



การพัฒนาเทคนิค GC - MS ในการตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด

โดย

นางสาววิชชุดา แสงประดับ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาเทคนิค GC - MS ในการตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัตุระเบิด

โดย

นางสาววิชุดา แสงประดับ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DEVELOPMENT OF GC - MS METHOD FOR THE ANALYSIS OF EXPLOSIVES

By

Witchuda Sangpradub

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 “ การพัฒนาเทคนิค GC - MS ในการตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด ” เสนอโดย นางสาววิชชุดา แสงประดับ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง
2. อาจารย์ ดร.ศุภชัย สุภลักษณ์นารี

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(พันตำรวจโทณภพ ชุณหกรรณ์)

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

..... กรรมการ

(พันตำรวจโทหญิง อัมพิกา ลีลาพจนานพร)

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

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

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

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศุภชัย สุภลักษณ์นารี)

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

49312326 : สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ : สารประกอบวัตถุระเบิด

วิชาชุดา แสงประดับ : การพัฒนาเทคนิค GC - MS ในการตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ.ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และ อ.ดร.สุภชัย สุภลักษณ์ นารี. 70 หน้า.

การตรวจพิสูจน์วัตถุระเบิดที่ใช้ในอาชญากรรม มีความสำคัญมากในการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ งานวิจัยนี้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ nitroglycerin (NG), 2,4,6- trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)

ตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์จะถูกสกัดโดยใช้ Acetone เป็นตัวทำละลาย การวิเคราะห์ใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ/แมสสเปคโตรมิเตอร์ ใช้ EI โหมด (70 eV) แบบ full scan คอลัมน์ที่ใช้คือ DB-5MS (12 m x 0.2mm : ความหนาของฟิล์มเท่ากับ 0.33 μm)

ค่า Retention time สำหรับ NG, TNT และ RDX พบที่ 4.5, 8.1 และ 9.9 นาที ตามลำดับ สารทั้ง 3 ตัวมีค่า %RSD เท่ากับ 0.1675 , 0.0594 และ 0.0817 ตามลำดับ และมี calibration curve เป็นเส้นตรง ส่วนค่า $R^2 > 0.994$ เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างจริง 20 ตัวอย่าง พบว่ามีสารประกอบวัตถุระเบิดชนิด RDX 16 ตัวอย่าง (ในช่วงปริมาณของเนื้อสาร 10.05-23.29 μg), พบ TNT ใน 3 ตัวอย่าง (ในช่วงปริมาณของเนื้อสาร 3.43-6.36 μg) และพบ NG 1 ตัวอย่าง (ในปริมาณของเนื้อสาร 18.92 μg)

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. 2.

49312326 : MAJOR : FORENSIC SCIENCE

KEY WORD : EXPLOSIVE

WITCHUDA SANGPRADUB : DEVELOPMENT OF GC - MS
METHOD FOR THE ANALYSIS OF EXPLOSIVES. THESIS ADVISORS :
SIRIRAT CHOOSAKOONKRIANG, Ph.D AND SUPACHAI SUPALAKNARI,
Ph.D ,70 pp.

Identification of explosive used in criminal bombing is very important in forensic investigation. In this project, the methods for the analyses of nitroglycerin (NG), 2,4,6,-trinitrotoluene (TNT) and cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) were developed.

The samples was extracted using acetone as a solvent. Analyses were performed using an Agilent 6890 N gas chromatograph coupled to a 5973 MSD. The mass spectrometer with an EI mode (70 eV) was operated in a full scan mode. The column used was a DB-5MS column (12 m x 0.2 mm; 0.33 μm film thickness)

The retention time for NG, TNT and RDX were found at 4.5, 8.1 and 9.9 min respectively. For the three materials, the relative standard deviations were 16.7%, 5.9% and 8.2% respectively and linear calibration curves were obtained with $R^2 > 0.994$. Analyses of 20 authentic samples revealed that the RDX was detected in 16 samples in the range of 10.05-23.29 μg . , 3 were positive for TNT in the range of 3.43-6.36 μg and in one sample, the NG was detected with the amount of 18.92 μg

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาเทคนิค GC - MS ในการตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัฏธวัชระเบิด สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความร่วมมือและช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำ ข้อคิดและความรู้ต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง อาจารย์ ดร. สุภชัย สุภลักษณ์นารี และพันตำรวจโทหญิงอัมพิกา ลีลาพจนานพร ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และให้คำแนะนำช่วยเหลือ และตรวจสอบข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กลุ่มพิษวิทยาและเคมี ที่ให้ความร่วมมือในด้านเครื่องมือในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือแนะนำประสานงานในส่วนต่าง ๆ จนทำให้วิทยานิพนธ์นี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ข้อจำกัดในการวิจัย.....	4
นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	6
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับวัตถุระเบิด	6
ประวัติความเป็นมาของวัตถุระเบิด.....	6
การจัดแบ่งประเภทของวัตถุระเบิด	7
การจัดแบ่งประเภทตามอุปกรณ์ที่ใช้ในการจุดระเบิดที่ใช้ในทางการค้า	8
วัตถุระเบิดแรงสูงและสารประกอบวัตถุระเบิดที่นิยมใช้สำหรับผลิต วัตถุระเบิดในทางการค้า	10
สารประกอบวัตถุระเบิด (Blasting Agent).....	12
คุณสมบัติทางเคมีของสารประกอบวัตถุระเบิด.....	13
คุณสมบัติของวัตถุระเบิด (EXPLOSIVE PROPERTY)	16
หลักการพื้นฐานของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด.....	17
Gas Chromatograph (GC).....	19

บทที่	หน้า
Mass Spectrometer (MS).....	20
การทดสอบความใช้ได้ในการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพของวิธีวิเคราะห์.....	27
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	33
สารเคมี	33
การเก็บตัวอย่าง	34
การเตรียมตัวอย่าง	34
การหาความจำเพาะเจาะจง (Specificity / Selectivity).....	35
การสร้างกราฟสารละลายมาตรฐาน (Calibration curve)	35
การหาค่า LOD และ LOQ.....	36
Precision	36
%Recoveries	37
การวิเคราะห์ตัวอย่างจริงที่เก็บจากที่เกิดเหตุ	37
4 ผลการทดลอง.....	39
5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง.....	54
สรุปและอภิปรายผล.....	54
ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม.....	58
ภาคผนวก	59
ประวัติผู้วิจัย	70

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การกระจายของสารประกอบวัตถุระเบิดของ main charge.....	2
2	การกระจายของสารประกอบวัตถุระเบิดของ booster.....	3
3	ความไวในการจุดระเบิดของวัตถุระเบิดชนิดต่างๆ.....	16
4	ความแตกต่างระหว่าง Packed และ Capillary column.....	20
5	เครื่องตรวจวัดต่างๆ ไปที่ใช้ในเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	26
6	ผล Retention Time (min) ของสารมาตรฐาน.....	40
7	ผล Resolution ของสารมาตรฐาน.....	41
8	หมายเลขพีคและเวลาของสารละลายมาตรฐาน 3 ชนิด.....	42
9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคกับปริมาณความเข้มข้นของ เนื้อสารของ Nitroglycerin.....	42
10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคกับปริมาณความเข้มข้นของ เนื้อสารของ 2,4,6,- trinitrotoluene (TNT).....	42
11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคกับปริมาณความเข้มข้นของ เนื้อสารของ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX).....	43
12	ค่า LOD และ LOQ ของสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด.....	45
13	ค่า Retention time ของสารทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT)และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสาร 20 µg	46
14	%Recovery สารมาตรฐาน 3 ชนิด คือ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitro toluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสาร 15 µg	48
15	%Recovery สารมาตรฐาน 3 ชนิด คือ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitro toluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสาร 20 µg	49
16	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสารหลังการระเบิด.....	50
17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคกับปริมาณความเข้มข้นของ เนื้อสารของ Nitroglycer	61

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่ได้พื้กับปริมาณความเข้มข้นของ เนื้อสารของ 2,4,6,- trinitrotoluene (TNT)	62
19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่ได้พื้กับปริมาณความเข้มข้นของ เนื้อสารของ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)	62
20	ผลพื้นที่ที่ได้พื้ของ Blank จำนวน 10 ซ้ำ	63
21	Repeatability method	67

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนผังวัฏจักรระเบิดที่จำแนกตามอำนาจของการระเบิด.....	8
2	เครื่อง Gas Chromatograph / Mass Spectrometer (GC/MS).....	17
3	ส่วนประกอบพื้นฐานของ GC.....	19
4	ส่วนประกอบพื้นฐานของ MS.....	21
5	กระบวนการเกิด Electron Ionization.....	22
6	กระบวนการเกิด Chemical Ionization.....	22
7	กลไกการเกิด fragment ของ EI และ CI.....	23
8	ส่วนประกอบของ Mass Analyzer.....	23
9	Electron Multiplier Schematic.....	24
10	Interpreting spectra.....	25
11	Chromatogram ของ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณความเข้มข้น ของเนื้อสาร 15 µg.....	40
12	Chromatogram ของ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)	41
13	กราฟสารละลายมาตรฐาน Nitroglycerin.....	43
14	กราฟสารละลายมาตรฐาน 2,4,6,- trinitrotoluene (TNT)	44
15	กราฟสารละลายมาตรฐาน Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)	44
16	Chromatogram ของ Acetone ที่ใช้เป็นสารละลาย Blank สำหรับการ วิเคราะห์หาปริมาณสารในตัวอย่างฟ้าก๊อช.....	45
17	Chromatogram ของ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene(TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณความเข้มข้นของ เนื้อสาร 20 µg.....	46
18	Chromatogram ของ mass spectrum ของ Nitroglycerin	51
19	Chromatogram ของ mass spectrum ของ TNT	52
20	Chromatogram ของ mass spectrum ของ RDX	53

ภาพที่		หน้า
21	Chromatogram ครั้งที่ 1 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX.....	63
22	Chromatogram ครั้งที่ 2 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX.....	64
23	Chromatogram ครั้งที่ 3 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX.....	64
24	Chromatogram ครั้งที่ 4 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX.....	65
25	Chromatogram ครั้งที่ 5 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX.....	65
26	Chromatogram ครั้งที่ 6 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX.....	66
27	Chromatogram ครั้งที่ 7 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX.....	66
28	Chromatogram ของ ตัวอย่างจริงที่ตรวจพบสารประกอบระเบิด Nitroglycerin.....	68
29	Chromatogram ของ ตัวอย่างจริงที่ตรวจพบสารประกอบระเบิด TNT	68
30	Chromatogram ของตัวอย่างจริงที่ตรวจพบสารประกอบระเบิด RDX	69

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเจริญทางด้านเทคโนโลยีในโลกปัจจุบัน ก่อให้เกิดความหลากหลายในการผลิตอาวุธทำลายล้างซึ่งกันและกัน และมีความสลับซับซ้อนในการผลิตอาวุธหลากหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านวัตถุระเบิด ได้มีการนำมาใช้ในการก่อการร้ายในรูปแบบต่าง ๆ จากเหตุการณ์ความไม่สงบที่เกิดขึ้นในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ซึ่งนับวันจะค่อย ๆ เพิ่มความรุนแรงมากขึ้น ถึงขั้นมีการวางระเบิดในสถานที่ต่าง ๆ ทั้งหน่วยงานราชการและเอกชน รวมทั้งสถานที่สาธารณะ เช่น ตลาดสด ก็ไม่ละเว้น ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของชาติที่ต้องแก้ไข จึงจำเป็นต้องนำความรู้ทางด้านนิติวิทยาศาสตร์สาขาต่าง ๆ มาช่วยตรวจพิสูจน์วัตถุพยานต่าง ๆ ที่ตรวจพบในสถานที่เกิดเหตุ เพื่อใช้เป็นพยานหลักฐานในกระบวนการยุติธรรม เพื่อนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษ ซึ่งจากหลาย ๆ เหตุการณ์ที่ผ่านมาหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้รับความเชื่อถือสูงในชั้นศาลและทางด้านสังคม ถึงแม้ผู้ต้องหาจะไม่ยอมรับสารภาพหรือกลับคำให้การก็สามารถยืนยันความผิดได้

การตรวจสอบและพิสูจน์ทราบสารตกค้างที่เกิดขึ้นภายหลังจากการระเบิด (Post-Explosion Residues) เพื่อการตรวจสอบและพิสูจน์ทราบวัตถุระเบิดที่ตกค้างอยู่ (Explosive Residue) ซึ่งถือว่าเป็นงานที่ยากและท้าทายมากที่สุดอย่างหนึ่งในเรื่องของวัตถุระเบิด ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. การตรวจสอบและพิสูจน์หาสารตกค้างที่เกิดขึ้นภายหลังจากการระเบิด (Post-Explosion Residues) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสารเคมีที่ตกค้างอยู่ และสามารถบอกได้ว่าสารเคมีที่ตรวจพบเป็นสารประกอบวัตถุระเบิดหรือไม่ นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในด้านการสืบสวน (Investigation) ชนิดของสารประกอบวัตถุระเบิดที่ใช้จะให้ข้อมูลหรือแนวทางที่คาดคะเนได้ว่ากรณีที่เกิดระเบิดเกี่ยวข้องกับการก่ออาชญากรรมหรือการก่อการร้าย การตรวจพบและพิสูจน์ทราบสารประกอบวัตถุระเบิดที่ตกค้างอยู่ตามสิ่งปรักหักพัง หรือเศษซากอาจทำให้เกิดภาพถึงความเกี่ยวข้องกับผู้ต้องสงสัยได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าการระเบิดเกิดจากการใช้วัตถุระเบิดที่มีใช้กันทั่วไป ข้อมูลที่ได้ อาจมีประโยชน์น้อยที่จะเกี่ยวข้องไปถึงกรณีที่เกิดระเบิดหรือเกี่ยวข้องกับผู้ต้องสงสัย

แต่ถ้าเป็นกรณีที่เป็นวัตถุระเบิดที่มีการใช้น้อยหรือเป็นวัตถุระเบิดชนิดใหม่หรือไม่
 คำนวณ ข้อมูลเหล่านี้ก็จะมีประโยชน์เป็นอย่างมากที่จะคาดการณ์ หรือชี้เฉพาะตัวผู้ต้องสงสัยได้
 ง่ายขึ้นอีกด้วย

2. การตรวจสอบและพิสูจน์หาสารประกอบวัตถุระเบิดที่ติดตามส่วนต่าง ๆ ของตัวผู้
 ต้องสงสัย เช่น ร่างกาย เสื้อผ้า รวมทั้งสิ่งของต่าง ๆ ภายในบ้านหรือรถยนต์ ทั้งนี้เพื่อตั้งข้อสงสัย
 ว่าบุคคลดังกล่าวได้เคยผ่านการสัมผัสสารประกอบวัตถุระเบิดหรือไม่ ในการตรวจพบ
 สารประกอบวัตถุระเบิดที่ตกค้างดังกล่าวนี้ อาจจะบอกได้ว่ามีการครอบครองวัตถุระเบิดอย่างผิด
 กฎหมาย หรือได้ผ่านการหยิบจับวัตถุสารประกอบวัตถุระเบิดมา การตรวจพิสูจน์หาสารประกอบ
 วัตถุระเบิดที่ตกค้างในตัวผู้ต้องสงสัย ต้องได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

จากการศึกษาสถิติการเกิดเหตุระเบิดใน 4 จังหวัดภาคใต้ (จ๊อบ บุญปัญญาและคณะ)
 พบว่า มีการตรวจพบของสารประกอบวัตถุระเบิดประเภท main charge และการตรวจพบของ
 สารประกอบวัตถุระเบิดประเภท booster มีดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 การกระจายของสารประกอบวัตถุระเบิดของ main charge

Explosive main charge	Provinces				Number (%)
	Songkhla	Pattani	Yala	Narathiwat	
ANFO	4	44	107	168	323 (85.0)
Black powder	0	3	3	11	17 (4.5)
Urea	1	2	5	16	24 (6.3)
Dynamite	0	0	0	3	3 (.8)
Power gel	0	1	2	4	7 (1.8)
T.N.T.	0	0	0	2	2 (.5)
Emulsion explo- sive	0	2	0	2	4 (1.1)
Total	5	52	117	206	380 (100)
χ^2 test is invalid.					

ตารางที่ 2 การกระจายของสารประกอบวัตถุระเบิดของ booster

Booster	Provinces				Number (%)
	Songkhla	Pattani	Yala	Narathiwat	
Dynamite	1	31	83	150	265 (90.8)
Power gel	0	7	3	12	22 (7.5)
Black powder	0	0	5	0	5 (1.7)
Total	1	38	91	162	292 (100)
χ^2 test is invalid.					

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาการตรวจพิสูจน์สารประกอบวัตถุระเบิดจาก Main charge และ booster ที่มีองค์ประกอบของสารประกอบวัตถุระเบิดทั้ง 3 ชนิด คือ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ซึ่งจากสถิติดังกล่าว ปรากฏว่าได้มีการนำมาใช้ในพื้นที่ 4 จังหวัดชายแดนภาคใต้ รวมทั้งซึ่งจะช่วยให้เจ้าหน้าที่ของรัฐที่เกี่ยวข้องใช้เป็นแนวทางการสืบสวนหาตัวผู้กระทำความผิดและใช้เป็นพยานหลักฐานในชั้นศาล (Court evidence) ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Gold and objective)

1. เพื่อศึกษาวิธีการพัฒนาการวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด
2. เพื่อศึกษาความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์โดยเทคนิค Gas Chromatograph / Mass Spectrometer (GC/MS)
3. เพื่อสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับวัตถุพยานจริงจากที่เกิดเหตุได้

3. ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสารประกอบวัตถุระเบิด 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ Nitroglycerin, 2, 4, 6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitra mine (RDX) โดยทำการศึกษา 3 พารามิเตอร์ ซึ่งได้แก่ Selectivity, Precision และ Limit of Detection (LOD)
2. ทำการทดลองจริงกับตัวอย่างวัตถุพยานที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุจริง

4. ข้อจำกัดในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการเพื่อศึกษาความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์ โดยเทคนิค Gas Chromatograph / Mass Spectrometer (GC/MS) การวิเคราะห์ด้าน Qualitative เท่านั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดของปริมาณสารมาตรฐานวัตถุระเบิดของทั้ง 3 ชนิด

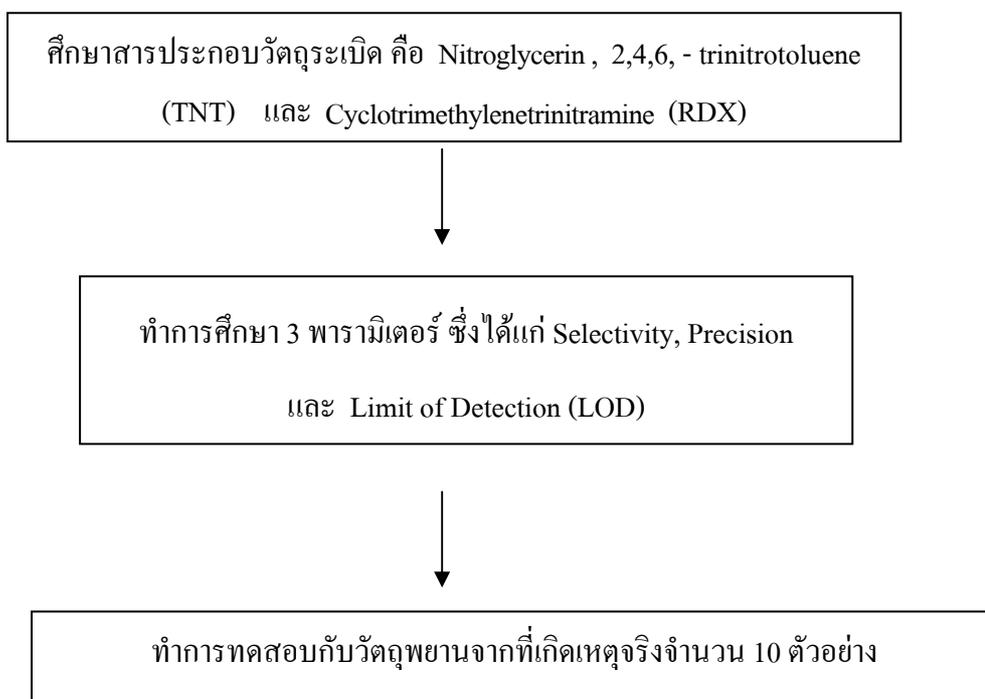
5. นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

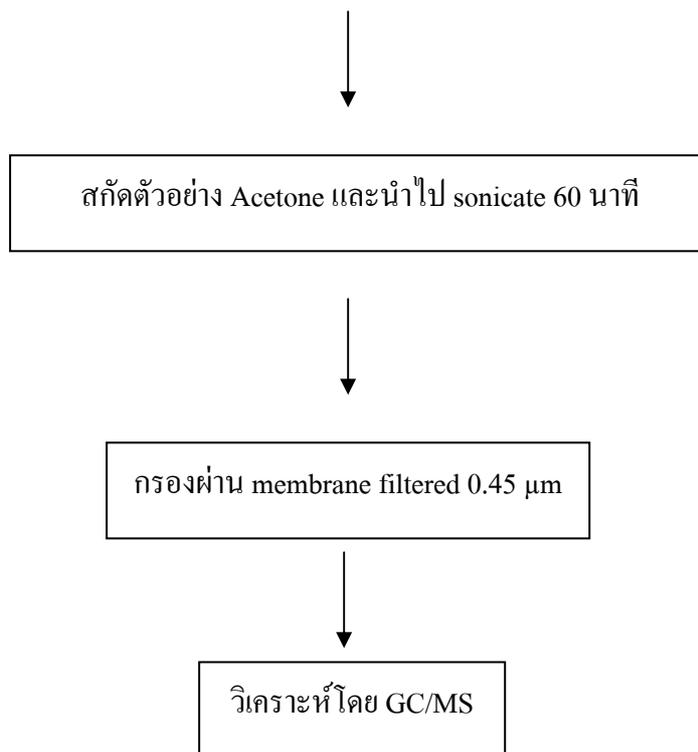
นิติวิทยาศาสตร์ (Forensic science) คือ การนำวิทยาศาสตร์ทุกสาขามาประยุกต์ใช้เพื่อประโยชน์แห่งกระบวนการยุติธรรม

วัตถุระเบิด (Explosive) คือ สารเคมีที่เป็นสารประกอบหรือของผสม ซึ่งหากได้รับการกระตุ้นที่เหมาะสมด้วยความร้อน แรงกระแทก การเสียดสีหรือแรงช็อคเวฟ (Shock wave) จะทำปฏิกิริยาสลายตัวทันทีทันใด

6. กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาสารประกอบวัตถุระเบิด 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ Nitroglycerin, 2, 4, 6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) และทำการศึกษาวัตถุพยานที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุจริง





7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด 3 ชนิด ได้แก่ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) โดยวิธี Gas Chromatograph / Mass Spectrometer (GC/MS)
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์เกี่ยวกับวัตถุระเบิด
3. สามารถเป็นหลักฐานในชั้นศาลได้

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับวัตถุระเบิด

วัตถุระเบิด คือ สารเคมีที่เป็นสารประกอบหรือของผสม ซึ่งหากได้รับการกระตุ้นที่เหมาะสมด้วยความร้อน แรงกระแทก การเสียดสีหรือแรงช็อคเวป (Shock wave) จะทำปฏิกิริยาสลายตัวทันทีทันใดตามขั้นตอนของ Thermo chemical ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเป็นความร้อนและก๊าซที่มีความดันสูง มีอุณหภูมิประมาณ 3,000 - 7,000 องศาฟาเรนไฮต์ และความดันประมาณ 150,000 - 4 ล้านปอนด์ต่อตารางนิ้ว

วัตถุระเบิดแรงต่ำมีการทำปฏิกิริยาช้า เป็นลักษณะของการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว (Rapid burning) เรียกว่าการ Deflagration ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียง ส่วนวัตถุระเบิดแรงสูงบางชนิดทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วมากเรียกว่าการ Detonation ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็วกว่าความเร็วของแสง

2.2 ประวัติความเป็นมาของวัตถุระเบิด

ได้มีการใช้ดินดำ (Black powder) มาใช้ในงานระเบิดหินครั้งแรกเมื่อประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 17

ปี 1846 Ascanio Sobrero ชาวอิตาลีได้ค้นพบ Nitroglycerine เป็นครั้งแรก แต่ยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างปลอดภัยได้

ปี 1867 Alfred Nobel ชาวสวีเดน ได้ค้นพบวิธีนำ Nitroglycerine มาใช้ได้อย่างปลอดภัยได้เป็นครั้งแรก โดยการใส่ ฟงทรายและไดอะตอมไมต์ (Diatomite) มาเป็นตัวดูดซึม Nitroglycerine ได้ส่วนผสมที่เรียกว่า ไดนาไมต์ (Dynamite) ต่อมาได้มีการนำเอาโซเดียม และ Sodium nitrate มาเป็นตัวดูดซึม Nitroglycerine ตามลำดับ

ปี 1875 Alfred Nobel ได้ค้นพบวิธีการนำ Nitroglycerine มาผสมกับ Nitrocellulose ในอัตราส่วน 92: 8 ได้วัตถุระเบิดชนิดใหม่เรียกว่า Blasting Gelatin ซึ่งนับเป็นวัตถุระเบิดในทางการค้าที่มีพลังการทำลายสูงที่สุด

ปี 1945 ได้มีการพัฒนาวัตถุระเบิดทางการค้าที่เรียกว่า ANFO (Ammonium Nitrate and Fuel Oil) ขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรก โดยการนำ Ammonium Nitrate (NH_4NO_3) มาผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน Ammonium Nitrate: Fuel Oil (น้ำมันดีเซล) 94:6 โดยประมาณ วัตถุระเบิดชนิดนี้นับว่าเอื้อประโยชน์ต่อวงการวัตถุระเบิดในทางการค้ามากที่สุด เนื่องจากเป็นวัตถุระเบิดที่มีราคาต่ำ มีความปลอดภัยสูง และมีประสิทธิภาพยอดเยี่ยมเมื่อเปรียบเทียบกับราคาวัตถุระเบิดชนิดอื่น

ปี 1950-1960 ได้มีการค้นพบวัตถุระเบิดที่มีองค์ประกอบเหมือนเจล มี Ammonium Nitrate สารอินทรีย์และน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญเรียกว่า Water gel

ปี 1960-1970 ได้มีการค้นพบวัตถุระเบิดที่มี Ammonium Nitrate หรือ Sodium Nitrate และขี้ผึ้งปิโตรเลียม (Petroleum wax) เป็นองค์ประกอบสำคัญ มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดเรียกว่า วัตถุระเบิดแบบหนืด (Emulsion Explosive)

2.3 การจัดแบ่งประเภทของวัตถุระเบิด

หากพิจารณาชนิดของวัตถุระเบิดตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

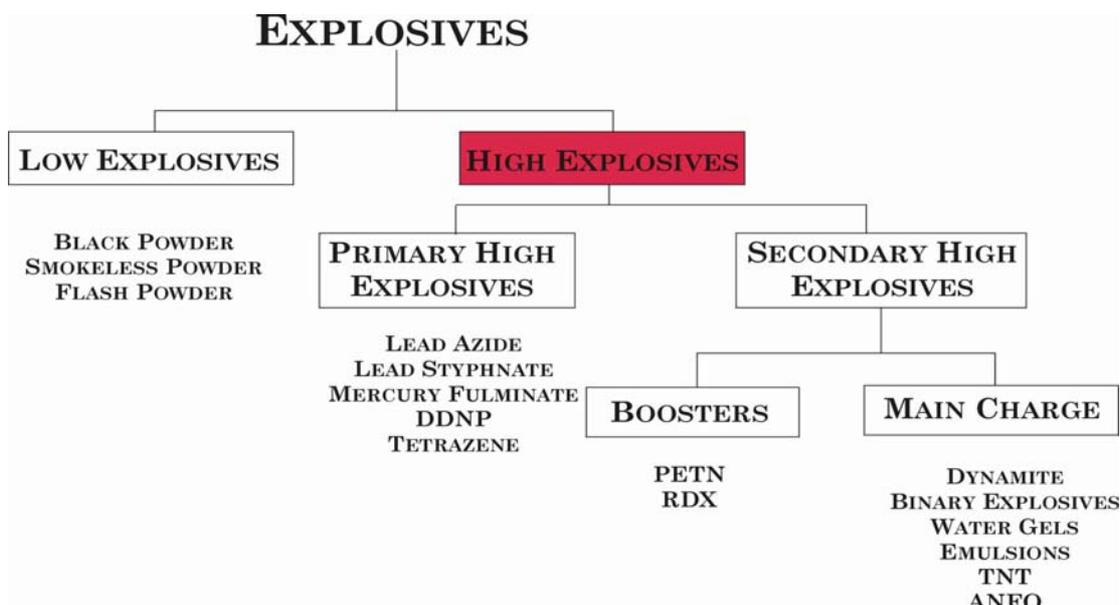
- วัตถุระเบิดที่ใช้ในทางการค้าหรืออุตสาหกรรม ได้แก่ Blasting Gelatin ไนไตรต์ Water gel วัตถุระเบิดแบบหนืด (Emulsion Explosive) ANFO (Ammonium Nitrate and Fuel Oil)

- วัตถุระเบิดที่ใช้ในงานทางทหาร ได้แก่ TNT PETN RDX เป็นต้น

หากพิจารณาชนิดของวัตถุระเบิดจำแนกตามอำนาจของการระเบิด แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- ระเบิดอำนาจต่ำ (Low – Explosive) โดยทั่วไปแล้วปฏิกิริยาการระเบิดวัตถุระเบิดประเภทนี้ จะเป็นการลุกไหม้อย่างรวดเร็ว (deflagration) ทำให้เกิดความร้อนและความดันก๊าซ โดยที่คลื่นกระแทก (shock wave) ที่เกิดจากการระเบิด มีความเร็วในการแล่นผ่านตัววัตถุระเบิดเองน้อยกว่า 1000 เมตรต่อวินาที วัตถุระเบิดที่จัดอยู่ในประเภทนี้ ได้แก่ ดินดำ (black powder)

- ระเบิดอำนาจสูง (High – Explosive) โดยทั่วไปแล้วปฏิกิริยาการระเบิดวัตถุระเบิดประเภทนี้ จะเป็นการสลายตัวรวดเร็วของสารระเบิด (detonation) ทำให้เกิดพลังงานที่เกิดความดันก๊าซ และคลื่นกระแทก (shock wave) ที่สูงมาก โดยที่คลื่นกระแทก (shock wave) ความเร็วในการแล่นผ่านตัววัตถุระเบิดเอง มากกว่า 1000 เมตรต่อวินาที วัตถุระเบิดที่จัดอยู่ในประเภทนี้ ได้แก่ TNT , P.E.T.N , Dynamite และ RDX



ภาพที่ 1 แผนผังวัตถุระเบิดที่จำแนกตามอำนาจของการระเบิด

2.4 การจัดแบ่งประเภทตามอุปกรณ์ที่ใช้ในการจุดระเบิดที่ใช้ในทางการค้า

วัตถุระเบิดที่ใช้ในทางการค้าและอุตสาหกรรม ได้แก่ งานโยธา งานเหมืองแร่และเหมืองหิน และงานพิเศษอื่นๆที่ไม่ใช่เพื่อการทหาร สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ตามคุณสมบัติในการใช้งาน ความยากง่ายในการระเบิด และตามกฎหมายควบคุมการขนส่งซึ่งมักเกี่ยวข้องกับความเร็วในการระเบิดของสารระเบิด หรือวัตถุระเบิดชนิดนั้น ๆ คือ

1. **วัตถุระเบิดแรงต่ำ (Low Explosive)** คือ ระเบิดที่สามารถทำให้เกิดการระเบิดได้โดยการใช้ไฟจุด ทำให้มีการเผาไหม้ของสารเคมีอย่างรุนแรงในพื้นที่จำกัดที่เรียกว่าการ Deflagration ทำให้เกิดแรงดันของก๊าซอย่างมหาศาล จนทำให้เกิดการระเบิดขึ้น ระเบิดแรงต่ำต่างจากระเบิดแรงสูงที่ไม่สามารถทำให้เกิดช็อกเวฟ (Shock wave) วัตถุระเบิดแรงต่ำจะถูกกระตุ้นให้ระเบิดได้ โดยการจุดไฟ ระเบิดแรงต่ำที่ใช้ในงานเหมืองแร่และเหมืองหิน ในปัจจุบัน คือ ผงระเบิดไม่มีควัน (Smokeless Powder) ผงแฟลช (Flash Powder) ดินดำ (Black powder) ซึ่งมีส่วนประกอบ โดยประมาณ ดังนี้

ดินประสิว = 75 %

กำมะถัน = 10 %

ผงถ่าน = 15 %

คนจีนเป็นชาติแรกที่รู้จักการใช้ประโยชน์ดินดำ โดยนำมาใช้ในการทำดอกไม้เพลิง ตั้งแต่คริสต์ศักราชที่ 13 ได้มีการนำดินดำมาใช้งานเหมืองแร่ครั้งแรก ในคริสต์ศักราชที่ 17 เมื่อมีการ

คั้นพบระเบิดแรงสูง ในคริสต์ศักราช ที่ 18 ดินดำได้ลดบทบาทลงมานี้เนื่องจากประสิทธิภาพ และความปลอดภัยในการใช้งาน ด้อยกว่าระเบิดแรงสูงดินดำที่จำหน่ายในปัจจุบัน มีลักษณะเป็นผงสีดำ หรืออัดเป็นแท่งเพื่อใช้ในการอัดระเบิดขนาดเล็ก (1 1/2 นิ้ว) ในประเทศไทยมีการใช้ดินดำเพื่อการระเบิด เพื่อแบ่งหินแกรนิต และหินอ่อน เนื่องจากดินดำมีพลังในการทำลายล้างค่อนข้างต่ำ สามารถใช้ในการระเบิดหินมิติ (Dimension stone) เช่นหินแกรนิต และหินอ่อนได้โดยไม่ทำให้หินแตกร้าวมาก

2. **วัตถุระเบิดชักนำหรือวัตถุระเบิดที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดการระเบิด (Initiating Explosive or Primary High Explosive)** คือ วัตถุระเบิดที่ใช้สำหรับเป็นวัตถุระเบิดชักนำ หรือที่รู้จักกันในนามของเชื้อปะทุหรือแก๊ป (Detonator or Cap) ได้แก่ Lead Azide, Lead Styphnate, Mercury Fulminate, PETN และ RDX เป็นต้น เป็นวัตถุระเบิดที่ใช้ทำเชื้อปะทุเพื่อจุดระเบิดแรงสูง ประกอบด้วยวัตถุระเบิดแรงต่ำและวัตถุระเบิดแรงสูงประกอบเข้าด้วยกัน เมื่อมีการจุดระเบิดวัตถุระเบิดแรงต่ำ จะทำให้มีการกระตุ้นให้วัตถุระเบิดแรงสูงที่ใช้เป็นระเบิดชักนำในเชื้อปะทุหรือแก๊ปเกิดการระเบิด และไปกระตุ้นให้ระเบิดแรงสูง เชื้อปะทุที่อยู่ร่วมกับวัตถุระเบิดแรงสูงเรียกว่า Primer ส่วนวัตถุระเบิดแรงสูงที่ใช้กระตุ้นระเบิดแรงสูงที่เป็นระเบิดหลัก (Main Charge) โดยไม่มีเชื้อปะทุอยู่ด้วยเรียกว่า Booster เกิดการระเบิดขึ้นในลักษณะของปฏิกิริยาลูกโซ่ จากระเบิดที่มีพลังงานน้อยไปสู่วัตถุระเบิดที่มีพลังงานมากกว่า โดยวัตถุระเบิดแรงสูง แตกต่างจากระเบิดแรงต่ำที่ไม่สามารถจะระเบิดได้ โดยการจุดด้วยไฟ การจุดวัตถุระเบิดแรงสูงจำเป็นต้องใช้การกระตุ้นอย่างรุนแรงของเชื้อปะทุหรือแก๊ป สารเคมีที่ใช้ในการทำแก๊ปประกอบด้วยสองส่วนเป็นสำคัญ สองส่วน คือสารเคมีส่วนบนเรียกว่าสารเคมีเริ่มต้น (Primary Charge) กับวัตถุระเบิดที่ประกอบอยู่ส่วนล่าง (Base Charge) ของแก๊ป สารเคมีหรือประจุส่วนบนของแก๊ป (Primary Charge) ที่เรียกว่าสารเคมีเริ่มต้นเป็นสารเคมีที่สามารถจุดระเบิดได้ด้วยไฟได้ดี และมีปฏิกิริยารุนแรงในการระเบิดจนสามารถทำให้เกิดคลื่นกระแทกหรือช็อกเวปไม่มากแต่ก็มากพอที่จะกระตุ้นวัตถุระเบิดที่ประกอบอยู่ส่วนล่างเกิดการระเบิดได้ สารเคมีเหล่านี้ได้แก่ ลีดอาไซด์ (Lead Azide : N_6Pb) ลีดสไตเนต (Lead Styphnate) เมอคิวรีฟูลมิเนต mercury fulminate และ เอ.เอส.เอ (ASA) เป็นต้น สารเคมีเหล่านี้เป็นสารที่จุดระเบิดด้วยไฟได้ง่ายกว่าแต่ผลิตคลื่นกระแทกหรือช็อกเวปได้น้อย ไม่สามารถจุดระเบิดแรงสูงได้ สารเคมีหรือประจุส่วนล่าง (Base Charge) เป็นสารเคมีที่จุดระเบิดด้วยไฟได้ยากกว่าประจุส่วนบนแต่ให้คลื่นกระแทกหรือช็อกเวปได้มากกว่า จึงสามารถชักนำให้วัตถุระเบิดแรงสูงระเบิดได้ดีกว่า มักนิยมใช้เททริล (Tetryl : Trinitrophenylmethylnitramine, $C_7H_5O_8N_5$) พี.อี.ที.เอ็น. (P.E.T.N. : Pentaerythritol tetranitrate, $C_5H_8N_{12}O_4$) และ อาร์.ดี.เอกซ์. (R.D.X. : Cyclotrimethylene trinitramine, $C_3H_6N_6O_6$) เป็นประจุล่างของแก๊ป

3. **วัตถุระเบิดแรงสูงที่เป็นวัตถุระเบิดหลัก (Secondary High Explosive or Main Charge)** คือสารที่ให้ ช็อกเว็บบนขณะที่ระเบิด เช่น ไคโนไมต์ Watergel, Emulsion Explosive, TNT และ ANFO และสายชนวนระเบิด เป็นต้น วัตถุระเบิดแรงสูง มักจะสามารถกระตุ้นให้เกิดการระเบิดได้ด้วยแท็บเบอร์ 6 หรือการกระแทกอย่างแรงจนเกิดเป็น ช็อกเว็บบน เช่น การถูกยิงด้วยกระสุนปืน การถูกฟ้าผ่า เป็นต้น แต่วัตถุระเบิดแรงสูงไม่สามารถกระตุ้นให้ระเบิดได้โดยการจุดไฟ จะต้อง มีแท็บหรือวัตถุที่สามารถผลิตช็อกเว็บบนกระตุ้นให้มีการระเบิด อย่างไรก็ตามกฎหมายมักมีความเข้มงวดในการควบคุม การขนส่งวัตถุระเบิดแรงสูง เป็นพิเศษ กว่าสารประกอบระเบิด

4. **สารประกอบระเบิด (Blasting Agent)** คือ สารประกอบที่ใช้ในการผลิตวัตถุระเบิดแรงสูง หรือวัตถุระเบิดแรงสูงบางชนิด ที่จุดระเบิดได้ยากเช่น วัตถุระเบิดแบบหนืด (Emulsion Explosive) บางชนิด สารประกอบระเบิดนี้กฎหมายของประเทศต่างๆ มักจะมีความเข้มงวดในการควบคุมการขนส่ง น้อยกว่าวัตถุระเบิดแรงสูง เช่น แอมโมเนียมไนเตรท Ammonium nitrate จัดเป็น สารระเบิด (Blasting Agent) เนื่องจาก แอมโมเนียมไนเตรทที่ยังไม่ได้ผสมกับน้ำมันดีเซลจะไม่สามารถกระตุ้นให้ระเบิดได้ จึง มีความปลอดภัยในการขนส่งมากกว่า

2.5 วัตถุระเบิดแรงสูงและสารประกอบวัตถุระเบิดที่นิยมใช้สำหรับผลิตวัตถุระเบิดในทางการค้ามีดังนี้

- Lead Azide (N_6Pb)

มีคุณสมบัติเป็นผงผลึกหรือเป็นเม็ดสีขาว สีครีม สีเหลืองอ่อน จนถึงสีแดงอมชมพู มีความไวในการระเบิดสูง มีความเร็วในการระเบิด (VOD) ประมาณ 16,745 ฟุตต่อวินาที นิยมใช้เป็นวัตถุคิบในการผลิตเชื้อปะทุโดยใช้เป็นประจุ่มเริ่มต้น (Primary Charge) มักใช้ร่วมกับ Lead Styphnate เพื่อให้สามารถจุดระเบิดได้ง่ายขึ้น เมื่อมีความชื้นและสัมผัสกับทองแดงจะทำให้มีความไวในการระเบิดยิ่งขึ้น

- Lead Styphnate ($PbC_6H_2N_3O_8(s)$)

ลักษณะเป็นผลึกสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลน้ำตาล นิยมใช้เป็นวัตถุคิบในการผลิตเชื้อปะทุโดยใช้เป็นประจุ่มเริ่มต้น (Primary Charge) เช่นเดียวกับ Lead Azide โดยทั่วไปจุดระเบิดได้ยากกว่า Lead Azide แต่มีความไวต่อการจุดระเบิดด้วยไฟและไฟฟ้าสถิตได้ง่ายกว่าจึงใช้ผสมกับ Lead Azide เพื่อให้สามารถจุดระเบิดด้วยเปลวไฟได้ง่ายขึ้น มีความเร็วในการระเบิด 17,000 ฟุตต่อวินาที

- Mercury Fulminate (Hg(ONC)₂)

มีลักษณะเป็นผลึกหากบริสุทธิ์มีสีขาว แต่ทั่วไปสีเทาอมเหลือง เมื่อแห้งจะไวต่อความร้อน การขัดสี เปลวไฟ และการกระแทกมาก ความเร็วในการระเบิด 14,780 ฟุตต่อวินาที ในอดีตนิยมใช้เป็นวัตถุระเบิดในการผลิตเชื้อปะทุโดยใช้เป็นประจุล่าง (Base Charge) แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้แล้วเนื่องจากประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการทำงานน้อยกว่า RDX

- Nitroglycerine (C₃H₅N₃O₉)

ไนโตรกลีเซอริน เป็นวัตถุระเบิดแรงสูงที่มีลักษณะเป็นของเหลวหากบริสุทธิ์จะใส ไม่มีสี ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ ได้มีการค้นพบครั้งแรกในปีคริสต์ศักราช 1846 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลีชื่อ Ascanio Sobrero โดยการนำไขมัน (Glycerol) มาผสมกับกรดดินประสิวและกรดกำมะถันที่อุณหภูมิต่ำมากๆ แต่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางการค้าได้ เนื่องจาก ไนโตรกลีเซอรินสามารถระเบิดได้ง่ายมากด้วยแรงกระแทกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ต่อมาในปี คริสต์ศักราช 1867 อัลเฟด โนเบล (Alfred Nobel) ชาวสวีเดน ได้ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาและได้รู้จักวิธีการนำไนโตรกลีเซอรินมาใช้งานทางการค้าได้โดยการนำมาผสมกับน้ำมัน และซิลิกาจนกลายเป็นของเหลวคล้ายแป้งเปียกซึ่งเขาเรียกว่าไดนาไมต์แป้งเปียก (paste dynamite) ซึ่งสามารถกระตุ้นให้เกิดการระเบิดได้ด้วยเชื้อปะทุในสภาวะที่ควบคุมได้ นอกจากนี้ยังใช้ในทางการแพทย์เป็นยาขยายหลอดเลือดสำหรับผู้เป็นโรคหัวใจขาดเลือด

- PETN (Pentaerythrite Tetranitrate :C₅H₈N₁₂O₄)

ได้มีการค้นพบเป็นครั้งแรกในปี คศ. 1901 นิยมใช้เป็นวัตถุระเบิดในการผลิตเชื้อปะทุ โดยใช้เป็น main Charge ใช้ทำสายชนวนระเบิด (Detonating cords) และใช้สำหรับกระตุ้นการระเบิดแรงสูงชนิดอื่น (Cast Boosters) มีลักษณะเป็นผงสีขาวจนถึงสีเทาอ่อนไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ อะซิโตนหรือเบนซิน เป็นวัตถุระเบิดที่เสถียรและมีประสิทธิภาพสูงมากที่สุดชนิดหนึ่งมักใช้ผสมกับวัตถุระเบิดแรงสูงชนิดอื่นเช่น RDX ในทางทหารใช้ทำระเบิดพลาสติกเมื่อถูกกระแทกหรือการเสียดสีสามารถระเบิดได้ง่ายกว่า ทีเอ็นที หรือเทททริล มีความเร็วในการระเบิด 27,200 ฟุตต่อวินาที

- RDX (Cyclotrimethylenetrinitramine, Cyclonite : C₃H₆N₆O₆)

มีลักษณะเป็นผงผลึกสีชมพูจนถึงสีแดงเข้มใช้งานเช่นเดียวกับ PENT คือ ทำเป็นเชื้อปะทุ ทำสายชนวนระเบิด (Detonating cords) ใช้สำหรับกระตุ้นการระเบิดแรงสูงชนิดอื่น มีความเร็วในการระเบิด 27,394 ฟุตต่อวินาที นอกจากนี้ยังใช้ทำยาฆ่าโรคท่อน้ำเสียอีกเสปเรียกว่า Methenamine ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก และอุตสาหกรรมยางอีกด้วย RDX ประมาณ 83 %

ผสมกับขี้ผึ้งหรือวัสดุที่สามารถทำให้มีการป่นเป็นก้อนได้ง่ายอีก 17 % เรียกว่าระเบิดซีโฟ (C4) เป็นวัตถุระเบิดที่ใช้เพื่อการทหาร

- TNT (Trinitrotoluene, C₇H₅N₃O₆)

ทีเอ็นที มีลักษณะเป็นผลึกสีเหลืองอ่อน มีสูตรทางเคมี คือ C₆H₂(NO₂)₃CH₃ หรือ C₇H₅N₃O₆ เป็นสารไฮโดรคาร์บอนมีกลิ่นหอมละลายกลายเป็นของเหลวได้ที่อุณหภูมิ 81 องศาเซลเซียส เป็นสารเคมีที่ใช้เป็นวัตถุระเบิดและส่วนผสมของวัตถุระเบิดแรงสูงหลายชนิดทั้งในทางทหารและใช้ในทางการค้า ทีเอ็นที ที่มีการผลิตที่ได้มาตรฐานจะมีเถียรภาพมากกว่าไนโตรกลีเซอริน และมีความปลอดภัยจากการเสียดสี การกระแทก และไม่มีการดูดความชื้นจึงเก็บไว้ได้นานกว่า โดยทั่วไปจะสามารถจุดระเบิดได้โดยการใช้เชื้อปะทุเท่านั้น ทีเอ็นทีจึงนิยมใช้เป็นวัตถุระเบิดทางการทหารและทางการค้า แต่หากทำปฏิกิริยากับสารประกอบของธาตุหมู่ที่ 1 (alkalis) จะทำให้ไม่เสถียรและง่ายต่อการระเบิดได้ด้วยความร้อนหรือการกระแทก และเนื่องจากทีเอ็นทีเป็นวัตถุระเบิดที่มีพิษและสามารถติดไฟได้ การขนส่ง ทีเอ็นทีจึงต้องให้มีการทำให้ชุ่มด้วยน้ำอย่างน้อย 10 % ของน้ำหนักทีเอ็นทีและต้องมีเครื่องหมาย “วัสดุไวไฟ” ติดไว้อย่างชัดเจน

- Trinitrophenylmethylnitramine (Tetryl : C₇H₅N₅O₈)

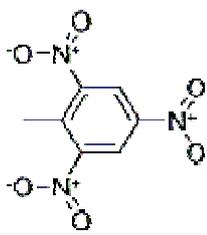
มีลักษณะเป็นผงละเอียดหรือเป็นผลึกสีเหลืองอ่อน ไม่มีกลิ่น สามารถจุดระเบิดได้ด้วยไฟ การเสียดสี การกระแทกใช้มากในสงครามโลกครั้งที่ 2 เป็นวัตถุระเบิดที่มีพลังการระเบิดสูงกว่า ทีเอ็นที แต่ไม่ค่อยเสถียรเท่าทีเอ็นที ทำให้มีการใช้ในทางทหารน้อยกว่า ทีเอ็นที นอกจากนี้ หากสัมผัสกับผิวหนังยังทำให้มีอาการคันหรือปวดแสบปวดร้อนได้ ปัจจุบันนิยมใช้เป็นวัตถุระเบิดในการผลิตเชื้อปะทุและใช้ในการกระตุ้นระเบิดแรงสูงชนิดอื่น (Standard Booster Explosive)

2.6 สารประกอบวัตถุระเบิด (Blasting Agent)

คือ สารประกอบหรือของผสมที่ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญสำหรับใช้ทำวัตถุระเบิดแรงสูง มักเป็นวัสดุที่สามารถให้ออกซิเจน(Oxidizer) สารระเบิดเหล่านี้ไม่ได้จัดเป็นวัตถุระเบิดโดยตัวของมันเอง จะกลายเป็นวัตถุระเบิดได้ก็ต่อเมื่อ ได้มีการผสมกับวัสดุที่จัดเป็นวัสดุจำพวกเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วเท่านั้น ตัวอย่างสารระเบิดที่นิยมใช้ในการทำวัตถุระเบิดในทางการค้ามากที่สุดคือ Ammonium Nitrate (NH₄NO₃)

2.7 คุณสมบัติทางเคมีของสารประกอบวัตถุระเบิด

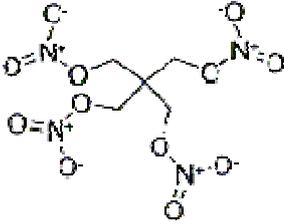
1. TNT(2,4,6-TRINITROTOLUENE)

สูตรโครงสร้าง	
Properties	
Molecular Formula	$C_7H_5N_3O_6$ or $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$
Molar Mass	227.131 g/mol
Boiling Point	295°C
Melting Point	80.35°C
Density	1.654 g/cm ³
<u>Solubility in water</u>	130 mg/L of H ₂ O (20 °C)
<u>Solubility</u>	<u>ether</u> <u>acetone</u> <u>benzene</u> <u>pyridine</u>
Explosive data	
<u>Shock sensitivity</u>	Insensitive
<u>Friction sensitivity</u>	Insensitive to 353 N
<u>Explosive velocity</u>	6900 m/s
<u>RE factor</u>	1.00

(<https://cornellbiochem.wikispaces.com/TNT?f=print>,

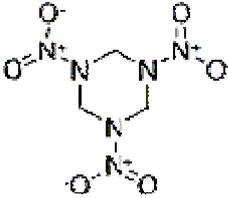
http://www.chemicalbook.com/Search_EN.aspx?keyword=TNT)

2. Nitroglycerin

สูตรโครงสร้าง	
Properties	
Molecular Formula	$C_5H_8N_4O_{12}$
Molar Mass	316.14g/mol
Melting Point	141.3 °C
Density	1.77 g/cm ³ at 20 °C
Explosive data	
<u>Shock sensitivity</u>	Medium
<u>Friction sensitivity</u>	Medium
<u>Explosive velocity</u>	8400 m/s
<u>RE factor</u>	1.66
Hazards	
<u>Autoignition temperature</u>	190 °C

(<http://www.chemicalbook.com>, <http://en.wikipedia.org/wiki/Nitroglycerin>)

3. RDX (1,3,5-Trinitro-1,3,5-triazacyclohexane)

สูตรโครงสร้าง	
Properties	
Molecular Formula	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆
Molar Mass	222.12 g/mol
Melting Point	205.5 °C
Boiling point	234 °C
Density	1.82 g/cm ³
Explosive data	
Shock sensitivity	Low
Friction sensitivity	Low
Explosive velocity	8750 m/s
RE factor	1.60

(<http://en.wikipedia.org/wiki/RDX>,

http://www.chemicalbook.com/Search_EN.aspx?keyword=RDX)

2.7 คุณสมบัติของวัตถุระเบิด (EXPLOSIVE PROPERTY)

พลังหรือความแรงในการระเบิด (Strength) หมายถึงพลังความสามารถในการระเบิดของวัตถุระเบิด ที่สามารถผลิตแรงระเบิดและทำให้หินแตกได้ ผู้ผลิตวัตถุระเบิดแต่ละรายใช้วิธีการวัดความแรงในการระเบิด ด้วยวิธีต่างๆกัน ประสิทธิภาพของวัตถุระเบิดบางชนิดจะสูงขึ้น กว่าเมื่อใช้งานในรูระเบิดขนาดเล็ก

ความไวในการระเบิด (Sensitivity) คือ ความยากง่ายในการระเบิดของวัตถุระเบิดวัดได้จากพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการกระตุ้นให้วัตถุระเบิดชนิดนั้นๆ จุกระเบิด วัตถุระเบิดบางชนิดสามารถจุกระเบิดได้ง่ายเช่น ไดนาไมต์ และวัตถุระเบิดแบบหนืดบางชนิดที่สามารถจุกระเบิดได้ด้วยเชื้อประทุตามธรรมดา การใช้เก็บเพียงอย่างเดียวไม่สามารถที่จะจุกระเบิด ANFO และวัตถุระเบิดแบบหนืดบางชนิดได้ จำเป็นต้องใช้วัตถุระเบิดที่จุกระเบิดได้ง่ายกว่าเช่น ไดนาไมต์ เป็นตัวช่วยในการจุกระเบิด เรียกว่า Booster ตารางข้างล่างนี้เป็นตัวอย่างความยากง่ายในการจุกระเบิดของวัตถุระเบิดบางชนิด วัตถุระเบิดที่ใช้สำหรับประกอบเป็นเชื้อปะทุมักจะมี ความไวในการระเบิดสูง จึงสามารถจุกระเบิดโดยไม่ตั้งใจได้ง่ายเช่นเมื่อได้รับความร้อนการกระแทก ไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้ารั่ว แรงอัด การเสียดสี เปลวไฟ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นคลื่นวิทยุ เป็นต้น

ตารางที่ 3 ความไวในการจุกระเบิดของวัตถุระเบิดชนิดต่างๆ

ชนิดของวัตถุระเบิด	ความยากง่ายในการระเบิด (HAZARD SENSITIVITY)	ความไวในการใช้งาน (PERFORMANCE SENSITIVITY)
ไดนาไมต์ชนิดเม็ด (Granular Dynamite)	ปานกลางถึงง่าย	ดีเยี่ยม
ไดนาไมต์ชนิดหนืด (Gelatin Dynamite)	ปานกลาง	ดีเยี่ยม
วัตถุระเบิดแบบหนืด (Bulk Slurry)	ยาก	ดี - ดีมาก
วัตถุระเบิดแบบหนืดชนิดแท่ง (Cartridged Slurry)	ยาก	ดี - ดีมาก
ANFO หลวม (Poured ANFO)	ยาก	ดี
ANFO บรรจุแท่ง (Packaged ANFO)	ยาก	ดี - ดีมาก

ความหนาแน่น (Density) คือ หน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรของวัตถุระเบิด ความหนาแน่นของวัตถุระเบิด ที่สามารถบรรจุได้ในรูระเบิดขนาดหนึ่งๆ เรียกว่าความหนาแน่นที่สามารถบรรจุได้ที่ขนาดรูระเบิดนั้นๆ (Loading Density) ความถ่วงจำเพาะของวัตถุระเบิด คือ อัตราส่วนของน้ำหนักวัตถุระเบิด ต่อน้ำหนักของน้ำเมื่อมีปริมาตร เท่ากัน มักใช้ความหนาแน่นของวัตถุระเบิดในการเปรียบเทียบความแรงของวัตถุระเบิดต่างชนิดกัน หรือผลิตที่โรงงานต่างกัน เมื่อบรรจุในรูระเบิดขนาดเท่ากัน วัตถุระเบิดที่มีความหนาแน่นมากกว่ามัก จะมีพลังในการระเบิดมากกว่า วัตถุระเบิดบางชนิดที่มีความหนาแน่นเท่ากันเมื่อนำไปใช้ในรูระเบิดที่มีขนาดโตกว่า จะทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ในการศึกษาจะทำการวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิดในเชิงคุณภาพ โดยใช้เทคนิค Gas Chromatograph / Mass Spectrometer (GC/MS)

2.8 หลักการพื้นฐานของเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด



ภาพที่ 2 เครื่อง Gas Chromatograph / Mass Spectrometer (GC/MS)

เป็นเทคนิคที่เริ่มนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำนายชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารได้อย่างค่อนข้างแม่นยำโดยอาศัยการเปรียบเทียบ fingerprint ของเลขมวล (mass number) ของสารตัวอย่างนั้น ๆ กับข้อมูลที่มีอยู่ นอกจากนี้เทคนิคนี้ยังมีความสามารถในการวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ (quantitative analysis) และเชิงคุณภาพ (qualitative analysis) ได้อย่างถูกต้อง Mass Spectrometer เป็น detector ที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง โดยอาศัยกลไกคือโมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง GC นั้นจะถูกไอออไนซ์ในสถานะที่เป็นสุญญากาศ แล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (mass number) เทียบกับข้อมูลอ้างอิงแล้วแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้น ๆ

กลไกการแยกของสารใน GC เทคนิคโครมาโตกราฟีเป็นวิธีการแยกสารโดยการกระจายตัวของสารที่แตกต่างกันระหว่าง 2 เฟส คือ mobile phase และ stationary phase ความแตกต่างของระยะเวลาที่สารประกอบถูกหน่วงอยู่ในคอลัมน์ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความสามารถในการละลายของสารประกอบ ดังนั้นอันตรกิริยาระหว่าง stationary phase กับสารประกอบแต่ละตัวแตกต่างกันสารจึงถูกชะออกจากคอลัมน์ได้ต่างกัน โครมาโตกราฟีสามารถแบ่งตามลักษณะของ mobile phase ได้ 2 ประเภท คือ แก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography, GC) และ ลิกวิดโครมาโตกราฟี (Liquid Chromatography, LC) สำหรับเทคนิคใน GC นั้นยังจำแนกตามลักษณะของ stationary phase ได้เป็น 2 เทคนิคดังนี้

1. stationary phase เป็นของแข็ง เป็นเทคนิคการแยกด้วยคอลัมน์ โดยการเกิดการดูดซับ (Adsorption) ของสารกับ เฟสอยู่ที่เรียกเทคนิคนี้ว่า Gas Solid Chromatography หรือ GSC ส่วนใหญ่ใช้ในการแยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยเฉพาะในการทดสอบแก๊ส เช่น H_2S และ CH_3OH

2. stationary phase เป็นของเหลวถูกตรึงหรือเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาคของแข็งที่เป็นตัวรองรับ เป็นการแยกด้วยคอลัมน์เช่นกัน กลไกการแยกคือ การพาร์ติชัน (Partition) ของสารองค์ประกอบระหว่าง mobile phase กับ stationary phase เทคนิคดังกล่าวนี้คือ Gas Liquid Chromatography หรือ GLC เป็นเทคนิคที่นิยมใช้มากถึง 90 % ในปัจจุบัน

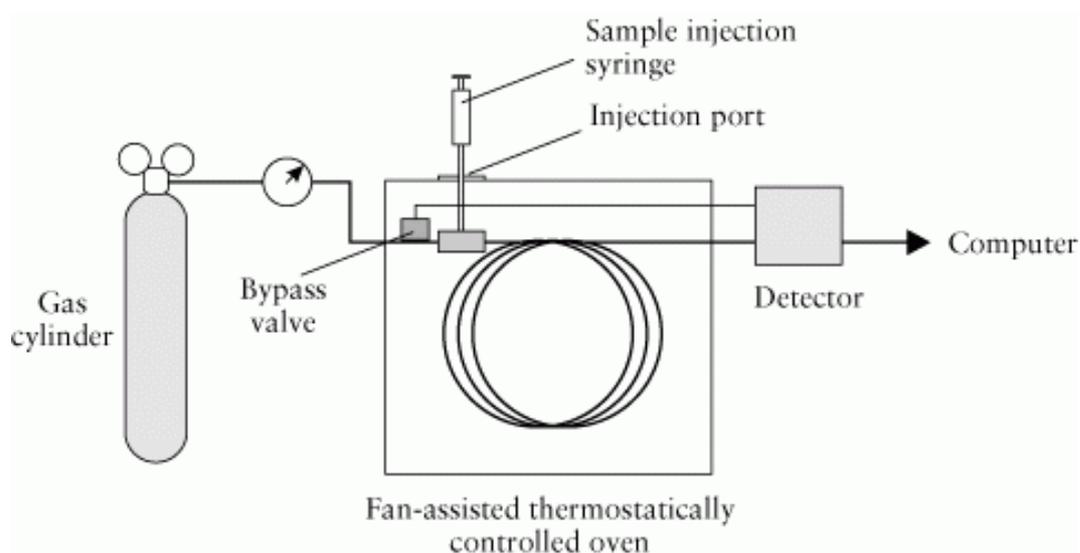
หลักการทำงานของเครื่อง GC-MS นั้นเริ่มจากนำตัวอย่างฉีดเข้าเครื่อง GC จากนั้นสารก็จะถูกแยกออกเป็นองค์ประกอบต่าง ๆ เมื่อผ่านเข้าสู่ column ที่อยู่ใน oven จากนั้นองค์ประกอบใดที่ถูกแยกออกมาจาก column ก่อนก็จะผ่านเข้าไปในส่วน of เครื่อง MS ซึ่งมีสถานะเป็นสุญญากาศก่อน แล้วเข้าไปเจอกับ ion source ซึ่งจะทำหน้าที่ไอออไนซ์โมเลกุลที่ผ่านเข้ามาให้กลายเป็นประจุ จากนั้นประจุเหล่านี้ก็จะเดินทางผ่านเครื่องคัดเลือกและแยกแยะขนาดของประจุ (mass analyzer) เพื่อดูว่าประจุเหล่านั้นประกอบไปด้วยขนาดมวลเท่าใดบ้าง ก่อนที่จะเดินทางเข้าสู่เครื่องตรวจวัด

(detector) เพื่อทำการตรวจหาปริมาณของประจุแล้วแปลผลออกมาเป็นปริมาณขององค์ประกอบแต่ละตัวที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง

2.9 Gas Chromatograph (GC)

ทำหน้าที่ในการแยกองค์ประกอบของสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอ (Volatile organic compounds) ได้เมื่อถูกความร้อน กลไกที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบต่างๆ ในสารตัวอย่างอาศัยหลักของความชอบที่แตกต่างกันขององค์ประกอบในตัวอย่างที่มีต่อเฟส 2 เฟส คือ Stationary phase และ Mobile phase

องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่อง GC สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบพื้นฐานของ GC

1. Injector คือ ส่วนที่สารตัวอย่างจะถูกฉีดเข้าสู่เครื่องและระเหยเป็นไอก่อนที่จะเข้าสู่ Column อุณหภูมิที่เหมาะสมของ injector ควรเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างสามารถระเหยได้แต่ต้องไม่ทำให้สารสลายตัว ตัวอย่างของ injector ได้แก่ Split, Splitless, On column
2. Oven คือ ส่วนที่ใช้สำหรับบรรจุ Column และเป็นส่วนที่ควบคุมอุณหภูมิของ Column ให้เปลี่ยนไปตามความเหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ คอลัมน์ที่ใช้ในการแยกสารด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีมี 2 ประเภทคือ

2.1 Packed Column เป็นคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ ความยาวของคอลัมน์มักจะไม่เกิน 10 เมตร ภายในคอลัมน์ตันบรรจุด้วย stationary phase

2.2 Capillary Column เป็นคอลัมน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก แต่มีความยาวมาก ภายในกลวง stationary phase ถูกเคลือบอยู่ที่ผนังด้านในของคอลัมน์

ตารางที่ 4 ความแตกต่างระหว่าง Packed และ Capillary column

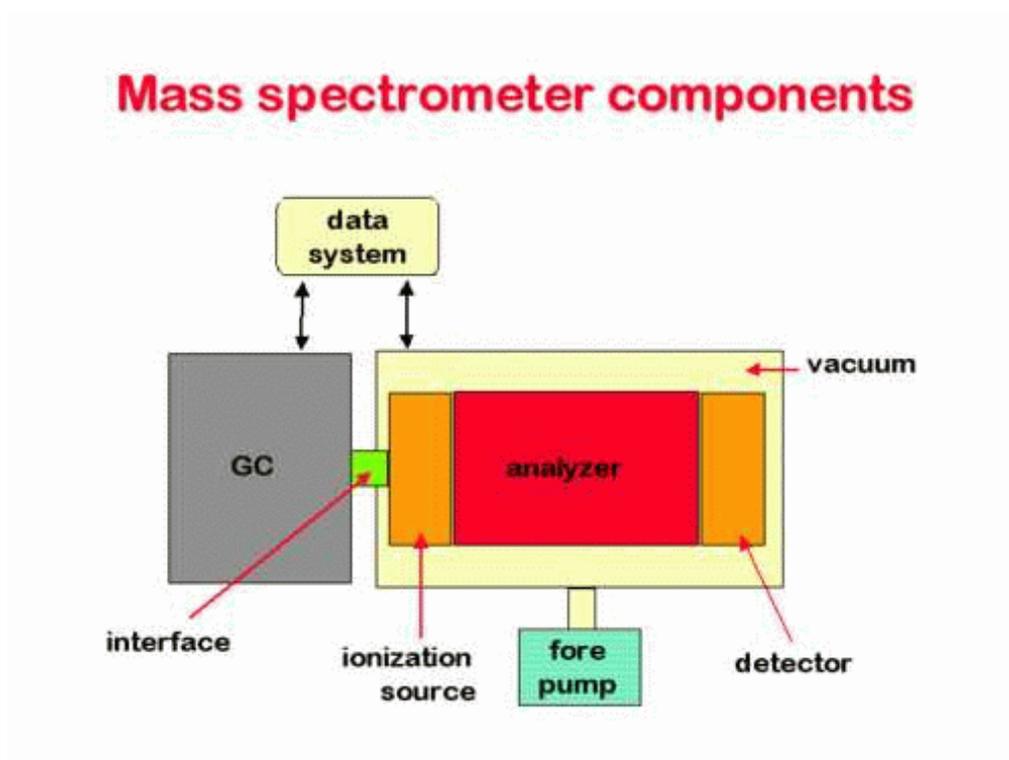
ลำดับที่	รายการ	Packed column	Capillary column
1	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์	2 – 4 มิลลิเมตร	0.1 – 0.53 มิลลิเมตร
2	ความยาวคอลัมน์	0.5 – 10 เมตร	5 – 100 เมตร
3	ด้านในของคอลัมน์	ตัน	กลวง
4	อัตราการไหลของแก๊สพา (mm/min)	10 –60	0.3 – 5
5	รับตัวอย่างได้	ปริมาณมาก	ปริมาณน้อย
6	ความสามารถฉีดตัวอย่าง	Split/Splitless ไม่ได้	Split/Splitless ได้
7	ลักษณะพีคของสารประกอบ	Broaden peak	Sharp peak
8	จำนวนเพลททางทฤษฎีของคอลัมน์	ประมาณ 500	ประมาณ 5,000
9	บรรจุ stationary phase	สามารถทำได้เอง	ไม่สามารถทำได้
10	ราคา	ถูก	แพง

การควบคุมอุณหภูมิของ Oven นั้นมี 2 แบบ คือ Isocratic Temperature และ Gradient Temperature

3. Detector คือ ส่วนที่จะใช้สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและดูว่าสารตัวอย่างชนิดที่เราสนใจมีปริมาณอยู่เท่าใด

2.10 Mass Spectrometer (MS)

เป็น Detector ที่ใช้ตรวจวัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างโดยอาศัยกลไก คือ โมเลกุลขององค์ประกอบที่ถูกแยกออกมาจากสารตัวอย่างโดยเครื่อง GC จะถูกทำให้กลายเป็นไอออนในสถานะสุญญากาศแล้วตรวจวัดออกมาเป็นเลขมวล (Mass number) เทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง แล้วแปลผลออกมาเป็นชื่อขององค์ประกอบนั้น ๆ



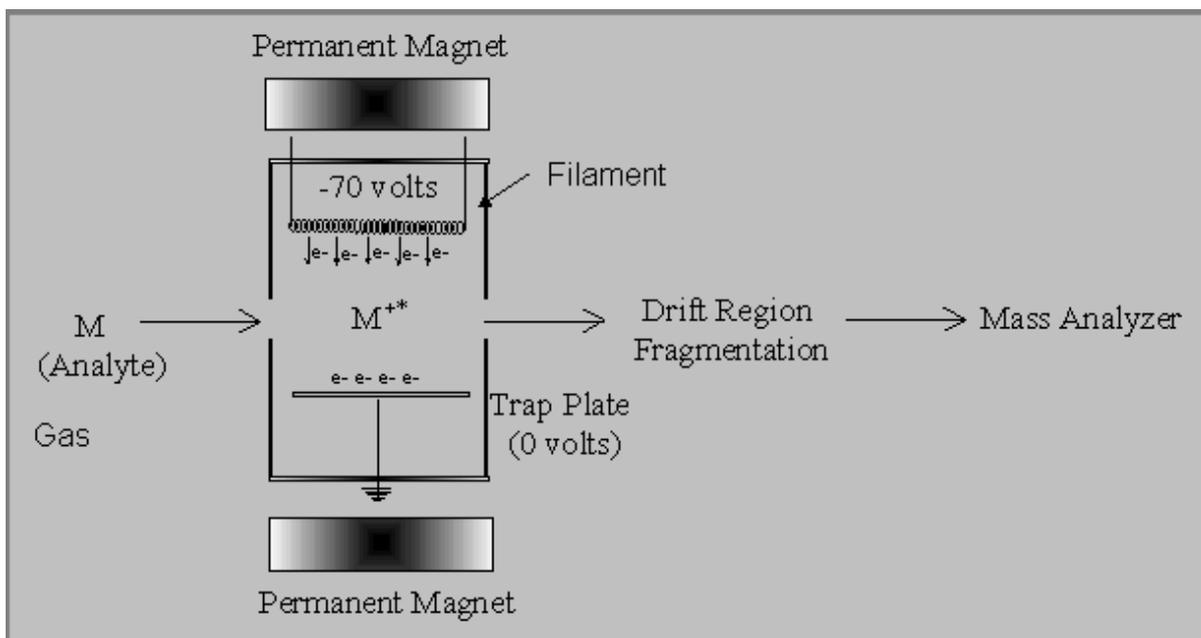
ภาพที่ 4 ส่วนประกอบพื้นฐานของ MS

องค์ประกอบสำคัญของ MS แบ่งออกเป็น

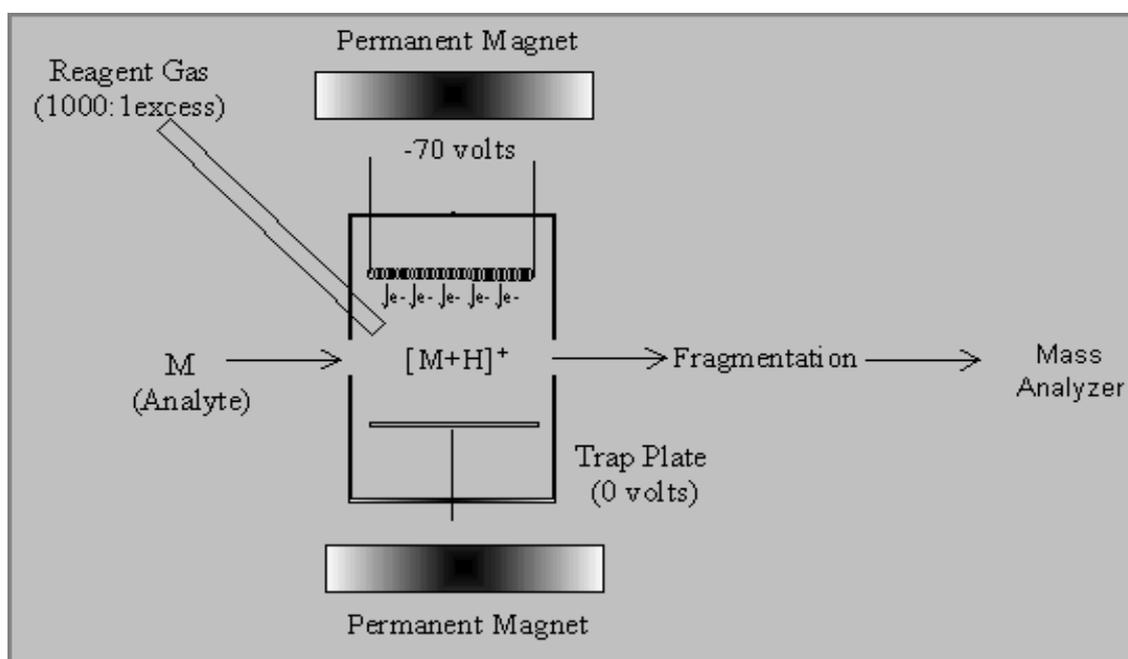
1. Ionization Source แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

Electron Ionization (EI) เป็นการทำให้สารเกิด Fragment โดยใช้ลำ Electron ซึ่ง Ionization chamber ต้องมีความดันต่ำประมาณ 10^{-8} Torr โดย Electron จาก Filament ที่ร้อนจะถูกโฟกัสผ่านห้องนี้และถูกดึงเข้าหา repeller voltage ที่มีความต่างศักย์ 70 โวลต์ ซึ่งจะให้พลังงานกับ Electron เป็น 70 eV ทำให้ของผสมที่ซับซ้อนของไอออนเกิดการแตกหัก (Fragmentation ion) ที่สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและความอุดมสมบูรณ์ (Relative abundance)

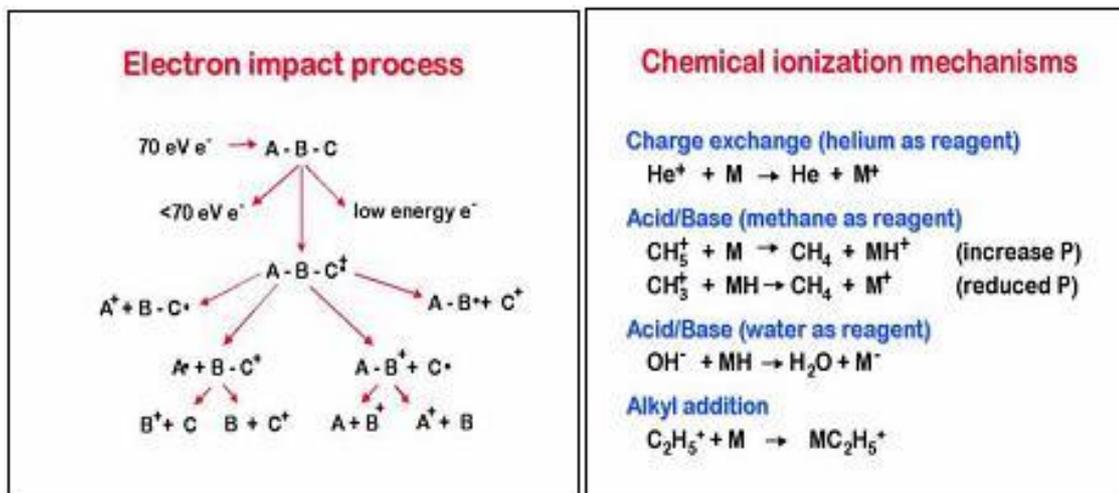
Chemical Ionization (CI) เป็นการทำให้สารเกิดการ Fragment ด้วยวิธีทางเคมี โดยผสมสารตัวอย่าง (ความดัน 10^{-4} Torr) เข้ากับแก๊สที่ทำปฏิกิริยาด้วย (ความดัน 1 Torr) แล้วผ่านสารผสมเข้าไปใน Ionization chamber โดยการทำให้เกิดการ Fragment ด้วยการชนกับ Electron เช่นเดียวกันแก๊สที่ใช้ได้แก่ Methane, Isobutane, Ammonia



ภาพที่ 5 กระบวนการเกิด Electron Ionization



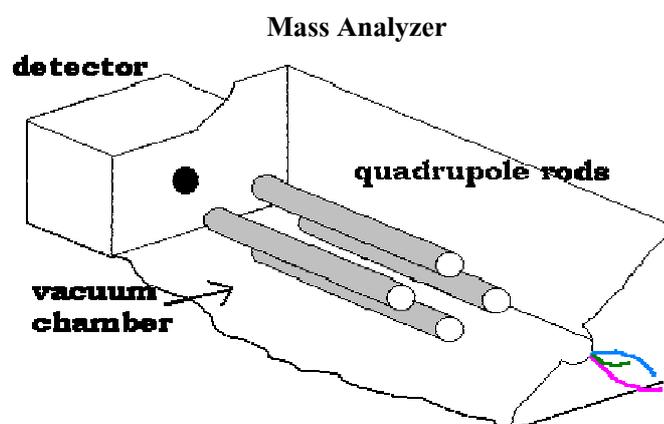
ภาพที่ 6 กระบวนการเกิด Chemical Ionization



ภาพที่ 7 กลไกการเกิด fragment ของ EI และ CI

2. Mass Analyzer

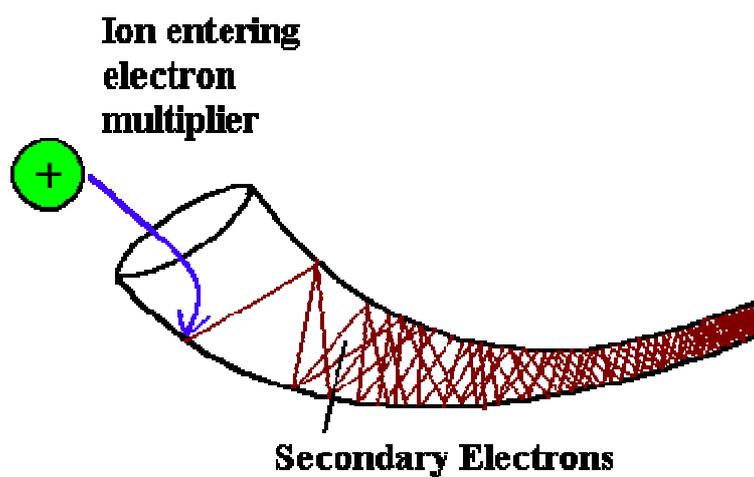
เป็นเครื่องวิเคราะห์มวล มีหลายแบบ คือ Magnetic - sector analyzer , Electrostatic Analyzer , Time-of-flight analyzer , Ion cyclotron resonance analyzer , Quadrupole mass spectrometer-Quadrupole Mass Spectrometer ใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยสนามแม่เหล็ก คือ เป็น Path-stability mass spectrometer ซึ่งมีแหล่งผลิต Ion source 2 ส่วนโดยส่วนแรกจะทำให้ตัวอย่างกลายเป็นไอออน และส่วนที่ 2 ทำให้สารมาตรฐานกลายเป็นไอออนถ้าไอออนทั้งสองจะถูกบังคับให้ผ่านเครื่องแยกไอออนชุดเดียวกัน ดังนั้นไอออนทั้งหมดจะได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กในสถานะเดียวกัน แต่ถูกตรวจและวัดด้วยเครื่อง Detector แยกกันซึ่งมีข้อดีคือทำให้สามารถวัดมวลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ



ภาพที่ 8 ส่วนประกอบของ Mass Analyzer

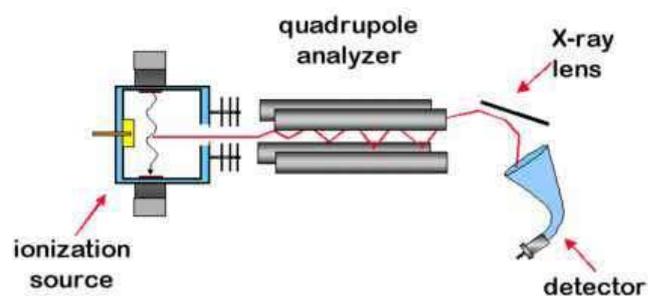
3. Detector

ที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายอย่าง คือ Faraday cup dectector, Electron multiplier detector, Scintillation counter dectector, Photographic plate dectector



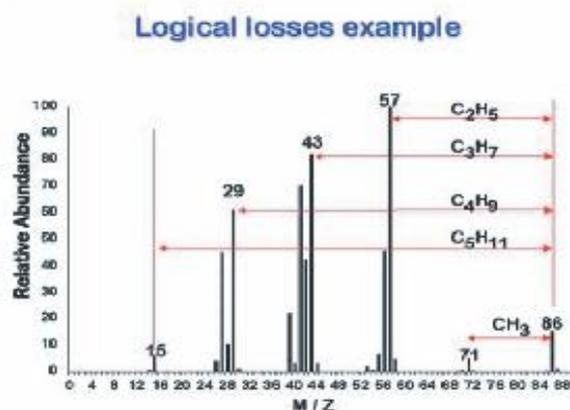
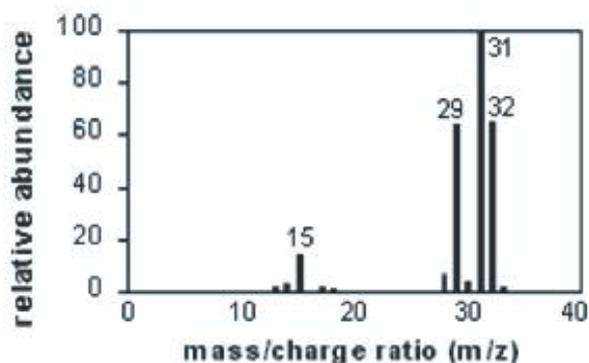
Quadrupole

Schematic of a quadrupole MS system.



Original image available from

http://ull.chemistry.uakron.edu/gcms/MS_detector/index.html



ภาพที่ 10 Interpreting spectra

- Low Resolution MS มีประสิทธิภาพในการแยกไอออนได้ต่ำ คือ สามารถแยกไอออนที่มีมวลต่างกันเพียงเล็กน้อย (เป็นจำนวนเต็ม)
- High Resolution MS มีประสิทธิภาพในการแยกไอออนได้สูง สามารถแยกไอออนที่มีมวลต่างกันได้ในหลักทศนิยม

ข้อดีของ GC-MS

1. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบทั่วไปและแบบเฉพาะเจาะจงให้ Sensitivity ที่สูง
2. สามารถบ่งชี้ชนิดขององค์ประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้
3. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

ข้อเสียของ GC-MS

1. ราคาแพง และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องสูง
2. ต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญสูง

ตารางที่ 5 เครื่องตรวจวัดต่างๆ ไปที่ใช้ในเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

เครื่องตรวจวัด	ประเภท	Support gases	การเลือกจำเพาะ	ความสามารถในการตรวจวัด	Dynamic range
Flame Ionization (FID)	Mass flow	ไฮโดรเจน และอากาศ	สารประกอบอินทรีย์โดยส่วนใหญ่	100 pg	107
Thermal Conductivity (TCD)	ความเข้มข้น	สารมาตรฐาน	ใช้งานได้ทั่วไป	1 ng	107
Electron Capture (ECD)	ความเข้มข้น	Make-up	แฮไลด์ ไนเตรต ไนไตร เปอร์ออกไซด์ แอนไฮไดรด์ โลหะอินทรีย์	50 fg	105
Nitrogen-Phosphorus	Mass flow	ไฮโดรเจน และอากาศ	ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส	10 pg	106
Flame Photometric (FPD)	Mass flow	ไฮโดรเจน อากาศ ออกซิเจน	กำมะถัน ฟอสฟอรัส ดีบุก โบรอน อาร์เซนิก เจอร์มาเนียม เซเลเนียม โครเมียม	100 pg	103
Photo Ionization (PID)	ความเข้มข้น	Make-up	อะลิฟาติกส์ อะโรมาติกส์ คีโตน เอสเทอร์ แอลดีไฮด์ เอมีน เฮเทอโรไซคลิก organosulphurs และ โลหะอินทรีย์ บางประเภท	2 pg	107

2.11 การทดสอบความใช้ได้ในการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพของวิธีวิเคราะห์

1. ความจำเพาะเจาะจง (Specificity /Selectivity)

การศึกษาความจำเพาะเจาะจงของวิธี คือ การศึกษาว่าวิธีนั้น มีการตอบสนองต่อสารที่กำลังศึกษาเพียงอย่างเดียวหรือตอบสนองต่อสารอื่นที่มีในตัวอย่าง หรือต่อ species อื่น ๆ ของสารที่กำลังศึกษาด้วย ถ้ามีการตอบสนองต่อสารอื่น ๆ ที่ไม่สารที่ศึกษาเพียงอย่างเดียวแสดงว่าวิธีนั้นไม่มีความจำเพาะเจาะจง และสารอื่น ๆ เหล่านี้จะทำให้เกิด systematic error

การทดสอบความจำเพาะเจาะจงเชิงปริมาณเป็นสิ่งที่ยุ่งยากเพราะจะต้องมีการศึกษาที่ความเข้มข้นของสารที่สนใจ และสารที่อาจรบกวนเหล่านั้นหลายระดับ ดังนั้น การทดสอบเชิงคุณภาพจึงเป็นที่ยอมรับ ซึ่งทำได้โดยการใช้ สารมาตรฐาน, matrix blanks, Spiked matrix blanks, กรณีที่ไม่สามารถหา matrix blank ได้ ก็อาจใช้ blanks อื่นๆ ที่เหมาะสมได้

- **solvent blank /reagent blank** หมายถึง blank ที่เตรียมตามขั้นตอนวิธีทดสอบทั้งหมด โดยไม่เติมตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของสารเคมี solvent รวมทั้งเครื่องมือ และเครื่องแก้วที่ใช้

- **Sample blank, matrix blank, solution blank** หมายถึง blank ที่เตรียมตามขั้นตอนวิธีทดสอบทั้งหมด โดยมี matrix ของตัวอย่างที่ไม่มีสารที่สนใจทดสอบ (Analyte) หรือมีสารนั้นน้อยมาก เพื่อตรวจสอบการรบกวนโดยสารอื่นที่มีในตัวอย่าง

- **Fortified sample** หมายถึง ตัวอย่างที่มีการเติมสารที่ต้องการทดสอบเพื่อเพิ่มสัญญาณของสารนั้นในการทดสอบเพื่อ ศึกษา % recovery ของวิธีทดสอบ

- **Spiked sample** หมายถึง ตัวอย่างที่มีการเติมสารที่ต้องการทดสอบหรือสารอื่นเพื่อเพิ่มสัญญาณของสารนั้นในการทดสอบเพื่อศึกษา % recovery ของวิธีทดสอบ อาจเป็นการ spiked เพื่อศึกษาผลของการเติม เช่น การ spiked สารปนเปื้อนเพื่อหาระดับความเข้มข้นที่อาจมีผลต่อการทดสอบที่สนใจในตัวอย่าง

- **Sample of known analyze content** หมายถึง ตัวอย่างที่ทราบค่าแน่นอนของสารที่สนใจทดสอบที่มีอยู่ในองค์ประกอบ สามารถนำมาใช้เป็น reference material ได้

- **Reference standard** หมายถึง วัสดุหรืออุปกรณ์มาตรฐานที่มีคุณภาพระดับสูง ใช้สำหรับสอบเทียบเท่านั้นไม่ได้ กำหนดให้ใช้สำหรับงานอื่น และให้เก็บรักษา และใช้งานในสถานที่ที่กำหนด

- **Certified reference material (CRM)** หมายถึง วัสดุอ้างอิงที่ค่าของสมบัติอย่างหนึ่ง ที่ได้รับการรับรอง โดยวิธีที่ถูกต้องทางวิชาการพร้อมมีใบรับรองหรือสามารถสอบกับได้ไปยัง ใบรับรองหรือเอกสารอื่นใดที่ออกโดยหน่วยงานที่ให้การ รับรองใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือ ประเมินการทดสอบหรือใช้ในการกำหนดค่าให้กับวัสดุอื่น

การทดสอบความจำเพาะเจาะจง

- กรณีที่มี matrix blank

วิเคราะห์ matrix blank กับ spiked matrix blank ถ้าสัญญาณของ matrix blank น้อยมากเมื่อเทียบกับสัญญาณของ spiked matrix blank แสดงว่าไม่มีการรบกวนจากสารอื่นใน ตัวอย่าง (ยกเว้นการวิเคราะห์สารตกค้าง ซึ่งค่าของ blank มักจะใกล้เคียงกับ analyte ที่ระดับ detection limit)

- กรณีไม่มี matrix blank

วิเคราะห์ตัวอย่างโดยใช้วิธีที่กำลังศึกษา และยืนยันด้วยเทคนิคอื่น โดยเฉพาะ เทคนิคที่ให้ spectral data เช่น mass spectrometry (MS), atomic emission spectrometry (AES), NMR, IR, UV, fluorescence เป็นต้น โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ทั้งนี้ต้องทำ method blank ด้วย เพื่อ identify interference อื่น ๆ ที่นอกเหนือจาก sample matrix

- กรณีที่มีวิธีมาตรฐานที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อ sample matrix นั้น

วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธีที่กำลังศึกษา เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน ถ้าพบว่ามี การรบกวน ต้องหาสาเหตุและแก้ไข หากพบว่ามีมากจาก matrix จะต้องปรับ (optimize) หรือ ดัดแปลง (modify) วิธีให้ดีขึ้น

2. ความเที่ยง (Precision)

ความเที่ยงเป็นคุณลักษณะเฉพาะของวิธีที่แสดงถึงความใกล้เคียงกันของผลการวิเคราะห์ ซ้ำภายใต้สภาวะที่กำหนด ความเที่ยงจะบอกระดับความคลาดเคลื่อนสุ่ม (random error) ที่เกิดขึ้น โดย ทั่ว ๆ ไปการแสดงความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ แสดงได้หลายแบบ เช่น การทวนซ้ำได้ (repeatability) หรือ การทำซ้ำได้ (reproducibility) ซึ่งทั้ง 2 แบบนี้จัดเป็น extreme measures ถือเป็น ความเที่ยงที่มีค่าแคบที่สุด และกว้างที่สุด

การทวนซ้ำได้ เป็นตัวบอกระดับความแปรปรวนที่เกิดขึ้นเมื่อนักวิเคราะห์หนึ่งคนทำการ ทดลอง ตัวอย่างหนึ่งซ้ำ ๆ กัน หลายครั้งในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน โดยใช้เครื่องมือชุดเดิม และวิธีเดียวกัน แสดงค่าในรูปของ RSD ส่วนการทำซ้ำได้เป็นตัวบอกระดับความแปรปรวนที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการ

วิเคราะห์ตัวอย่างชุดเดียวกัน โดยห้องปฏิบัติการหลายแห่งโดยวิธีเดียวกัน (นักวิเคราะห์หลายคน เครื่องมือต่างชุดกัน เวลาต่างกัน สิ่งแวดล้อมต่างกัน) แสดงค่าในรูป RSD

การตรวจสอบความเที่ยง (precision) และความถูกต้อง (trueness) ของกระบวนการวัดที่จัดทำโดยห้องปฏิบัติการเดียว ในกรณีที่มีวัสดุอ้างอิงรับรอง (certified reference materials, CRMs)

ห้องปฏิบัติการสามารถวัดวัสดุอ้างอิงรับรองในสภาวะการวัดซ้ำ แล้วประเมินความเที่ยงโดยเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานภายในห้องปฏิบัติการ (within-laboratory standard deviation) ภายใต้สภาวะของการวัดซ้ำ (repeatability condition) หรือสภาวะอื่นที่กำหนด กับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่กำหนด (required value of standard deviation) ประเมินความถูกต้องโดยการเปรียบเทียบค่าความเอนเอียง (bias) กับความเที่ยงของกระบวนการวัด ความเอนเอียงคำนวณจากผลต่างของค่าเฉลี่ยของผลการวัดกับ ค่ารับรอง (certified value) ของ CRM

โดยทั่วไป การระบุ ความเที่ยง จะระบุในรูปของ % RSD แต่เนื่องจากความเที่ยงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร ดังนั้นจึง ควรหาค่า %RSD ที่ความเข้มข้นหลายระดับโดยระบุระดับความเข้มข้นด้วย ในการ ทดสอบวิธีวิเคราะห์ อาจแสดงความเที่ยงเป็นค่า %RSD ที่ใหญ่ที่สุดเพียงค่าเดียวได้ ถ้าความแปรปรวนที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ ไม่แตกต่างจากความแปรปรวนที่ระดับความเข้มข้นสูง ๆ ในช่วงการใช้งาน

สำหรับงานวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) อาจแสดง ความเที่ยงในรูปของ อัตราการเกิด true and false positive (and negative) โดยควรหาที่ความเข้มข้นหลาย ๆ ระดับที่สูงกว่าและต่ำกว่า ระดับ threshold

$$\% \text{ false positive} = \frac{\text{false positive} \times 100}{\text{total known negatives}}$$

$$\% \text{ false negative} = \frac{\text{false negative} \times 100}{\text{total known negatives}}$$

2.1 การหาค่าความเที่ยง

เตรียมตัวอย่าง หรือ RM ที่จะใช้ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ใน working range โดยแต่ละระดับเตรียมให้มีปริมาณมากพอสำหรับการวิเคราะห์เพื่อการศึกษา ความเที่ยง อย่างน้อย 10 ซ้ำ ทั้ง repeatability หรือ within-laboratory reproducibility

2.2.1 Repeatability

2.2.1.1 วิเคราะห์ตัวอย่างที่เตรียมไว้ทุกระดับความเข้มข้น ระดับละ 10 ซ้ำ โดยนักวิเคราะห์คนเดียวกัน เครื่องมือชุดเดียวกัน ในเวลาเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน

2.2.1.2 คำนวณค่า SD ของแต่ละความเข้มข้น

2.2.1.3 คำนวณ % RSD จะได้ repeatability ที่ความเข้มข้นนั้น ๆ

$$\text{โดยที่ \% RSD} = \frac{sd}{x} \times 100$$

2.2.2 Within laboratory reproducibility

2.2.2.1 วิเคราะห์ตัวอย่างที่เตรียมไว้ทุกระดับความเข้มข้น ระดับละ 10 ซ้ำ โดยนักวิเคราะห์คนเดียวกัน หรือมากกว่า 1 คน ในเวลาต่างวันกันซึ่งอาจเป็นเวลาหลายสัปดาห์

2.2.2.2 คำนวณค่า SD ของแต่ละความเข้มข้น

2.2.2.3 คำนวณ %RSD ตามสมการ $\frac{sd}{x} \times 100$ จะได้ within laboratory

reproducibility ของแต่ละความเข้มข้น

2.2.3. เกณฑ์การยอมรับความเที่ยง

การประเมินการยอมรับสามารถทำได้หลายวิธี เช่น กรณีที่ไม่มีการกำหนดค่าที่ยอมรับได้ไว้อย่างชัดเจน จะประเมินได้โดยการเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จาก Horwitz's equation และ HORRAT (Horwitz ratio) ตามที่ระบุใน The AOAC manual for the peer Verified Methods program (1993) หรือในกรณีที่มีการเปรียบเทียบความเที่ยงของสองวิธีก็ใช้ F – test ในการประเมินได้

3. ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection , LOD)

Limit of detection (LOD) เป็นความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สนใจในตัวอย่างที่วิธีทดสอบสามารถตรวจวัดได้ด้วยความเชื่อมั่น 99 % โดยที่ความเข้มข้นระดับนี้ ไม่อาจบอกเป็นปริมาณที่มีความถูกต้อง และเที่ยงตรงในระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากความไม่แน่นอนมีค่าสูง

โดยทั่วไปการกำหนดค่า LOD นั้น กำหนดจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณจากการวัดค่า blank (s) ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 99 % โดยถือว่าผลของการทดสอบมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้น LOD จึงมีค่าเป็น 3s อย่างไรก็ตามในการทดสอบทางเคมี การทำซ้ำมาก ๆ เป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้ เนื่องจากต้องใช้ตัวอย่างปริมาณมาก เสียค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูง และเสียเวลาโดยไม่จำเป็น จำนวนซ้ำ (n) มักจะมีค่าน้อย การแจกแจงของข้อมูลถือว่าเป็นแบบ

t-distribution (ซึ่งคล้ายกับการแจกแจงแบบปกติ) ดังนั้น LOD จึงเท่ากับ $t(\text{one-tailed}, 0.01, n-1) \times S$ และเพื่อให้ค่า t มีค่าเท่ากับ 3 โดยประมาณจึงต้องมีการทดสอบอย่างน้อย 7 ซ้ำ

3.1 การคำนวณสัญญาณของ sample blank ที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด

วิธีนี้ sample blank ต้องสามารถอ่าน สัญญาณได้ (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เท่ากับศูนย์ และสัญญาณที่ได้ต้องไม่ได้มาจากการมีสารที่สนใจ)

3.1.1 วิเคราะห์ sample blank 7 – 10 ซ้ำ ($n = 7 - 10$) ซ้ำ ละ 1 ครั้ง

3.1.2 กำหนดค่าความเข้มข้น และความเข้มข้นเฉลี่ย (\bar{x}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) ของ sample blank

$$3.1.3 \text{ ค่า LOD จากสูตร } LOD = \bar{x} + 3s$$

3.2 การคำนวณจากสัญญาณของ spiked sample blank

ควรใช้วิธีนี้ในกรณีที่ sample blank ไม่สามารถอ่านสัญญาณได้

3.2.1 เติมสารมาตรฐานของสารที่สนใจลงใน sample blank โดยเติมที่ระดับต่ำสุดที่ยอมรับได้

3.2.2 วิเคราะห์ spiked sample blank จากข้อ 3.2.1. จำนวน 7 ซ้ำละ 1 ครั้ง

3.2.3 กำหนดค่า s

$$3.2.4 \text{ ค่า LOD จากสูตร } LOD = 3s$$

3.3 การคำนวณจากจุดตัดของกราฟเส้นตรงที่ plot ระหว่างค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ spiked sample blank กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3.1 เติมสารมาตรฐานของสารที่สนใจลงใน sample blank ให้มีความเข้มข้นหลายระดับ โดยระดับแรกไม่ควรห่างจากศูนย์มากนัก และระดับอื่น ๆ ควรมีระยะห่างเท่า ๆ กัน

3.3.2 วิเคราะห์ spiked sample blank ระดับละ 7 ซ้ำ

3.3.3 กำหนดค่า \bar{x} และ s ของแต่ละระดับความเข้มข้น

3.3.4 Plot graph ระหว่าง \bar{x} และ s โดยให้ \bar{x} อยู่บนแกน X และ s อยู่บนแกน Y หาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่าง \bar{x} และ s

3.3.5 ถ้ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ลากเส้นกราฟตัดแกน Y จุดตัดคือ S_0 (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นศูนย์)

$$3.3.6 \text{ ค่า LOD จากสูตร } LOD = 3 S_0$$

ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) เท่านั้น

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2003 Stephance Calderara และคณะ ได้ทำการทดลองศึกษา fiber ที่เหมาะสม สำหรับการตรวจวิเคราะห์หาสารประกอบวัตถุระเบิด ซึ่งทำการศึกษา fiber 4 ชนิด โดยเครื่อง GC/ECD พบว่า fiber PDMS/DVB เหมาะสำหรับการตรวจวิเคราะห์หาสารประกอบวัตถุระเบิดที่สุด เมื่อเทียบกับ fiber ชนิดอื่น ๆ

ปี 2005 Jeffrey G. McDonald และคณะ ได้ทำการศึกษาการพัฒนาและทดสอบ Solid Phase Microextraction สำหรับการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์กลุ่มไนโตร โดยใช้ GC/ECD และ GC/MS พบว่า เมื่อทำเปรียบเทียบ SPME และการใช้ acetone ในการสกัด จาก ตัวอย่างวัตถุระเบิดในดิน , ในน้ำ และจากการเข้ดตัวอย่างหลังจากการระเบิด ปรากฏว่า SPME จะ ให้ผลที่ดีกว่าในด้าน selectivity , stability

ปี 2007 Dan Muller และคณะ ได้ทำการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบใน ตัวอย่างทดลองเก็บจากสถานที่ระเบิด โดยทำการเปรียบเทียบเครื่อง GC/MS/MS กับ GC/TEA พบว่าเครื่อง GC/MS/MS สามารถวิเคราะห์สารประกอบ Nitro group เช่น 2,6-DNT, 4-NDPA และ 2-NDPA ได้ และยัง สามารถวิเคราะห์สารที่ไม่มีเขม่า (smokeless powder) ที่ไม่มีกลุ่ม Nitro group เช่น EC, DPA และ DBP ได้ด้วย ในขณะที่ Gas Chromatograph/Thermal Energy Analysis (GC/TEA) ไม่สามารถวิเคราะห์ได้

ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยต่างๆ ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษหา วิธีการตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- Gas chromatograph Mass spectrometer (GC/MS) บริษัท Agilent รุ่น 5975 C inert XL
- Ultrasonicate
- Centrifuge
- Auto pipette ขนาด 20, 100, 200 μ l
- Beaker ขนาด 25 ml
- Vial ขนาด ขนาด 20 ml
- Tip
- ฝักอช
- นาฬิกาจับเวลา

3.2 สารเคมี

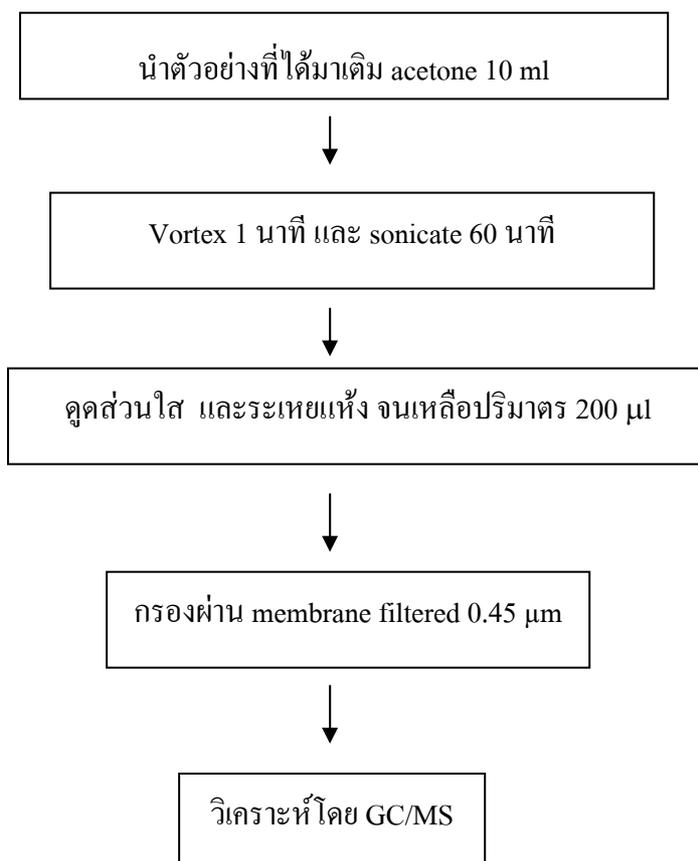
ลำดับที่	สารเคมี	แหล่งที่มา
1	Standard nitroglycerin 100 μ g/ml	บริษัทแสงวิทย์ ชายนันท์
2	Standard 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) 100 μ g/ml	บริษัทแสงวิทย์ ชายนันท์
3	Standard cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) 100 μ g/ml	บริษัทแสงวิทย์ ชายนันท์
4	Methanol	บริษัท Merck
5	Acetonitrile	บริษัท Merck
6	Acetone	บริษัท Merck

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเก็บตัวอย่าง

- เก็บตัวอย่างจากสถานที่เกิดเหตุจริง โดยทำการเช็ดคราบเขม่าจากบริเวณต่าง ๆ เช่น บริเวณกำแพง พื้นถนน หรือเสาไฟฟ้า
- ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ผ้าก๊อชชุบ Acetone เช็ดตามบริเวณคราบเขม่าที่ต้องสงสัย
- นำตัวอย่างที่ได้ทั้งหมดบรรจุในขวดแก้ว ปิดฝาให้สนิท เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสารอื่น ๆ ที่อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวอย่าง

3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง



3.3.3 การหาความจำเพาะเจาะจง (Specificity / Selectivity)

1. เตรียมสารมาตรฐาน nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณของเนื้อสาร 15 µg
2. นำสารแต่ละชนิด 150 µl Spike ลงบนฝักก๊อช ที่อยู่ใน vial ขนาด 20 ml
3. เติม acetone 10 ml แล้วปิดฝาพร้อมด้วยพันพาราฟินส์ และ Vortex 1 นาที
4. ทำการ sonicate 1 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง
5. ดูดส่วนใสที่ได้ และทำการระเหยให้แห้งเหลือประมาณ 200 µl
6. ทำการละลายด้วย acetone 200 µl กรองผ่าน membrane filtered 0.45 µm
7. นำ vial ที่ได้ไปทดสอบด้วย Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC/MS)
8. บันทึกผลและคำนวณหา Resolution ของสาร

3.3.4 การสร้างกราฟสารละลายมาตรฐาน (Calibration curve)

เปิดสารละลายมาตรฐานของ nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) จาก Stock Solution ที่ความเข้มข้น 100 µg/ml ดังนี้

ขวดที่	ปริมาณของเนื้อสาร(µg)	ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน (µl)		
		Nitroglycerin	TNT	RDX
1	10	100	100	100
2	15	150	150	150
3	20	200	200	200
4	25	250	250	250

- แต่ละขวดสารมาตรฐานทำการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ซ้ำ

วิธีการทดลอง

นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์ด้วยสภาวะเดียวกันการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบวัตถุระเบิดที่มีอยู่ในตัวอย่าง นำผลการทดลองไปสร้างเป็นกราฟสารละลายมาตรฐานที่มีความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับปริมาณของเนื้อสาร (µg)

3.3.5 การหาค่า LOD และ LOQ

1. ใช้ Acetone เป็น Blank โดยวิเคราะห์ด้วยสภาวะเดียวกันกับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบวัตถุระเบิด ทำซ้ำ 10 ครั้ง
2. นำผลที่ได้ไปคำนวณหา LOD ซึ่ง $LOD = 3SD$, $LOQ = 10SD$ โดยนำจุดสูงสุดของกราฟมาบวกด้วยจุดต่ำสุดของกราฟ แล้วหาร 2 เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละกราฟ แล้วนำไปหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งจะสามารถหาค่า LOD และ LOQ ออกมาได้ โดยการแทนค่า $3SD$ และ $10SD$ ลงในกราฟมาตรฐานแต่ละชนิด

3.3.6 Precision

1. ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างตามวิธีการวิเคราะห์หา Nitroglycerin , 2,4,6 - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) โดยทำการ Spike สารมาตรฐานจาก Stock Solution ที่ความเข้มข้น $100 \mu\text{g/ml}$ ลงไปในฝักก๊อช ที่อยู่ใน vial ขนาด 20 ml ดังนี้

ขวดที่	ปริมาณของเนื้อสาร(μg)	ปริมาณสารละลายมาตรฐาน (μl)		
		Nitroglycerin	TNT	RDX
1	20	200	200	200

2. ทำการเตรียมตัวอย่างฝักก๊อช โดยเติม acetone 10 ml แล้วปิดฝาพร้อมด้วยพันพาราฟิน และ Vortex 1 นาที
3. ทำการ sonicate นาน 1 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง
4. คูดส่วนใสที่ได้ และทำการระเหยให้แห้งเหลือประมาณ $200 \mu\text{l}$
5. ทำการละลายด้วย Acetone $200 \mu\text{l}$ กรองผ่าน membrane filtered $0.45 \mu\text{m}$
6. นำ vial ที่ได้ไปทดสอบด้วย Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) ทำการทดสอบจำนวน 7 ซ้ำ โดยตรวจวิเคราะห์ภายในวันเดียวกัน
7. หาค่าเฉลี่ยของ Retention time ของสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของสารแต่ละตัวในแต่ละครั้งที่วิเคราะห์ และจะได้ค่า Precision = $(SD / \bar{X}) \times 100$ ออกมา

3.3.7 %Recoveries

1. ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างตามวิธีการวิเคราะห์หา Nitroglycerin , 2,4,6 - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) โดยทำการ Spike สารมาตรฐานจาก Stock Solution ที่ความเข้มข้น 100 µg/ml ลงไปในฝักก๊อช ที่อยู่ใน vial ขนาด 20 ml ดังนี้

ขวดที่	ปริมาณของเนื้อสาร (µg)	ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน (µl)		
		Nitroglycerin	TNT	RDX
1	15	150	150	150
2	20	200	200	200

2. ทำการเตรียมตัวอย่างฝักก๊อช โดยเติม acetone 10 ml แล้วปิดฝาพร้อมด้วยพันพาราฟิน และ Vortex 1 นาที

3. ทำการ sonicate นาน 1 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง

4. คูดส่วนใสที่ได้ และทำการระเหยให้แห้งเหลือประมาณ 200 µl

5. ทำการละลายด้วย Acetone 200 µl กรองผ่าน membrane filtered 0.45 µm

6. นำค่าพื้นที่ใต้พีคที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละครั้งไปหาปริมาณของเนื้อสารตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน

7. หาค่าเฉลี่ยของปริมาณของเนื้อสาร และ %Recoveries

3.3.8 การวิเคราะห์ตัวอย่างจริงที่เก็บจากที่เกิดเหตุ (20 ตัวอย่าง)

1. ทำการตรวจวิเคราะห์หาสารประกอบทางเคมีของวัตถุระเบิด จากตัวอย่างที่เก็บมาจากที่เกิดเหตุจากที่ต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ด้วยสภาวะเดียวกันกับการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบวัตถุระเบิด

2. นำตัวอย่างที่ 1 เติม acetone 10 ml แล้วปิดฝาพร้อมด้วยพันพาราฟิล์ม และ Vortex 1 นาที

3. ทำการ sonicate เป็นเวลา 1 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง

4. คูดส่วนใสที่ได้ และทำการระเหยให้แห้งเหลือประมาณ 200 µl

5. ทำการละลายด้วย acetone 200 µl กรองผ่าน membrane filtered 0.45 µm

6. นำ vial ที่ได้ไปทดสอบด้วย Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)
7. ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 2 - 20 ที่เตรียมไว้ตามขั้นตอนข้อที่ 1 - 6
8. นำค่าพื้นที่ที่ได้พีคที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละครั้งไปหาปริมาณของเนื้อสารตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน

บทที่ 4

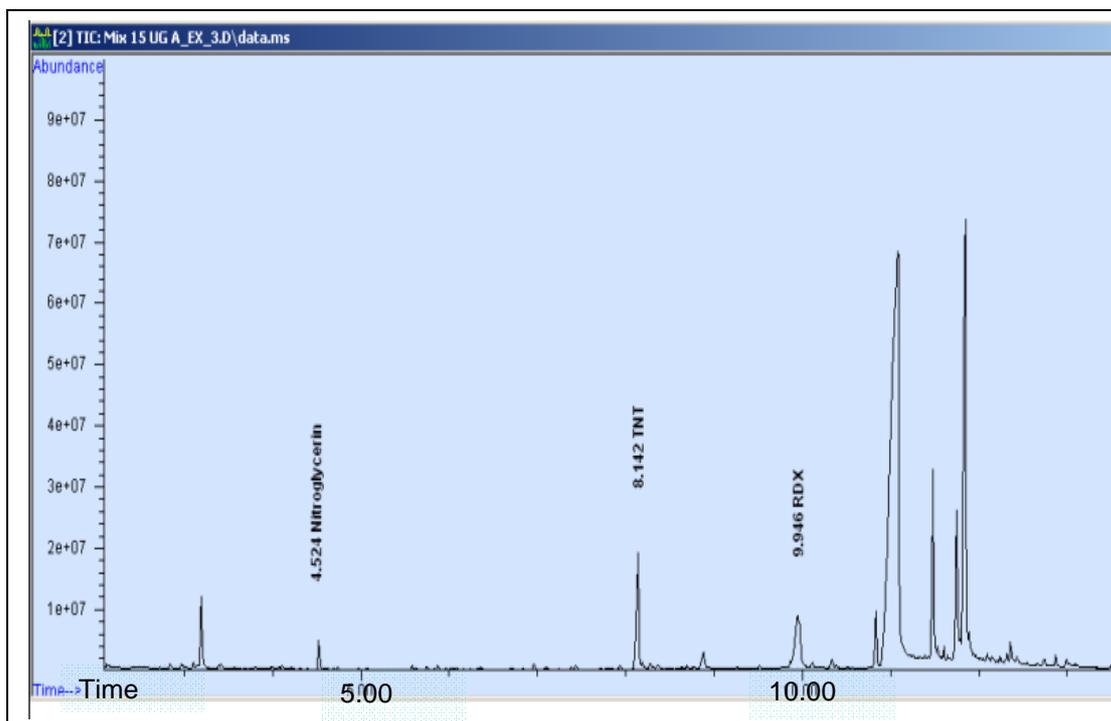
ผลการทดลอง

จากการทดลองสารประกอบวัตถุระเบิด 3 ชนิด คือ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Gas chromatograph/Mass spectrometer (GC/MS) มีเครื่องตรวจวัดเป็น Mass Spectrometry เนื่องจากสารประกอบวัตถุระเบิดทั้ง 3 ชนิดนี้มีการตรวจพบและเป็นองค์ประกอบหลักในระเบิดชนิด TNT, dynamite และระเบิด C4 และโดยเฉพาะในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ในการศึกษาหาการพิสูจน์ความถูกต้องของวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค Gas chromatography/Mass spectrometer (GC/MS) สารประกอบวัตถุระเบิด 3 ชนิด คือ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) เนื่องจากสารทั้ง 3 ชนิดนี้มีสถิติการตรวจพบในคดีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

ในงานวิจัยนี้มีการทดลองดังนี้ คือ Specificity, Precision, Limit of detection (LOD) และการวิเคราะห์ตัวอย่างจริงจากที่เกิดเหตุ

4.1 ความจำเพาะเจาะจงของวิธีวิเคราะห์ (Specificity)

ทำการตรวจวิเคราะห์ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotri- methylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณของเนื้อสาร 15 μg โดยเทคนิค Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS) ให้ผลดังนี้



ภาพที่ 11 Chromatogram ของ Nitroglycerin , 2,4,6 - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotri-methylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณของเนื้อสาร 15 µg

จากการทดลอง พบว่าวิธีการวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิดทั้ง 3 ชนิด โดยเทคนิค Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS) นี้ มีความจำเพาะเจาะจงของวิธีวิเคราะห์ (Specificity) เนื่องจาก Chromatogram ของการสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด มีพีคที่แยกออกจากกันชัดเจน ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 6 ผล Retention Time (min) ของสารมาตรฐาน

Peak No.	สารมาตรฐาน	Retention Time (min)	SD
1	Nitroglycerin	4.505	0.0075
2	TNT	8.140	0.0048
3	RDX	9.931	0.0081

เมื่อกำหนดค่า Resolution ตามสมการ ได้ค่า Resolution ของสารประกอบวัตถุระเบิดทั้ง 3 ชนิด ผลการทดลองดังนี้

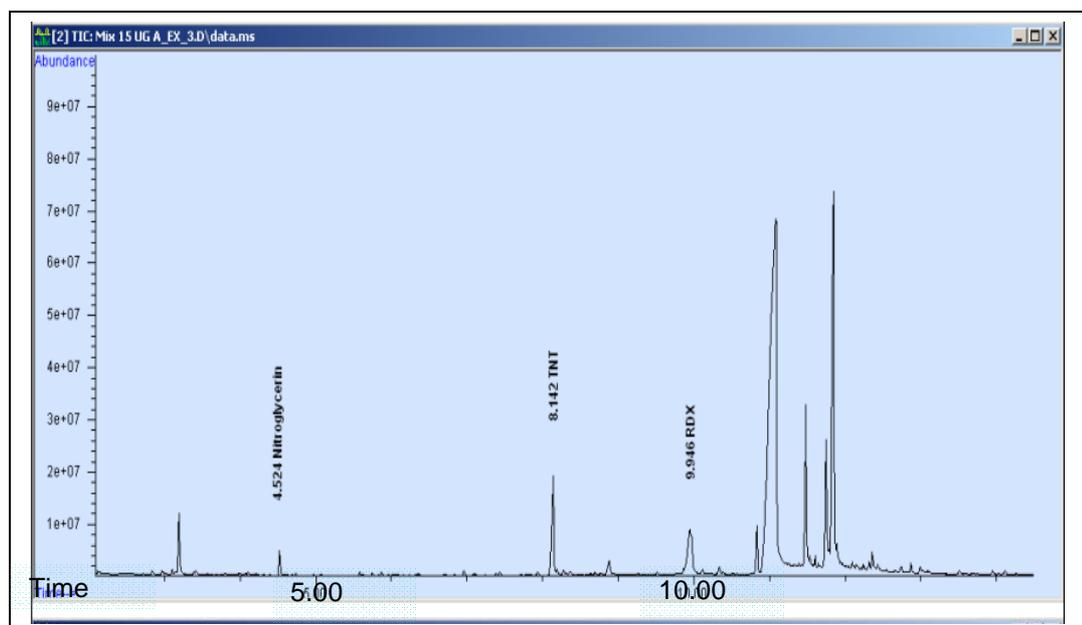
ตารางที่ 7 ผล Resolution ของสารมาตรฐาน

Resolution	สารมาตรฐาน
80.80	Nitroglycerin เทียบกับ 2,4,6 - trinitrotoluene (TNT)
41.47	2,4,6- trinitrotoluene (TNT) เทียบกับ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)

จากตารางที่ 7 พบว่าวิธีการตรวจพิสูจน์ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และCyclotrimethylenetrinitramine (RDX) โดยเทคนิค Gas Chromatography / Mass Spectrometry (GC/MS) นี้ มีความจำเพาะเจาะจงของวิธีวิเคราะห์ (Specificity) เนื่องจากค่า Resolution ของ Nitroglycerin เทียบกับ 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) มีค่ามากกว่า 1.5 และ Resolution ของ 2,4,6 - trinitrotoluene (TNT) เทียบกับ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) มีค่ามากกว่า 1.5 แสดงว่า Chromatogram ของการผสมสารมาตรฐานทั้ง 3 สารนั้นมีพีคที่แยกออกจากกันชัดเจน

4.2 การสร้างกราฟสารละลายมาตรฐานของสารประกอบวัตถุระเบิดที่มีอยู่ในตัวอย่าง

Chromatogram ของสารละลายมาตรฐานของ Nitroglycerin , 2,4,6,- trinitrotoluene(TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) เป็นดังนี้



ภาพที่ 12 Chromatogram ของ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)

จาก Chromatogram ของสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 8 หมายเลขพีคและเวลาของสารละลายมาตรฐาน 3 ชนิด

สารมาตรฐาน	Peak No.	Retention Time (min)
Nitroglycerin	1	4.505
TNT	2	8.140
RDX	3	9.931

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่ได้พีคกับปริมาณของเนื้อสารของ Nitroglycerin

ปริมาณของเนื้อสาร (μg)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่ได้พีค
10	3303102
15	5957843
20	9603246
25	13148234

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่ได้พีคกับปริมาณของเนื้อสารของ
2,4,6- trinitrotoluene (TNT)

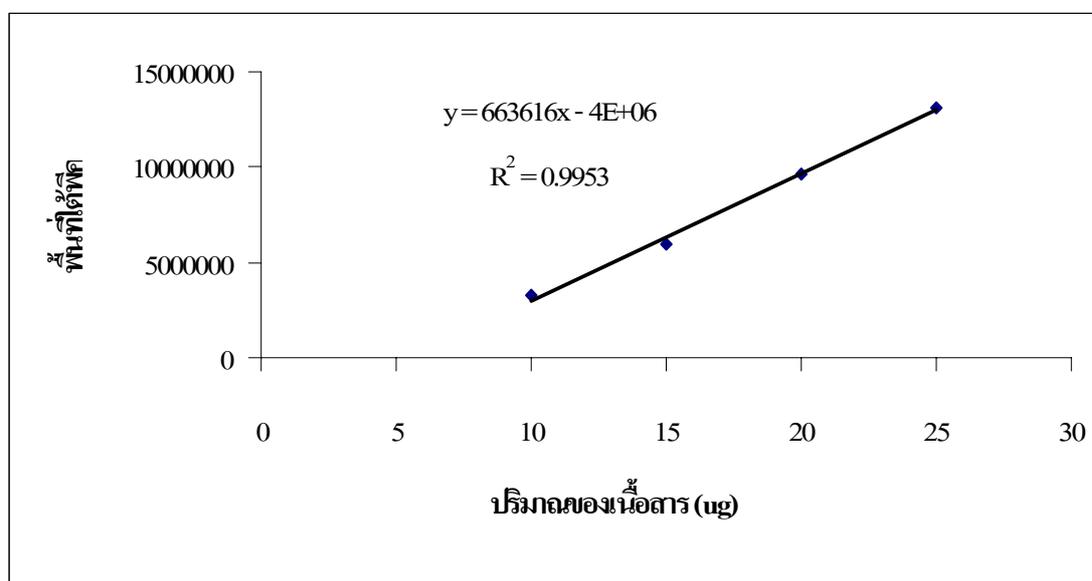
ปริมาณของเนื้อสาร (μg)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่ได้พีค
10	25397611
15	42883872
20	57440158
25	76764329

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่ได้พิกกับปริมาณของเนื้อสารของ
Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)

ปริมาณของเนื้อสาร (μg)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่ได้พิก
10	9882886
15	23643885
20	40817165
25	60466208

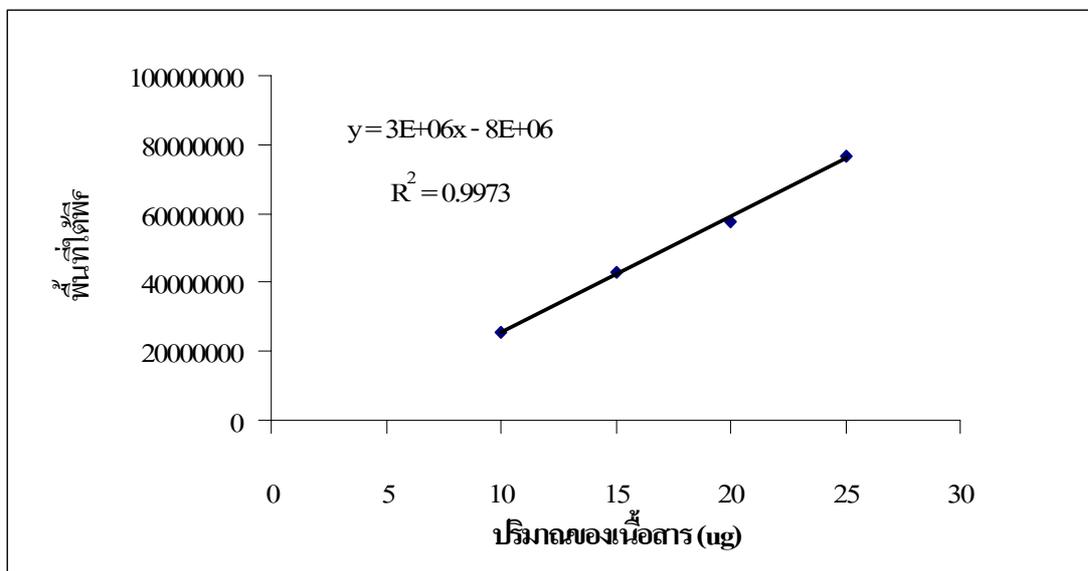
นำพื้นที่ที่ได้พิกกับปริมาณของเนื้อสาร (μg) ของสารละลายมาตรฐานมาสร้างกราฟ
มาตรฐาน (Calibration curve) ได้ผลดังนี้

1. Standard Nitroglycerin ที่ปริมาณของเนื้อสาร 10, 15, 20 และ 25 (μg)



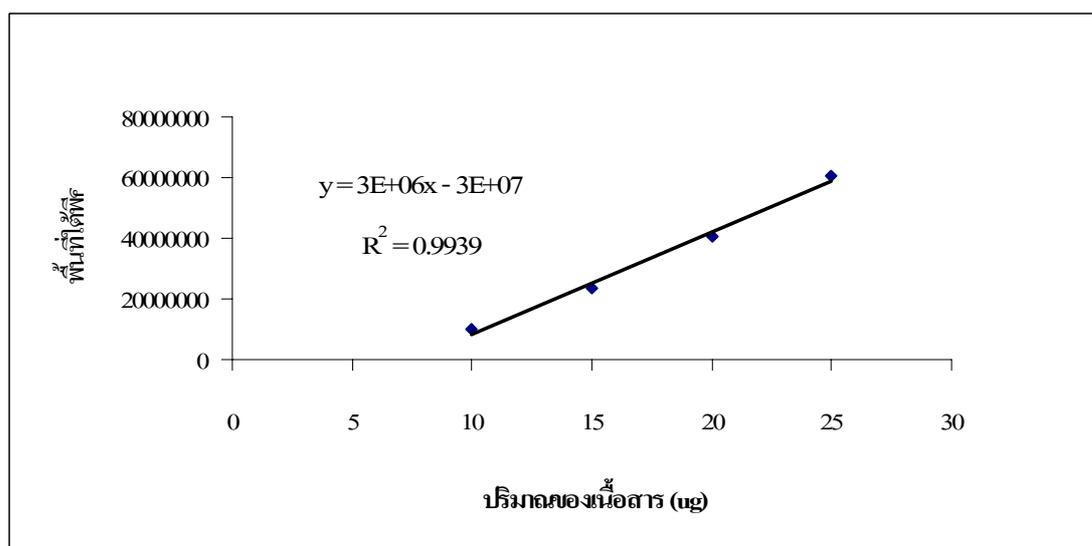
ภาพที่ 13 กราฟสารละลายมาตรฐาน Nitroglycerin

2. Standard 2,4,6,- trinitrotoluene (TNT) ที่ปริมาณของเนื้อสาร 10, 15, 20 และ 25 (μg)



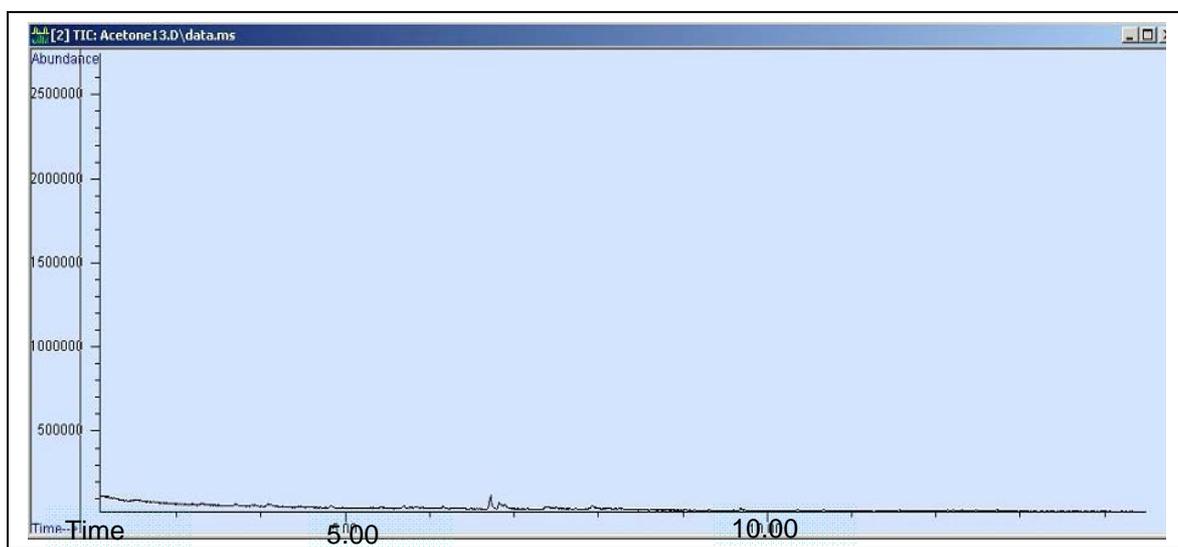
ภาพที่ 14 กราฟสารละลายมาตรฐาน 2,4,6,- trinitrotoluene (TNT)

3. Standard Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณของเนื้อสาร 10, 15, 20 และ 25 (μg)



ภาพที่ 15 กราฟสารละลายมาตรฐาน Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)

การวิเคราะห์หาปริมาณสาร โดยใช้ acetone เป็นสารละลาย blank ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้



ภาพที่ 16 Chromatogram ของ acetone ที่ใช้เป็นสารละลาย blank สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารในตัวอย่างฝ้าก๊อซ

จาก Chromatogram พบว่าในสารละลาย blank ไม่มีสารตัวที่เราสนใจศึกษาอยู่ ดังนั้นการหาค่า LOD และ LOQ จึงหาได้จากการนำสัญญาณสูงที่สุดที่มาจากสารละลาย blank ซึ่งจากการวิเคราะห์ซ้ำ 10 ครั้ง ได้ผลดังนี้

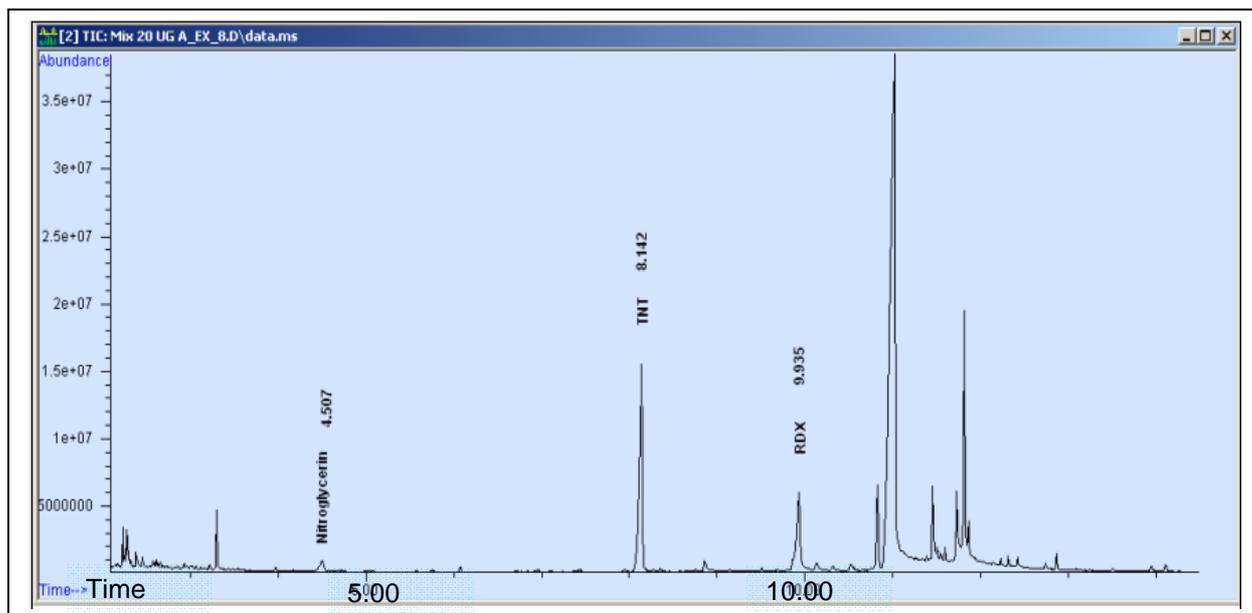
ค่า SD (ความแปรปรวน) = 363355 ค่า LOD และ LOQ ของการหาปริมาณของเนื้อสารแสดงดังตาราง

ตารางที่ 12 ค่า LOD และ LOQ ของสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด

สารมาตรฐาน	LOD (μg)	LOQ (μg)
Nitroglycerin	7.6702	11.5030
TNT	3.0300	3.8779
RDX	10.3634	11.2112

4.3 การทำ Repeatability method (Precision)

Chromatogram ของสารละลายมาตรฐานของ Nitroglycerin , 2,4,6,- trinitrotoluene(TNT)
และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณของเนื้อสาร 20 μg ดังรูป



ภาพที่ 17 Chromatogram ของ Nitroglycerin , 2,4,6,- trinitrotoluene (TNT) และ
Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณของเนื้อสาร 20 μg

จาก Chromatogram ของสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 13 ค่า Retention time ของสารทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitro toluene (TNT) และ clotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสาร 20 μg โดยทำการทดลอง 7 ซ้ำ ได้ผลดังนี้

ครั้งที่	ที่ปริมาณของเนื้อสาร 20 μg		
	Nitroglycerin (Retention time)	TNT (Retention time)	RDX (Retention time)
1	4.500	8.138	9.932
2	4.514	8.145	9.928
3	4.507	8.131	9.914
4	4.503	8.139	9.932
5	4.514	8.145	9.935
6	4.493	8.139	9.939
7	4.507	8.142	9.935
Average	4.505	8.140	9.931
SD	0.0075	0.0048	0.0081
%RSD	0.1675	0.0595	0.0817

จากตารางที่ 13 พบว่าวิธีการวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิดทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณของเนื้อสาร 20 μg จำนวน 7 ซ้ำ พบว่า ค่า Retention time ของ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) เท่ากับ 4.505, 8.140 และ 9.931 ตามลำดับ และค่า Relative Standard Deviation (%RSD) มีค่าเท่ากับ 0.1675, 0.0595 และ 0.817 ตามลำดับ

4.4 การหาค่า %Recovery

จากการ spike สารมาตรฐาน 3 ชนิด คือ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณของเนื้อสาร 15 และ 20 μg ลงไปในตัวอย่างผ้าก๊อช ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 14 %Recovery สารมาตรฐาน 3 ชนิด คือ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณของเนื้อสาร 15 μg

ครั้งที่	%Recovery		
	Nitroglycerin	TNT	RDX
1	93.40	99.39	95.94
2	96.03	105.76	97.59
3	91.71	101.19	97.81
4	90.65	98.31	96.90
5	93.66	104.41	97.79
6	90.76	103.45	97.55
7	91.69	104.66	96.82
Average	92.55	102.45	97.20
SD	1.93	2.85	0.69

จากผลการทดลอง พบว่า % Recovery ที่ปริมาณของเนื้อสาร 15 μg ของสารมาตรฐาน Nitroglycerin อยู่ในช่วง 90.65 - 96.66 % , สารมาตรฐาน 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) อยู่ในช่วง 98.31 - 105.76 % และสารมาตรฐาน Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) อยู่ในช่วง 95.94 - 97.79 % และค่า SD ของสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด มีค่า 1.93 , 2.85 และ 0.69 ตามลำดับ

ตารางที่ 15 %Recovery สารมาตรฐาน 3 ชนิด คือ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ที่ปริมาณของเนื้อสาร 20 μg

ครั้งที่	%Recovery		
	Nitroglycerin	TNT	RDX
1	104.87	111.53	84.98
2	108.46	107.80	87.31
3	103.29	107.67	88.24
4	105.16	106.13	89.74
5	104.58	108.49	85.16
6	106.22	112.98	87.26
7	104.83	110.39	87.36
Average	105.35	109.28	87.15
SD	1.62	2.43	1.67

จากผลการทดลอง พบว่า % Recovery ที่ปริมาณของเนื้อสาร 20 μg ของสารมาตรฐาน Nitroglycerin อยู่ในช่วง 103.29 – 108.46 , สารมาตรฐาน 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) อยู่ในช่วง 106.13 – 112.98 และสารมาตรฐาน Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) อยู่ในช่วง 84.98 – 89.74 และค่า SD ของสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด มีค่า 1.93 , 2.85 และ 0.69 ตามลำดับ

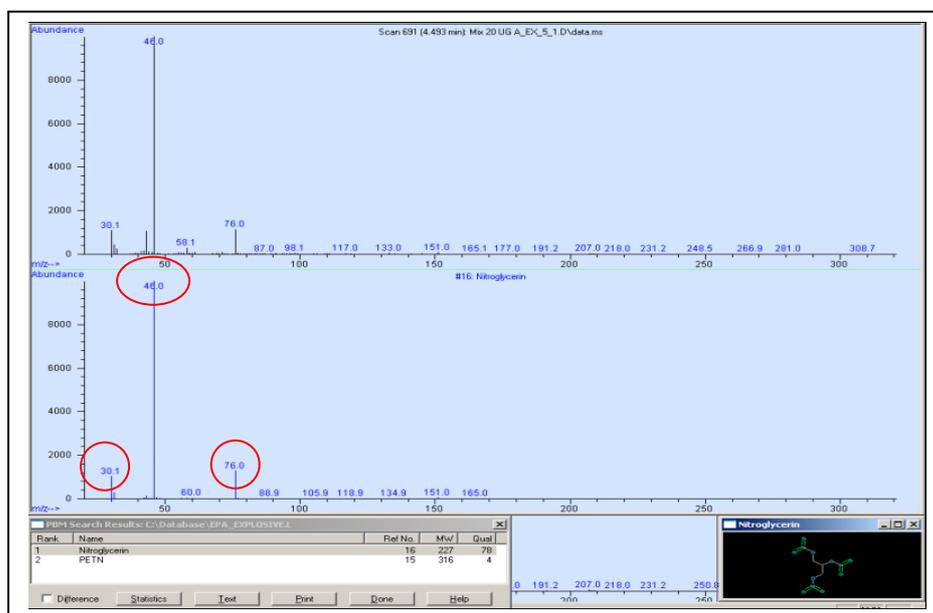
4.5 การตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างจริงที่เก็บจากสถานที่เกิดเหตุ จำนวน 20 ตัวอย่าง

จากผลการทดลองการนำตัวอย่างจริงที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุ ทำการตรวจหาสารประกอบวัตถุระเบิด และได้มีการทำการหาค่าความเข้มข้นของตัวอย่างจริงเทียบกับ Calibration curve ของสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ได้ผลดังแสดงในตาราง ดังนี้

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของเนื้อสารหลังการระเบิด

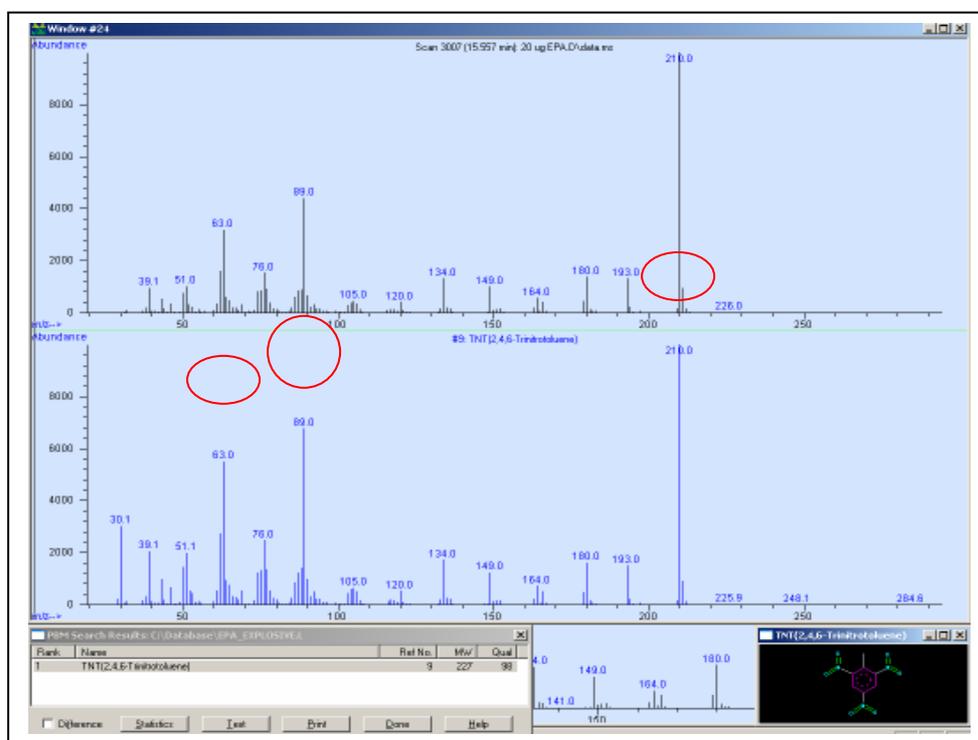
ตัวอย่างที่	สารที่ตรวจพบ	พื้นที่ใต้พีค	ปริมาณของเนื้อสาร (µg)
1	RDX	2034438	10.68
2	RDX	1103338	10.37
3	RDX	244426	10.08
4	RDX	2253614	10.75
5	RDX	11057425	13.69
6	RDX	765796	10.26
7	RDX	6160352	12.05
8	RDX	156834	10.05
9	RDX	15009822	15.00
10	RDX	35689022	21.90
11	RDX	1223122	10.41
12	RDX	9099787	13.03
13	RDX	19290834	16.43
14	RDX	39872441	23.29
15	RDX	11047987	13.68
16	RDX	8037907	12.68
17	TNT	11072484	6.36
18	TNT	2299080	3.43
19	TNT	6578789	4.86
20	Nitroglycerin	8556541	18.92

การแปลผลการตรวจวิเคราะห์ของ Nitroglycerin, 2,4,6 - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) จากเทคนิค GC/MS ดังนี้



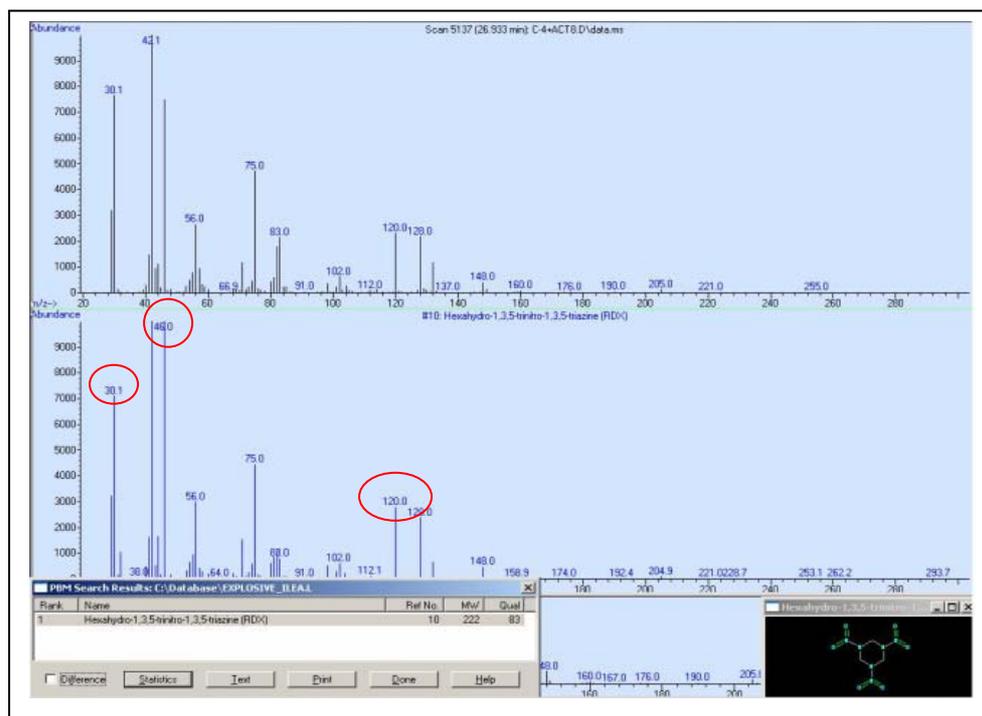
ภาพที่ 18 Chromatogram ของ Mass spectrum ของ Nitroglycerin

จาก Chromatogram Mass spectrum ของ Nitroglycerin ที่ RT 4.5 นาที โดย Mass spectrum หลักของ Nitroglycerin คือ 46 , 30 และ 76 m/z และการเปรียบเทียบกับ library ที่มีในเครื่อง พบว่ามี % match ที่ได้มีค่าเท่ากับ 78% ซึ่งเป็นค่าที่สูง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารที่ตรวจพบเป็นสาร Nitroglycerin จริง



ภาพที่ 19 Chromatogram ของ Mass spectrum ของ TNT

จาก Chromatogram Mass spectrum ของ TNT ที่ RT 8.1 นาที โดย Mass spectrum หลักของ TNT คือ 210, 89 และ 63 m/z และการเปรียบเทียบกับ library ที่มีในเครื่อง พบว่ามี % match ที่ได้มีค่าเท่ากับ 90% ซึ่งเป็นค่าที่สูง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า สารที่ตรวจพบเป็นสาร 2,4,6 - trinitrotoluene (TNT) จริง



ภาพที่ 20 Chromatogram ของ Mass spectrum ของ RDX

จาก Chromatogram Mass spectrum ของ RDX ที่ RT 9.9 นาที โดย Mass spectrum หลักของ RDX คือ 46, 30 และ 120 m/z และการเปรียบเทียบกับ library ที่มีในเครื่อง พบว่ามี % match ที่ได้มีค่าเท่ากับ 83% ซึ่งเป็นค่าที่สูง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารที่ตรวจพบเป็นสาร Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) จริง

จากการทดสอบความใช้ได้ของวิธีเชิงคุณภาพวิเคราะห์ในการตรวจ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ให้ผลการทดลองที่มีความจำเพาะเจาะจง มีความเที่ยงทั้งแบบ Repeatability และการหาปริมาณของเนื้อสารต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ในตัวอย่าง โดยพบว่า ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัด (LOD) ได้ของ Nitroglycerin คือ 7.6702 μg , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) คือ 3.0300 μg และ Cyclotri -methylenetrinitramine (RDX) คือ 10.3634 μg ทำการศึกษาค่า LOQ พบว่า ของ Nitroglycerin คือ 1.5030 μg , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) คือ 3.8779 μg และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) คือ 11.2112 μg และเมื่อทำการวิเคราะห์กับตัวอย่างจริงที่ได้จากสถานที่เกิด สามารถตรวจพบสารประกอบวัตถุระเบิด ดังนั้นวิธีดังกล่าวข้างต้นสามารถนำมาใช้ได้จริงในอนาคตต่อไป

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองการตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิดทั้ง 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) โดยทำการสกัดด้วย Acetone แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) สามารถสรุปและอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 การหาความจำเพาะเจาะจงของวิธีวิเคราะห์ (Specificity)

จากการวิเคราะห์หาความจำเพาะเจาะจงของวิธีการวิเคราะห์ในสารประกอบระเบิดทั้ง 3 ชนิด

จากตารางที่ 7 สามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ เมื่อวิเคราะห์สารประกอบทั้ง 3 ชนิด ซึ่งได้แก่ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) สามารถแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน ดังผลการทดลองคือ เมื่อทำการหาค่า Resolution ของสารมาตรฐาน Nitroglycerin เทียบกับ 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) พบว่ามีค่าเท่ากับ 80.08 และ 2,4,6- trinitrotoluene (TNT) เทียบกับ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) มีค่าเท่ากับ 41.47 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐาน ค่า $R > 1.5$ แสดงว่าพีคแยกออกจากกัน 100%

5.2 ผลของ LOD และ LOQ

จากตารางที่ 12 การวิเคราะห์หา LOD และ LOQ ของสารทั้ง 3 ชนิด สามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ เมื่อทำการหาค่า SD (ความแปรปรวน) = 363355 และนำไปเทียบ Calibration curve ทั้ง 3 ชนิด พบว่า ค่า LOD ของสารทั้ง 3 ชนิดมีค่าเท่ากับ Nitroglycerin 7.6702 , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) 3.0300 และ Cyclotrimethylenetri - nitramine (RDX) 10.3634 และค่า LOQ ของสารทั้ง 3 ชนิดมีค่าเท่ากับ Nitroglycerin 11.5030, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) 3.8779 และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) 11.2112 ตามลำดับ

5.3 การหาความเที่ยง (Precision)

จากการวิเคราะห์หาค่า Precision ของสารทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณของเนื้อสาร 20 μg ได้ดังตารางที่ 13 พบว่าวิธีการวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิดทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณของเนื้อสาร 20 μg จำนวน 7 ซ้ำ พบว่า ค่า Retention time ของ Nitroglycerin, 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) เท่ากับ 4.505, 8.140 และ 9.931 ตามลำดับ และค่า Relative Standard Deviation (%RSD) มีค่าเท่ากับ 0.1675, 0.0595 และ 0.817 ตามลำดับ ซึ่งค่า %RSD ที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ $> 7.3\%$ (ตามมาตรฐาน AOAC)

5.3 การหา % Recovery

จากการวิเคราะห์หาค่า % Recovery ของสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิดที่ปริมาณของเนื้อสาร 15 และ 20 μg จากผลการทดลอง ตารางที่ 14 และ 15 พบว่า %Recovery ที่ปริมาณของเนื้อสาร 15 μg ของสารมาตรฐาน Nitroglycerin อยู่ในช่วง 90.65 - 96.66 % , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) อยู่ในช่วง 98.31 - 105.76 % และ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) อยู่ในช่วง 95.94 - 97.79 % และที่ปริมาณของเนื้อสาร 20 μg ของสารมาตรฐาน Nitroglycerin อยู่ในช่วง 103.29 - 108.46 , สารมาตรฐาน 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) อยู่ในช่วง 106.13 - 112.98 และสารมาตรฐาน Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) อยู่ในช่วง 84.98 - 89.74 ซึ่งถือว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ดีตามมาตรฐานของ AOAC ที่กำหนดว่าความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์จะมีค่า %Recovery ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 80-110 % ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า วิธีการวิเคราะห์นี้ให้ผลที่มีความถูกต้อง แม่นยำ และเชื่อถือได้ เหมาะสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของเนื้อสารของสารประกอบวัตถุระเบิดในตัวอย่างได้

5.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างจริงที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุ

จากการประยุกต์ใช้กับตัวอย่างจริง ที่เก็บจากสถานที่เกิดเหตุ (real case) จำนวน 20 ตัวอย่าง จากผลการทดลอง ตารางที่ 16 เมื่อนำตัวอย่างจริงที่เก็บจากสถานที่เกิดเหตุจริงจาก 3 เหตุการณ์ จำนวน 20 ตัวอย่าง มาทำการวิเคราะห์ พบว่า สามารถตรวจวิเคราะห์พบสารประกอบทั้ง 3 ชนิด มีการวิเคราะห์พบสารประกอบวัตถุระเบิด ชนิด RDX 16 ตัวอย่าง (ในช่วงปริมาณของเนื้อสาร 10.05 – 23.29 μg), TNT 3 ตัวอย่าง (ในช่วงปริมาณของเนื้อสาร 3.43 – 6.36 μg) และ Nitroglycerin 1 ตัวอย่าง

ข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยขอเสนอแนะการทดลองดังนี้

1. ในการสกัดสารตัวอย่าง ควรมีวิธีอื่น ๆ เช่น SPE เพื่อ เป็นการ Clean up sample และเพื่อเป็นการเพิ่ม Sensitivity , LOD และ LOQ ของสารประกอบวัตถุระเบิด
2. เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการหาค่า Precision และ %Recovery พบว่าการกระจายของ %Recovery ค่อนข้างกว้าง จึงควรทำการสกัดซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสารที่เหลืออยู่ และคำนวณหา % Recovery อีกครั้ง

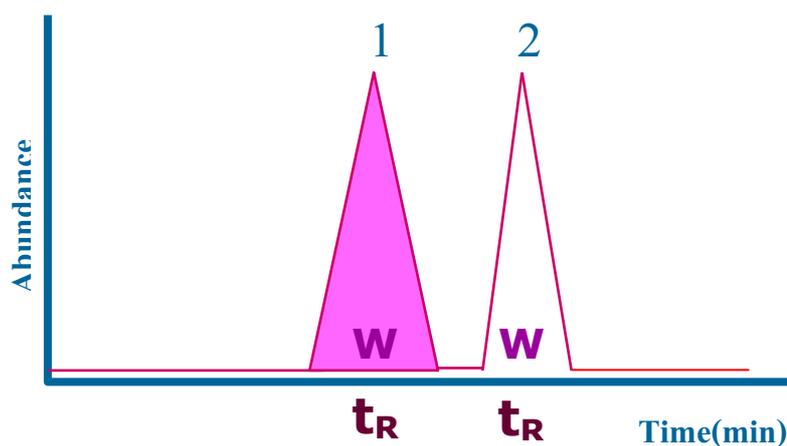
บรรณานุกรม

- Jeffrey G. McDonald, Dennis E. Maslanka, Kelly H. Mount, Mark L. Miller. “Development and Testing of a solid Phase Microextraction Method for the Trace Analysis of Nitro Organic Explosive Using Gas Chromatography – Electron Capture Detector and Gas Chromatography – Mass Spectrometry” Research and Technology, October 2004
- SOFT/AAFS Forensic Laboratory Guidelines 2006 version. <http://www.soft-tox.org/docs/Guidelines%202006%20Final.pdf>.
- D.K. Kuila, A. Chakraborty, S.P. Sharma, S.C. Lahiri, Composition profile of low explosives from cases in India, Forensic Sci. Int. 159 (2005) 127–131.

ภาคผนวก

การคำนวณหา Selectivity

จาก Chromatogram ของการผสมสารมาตรฐานทั้ง 3 สารลงไปในผ้าก๊อช ต้องคำนวณหา Resolution ว่าพีคแยกออกจากกันหรือไม่ ดังสูตรการคำนวณ ต่อไปนี้



$$R = \frac{2 \Delta t_R}{W_1 + W_2}$$

โดยที่ Δt_R = ผลต่างของค่า t_R ของพีคทั้งสอง
 W_1 และ W_2 = ความกว้างที่ฐานของพีค 1 และ 2

พิจารณาจาก $R = 1.0$ แสดงว่าพีคทั้งสองแยกออกจากกัน 98%
 $R = 1.5$ แสดงว่าพีคทั้งสองแยกออกจากกัน 99.7%
 $R > 1.5$ แสดงว่าพีคทั้งสองแยกออกจากกัน 100%

ผลการคำนวณ

ทำการหาค่า Resolution ของ Nitroglycerin , 2,4,6, - trinitrotoluene (TNT) และ
 Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) ดังนี้

Nitroglycerin ; $R_{t_2} = 4.487$ min , Width = 0.058 min

2,4,6, - trinitrotoluene ; $R_{t_1} = 8.123$ min , Width = 0.032 min

Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) : $R_{t_2} = 9.896$ min , Width = 0.053 min

- Nitroglycerin เทียบกับ 2,4,6 - trinitrotoluene (TNT)

$$RF = \frac{2(8.123 - 4.487)}{(0.058 + 0.032)}$$

$$= 80.80$$

$$= \text{มากกว่า } 1.50$$

- 2,4,6- trinitrotoluene (TNT) เทียบกับ Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)

$$RF = \frac{2(9.896 - 8.123)}{(0.053 + 0.032)}$$

$$= 41.72$$

$$= \text{มากกว่า } 1.50$$

การสร้างกราฟมาตรฐานของสารประกอบวัตถุระเบิด

ตารางที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคกับปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสารของ Nitroglycerin

ปริมาณความเข้มข้นของ เนื้อสาร (µg)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่			ค่าเฉลี่ยพื้นที่ ใต้พีค	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
10	3094621	3453340	3361345	3303102	186317
15	5997378	6058594	5817556	5957843	125288
20	9723348	9935544	9989766	9603246	140799
25	12556241	13925568	12962893	13148234	703227

ตารางที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคกับปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสารของ
2,4,6,- trinitrotoluene (TNT)

ปริมาณความเข้มข้นของ เนื้อสาร (μg)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่			ค่าเฉลี่ยพื้นที่ ใต้พีค	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
10	22978629	26599168	26615036	25397611	2094915
15	40334768	45590832	42726016	42883872	2631585
20	56723356	58919726	56677391	57440158	1281550
25	76703059	78919556	74670371	76764329	2125255

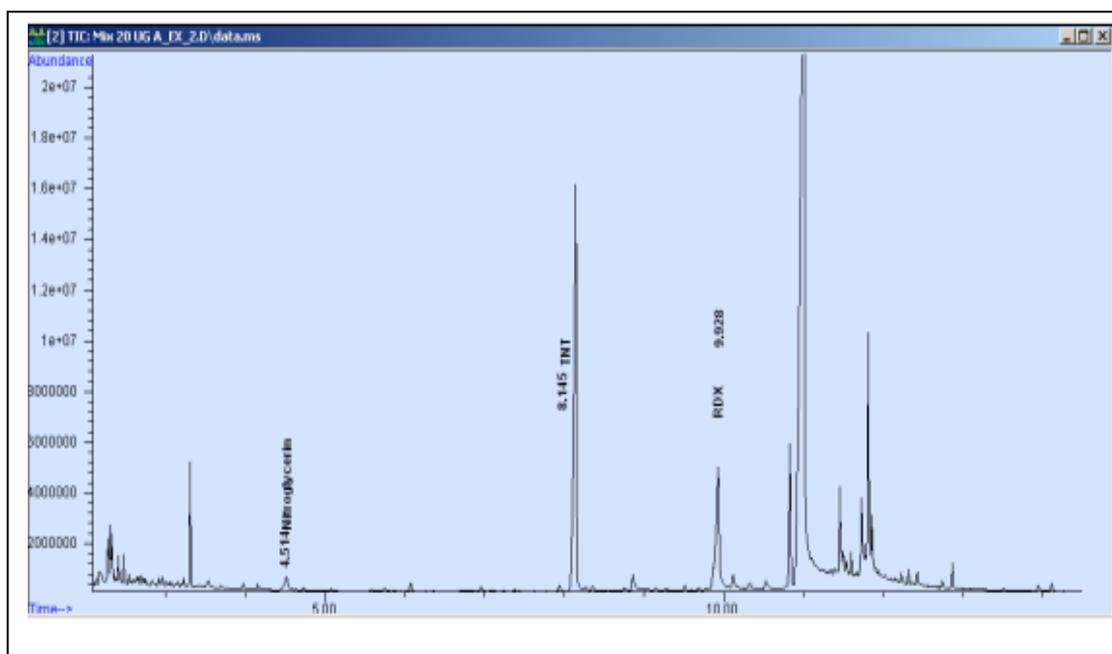
ตารางที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใต้พีคกับปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสารของ
Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX)

ปริมาณความเข้มข้นของ เนื้อสาร (μg)	ค่าเฉลี่ยพื้นที่			ค่าเฉลี่ยพื้นที่ ใต้พีค	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
10	9989766	9723348	9935544	9882886	140799
15	21845407	23171905	25914343	23643885	2075123
20	42077850	40987953	39385691	40817165	1354181
25	61006830	60988453	59403341	60466208	920516

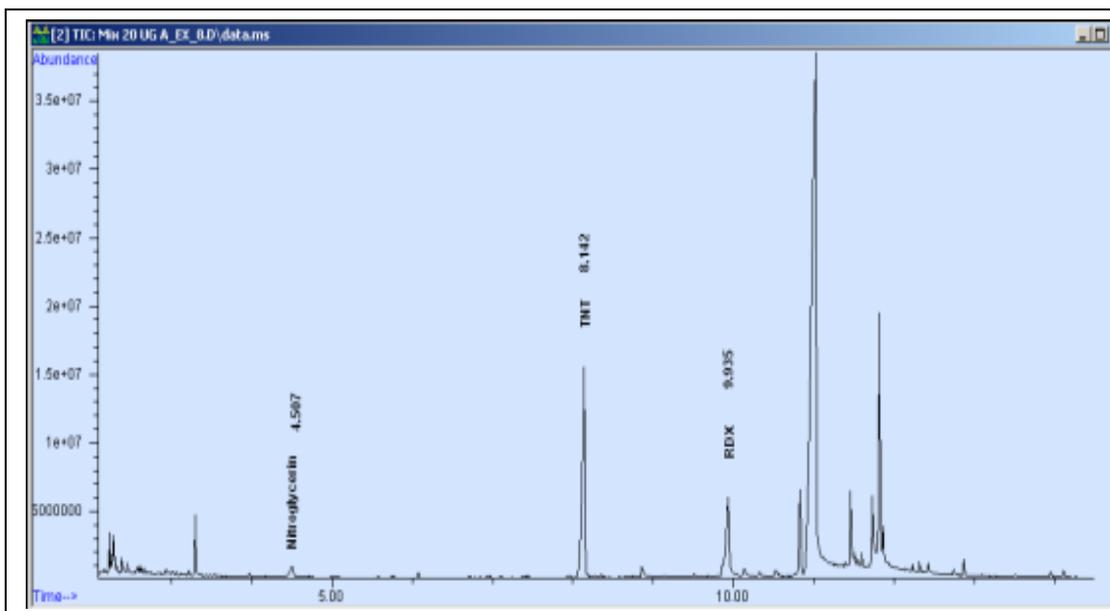
ตารางที่ 20 ผลพื้นที่ใต้พีคของ Blank จำนวน 10 ซ้ำ

ครั้งที่	Area
1	771135
2	1385337
3	346544
4	1504511
5	786615
6	1112058
7	1040989
8	1468953
9	1202035
10	1244426
X	1086260
SD	363355

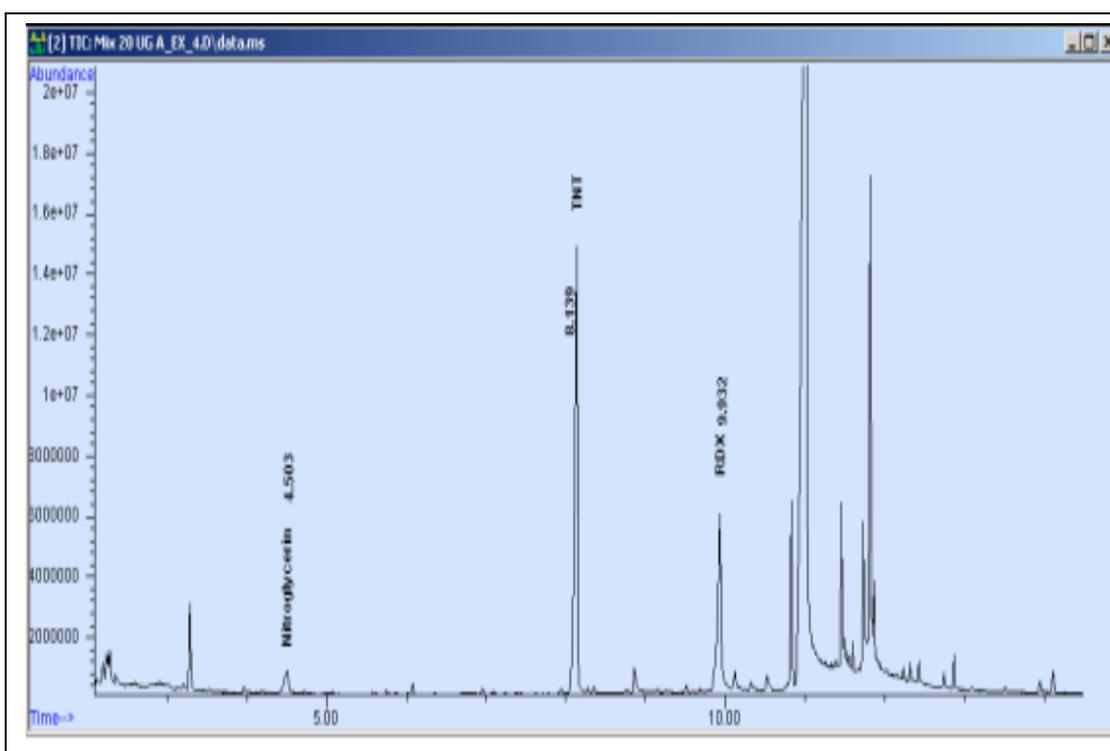
ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (Precision) 7 ซ้ำ



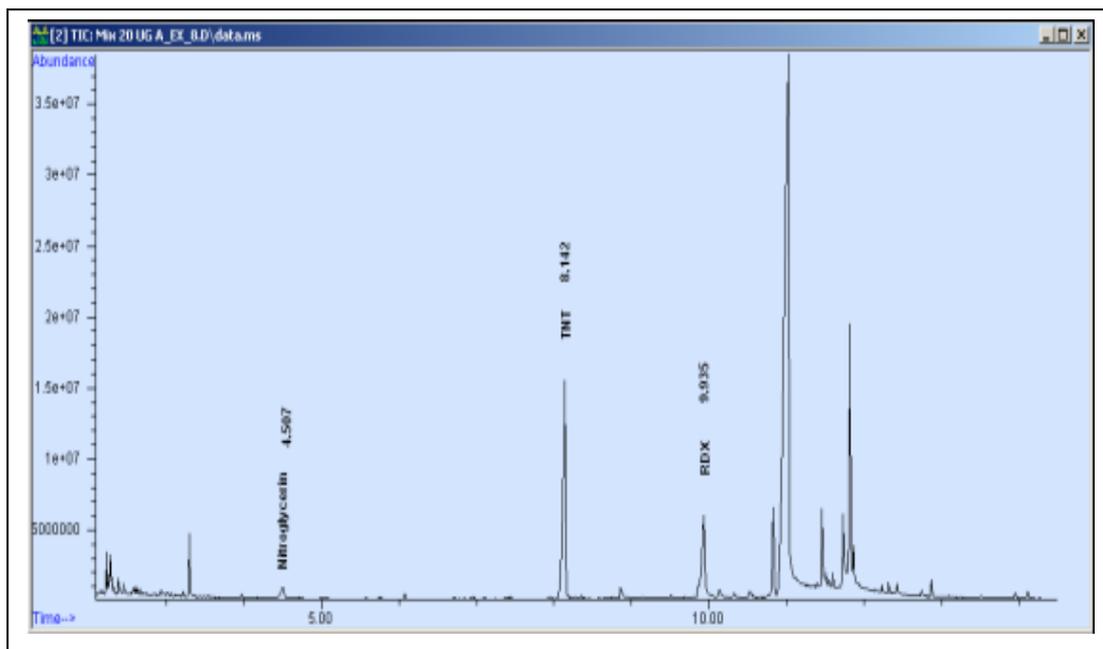
ภาพที่ 21 Chromatogram ครั้งที่ 1 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX



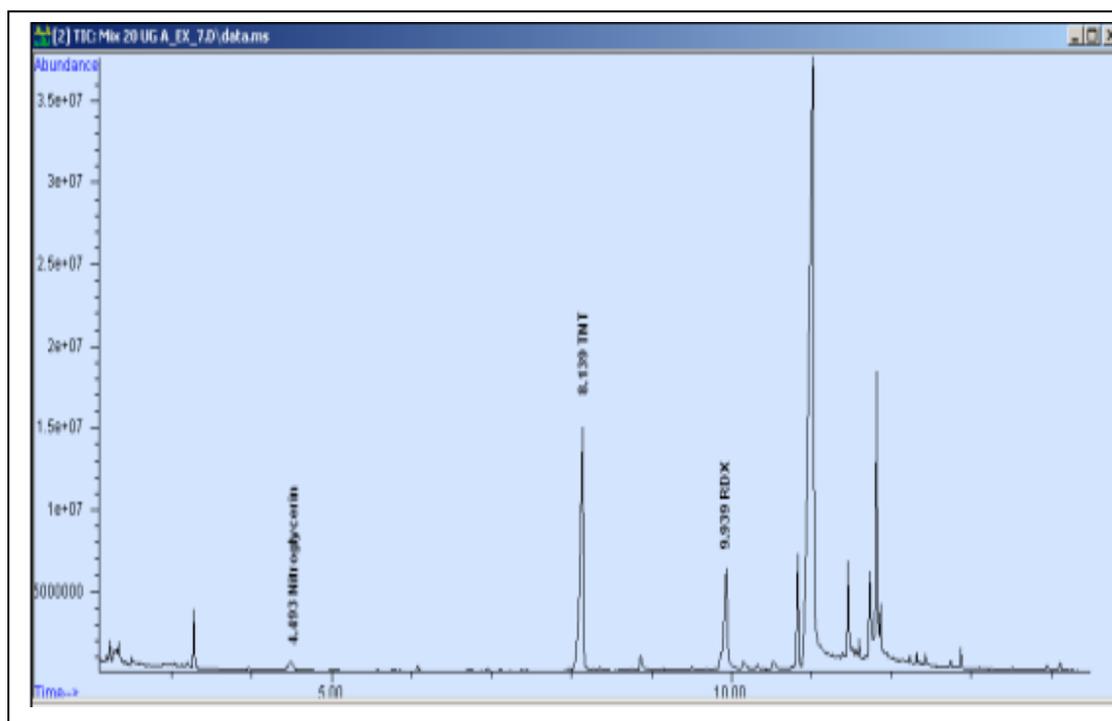
ภาพที่ 22 Chromatogram ครั้งที่ 2 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX



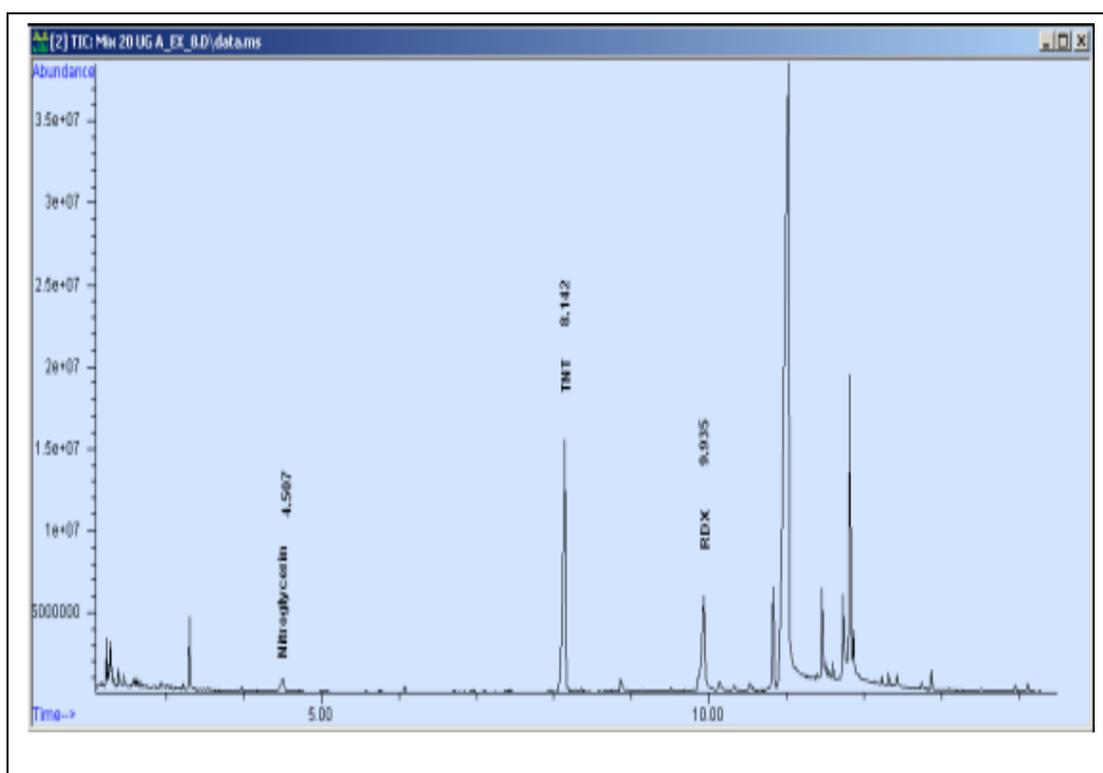
ภาพที่ 23 Chromatogram ครั้งที่ 3 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX



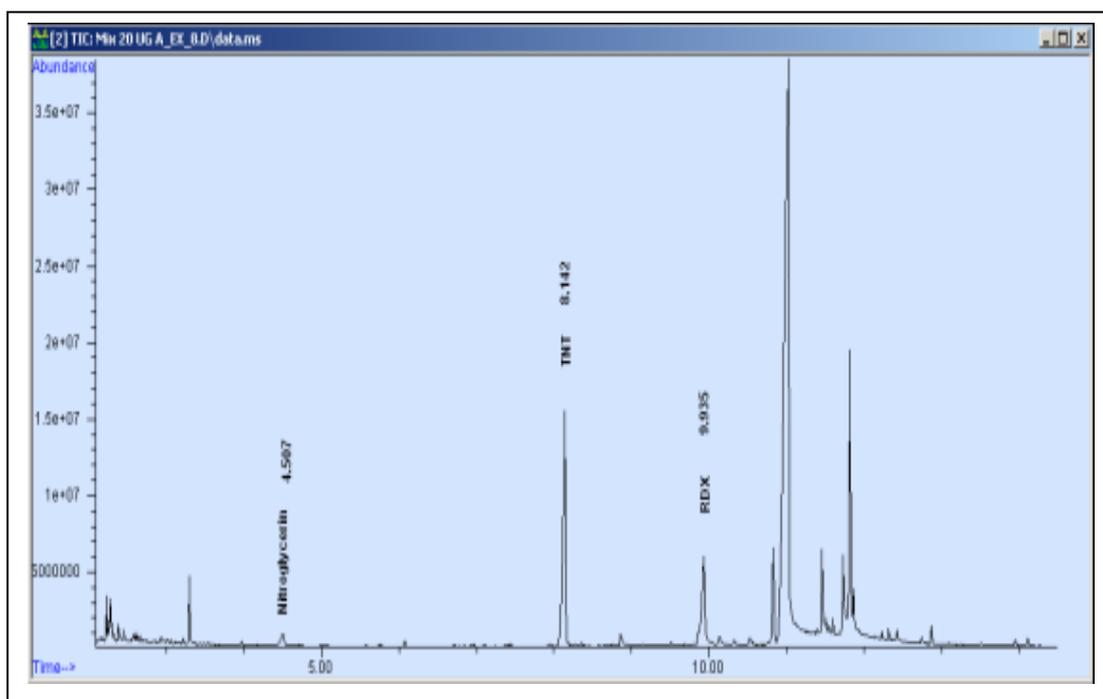
ภาพที่ 24 Chromatogram ครั้งที่ 4 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX



ภาพที่ 25 Chromatogram ครั้งที่ 5 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX



ภาพที่ 26 Chromatogram ครั้งที่ 6 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX



ภาพที่ 27 Chromatogram ครั้งที่ 7 ของ Nitroglycerin , TNT และ RDX

ตารางที่ 21 Repeatability method

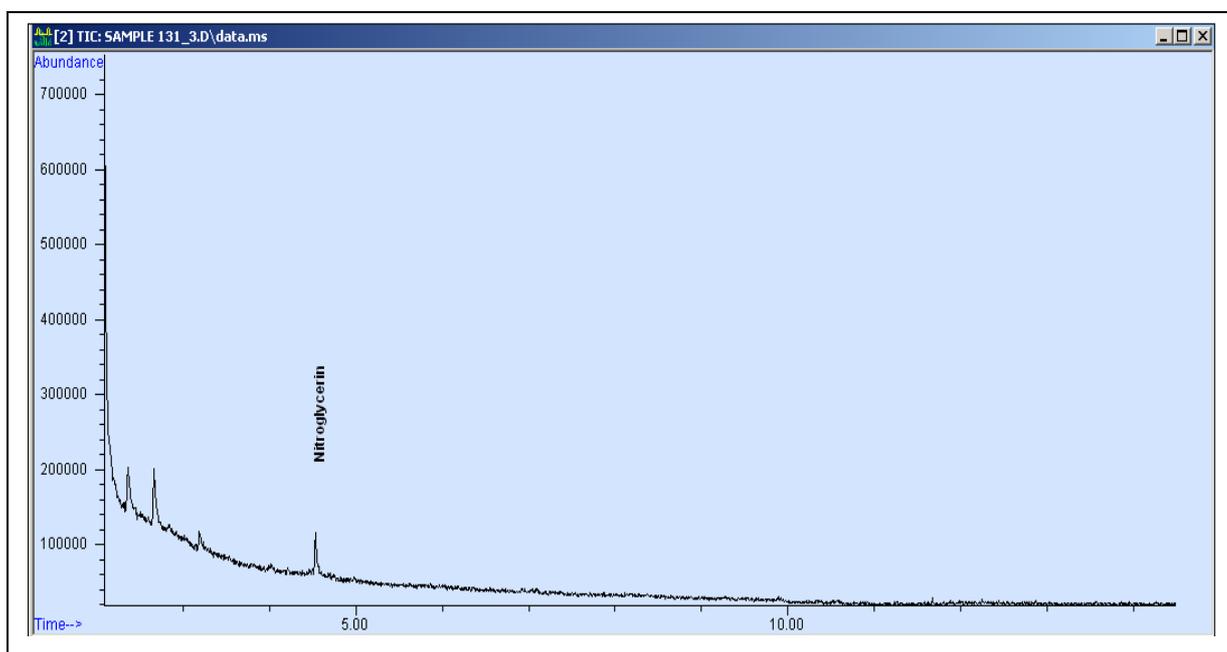
- ปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสาร 15 μg

ครั้งที่	พื้นที่ได้พิก		
	Nitroglycerin	TNT	RDX
1	5297378	36726016	13171905
2	5558594	39590832	13914343
3	5128890	37533401	14015036
4	5023348	36239810	13607102
5	5322843	38985468	14005674
6	5034178	38554348	13897655
7	5126759	39098776	13567850

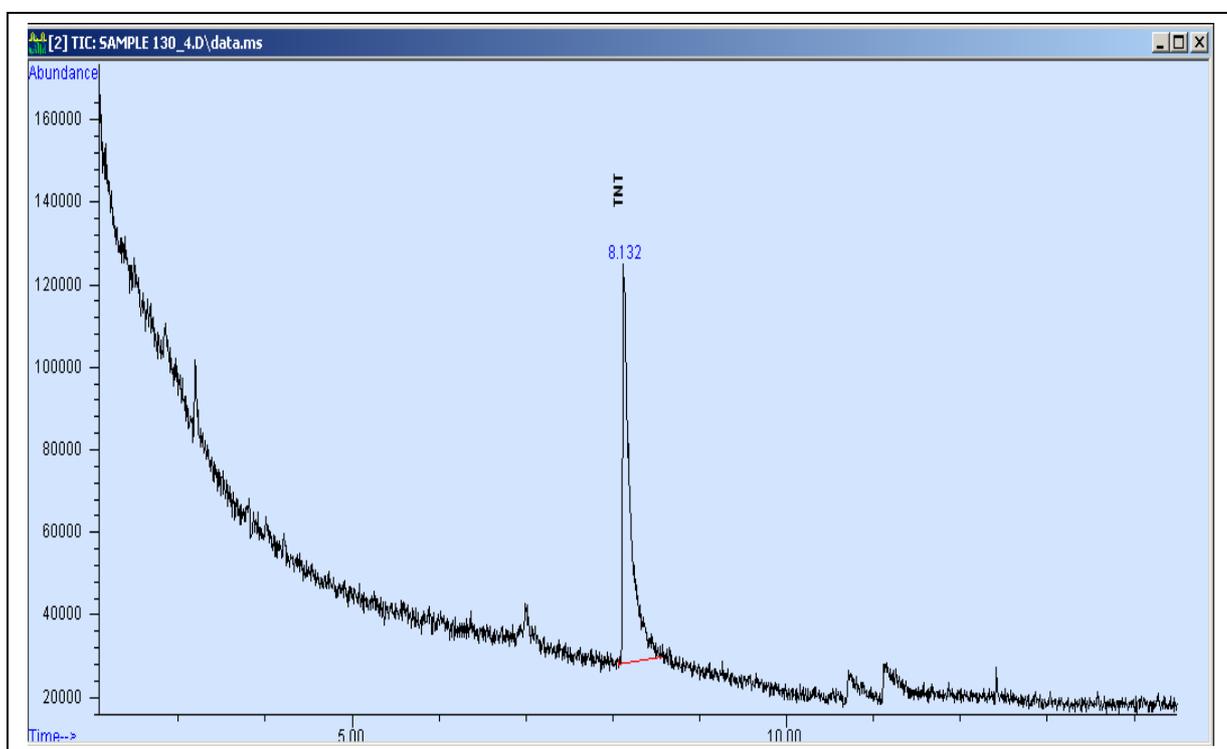
- ปริมาณความเข้มข้นของเนื้อสาร 20 μg

ครั้งที่	พื้นที่ได้พิก		
	Nitroglycerin	TNT	RDX
1	9919118	58919726	20987953
2	10395540	56677391	22385691
3	9709446	56599168	22946218
4	9956798	55678343	23845025
5	9879660	57094460	21094621
6	10098114	59786780	22356478
7	99134547	58233675	22415620

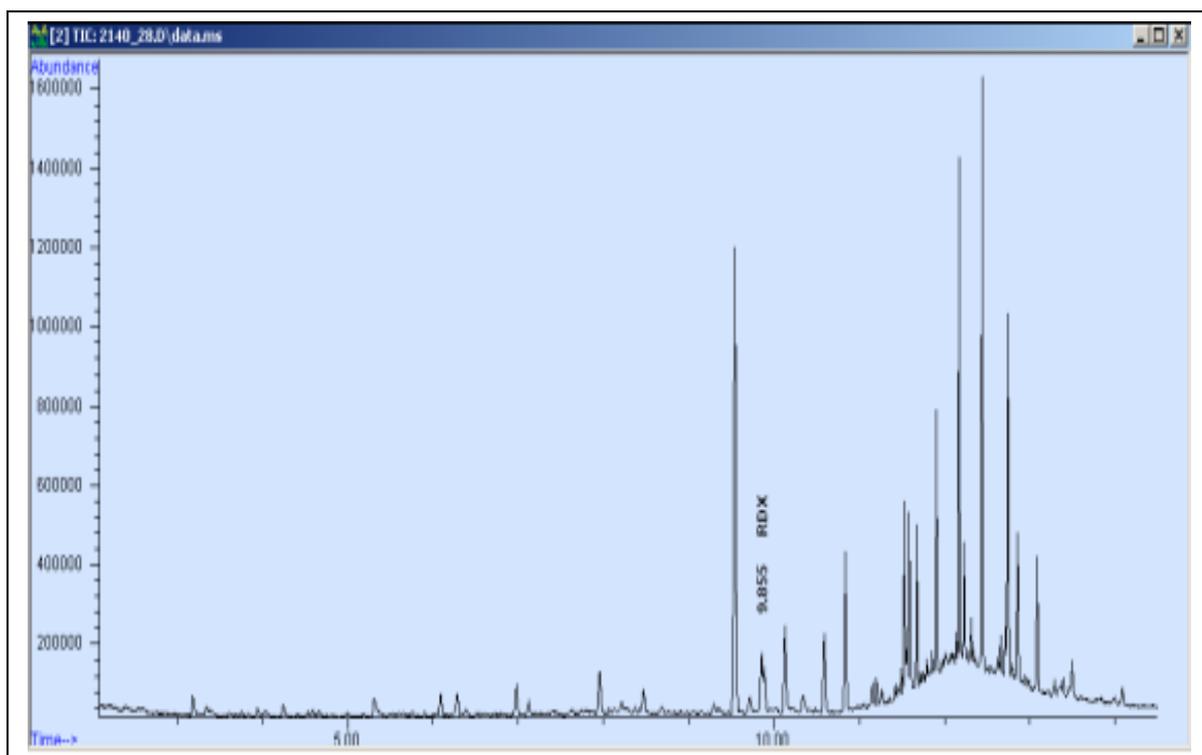
โครมาโตแกรมตัวอย่างจริงที่ได้จากสถานที่เกิดเหตุ



ภาพที่ 28 Chromatogram ของ ตัวอย่างจริงที่ตรวจพบสารประกอบระเบิด Nitroglycerin



ภาพที่ 29 Chromatogram ของ ตัวอย่างจริงที่ตรวจพบสารประกอบระเบิด TNT



ภาพที่ 30 Chromatogram ของตัวอย่างจริงที่ตรวจพบสารประกอบระเบิด RDX

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – ชื่อสกุล ที่อยู่	นางสาววิชชุดา แสงประดับ 15/35 ม. นลินเรสซิเดนซ์ ถนน หทัยราษฎร์ แขวง สามวาตะวันตก เขต คลองสามวา กรุงเทพฯ 10510
สถานที่ทำงาน	สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ สำนักนิติวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงยุติธรรม
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2549	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรี จ. ปทุมธานี
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2549	นักนิติวิทยาศาสตร์ ระดับ 3 สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กระทรวงยุติธรรม
พ.ศ. 2551	นักนิติวิทยาศาสตร์ ระดับ 4 สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กระทรวงยุติธรรม
พ.ศ. 2552 – ปัจจุบัน	นักนิติวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กระทรวงยุติธรรม