่อเมื่อกระสุนปืนจะต้องประกอบด้วยสิ่งสำคัญ 3 สิ่ง คือ

1. กระสุนปืนจะต้องเป็นแบบ “Fixed Charge” คือ มีปลอกกระสุนปืน แก็ปดินปืน และลูกกระสุนปืน รวมอยู่เป็นอันเดียวกัน

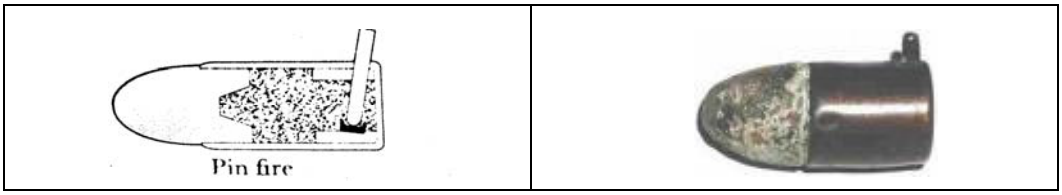
2. ปลอกกระสุนปืนจะต้องขยายตัวได้ เพื่อว่าเมื่อกระสุนปืนถูกยิงปลอกกระสุนปืนจะขยายตัวได้แนบสนิทกับผนังรังเพลิง เพื่อป้องกันไม่ให้แก๊สรั่วย้อนออกทางข้างปลอกกระสุนปืนได้ และยังต้องง่ายต่อการที่ดึงปลอกกระสุนปืนที่ยิงแล้วออกจากรังเพลิง

3. แก็ป หรือ Primer Cap จะต้องมีตัวทั่ง (Anvil) สำหรับการกระแทกของเข็มแทงชนวนสร้างติดไว้ด้วย ในกรณีที่เป็นกระสุนแบบชนวนกลาง หรือมีตัวรับการตีของเข็มแทงชนวนแบบที่เรียกว่า Folded Head ในกระสุนปืนแบบชนวนริม

2. กระสุนปืน (Metallic Cartridge)

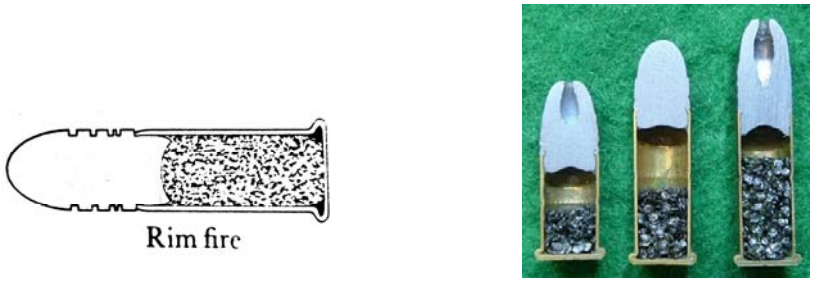
ตั้งแต่มีการผลิตกระสุนปืนขึ้นมาได้จนถึงปัจจุบันนี้ Metallic Cartridge มีด้วยกันถึง 11 แบบ ที่สำคัญ และผลิตออกมาจำหน่ายทางการค้ามีอยู่ 3 แบบ

2.1 Pin Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนแบบแรกที่สร้างขึ้นโดยช่างทำปืนชาวเมืองปารีสชื่อ E.Lefaucheux ในปี ค.ศ. 1835 และผลิตออกจำหน่ายในปี ค.ศ. 1836 โดยมีทั้งกระสุนปืนไรเฟิลกระสุนปืนพก และกระสุนปืนลูกซอง ในตอนแรกปลอกกระสุนปืนทุกชนิดทำด้วยกระดาษส่วนท้ายเป็นทองเหลือง และมีเข็มโผล่ออกมาทางด้านข้างปลอกกระสุน ปลายเข็มอีกด้านหนึ่งฝังอยู่ภายในปลอกกระสุนปืนโดยวางอยู่บนแก็ป (Primer Cap) ซึ่งบรรจุอยู่ในถ้วยโลหะอาวุธปืนที่ใช้กระสุนปืนแบบนี้ที่นกปืนไม่มีเข็มแทงชนวน เวลายิงนกปืนจะกระแทกลงบนเข็มที่โผล่ออกมาข้างปลอกกระสุนปืน และปลายเข็มอีกข้างหนึ่งก็จะกระแทกกับแก็ป เกิดระเบิดขึ้นระกายไฟก็จะไปเผาไหม้ดินปืนต่อไป กระสุนปืนแบบ Pin Fire มีอายุการใช้งานไม่นานนัก ก็ถูกแทนที่ด้วยกระสุนปืนแบบใหม่ คือ Rim Fire



ภาพที่ 1 กระสุนปืนแบบ Pin Fire Cartridge

2.2 Rim Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนที่ทำให้มีชนวนท้ายกระสุนปืนอยู่บริเวณขอบจานท้ายกระสุนปืน โดยกระสุนปืนชนิดนี้จะลั่นได้ก็ต่อเมื่อเข็มแทงชนวนไปที่บริเวณรอบขอบจานท้ายกระสุนปืนเท่านั้น จะเห็นได้ทั่วไปในกระสุนปืนลูกกรด ขนาด .22 ซึ่งใช้ Picrate จาก Picric Acid ในการทำชนวน เหตุที่กระสุนปืนลูกกรด ขนาด .22 ทำแบบชนวนริมเนื่องจากกระสุนปืนมีขนาดเล็ก การทำแบบชนวนกลาง (Center Fire) ทำได้ยากและมีต้นทุนสูง



ภาพที่ 2 กระสุนปืนแบบ Rim Fire Cartridge

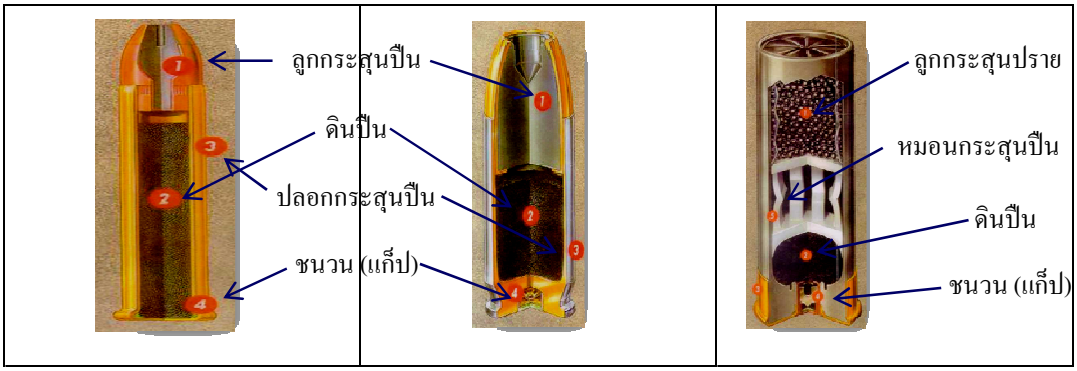
2.3 Center Fire Cartridge เป็นกระสุนปืนที่เข็มแทงชนวนจะต้องแทงให้ถูกตรงกลางของจานท้ายกระสุนปืนจึงลั่นได้ มีใช้กันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1861 แต่กว่าจะมีคุณภาพเหมือนกับที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ ก็ได้มีการปรับปรุงแก้ไขกันอย่างมากมาย ตั้งแต่วัสดุที่ใช้ทำปลอกกระสุน ดินปืน ลูกกระสุนปืน Primer Cap และ Priming Mixture

ภาพที่ 3 กระสุนปืนแบบ Center Fire Cartridge

เมื่อกระสุนปืน Rim Fire และ Center Fire ถูกสร้างขึ้นมา ก็นับเป็นจุดเริ่มของการพัฒนาอาวุธปืนสมัยใหม่ขึ้นมา ทำให้มีปืนแบบที่สามารถยิงซ้ำได้ เช่นแบบ Lever Action, Pump Action, Semi-Automatic และปืนกลแบบต่าง ๆ ขึ้น ทำให้อาวุธปืนได้รับการพัฒนาทั้งทางคุณภาพและประสิทธิภาพขึ้นอย่างมากมาย โดยเฉพาะในช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นต้นมา ซึ่งในสมัยเริ่มแรกที่มีอาวุธปืนนั้น กว่าจะยิงปืนแต่ละนัดต้องใช้เวลามาก ความแม่นยำก็ไม่ดี แต่ในปัจจุบันนี้อาวุธปืนลำกล้องเดี่ยวสามารถยิงได้เร็วที่สุดถึง 1,200 นัดต่อนาที ดังเช่นปืนกลมือ Ingram M.10 และ M.11 เป็นต้น

กระสุนปืนโดยทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

1. ลูกกระสุนปืน หรือหัวกระสุนปืน (Bullet)
2. ปลอกกระสุนปืน (Cartridge Case)
3. ดินส่งกระสุนปืน (Gun Powder)
4. แก็ปปืน (Primer Cap)



กระสุนปืนรีวอลเวอร์ กระสุนปืนออโตเมติก กระสุนปืนลูกซอง

ภาพที่ 4 องค์ประกอบในกระสุนปืนชนิดต่างๆ

3. ลูกกระสุนปืน (Bullet)

ลูกกระสุนปืนในตอนแรกเป็นพวกลูกดอก ลูกธนู หินกลม ๆ เป็นต้น ต่อมาก็ใช้ลูกเหล็ก หรือตะกั่ว ซึ่งต่อมาพบว่า ลูกเหล็กหรือตะกั่วจะให้ระยะยิงไกลกว่าอย่างอื่น แต่ในที่สุดก็พบว่าตะกั่วเป็นสารเดียวที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ทำลูกกระสุนปืน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่มีน้ำหนักดี ราคาถูก และง่ายในการที่จะหลอมหรือหล่อทำรูปแบบต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มวิวัฒนาการของอาวุธปืนเป็นต้นมา ลูกกระสุนปืนที่ใช้ทำตะกั่วล้วน ๆ ยาวนานมาเป็นเวลานานถึง 525 ปี จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1880 - 1890 จึงได้มีลูกกระสุนปืนแบบที่เรียกว่า Jacketed Bullet เกิดขึ้น ซึ่งในสมัยนั้น Jacket จะทำด้วยทองเหลือง หรือทองแดงบาง ๆ หุ้มแกนตะกั่วไว้ภายใน ลูกกระสุนปืนในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

3.1 Lead bullet เป็นลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่ว เพราะราคาถูกและเป็นลูกกระสุนปืนที่ใช้กับกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นต่ำกว่า 2,000 ฟุตต่อวินาที เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากแรงระเบิดของดินปืนไม่สูงเกินไปจนทำให้ตะกั่วละลาย แต่ลูกกระสุนปืนชนิดนี้ก็ใช้ว่าจะทำด้วยตะกั่วล้วน ๆ เพราะจะอ่อนเกินไป ดังนั้นจึงต้องใช้โลหะอื่นผสมลงไปด้วยเพื่อทำให้มีความแข็งขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่โลหะที่มักใช้ผสมจะเป็นโลหะพลวง (Sb) หรือดีบุก (Tin)

ลูกกระสุนปืนขนาดเล็กสำหรับปืนพกทั่ว ๆ ไป ที่โรงงานผลิตออกขาย จะใช้ตะกั่วผสมกับพลวง แต่ลูกกระสุนที่อัดใช้เอง มักจะใช้ตะกั่วผสมดีบุก เพราะง่ายในการหลอมและหล่อขึ้นรูปลูกกระสุนปืนนั่นเอง ในปัจจุบันนี้ ลูกกระสุนปืนที่ทำด้วยตะกั่วมีลักษณะตอนท้ายของลูกกระสุนปืนอยู่ 5 แบบ คือ

ก. Plain Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน

ข. Hollow Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเว้าเข้าหรือกลวงลึก

ค. Gas Check Base แบบนี้จะมีถ้วยทองแดงหรือทองเหลืองบาง ๆ หุ้มก้นลูกกระสุนปืน เพื่อป้องกันตะกั่วส่วนก้นละลาย เนื่องจากความร้อนในกระสุนปืนแบบ High Temperature and Pressure

ง. Zinc Washer Base แบบนี้ส่วนก้นลูกกระสุนปืนจะชุบด้วยสังกะสี (Zn) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกั่วบริเวณก้นและด้านข้างของกระสุนปืนละลาย เนื่องจากความร้อน และยังทำหน้าที่เป็นตัวล้างเอาเศษตะกั่วที่ติดอยู่ภายในลำกล้องปืนให้ออกไปอีกด้วย

จ. Short or Half Jacketed แบบนี้มี Jacket หุ้มก้นลูกกระสุนปืนสูงปืนสูงมาประมาณ ¼ หรือ ¾ ของความสูงของลูกกระสุนปืน ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ตะกั่วบริเวณก้นและด้านข้างของลูกกระสุนปืนละลายติดลำกล้องปืนเช่นเดียวกัน

3.2 Jacketed Bullet เป็นลูกกระสุนปืนที่มีโลหะหุ้มแกนตะกั่ว หรือแกนเหล็กไว้อีกชั้นหนึ่ง ทำให้ดูเหมือนว่าลูกกระสุนปืนนั้นทำด้วยโลหะที่เห็นล้วน ๆ โลหะที่หุ้มอยู่ภายนอกเรียกว่า Jacket ส่วนแกนตะกั่วหรือแกนเหล็กที่อยู่ภายในเรียกว่า Core ในปัจจุบัน Jacket ส่วนใหญ่ทำด้วย ทองแดง 90 % ดีบุก 5 % และสังกะสี 5 % บางชนิดทำด้วยเหล็กชุบนิกเกิล หรือชุบทองแดงแบบใหม่ล่าสุดทำด้วยอะลูมิเนียม สำหรับ Core นั้นด้วยตะกั่วล้วน หรือบางทีอาจทำด้วยเหล็กก็ได้ซึ่งส่วนก้นของลูกกระสุนปืนแบบ Jacketed Bullet มี 2 แบบ คือ

ก. Flat Base แบบนี้ก้นลูกกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน และด้านข้างลูกกระสุนปืนก็ตรงตลอดเสมอกัน

ข. Boat Tail แบบนี้ก้นกระสุนปืนจะเรียบเสมอกัน แต่ด้านข้างลูกกระสุนตอนใกล้ก้นจะสอบเข้าหากันเล็กน้อย คือ ส่วนปลายใกล้ก้นของลูกกระสุนปืนจะเล็กกว่าตอนกลางของลูกกระสุนปืน เพื่อประโยชน์ในการลด Air Drag หรือลดการเสียดสีของอากาศกับลูกกระสุนปืนเมื่อใช้ยิงออกไป ทำให้ลูกกระสุนปืนนี้ยิงไปได้ไกลกว่า และมีวิธีกระสุนปืนแบบราบดีกว่าลูกกระสุนปืนแบบ Flat Base เมื่อมีความเร็วต้นเท่ากัน

ลูกกระสุนปืนที่มีความเร็วต้นตั้งแต่ 2,000 ฟุตต่อวินาทีขึ้นไป จะต้องเป็นแบบ Jacketted Bullet เพราะถ้าเป็นแบบ Lead Bullet จะทำให้ส่วนก้นและผิวด้านข้างของลูกกระสุนปืนละลายได้ ทำให้มีเศษตะกั่วติดค้างอยู่ภายในลำกล้อง อันจะทำให้เกิดผลเสียต่อความแม่นยำของปืนกระบอกนั้น

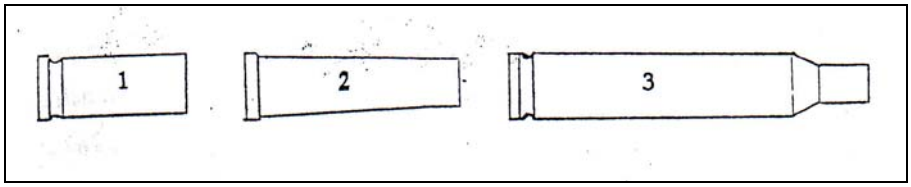
4. ปลอกกระสุนปืน

เมื่อมีการประดิษฐ์กระสุนปืนขึ้นได้ ในตอนแรกปลอกกระสุนปืนทำด้วยกระดาษแข็ง จานท้ายเป็นทองเหลือง แต่กระดาษแข็งมีข้อเสียที่ว่า ปลอกกระสุนปืนจะบวมเมื่อถูกความชื้นทำให้ไม่สามารถใส่เข้าไปในรังเพลิงของอาวุธปืนได้ นอกจากนี้ยังทำได้ยากเมื่อเป็นกระสุนปืนขนาดเล็ก ๆ ต่อมาจึงพบว่า ทองเหลืองเป็นโลหะที่ดีที่สุดในการใช้ทำปลอกกระสุนปืน แต่สำหรับปลอกกระสุนปืนลูกซองยังทำด้วยกระดาษแข็งอยู่ เพราะเป็นปลอกกระสุนปืนที่มีขนาดใหญ่และยังเป็นการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากกระดาษมีราคาถูกกว่าทองเหลืองมาก ในปัจจุบันวิวัฒนาการของพลาสติกเจริญขึ้นมาก ปลอกกระสุนปืนลูกซองที่ผลิตจากประเทศที่เจริญแล้ว จะทำด้วยพลาสติกที่ทนความร้อนและแรงดันสูง อีกทั้งยังไม่เกิดการบวมของปลอกเมื่อถูกความชื้นอีกด้วย

ทองเหลืองเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับสังกะสี (Copper Zinc Alloy) ทองเหลืองที่ใช้ทำปลอกกระสุนปืนที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด จะมีส่วนผสมของสังกะสีประมาณ 30 – 33 % ซึ่งปลอกกระสุนปืนที่มีใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ทำจากทองเหลือง ถึงแม้บางยี่ห้อจะมีปลอกเป็นสีขาวมันวาว ก็เป็นทองเหลืองชุบโครเมียมเพื่อความสวยงาม ดึงดูดผู้ซื้อนั่นเอง ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยอะลูมิเนียมจะมองเห็นเป็นสีขาวด้าน ๆ ส่วนปลอกกระสุนปืนที่ผลิตจากกลุ่มประเทศยุโรปตะวันออก เช่น โซเวียต โปแลนด์ เชคโกสโลวาเกีย และประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน จะทำด้วยเหล็กชุบทองแดง หรือสี Epoxy อบด้วยความร้อน เพื่อป้องกันสนิม ปลอกกระสุนปืนที่ทำด้วยโลหะอื่นนอกจากทองเหลืองแล้วจะใช้ครั้งเดียวทิ้ง ไม่สามารถนำกลับไปอัดยิงใหม่ได้อีก

รูปร่างลักษณะภายนอกของปลอกกระสุนปืนจะมี 3 แบบ คือ

1. Straight Case
2. Tapered Case
3. Bottlenecked Case

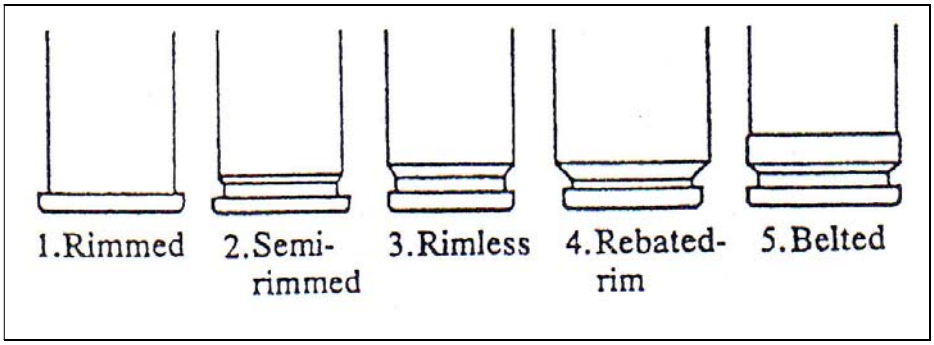


ภาพที่ 5 รูปร่างของปลอกกระสุนปืนทั้ง 3 แบบ

ที่มา : อัมพร จารุจินดา, พล.ต.ต. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

รูปร่างลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืนมี 5 แบบคือ

1. Rimmed
2. Semi-Rimmed
3. Rimless
4. Rebated-Rim
5. Belted



ภาพที่ 6 รูปร่างลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืน

ที่มา : อัมพร จารุจินดา, พล.ต.ต. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

กระสุนปืนแบบชนวนกลาง (Center Fire) ที่ออกแบบมาสำหรับใช้กับปืนรีวอลเวอร์จะมีลักษณะของส่วนท้ายปลอกกระสุนปืนเป็นแบบ Rimmed เช่น .32 S&W, .38 Special, .44 Magnum เป็นต้น พวกที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับปืน Semi-Automatic จะเป็นแบบ Semi-rimmed

หรือแบบ Rimless ส่วนแบบ Rebated-Rim จะพบในปืนไรเฟิลที่ผู้ผลิตทำโครงปืนและลูกเลื่อนอาวุธปืน ที่เดิมใช้กระสุนปืนซึ่งมีแรงดันน้อยหรือขนาดเล็กกว่า มาดัดแปลงให้ใช้กับกระสุนปืนที่มีแรงดันสูงกว่า จึงจำเป็นต้องออกแบบกระสุนปืนให้โตกว่าเดิม แต่จานท้ายยังคงมีขนาดเล็กเท่ากับหน้าลูกเลื่อนเดิมของอาวุธปืนนั้น สำหรับแบบ Belted นั้น จะพบในกระสุนปืนไรเฟิลขนาดใหญ่ ๆ สร้างเพื่อให้ส่วนท้ายของปลอกกระสุนปืนแข็งแรงขึ้น เพื่อสามารถทนต่อรงระเบิดจำนวนมหาศาล ในขณะที่ดินปืนถูกเผาไหม้ได้ จะพบเห็นกระสุนปืนไรเฟิลขนาด .357 Magnum ขึ้นไป

จากการที่ส่วนท้ายของปลอกกระสุนปืนมีด้วยกันถึง 5 แบบ ดังนั้นการออกแบบรังเพลิงของอาวุธปืนที่จะใช้กับกระสุนปืนแบบต่าง ๆ นั้น จะต้องพิถีพิถันเพื่อรองรับกระสุนแบบที่ใช้ให้พอดีทั้งความกว้าง ความยาว และรูปร่างเพื่อให้แน่ใจว่าในขณะที่ดินปืนไหม้และเกิดการระเบิดของแก๊สขึ้น ปลอกระสุนปืนจะแนบสนิทกับผนังรังเพลิงทุกด้าน ถ้าหลอมจะเกิดปัญหาปลอกกระสุนบวมติดรังเพลิง ทำให้คัดปลอกไม่ออก

5. ดินส่งกระสุนปืน หรือดินปืน (Gun Powder, Propellant)

ดินส่งกระสุนปืนหรือดินปืนเป็นของแข็งซึ่งเมื่อเกิดการลุกไหม้จะให้แก๊สปริมาณมากในช่วงเวลาอันสั้น การลุกไหม้จะเกิดจากประกายไฟหรือเปลวไฟที่ได้มาจากการระเบิดของแก็ปหรือโดยวิธีอื่นก็ได้ ความรวดเร็วในการเผาไหม้ของดินปืนเป็นสิ่งสำคัญ หากเกิดการเผาไหม้เร็วเกินไป แก๊สที่เกิดขึ้นก็เกิดอย่างรวดเร็วมากมีความดันสูงเกินกว่าที่ลูกกระสุนปืนจะวิ่งออกจากลำกล้องปืนได้ทันลำกล้องปืนก็จะเกิดระเบิด ในทางตรงกันข้ามถ้าการเผาไหม้ช้าไปแก๊สที่เกิดจะมีน้อยทำให้แรงขับดันลูกกระสุนปืนน้อยตามลงไปด้วย ก็จะทำให้วิถีกระสุนปืนไม่ดีหรือบางทีลูกกระสุนปืนอาจจะตกแค่ปากกระบอกปืนก็ได้ ดินปืนในปัจจุบันมี 3 แบบ

5.1 Black Powder (ดินดำ)

ดินปืนหรือแต่เดิมนั้นเรียกว่าดินดำ (Black Powder) เนื่องจากใช้ถ่านไม้เป็นส่วนผสมเมื่อทำการผสมกับสารตัวอื่นแล้วจะเกิดเป็นสีดำ ดินดำถูกค้นพบโดยชาวจีนในรัชสมัยของ HAIAO TSUNG แห่ง NAN SUBNG ในศตวรรษที่ 12 ปี 1249 AD.ROGER BACON บาทหลวงชาวอังกฤษจดบันทึกสูตรดินดำซึ่งประกอบด้วย ดินประสิว 7 ส่วน ถ่าน 4 ส่วน กำมะถันและถ่านเคยใช้เป็นสารเคมีมาหลายศตวรรษ ดินประสิวมีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ แต่ต้องนำมาสกัดให้ได้ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมเพื่อจุดส่วนผสมของดินดำ ความรู้ในการสกัดดินประสิวนี้ อาจได้รับมาจากชาวอาหรับซึ่งได้ข่าวสารมาจากชาวจีนประมาณปี 1225 AD.BACON ได้จดบันทึกไว้ว่าส่วนผสมของดินดำสูตรนี้ใช้ในการทำประทัด แต่ปรากฏว่าในระยะแรกๆ นั้นไม่อาจหาข้อสรุปในการเผ้าไหม้ให้ได้ผลที่สมบูรณ์ได้ เนื่องจากบางครั้งการเผาไหม้ค่อยๆ เป็นไปอย่างเชื่องช้าและ

เหลือเถ้าที่ถูกเผาไหม้ไว้เป็นจำนวนมาก แต่ก็ยังลุกไหม้ได้ในที่ที่จำกัดได้ จึงได้มีการทดลองอย่างต่อเนื่องจนประสบผลสำเร็จ โดยใช้อัตราส่วนในการผสมคือ ถ่านไม้ 75 % ดินประสิว 15 % กำมะถัน 10 % สูตรดินปืนของ BACON ต้องใช้สูตรดินประสิว ถ่านและกำมะถันที่แตกต่างกันไปในการผลิตส่วนผสมดินปืน ในระยะเริ่มต้นในการผลิตได้นำวัตถุต่าง ๆ มาผสมกันในครกโดยใช้สากตำด้วยมือ ต่อมาจึงได้มีพัฒนาโดยใช้ม้าเป็นต้นกำลังในการหมุนเครื่องจักรผสมดินปืน โดยเครื่องจักดังกล่าวมีลักษณะเป็นลูกกลิ้งบดบนแผ่นหินอ่อนแล้วทำการป่นด้วยไม้ การผสมดินปืนต้องใช้ศิลปะทางเทคนิคอย่างสูงและเป็นงานที่อันตรายการทำดินปืนในยุคต้นมีบันทึกไว้ว่าเคยเกิดอุบัติเหตุระเบิดทั้งในเมืองและในกองทัพบกมาหลายครั้งเคยมีการเติมส่วนผสมอื่นๆ เข้าไป เช่น อำพัน แอลกอฮอล์ เงิน การบูร ยูรีน สารหนูและเยี่ยวอูฐเพื่อให้มีความคงทนดี ลดการดูดความชื้นและป้องกันการแข็งตัว มีบางประเทศใช้สูตรที่แตกต่างกันไปซึ่งขึ้นอยู่กับอาวุธปืน ในปี 1895 ประเทศส่วนมากรวมทั้งสหรัฐอเมริกาได้ใช้สูตรมาตรฐานของอังกฤษ คือ ดินประสิว 75 % ถ่านไม้ 15 % และกำมะถัน 10 % มาตรฐานนี้ใช้ได้ทั่วไปกับอาวุธปืนทุกชนิด มีความแตกต่างกันที่เม็ดดินเท่านั้น วิวัฒนาการระหว่างศตวรรษที่ 15 ถึง 18 ประมาณปี 1400 มีการผลิตปืนใหญ่ทำด้วยเหล็กมีห่วงเหล็กรัดไว้เพื่อป้องกันการระเบิดและเริ่มใช้ลูกปืนที่ทำด้วยเหล็ก 1425 CORNING เป็นกระบวนการใหม่ในการทำดินดำให้เป็นเม็ดแทนที่จะทำเป็นผงโดยการทำดินดำให้เปียกเหลวแล้วนำมาบดเป็นแผ่นให้แตกออกเป็นก้อนเล็กๆ ด้วยมือแล้วนำมาผ่านตะแกรงร่อน "CORNED POWDER" ดูดความชื้นได้น้อยกว่า เหมาะในการใช้กับปืนใหญ่มากกว่าชนิดผงเปลวเพลิงจากดินชนวนจะจุดดินที่เป็นเม็ดใหญ่ได้ดีกว่าทำให้ลุกไหม้ได้สมบูรณ์และมีกากน้อย ปี 1540 ฝรั่งเศสผลิตดินปืนขนาดเม็ดดินเป็นมาตรฐานสำหรับปืนพก ปืนยาวและปืนใหญ่ และได้มีการค้นพบว่าจะใช้ดินปืนน้อยกว่าที่ต้องการ ถ้ามีการควบคุมขนาดเม็ดดินการใช้เม็ดดินขนาดเดียวกันที่ลุกไหม้ จึงจะสามารถควบคุมแรงดันในลำกล้องปืนได้และลดอันตรายจากลำกล้องแตกได้ ดินดำมีความไวต่อประกายไฟที่ 500 ºF และยังคงมีใช้มากในปัจจุบัน

ภาพที่ 7 รูปร่างลักษณะของดินดำ

5.2 Pyrodex (ดินดำแบบใหม่) ดินปืนชนิดนี้มีส่วนผสมหลักเหมือนกับดินดำ คือ มีดินประสิว ถ่านไม้ และกำมะถัน แต่มีอัตราส่วนของดินดำที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นเข้ามาอีก คือ Potassiumpercholrate, Sodiumbensoate, Dicyandiamide (1-Cyanoguanidine) และยังมี Dextrine, Wax และ Graphite จำนวนเล็กน้อยผสมอยู่ Pyrodex ที่ยังไม่ใช้ยิงจะเห็นความแตกต่างจากดินดำอย่างชัดเจน เพราะ Pyrodex เป็นเม็ดสีเทา และมีบางส่วนโปร่งแสง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติติดไฟยากกว่าดินดำ เนื่องจากมีจุดติดไฟที่ 750 ºF

5.3 Smokeless Powder (ดินควันน้อย) การพัฒนาดินควันน้อยนั้น เกิดขึ้นใกล้ ๆ กับการค้นพบ Guncotton, Nitroglycerine และ Dynamite โดยในปี 1845 Christian Schoenbein ชาวสวิสเป็นผู้ค้นพบ Guncotton ในปี ค.ศ. 1846 Alfred Nobel ชาวสวีเดน ได้พบ Dynamite แต่ทั้ง 3 นี้เป็นวัตถุระเบิดไม่สามารถนำมาใช้เป็นดินปืนได้ ทำให้มีการศึกษาหาวิธีทำดินปืนแบบใหม่ขึ้นมา เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าดินดำ และสามารถควบคุมอัตราการเผาไหม้ได้ ซึ่งมีผู้ค้นพบดินควันน้อยอยู่หลายคนด้วยกัน

ในปี ค.ศ. 1869 E.Schultz ชาวรัสเซีย เป็นคนแรกที่คิดได้โดยการทำไม้ให้เป็นสารประกอบ Nitrate แล้วผสมกับ Barium Nitrate และ Potassium Nitrate ดินปืนแบบนี้ใช้ได้ดีกับกระสุนปืนลูกซอง แต่ยังคงเผาไหม้เร็วเกินไปสำหรับกระสุนปืนแบบอื่น ๆ

ในปี ค.ศ. 1870 Frederich Volkmann ชาวออสเตรียได้จดลิขสิทธิ์ดินปืนที่เขาค้นพบโดยให้ชื่อว่า Collodin โดยใช้ไม้ Alder ป่นละเอียดแทนไม้ทั่ว ๆ ไป

ในปี ค.ศ. 1884 Vieile ชาวฝรั่งเศสและ Duttenhofer ชาวเยอรมัน ได้ละลาย Nitrocellulose ในAlcohol หรือ Ether หรือสารละลายตัวอื่น ๆ ทำให้ได Plastic Gelatin ที่สามารถทำให้เป็นแผ่นและตากแห้ง แล้วหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใช้เป็นดินปืนได้

ต่อมาในปี ค.ศ. 1887 Alfred Nobel ก็ได้ทำดินควันน้อยโดยใช้ Guncotton ละลายใน Nitroglycerine ได้สารประกอบคอลลอยด์มีชื่อว่า Ballistite ซึ่งมีส่วนประกอบของ Nitrocellulose 60 % และ Nitroglycerine 40 % และสามารถทำเป็นแผ่นหรือหลอดได้

และในปี ค.ศ. 1890 ดินควันน้อยก็ได้ถูกนำมาใช้เป็นดินปืนแทนดินดำ เนื่องจากดินควันน้อยให้แรงระเบิดสูงกว่าดินดำมากในปริมาณเท่ากัน และเมื่อใช้ยิงแล้วมีเขม่าหรือควันน้อยมากเมื่อเทียบกับดินดำ อีกทั้งง่ายต่อการควบคุมการจุดระเบิด แต่ข้อเสียคือ มีราคาแพงกว่าดินดำมากและยังมีปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัย ในการใช้ปืนสมัยใหม่นั้นซึ่งสร้างจากเหล็กที่ทนแรงดันได้ไม่สูงนัก

ดินควันน้อยในปัจจุบันทำจากการนำเอา Cotton หรือ Cellulose Fiber อย่างอื่นทำปฏิกิริยาเคมีกับกรด Nitric และกรด Sulfuric เข้มข้น ได้สารประกอบทีมีชื่อว่า Nitrocelluose หรือ Cellulose Nitrate ดินควันน้อยที่ทำจากสารประกอบ Nitrocellulose เพียงอย่างเดียวเรียกว่า Single Base แต่ถ้าต้องการแบบที่มีแรงระเบิดสูงขึ้นใช้ Nitroglycerine ผสมเข้ากับ Nitrocellulose ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน แล้วแต่ว่าต้องการความเร็วในการเผาไหม้มากน้อยเพียงใด แบบนี้มีชื่อว่า Double Base การควบคุมอัตราการจุดระเบิดดินควันน้อย ทำให้ดินควันน้อยมีรูปร่างต่าง ๆ กัน เช่น ทำให้เป็นฝอย (Flake) เป็นแผ่น (Disc) เป็นแท่ง (Tabular) หรือเ ป็นเม็ดกลม (Ball) เป็นต้น นอกจากนี้ยังเคลือบสารเคมีบางอย่างก็สามารถทำให้อัตราเร็วในการเผาไหม้แตกต่างกัน

ดินควันน้อยแบ่งออกเป็น 4 ชนิด

1. ฐานเดี่ยว (Single Base) มีส่วนประกอบหลัก คือ ไนโตรเซลลูโลส

2. ฐานคู่ (Double Base) มีส่วนประกอบหลัก 2 อย่าง คือ ไนโตรเซลลูโลส และไนโตรกลีเซอรีน

3. สามฐาน (Tripple Base) มีส่วนประกอบหลัก 3 อย่าง คือ ไนโตรเซลลูโลส ไนโตรกลีเซอรีน และไนโตรกัวนิดีน หรือ ใช้ DEGN แทน ไนโตรกลีเซอรีน

4. คอมโปสิต (Composite) ไม่มีไนโตรเซลลูโลสหรือไนโตรกลีเซอรีนประกอบอยู่เลย มีส่วนประกอบหลัก เช่น แอมโมเนียมพิเกรตเป็นเชื้อเพลิง โปแตสเซี่ยมไนเตรทเป็นตัวให้ออกซิเจนและมีสารอื่น ๆ เป็นตัวยึด

1. ดินฐานเดี่ยว (Single-base)

1.1 ดินไพโรเซลลูโลส (pyrocellulose powder)

ดินส่งกระสุนที่ทำด้วยไนโตรเซลลูโลสชนิดแรกที่ได้นำมาใช้คือ ดินไพโรเซลลูโลส ซึ่งทำมาจากไนโตรเซลลูโลสบริสุทธิที่มีส่วนประกอบ ของไนโตรเจน 12.60 × 0.10 % ละลายในส่วนผสมของ อีเธอร์ และเอธานอล แล้วจึงนำมาทำเป็นเส้นมีรูเดียว หรือหลายรู ดินชนิดนี้ดูดความชื้นได้ง่ายและเมื่อทำการยิงจะให้เปลวไฟสว่างซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์แต่ก็ได้มีใช้เป็นมาตรฐานจนกระทั่งมีดินส่งกระสุนชนิด FNH(Flashless Nonhygroscopic) และ NH (Nonhygroscopic) ใช้เป็นมาตรฐานแทน

1.2 ดิน อี ซี (E.C powder)เป็นดินส่งกระสุนที่เก่าแก่ชนิดหนึ่งประกอบด้วย

- ไนโตรเซลลูโลส
- แบเรียมไนเตรท
- โปแตสเซี่ยมไนเตรท
- แป้ง/ออรีน
- ไดพินีลลามีน

ดินส่งกระสุนชนิดนี้มีความไวต่อแรงกระแทกและการเสียดสีและดูดความชื้นได้ง่าย ใช้บรรจุในกระสุนซ้อมรบขนาด.30 กระสุนปืนลูกซองและใช้บรรจุในลูกระเบิดขว้างแบบเก่าได้ เพราะมีอัตราการลุกไหม้สูงและมีอำนาจการระเบิดพอๆ กับวัตถุระเบิดแรงสูง นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้ว ไม่มีใช้อย่างอื่นในราชการทหาร

1.3 ดินควันน้อยและเปลวน้อย(Flashless & Smokeless)

เดิมเรียกว่า FNH และ NH ดินชนิดนี้ดูดความชื้นน้อยกว่าดินไพโรเซลลูโลส ปัจจุบันเป็นดินส่งกระสุนมาตรฐานสำหรับกระสุนปืนเล็กและกระสุนปืนใหญ่ มีเปลวไฟและควันเกิดจากการยิงน้อยกว่าดินส่งกระสุนอื่น ๆ ดินส่งกระสุนชนิด M 1 กับ ปบร.75 มม. ปรากฏว่าเกิดเปลวไฟน้อย แต่ใช้กับ ปนร.8 นิ้ว ไม่ได้ผลเราประสงค์ที่จะให้ดินส่งกระสุนเกิดเปลวไฟน้อยกับอาวุธทุกชนิด แต่ยังเป็นไปไม่ ได้เสมอไป ดินชนิดนี้ให้ความร้อนน้อย จึงทำให้ลดการสึกหรอของลำกล้องปืน

2. ดินฐานคู่ (Double-base)

เป็นดินส่งกระสุนที่มีการใช้อย่างกว้างขวางทั้งกระสุนปืนเล็ก ปืนใหญ่ ลย./ค.และ จรวด JATO ดินส่งกระสุนปืนเล็กฐานคู่นี้ เดิมที่รู้จักกันในชื่อว่า BALLISTITE ของอังกฤษ ชื่อ"cordites"โดยมีไนโตรเซลลูโลสและไนโตรกลีเซอรีนเป็นสารหลักและมีไดพินิลลามีนเป็น STABILIZER สำหรับดิน บัลลิสไตท์ ส่วนดินคอร์ไดท์ ใช้วุ้นปิโตรเลี่ยมแทนต่อมาได้มีการปรับปรุง โดยลดอัตราส่วนของไนโตรกลีเซอรีนให้น้อยลงทำให้พลังงานศักย์ทางขีปนวิธีน้อยกว่าดินบัลลิสไตท์ แต่มีความคงทนดีกว่า ทำให้ลำกล้องสึกหรอน้อยกว่าและมีเปลวไฟน้อยกว่า เม็ดดินขับจรวดขนาดเล็กๆนั้นทำได้โดยทำส่วนประกอบต่างๆให้เป็นสารละลายแล้วนำมาอัดเป็นเส้นเม็ดดินขนาดโต ๆจำเป็นต้องอัดเป็นแผ่นก่อนแล้วนำมาม้วนเป็นแท่ง ดินขับจรวดจำเป็นต้องไม่มีรอยแตกแยกไม่มีรอยเป็นรู และจะต้องมีโครงสร้างเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันถ้ามีลักษณะผิดปกติอาจ ทำให้เกิดการระเบิดและทำให้ส่วนขับเคลื่อนจรวดแตกได้ เม็ดดินขนาดเล็กก็พอจะตรวจด้วยสายตาได้ เม็ดดินขนาดโต ๆ จะต้องตรวจด้วยเอกซเรย์ และคลื่นชุปเปอร์โซนิค

3. ดินสามฐาน (Triple-base)

พัฒนามาจากดินคอร์ไดท์ ซึ่งเป็นดินฐานคู่ของอังกฤษ โดยเพิ่มไนโตรกัวนิดินเข้าไป ทำให้มีอุณหภูมิการลุกไหม้ค่อนข้างต่ำ แต่ให้แรงขับดันได้มากกว่าเมื่อเปรียบ เทียบกับดินส่งกระสุนอื่น ในการใช้งานมีความต้องการให้ลูกกระสุนมีความเร็วต้นสูงสุดเท่าที่จะทำได้ แต่การจะให้มีความเร็วต้นสูงจำเป็นต้องเพิ่มแรงขับดันของดินส่งกระสุน ซึ่งเป็นผลโดยตรงต่ออุณหภูมิในการเผาไหม้ของดินส่งกระสุนอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นนี้จะทำให้ลำกล้องสึกกร่อนในอัตราทวีคูณเมื่ออุณหภูมิสูงกว่ากำหนด การทำให้อุณหภูมิภายในรังเพลิงไม่เกินเกณฑ์ ที่กำหนดแต่ลูกกระสุนมีความเร็วต้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ยืดอายุการใช้งานของลำกล้องได้เป็นอันมาก ดินส่งกระสุนสามฐานซึ่งมีไนโตรกัวนิดีนผสมอยู่ด้วยจะส่งผลให้เกิดแรงขับดันเพิ่มขึ้น โดยมีอุณหภูมิสูงสุดในรังเพลิงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4. ดินคอมโปสิต (Composite)

การผลิตดินขับจรวดและ JATO จากดินฐานคู่ให้มีเม็ดดินขนาดใหญ่นั้นทำได้ยากและมีผลทางขีปนวิธีไม่คงที่ จึงได้พัฒนาดินส่งกระสุนชนิดใหม่ขึ้นชื่อว่า "ดินคอมโปสิต" ซึ่งไม่มีไนโตรเซลลูโลส และไนโตรกลีเซอรีนเลย ตัวอย่างดินคอมโปสิตมีส่วนประกอบดังนี้

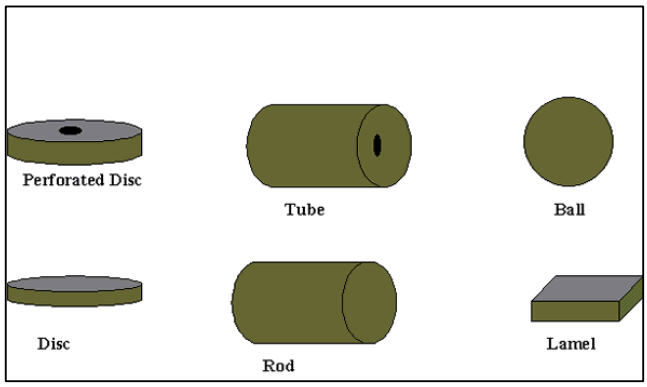
- แอมโมเนียมพิเกรต
- โปแตสเซี่ยมไนเตรท
- เอธิลเซลลูโลส
- ลอริเนต
- แวกซ์
- แคลเซี่ยมสเตียเรต

เราผลิตดินคอมโปสิต โดยผสมสารดังกล่าวกันเข้าแล้วผลิตให้เป็นรูปร่างตามต้องการ ดินคอมโปสิตนี้ มีข้อเสีย คือ เมื่อลุกไหม้จะให้ควันสีขาวเป็นจำนวนมาก

รูปร่างของดินส่งกระสุน

ดินส่งกระสุนมีรูปร่างลักษณะต่างๆ กันหลายแบบแต่ที่ใช้กันโดยทั่วๆไปมี

1. แผ่น (Strip)
2. เส้น (cord)
3. รูเดียว (Single perforated)
4. หลายรู (Multi perforated)



ภาพที่ 8 รูปร่างลักษณะของดินควันน้อย (Smokeless powder) แบบต่างๆ

อัตราการลุกไหม้

1. ลดลง ได้แก่ ดินส่งกระสุนแบบแผ่นและแบบเส้น
2. คงที่ ได้แก่ ดินส่งกระสุนแบบรูเดียว
3. เพิ่มขึ้น ได้แก่ ดินส่งกระสุนแบบหลายรู

6. แก็ป (Primer cap)

แก็ปหรือชนวนท้ายกระสุนปืนจะอยู่บริเวณจานท้ายปลอกกระสุนปืน นับเป็นหัวใจของกระสุนปืนในปัจจุบัน ซึ่งกระสุนปืนแบบ Center Fire ยกเว้นของกระสุนปืนลูกซองจะมี Primer Cap อยู่ 2 แบบ คือ

1. Standard ใช้กับกระสุนปืนพกขนาดเล็กทั่ว ๆ ไป ตัว Primer Cap มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.175 นิ้ว

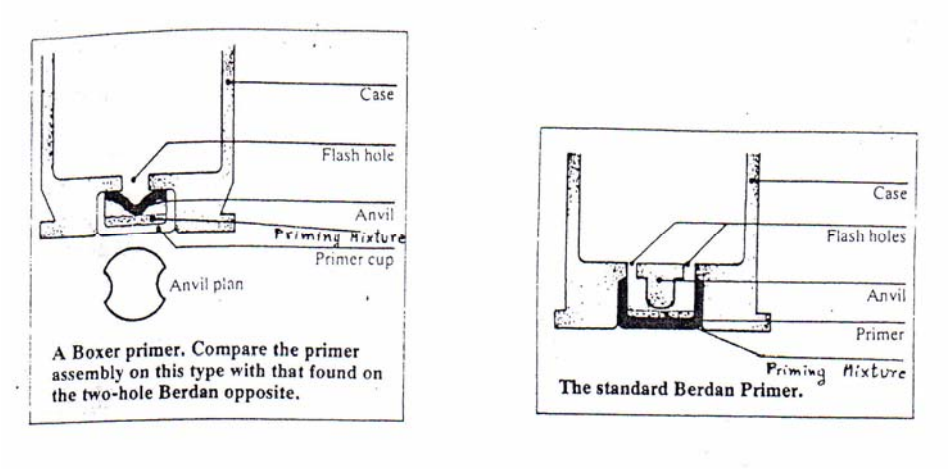
2. Magnum ใช้กับกระสุนปืนพกขนาดใหญ่ทั่ว ๆ ไป ตัว Primer Cap มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.210 นิ้ว

Primer Cap มีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ

1. Primer Cup ทำด้วยโลหะทองแดง ทองเหลือง หรือทองเหลืองชุบนิเกิล ทำหน้าที่เป็นตัวบรรจุ Primimg Mixture

2. Primimg Mixture เป็นวัตถุระเบิดประเภทกระทบแตก ทำหน้าที่เป็นตัวให้ประกายไฟจุดดินปืน

3. Anvil เป็นโลหะแข็ง ทำหน้าที่เป็นตัวรับการกระแทกของเข็มแทงชนวน ทำให้ Priming Mixture ที่อยู่ระหว่างกลางเกิดการระเบิดขึ้น



ภาพที่ 9 ส่วนสำคัญของ Primer Cap

ที่มา : อัมพร จารุจินดา, พล.ต.ต. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

7. เขม่าปืนที่เกิดจากการยิงปืน (Gunshot Residue, GSR)

เมื่อมีการลั่นไกปืนเกิดขึ้น เข็มแทงชนวนจะไปกระทบที่ชนวนท้ายกระสุนปืน (Primer Cap) ซึ่งจะทำให้แก๊ปปืนที่อยู่ตรงชนวนท้ายกระสุนปืนนั้น เกิดการจุดชนวนเป็นประกายไฟแล้วไปเผาไหม้ให้ดินส่งกระสุนปืนซึ่งเป็นดินควันน้อย (Smokeless Powder) ที่บรรจุอยู่ภายในปลอกกระสุนปืน เกิดการลุกไหม้และให้แก๊สปริมาณมากอย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น แก๊สที่เกิดขึ้นนั้นจะขยายตัวทำให้เกิดความดันสูง หรือที่เรียกว่าการจุดระเบิด ทำให้กระสุนปืนสามารถวิ่งออกไปจากปากลำกล้องปืนเพื่อกระทบเป้าได้ นอกจากนี้แรงระเบิดที่เกิดขึ้นจะผลักดันให้ไออนุภาคของสารต่าง ๆ ที่ถูกความร้อนเผาไหม้นั้นกระจายจากภายในอาวุธปืนออกมาสู่สิ่งแวดล้อมตามบริเวณช่องว่างต่าง ๆ ของอาวุธปืน ซึ่งเขม่าที่เกิดจากการยิงปืนนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

7.1 เขม่าปืน คือ ส่วนประกอบที่เกิดจากการจุดชนวนบริเวณจานท้ายกระสุน (Primer cap) ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอนินทรีย์จำพวกโลหะหนัก

7.2 เขม่าดินปืน คือ ส่วนประกอบที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของดินปืน (propellant) ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์

8. สารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในดินส่งกระสุน

สารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในดินส่งกระสุน แบ่งเป็น 7 ชนิดตามหน้าที่การทำงาน ดังนี้

8.1 Energetics เป็นสารที่ให้แรงขับในกระสุน ซึ่งสารที่เป็นสารพื้นฐานที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มแรงขับในกระสุนคือ nitrocellulose (NC) จัดเป็นสารประเภท polymer นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ชนิดอื่นที่ใส่เพื่อเพิ่มแรงขับกระสุนอีก เช่น nitroglycerin (NG) และ nitroguanidine

8.2 Stabilizers เป็นสารที่ทำให้ดินส่งกระสุนมีความเสถียร เนื่องจากดินส่งกระสุนที่มี Nitrocellulose เป็นส่วนผสม มีคุณลักษณะพิเศษคือ จะเกิดปฏิกิริยาเคมีเสื่อมสภาพในลักษณะที่สะสมความร้อน จนทำให้เกิดอันตรายจากการจุดตัวเอง และปฏิกิริยาเคมีนั้นเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ Nitrocellulose เป็นสารเคมีที่ทำปฏิกิริยาสลายตัวเองอยู่ตลอดเวลา โดยที่ในการสลายตัวนั้น จะคายความร้อนออกมา และเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลายของ Nitrocellulose นั้นเองด้วย การผลิตดินส่งกระสุน Smokeless powder จำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปในเนื้อดินเพื่อทำหน้าที่เป็นสารให้ความเสถียร (Stabilizer) โดยทำหน้าที่จับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดขึ้นไม่ให้ไปเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสลายตัว แต่แม้จะเติมสารให้ความถาวรดังกล่าวแล้ว ปฏิกิริยาการเสื่อมสลายก็ยังคงดำเนินไปและสารให้ความเสถียรที่เติมไว้ก็หมดไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสารให้ความเสถียรนั้นเหลือไม่เพียงพอที่จะจับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้ต่อไป

การสลายตัวของ Nitrocellulose ก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่ปฏิกิริยาการสลายตัวมีลักษณะเช่นเดียวกับปฏิกิริยาเคมีทั่วไป คือ จะเกิดเร็วที่อุณหภูมิสูง และจะเกิดช้าที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อ Nitrocellulose ในดินส่งกระสุนเกิดปฏิกิริยาสลายตัวคายความร้อนออกมา หากความร้อนระบายออกไปไม่ทัน อุณหภูมิของดินส่งกระสุนก็จะเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วและความร้อนออกเร็วขึ้นอีก เร่งตัวเองมากขึ้นไปเรื่อยๆ จนอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึงจุดระเบิด เป็นผลให้ดินส่งกระสุนเกิดการลุกไหม้ในที่สุด การสะสมความร้อนนี้ อาจเกิดขึ้นเป็นเวลานาน

สารอินทรีย์ที่นิยมใช้เป็น stabilizers ในดินส่งกระสุน คือ diphenylamine (DPA), methyl centralite (MC) และ ethyl centralite (EC)

8.3 Plasticizers เป็นสารที่ให้ความอ่อนตัวและลดความชื้นในดินส่งกระสุน ซึ่งสารอินทรีย์ที่นิยมใช้เป็น plasticizers คือ nitroglycerin (NG), dibutyl phthalate, dinitrotoluene (DNT), ethyl centralite (EC) และ triacetin

8.4 Flash suppressants เป็นสารที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของ free radical ที่เกิดขึ้นในลำกล้องปืน สารอินทรีย์ประเภทนี้ ได้แก่ เกลือของโลหะ alkaline หรือ alkaline earth

8.5 Deterrents เป็นสารที่ลดการเผาไหม้ที่พื้นผิวของดินส่งกระสุนและลดอุณหภูมิจุดติดไฟ สารอินทรีย์ที่นิยมใช้เป็น deterrents ได้แก่ Herkote®, dibutyl phthalate, dinitrotoluene (DNT), ethyl centralite (EC), methyl centralite (MC) และ dioctyl phthalate

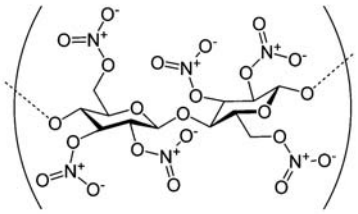
8.6 Opacifiers เป็นสารที่เพิ่มอัตราการเผาไหม้ให้กับดินส่งกระสุน และนิยมใช้ carbon black เป็นส่วนใหญ่

8.7 Dyes เป็นสารย้อมสีในดินส่งกระสุน เพื่อแบ่งแยกสารอินทรีย์ตามวัตถุประสงค์ที่ใส่ลงไป

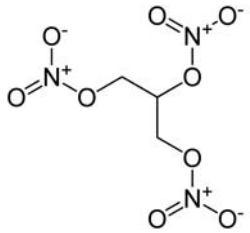
9. คุณสมบัติทางเคมีของสารอินทรีย์ที่พบมากในดินส่งกระสุน

สารอินทรีย์ที่มักพบในดินส่งกระสุน คือ nitrocellulose (NC), nitroglycerin (NG), ethyl centralite (EC) และ diphenylamine (DPA)

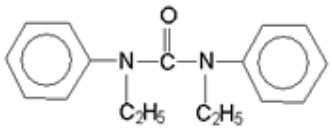
9.1 คุณสมบัติทางเคมีของ nitrocellulose (NC)

Formula Structure	
Properties	
Molar mass	Variable
Appearance	Yellowish white cotton-like filaments
Melting point	160-170 °C (ignites)
Flash point	4.4 °C
Hazard	
LD_{50}	10 mg/kg (mouse, IV)

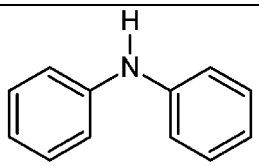
9.2 คุณสมบัติทางเคมีของ nitroglycerin (NG)

Formula Structure	
Properties	
Molecular formula	$C_3H_5N_3O_9$
Molar mass	227.09 g mol^{-1}
Appearance	Clear yellow/colorless oily liquid
Density	1.6 g/cm^3 at 15 °C
Melting point	13.2 °C, 286 K, 56 °F
Boiling point	Decomposes at 50-60 °C (122-140 °F)

9.3 คุณสมบัติทางเคมีของ ethyl centralite (EC)

Formula Structure	
Properties	
Molar mass	268.3535 g mol^{-1}
Appearance	White to light grey crystalline powder
Density	0.8 g/cm^3
Solubility in water	Insoluble
Solubility	Acetone, ethanol and benzene
Hazard	
LD_{50}	420 mg/kg (Oral-Rat)

9.4 คุณสมบัติทางเคมีของ diphenylamine (DPA)

Formula Structure	
Properties	
Molecular formula	$C_{12}H_{11}N$
Molar mass	169.23 g/mol
Appearance	White crystal
Density	1.2 g/cm³
Melting point	53 °C (326 K)
Boiling point	302 °C (575 K)
Solubility in water	Slightly
Flash point	152°C
Main hazard	Toxic. Possible mutagen. Possible teratogen. Harmful in contact with skin, and if swallowed or inhaled. Irritant.

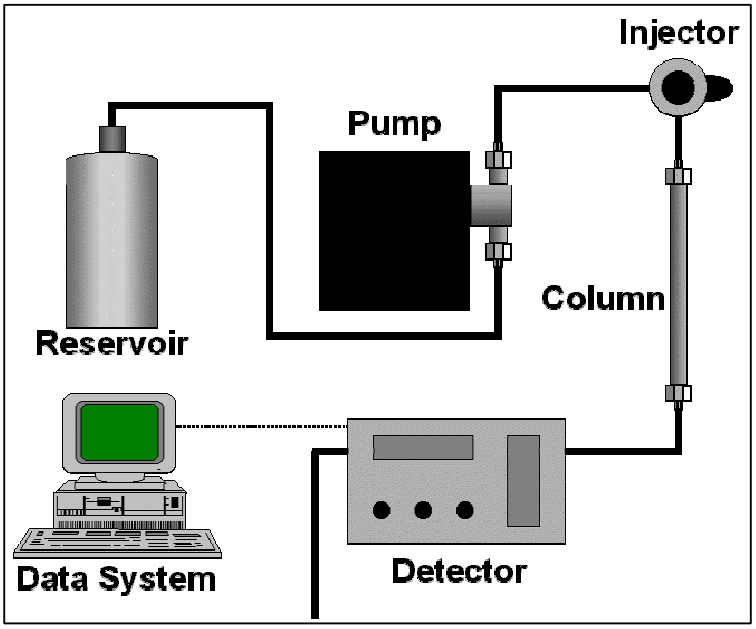
(wikipedia 2009)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสาร DPA จัดเป็นสาร stabilizers ในดินส่งกระสุน ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวหรือบางครั้งอาจมีสีเทา น้ำตาล หรือไม่มีสี และอาจเปลี่ยนสีเมื่อถูกแสงแดด ละลายได้ในเบนซีน อีเธอร์ คาร์บอนไดออกไซด์ และ แอลกอฮอล์ โดย DPA จะทำหน้าที่เป็น Stabilizer เนื่องจาก smokeless powder เป็นสารที่สลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่ไม่มีตัวเร่ง จึงได้มีการเติม DPA เข้าไปเพื่อเพิ่มความคงทน ซึ่งไม่ได้ช่วยให้ smokeless powderไม่สลายตัวแต่ทำให้อัตราการสลายตัวช้าลง

10. หลักการพื้นฐานของเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

ภาพที่ 10 เครื่องมือ High Performance Liquid Chromatography

เครื่อง HPLC เป็นเครื่องมือใช้สำหรับแยกสารประกอบที่สนใจที่ผสมอยู่ในตัวอย่าง โดยกระบวนการแยกสารประกอบที่สนใจจะเกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (column) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) จะถูกแยกออกมาในเวลาที่ต่างกัน ซึ่งสารผสมที่อยู่ในตัวอย่างสามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้นกับ mobile phase หรือ stationary phase สารประกอบตัวไหนที่สามารถเข้ากันได้ดีกับ mobile phase สารนั้นก็จะถูกแยกออกมาก่อนส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับ mobile phase หรือเข้ากันได้ดีกับ stationary phase ก็จะถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจวัด สัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีคซึ่งจะเรียกว่าโครมาโตแกรม โดย HPLC สามารถทดสอบได้ทั้งเชิงคุณภาพ และทดสอบเชิงปริมาณ โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน โดยสามารถใช้กับงานด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่นในการวิเคราะห์ทางอาหาร ยา ยาฆ่าแมลง ตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ฯลฯ สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณในระดับไมโครกรัม (μg) ในกรณีทั่วๆไปหรือละเอียดถึงพิโคกรัม (pg) เมื่อเลือกหน่วยตรวจวัดที่เหมาะสม



ภาพที่ 11 องค์ประกอบสำคัญของเครื่อง High Performance Liquid Chromatography

ที่มา : Column Chromatography [Online], accessed 29 April 2009. Available from http://mis.sc.chula.ac.th/ChemII13.ppt

ส่วนประกอบสำคัญในระบบการแยก

1. Mobile phase reservoirใช้บรรจุเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ทำด้วยแก้วหรือ stainless steel มีเครื่องกรองฝุ่น/สิ่งสกปรก

2. Pump การแยกสารใน HPLC อาศัยการไหลของเฟสเคลื่อนที่ผ่านเฟสอยู่กับที่ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก ทำให้เกิดความต้านทานการไหล ระบบปั๊มจึงมีความสำคัญมากในการที่จะทำให้เกิดความดันสูงเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านทาน ปั๊มที่ใช้ควรทำให้เกิดความดันได้สูงประมาณ 6000 psi (lbs/in2) และมี flow rate อยู่ในระหว่าง 0.1-10 mL/min

3. Sample injection system มี 2 ระบบ ดังนี้ manual (ใช้ microsyring) และ automatic sampler injector

4. Column

4.1. Analytical column

ความยาว 10-30 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 4-10 มม. วัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ เช่น stainless steel ,polyethylene , แก้ว , PEEK , อื่น ๆ Packing material ที่อยู่ภายใน ได้แก่ silica based , resins , gels และ bonded phases

4.2. Guard column

นิยมใช้ต่อก่อนเข้า Analytical column เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของ Analytical column จะทำหน้าที่กรองอนุภาคหรือสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมากับตัวทำละลาย ส่วนประกอบของวัสดุบรรจุจะคล้ายคลึงกับ Analytical column แต่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าและราคาไม่แพงมากนัก

5. Detector เครื่องตรวจวัดสำหรับ HPLC ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่

5.1 Ultraviolet-Visible detector : อาศัยการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง เช่น Diode array detector

5.2 Fluorescence detector : ใช้กับสารที่สามารถ fluorescence ได้

5.3 Refractive index detectors (RI detector) : ใช้วัดปริมาณสารใดก็ได้ที่มีค่าดรรชนี หักเหต่างจากเฟสเคลื่อนที่

5.4 Electrochemical detectors : ใช้วัดการสูญเสียหรือได้รับอิเล็คตรอนของสารที่ถูกชะออกมาจากคอลัมน์

5.5 Conductivity detectors : ใช้วัดความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้า

6. ส่วนที่อยู่กับที่หรือไม่เคลื่อนที่ (Stationary phase) อาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ยึดแน่นบน Supporting media (ตัวค้ำจุน)

7. ส่วนที่เคลื่อนที่ (Mobile phase) เป็นของเหลวผสม ซึ่งจะทำหน้าที่ชะแยกสารออกจากส่วนไม่เคลื่อนที่ หรือจากจุดเริ่มต้นไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของ Mobile phase นั้น

ที่มา : เครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography [Online], accessed 29 April 2009. Available from http://www.sec.psu.ac.th/webboard/?pid=view_replies&thread_id=212&forum_id=7

11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2001 Michelle R. Reardon, M.S.F.S และ William A. MacCrehan, Ph.D. ได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเทคนิคการสกัดดินปืน (Smokeless powder) เพื่อหาปริมาณสารอินทรีย์ โดยเทคนิคที่ทำการวิจัยนี้มี 2 เทคนิค คือ Supercritical Fluid Extractions (SFE) และ Ultrasonic Solvent Extractions (USE) จากการทดลองพบว่า เทคนิค SFE เป็นเทคนิคที่ไม่สามารถใช้สกัดสารอินทรีย์ในดินปืนได้ เนื่องจาก Nitrocellulose ละลายได้น้อยมากทำให้สายในเครื่อง SFE เกิดการอุดตัน สำหรับเทคนิคการสกัดแบบ USE เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารอินทรีย์ในดินปืน โดยมีตัวทำละลายเป็น 2-butanol:methanol (1:3) ทำการสกัดเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเทคนิคนี้ลดสัญญาณรบกวนของ Nitrocellulose และเพิ่มสัญญาณสารอินทรีย์ตัวอื่นๆ คือ Nitroglycerin, Diphenylamine และ Ethyl centralite

ในปี ค.ศ. 2002 William A. MacCrehan, Ph.D และ Michelle R. Reardon, M.S.F.S ได้ทำการศึกษาข้อมูลของสถาบัน NIST (National Institue of Standards and Technology) ในปี 2000 มีการทดสอบนักวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยให้นักวิเคราะห์จำนวน 19 คน ร่วมทำการทดสอบวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ในดินปืน (Smokeless powder) โดยให้นักวิเคราะห์ทำการวิเคราะห์ดินปืน 2 ชนิด และเมื่อนำผลวิเคราะห์ที่ได้มาพิจารณา ได้ว่าดินปืนชนิดที่ 1 มีปริมาณ Nitroglycerin, Diphenylamine และ Ethylcentralite ส่วนดินปืนชนิดที่ 2 มีปริมาณ Ethylcentralite ในปริมาณน้อยกว่า 0.1 mg/g (0.01%) โดยนักวิเคราะห์ทั้งหมดใช้วิธีวิเคราะห์ดังนี้ GC/MS, CE และ LC

ในปี ค.ศ. 2006 William A.MacCrehan และ Mary Bedner ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาสาร smokeless powder สำหรับการวิเคราะห์ดินส่งกระสุนและวัตถุระเบิด ซึ่งศึกษาสารที่เติมหรือใส่เพิ่มลงไปในดินส่งกระสุนหรือวัตถุระเบิดที่จะเป็นประโยชน์ในการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยที่สถาบัน NIST (US National Institue of Standards and Technology) ได้พัฒนาวัตถุดิบ RM 8107 ซึ่งเป็นสารที่ใส่ลงไปในดินส่งกระสุนที่ใช้กับอาวุธปืน rifle โดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายและทำการ sonicate จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Capillary Electrophoresis (CE) และ Liquid Chromatography (LC) ผลการทดลองที่ได้พบว่าสารอินทรีย์ที่มีอยู่ใน RM 8107 ได้แก่ Nitroglycerin, Diphenylamine, N-nitrosodiphenylamine และ Ethylcentralite มีความเข้มข้นที่มีค่า relative uncertainty น้อยกว่า 5% โดยที่ RM 8107 นี้ถูกนำไปใช้ในการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมีวิเคราะห์ และ ทดสอบเครื่องมือตรวจหาวัตถุระเบิด

ในปี ค.ศ. 2007 Désiré Laza, Ph.D.; Bart Nys, Ph.D.; Jan De Kinder, Ph.D.; Andrée Kirsch-De Mesmaeker, Ph.D; และ Cécile Moucheron, Ph.D. ได้ทำการศึกษาพัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในดินส่งกระสุน ซึ่งสารจำพวกนี้ใส่ลงไปเพื่อเป็นสารให้ความเสถียร(Stabilizer) โดยใช้เทคนิค Liquid Chromatography ควบคู่ไปกับเทคนิค Mass spectrometry (LC-MS/MS) และใช้ Standard mixtures ที่ประกอบด้วย akardite II, ethylcentralite, diphenylamine, methylcentralite, N-nitrosodiphenylamine, 2-nitrodiphenylamine และ 4-nitrodiphenylamine จากสารมาตรฐานทั้ง 7 ชนิดนี้ สามารถแยกสาร 5 ชนิดออกจาก 2 ชนิดได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างเขม่าดินปืนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เก็บจากมือของผู้ที่ยิงปืน จากนั้นนำมาสกัดด้วยวิธี solid phase extraction ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค LC-MS/MS ค่า Detection limit เป็น 5-115 μg ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองยิงปืนจำนวนหลายครั้ง พบว่าเทคนิค LC-MS/MS นี้เป็นเทคนิคที่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์หาสาร stabilizers ในตัวอย่างเขม่าปืนที่ได้จากการยิงปืนขนาด 9 mm

ในปี ค.ศ. 2007 Dan Muller และคณะได้ทำการวิจัยศึกษาเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์อนุภาคของเขม่าปืนที่ไม่เกิดการเผาไหม้ในการยิงปืนที่ระยะระหว่าง 0.75-3.00 ม. โดยเก็บตัวอย่างจากผิวหน้าวัตถุด้วยอุปกรณ์ที่ชื่อว่า adhesive lifter หลังจากเก็บตัวอย่างแล้ว นำไปทำการ hydrolysis โดยสาร alkaline จากนั้นต้องเอาอนุภาคที่เหลือออกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ สารอินทรีย์ที่เหลือจะถูกวิเคราะห์ ดังนี้ Nitroglycerin (NG) และ 2,4-Dinitrotoluene (2,4-DNT) วิเคราะห์โดยเทคนิค gas chromatography/thermal energy analysis (GC/TEA) สำหรับสาร Dinitrotoluene (DNT), NG และสาร stabilizers บางชนิด วิเคราะห์โดยเทคนิค gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถยืนยันที่มาของสารที่มี nitrite เป็นองค์ประกอบในดินปืนได้

บทที่ 3

การทดลอง

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์/เครื่องมือ	แหล่งที่มา
เครื่อง High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)	Water 600
Column Ascentis™ C-18(5 µm), 15 cm × 16 mm	SUPELCO
Syringes exmire microsyringe	ITO Corporation Fuji, Japan
Measuring pipette ขนาด 1.00 mL	KIMAX USA
Vial ขนาด 1.00 mL	Hewlett Packard
ไม้พันสำลี cotton แท้ 100%	NTT Marketing
อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติ (รายละเอียดในตารางที่ 1)	วิทยาการเขต 15 (นครปฐม)
กระสุนปืนออโตเมติก (รายละเอียดในตารางที่ 2)	วิทยาการเขต 15 (นครปฐม)
กล่องพลาสติกขนาด กว้าง 6 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว สูง 4 นิ้ว	TESCO LOTUS
แผ่น Teflon ขนาด 6 นิ้ว × 6 นิ้ว	บริษัทแสงนำชัยจำกัด
กระสอบทราย	วิทยาการเขต 15 (นครปฐม)

ตารางที่ 1 รายละเอียดของอาวุธปืนที่ใช้ทำการทดลอง

ขนาด	ยี่ห้อ	ความยาวลำกล้อง (นิ้ว)
.38 Super	LLAMA	4
9 mm para	TAURUS	4
.45 ACP	LES BAER Custom	4
7.65 mm	LLAMA	3

(a)

(b)

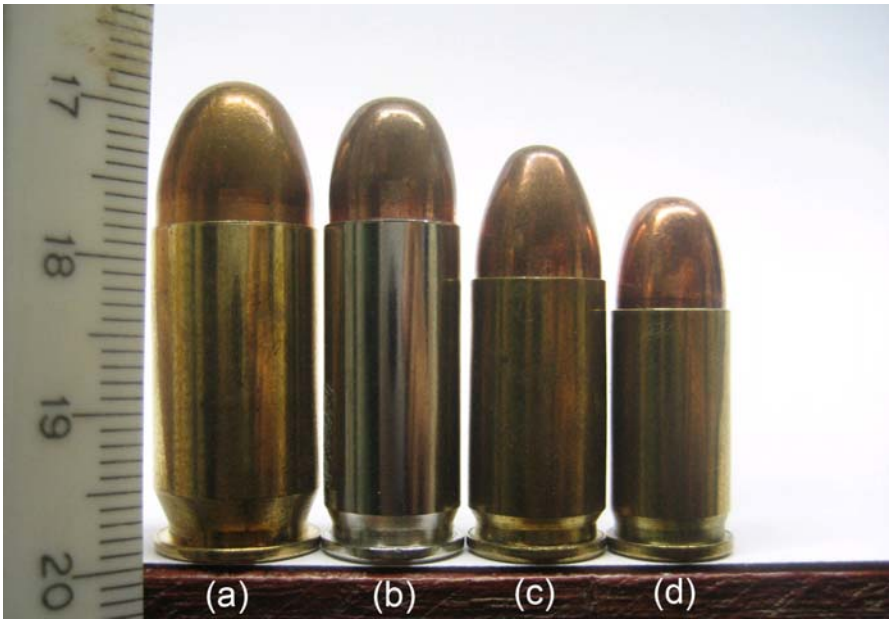
(c)

(d)

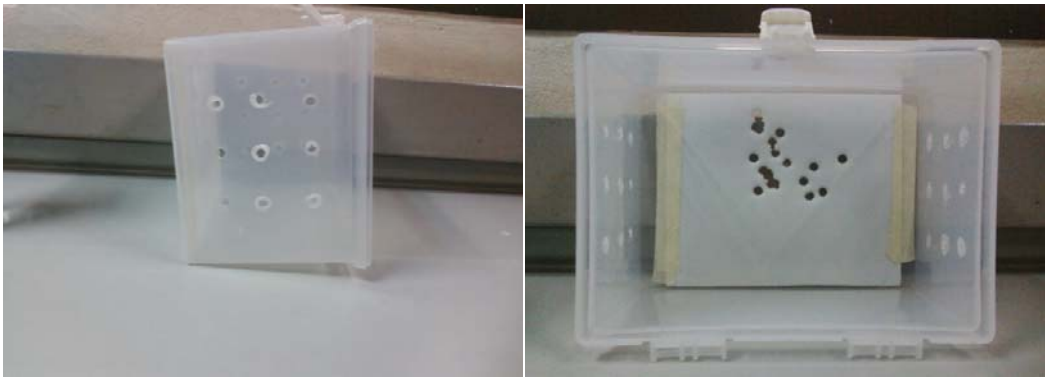
ภาพที่ 12 อาวุธปืนพกกึ่งอัตโนมัติที่ใช้ทำการทดลอง (a) ขนาด.38 SUPER (b) ขนาด9 mm para (c) ขนาด.45 ACP (d) ขนาด7.65 mm

ตารางที่ 2 รายละเอียดของกระสุนปืนที่ใช้ทำการทดลอง

ขนาด	ยี่ห้อ
.38 Super	R-P
9 mm Luger	S&B
.45 Auto	WINCHESTER
7.65 mm	S&B



ภาพที่ 13 กระสุนปืนออโตเมติกที่ใช้ทำการทดลอง (a) ขนาด .45 auto (b) ขนาด .38 super (c) ขนาด 9 mm Luger (d) ขนาด 7.65 mm



(a) (b)

ภาพที่ 14 กล่องพลาสติกที่ใช้เก็บเขม่าดินปืน (a) ด้านข้างกล่อง (b) ปิดท้ายกล่องด้วยแผ่น Teflon

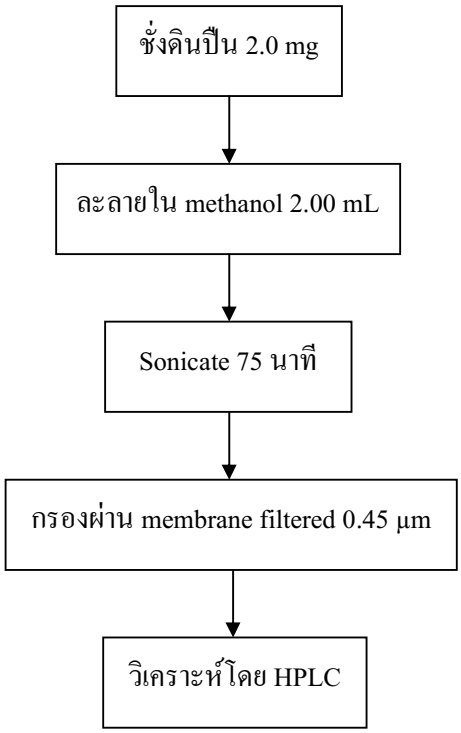
2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	แหล่งที่มา
Diphenylamine	Fluka Chemie (chemika)
Methanol	Fluka (Riedel-delHaën)
DI water	HPLC grade
Nitrogen gas	Masser Specially Gas Co.Ltd.

3. วิธีการทดลองหาปริมาณ DPA ในดินปืนและเขม่าดินปืนโดยเทคนิค HPLC

การทดลองนี้ทำการศึกษาหาปริมาณ DPA ในกระสุนปืน 4 ชนิด ในดินปืนและในเขม่าดินปืน

3.1 การเตรียมตัวอย่างดินปืน



3.2 การเตรียมตัวอย่างเขม่าดินปืน

3.2.1 ทำการยิงปืนจำนวน 20 นัดในห้องทดลองที่เป็นระบบปิดขนาดกว้าง 6 m. ยาว 8 m. ที่ปิดมิดชิดและไม่มีลมพัด ที่ระยะห่างจากกล่องพลาสติกประมาณ 1.5 m. โดยยิงให้โดนแผ่น Teflon ทั้ง 20 นัด

3.2.2 ใช้ไม้พันสำลีชุบ methanol เช็ดเขม่าปืนที่ติดอยู่ที่กล่องพลาสติกทั้ง 4 ด้าน และเช็ดบริเวณแผ่น Teflon ให้หมด (ไม่เหลือคราบเขม่าสีดำติดอยู่)

3.3.3 นำสำลีที่เช็ดคราบเขม่าไปสกัดโดยเติม methanol 2.00 mL

3.3.4 ทำการ sonicate เป็นเวลา 75 นาที และนำไปกรองผ่าน membrane filtered ขนาด 0.45 μm จากนั้นนำไปทำการวิเคราะห์โดยเครื่อง HPLC

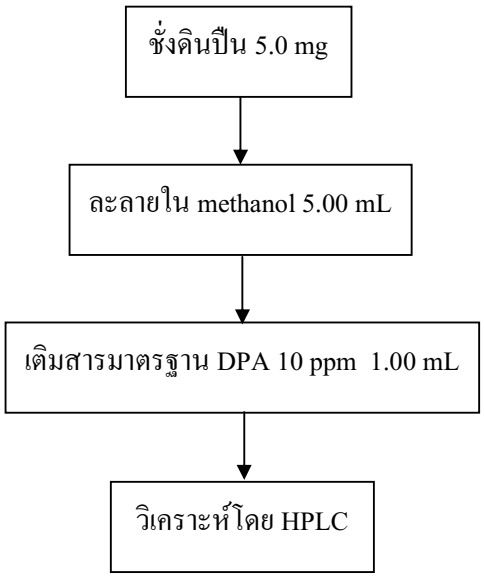
3.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน DPA ใน methanol

เตรียมสารละลายมาตรฐาน DPA เข้มข้น 500 ppm โดยชั่ง Stock DPA 5 mg ละลายใน methanol 10.00 mL

ตารางที่ 3 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน DPA

หลอดที่	ปริมาตร DPA (mL)	ปริมาตร methanol (mL)	ความเข้มข้น (ppm)	ปริมาตรสุทธิ (mL)
1	DPA 500 ppm 2.00 mL	8.00	100	10
2	DPA 100 ppm 3.00 mL	2.00	60	5
3	DPA 100 ppm 1.00 mL	4.00	20	5
4	DPA 500 ppm 1.00 mL	9.00	10	10
5	DPA 10 ppm 5.00 mL	5.00	5	10

3.4 การเติมสารมาตรฐาน DPA ลงในตัวอย่างก่อนยิง



3.5 สภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับเครื่อง HPLC

Column	Ascentis™ C-18(5 μm), 15 cm × 16 mm
Mobile phase	methanol:DI water (75:25)
Flow rate	1.0 mL/min
Detector wavelength	214 nm
Injection volume	10 μL
Temperature	25 °C

4. วิธีการทดลองหาค่า LOD และ LOQ

4.1 ใช้ methanol:DI water อัตราส่วน 75:25 เป็น Blank โดยวิเคราะห์ด้วยสภาวะเดียวกับการวิเคราะห์หา DPA ทำซ้ำ 10 ครั้ง

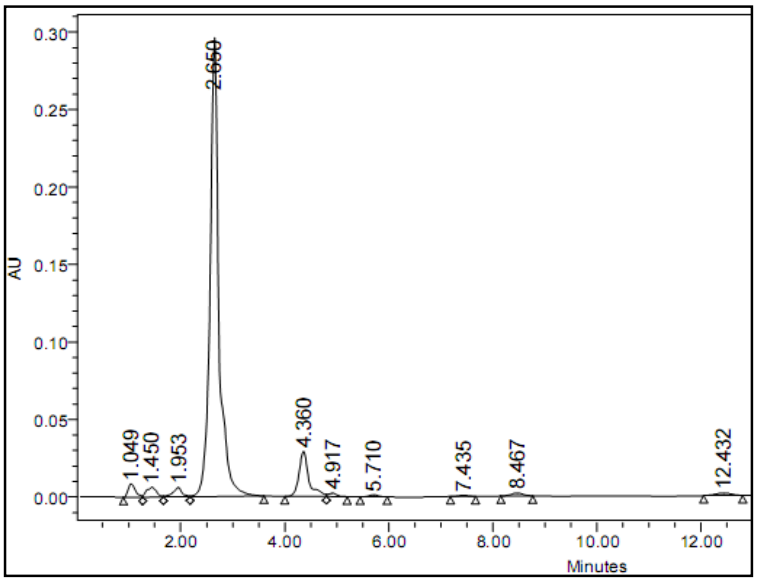
4.2 นำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่า LOD และ LOQ โดยนำพื้นที่ใต้พีคที่ปรากฏบริเวณ retention time 5.500-6.000 นาที ของการทดลองทั้ง 10 ครั้ง แล้วนำไปหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

4.3 จากนั้นนำค่า 3SD และ 10SD มาแทนลงในกราฟมาตรฐานของ DPA เพื่อหาค่า LOD และ LOQ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณ DPA โดยเทคนิค HPLC ตรวจวัดด้วย UV detector ที่ความยาวคลื่น 214 nm ได้ Chromatogram จากสารตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 17 จาก Chromatogram พบว่าที่ retention time 5.710 นาที ซึ่งเป็นพีคของ DPA และพีคที่ได้สามารถแยกออกจากพีคอื่นได้ชัดเจน และเมื่อนำสารมาตรฐาน DPA ที่เตรียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4



ภาพที่ 15 Chromatogram ของสารตัวอย่างความเข้มข้น 1 mg/mL

จาก Chromatogram ในภาพที่ 15 สรุปได้ว่าพีคที่ปรากฏรายละเอียดดังตาราง

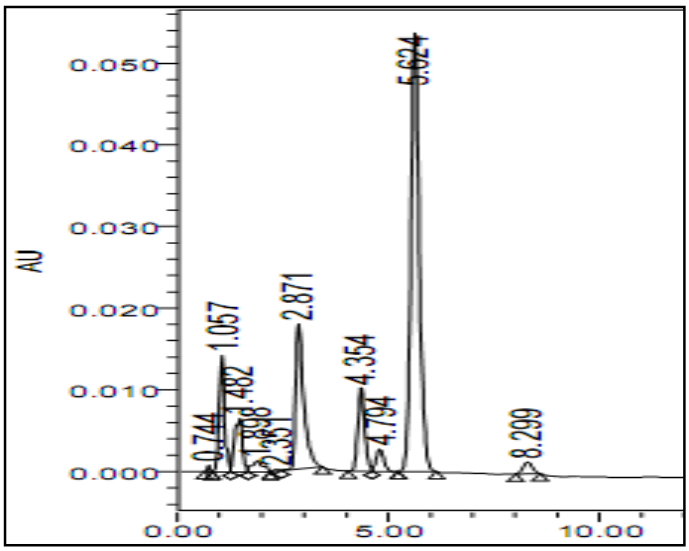
ตารางที่ 4 ค่า Retention time ของสารอินทรีย์ในดินปืน

พีคที่	Retention time	สาร
1	2.650	Nitroglycerin
2	4.360	N-nitrosodiphenylamine (Nn-DPA)
3	5.710	Diphenylamine (DPA)
4	8.467	Ethyl centralite
5	12.432	Nitrocellulose

ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4 เป็นข้อมูลที่ได้จากผู้วิจัยซึ่งได้ทำการศึกษาวิจัยไว้แล้ว (MacCrehan 2005) ซึ่งตรงกับหลักการของการแยกสารโดยใช้เทคนิคโครมาโทรกราฟี นั่นคือสารที่มีความเป็นขั้วมากกว่าก็จะถูกชะออกจากคอลัมน์ก่อน ในกรณีนี้คอลัมน์ที่ใช้เป็น Reverse phase สามารถเรียงลำดับตามความมีขั้วของสารต่างๆ ดังนี้ Nitroglycerin (NG) > N-nitrosodiphenylamine (Nn-DPA) > Diphenylamine (DPA) > Ethyl centralite (EC) > Nitrocellulose (NC)

1. การวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในดินปืน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในดินปืนจากกระสุนปืนทั้งหมด 4 ขนาด โดยใช้เทคนิค HPLC ให้ผลการทดลองเป็น Chromatogram ดังนี้



ภาพที่ 16 Chromatogram ตัวอย่างดินปืนความเข้มข้น 1 mg/mL จากกระสุนปืนขนาด .45

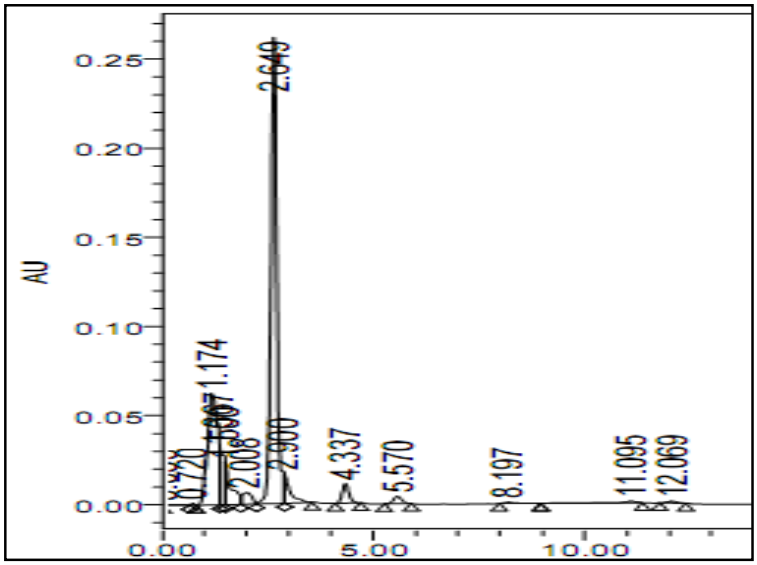
จาก Chromatogram จะเห็นได้ว่าตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืน 4 ขนาด พบว่าพีคของสารDPA มีค่า Retention time และ Peak area เป็นดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 Peak area ของสาร DPAในดินปืน

ขนาดกระสุนปืน	Peak area ของ DPA		SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
7.65 mm	973547	573387	282956
.45 Auto	742225	93961	458392
9 mm Luger	608709	149314	324841
.38 Super	27673	501757	335228

2. การวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในเขม่าดินปืน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในเขม่าดินปืนที่ได้จากการยิงปืนจำนวน 20 นัด จากกระสุนปืน 4 ขนาด โดยใช้เทคนิค HPLC ให้ผลการทดลองเป็น Chromatogram ดังนี้



ภาพที่ 17 Chromatogram ตัวอย่างเขม่าปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto

จาก Chromatogram จะเห็นได้ว่าตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืน 4 ขนาด พบว่าพีคของสาร DPA มีค่า Retention time และ Peak area เป็นดังตาราง

ตารางที่ 6 Peak area ของสาร DPAในเขม่าดินปืน

ขนาดกระสุนปืน	Peak area ของ DPA		SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
7.65 mm	267928	25324	171547
.45 Auto	55957	56770	574.9
9 mm Luger	51589	201799	106215
.38 Super	11330	-	-

หมายเหตุ : สำหรับกระสุนปืนขนาด .38 super ไม่ได้ทำการทดลองครั้งที่ 2 เนื่องจากไม่มีกระสุนปืนที่ขนาดและยี่ห้อเดียวกับที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 1

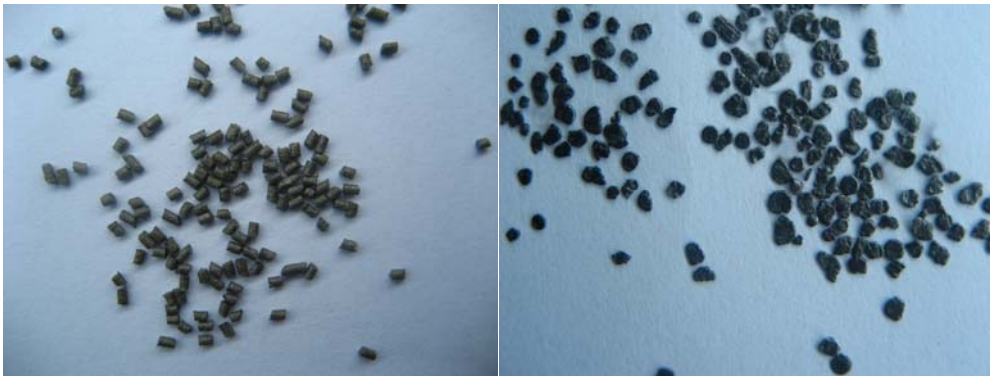
จากผลการทดลองการหาปริมาณ DPA ในดินปืน และในเขม่าดินปืน โดยพิจารณาพื้นที่ใต้พีคที่ retention time ช่วงระหว่าง 5.500 -5.900 นาที ซึ่งเป็นพีคของ DPA พบว่าปริมาณ DPA ในดินปืนและเขม่าดินปืนแตกต่างกันเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ปริมาณ DPA ในดินปืนและเขม่าปืนที่ได้จากลูกกระสุนปืนขนาด 7.65 mm > .45 Auto > 9 mm Luger > .38 Super

3. รูปร่างของดินปืนจากกระสุนปืนทั้ง 4 ขนาด

จากการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในดินปืนจากกระสุนปืนทั้ง 4 ขนาด พบว่าการทดลองซ้ำทั้ง 2 ครั้งนั้น ดินปืนมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันแม้ว่าจะเป็นดินปืนที่แกะจากกระสุนปืนยี่ห้อเดียวกันและขนาดเดียวกัน

(a) (b)

ภาพที่ 18 ดินส่งกระสุนจากกระสุนปืนทั้ง 4 ขนาด
(a) 9 mm Luger ครั้งที่ 1 (b) 9 mm Luger ครั้งที่ 2 (c) .45 auto ครั้งที่ 1 (d) .45 auto ครั้งที่ 2



(c) (d)

(e) (f)

(g)

ภาพที่ 18 ดินส่งกระสุนจากกระสุนปืนทั้ง 4 ขนาด (ต่อ)

(a) 9 mm Luger ครั้งที่ 1 (b) 9 mm Luger ครั้งที่ 2 (c) .45 auto ครั้งที่ 1 (d) .45 auto ครั้งที่ 2

(e) 7.65 mm ครั้งที่ 1 (f) 7.65 mm ครั้งที่ 2 (g) .38 super

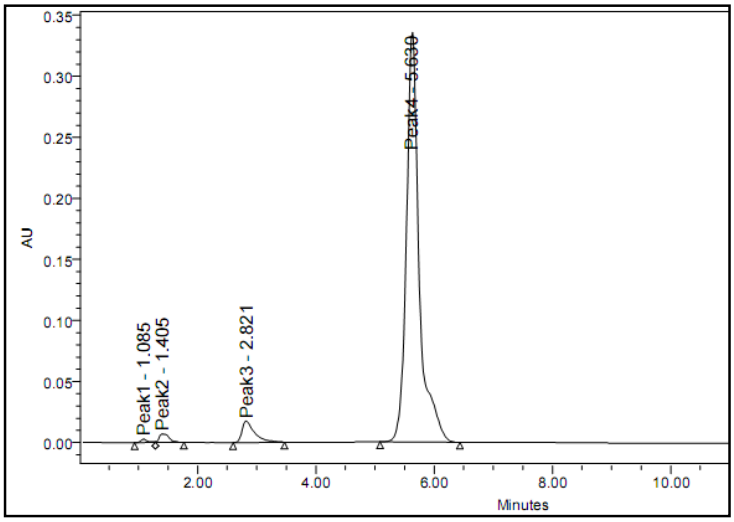
จากภาพที่ 18 จะเห็นได้ว่าดินส่งกระสุนที่นำมาทำการทดลองทั้ง 2 ครั้งมีรูปร่างที่แตกต่างกัน อธิบายดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ขนาดและรูปร่างของดินส่งกระสุนที่ใช้ทำการทดลอง

ขนาดกระสุนปืน	**ขนาดและรูปร่างของดินส่งกระสุน**
9 mm Luger ครั้งที่ 1	สีดำ รูปทรงกระบอกเป็นท่อนยาวประมาณ 1 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 mm.
9 mm Luger ครั้งที่ 2	สีดำ เป็นมันวาว รูปทรงเป็นแผ่นกลมบางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 mm.
.45 auto ครั้งที่ 1	สีเขียวขี้ม้า รูปทรงกระบอกเป็นท่อนยาวประมาณ 1 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 mm.
.45 auto ครั้งที่ 2	สีดำเป็นมันวาว รูปทรงไม่แน่นอนเป็นแผ่นบาง
7.65 mm ครั้งที่ 1	สีดำมันวาว รูปทรงกลม กลิ้งไปมาได้
7.65 mm ครั้งที่ 2	สีเขียวขี้ม้า รูปทรงกระบอกเป็นท่อนยาวประมาณ 1 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 mm.
.38 super ครั้งที่ 1	สีดำ รูปทรงกระบอกเป็นท่อนยาวประมาณ 1 mm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 mm. พื้นผิวหยาบ

4. การเตรียมสารมาตรฐาน DPA ใน methanol

จากการวิเคราะห์สารมาตรฐาน DPA ใน methanol ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้ Chromatogram ของสารมาตรฐาน ดังนี้



ภาพที่ 19 Chromatogram ของสารมาตรฐาน DPAความเข้มข้น 100 mg/mL

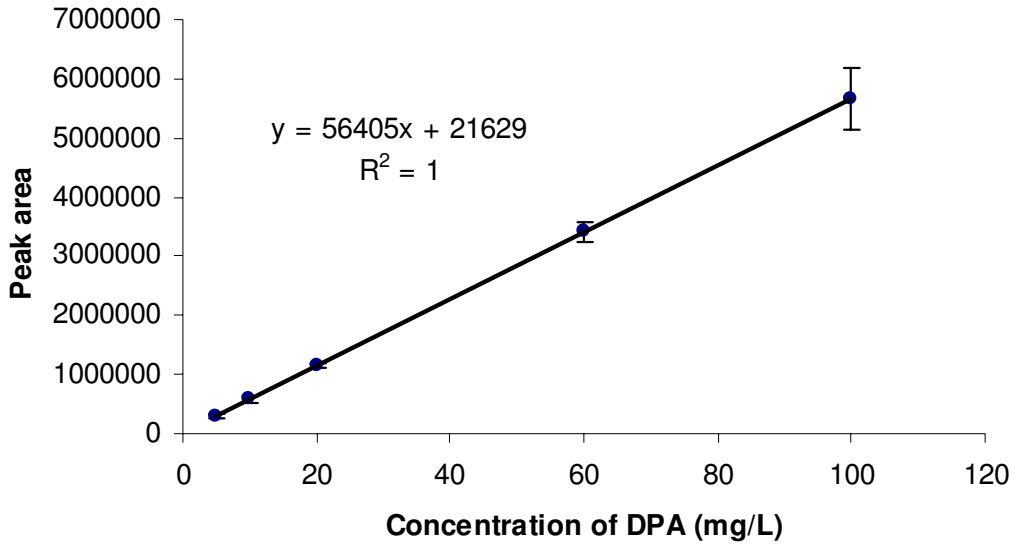
โดยที่ทำการทดลองวิเคราะห์สารมาตรฐานทั้งหมด 6 ความเข้มข้น ซึ่งได้ผลดังตาราง

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของ DPA (mg/L)

ความเข้มข้น (mg/L)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีค	SD
5	298692	21542
10	577687	52145
20	1157752	28443
60	3419604	170997
100	5653321	521771

เมื่อ SD คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ยของพื้นที่ใต้พีคของ Standard DPA จากการทำการทดลอง 3 ซ้ำ

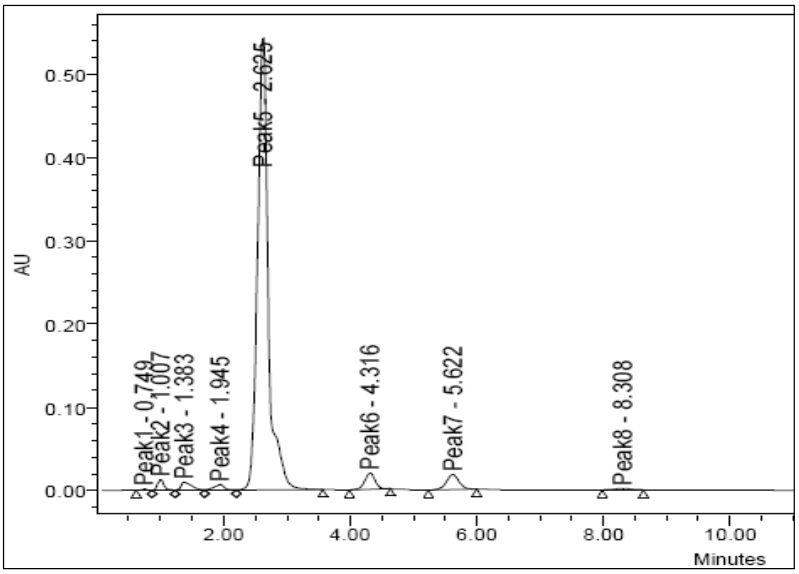
เมื่อนำข้อมูลในตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของ DPA (mg/L) มาพลอตกราฟ พบว่าได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง มีสมการแสดงความสัมพันธ์ คือ $y = 56405x + 21629$ และค่า $R^2 = 1$ ดังแสดงในรูปที่ 20



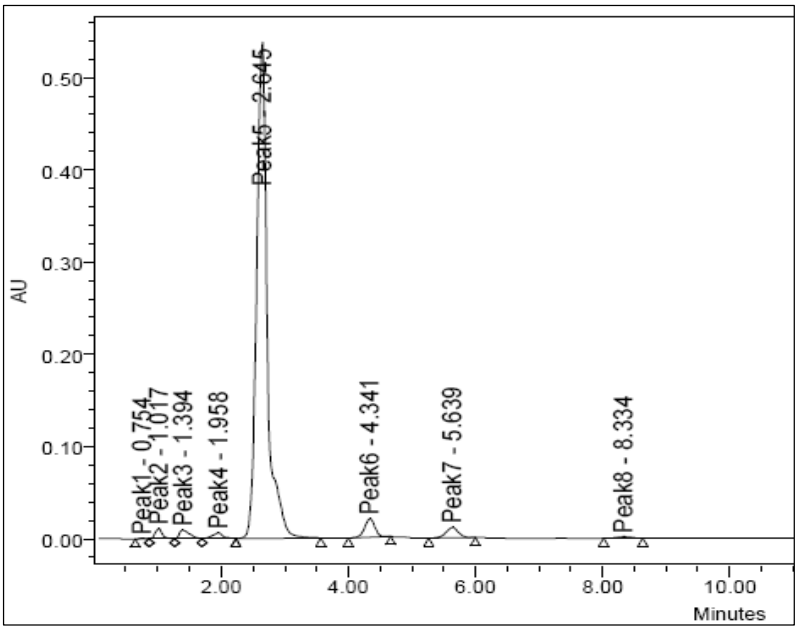
ภาพที่ 20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ DPA ตั้งแต่ 5 ถึง 100 mg/L กับพื้นที่ใต้พีค

5. การเติมสารมาตรฐาน DPA ลงในตัวอย่างก่อนยิง

ทำการ spike standard DPA ในสารตัวอย่างก่อนยิง เพื่อยืนยันว่าพีคที่ปรากฏที่ retention time นั้นๆ เป็นพีคของสาร DPA



ภาพที่ 21 Chromatogram ของดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger



ภาพที่ 22 Chromatogram ของดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger ที่ได้เติมสารมาตรฐาน DPA ความเข้มข้น 2 mg/L

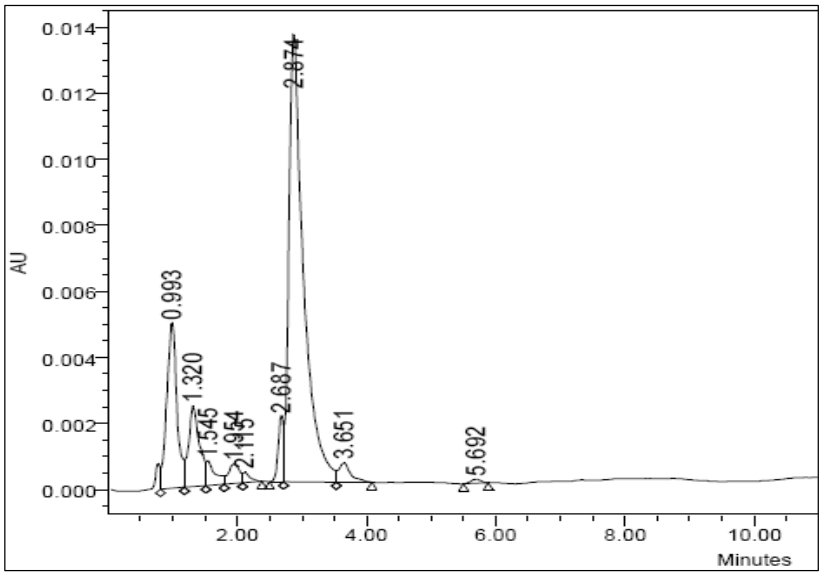
จาก Chromatogram ในภาพที่ 20 และ 21 พบว่าพื้นที่ใต้พีคของสาร DPA เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 พื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างที่มี retention time ตรงกับสาร DPA

ดินปืนจากกระสุน	**เติมสารมาตรฐาน DPA**	**พื้นที่ใต้พีค**
7.65 mm	-	573387
	2 ppm	667032
.38 Super	-	501757
	2 ppm	519160
9 mm Luger	-	149314
	2 ppm	246009
.45 Auto	-	93961
	2 ppm	452182

6. การหาค่า LOD และ LOQ

การหาค่า LOD และ LOQ ของการวิเคราะห์หาปริมาณ DPA โดยใช้ mobile phase เป็น methanol:DI water อัตราส่วน 75:25 เป็น Blank ได้ Chromatogram ดังนี้



ภาพที่ 23 Chromatogramของ Blank (methanol:DI water 75:25)

จาก chromatogram เมื่อนำพื้นที่ใต้พีคที่ปรากฏที่ retention time ระหว่าง 5.500-6.000 นาที ซึ่งเป็นช่วง retention time ที่ปรากฏพีคของ DPA โดยที่ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง มาคำนวณหาค่า SD จากนั้นนำมาหาค่า LOD ซึ่งคำนวณจาก 3SD และ LOQ ซึ่งคำนวณจาก 10SD พบว่าค่า LOD ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.033 mg/L และ LOQ ที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.11 mg/L

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในตัวอย่างดินปืนและเขม่าดินปืน โดยการสกัดด้วย methanol แล้วกรองผ่าน membrane filtered 0.45 μm แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองทำการตรวจวัดด้วย UV detector ที่ความยาวคลื่น 214 nm โดยใช้คอลัมน์ Reverse phase C_{18} (RP-18) ซึ่งเป็นคอลัมน์ชนิดไม่มีขั้ว (non-polar)

จาก Calibration curve ของสารมาตรฐาน DPA ได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงตามสมการ $y = 56405x + 21629$ มีค่า $R^2 = 1.0$ และค่าความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 5-100 mg/L ซึ่งค่า Correlation coefficient (R^2) ที่เป็นค่าแสดงถึงความเป็นเส้นตรง ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่า R^2 ที่ได้จากการทดลองนี้พบว่ามีความเป็นเส้นตรง และค่า LOD และ LOQ มีค่าน้อย(LOD = 0.033 mg/L และ LOQ = 0.11 mg/L) ซึ่งแสดงว่าเทคนิค HPLC จึงเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ DPA ในตัวอย่างดินปืนและเขม่าดินปืนได้ที่ความเข้มข้นระดับ ppm

1. การวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในดินปืน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในดินปืนจากลูกกระสุนทั้งหมด 4 ขนาด โดยใช้เทคนิค HPLC พบว่าปริมาณ DPA ที่พบในลูกกระสุนมีความแตกต่างกัน ดังนี้

ตารางที่ 10 ปริมาณ DPA ในดินปืนจากกระสุนปืน 4 ขนาด

ขนาดกระสุนปืน	ปริมาณ DPA ในดินปืน (mg/L)		SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
7.65 mm	16.88	9.78	5.02
.45 Auto	12.78	1.28	8.13
9 mm Luger	10.41	2.26	5.76
.38 Super	0.12	8.51	5.93

ปริมาณ DPA ในดินปืนที่ทำการวิเคราะห์ทั้ง 2 ครั้ง มีความแตกต่างกันมากเนื่องจากลูกกระสุนที่ใช้ในการทดลอง แม้ว่าจะเป็นยี่ห้อและขนาดเดียวกัน แต่มีรูปร่างลักษณะของดินส่งกระสุนที่ต่างกัน อาจเป็นผลให้ปริมาณ DPA ต่างกันด้วย

จากปริมาณ DPA ที่พบในดินปืนดังแสดงในตารางที่ 10 เมื่อคำนวณ ปริมาณ DPA ในหน่วย mg/g ของดินปืน จะได้ปริมาณ DPA ในดินปืนดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปริมาณ DPA ในดินปืนจากกระสุนปืน 4 ขนาด

ขนาดกระสุนปืน	ปริมาณ DPA ในดินปืน (mg/g)		SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
7.65 mm	8.44	4.89	2.51
.45 Auto	6.39	0.64	4.066
9 mm Luger	5.21	1.13	2.88
.38 Super	0.06	4.26	2.97

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณ DPA ที่พบในดินปืนในงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับผลการทดลองการหาปริมาณ DPA ในงานวิจัยอื่นซึ่งใช้สารละลายที่ทำการสกัดตัวอย่างเป็น 2-butanol ตามด้วยการทำ sonicate และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC เช่นเดียวกัน ผลที่ได้คือพบปริมาณ DPA อยู่ในช่วง 5.00-5.50 mg/g (Michelle Reardon 2001)

2. การวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในเขม่าดินปืน

จากการวิเคราะห์หาปริมาณ DPA ในเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนทั้งหมด 4 ขนาด โดยใช้เทคนิค HPLC พบว่าปริมาณ DPA ที่พบในเขม่าดินปืนมีความแตกต่างกัน ดังนี้

ตารางที่ 12 ปริมาณ DPA ในเขม่าดินปืนจากกระสุนปืน 4 ขนาด

ขนาดกระสุนปืน	ปริมาณ DPA ในเขม่าปืน (mg/L)		SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
7.65 mm	4.37	0.07	3.041
.45 Auto	0.61	0.62	0.007
9 mm Luger	0.54	2.26	1.22
.38 Super	ไม่พบ	-	-

หมายเหตุ : สำหรับกระสุนปืนขนาด .38 super ไม่ได้ทำการทดลองครั้งที่ 2 เนื่องจากไม่มีกระสุนปืนขนาดและยี่ห้อเดียวกับที่ใช้ในการทดลองครั้งที่ 1

ปริมาณ DPA ในเขม่าดินปืนที่เก็บได้จากการยิงทั้ง 2 ครั้ง มีความแตกต่างกันเนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

การยิงในแต่ละครั้งอาจมีความผิดพลาดจากการยิงไม่โดนเป้าที่เป็นแผ่น Teflon บริเวณก้นกล่องพลาสติก ทำให้กล่องพลาสติกที่ใช้เก็บเขม่าดินปืนแตก อาจเป็นผลทำให้เขม่าดินปืนที่เก็บได้น้อยลง

ดินส่งกระสุนที่นำมาวิเคราะห์ทั้ง 2 ครั้ง มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน การที่ดินส่งกระสุนมีขนาดและรูปร่างต่างกันมีผลต่ออัตราการเผาไหม้และแรงขับในกระสุน ซึ่งดินส่งกระสุนที่มีรูปร่างแบบฝอยหรือเกล็ดมีอัตราการเผาไหม้ไวที่สุดและแบบกลมมีอัตราการเผาไหม้ช้าที่สุด เช่น การทดลองในลูกกระสุน 7.65 mm พบว่ากระสุนปืนที่ใช้ทำการทดลองครั้งที่ 1 ดินส่งกระสุนมีรูปร่างแบบกลม แต่การทดลองครั้งที่ 2 ดินส่งกระสุนมีรูปร่างแบบทรงกระบอก จึงทำให้ปริมาณ DPA ที่พบมีความแตกต่างกัน

3. การเติมสารมาตรฐาน DPA ลงในตัวอย่างก่อนยิง

จาก Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนและเขม่าดินปืนที่เป็นพีคของ DPA ได้ทำการทดลองเพื่อเป็นการ Identify พีคของ DPA จึงทำการ spike standard DPA ในสารตัวอย่างก่อนยิง เพื่อยืนยันว่าพีคที่ปรากฏที่ retention time นั้นๆ เป็นพีคของสาร DPA ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่าพื้นที่ใต้พีคของสารที่ปรากฏที่ retention time ที่อยู่ช่วงระหว่าง 5.500 -6.000 นาที เพิ่มขึ้นเมื่อมีการ spike สารมาตรฐาน DPA ลงไปในตัวอย่างดินปืน และไม่ปรากฏพีคอื่นที่นอกเหนือจากการวิเคราะห์ดินปืนก่อนมีการ spike สารมาตรฐาน นั่นก็เป็นการยืนยันได้ว่าพีคของสารที่ปรากฏที่ retention time ที่อยู่ช่วงระหว่าง 5.500 -6.000 นาที เป็นพีคของ DPA

4. ข้อเสนอแนะ

4.1 พัฒนาวิธีการเก็บเขม่าดินปืนให้มากพอที่จะชั่งน้ำหนักได้ อาจจะทำโดยการเพิ่มจำนวนนัดของกระสุนปืนที่ใช้ทำการทดลองเพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบปริมาณ DPA เชิงปริมาณของดินปืนและเขม่าดินปืน

4.2 ศึกษาตัวแปรอื่นที่มีผลต่อปริมาณ DPA ที่พบในเขม่าดินปืน เช่น จำนวนนัดของกระสุนปืน หรือระยะยิง

4.3 ศึกษาหาปริมาณ DPA ที่พบในสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น ที่มือผู้ยิง พื้น หรือที่อาวุธปืนที่ใช้ยิง

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

วิวัฒน์ ชินวร, ร.ต.อ. “การวิเคราะห์เขม่าปืนด้วยเทคนิค SEM/EDX (Gunshot residue analysis by SEM/EDX)” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

อัมพร จารุจินดา, พล.ต.ต. “การตรวจพิสูจน์อาวุธปืนและเครื่องกระสุนปืน.” เอกสารความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอาวุธปืนและกระสุนปืนสำหรับผู้เข้าอบรม กองพิสูจน์หลักฐาน สำนักวิทยาการตำรวจ, 2542. (อัดสำเนา)

ภาษาต่างประเทศ

Heramb, Robert M., and Bruce R. McCord. “The Manufacture of Smokeless Powders and their Forensic Analysis.” Forensic Science Communications 4,2(2002)[Online]. Accessed 20 June 2007. Available from http://www.firearmsid.com/Feature%2520Articles/McCord_gunpowder

MacCrehan, William A. et al. “Investigating the effect of changing ammunition on the composition of additives in gunshot residue (OGSR).” Journal of Forensic Science 46, 1(2001):57-62

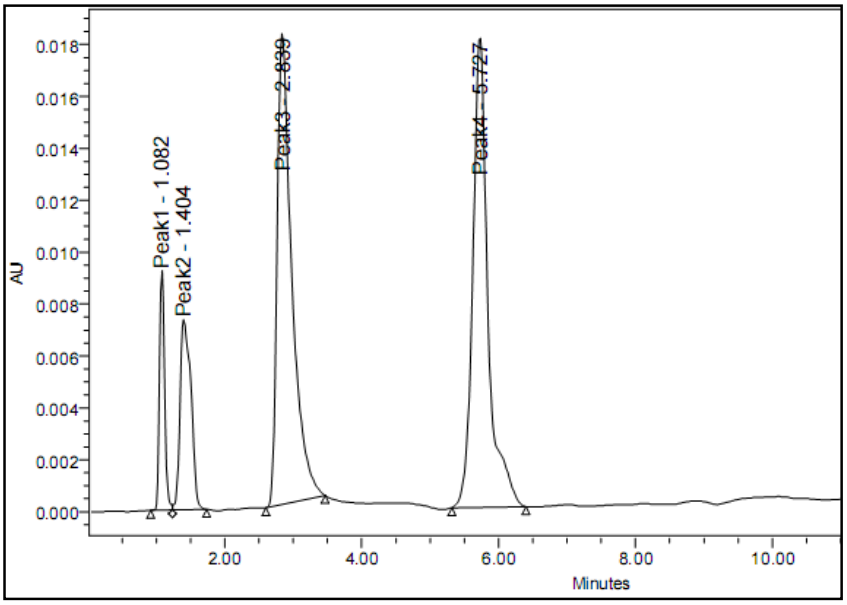
MacCrehan, William A. and Mary Bedner. “Development of a smokeless powder reference material for propellant and explosive analysis.” Forensic Science International 163, (2006):119-124.

MacCrehan, William A., Michelle R. Reardon. and David L. Duewer. “A qualitative comparison of smokeless powder measurements.” Journal of Forensic Science 47, (2002):996-1001

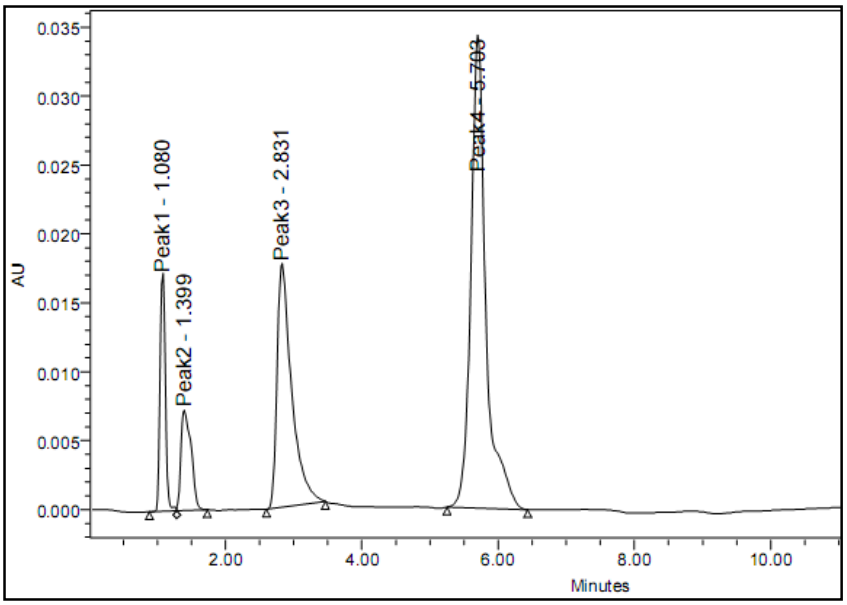
Reardon, Michelle R., and William A. MacCrehan. “Developing a quantitative extraction technique for determining the organic additives in smokeless handgun powder.” Journal of Forensic Science 46,4(2001):802-807

ภาคผนวก

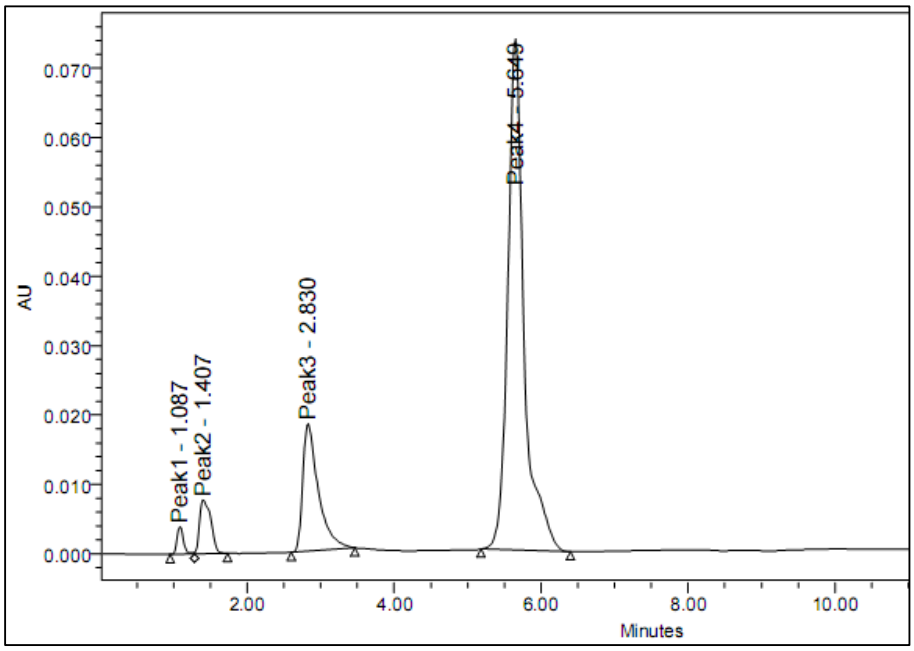
Chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน DPA โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC



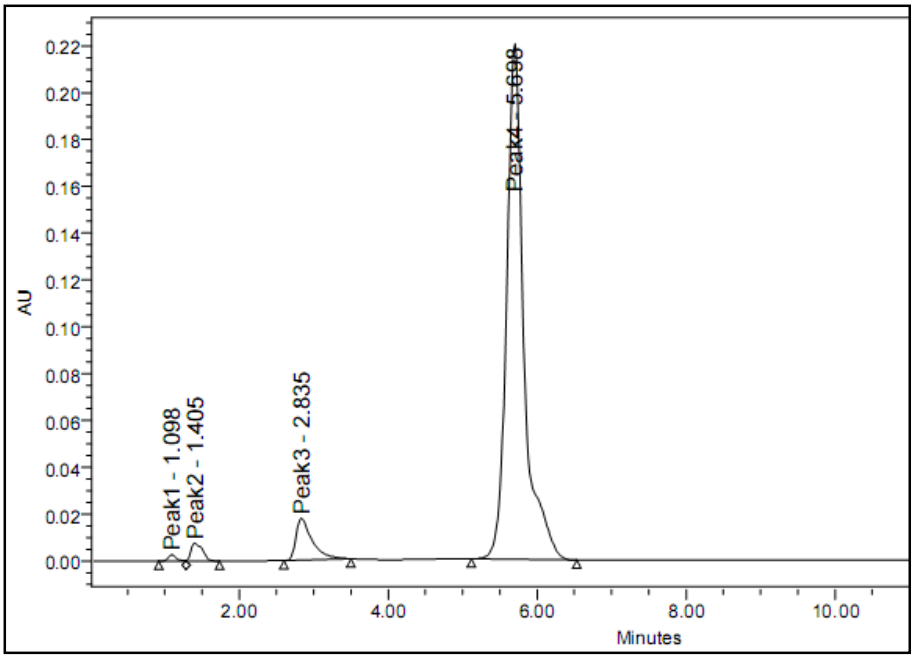
ภาพที่ 24 Chromatogram ของ DPA ที่ความเข้มข้น 5 mg/L



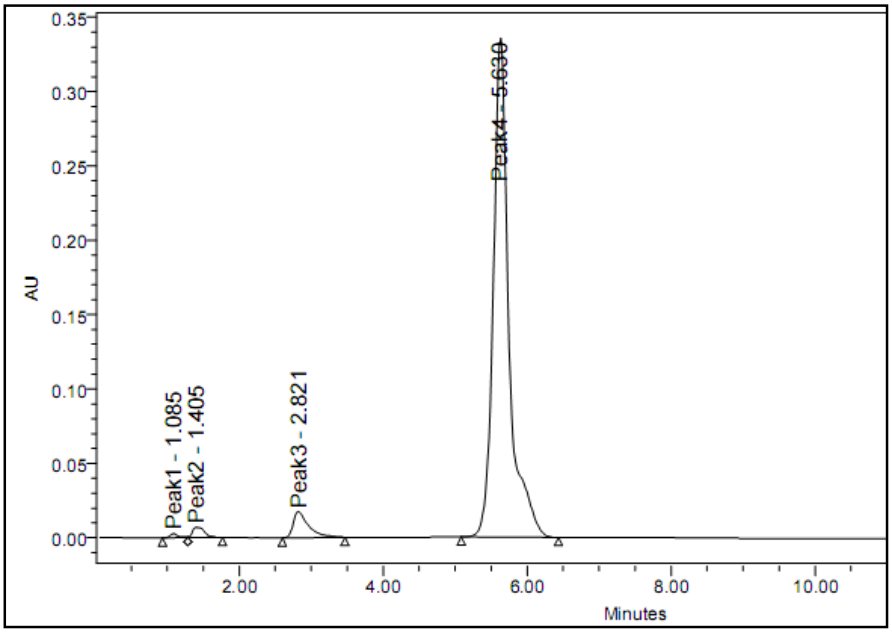
ภาพที่ 25 Chromatogram ของ DPA ที่ความเข้มข้น 10 mg/L



ภาพที่ 26 Chromatogram ของ DPA ที่ความเข้มข้น 20 mg/L

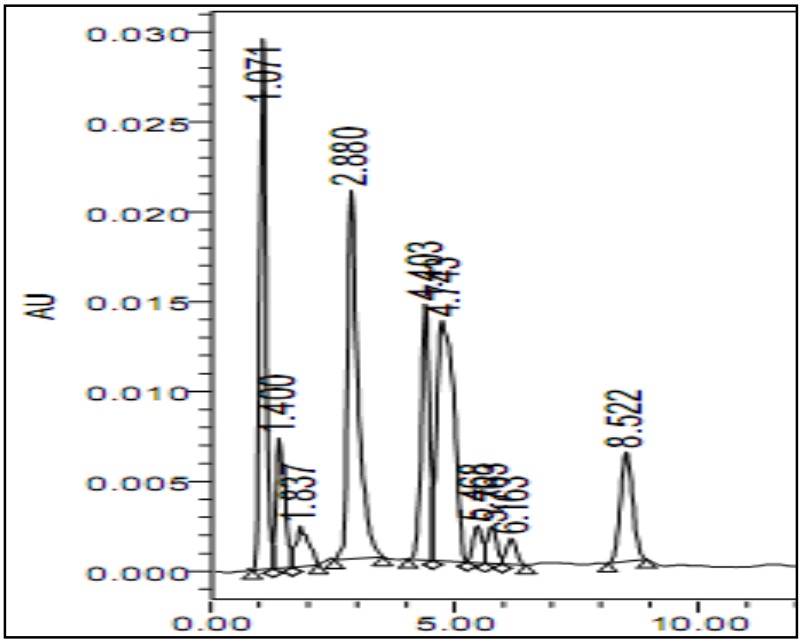


ภาพที่ 27 Chromatogram ของ DPA ที่ความเข้มข้น 60 mg/L

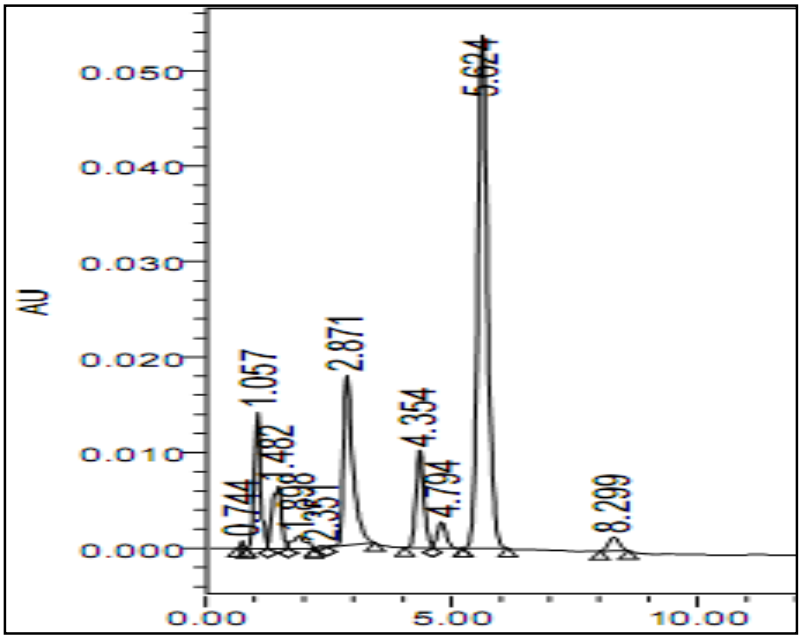


ภาพที่ 28 Chromatogram ของ DPA ที่ความเข้มข้น 100 mg/L

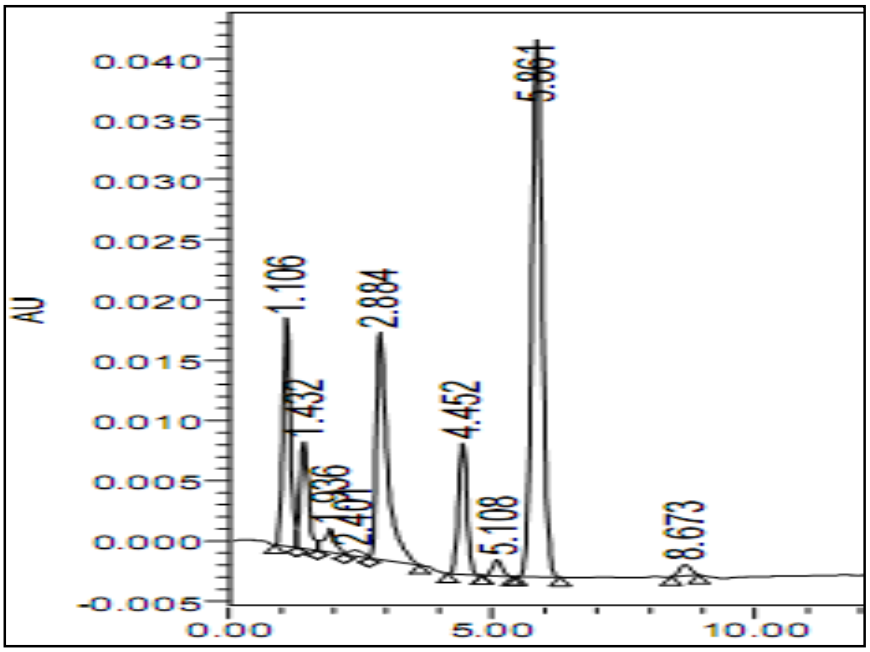
Chromatogram ของตัวอย่างดินปืน โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ทำซ้ำ 2 ครั้ง



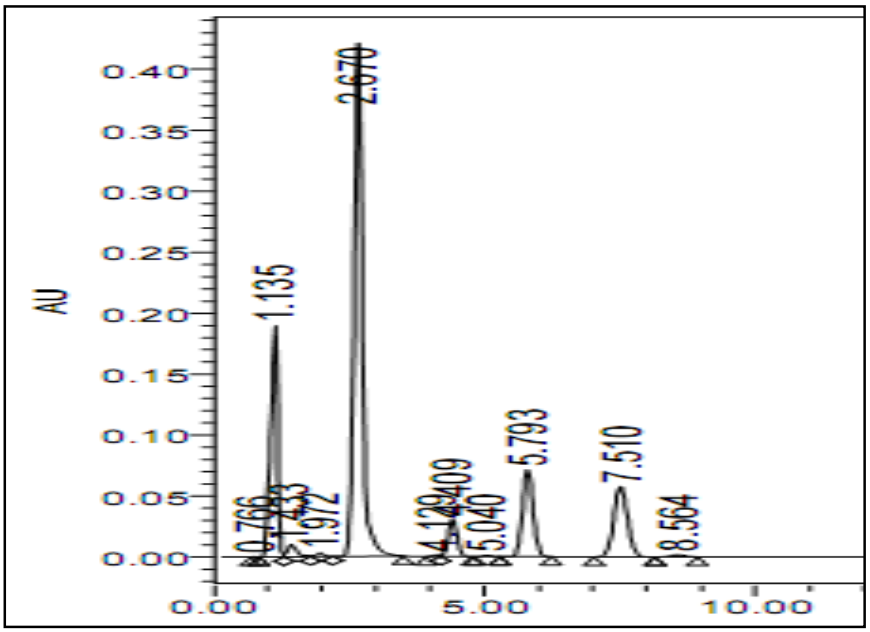
ภาพที่ 29 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super (ครั้งที่ 1)



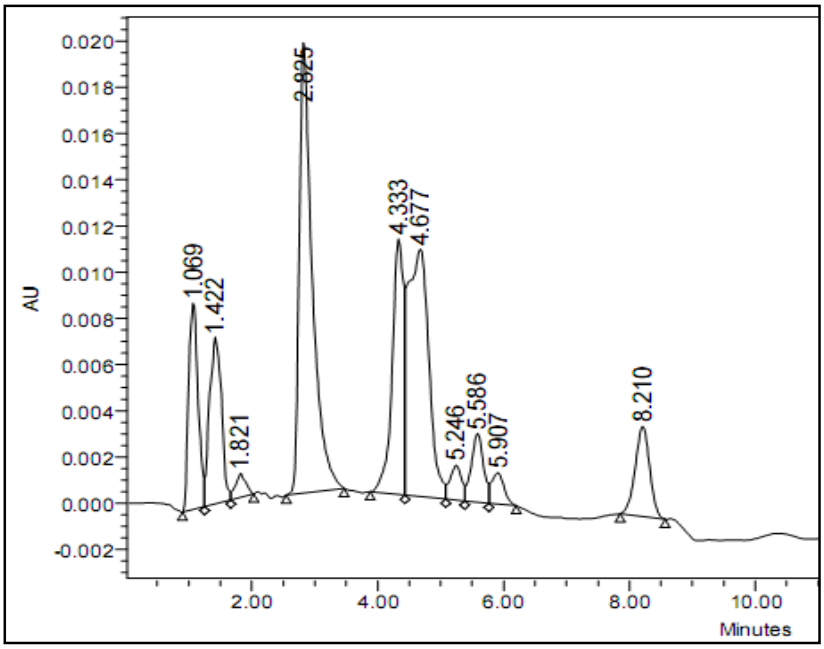
ภาพที่ 30 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 1)



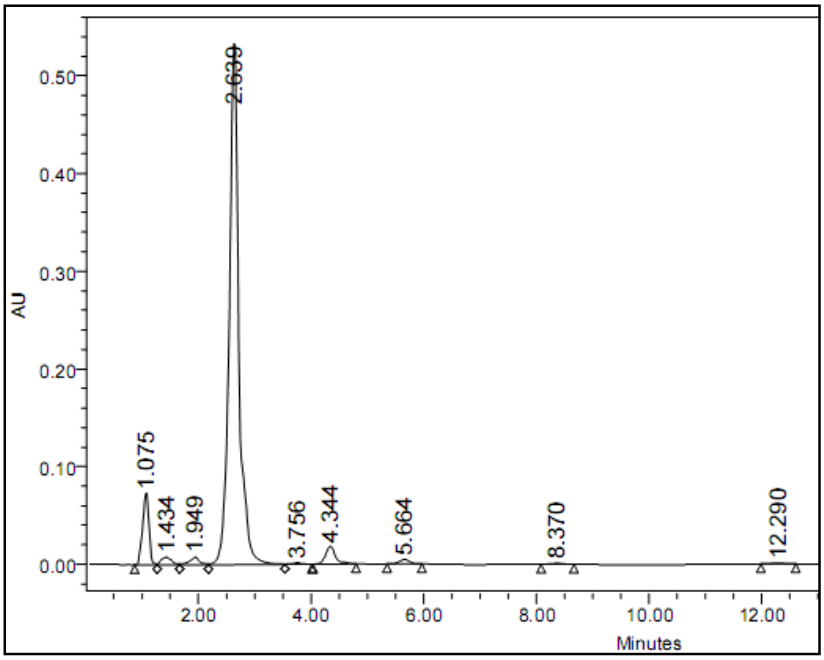
ภาพที่ 31 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 1)



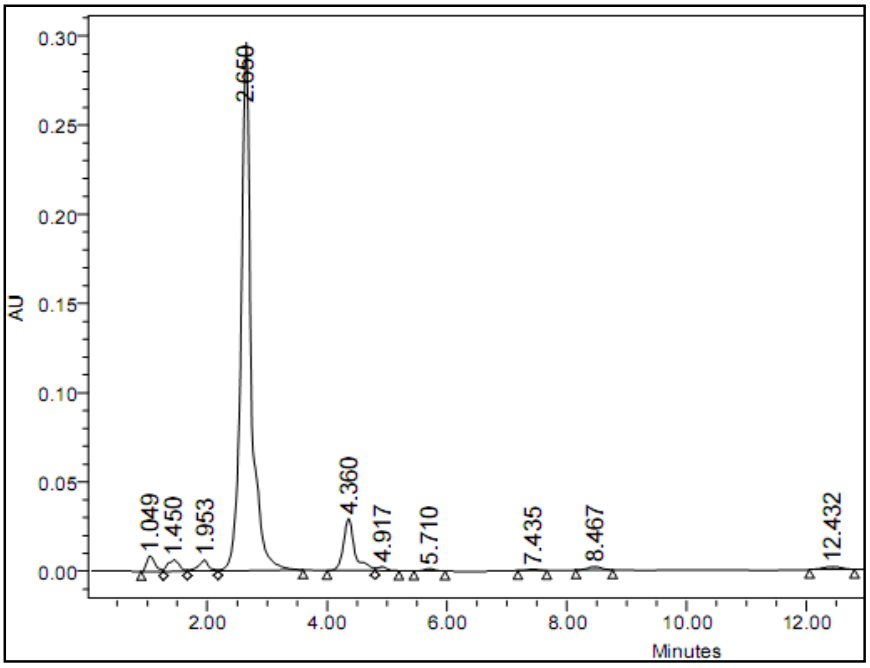
ภาพที่ 32 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 1)



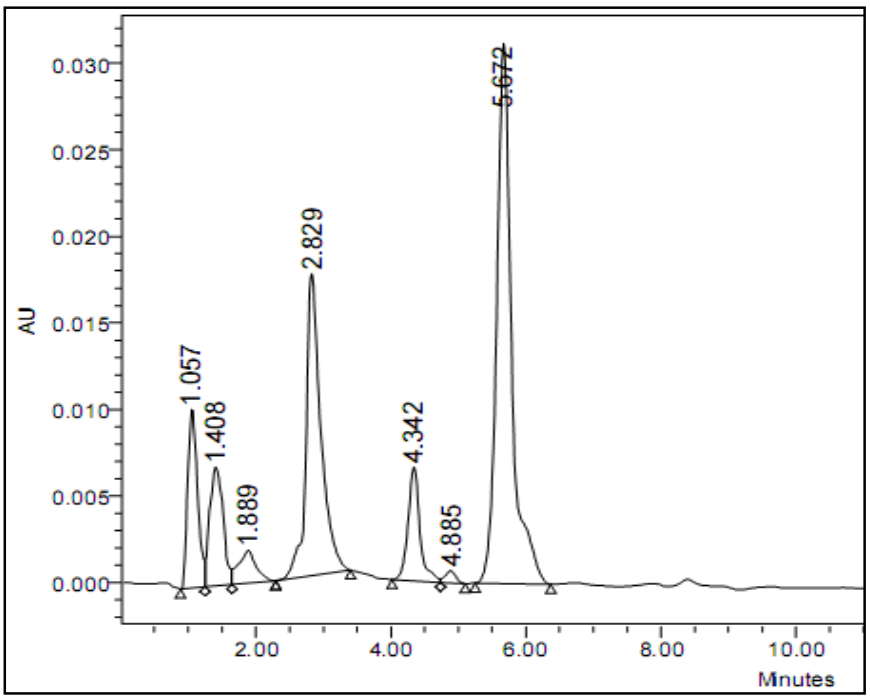
ภาพที่ 33 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super (ครั้งที่ 2)



ภาพที่ 34 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 2)

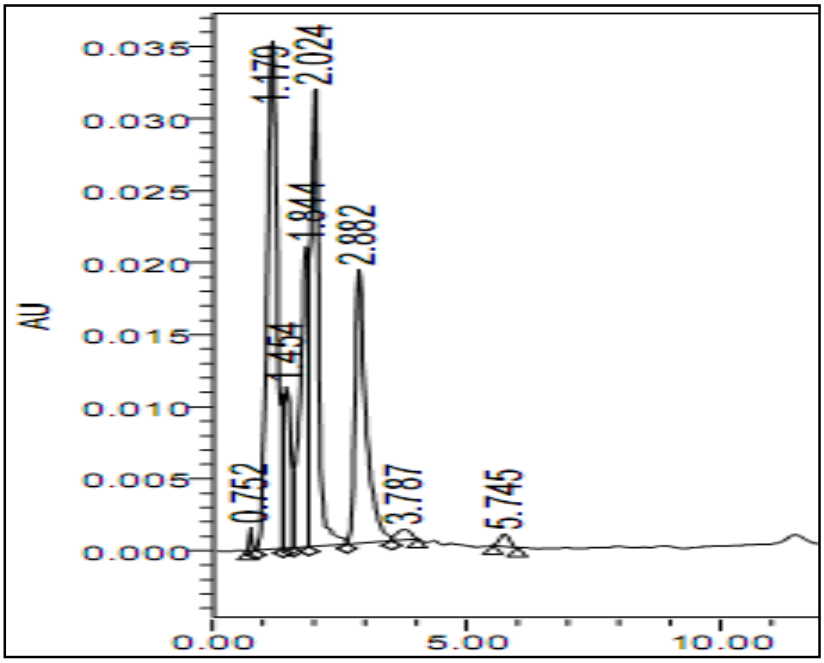


ภาพที่ 35 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 2)

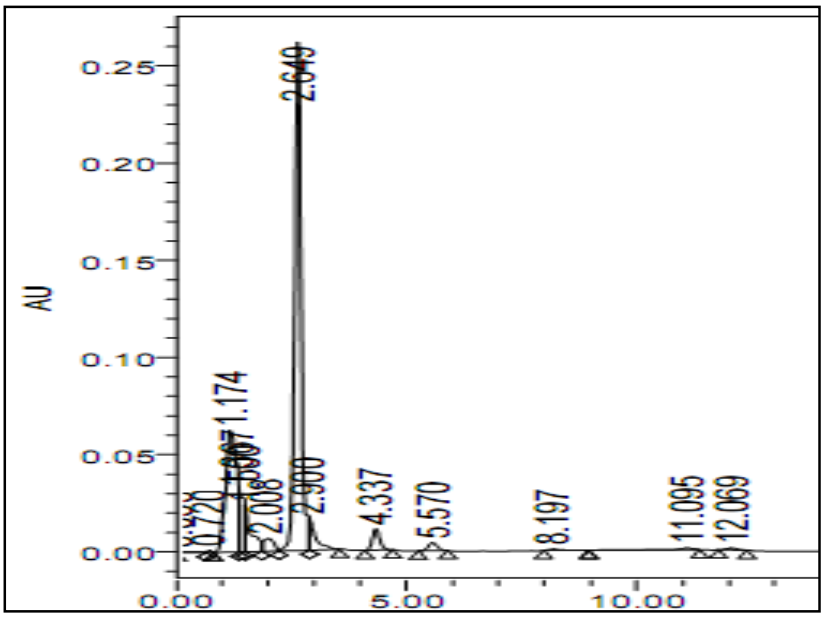


ภาพที่ 36 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 2)

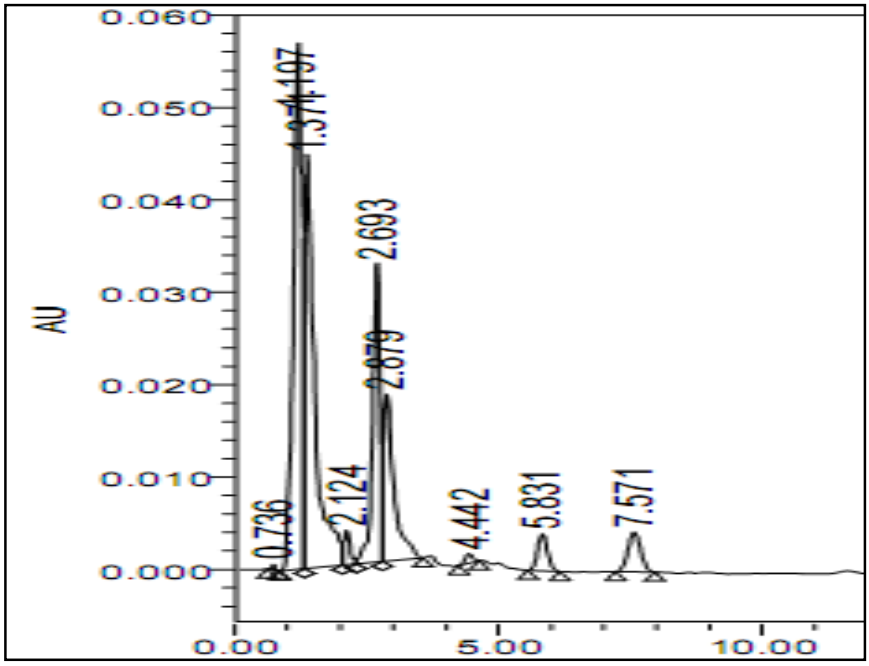
Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืน โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ทำซ้ำ 2 ครั้ง



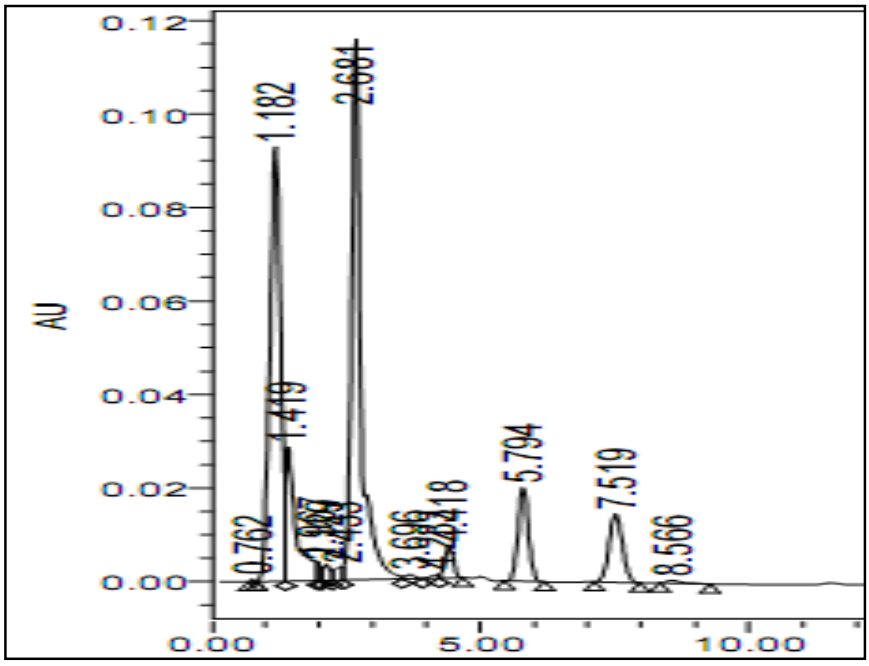
ภาพที่ 37 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super (ครั้งที่ 1)



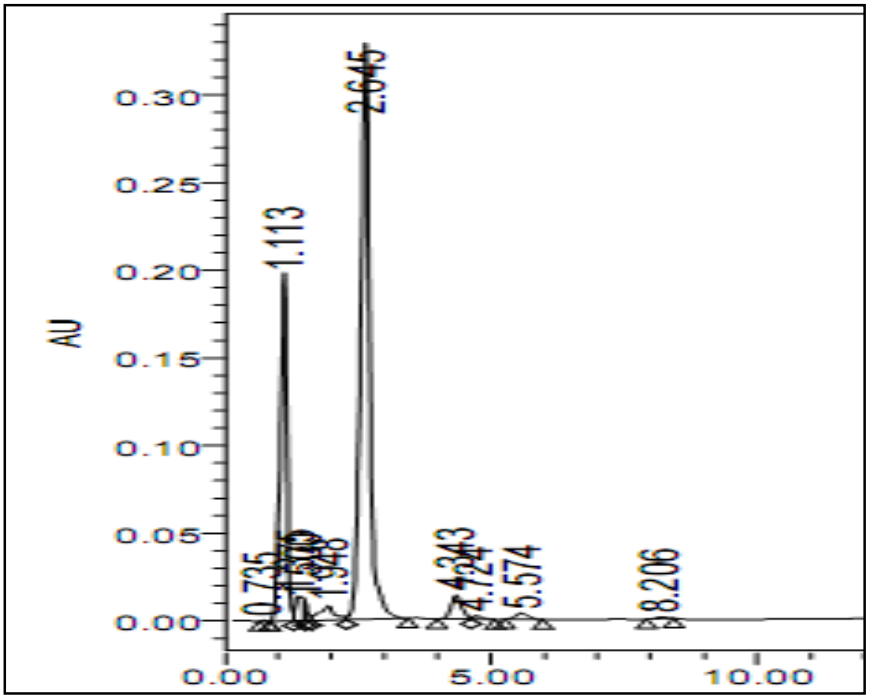
ภาพที่ 38 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 1)



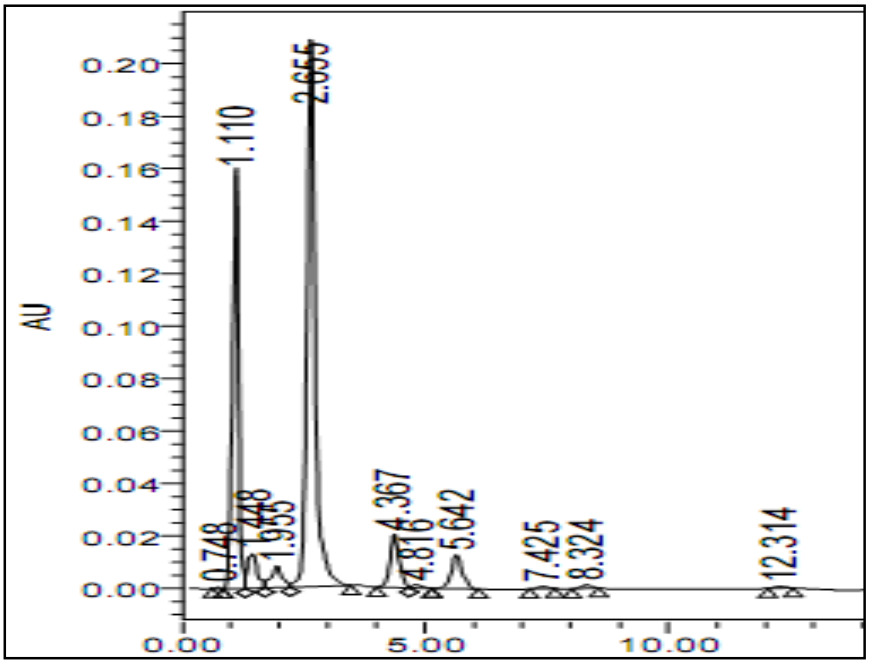
ภาพที่ 39 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger(ครั้งที่ 1)



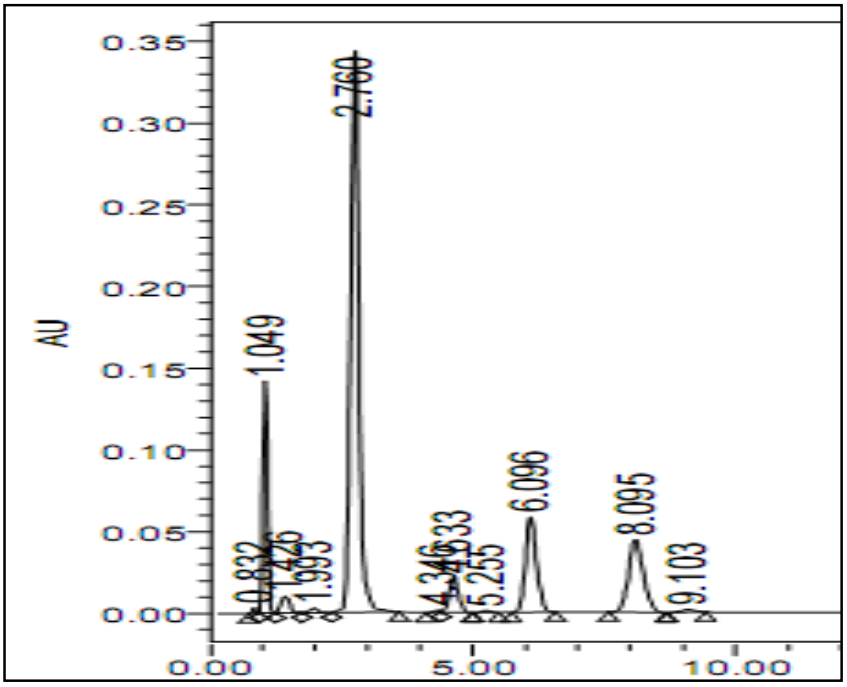
ภาพที่ 40 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 1)



ภาพที่ 41 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 2)

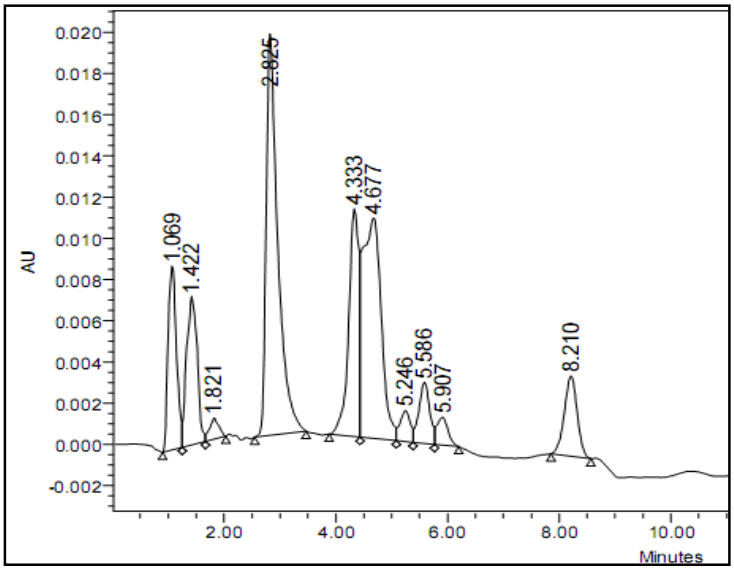


ภาพที่ 42 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 2)

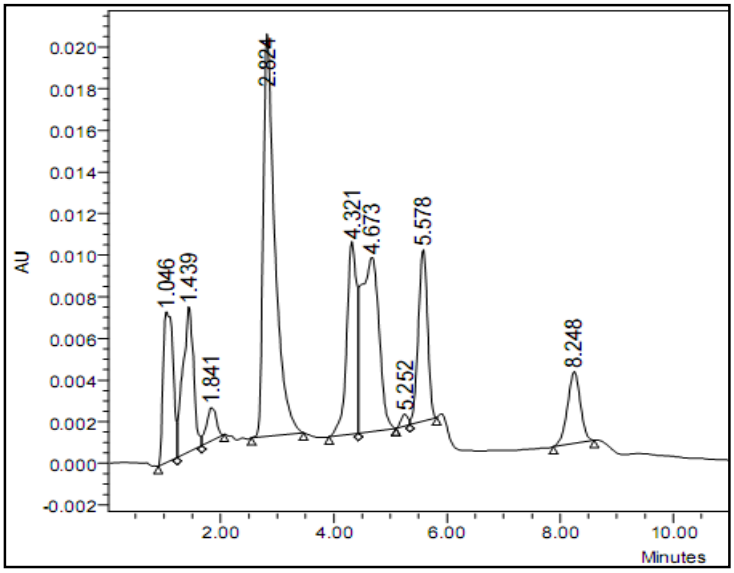


ภาพที่ 43 Chromatogram ของตัวอย่างเขม่าดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 2)

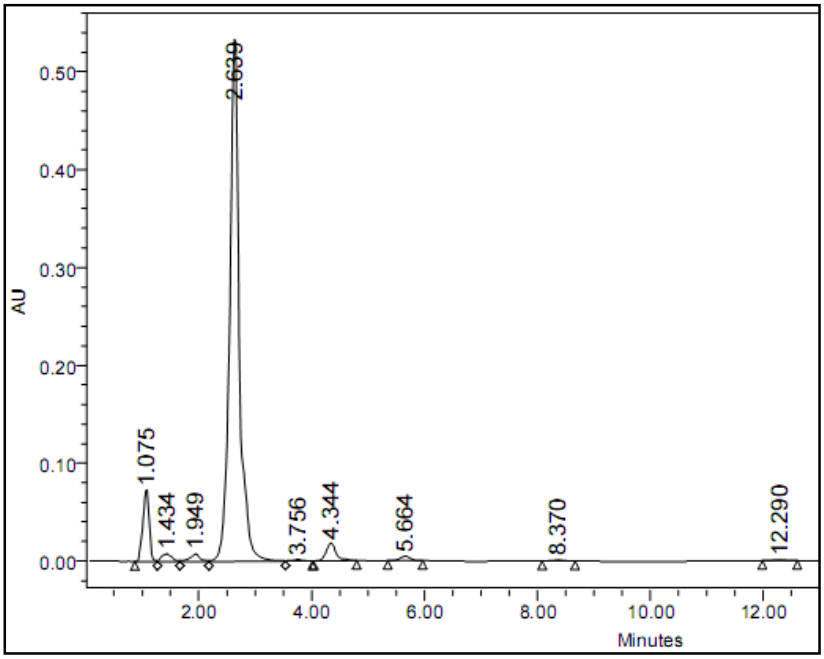
Chromatogram ของการ Spike ตัวอย่างดินปืนด้วยสารมาตรฐาน DPA ทำซ้ำ 2 ครั้ง



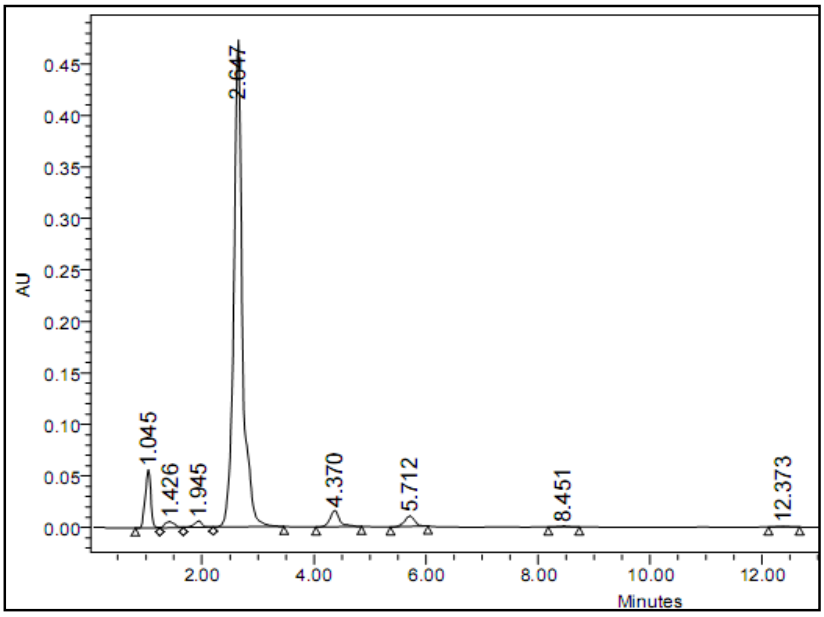
ภาพที่ 44 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super non-spike (ครั้งที่ 1)



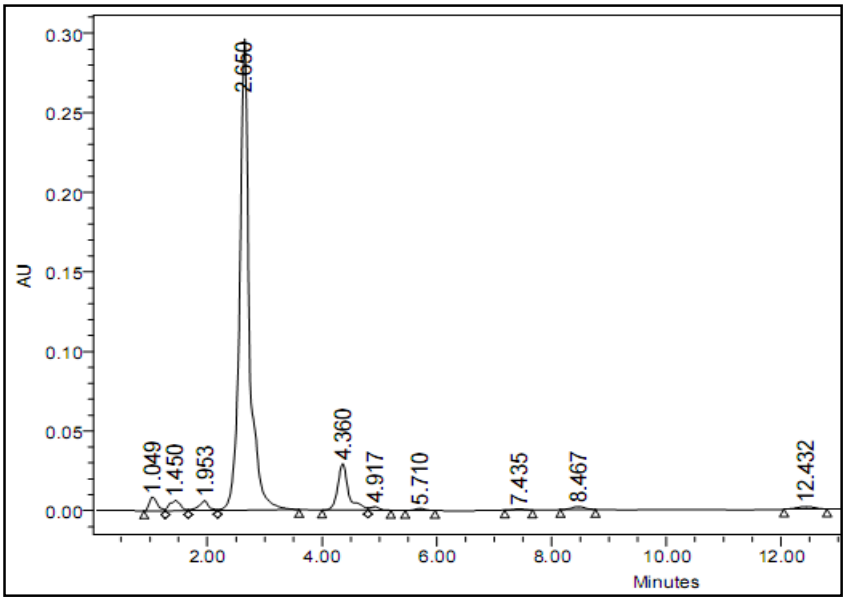
ภาพที่ 45 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super (ครั้งที่ 1)



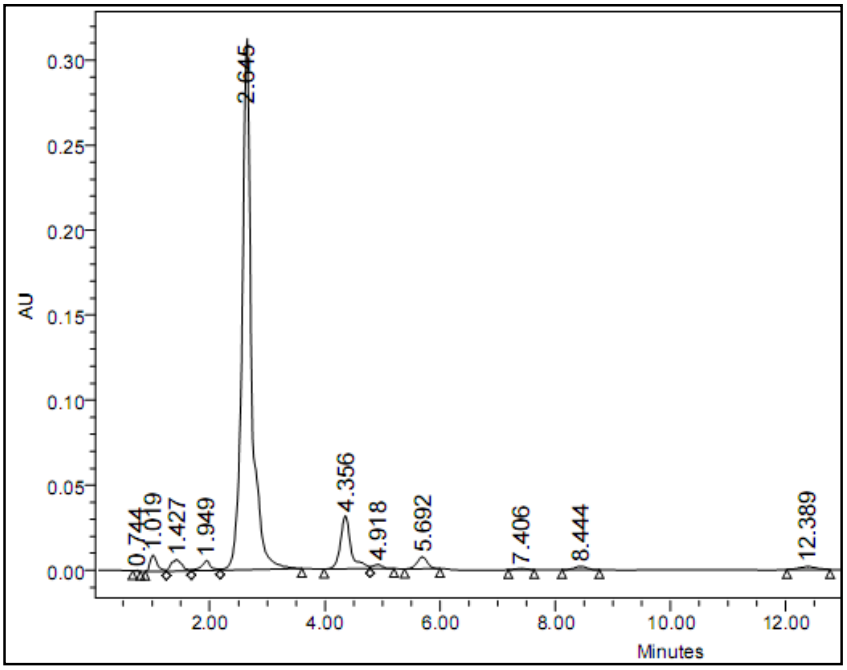
ภาพที่ 46 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto non-spike (ครั้งที่ 1)



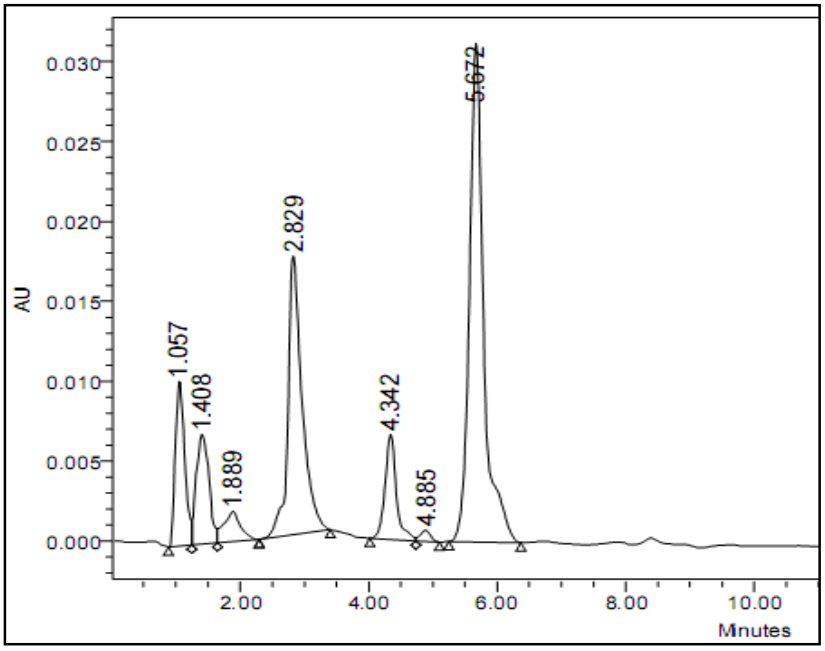
ภาพที่ 47 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 1)



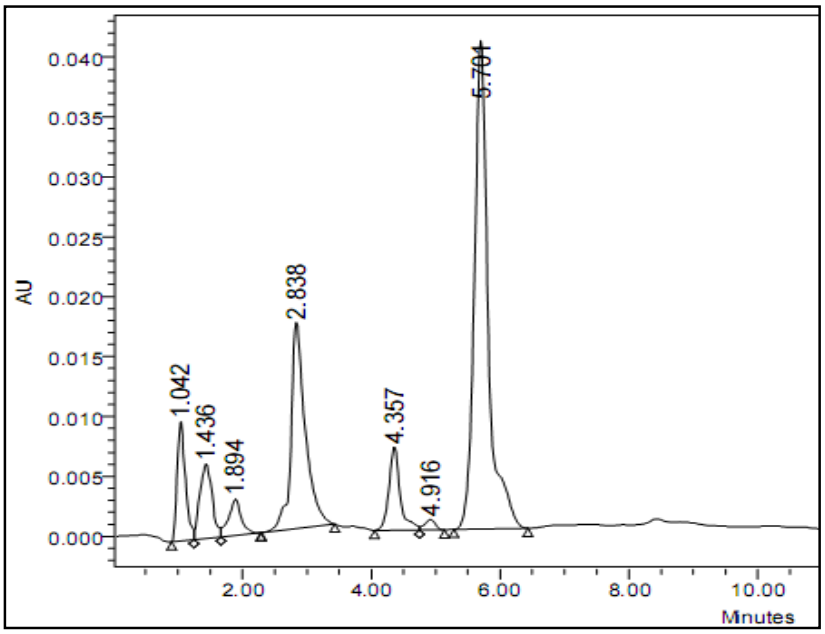
ภาพที่ 48 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger non-spike (ครั้งที่ 1)



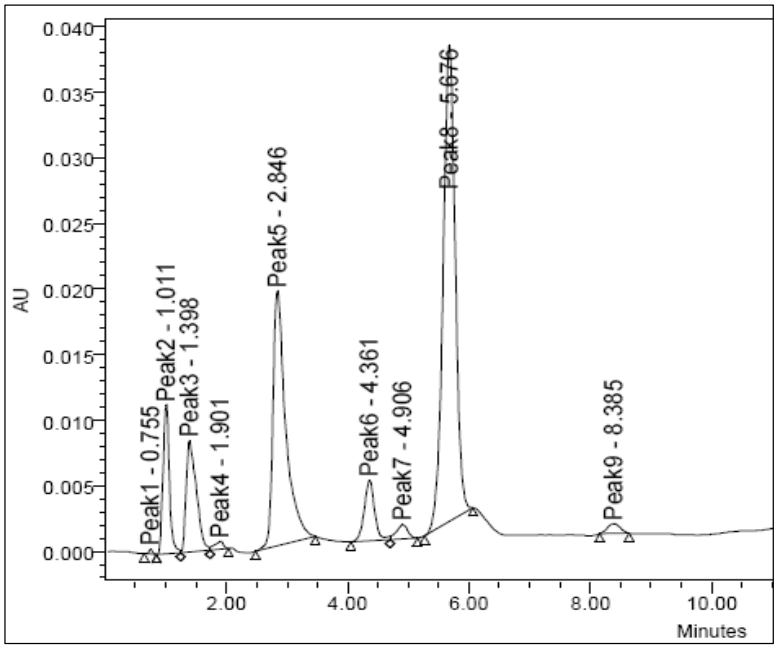
ภาพที่ 49 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/Lลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 1)



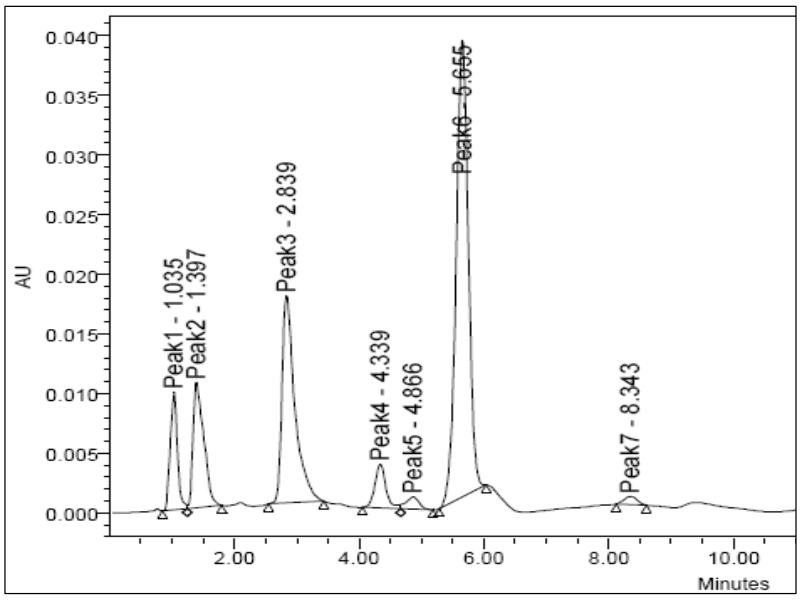
ภาพที่ 50 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br non-spike (ครั้งที่ 1)



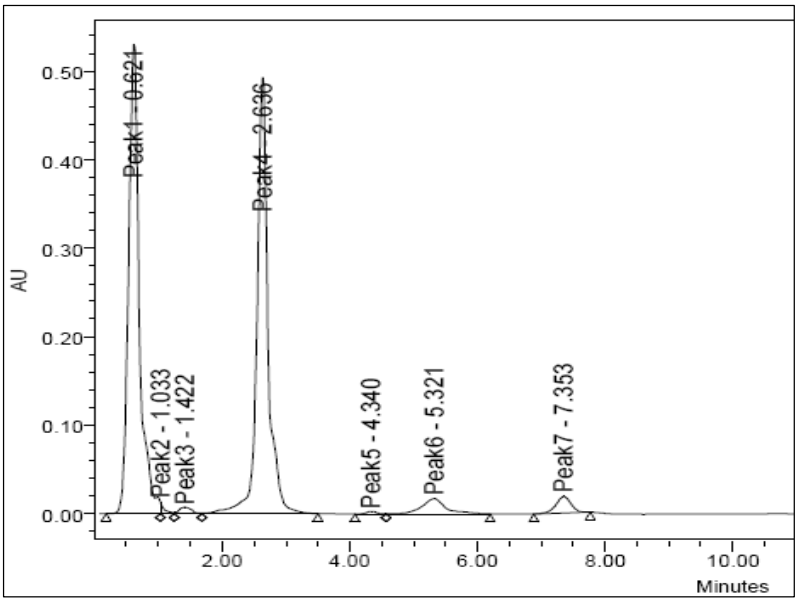
ภาพที่ 51 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/Lลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 1)



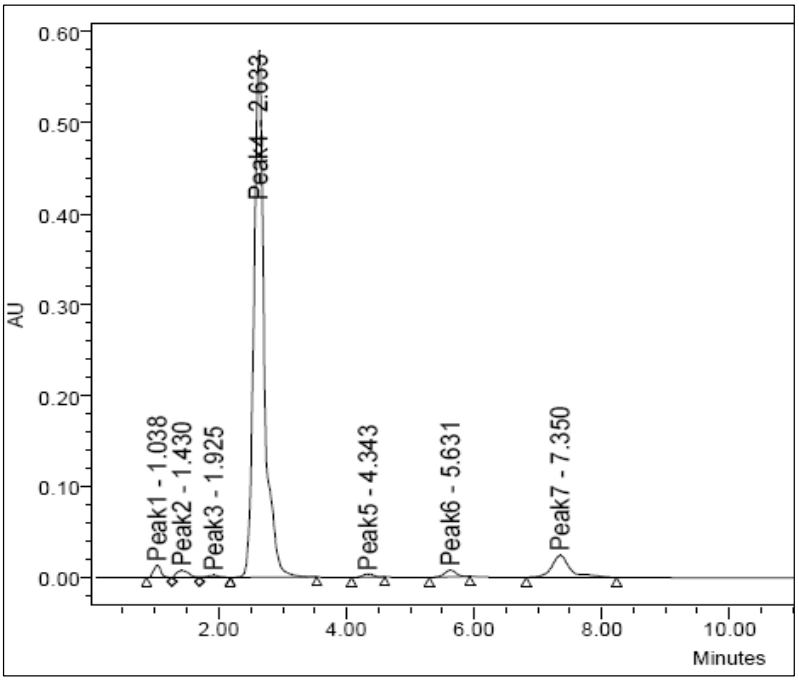
ภาพที่ 52 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super non-spike (ครั้งที่ 2)



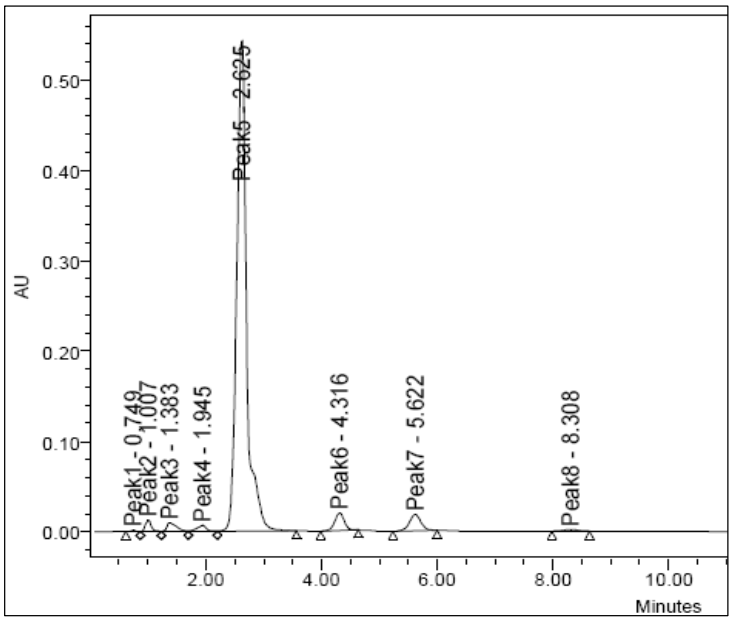
ภาพที่ 53 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .38 super (ครั้งที่ 2)



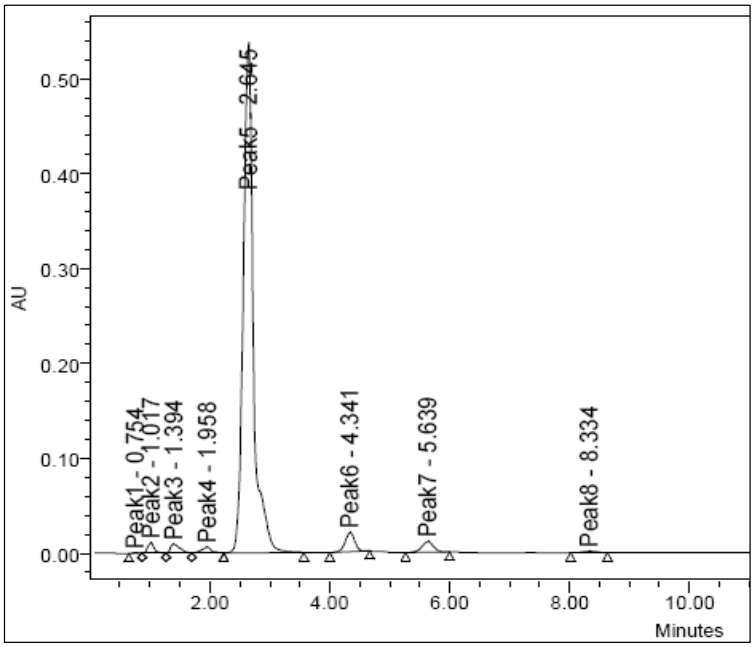
ภาพที่ 54 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto non-spike (ครั้งที่ 2)



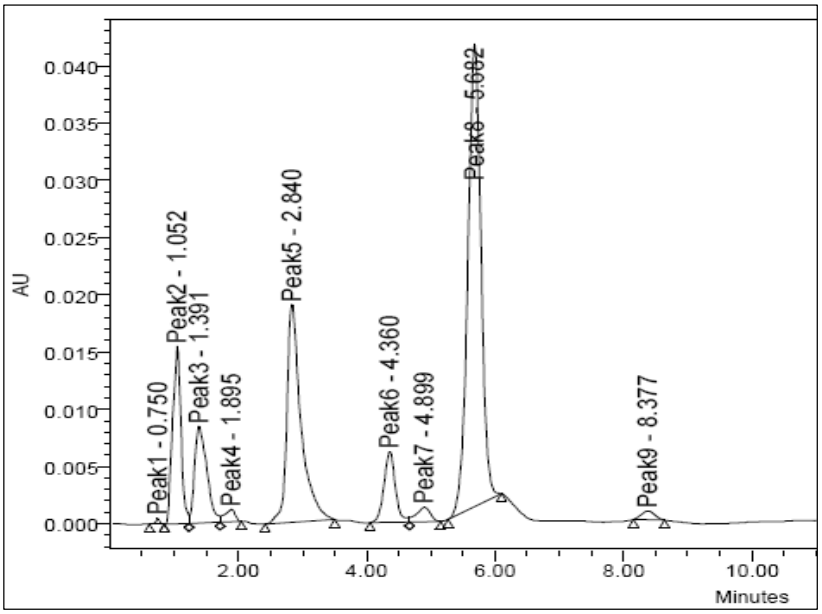
ภาพที่ 55 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด .45 Auto (ครั้งที่ 2)



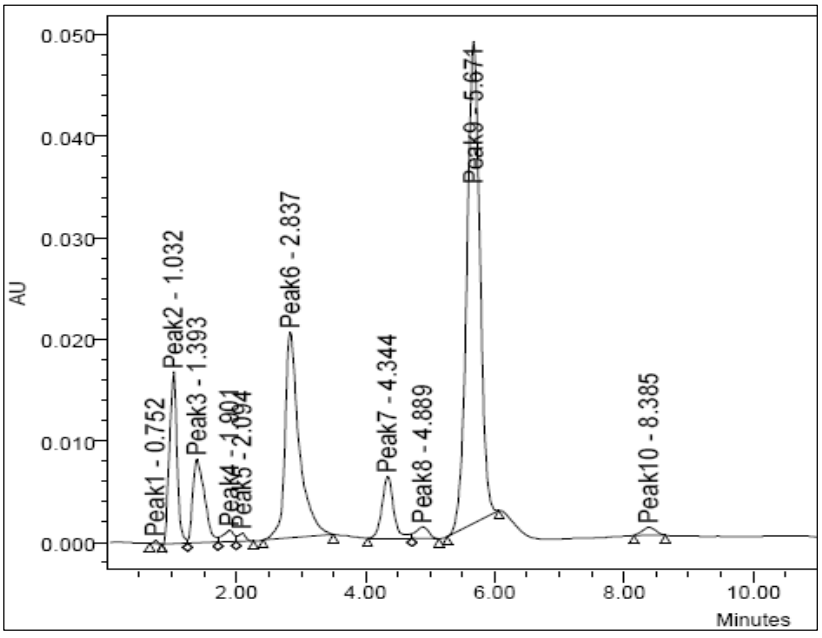
ภาพที่ 56 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger non-spike (ครั้งที่ 2)



ภาพที่ 57 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 9 mm Luger (ครั้งที่ 2)

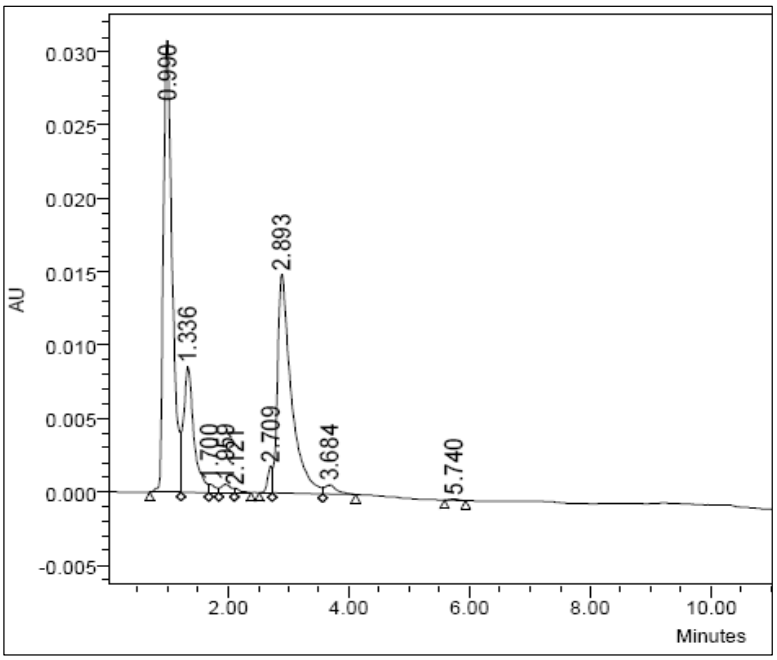


ภาพที่ 58 Chromatogram ของตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br non-spike (ครั้งที่ 2)

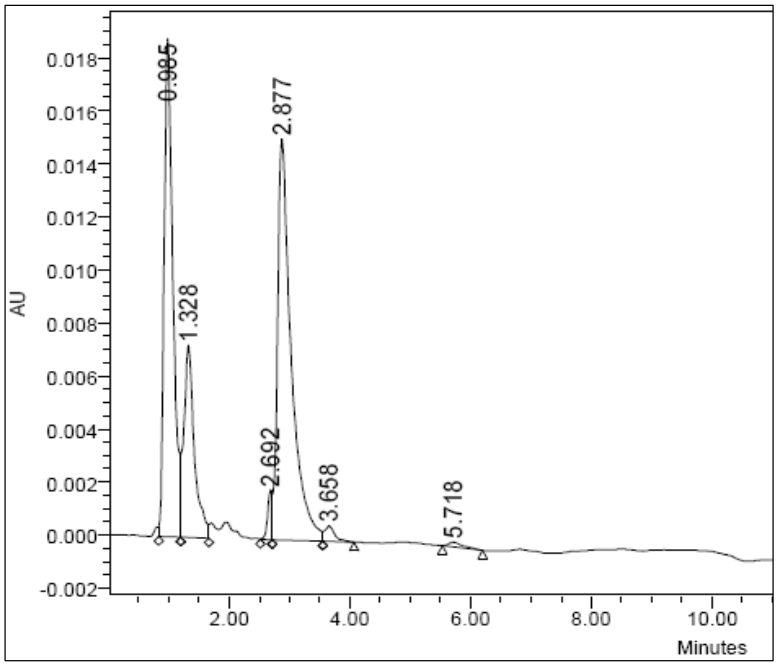


ภาพที่ 59 Chromatogram ของการ spike สารมาตรฐาน DPA เข้มข้น 2 mg/L ลงในตัวอย่างดินปืนจากกระสุนปืนขนาด 7.65 Br (ครั้งที่ 2)

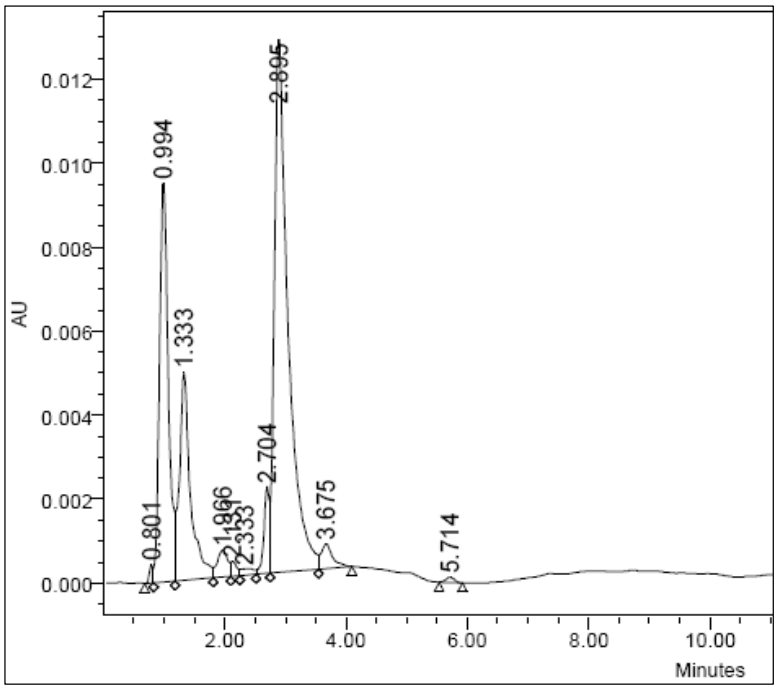
Chromatogram ของ Blank (MeOH : DI water 75:25) โดยทำซ้ำ 10 ครั้ง



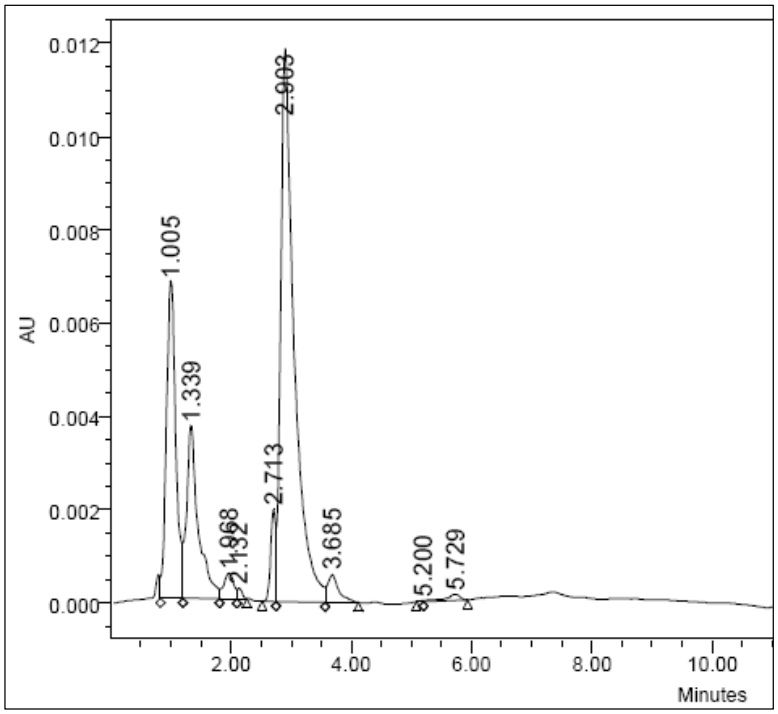
ภาพที่ 60 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 1



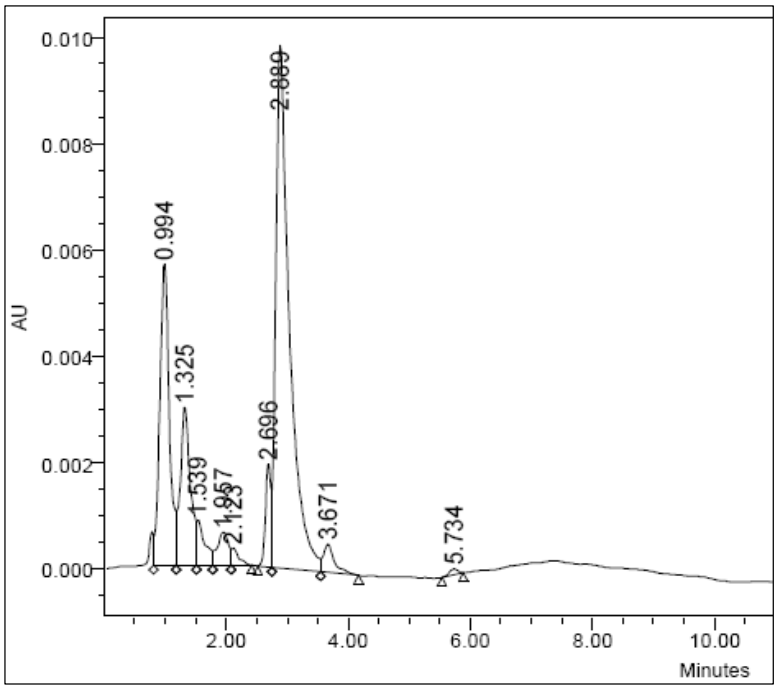
ภาพที่ 61 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 2



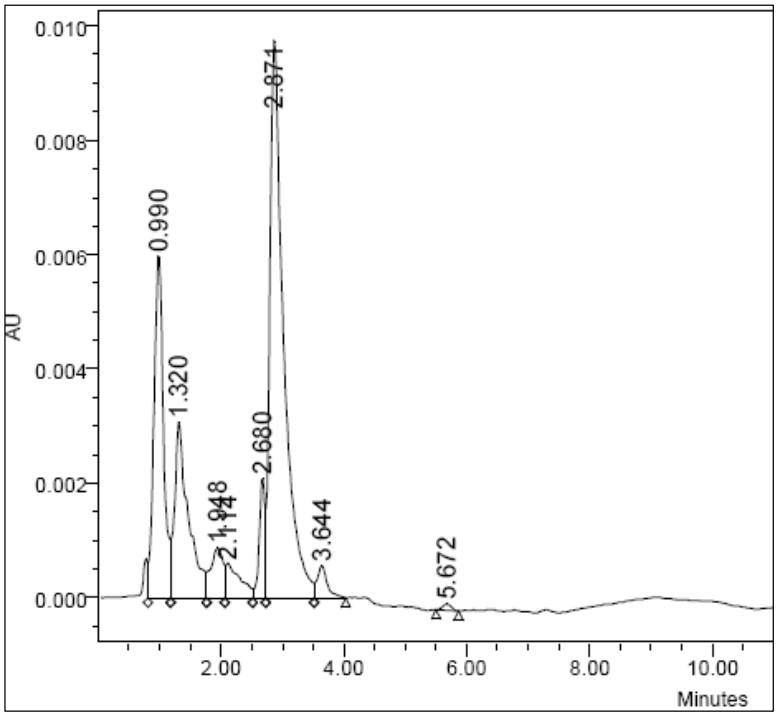
ภาพที่ 62 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 3



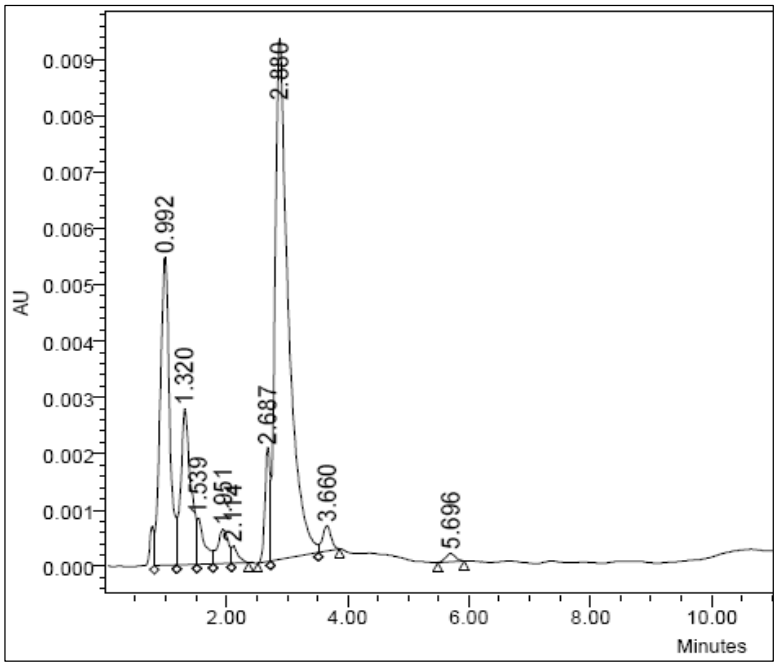
ภาพที่ 63 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 4



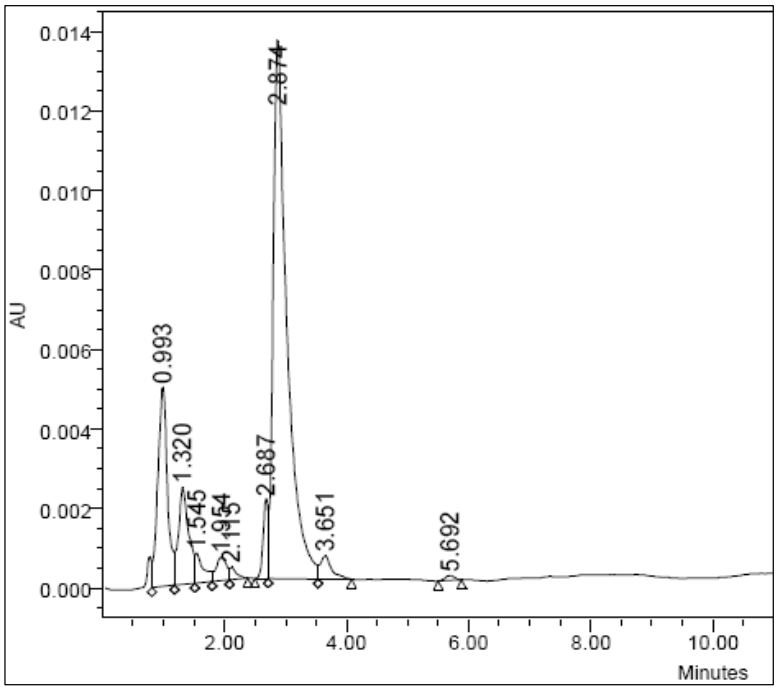
ภาพที่ 64 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 5



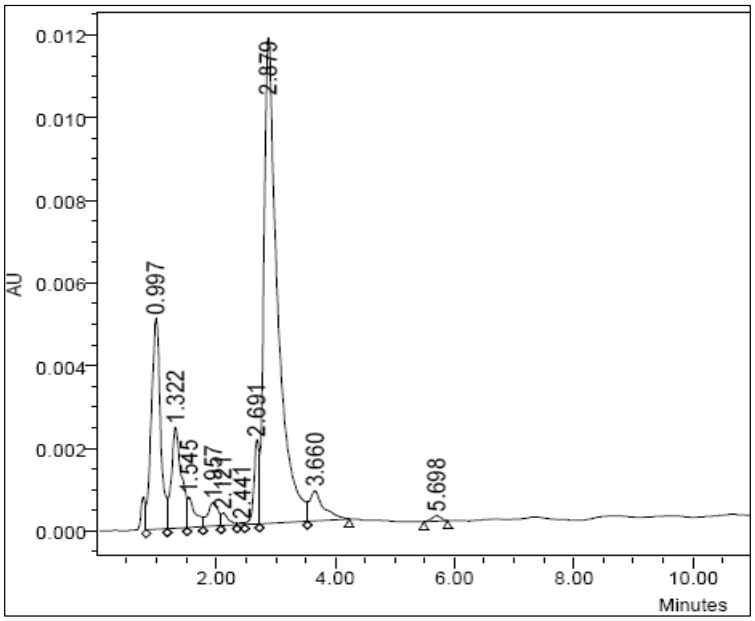
ภาพที่ 65 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 6



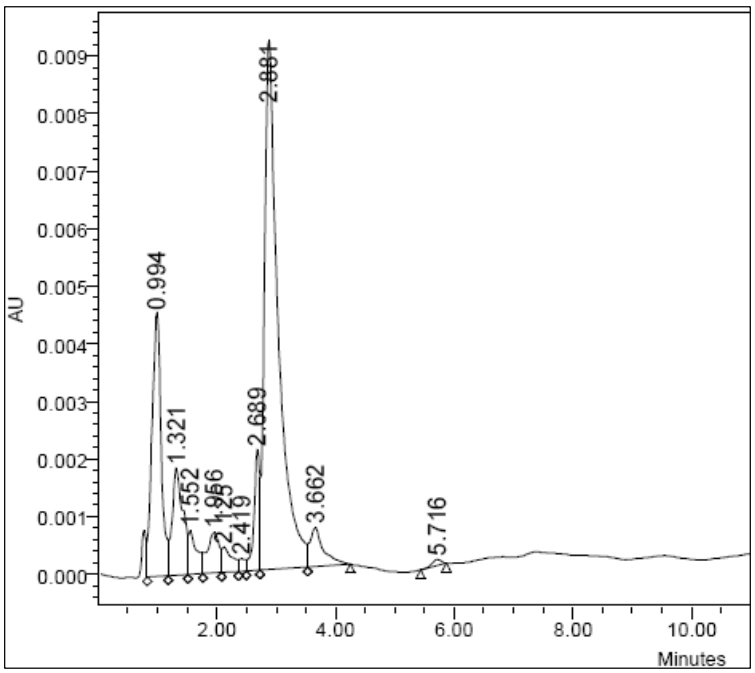
ภาพที่ 66 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 7



ภาพที่ 67 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 8



ภาพที่ 68 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 9



ภาพที่ 69 Chromatogram ของสารละลาย Blank ครั้งที่ 10

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นาวสาวนิภาพรรณ จันต๊ะมา
ที่อยู่ 32/1 ถนนรอบเวียง ตำบลหัวเวียง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2548	สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเอกเคมี จากมหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม
พ.ศ. 2550	ศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2548	ผู้ช่วยวิจัยโครงการของ อ.ดร. อริศร์ เทียนประเสริฐ อาจารย์ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2549-2550	นักวิทยาศาสตร์การแพทย์ แผนกพัฒนาคุณภาพและวิชาการ กองเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย กระทรวงสาธารณสุข