



การศึกษาการตรวจสอบหาระเบิดบนพื้นผิวผ้าฝ้ายและไม่อัดด้วยเครื่องไอออนสแกน

โดย

นางสาวนภาพร กวัตรระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาการตรวจหาสารระเบิดบนพื้นผิวผ้าฝ้ายและไม้อัดด้วยเครื่องไอออนสแกน

โดย

นางสาวนภาพร กวัตรระกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DETECTION OF EXPLOSIVES ON SURFACES OF COTTON CLOTH AND PLYWOOD  
BY ION SCAN

By  
Napaporn Kuatrakool

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree  
MASTER OF SCIENCE  
Program of Forensic Science  
Graduate School  
SILPAKORN UNIVERSITY  
2009

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การตรวจหาสาร  
ระเบิดบนพื้นผิว ผ้าฝ้ายและไม้อัด ด้วยเครื่องไอออนสแกน ” เสนอโดย นางสาวนภา พร กั้วตระกูล  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติ  
วิทยาศาสตร์

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะดังกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

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

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิศ ผิวนิม)

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

..... กรรมการ

(พันตำรวจโทหญิงอัมพิกา ลีลาพจนานพร)

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

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

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

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี)

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

50312311 : สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ : เครื่องไอออนสแกน รุ่น 400B / สารระเบิด / สารระเบิดทางทหาร

นภาพร กั้วตระกูล : การศึกษาการตรวจหาสารระเบิดบนพื้นผิว ผ้าฝ้ายและไม้อัด ด้วยเครื่องไอออนสแกน. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ.ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และ อ.ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี. 64 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการคงอยู่ของสารระเบิด 3 ชนิด ได้แก่ Cyclotrimethylene Trinitramine (RDX), Pentaerythritol Tetranitrate (PETN) และ Trinitrotoluene (TNT) บนพื้นผิวของผ้าฝ้ายและไม้อัด ภายในระยะเวลา 60 วัน โดยใช้เครื่องไอออนสแกนรุ่น 400B ตัวอย่างที่ใช้ศึกษาคือสารละลาย RDX, PETN และ TNT ในอะซิโตนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ นำไปหยดบนพื้นผิวของผ้าฝ้ายและไม้อัด แล้วเก็บตัวอย่างด้วย เทคนิค Swab Method นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B

ผลการศึกษาพบว่าค่า Limit of detection ของสารระเบิด RDX, PETN และ TNT มีค่าเท่ากับ 0.5, 2.5 และ 10  $\mu\text{g}$  ตามลำดับ ในการศึกษาการคงอยู่ของสารระเบิดทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 500  $\mu\text{g}$  พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน ยังสามารถตรวจพบสารระเบิดทั้ง 3 ชนิดบนพื้นผิวผ้าฝ้ายและไม้อัดได้

---

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์      บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร      ปีการศึกษา 2552  
ลายมือชื่อนักศึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. .... 2. ....

50312311: MAJOR: FORENSIC SCIENCE

KEY WORDS: IONSCAN 400B / EXPLOSIVES / MILITARY EXPLOSIVES

NAPAPORN KUATRAKOOL: DETECTION OF EXPLOSIVES ON SURFACES OF COTTON CLOTH AND PLYWOOD BY ION SCAN. THESIS ADVISORS: SIRIRAT CHOOSAKOONKRIANG, Ph.D., AND SUPACHAI SUPALUKNARI, Ph.D. 64 pp.

The objective of this work is to investigate the persistence of three types of explosives namely, Cyclotrimethylene trinitramine (RDX), Pentaerythritol tetranitrate (PETN) and Trinitrotoluene (TNT) on the surfaces of cotton cloth and plywood within the period of 60 days. The device used to detect the explosives was an Ion Scan model 400B. The solution samples of the explosives were prepared at various concentrations by using acetone as a solvent and applied to the cotton cloth or the plywood. The sample for the ion scan analysis was collected by a swab method.

It was found that the limits of detection for the RDX, PETN and TNT samples were 0.5, 0.5 and 2.5  $\mu\text{g}$  respectively. In the persistence study, the three types of explosives in the samples, with the concentration of 500  $\mu\text{g}$ , can be detected on the surfaces of both cotton cloth and plywood after 60 days.

---

Program of Forensic Science Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2009

Student's signature .....

Thesis Advisors' signature 1. .... 2. ....

## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการตรวจหาสารระเบิดบนพื้นผิวผ้าฝ้ายและไม้อัดด้วยเครื่องไอออนสแกน สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความร่วมมือและช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่านที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำ ข้อมูล และความรู้ต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณครอบครัว ที่เป็นแรงผลักดัน กำลังใจ และคอยอุปการะช่วยเหลือให้ผู้วิจัยได้ศึกษาเล่าเรียนจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณ พันตำรวจโทวัชรศักดิ์ เกลิมสุขสันต์ หัวหน้ากลุ่มงานตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำหัวข้อในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึง ความช่วยเหลือในเรื่องของอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ พันตำรวจโทหญิง อัมพิกา ลีลาพจนานพร ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านนิติวิทยาศาสตร์ ที่เชื้อเชิญสถานที่ในการทดลองและสารเคมีต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

และสุดท้าย ขอขอบคุณ อาจารย์ ปิรภักขา และเพื่อน ๆ ทุกคน ในภาควิชานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ช่วยเหลือ แนะนำ ให้ความรู้ และเป็นกำลังใจ ทำให้วิทยานิพนธ์นี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

|                                            | หน้า |
|--------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....                      | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....                   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                       | ฉ    |
| สารบัญตาราง.....                           | ฉ    |
| สารบัญภาพ .....                            | ญ    |
| บทที่                                      |      |
| 1    บทนำ.....                             | 1    |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....       | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....              | 4    |
| สมมติฐานในการวิจัย .....                   | 4    |
| ขอบเขตของการวิจัย .....                    | 4    |
| ข้อจำกัดในการวิจัย .....                   | 5    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย ..... | 5    |
| 2    เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....  | 6    |
| ระเบิด .....                               | 6    |
| สารระเบิด RDX, PETN และ TNT .....          | 16   |
| การตรวจหาวัตถุระเบิด.....                  | 19   |
| ปัจจัยในการตรวจหาร่องรอยสารระเบิด.....     | 30   |
| 3    วิธีดำเนินการวิจัย.....               | 32   |
| วัสดุและอุปกรณ์.....                       | 32   |
| วิธีการทดลอง .....                         | 33   |
| การวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนสแกน.....      | 35   |
| 4    ผลการทดลอง.....                       | 39   |



| บทที่                         | หน้า |
|-------------------------------|------|
| 5   สรุปและอภิปรายผล.....     | 55   |
| สรุปและอภิปรายผลการวิจัย..... | 55   |
| ข้อเสนอแนะ .....              | 58   |
| บรรณานุกรม .....              | 59   |
| ภาคผนวก.....                  | 61   |
| ประวัติผู้วิจัย .....         | 64   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                         | หน้า |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | เปรียบเทียบเทคนิคที่ใช้ในการตรวจหาวัตถุระเบิด .....                     | 23   |
| 2        | ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจพบสารระเบิดของเครื่องไอออนสแกน 400B .....         | 29   |
| 3        | รายการสารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ .....                               | 32   |
| 4        | ความหมายของค่าต่าง ๆ บนหน้าจอเครื่องไอออนสแกน 400B .....                | 38   |
| 5        | ค่า LOD ของสารระเบิดทางทหาร RDX, PETN และ TNT.....                      | 40   |
| 6        | ผลการตรวจพบสารระเบิดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 30 วัน.....         | 41   |
| 7        | ผลการตรวจหาสารระเบิด RDX, PETN และ TNT ที่ความเข้มข้น<br>500.0 µg ..... | 43   |
| 8        | การวิเคราะห์ค่า LOD ของเครื่องไอออนสแกน 400B ในสารระเบิด RDX.....       | 61   |
| 9        | การวิเคราะห์ค่า LOD ของเครื่องไอออนสแกน 400B ในสารระเบิด PETN....       | 62   |
| 10       | การวิเคราะห์ค่า LOD ของเครื่องไอออนสแกน 400B ในสารระเบิด TNT....        | 63   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่ |                                                                                                  | หน้า |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1      | โครงสร้างทางเคมีของสารระเบิด RDX (A), PETN (B) และ TNT (C) .....                                 | 3    |
| 2      | หลักการเชื่อมโยงวัตถุพยาน .....                                                                  | 3    |
| 3      | ลักษณะภายนอกของเชื้อปะทุไฟฟ้า (A) และดินขยายการระเบิด (B) .....                                  | 14   |
| 4      | องค์ประกอบภายในเชื้อปะทุไฟฟ้า.....                                                               | 15   |
| 5      | ลำดับในการระเบิด.....                                                                            | 15   |
| 6      | โครงสร้างทางเคมีของสาร RDX .....                                                                 | 16   |
| 7      | โครงสร้างทางเคมีของสาร PETN .....                                                                | 17   |
| 8      | โครงสร้างทางเคมีของสาร TNT.....                                                                  | 18   |
| 9      | การตรวจหาวัตถุระเบิด 3 รูปแบบ .....                                                              | 20   |
| 10     | หลักการของ Ion Mobility Spectrometry.....                                                        | 24   |
| 11     | IMS Detector Output as a Function of a Drift Time.....                                           | 25   |
| 12     | เครื่องตรวจวิเคราะห์สารระเบิด SABER 4000 .....                                                   | 26   |
| 13     | เครื่อง GE-Ion Track Itemiser <sup>2</sup> .....                                                 | 26   |
| 14     | เครื่องไอออนสแกน Smith detection รุ่นต่าง ๆ Ionscan 400B, Ionscan<br>500DT และ Ionscan-LS™ ..... | 27   |
| 15     | เครื่องตรวจ Sentinel II (A) และเครื่อง GE-Ion Track EntryScan <sup>3</sup> (B) .....             | 28   |
| 16     | เครื่องไอออนสแกน Smiths detection 400B.....                                                      | 35   |
| 17     | ผ้า Swab.....                                                                                    | 35   |
| 18     | ซองสไลด์สำหรับวางผ้า Swab.....                                                                   | 36   |
| 19     | หน้าจอสีเหลืองแสดงสถานะกำลังทำงาน .....                                                          | 36   |
| 20     | หน้าจอสีเหลืองแสดงสถานะการตรวจไม่พบสารระเบิดและคำเตือนให้นำผ้า<br>Swab ออกจากเครื่อง.....        | 37   |
| 21     | หน้าจอสีแดง และแสดงข้อสารที่ตรวจพบ .....                                                         | 37   |
| 22     | ผลการตรวจพบสาร RDX จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 1 .....                                           | 44   |
| 23     | ผลการตรวจพบสาร RDX จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 5 .....                                           | 44   |
| 24     | ผลการตรวจพบสาร RDX จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 7 .....                                           | 45   |
| 25     | ผลการตรวจพบสาร RDX จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 15 .....                                          | 45   |

| ภาพที่ |                                                          | หน้า |
|--------|----------------------------------------------------------|------|
| 26     | ผลการตรวจพบสาร RDX จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 30 .....  | 46   |
| 27     | ผลการตรวจพบสาร RDX จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 45 .....  | 46   |
| 28     | ผลการตรวจพบสาร RDX จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 60 .....  | 47   |
| 29     | ผลการตรวจพบสาร PETN จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 1 .....  | 47   |
| 30     | ผลการตรวจพบสาร PETN จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 5 .....  | 48   |
| 31     | ผลการตรวจพบสาร PETN จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 7 .....  | 48   |
| 32     | ผลการตรวจพบสาร PETN จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 15 ..... | 49   |
| 33     | ผลการตรวจพบสาร PETN จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 30 ..... | 49   |
| 34     | ผลการตรวจพบสาร PETN จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 45 ..... | 50   |
| 35     | ผลการตรวจพบสาร PETN จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 60 ..... | 50   |
| 36     | ผลการตรวจพบสาร TNT จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 1.....    | 51   |
| 37     | ผลการตรวจพบสาร TNT จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 5.....    | 51   |
| 38     | ผลการตรวจพบสาร TNT จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 7 .....   | 52   |
| 39     | ผลการตรวจพบสาร TNT จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 15.....   | 52   |
| 40     | ผลการตรวจพบสาร TNT จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 30.....   | 53   |
| 41     | ผลการตรวจพบสาร TNT จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 45.....   | 53   |
| 42     | ผลการตรวจพบสาร TNT จากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 60.....   | 54   |
| 43     | โครงสร้างสาร HMX .....                                   | 56   |

## บทที่ 1

### บทนำ

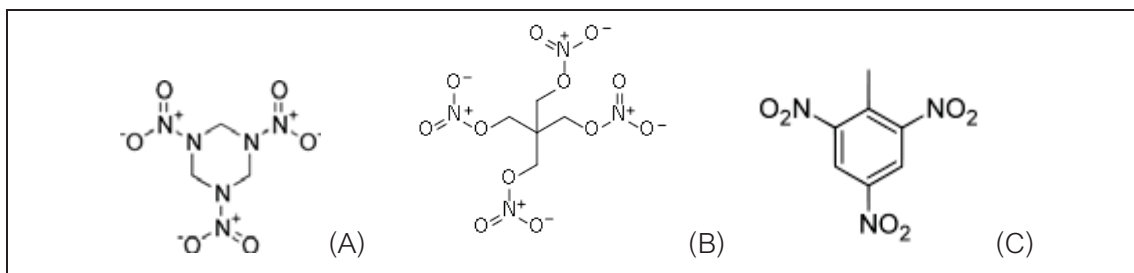
#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากเหตุการณ์ความไม่สงบใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของไทย อันได้แก่ จังหวัดนราธิวาส จังหวัดปัตตานี และ จังหวัดยะลา หรือที่เรียกว่า “ไฟใต้” ซึ่งเกิดขึ้นตั้งแต่ปี 2547 และได้ทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบัน และยังได้ขยายเขตความไม่สงบไปยัง พื้นที่ 4 อำเภอของจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอสะบ้าย้อย อำเภอเทพา อำเภอนาทวี และอำเภอจะนะ โดยมีทั้งเหตุการณ์ลอบทำร้ายเจ้าหน้าที่รัฐ วางเพลิงเผาโรง เรือน ก่อจลาจล ก่อการร้าย และ ลอบวางระเบิด ศูนย์ปฏิบัติการตำรวจจังหวัดชายแดนภาคใต้ (ศชต.) ได้มีรายงานสรุป สถานการณ์ในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ถึงแนวโน้มของสถานการณ์ตั้งแต่ปี 2547 ถึงเดือน พฤศจิกายน 2551 พบว่ามีเหตุการณ์ความไม่สงบเกิดขึ้นทั้งสิ้น 8,886 เหตุการณ์ แยกเป็น จังหวัดนราธิวาส 3,132 เหตุการณ์ จังหวัดปัตตานี 2,765 เหตุการณ์ จังหวัดยะลา 2,490 เหตุการณ์ และ จังหวัดสงขลา 499 เหตุการณ์ โดยเป็นเหตุการณ์ลอบยิง 4,610 เหตุการณ์ วางเพลิง 1,315 เหตุการณ์ และระเบิด 1,405 เหตุการณ์ มีประชาชน ตำรวจ และทหาร สูญเสียชีวิตทั้งสิ้น 3,195 ราย (สถาบันข่าวอิศรา 2009) โดยเหตุการณ์การลอบวางระเบิดนั้นถือว่ามีความรุนแรงและสร้างความเสียหายได้มากที่สุด โดยระเบิดที่คนร้ายมักนำมาใช้ก่อความไม่สงบส่วนใหญ่เป็นวัตถุระเบิด ชนิดแสงเครื่อง ซึ่งทำการจุดชนวนด้วย สายไฟฟ้า รีโมทคอนโทรล นาฬิกาหรือโทรศัพท์มือถือ (Boonpanya, et al 2007: 91-100) จากสถิติการใช้วัตถุระเบิดแสงเครื่องในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ของ ศปภ.ตร.สน. รวบรวมไว้ พบว่าตั้งแต่ปี 2547 จนถึงปี 2552 การใช้วัตถุระเบิดแสงเครื่องใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้และ 4 อำเภอของจังหวัดสงขลาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 69 ครั้งในปี 2547 เป็น 274 ครั้งในปี 2548 ตามด้วย 381 ครั้งในปี 2549 และพุ่งสูงถึง 510 ครั้งในปี 2550 โดยรวม 4 ปีมีเหตุลอบวางระเบิดมากถึง 1,234 ครั้ง ส่วนในปี 2551 มีการใช้ระเบิดแสงเครื่อง 218 ครั้ง ซึ่งดูเหมือน สถิติในปี 2551 จะลดลงจากปีก่อน ๆ แต่มีอย่างน้อย 4 ครั้งที่เป็นเหตุการณ์คาร์บอมบ์ (Car Bomb) หรือเป็นระเบิดแสงเครื่องที่บรรจุมาในรถยนต์ ซึ่งเป็นรูปแบบการวางระเบิดที่สร้างความเสียหายสูงมาก และในปี 2552 จนถึงสิ้นเดือนธันวาคม มีเหตุการณ์วางระเบิดทั้งหมด 237 เหตุการณ์ ซึ่งถือว่าเป็นสถิติที่เพิ่มขึ้น 19 เหตุการณ์จากปี 2551

จากข้อมูลทีกล่าวนมาจะเห็นว่าเหตุการณ์ลอบวางระเบิดในพื้นที่ชายแดนใต้ยังไม่มีทีท่าว่าจะลดลงเลยแม้แต่บ่อยและเหตุการณ์ต่าง ๆ ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ระเบิดแสงเครื่อง (Improvised Explosive Device: IED) คือ วัตถุระเบิดที่เกิดจากการนำเอาสารเคมีและอุปกรณ์ที่หาได้ ง่ายและใกล้ตัว ในพื้นที่นั้น ๆ มาทำเป็นวัตถุระเบิด ทำให้ระเบิดแสงเครื่องไม่มีรูปแบบที่แน่นอนที่ แสดงให้เห็นว่าเป็นวัตถุระเบิด มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ ดินระเบิดหลักและสะเก็ดระเบิด (Main Charge) ตัวจุดระเบิด (Initiator or Detonator) ได้แก่ เชื้อประทุไฟฟ้า (Electric Blasting Caps) ระบบสวิตช์ควบคุมการจุดระเบิด เช่น สายไฟ ระยะไกล โทรศัพท์มือถือ นาฬิกาข้อมือดิจิตอล หรือวงจรแบบผสมทางกลและไฟฟ้า และสุดท้ายคือแหล่งจ่ายไฟหรือแบตเตอรี่ การทำงานของวัตถุระเบิดแสงเครื่องที่นิยมใช้ ก่อนการร้ายส่วนมาก อาศัยการทำงานแบบระบบไฟฟ้า เนื่องจาก สามารถประดิษฐ์ได้ง่าย กำหนดเวลาได้ และควบคุมจังหวะการทำงานได้แน่นอน รวมถึงควบคุมการทำงานในระยะไกลได้อีกด้วย

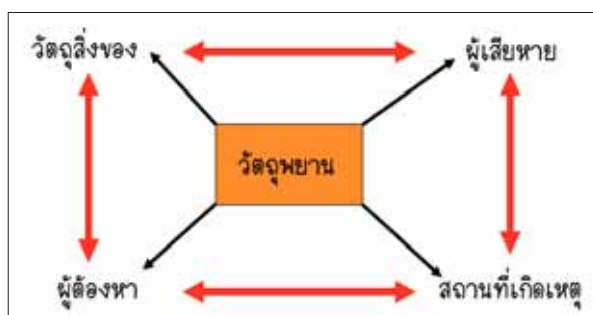
สารระเบิด Cyclotrimethylene trinitramine (RDX), Pentaerythrit tetranitrate (PETN) และ Trinitrotoluene (TNT) (ภาพที่ 1) จัดเป็นวัตถุระเบิดแรงสูง (High Explosive) (Hallowell 2008) ใช้ในงานทางทหาร และ อุตสาหกรรมเหมืองแร่ สารระเบิด RDX หรือที่เรียก 1,3,5-Trinitro-1,3,5-triazacyclohexane หรือ Cyclonite ก็เรียก และ PETN นิยมใช้เป็นวัตถุระเบิดในการผลิตเชื้อปะทุโดยใช้ ทำเป็นประจุล่าง (Base Charge) ของเชื้อปะทุ (Blasting Caps) ทำสายชนวนระเบิด (Detonating Cords) ดินขยายการระเบิด (Booster) และดินระเบิดทำลาย เช่น RDX ใช้เป็นส่วนผสมหลักในระเบิดซีโฟร์ (C4) เป็นต้น สารระเบิด PETN เป็นวัตถุระเบิดที่เสถียรและมีประสิทธิภาพสูงมากชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติที่เกือบจะไม่ละลายน้ำเลยจึงอาจใช้ในการทำลายได้น้ำได้ มักใช้ผสมกับวัตถุระเบิดแรงสูงชนิดอื่น ๆ เช่น RDX, TNT หรือไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose) เป็นต้น สารระเบิด TNT เป็นวัตถุระเบิดทางทหาร อาจใช้ตามลำพังหรือใช้ทำเป็นวัตถุระเบิดชนิดผสมของวัตถุระเบิดแรงสูงหลายชนิด โดยทั่วไปจุดระเบิดได้โดยการใช้เชื้อปะทุเท่านั้น สารระเบิดทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นวัตถุระเบิดที่มีความไวสูง มีกำลังการระเบิดมาก จึงมักนำมาใช้ก่อความไม่สงบอยู่บ่อย ๆ จึงเป็นเหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกมาทำการทดลองศึกษาเพื่อหาระยะเวลาการคงอยู่ของสารระเบิดเหล่านี้ ที่ตกค้างหรือปนเปื้อนพื้นผิ วัตถุที่ได้มีการสัมผัสกับสารระเบิด ในระยะเวลา 60 วัน



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของสารระเบิด RDX (A), PETN (B), และ TNT (C)

ที่มา : [Explosives \[Online\]](http://web.fccj.org/~ethall/explode/explode.htm), accessed 29 March 2009. Available from <http://web.fccj.org/~ethall/explode/explode.htm>

การตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ (Crime Scene Investigation) ในจังหวัดชายแดนภาคใต้เป็นการเข้าตรวจค้นพิสูจน์ทราบ โดยอาศัยหลักการทางนิติวิทยาศาสตร์ในการเชื่อมโยงวัตถุพยานที่มีการปนเปื้อน วัตถุต้องสงสัย ในสถานที่ต้องสงสัยกับตัวผู้กระทำผิด ตามทฤษฎีของ Locard (Locard Exchange Principle Theory) ที่ว่าวัตถุ 2 สิ่งเมื่อมีการสัมผัสกันย่อมมีการแลกเปลี่ยนซึ่งกันและกัน



ภาพที่ 2 หลักการเชื่อมโยงวัตถุพยาน

โดยในการเข้าตรวจค้นเพื่อพิสูจน์ทราบสารระเบิดนั้น เป็นการพิสูจน์ว่าสถานที่ต้องสงสัยมีการปนเปื้อนอันเกิดจากการประกอบระเบิด กักเก็บสารระเบิดหรือมีวัสดุอุปกรณ์ในการทำวัตถุระเบิด หรือมีสารเคมีที่เป็นวัตถุระเบิดซึ่งอาจนำมาประกอบเป็นวัตถุระเบิด ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจพิสูจน์ที่เชื่อมโยงระหว่างกระบวนการก่อการร้ายกับสถานที่ต้องสงสัย ซึ่งนั่นหมายความว่าสถานที่แห่งนั้นน่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับผู้ก่อเหตุและกระบวนการก่อการร้ายหรือไม่ โดยผลการตรวจค้นพิสูจน์ทราบนี้ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการสืบสวนสอบสวน ขยายผลดำเนินการจับกุมผู้ต้องสงสัยในการก่อการร้ายได้ อีกทั้งเป็นการป้องปรามผู้ที่คิดจะกระทำผิดให้หยุดหรือละเว้นการกระทำนั้น

ในการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ นั้น องค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญและช่วยให้ผลการตรวจพิสูจน์มีประสิทธิภาพ ได้แก่ การนำเทคโนโลยี (Technology Management) อันได้แก่ เครื่องมือพิเศษต่าง ๆ เข้ามาใช้ในการตรวจพิสูจน์ เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ในจังหวัด ชัยแดนภาคใต้สำหรับการตรวจพิสูจน์สารระเบิดเป็นเครื่องตรวจพิสูจน์ร่องรอยสารระเบิด และสารเสพติดเบื้องต้น (Screening test) ได้แก่ เครื่อง FIDO เป็นเครื่องตรวจหาร่องรอยสารระเบิดแบบพกพา โดยอาศัยเซ็นเซอร์ตรวจจับสารระเหย เครื่อง SABRE 4000 เป็นเครื่องตรวจหาร่องรอยสารระเบิดแบบพกพา เครื่อง Ionscan รุ่น 500DT และ Ionscan รุ่น 400B เป็นเครื่องตรวจหาร่องรอย สารระเบิดแบบตั้งโต๊ะ โดยเครื่องมือทั้ง 3 ชนิดนี้อาศัยหลักการ Ion Mobility Spectrometry (IMS) ในการตรวจวิเคราะห์ โดยอาศัยคุณสมบัติทางความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารที่แตกต่างกัน จึงทำให้แยกสารระเบิดแต่ละชนิดได้

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาค่า Limit of detection ของเครื่องไอออนสแกนรุ่น 400B ในการตรวจหาสารระเบิด RDX, PETN และ TNT
2. ศึกษาความเข้มข้นของสารระเบิด RDX, PETN และ TNT ภายในระยะเวลา 30 วัน บนพื้นผิวของผ้าฝ้ายและไม้อัดด้วยเครื่องไอออนสแกนรุ่น 400B
3. ศึกษาการคงอยู่ของสารระเบิด RDX, PETN และ TNT ภายในระยะเวลา 60 วัน บนพื้นผิวผ้าฝ้ายและไม้อัดด้วยเครื่องไอออนสแกนรุ่น 400B

### สมมติฐานในการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย คือสามารถตรวจพบสารระเบิด RDX, PETN และ TNT บนพื้นผิวผ้าฝ้ายและไม้อัดได้นานมากกว่า 1 เดือนขึ้นไปด้วยเครื่องไอออนสแกนรุ่น 400B

### ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาค่า Limit of Detection ของสารระเบิด 3 ชนิด ได้แก่ RDX, PETN และ TNT เพื่อนำมาศึกษาการคงอยู่ของสารระเบิดที่ ความเข้มข้นต่าง ๆ บนพื้นผิววัตถุ 2 ชนิด คือผ้าฝ้ายและ ไม้อัด เพื่อหาความเข้มข้นที่สามารถนำมาศึกษาการคงอยู่ของสารระเบิดภายในระยะเวลา 60 วัน โดยนำสารละลายของสารระเบิด หยดลงบนพื้นผิววัตถุแต่ละชนิด จากนั้นนำไปเก็บไว้ในห้อง ทดลอง เมื่อครบกำหนดระยะเวลาในการศึกษาจึงนำตัวอย่างมา ทำการตรวจวิเคราะห์หาสารระเบิดด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B



### ข้อจำกัดในการวิจัย

1. เนื่องจากสารระเบิดมาตรฐาน (Standard Explosives) มีราคาสูง และการจัดซื้อมีข้อกำหนดในเรื่องการครอบครอง สารระเบิด ตามกฎหมาย จึงใช้สารระเบิดทางทหาร (Military Explosives) ทำการศึกษาทดลอง
2. การทดลองนี้ทำในเชิงคุณภาพ ผลการทดลองจึงบอกได้เพียงว่าสามารถตรวจพบสารระเบิดหรือไม่พบเท่านั้น

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบข้อจำกัดของเครื่องไฮดรอนสแกนในการตรวจสารระเบิด RDX, PETN และ TNT
2. ทราบระยะเวลาในการคงอยู่ของสารระเบิดบนพื้นผิววัตถุที่มีการสัมผัสกับสารระเบิด
3. ผลจากการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการตรวจพิสูจน์หาร่องรอยของสารระเบิดทั้ง 3 ชนิด ในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ และ 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ระเบิด (Explosives)

##### 1.1. ความหมาย (Meaning of Explosives)

1.1.1. คือ สารซึ่งเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาทางเคมี จะทำให้เปลี่ยนจากสภาพเดิมกลายเป็นแก๊ส และเกิดความร้อนและแรงดันเท่า ๆ กันทุกทิศทาง

1.1.2. คือ วัตถุทางเคมีที่มีความสามารถในการลุกไหม้และปลดปล่อยแก๊สปริมาณมากออกมาโดยฉับพลัน

1.1.3. คือ สารเคมีที่เป็นสารประกอบหรือของผสม ซึ่งหากได้รับการกระตุ้นที่เหมาะสมด้วยความร้อน แรงกระแทก การเสียดสีหรือแรง Shock Wave จะทำปฏิกิริยาสลายตัวทันทีทันใดตามขั้นตอนของ Thermo Chemical ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดเป็นความร้อนและก๊าซที่มีความดันสูง มีอุณหภูมิประมาณ 3,000 - 7,000 องศาฟาเรนไฮต์ และความดันประมาณ 150,000 – 4,000,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Malti 1999)

##### 1.2. ประวัติ (History of Explosives)

1.2.1. ปีคริสต์ศักราช 1846 Ascanio Sobrero นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลีได้ค้นพบไนโตร-กลีเซอริน (Nitroglycerine) เป็นครั้งแรก โดยการนำไฮลด์รอล (Glycerol) มาผสมกับกรดดินประสิวและกรดกำมะถันที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ แต่ไม่สามารถนำมาใช้งานอย่างปลอดภัยได้เนื่องจาก Nitroglycerine สามารถระเบิดได้ง่ายมากด้วยแรงกระแทกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

1.2.2. ปีคริสต์ศักราช 1867 Alfred Nobel ชาวสวีเดนได้ค้นพบวิธีการนำ Nitroglycerine มาใช้ได้อย่างปลอดภัยเป็นครั้งแรก โดยการใส่ผงทรายและไดอะตอมไมต์ (Diatomite) เป็นตัวดูดซึม Nitroglycerine ได้ส่วนผสมที่เรียกว่า ไดนาไมต์แปะเปียก (Paste Dynamite) ซึ่งสามารถกระตุ้นให้เกิดการระเบิดได้ด้วยเชือกปะทุในสภาวะที่ควบคุมได้ ต่อมาได้มีการนำเอาโซเดียมไนเตรต (Sodium Nitrate) มาเป็นตัวดูดซึม Nitroglycerine ตามลำดับ

1.2.3. ปีคริสต์ศักราช 1875 Alfred Nobel ได้ค้นพบวิธีการนำ Nitroglycerine มาผสมกับไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose) ในอัตราส่วน 92:8 ได้วัตถุระเบิดชนิดใหม่เรียกว่า บลาสต์จี้เจลลาติน (Blasting Gelatin) ซึ่งนับเป็นวัตถุระเบิดในทางการค้าที่มีพลังการทำลายสูงที่สุด

1.2.4. ปีคริสต์ศักราช 1945 ได้มีการพัฒนาวัตถุระเบิดทางการค้า ที่เรียกว่า Ammonium Nitrate and Fuel Oil (ANFO) ขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรก โดยการนำแอมโมเนียมไนเตรท (Ammonium nitrate;  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) มาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 94: 6 โดยประมาณ วัตถุระเบิดชนิดนี้นับว่าเอื้อประโยชน์ต่อวงการวัตถุระเบิดในทางการค้ามากที่สุด เนื่องจากเป็นวัตถุระเบิดที่มีราคาต่ำ มีความปลอดภัยสูง และมีประสิทธิภาพยอดเยี่ยมเมื่อเปรียบเทียบกับราคาวัตถุระเบิดชนิดอื่น

1.2.5. ปีคริสต์ศักราช 1950-1960 ได้มีการค้นพบวัตถุระเบิดที่มีองค์ประกอบเหมือนเจล มี Ammonium nitrate สารอินทรีย์และน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ เรียกว่า วอเตอร์เจล (Water Gel) หรือเจลน้ำ

1.2.6. ปีคริสต์ศักราช 1960-1970 ได้มีการค้นพบวัตถุระเบิดที่มี Ammonium Nitrate หรือ Sodium Nitrate และซีฟี่ปิโตรเลียม (Petroleum Wax) เป็นองค์ประกอบสำคัญ มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด เรียกว่า วัตถุระเบิดแบบหนืด (Emulsion Explosive) ส่วนวัตถุระเบิดประเภทเจลน้ำ (Water Gel) มีส่วนประกอบสำคัญคือ Ammonium Nitrate และน้ำประมาณ 10 – 30 % นอกจากนั้นจะมีเชื้อเพลิงที่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบคาร์บอน ผงอะลูมิเนียม หรือ วัตถุระเบิดแรงสูงชนิดอื่น เช่น TNT เป็นต้น วัตถุระเบิดประเภทนี้หากนำมาทำให้มีความไวต่อการจุดระเบิดด้วยเชื้อปะทุ (Detonator) หรือจุดระเบิดด้วยวัตถุระเบิดแรงสูง (High Explosive) ก็ทำได้ง่าย เรียกว่า วัตถุระเบิดชนิดเหลวหนืด (Slurry Explosive) มีชื่อทางการค้าได้แก่ Power Gel หรือ Magnum ภาชนะที่บรรจุส่วนมากจะเป็นแบบกระป๋องเคลือบดีบุกมีหลายขนาดหรืออาจบรรจุในผ้าใบยางสังเคราะห์ วัตถุระเบิดแบบเพาเวอร์เจล (Emulsion Slurry Type) เป็นสารระเบิดชนิดเหลว ถือเป็นสารระเบิดในทางพลเรือนใช้ในการระเบิดหินตามเหมืองถ่านหิน โรงงานผลิตหินปูนทั่วไป ซึ่งในอดีตประเทศไทยมีโรงงานผลิตสารระเบิดชนิดนี้อยู่ที่ จ.สระบุรี แต่ปัจจุบันโรงงานย้ายไปตั้งที่ประเทศมาเลเซีย ระเบิดแบบเพาเวอร์เจลเป็นที่นิยมในหมู่ผู้ก่อการร้ายสากล เนื่องจากเป็นของเหลวสามารถนำไปบรรจุใส่ในอุปกรณ์หรือวัตถุได้หลากหลายแบบ กลมกลืนกับสภาพแวดล้อม และซุกซ่อนได้ง่าย

### 1.3. ชนิดของวัตถุระเบิด (Type of Explosives)

สามารถจำแนกได้ 3 ชนิดตามวัตถุประสงค์การใช้งาน (Midkiff 1982) คือ

1.3.1. วัตถุระเบิดทางการค้าหรืออุตสาหกรรม (Commercial Explosives) ได้แก่ Blasting, Gelatin, Dynamite, Water Gel, Emulsion Explosive หรือ ANFO เป็นต้น

1.3.2. วัตถุระเบิดทางทหาร (Military Explosives) เป็นวัตถุระเบิดที่ใช้ในงานทางทหาร ได้แก่ TNT, PETN, RDX และ HMX เป็นต้น

1.3.3. วัตถุระเบิดชนิด Home-Made (Improvised) หรือวัตถุระเบิดแสงเครื่อง (Improvised Explosive Device) ซึ่งเกิดจากการนำเอาสารเคมีและอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและใกล้ตัวในพื้นที่นั้น ๆ มาทำเป็นวัตถุระเบิด

### 1.4. วัตถุระเบิดทางการค้าหรืออุตสาหกรรม (Commercial Explosives)

วัตถุระเบิดที่ใช้ในทางการค้าและอุตสาหกรรมเป็นระเบิดที่มีการขออนุญาตและมีขั้นตอนการผลิตอย่างถูกต้องตามหลักเกณฑ์และกฎหมาย ได้แก่ งานโยธา งานเหมืองแร่และเหมืองหิน และงานพิเศษอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เพื่อการทหาร

#### 1.4.1. ประเภทของวัตถุระเบิดทางการค้าหรืออุตสาหกรรม

แบ่งตามคุณสมบัติในการใช้งาน ความยากง่ายในการระเบิด และตามกฎหมายควบคุมการขนส่งซึ่งมักเกี่ยวข้องกับความเร็วในการระเบิดของสารระเบิดหรือวัตถุระเบิดชนิดนั้น ๆ ได้ 4 ประเภท คือ

1.4.1.1. วัตถุระเบิดแรงต่ำ (Low Explosives) คือวัตถุระเบิดที่ไม่ให้ช็อกเวฟ (Shock Wave) ขณะระเบิด เช่น ดินดำ (Black Powder) ผงระเบิดไม่มีควัน (Smokeless Powder) ผงแฟลช (Flash Powder) วัตถุระเบิดแรงต่ำจะถูกกระตุ้นให้ระเบิดได้โดยการจุดไฟ

1.4.1.2. วัตถุระเบิดชักนำหรือวัตถุระเบิดที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดการระเบิด (Initiating Explosive or Primary High Explosive) คือวัตถุระเบิดที่ใช้สำหรับเป็นวัตถุระเบิดชักนำ ได้แก่ Lead Azide, Lead Styphnate, Mercury Fulminate, PENT หรือ RDX เป็นต้น เป็นวัตถุระเบิดที่ใช้ทำเชื้อปะทุเพื่อจุดระเบิดแรงสูง ประกอบด้วยวัตถุระเบิดแรงต่ำและวัตถุระเบิดแรงสูงประกอบเข้าด้วยกัน เมื่อมีการจุดระเบิดวัตถุระเบิดแรงต่ำจะทำให้มีการกระตุ้นให้วัตถุระเบิดแรงสูงที่ใช้เป็นระเบิดชักนำในเชื้อปะทุหรือแท่งเกิดการระเบิดและไปกระตุ้นให้ระเบิดแรงสูงเกิดการระเบิดขึ้นในลักษณะของปฏิกิริยาลูกโซ่จากระเบิดที่มีพลังงานน้อยไปสู่วัตถุระเบิดที่มีพลังงานมากกว่า โดยเชื้อปะทุที่อยู่รวมกับวัตถุระเบิดแรงสูงนี้ เรียกว่า ไพโรเมอร์ (Primer) ส่วน

วัตถุระเบิดแรงสูงที่ใช้กระตุ้นระเบิดแรงสูงที่เป็นระเบิดหลัก (Main Charge) โดยไม่มีเชื้อปะทุอยู่ด้วย เรียกว่า บูลสเตอร์ (Booster)

1.4.1.3. วัตถุระเบิดแรงสูงที่เป็นวัตถุระเบิดหลัก (Secondary High Explosive or Main Charge) คือ สารที่ให้ช็อกเว็บบนขณะที่ระเบิด เช่น Dynamite, Water Gel, Emulsion Explosive, TNT, ANFO และสายชนวนระเบิด เป็นต้น วัตถุระเบิดแรงสูงไม่สามารถกระตุ้นให้ระเบิดได้โดยการจุดไฟจะต้องมีแท่งหรือวัตถุที่สามารถผลิตช็อกเว็บบนกระตุ้นให้มีการระเบิด อย่างไรก็ตามกฎหมายมักมีความเข้มงวดในการควบคุมการขนส่งวัตถุระเบิดแรงสูงเป็นพิเศษกว่าสารประกอบระเบิด

1.4.1.4. สารประกอบระเบิด (Blasting Agent) คือสารประกอบหรือของผสมที่ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญสำหรับใช้ทำวัตถุระเบิดแรงสูง หรือวัตถุระเบิดแรงสูงบางชนิดที่จุดระเบิดได้ยาก เช่น วัตถุระเบิดแบบหนืด (Emulsion Explosive) บางชนิด มักเป็นวัสดุที่สามารถให้ออกซิเจน (Oxidizer) สารระเบิดเหล่านี้ไม่ได้จัดเป็นวัตถุระเบิดโดยตัวของมันเองแต่จะกลายเป็นวัตถุระเบิดได้ก็ต่อเมื่อได้มีการผสมกับวัสดุจำพวกเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วเท่านั้น ตัวอย่างสารระเบิดที่นิยมใช้ในการทำวัตถุระเบิดในทางการค้ามากที่สุดคือ แอมโมเนียมไนเตรท สารประกอบระเบิดนี้กฎหมายของประเทศต่าง ๆ มักจะมีความเข้มงวดในการควบคุมการขนส่งน้อยกว่าวัตถุระเบิดแรงสูง

## 1.4.2. คุณสมบัติของวัตถุระเบิดทางการค้า

เป็นตัวเลือกใช้วัตถุระเบิดให้สัมพันธ์กับลักษณะงาน และสภาพหน้างาน คุณสมบัติที่ควรพิจารณาของวัตถุระเบิดทางการค้า มีดังนี้

- 1.4.2.1. ความเร็วในการระเบิด (Velocity of Detonation)
- 1.4.2.2. ความหนาแน่น (Density)
- 1.4.2.3. ความดันจากการระเบิด (Detonation Pressure)
- 1.4.2.4. ความไวต่อการกระตุ้นและขนาดอนุภาค (Sensitivity, Critical Diameter)
- 1.4.2.5. พลังงานที่ให้ออกมาหรือความแรงในการระเบิด (Energy Output or Strength)
- 1.4.2.6. คุณสมบัติในการกันน้ำ (Water Resistance)
- 1.4.2.7. ความปลอดภัยในการใช้งาน (Safety Characteristics)
- 1.4.2.8. ลักษณะควันระเบิด (Fume Class)

#### 1.4.2.9. อายุการเก็บรักษา (Shelf Life)

### 1.5. วัตถุระเบิดทางทหาร (Military Explosives)

#### 1.5.1. ประเภทของวัตถุระเบิด

แบ่งตามความเร็วในการปะทุ หรือความเร็วในการลุกไหม้ (เมตรหรือฟุตต่อวินาที) ได้ 2 ประเภท (Cooper 1996) คือ

1.5.1.1. วัตถุระเบิดแรงต่ำ (Low Explosives) คือ ระเบิดที่สามารถทำให้เกิดการระเบิดได้โดยการใช้ไฟจุด ทำให้เกิดปฏิกิริยาในการเปลี่ยนสภาพจากของแข็งไปเป็นแก๊สเกิดได้ค่อนข้างช้า มีการเผาไหม้ของสารเคมีอย่างรุนแรงในพื้นที่จำกัดทำให้เกิดแรงดันของก๊าซอย่างมหาศาลจนทำให้เกิดการระเบิดขึ้น เรียกว่า การลุกไหม้อย่างรุนแรง (Deflagration) คุณลักษณะอันนี้ทำให้วัตถุระเบิดแรงต่ำเหมาะสำหรับเป็นตัวให้กำลังขับเคลื่อน วัตถุระเบิดประเภทนี้ได้แก่ ดินสักระสุน ดินดำ และสารไพโรเทคนิค (Pyrotechnic) ระเบิดแรงต่ำต่างจากระเบิดแรงสูงคือ ไม่สามารถทำให้เกิดช็อกเวฟ (Shock Wave) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีความเร็วเร็วกว่าความเร็วเสียงได้

1.5.1.2. วัตถุระเบิดแรงสูง (High Explosives) คือ วัตถุระเบิดที่สามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วมาก เรียกว่า การปะทุ (Detonation) ทำให้เกิดอำนาจการฉีกขาดต่อเป้าหมาย โดยต้องถูกกระตุ้นให้เกิดการระเบิดด้วยการกระแทกอย่างแรงจนเกิดเป็น Shock Wave เช่น การถูกยิงด้วยกระสุนปืน แต่ไม่สามารถที่จะกระตุ้นได้โดยการจุดไฟ วัตถุระเบิดแรงสูงนี้ใช้ในที่ต้องการอำนาจการฉีกขาด เช่น ใช้เป็นดินระเบิดทำลาย และใช้เป็นดินระเบิดในทุ่นระเบิดกระสุนปืนใหญ่

#### 1.5.2. วัตถุระเบิดที่ใช้ในทางทหาร

1.5.2.1. Ammonium Nitrate ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) เป็นวัตถุระเบิดทางทหารที่มีความไวต่ำที่สุด จะต้องมีการขยายการระเบิดจึงจะระเบิดได้โดยสมบูรณ์ ใช้ทำเป็นวัตถุระเบิดชนิดผสม Ammonium Nitrate ดูดความชื้นได้ง่ายจึงต้องบรรจุไว้ในภาชนะที่ผนึกกันความชื้น

1.5.2.2. Pentaerythritol Tetranitrate (PETN) เป็นวัตถุระเบิดทางทหารที่มีความไวสูงและมีกำลังการระเบิดมากชนิดหนึ่งพอ ๆ กับ RDX และไนโตรกลีเซอรีน เป็นวัตถุระเบิดที่เสถียรและมีประสิทธิภาพสูงมากที่สุดชนิดหนึ่ง ในทางทหารใช้ทำระเบิดพลาสติก

1.5.2.3. Cyclotrimethylene Trinitramine (RDX) เป็นวัตถุระเบิดทางทหารที่มีความไวและอำนาจการฉีกขาดสูงและมีกำลังการระเบิดมากชนิดหนึ่ง ใช้เป็นดินสักระสุนหลักสำหรับบรรจุเชื้อปะทุไฟฟ้า เอ็ม 6 และเชื้อปะทุขนวน เอ็ม 7 ส่วนใหญ่ใช้สำหรับทำวัตถุระเบิดชนิด

ผสม เช่น คอมโบซิชั่น เอ บี และซี โดย RDX ประมาณ 83 % ผสมกับซีดีหรือวัสดุที่สามารถทำให้มีการป่นเป็นก้อนได้ง่ายอีก 17 % เรียกว่า ระเบิดซีไฟร์ (C-4) เป็นวัตถุระเบิดที่ใช้เพื่อการทหาร

1.5.2.4. Trinitrotoluene (TNT) เป็นวัตถุระเบิดทางทหาร อาจใช้ตามลำพัง หรือใช้ทำเป็นวัตถุระเบิดชนิดผสมของวัตถุระเบิดแรงสูงหลายชนิดทั้งในทางทหารและใช้ในการค้า เป็นวัตถุระเบิดมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับวัตถุระเบิดแรงสูงอื่น ๆ โดยทั่วไปสามารถจุดระเบิดได้โดยการใช้เชื้อปะทุเท่านั้น นิยมใช้เป็นวัตถุระเบิดทางการทหารและทางการค้า

1.5.2.5. Trinitrophenylmethylnitramine(Tetryl) มีลักษณะเป็นผงละเอียด หรือเป็นผลึกสีเหลืองอ่อน ไม่มีกลิ่น สามารถจุดระเบิดได้ด้วยไฟ การเสียดสี หรือการกระแทก เป็นวัตถุระเบิดที่มีความไวและอำนาจการระเบิดมากชนิดหนึ่ง มีพลังการระเบิดสูงกว่า TNT แต่ไม่ค่อยเสถียรเท่ากับ TNT ทำให้มีการใช้ในทางทหารน้อยกว่า ปัจจุบันนิยมใช้เป็นวัตถุระเบิดในการผลิตเชื้อปะทุและใช้ในการกระตุ้นระเบิดแรงสูงชนิดอื่น (Standard Booster Explosive)

1.5.2.6. Nitroglycerin ( $C_3H_5N_3O_9$ ) เป็นวัตถุระเบิดแรงสูงที่มีกำลังการระเบิดมากชนิดหนึ่ง พอ ๆ กับ RDX และ PETN มีลักษณะเป็นของเหลวหากบริสุทธิ์จะใสไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ ใช้เป็นวัตถุระเบิดหลักของไดนาไมท์พลเรือน

1.5.2.7. Black Power หรือดินดำ เป็นวัตถุระเบิดและดินส่งกระสุนเก่าแก่ โดยเป็นส่วนผสมของถ่าน ดินประสิว และกำมะถัน มักใช้ในการทำฝักแคเวลา ดินทวิเพลิงหรือดินจุด และดินนำระเบิดบางชนิด

1.5.2.8. Tetrytol เป็นวัตถุระเบิดชนิดผสมระหว่าง Tetryl กับ TNT ใช้เป็นดินระเบิดทำลาย มีกำลังการระเบิดและอำนาจการฉีกขาดสูงกว่า TNT แต่มีความไวน้อยกว่า Tetryl

1.5.2.9. Ammatol เป็นส่วนผสมของ Ammonium Nitrate กับ TNT ซึ่งได้นำมาใช้เป็นดินระเบิดแทน TNT

1.5.2.10. Composition A3 เป็นส่วนผสมของ RDX และซีดี

1.5.2.11. Composition B เป็นวัตถุระเบิดชนิดผสมระหว่าง RDX, TNT และซีดี

1.5.2.12. Composition 4 เป็นวัตถุระเบิดชนิดผสมประกอบไปด้วย RDX, TNT และแคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate)

1.5.2.13. Composition C2, C3 เป็นวัตถุระเบิดชนิดผสมประกอบไปด้วย RDX กับสารปั้นได้ประเภทวัตถุระเบิด (TNT กับวัตถุระเบิดอื่น) ต่อมาได้ผลิต C3 ออกมาใช้แทน C2 ประกอบด้วย RDX กับสารปั้นได้ประเภทวัตถุระเบิด (TNT เททริล ไนโตรเซลลูโลส และอื่น ๆ)

1.5.2.14. Composition C4 เป็นวัตถุระเบิดชนิดผสมประกอบไปด้วย RDX กับสารปั้นได้ที่ไม่ใช่วัตถุระเบิด ใช้แทน Composition C3 ในการทำลาย และใช้ทำหลอดดินระเบิด

1.5.2.15. Pentolite เป็นส่วนผสมระหว่าง PETN กับ TNT

1.5.2.16. Dynamite วัตถุระเบิดประเภทนี้ส่วนมากมี Nitroglycerin ปนอยู่ด้วยยกเว้น Military Dynamites กำลังการระเบิดและความไวของไดนาไมท์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างรวมทั้งปริมาณของไนโตรกลีเซอรินที่มีอยู่ ใช้ในการระเบิดทั่ว ๆ ไปและในการระเบิดทำลาย

1.5.2.17. Military Dynamite เป็นส่วนผสมระหว่าง RDX, TNT สารปั้นได้ และตัวลดความไว เป็น Dynamite ที่ไม่มีไนโตรกลีเซอรินผสมด้วย จึงทำให้มีความคงทนปลอดภัยในการเก็บรักษา และการหยิบยกมากกว่า Dynamite ที่มี Nitroglycerin ปนอยู่

### 1.5.3. คุณสมบัติของวัตถุระเบิดที่ใช้ในทางทหาร (Military Explosive Property)

วัตถุระเบิดที่เหมาะสมสำหรับใช้ปฏิบัติการทางทหารจะต้องมีคุณสมบัติและลักษณะที่เป็นมาตรฐานและเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม ดังนี้

1.5.3.1. ได้จากวัตถุดิบที่หาได้ง่ายและผลิตได้ในราคาถูก

1.5.3.2. ไม่ไวต่อแรงกระแทกหรือเสียดสีจนเกินไป และต้องจุดด้วยตัวจุดอย่างง่าย ๆ ได้

1.5.3.3. มีอำนาจการฉีกขาดและพลังงานศักย์เพียงพอสำหรับการใช้งาน

1.5.3.4. มีความคงทนดีสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานในทุกสภาพอากาศ ตั้งแต่ -80 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง 165 องศาฟาเรนไฮต์

1.5.3.5. มีความหนาแน่นมาก

1.5.3.6. สามารถใช้ในอากาศชื้น หรือใต้น้ำได้

1.5.3.7. มีความเป็นพิษน้อยที่สุด

1.5.3.8. มีรูปร่างและขนาดเหมาะสมแก่การบรรจุหีบห่อ เก็บรักษา ขนย้าย และใช้งาน



## 1.6. วัตถุระเบิดแสงเครื่อง (Improvised Explosive Device; IED)

ระเบิดแสงเครื่อง คือ ระเบิดที่ผู้ก่อการร้ายประดิษฐ์ขึ้นมาเองเพื่อใช้ในจุดประสงค์ใดจุดประสงค์หนึ่ง เป็นวัตถุระเบิดที่เกิดจากการนำเอาสารเคมีและอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและใกล้ตัวในพื้นที่นั้น ๆ มาทำเป็นวัตถุระเบิด ทำให้ระเบิดแสงเครื่องไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ไม่มีสัญลักษณ์หรือรูปแบบตัวอักษรใด ๆ แสดงให้เห็นว่าเป็นวัตถุระเบิด ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น ระเบิดแสงเครื่องแบบถือ-พกพาได้ หรือแบบกระเป๋ากบกระเป๋าสาร ระเบิดแสงเครื่องแบบพลีชีพ และระเบิดแสงเครื่องที่ติดไว้กับรถยนต์ (Vehicle Borne-Improvised Explosive Device: VBIED) หรือคาร์บอมบ์ (Car Bomb)

### 1.6.1. การทำงานของวัตถุระเบิดแสงเครื่อง

มีลักษณะการทำงาน 3 ระบบ (สิทธิชัย โกศล 2552) คือ

1.6.1.1. ระบบสารเคมี เป็นการใส่สารเคมี มาทำให้เกิดการทำงานของระเบิด ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่นิยมใช้เพราะขั้นตอนการประดิษฐ์ยุ่งยากและเป็นอันตรายกับตัวผู้ประดิษฐ์ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมเวลาในการระเบิดได้แน่นอน

1.6.1.2. ระบบกลไก เป็นการใช้อุปกรณ์ทางกลต่าง ๆ เช่น แรงดึง แรงกด แรงดีด หรือแรงตกระทบ มาทำให้เกิดการทำงานของระเบิด นิยมใช้กับการระเบิดที่มุ่งสังหารตัวบุคคลเพราะต้องอาศัยสิ่งต่าง ๆ ภายนอกมากระทำต่ออุปกรณ์ ระเบิดจึงจะทำงาน

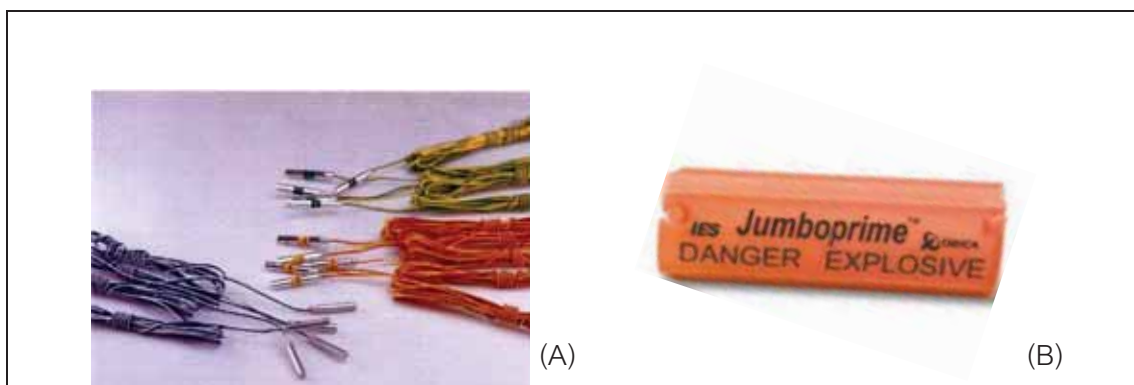
1.6.1.3. ระบบไฟฟ้า ใช้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มาทำให้เกิดการทำงานของระเบิด เป็นระบบที่นิยมใช้มาก เนื่องจากสามารถกำหนดเวลาและควบคุมการทำงานได้แน่นอน รวมถึงควบคุมการทำงานในระยะไกลได้ และสามารถออกแบบได้ซับซ้อนและตอบสนองความต้องการของผู้ประดิษฐ์ได้หลายรูปแบบ

### 1.6.2. ส่วนประกอบหลักของวัตถุระเบิดแสงเครื่องแบบทำงานด้วยระบบไฟฟ้า

ประกอบไปด้วย 4 ส่วน ได้แก่

1.6.2.1. ดินระเบิดและสะเก็ดระเบิด (Main Charge) เป็นตัวที่ทำให้เกิดแรงระเบิด และให้ผลในการทำลายตามต้องการ เช่น ดินระเบิด TNT, C4, C3, PETN หรือสารแอมโมเนียมไนเตรด ( $\text{NH}_4$ ) เป็นต้น

1.6.2.2. ตัวจุดระเบิด (Initiator or Detonator) ได้แก่ เชื้อประทุไฟฟ้า (Electric Blasting Caps) เป็นอุปกรณ์สำคัญในการจุดระเบิดให้เกิดการระเบิด โดยมักมีการดัดแปลงประกอบเข้ากับดินขยายการระเบิด (Booster) ซึ่งเป็นวัตถุระเบิดแรงสูง



ภาพที่ 3 ลักษณะภายนอกของเชื้อปะทุไฟฟ้า (A) และดินขยายการระเบิด (B)

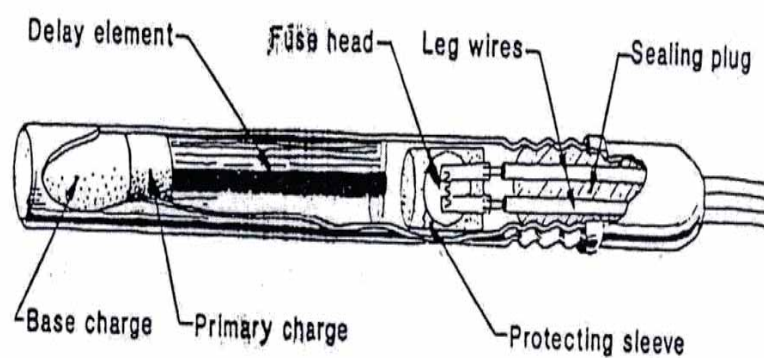
ที่มา : วัตถุระเบิดสำหรับงานเหมืองแร่และเหมืองหิน [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 6 ธันวาคม 2552.  
เข้าถึงได้จาก <http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/equipment/explosive.htm>

1.6.2.3. ระบบสวิตช์ควบคุมการจุดระเบิด เป็นส่วนควบคุมให้เกิดการจุดระเบิดขึ้นตามความต้องการของผู้ประดิษฐ์

1.6.2.4. แหล่งจ่ายไฟหรือแบตเตอรี่ เป็นตัวให้พลังงานไฟฟ้าแก่สวิตช์ควบคุมวงจรจุดระเบิดและตัวจุดระเบิด

### 1.6.3. ขั้นตอนการทำงานของวัตถุระเบิดแสงเครื่อง

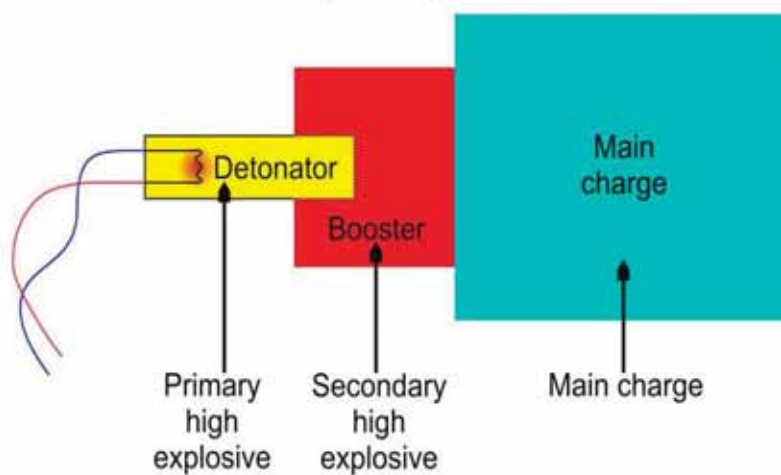
เมื่อส่วนประกอบทั้งหมด ถูกเชื่อมต่อกันเป็นวงจรตามลำดับของการระเบิด (ภาพที่ 5) การทำงานของวัตถุระเบิดแสงเครื่องจะเริ่มขึ้นอย่างเป็นลูกโซ่ เริ่มจากเมื่อระบบสวิตช์ควบคุมมีการถูกกระตุ้นให้ทำงานก็จะไปทำการปลั๊ อยวงจรไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ ส่งผลให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟผ่านสายไฟที่อยู่บริเวณปลายหลอดของตัวเชื้อปะทุไฟฟ้า ซึ่งมีหน้าที่เป็นสะพานไฟให้กับดินเริ่มการจุดระเบิด (Primary Charge) ได้แก่ Lead Azide, Lead Styphnate, Mercury Fulminate หรือ ASA ที่บรรจุอยู่ภายในตัวเชื้อปะทุไฟฟ้านี้เกิดการระเบิดขึ้น (ภาพที่ 4) ส่งผลต่อให้ดินระเบิดส่วนล่าง (Base Charge) ซึ่งเป็นวัตถุระเบิดชั๊กนำมักนิยมใช้ RDX, PETN หรือ Tetyl ที่เป็นดินระเบิดแรงสูง (High Explosive) เกิดการระเบิดตามแรงระเบิดจากวัตถุระเบิดชั๊กนำในเชื้อ ปะทุไฟฟ้าจะกระตุ้นให้วัตถุระเบิดแรงสูงในส่วนของดินขยายการระเบิด เช่น Dynamite, Emulsion, Anzomex เกิดการระเบิดขึ้น และแรงระเบิดจากวัตถุระเบิดแรงสูงจะกระตุ้นให้วัตถุระเบิดหลัก เช่น ANFO หรือ TNT เกิดการระเบิดขึ้นในที่สุด



ภาพที่ 4 องค์ประกอบภายในเชื้อปะทุไฟฟ้า

ที่มา : วัตถุระเบิดสำหรับงานเหมืองแร่และเหมืองหิน [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 6 ธันวาคม 2552.

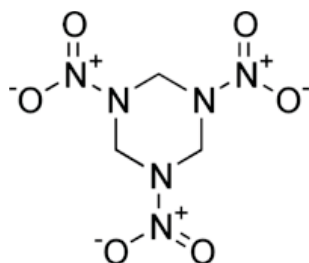
เข้าถึงได้จาก <http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/equipment/explosive.htm>



ภาพที่ 5 ลำดับในการระเบิด

## 2. สารระเบิด RDX, PETN และ TNT

### 2.1. สาร Cyclotrimethylene Trinitramine หรือ RDX



ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของสาร RDX

ที่มา : Explosives [Online], accessed 29 March 2009. Available from <http://web.fccj.org/~ethall/explode/explode.htm>

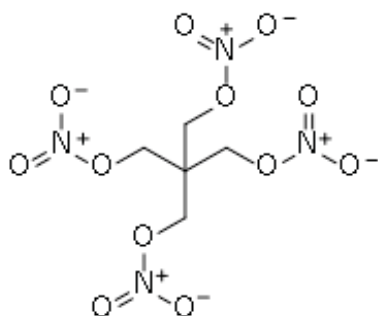
RDX หรือในชื่อเต็มว่า Research Development Explosive มีชื่อทางเคมี คือ 1,3,5-Trinitro-1,3,5-triazacyclohexane หรือชื่อที่รู้จักทั่วไป คือ Cyclonite และ Hexogen มีโครงสร้างเป็นรูปวงแหวน มีสูตรทางเคมี ได้แก่  $C_3H_6N_6O_6$  น้ำหนักโมเลกุล 222.117 g/mol ลักษณะของ RDX ที่บริสุทธิ์ (Pure Explosive) จะเป็นผงผลึกสีขาว มีไนโตรเจนประกอบอยู่ 37.84% จะเกิดการสลายที่อุณหภูมิ 170 °C และหลอมละลายที่อุณหภูมิ 205.5 °C มีความหนาแน่น 1.806 g/cc มีความเสถียรมากที่อุณหภูมิห้อง มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย และอัตราการระเหิดต่ำ โดยที่ความดันบรรยากาศ 25°C ในสารระเบิด RDX บริสุทธิ์จะมีความดันไอ (Vapor Pressure)  $4.6 \times 10^{-9}$  torr แต่หากเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์ (Impurities) เป็น byproduct หรือมีการปนเปื้อน (Contamination) จะทำให้ค่าความดันไอสูงกว่าสารบริสุทธิ์ ดังเช่น RDX ที่ไม่บริสุทธิ์จะมีความดันไอ 0.04 ppb (Krausa 2008)

สารระเบิด RDX เป็น Secondary Explosive ในประเภท High Explosive (Hallowell 2008) จัดอยู่ในกลุ่ม Cyclic Nitramines ใช้ทำเป็นประจุล่าง (Base Charge) ของเชื้อปะทุ (Blasting Caps) ทำสายชนวนระเบิด (Detonating Cords) เพื่อกระตุ้นสารระเบิดแรงสูงชนิดอื่น รวมถึงใช้เป็นดินส่วนบรรจุหลักสำหรับบรรจุเชื้อปะทุไฟฟ้าเอ็ม 6 และเชื้อปะทุชนวนเอ็ม 7 หรือเมื่อผสมกับตัวลดความไวแล้วนำมาใช้เป็นดินช่วยขยายการระเบิด ทำดินขยายการระเบิด (Booster) ดินระเบิด และดินระเบิดทำลาย (Main Charge) มีความเร็วในการระเบิด 27,394 ฟุตต่อวินาที โดยส่วนใหญ่ใช้สำหรับทำวัตถุระเบิดชนิดผสม ได้แก่ Composition A, Composition B, Composition C, Composition D, HBX, H6 และ C4 โดยในการทำระเบิด C4 มักนำสารระเบิด

RDX ผสมกับสารระเบิดอื่น ๆ ร่วมกับ ขี้ผึ้งหรือวัสดุที่สามารถทำให้มี การปั้นเป็นก้อนได้ง่ายในอัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งเป็นวัตถุระเบิดที่ใช้เพื่อการทหาร เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ทางการรักษาโรค โดย สามารถใช้ทำยารักษาโรคท่อน้ำปัสสาวะอักเสบ เรียกว่า Methenamine และใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก และ อุตสาหกรรมยางอีกด้วย

## 2.2. สาร Pentaerythritol Tetranitrate หรือ PETN



ภาพที่ 7 โครงสร้างทางเคมีของสาร PETN

ที่มา : [Explosives \[Online\]](http://web.fccj.org/~ethall/explode/explode.htm), accessed 29 March 2009. Available from <http://web.fccj.org/~ethall/explode/explode.htm>

PETN หรือที่เรียก Corpent และ Pentrite เป็นสารประกอบทางเคมีที่มีสูตรโมเลกุลเป็น  $C_5H_8N_{12}O_{24}$  เป็นสารอนินทรีย์จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับสาร Nitrocellulose (NC), Nitroglycerin (NG) และ Ethylene Glycol Dinitrate (EGDN) เป็นสารสังเคราะห์โดยกระบวนการ ICI Method โดยมี Pentaerythritol เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยากับ Nitric Acid ที่เข้มข้นและมี Sulfuric Acid เร่งปฏิกิริยา มี byproducts เป็นสาร Sulfonate ที่ไม่เสถียร

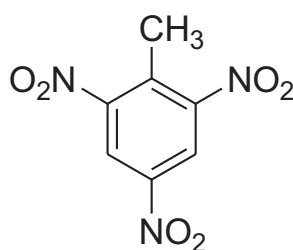


มีการค้นพบ PETN เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1901 นิยมใช้เป็นวัตถุระเบิดในการผลิตเชื้อปะทุ โดยใช้เป็นประจุล่าง (Base Charge) ใช้ทำสายชนวนระเบิด (Detonating Cords) และใช้สำหรับกระตุ่นการระเบิดแรงสูงชนิดอื่น (Cast Boosters) มีลักษณะเป็นผงสีขาวจนถึงสีเทาอ่อน ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ อะซีโตน หรือ เบนซีน มีอัตราการระเหยของ ความดันไอที่ความดันบรรยากาศ  $25^{\circ}C$  เท่ากับ  $1.4 \times 10^{-8}$  torr ใน PETN ที่ไม่บริสุทธิ์จะมีความดันไอเพิ่ม

เป็น 0.09 ppb จัดเป็น Secondary Explosive ในประเภท High Explosive อยู่ในกลุ่ม Nitrate Ester ซึ่งเป็นวัตถุระเบิดที่เสถียรและมีประสิทธิภาพสูงมากที่สุดชนิดหนึ่งมักใช้ผสมกับวัตถุระเบิดแรงสูงชนิดอื่น เช่น RDX ในทางทหารใช้ทำระเบิดพลาสติก มีความเร็วในการระเบิด 27,200 ฟุตต่อวินาที

ประโยชน์ทางการแพทย์ สาร PETN นี้ใช้เป็น Vasodilator เหมือนกับ Nitroglycerin ใช้ในการรักษาโรคหัวใจ

### 2.3. สาร Trinitrotoluene หรือ TNT



ภาพที่ 8 โครงสร้างทางเคมีของสาร TNT

ที่มา : [Explosives \[Online\]](http://web.fccj.org/~ethall/explode/explode.htm), accessed 29 March 2009. Available from <http://web.fccj.org/~ethall/explode/explode.htm>

สาร TNT หรือในชื่อ 2,4,6-Trinitrotoluene หรือ Trinitrotol ก็เรียก เป็นสารประกอบทางเคมีที่มีสูตรโมเลกุลเป็น  $C_7H_5N_3O_6$  เป็นสารที่มีโครงสร้าง อยู่ในกลุ่ม Nitroaromatics มีน้ำหนักโมเลกุล 227.13 g/mol ลักษณะเป็นผลึกสีขาวจนถึงสีเหลืองอ่อน ไม่มีกลิ่น หลอมละลายกลายเป็นของเหลวได้ที่อุณหภูมิ  $81^{\circ}C$  มีจุดเดือด  $295^{\circ}C$  สาร TNT ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ เบนซีน คาร์บอนไดซัลไฟด์ อะซิโตน และ ตัวทำละลายอื่น ๆ มีความหนาแน่น  $1.654 \text{ g/cm}^3$  มีอัตราการระเหย ของความดันไอที่ ความดันบรรยากาศ  $25^{\circ}C$  เท่ากับ  $7.1 \times 10^{-6} \text{ torr}$  หากเป็น TNT ที่ไม่บริสุทธิ์จะมีความดันไอเพิ่มเป็น 70 ppb

TNT เป็นสารเคมีที่ใช้เป็นวัตถุระเบิดและส่วนผสมของวัตถุระเบิดแรงสูง (Explosive Material) หลายชนิดทั้งในทางทหาร (Military Explosive) และใช้ในทางการค้า (Commercial Explosive) ทั้งในงานเหมืองหินและกิจกรรมทางเหมืองแร่ โดย มีชื่อเรียกในทางการค้าว่า Trilite, Tolite, Trinol, Trotyl, Tritolol, Tritone, Trotole และ Triton เป็น Secondary explosive ในประเภท High explosive สารระเบิด TNT ถูกใช้ครั้งแรกในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 และยังคงใช้มาถึงปัจจุบัน เหตุที่ TNT จัดอยู่ใน Secondary Explosive เพราะมีความไวในการจุดต่ำและต้องการตัวจุดไฟถึงจะสามารถเกิดการระเบิดได้ TNT สามารถใช้เป็นตัวยายการระเบิดหรือตัวให้กำลังการ

ระเบิดสำหรับเป็นระเบิดแรงสูง ทำการระเบิดอาคาร สิ่งก่อสร้าง และใช้ใน ก่อการร้าย สาร TNT อาจถูกนำไปผสมกับสารระเบิดอื่น ๆ เช่น RDX และ HMX และเป็นส่วนประกอบของสารระเบิดหลาย ๆ ชนิด เช่น Amatol, Pentolite, Tetrytol, Torpex, Tritonal, Picratol, Ednatol และประเภท Composition ต่าง ๆ ข้อดีของสาร ระเบิด TNT คือความปลอดภัยในการนำไปใช้ การขนส่ง เคลื่อนย้าย เก็บรักษา ให้อำนาจในการทำลายสูง มีความคงทน สามารถใช้กับสารระเบิดอื่น ๆ ได้ และมีจุดหลอมเหลวต่ำ โดยทั่วไปจะสามารถจุดระเบิดได้โดยการใช้เชื้อปะทุ (Detonator) เท่านั้น และเนื่องจาก TNT เป็นวัตถุระเบิดที่มีพิษและสามารถติดไฟได้ การขนส่งจึงต้องให้มีการทำให้ชุ่ม ด้วยน้ำอย่างน้อย 10 % ของน้ำหนักสารและต้องมีเครื่องหมาย “วัสดุไวไฟ” ติดไว้อย่างชัดเจน

TNT ที่มีการผลิตที่ได้มาตรฐานจะมีเสถียรภาพมากกว่าไนโตรกลีเซอรีน (Nitroglycerine) มีความปลอดภัยจากการเสียดสี การกระแทก และไม่มีการดูดความชื้นจึงเก็บไว้ ได้นานกว่า แต่หากทำปฏิกิริยากับสารประกอบของธาตุหมู่ที่ 1 (Alkalis) จะทำให้ไม่เสถียรและง่าย ต่อการระเบิดได้ด้วยความร้อนหรือการกระแทก ในการผลิตสาร TNT หากสารมีความบริสุทธิ์มาก จะได้ผลึกสีขาวจนถึงเหลืองอ่อน จัดเป็นสารเกรด A (จุดหลอมเหลว 80.6°C) หากสารที่ได้มีความ บริสุทธิ์ต่ำ สีของสารจะเข้มมากกว่าอาจมีสีน้ำตาลจัดเป็นสารเกรด B (จุดหลอมเหลว 76°C)

สาร TNT มีความเป็นพิษ จากผลการทดลองทางทหารพบว่าผู้คนที่สัมผัสกับดินที่ ปนเปื้อน TNT มาก ๆ อาจมีผลทำให้เป็นโรคโลหิตจาง โรคไต ภูมิคุ้มกันโรคลดลง การสูดดมกลิ่น ของมันทำให้มีอาการปวดหัว การสัมผัสทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง และลดความสามารถใน การสืบพันธุ์ในเพศชาย

### 3. การตรวจหาวัตถุระเบิด (Explosive Detection)

#### 3.1. รูปแบบในการตรวจหาวัตถุระเบิด

มีอยู่ 3 รูปแบบ (Krausa 2008) คือ

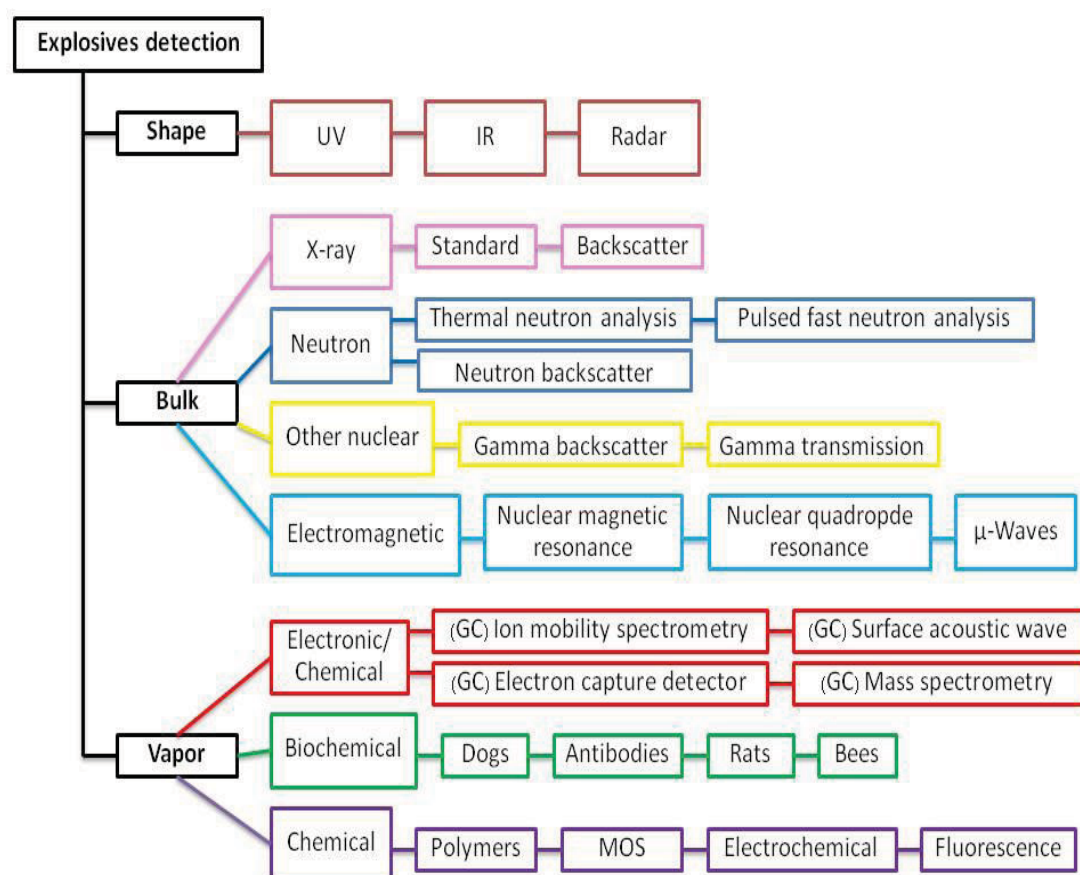
3.1.1. Shape เป็นการตรวจหาวัตถุระเบิดโดยการอาศัยคลื่นแม่เหล็กหรือ พลังงานของสารระเบิดที่ปลดปล่อยออกมาจากสารระเบิดเอง แล้วใช้เครื่องมือที่ อาศัยหลักการ ตรวจจับพลังงานเหล่านี้ในการตรวจจับ เช่น เครื่องที่ใช้หลักการทาง UV, IR และ Radar

3.1.2. Bulk Explosive เป็นการตรวจหาวัตถุระเบิดโดยอาศัยการตรวจหา ชิ้นส่วนของวัตถุระเบิดหรือส่วนประกอบที่อยู่ในลูกกระเบิด เช่น นาฬิกา สวิตช์ วัตถุระเบิด ชนวน เศษโลหะ (Nut and bolt) ด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น เครื่อง X-Ray หรือการตรวจหาวัตถุระเบิด ด้วยเทคโนโลยีนิวเคลียร์ซึ่งจะเน้นถึงการตรวจคุณลักษณะของสารพิษ (Material Characterization) ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในวัตถุระเบิดนั้น เช่น การตรวจหาโลหะหนัก การหา



โครงสร้าง โมเลกุล โครงสร้างผลึก หรือ การหาความหนาแน่นของธาตุไนโตรเจน คาร์บอน และออกซิเจน เป็นต้น

3.1.3. Vapor เป็นการตรวจหาวัตถุระเบิด โดยการตรวจจับไอระเหยของสารระเบิด องค์ประกอบสำคัญของสารระเบิดมักจะเป็นสารระเหย (Volatile Compound) ซึ่งจะมีไอระเหยออกมาข้างนอกหรือติดอยู่ตามผิวของวัตถุระเบิดหรือภาชนะที่หุ้มห่อ สามารถใช้เทคโนโลยีที่ตรวจวิเคราะห์หาไอระเหยเหล่านี้ในการตรวจหาสารระเบิดได้



ภาพที่ 9 การตรวจหาวัตถุระเบิด 3 รูปแบบ

ที่มา : Michael Krausa, "Chance Of and Demands on Chemical Vapor Explosives Detection," Fraunhofer-Institut Chemische Technologie, 2008. (Mimeographed)



### 3.2. เครื่องมือในการตรวจหาวัตถุระเบิด

ในการตรวจหาวัตถุระเบิด ที่น่าเชื่อถือและใช้ได้ผลในปัจจุบัน มีอยู่ 2 วิธี (สมพร จงคำ 2004) คือ

3.2.1. **วิธีการทางนิวเคลียร์** เป็นการตรวจหาวัตถุระเบิด แบบ Bulk Explosive ที่อาศัยการตรวจหาชิ้นส่วนที่ประกอบอยู่ในวัตถุระเบิด เช่น นาฬิกา สวิตช์ วัตถุระเบิด ชนวน เศษ โลหะ (Nut and Bolt) ด้วยเทคโนโลยีนิวเคลียร์ การตรวจหาวัตถุระเบิดโดยวิธีนิวเคลียร์เน้นถึงการตรวจคุณลักษณะของสารพิษ (Material Characterization) ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในวัตถุระเบิด นั้น ๆ เช่น การตรวจหาโลหะหนัก การหาโครงสร้างโมเลกุล โครงสร้างผลึก หรือการหาความหนาแน่นของธาตุไนโตรเจน คาร์บอน และออกซิเจน เป็นต้น โดยวิธีการทางนิวเคลียร์ที่ใช้ได้แก่

3.2.1.1 Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

3.2.1.2. Nuclear Quadrupole Resonance (NQR)

3.2.1.3. Electron Spin Resonance (ESR)

3.2.1.4. X-Ray Absorption (XRA)

3.2.1.5. X-Ray Fluorescence (XRF)

3.2.1.6. X-Ray Diffraction (XRD)

3.2.1.7. Gamma Ray Absorption (GRA)

3.2.1.8. Thermal Neutron Activation (TNA)

3.2.1.9. Fast Neutron Activation (FNA)

3.2.2. **วิธีการวิเคราะห์อนุภาคหรือไอระเหย** อาศัยองค์ประกอบที่สำคัญของสารระเบิดซึ่งมักจะเป็นสารระเหย (Volatile Compound) สารเหล่านี้จะมีไอระเหยออกมาหรือมีอนุภาค ติดอยู่ตามผิวของวัตถุระเบิด ภาชนะที่หุ้มห่อ และวัสดุที่มีการสัมผัสกับสารระเบิดนั้น โดยตรง เช่น น้ำมันของ Nitroglycerin และ Ethylene Glycol Dinitrate ที่มีความสามารถในการระเหยอย่างรวดเร็วในระดับหนึ่งในล้านส่วน (Part Per Million; ppm) จะส่งกลิ่นเฉพาะตัวออกมา ทำให้สามารถใช้เครื่องมืออย่างง่าย ๆ มาช่วยในการตรวจได้ หรือใช้สุนัขช่วยดมกลิ่นได้ สำหรับการตรวจไอระเหย ในสารประกอบชนิดอื่นที่มีอัตราการระเหยน้อยจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงมาก เช่น การตรวจวัดไอระเหยจาก Dinitrotoluene และ TNT ซึ่งมีอัตราการระเหยเพียงหนึ่งในพันล้านส่วน (Part Per Billion; ppb) หรือ Hexogen และ Nitropenta ที่มีอัตราการระเหยเพียงหนึ่งในล้านล้านส่วน (Part Per Trillion; ppt) นอกจากอัตราการระเหยของสารอาจน้อยแล้ว การหุ้มห่อด้วยพลาสติกหรือเสื้อผ้าจะทำให้อัตราการแพร่ของสารระเหยออกมาช้าลงอีก

ด้วยจึงเป็นอุปสรรคต่อการตรวจวัดและ เมื่ออยู่ร่วมกับสารอื่นที่มีการสั่นหรือไอระเหย เช่นเดียวกัน เช่น น้ำหอม สบู่ ผลไม้ หรืออาหารบางชนิด อาจทำให้เครื่องตรวจวัดดังกล่าวตรวจผิดได้เช่นกัน โดยการวิเคราะห์ไอระเหยจากวัฏระเบิดที่ได้มีการศึกษา มีอยู่ 4 ชนิด คือ

3.2.2.1. Mass Spectroscopy (MS) เป็นเครื่องมือตรวจวัดระเบิดที่มีความไวปานกลาง สามารถวิเคราะห์สารพวก Nitrate Esters ทั้งหลายได้ เช่น Ethylene Glycol Dinitrate, Nitroglycerin หรือ Nitropenta แต่มีข้อเสียคือราคาแพงและไม่สามารถจำแนกชนิดของสารที่เป็นวัฏระเบิดจากสารที่ไม่ระเบิดได้

3.2.2.2. Ion Mobility Spectrometry (IMS) เป็นวิธีที่มีความไวสูงในการตรวจวัดสารระเบิด โดยการวัดสารอินทรีย์ที่จับกับอิเล็กตรอน เช่น สารประกอบพวกไนโตรหรือ Peroxides ด้วยวิธีการร่วมกันระหว่างการแตกตัวเป็นไอออนลบของสารพวก Electronegative Species กับการวัดระยะที่ไอออนเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม (Evaluated Drift Conditions)

3.2.2.3. Gas Chromatography (GC) มีการพัฒนาจากเดิมที่มีการวัดอย่างล่าช้าโดยการทำให้ระเหยของท่อ (Column) สิ้นลง เพิ่มอัตราไหลของก๊าซด้วยการเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็วและเสมอภาค (Isothermally) มักใช้ร่วมกับการตรวจวัดด้วยวิธี Electron Capture (EC) เครื่องมือชนิดนี้มีความไวในการวัดสารประกอบพวก Chlorides, Esters และ Nitro

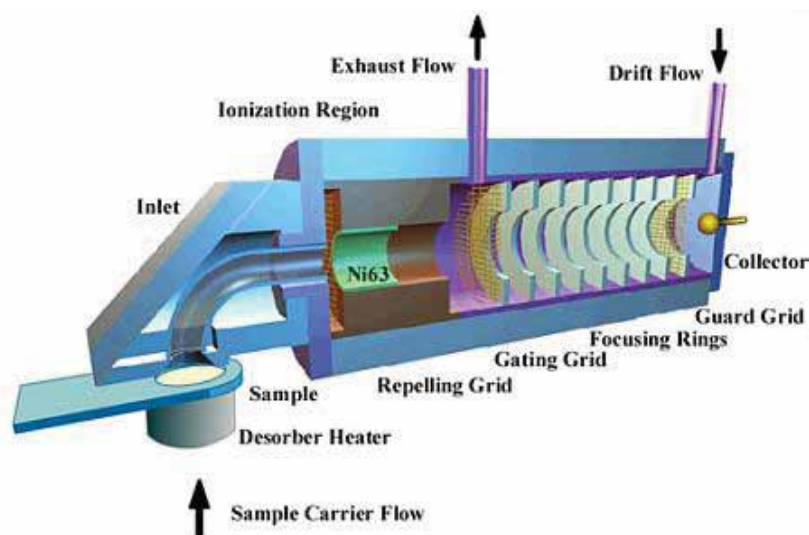
3.2.2.4. Chemiluminescence Detection (CLD) อาศัยวิธีการทำให้สารประกอบที่อยู่ในวัฏระเบิดพวก Nitro หรือ Nitroso ถูกความร้อนสูงแล้วจะกลายเป็นพวกไนโตรเจนออกไซด์ เมื่อนำไปรวมกับโอโซนจะกลายเป็น  $\text{NO}_2$  ที่อยู่ในสถานะตื่นตัวและมีการคายพลังงานแสงสีเหลืองออกมา (ความยาวคลื่น 600 nm) และสามารถทำการวัดแสงนี้ได้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเทคนิคที่ใช้ในการตรวจหาวัตถุระเบิด

| วิธีการทางนิวเคลียร์          | วิเคราะห์                                  | ชนิดวัตถุระเบิด                                       |
|-------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| NMR, NQR, ESR                 | โครงสร้างของสาร                            | สารอินทรีย์                                           |
| X-Ray Absorption              | โลหะหนัก ความหนาแน่น                       | สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์                              |
| X-Ray Fluorescence            | โลหะหนัก                                   | สารอนินทรีย์                                          |
| X-Ray Diffraction             | โครงสร้างผลึก                              | ของแข็ง                                               |
| X-Ray Absorption              | ความหนาแน่นในโตรเจน                        | สารอินทรีย์ สารกลุ่มไนโตร<br>สารอนินทรีย์             |
| Thermal Neutron<br>Activation | ความหนาแน่นในโตรเจน                        | สารอินทรีย์ สารกลุ่มไนโตร<br>สารอนินทรีย์ เกลือไนเตรท |
| Fast Neutron Activation       | ความหนาแน่นในโตรเจน ออกซิเจน<br>และคาร์บอน | สารอินทรีย์ไนโตร<br>สารอินทรีย์                       |
| MS                            | โครงสร้างโมเลกุล                           | สารอินทรีย์                                           |
| IMS                           | การเคลื่อนตัวของไอออน โมเลกุล              | สารอินทรีย์                                           |
| GC + EC                       | โปรตอนแสง และ Electron affinity            | สารอินทรีย์                                           |
| GC + CLD                      | โปรตอนแสงสีเหลืองของไนโตรเจน               | สารอินทรีย์ไนโตร                                      |

ที่มา : สมพร จงคำ , “การตรวจวัตถุระเบิดด้วยวิธีนิวเคลียร์ ,” เอกสารข่าวสำนักงาน  
พลังงานปรมาณูเพื่อสันติ 10, 3 (กรกฎาคม – กันยายน 2538), 8-9.

### 3.3. การวิเคราะห์ห่อนุภาคและไอระเหยของสารด้วยวิธี Ion Mobility Spectrometry (IMS)

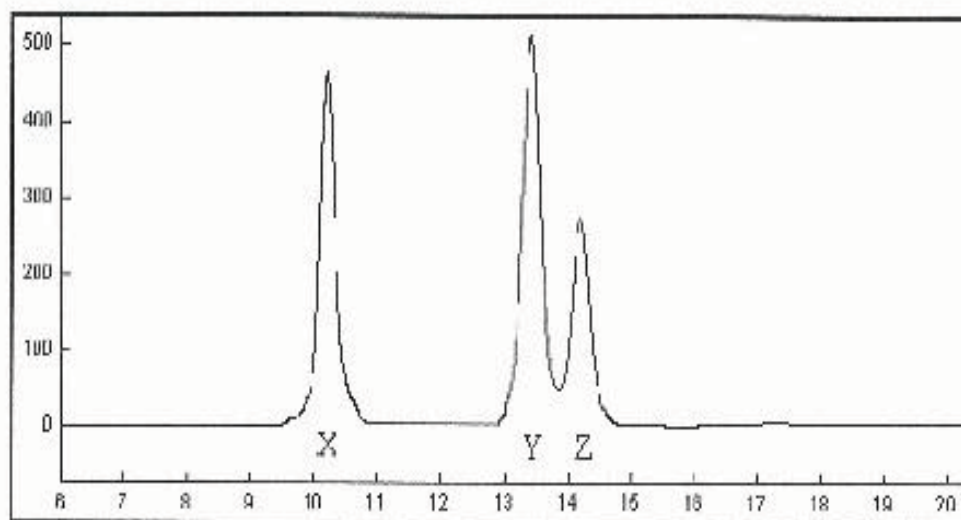


ภาพที่ 10 หลักการของ Ion Mobility Spectrometry

ที่มา : Smiths Detection, [Ion Mobility Spectrometry](http://www.smithsdetection.com/eng/IMS.php) [Online], accessed 18 December 2009. Available from <http://www.smithsdetection.com/eng/IMS.php>

**3.3.1. หลักการทำงาน** การทำงาน อาศัยการให้พลังงานความร้อนแก่ผ้า Swab ที่ซึ่งมีอนุภาคของสารเกาะอยู่ สารจะถูกเผาไหม้ จนกลายเป็นก๊าซแล้วถูกลมเป่าผ่านช่อง IMS ส่งผ่านไปยังส่วนปฏิกิริยา (Reaction Region) ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางไฟฟ้าโดยใช้สารกัมมันตภาพรังสี (Nickel 63:  $^{63}\text{Ni}$ ) ที่มีอยู่น้อยมากในช่องปฏิกิริยา (Chamber) จากการปะทะกับอนุภาคเบต้า (Beta) ก๊าซจะเปลี่ยนรูปเป็นไอออนบวก (สารเสพติด) และไอออนลบ (สารประกอบวัตถุระเบิด) จากนั้นไอออนจะถูกส่งผ่านไปยังส่วนที่เรียกว่า ดริฟทิวบ์ (Drift Tube) ซึ่งภายในประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและก๊าซเฉื่อยที่จะทำการแยกไอออนตามความสามารถในการเคลื่อนที่ (Ion Mobility) ถ้าไอออนของก๊าซ มีความดันบรรยากาศเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าคงที่ ไอออนจะมีอัตราเร่งลดลงจนกระทั่งชนกับโมเลกุลที่เป็นกลาง การชนกันของไอออนและอิทธิพลของสนามไฟฟ้าจะส่งผลให้เกิดการชนต่อกันไปเรื่อย ๆ ความเร่งและการชนที่เกิดขึ้นจะแปรเปลี่ยนเป็นความเร็วที่เคลื่อนที่ไปตามระยะทาง สนามไฟฟ้าที่ใช้จะสลับจากการชนกันของไอออน ซึ่งผลรวมของความเร่งและการชนกันที่เกิดขึ้นจะทำให้ได้ความเร็วเฉลี่ยของไอออนที่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสนามไฟฟ้าและจะได้อัตราส่วน ระหว่างความเร็วที่เคลื่อนที่ไปตามระยะทางกับสนามไฟฟ้าก็คือ ความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออนที่สามารถแยกสารแต่ละ

ชนิดกันออกมา ไอออนที่หลากหลายจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ได้แตกต่างกันตามลักษณะความสามารถหรือความเร็วในการไปถึงตัว Collector Electrode โดยขึ้นกับขนาด รูปร่าง และมวลของสาร ดังสเปคตรัมในการเคลื่อนที่หรือพลาสมาแกรมภาพที่ 11 แสดงถึงไอออน X ซึ่งเคลื่อนที่มาถึงหัว Electrode ก่อนแสดงว่ามีระยะทางในการเคลื่อนที่สั้นและมีมวลน้อย



ภาพที่ 11 IMS Detector Output as a Function of a Drift Time

ที่มา : Smiths Detection, "IONSCAN Operator's Manual," 30 October 2002, 7. (Mimeographed)

3.3.2. เครื่องตรวจวิเคราะห์ สารด้วยวิธี IMS โดยในปัจจุบันมีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่

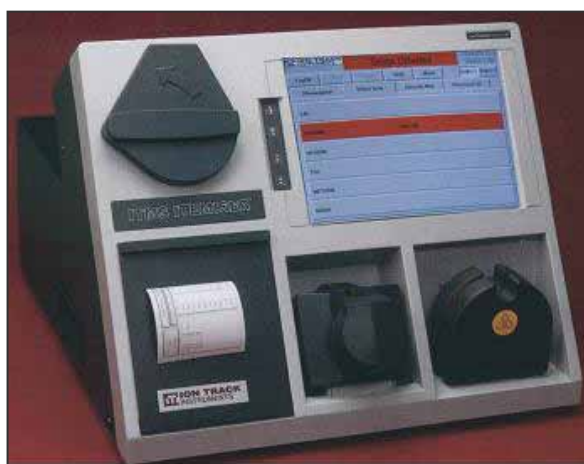
3.3.2.1. เครื่องตรวจวิเคราะห์สารระเบิดแบบพกพา (Portable Equipment) หรือเรียกเครื่องตรวจวิเคราะห์ไอระเหยของสาร (Vapor Detection Equipment) อาทิ เครื่อง SABRE EXV, SABRE 4000 หรือ GE-Ion Track VaporTracer 2 เป็นเครื่องตรวจระเบิดที่มีขนาดเล็ก พกพาไปตรวจในสถานที่ต้องสงสัยได้ อาศัยหลักการ IMS ในการตรวจวิเคราะห์ สามารถบอกชื่อสารที่ตรวจพบได้ทันที



ภาพที่ 12 เครื่องตรวจวิเคราะห์สารระเบิด SABRE 4000

ที่มา : Smiths Detection, SABRE 4000 [Online], accessed 18 December 2009. Available from [http://www.smithsdetection.com/eng/sabre\\_4000\\_1.php](http://www.smithsdetection.com/eng/sabre_4000_1.php)

3.3.2.2. เครื่องตรวจวิเคราะห์อนุภาค สารระเบิด (Deployed Particle Equipment) อาทิ เครื่อง IONSCAN 500DT, IONSCAN 400B, IONSCAN-LS™ หรือเครื่อง GE-Ion Track Itemiser<sup>2</sup> โดยตัวเครื่องจะมีฐานข้อมูลของสารชนิดต่าง ๆ อยู่ในขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์ต้องอาศัยแผ่น Swab ไปป้ายหรือเช็ดบริเวณที่ต้องสงสัยว่ามีสารนั้น ๆ อยู่ แล้วนำแผ่น Swab นั้นมาใส่เครื่อง เพื่อให้ทำการวิเคราะห์ จากนั้นรอให้เครื่องทำการวิเคราะห์ออกมาว่าสารต้องสงสัยเป็น สารชนิดไหน หลักการ ตรวจ เป็นการตรวจหา สารระเบิด ในเบื้องต้น (Screening Test) เท่านั้น



ภาพที่ 13 เครื่อง GE-Ion Track Itemiser<sup>2</sup>

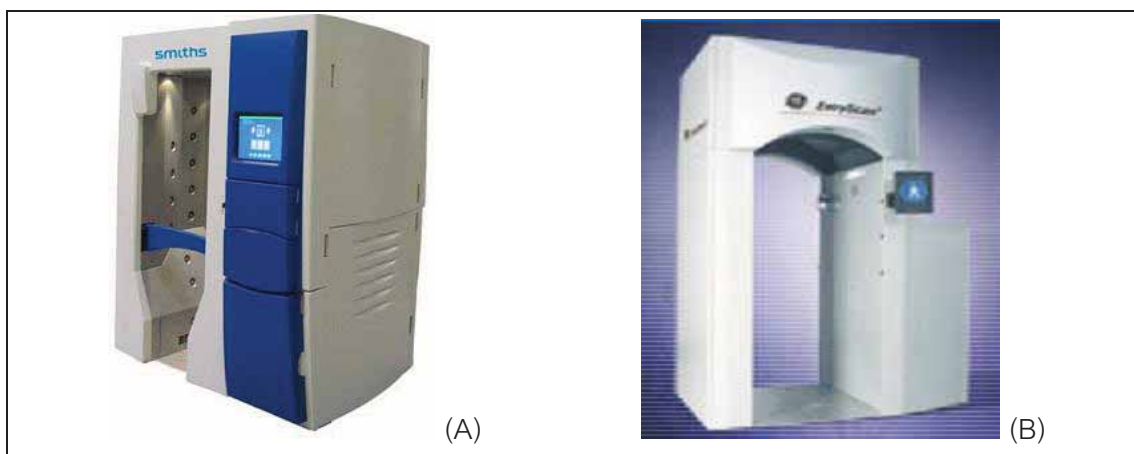
ที่มา : Susan Hollowell, Explosives Trace Detection, USA: Homeland Security, 2008.



ภาพที่ 14 เครื่องไอออนสแกน Smiths Detection รุ่นต่าง ๆ Ionscan 400B (A) Ionscan 500DT (B) และ Ionscan-LS™

ที่มา : Smiths Detection, IONSCAN [Online], accessed 18 December 2009. Available from <http://www.smithsdetection.com/eng/IONSCAN.php>

3.3.2.3. เครื่องตรวจวิเคราะห์สารระเบิดแบบประตูเดินผ่าน (Whole Body Screening) อาทิ เครื่อง Sentinal II หรือ GE-Ion Track EntryScan<sup>3</sup> โดยเครื่องสามารถตรวจหาสารระเบิดที่อาจจะ ปนเปื้อนมากับตัวบุคคลหรือสิ่งของได้ หากเมื่อบุคคลหรือสิ่งของเหล่านั้นผ่านประตูแล้วเครื่องจะแจ้งผลและแสดงชนิดของสารทันที



ภาพที่ 15 เครื่องตรวจ Sentinel II (A) และเครื่อง GE-Ion Track EntryScan<sup>3</sup> (B)

ที่มา : Smiths Detection, Sentinel II [Online], accessed 18 December 2009. Available from [http://www.smithsdetection.com/eng/sentinal\\_II.php](http://www.smithsdetection.com/eng/sentinal_II.php)

**3.3.3. เครื่องไอออนสแกน 400B (IONSCAN 400B)** เครื่องไอออนสแกนรุ่น 400B เป็นเครื่องตรวจจับสารประกอบวัตถุระเบิดหรือสารเสพติด แบบตั้งโต๊ะ (Desktop Explosives or Narcotics Trace Detector)

**3.3.3.1. หลักการทำงาน** อาศัยเทคโนโลยี IMS ในการตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่าง โดยอาศัย การเหนี่ยวนำละอองไอออนเหล่านี้ โดยทำการยิงละอองไอออนออกไปเพื่อวัดระยะในการวิ่งไป-กลับของละอองไอออน แล้วทำการเช็คระยะเวลาในการวิ่งไป-กลับกับฐานข้อมูลว่าละอองไอออนนี้เป็นระเบิดหรือไม่ และเป็นระเบิดชนิดไหน โดยมีกระบวนการในการวิเคราะห์สารใช้เวลา 6.6 - 8 วินาที

**3.3.3.2. การวิเคราะห์ด้วยไอออนสแกน** มีกระบวนการที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ

**3.3.3.2.1. การเลือกเก็บตัวอย่าง (Sample Collection)**

ตัวอย่างสามารถเก็บโดยวิธีการเช็ด (Wiping) ด้วยผ้า Swab หรือวิธีการดูด (Suction) ด้วย DC Remote Sampler

**3.3.3.2.2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง (Analysis of Sample)**

เริ่มต้นทำการวิเคราะห์ด้วยการนำผ้า Swab หรือ Filter Card วางหรือสอดลงบนช่องวางสไลด์ของเครื่องตรวจ ปิดฝาสไลด์แล้วเลื่อนช่องสไลด์นี้ไป ทางขวาของเครื่องยังส่วนของการตรวจวิเคราะห์ กระบวนการวิเคราะห์เริ่มขึ้น โดย Desorber จะยกตัวขึ้นและตรึงตัวอย่างไว้ระหว่าง Desorber Heater กับ IMS Inlet ตัวอย่างจะถูกความร้อนเปลี่ยนสถานะ



เป็นไอและมีลมแห้งสะอาดเป่าพาให้เคลื่อนที่ไปยัง IMS Detector ซึ่งจะถูกทำให้กลายเป็นไอออนในส่วนหนึ่งของ Reaction Region จากนั้นส่วนของ Gating Grid จะเปิดออกเพื่อยอมให้ไอออนที่มีชีวิตที่ถูกต้องผ่านเข้าไปยังส่วน Drift Region ไอออนจะเคลื่อนที่ไปยังสนามไฟฟ้าตามท่อ IMS ภายในส่วนของ Drift Region เพื่อวิ่งไปยัง Collector Electrode การเคลื่อนที่ของไอออนจะเป็นค่าความจำเพาะของสาร จอภาพประมวลผลสัญญาณการทำงานของ Collector Electrode ตามกระบวนการทำงานของการตรวจจับการเคลื่อนที่ของไอออนโดยใช้ Custom-Written Software สำหรับการควบคุมและการจำแนกจุดต่าง ๆ เมื่อสารตัวอย่างถูกตรวจพบ Software จะทำงานอย่างทันทีทันใดโดยการกระตุ้นระบบให้เกิดเสียงเตือนขึ้นมา ระหว่างการให้ความร้อนแกตัวอย่าง หน้าจอ จะแสดงพื้นหลังเป็นสีเหลืองในกระบวนการตรวจวิเคราะห์ และมีคำว่า “Analyzing” แสดงขึ้นมา

**3.3.3.3. ค่า Detection limit** การตรวจหาสารประกอบระเบิดด้วยเครื่องไอออนสแกน สามารถตรวจได้ตามค่าการตรวจพบต่ำสุด (Detection Limit) ดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจพบสารระเบิดของเครื่องไอออนสแกน 400B

| Explosive Compound | Detection Limit |
|--------------------|-----------------|
| RDX                | 500 pg          |
| PETN               | 500 pg          |
| NG                 | 200 pg          |
| TNT                | 300 pg          |
| Ammonium nitrate   | 5-10 ng         |
| DNT                | 300 pg          |

ที่มา : Smiths Detection, “IONSCAN Operator’s Manual,” 30 October 2002, 4 (Mimeographed)

#### 4. ปัจจัยในการตรวจหาสารระเบิด

ในการตรวจพิสูจน์หาสารระเบิด (Trace Detection) ที่อาศัยการวิเคราะห์ไอระเหยหรืออนุภาคของสาร มีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลการวิเคราะห์ ดังนี้ (Krausa 2008)

##### 4.1. ความเข้มข้นของสารระเบิด (Explosive Concentration)

หากสารระเบิดระเหยอยู่ในอากาศ ความเข้มข้นของสารจะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นหรือห่างจากแหล่งกำเนิดที่สารอยู่

##### 4.2. อุณหภูมิ (Temperature)

ปัจจัยของอุณหภูมิมีผลต่อ ความดันไอ (Vapor Pressure) ในการระเหยของสาร หากอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการระเหยจะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

##### 4.3. ความชื้น (Moisture)

ปัจจัยของความชื้นมีผลต่อ ความดันไอ (Vapor Pressure) ในการระเหยของสารเช่นกัน โดยหากในอากาศมีความชื้นสูงจะทำให้อัตราการระเหยของสารลดลง

##### 4.4. การบรรจุหีบห่อ (Packages)

หากมีการบรรจุหีบห่อสารหรือวัตถุระเบิดอย่างหนาแน่นแล้ว การระเหยของสาร จะลดลงเช่นกัน

##### 4.5. การยึดเกาะของสารกับพื้นผิวสัมผัส (Adsorption)

การยึดเกาะหรือดูดซับของสารระเบิดบนพื้นผิววัตถุต่าง ๆ เช่น ในสาร TNT มีคุณลักษณะที่ยึดแน่นบนพื้นผิวต่าง ๆ ได้ดี แต่ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะการสัมผัสของสารกับวัตถุ (Hallowell 2008)

###### 4.5.1. จากการสัมผัสโดยตรง (Contact with the Bulk Explosive)

###### 4.5.2. จากอากาศ (Aerosolized Explosive)

###### 4.5.3. จากการสัมผัสทางอ้อม มี 3 ลักษณะ ได้แก่

###### 4.5.3.1. Secondary Fingerprints

###### 4.5.3.2. Contact with Contaminates Hands

###### 4.5.3.3. Contact with Surfaces of Tools and Workplace

มีงานวิจัยของ P. Kolla และ P. Hohenstatt ปี ค.ศ.1993 ได้ศึกษาเกี่ยวกับการคงอยู่ของสารระเบิดบนพื้นผิว ต่างชนิดกันที่มีการสัมผัสกับสารระเบิด ได้แก่ ผิวที่เป็นกระจก สังกะสี อะลูมิเนียม และการใช้เครื่องดูดฝุ่น โดยใช้วิธีการทาง HPLC และ GC ในการวิเคราะห์ พบว่า บนพื้นผิวที่เป็นกระจกมี %Recovery ของสาร TNT, RDX และ PETN สูงกว่าพื้นผิวอื่น ๆ โดยเฉพาะ

พื้นผิวสังกะสีที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมากกว่าทำให้พบค่า Recovery ของสารต่ำกว่า ซึ่งลักษณะของพื้นผิวมีผลต่อการตรวจหาสารระเบิด โดยหากเป็น พื้นผิว แบบเรียบและไม่มีรูพรุน (Non-porous) เช่น กระฉก หรือวัสดุผิวเรียบมัน การตรวจหาสารระเบิดจะพบได้ในระยะเวลาไม่นานนัก เนื่องจากสารจะติดอยู่บนชั้นบนสุดของผิววัตถุและเกิดการระเหยออกจากพื้นผิวนั้นจากความดันไอของสาร หรือถูกทำลายโดยการชะล้าง หากเป็นพื้นผิวขรุขระและมีรูพรุน (Porous) เช่น กระดาษผ้า หรือพื้นไม้ อนุภาคของ สารระเบิดจะเข้าไปอยู่ในช่องว่างของวัสดุเหล่านั้นเนื่องจากความสามารถในการดูดซับสารของพื้นผิว และติดอยู่นานทำให้ เมื่อระยะเวลาผ่านไปยังสามารถที่จะตรวจพบสารระเบิดจากพื้นผิววัสดุเหล่านี้ได้

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 1. วัสดุและอุปกรณ์

ตารางที่ 3 รายการสารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์

| วัสดุและอุปกรณ์                      | ยี่ห้อ/เกรด                    | บริษัท           |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------------|
| เครื่องไอออนสแกน (IonScan 400B)      | Smiths Detection<br>Model 400B | Smiths Detection |
| ผ้า Swab                             | Smiths Detection               | Smiths Detection |
| Cyclotrimethylene Trinitramine (RDX) | Military Explosives            | -                |
| Pentaerythritol Tetranitrate (PETN)  | Military Explosives            | -                |
| Trinitrotoluene (TNT)                | Military Explosives            | -                |
| Acetone                              | Analytical Grade               | Merck Chemicals  |
| ไม้อัด (Ply Wood)                    | เกรด A หน้า 4 mm               | -                |
| ผ้าฝ้าย (Cotton)                     | Cotton 100%                    | -                |

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1. การเตรียมสารละลาย (Sample preparations)

การเตรียมสารละลายของสารระเบิดทั้ง 3 ชนิด ให้มีความเข้มข้น 1.0 mg/ml ในปริมาตร 50 ml โดยทำการชั่งสารระเบิด แต่ละชนิด (RDX, PETN หรือ TNT) 50.0 mg ละลายสารด้วยสารละลาย Acetone และปรับปริมาตรให้เป็น 50 ml

### 2.2. การทดสอบความใช้ได้ของเครื่องไอออนสแกน 400B

เป็นการทดสอบความพร้อมของเครื่องไอออนสแกนว่าสามารถใช้ได้และไม่มีสารตกค้าง

2.2.1. เตรียมแผ่นไม้อัดและผ้า ฝ้ายขนาด 15x15 cm ที่แน่ใจว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารระเบิดชนิดใด ๆ

2.2.2. ทำการ Pipette สารละลาย RDX ปริมาตร 500  $\mu$ l หยดลงบนไม้อัด จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง

2.2.3. นำผ้า Swab เช็ดจากผิวไม้อัดบริเวณที่มีการปนเปื้อนสารระเบิด แล้วทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนสแกน เพื่อยืนยันว่าสารที่เตรียมเป็นสารระเบิด RDX และเครื่องไอออนสแกนสามารถตรวจพบได้จริง

2.2.4. ทำตามขั้นตอนที่ 2.2.2 ถึง 2.2.3 โดยเปลี่ยนวัสดุเป็นผ้าฝ้าย

2.2.5. ทำการตรวจยืนยันสารละลาย PETN ตามขั้นตอนที่ 2.2.2 ถึง 2.2.4

2.2.6. ทำการตรวจยืนยันสารละลาย TNT ตามขั้นตอนที่ 2.2.2 ถึง 2.2.4

### 2.3. การหาค่า Limit of detection (LOD) ของสารระเบิดทั้ง 3 ชนิดด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B

ทำการหาค่า LOD ของสารระเบิด RDX, PETN และ TNT โดยนำสารละลายที่เตรียมจากข้อ 2.1 มาทำการทดสอบตามขั้นตอนต่อไปนี้

2.3.1. ทำการทดสอบความพร้อมของเครื่องไอออนสแกนว่าสามารถใช้ได้และไม่มีสารตกค้างจากการตรวจ

2.3.2. เตรียมผ้า ฝ้ายขนาด 15x15 cm ที่แน่ใจว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารระเบิดชนิดใด ๆ

2.3.3. ทำการ Pipette สารละลาย RDX ความเข้มข้น 500 pg ในปริมาตร 500  $\mu$ l หยดลงบนผ้าฝ้าย จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง

2.3.4. นำผ้า Swab ทำการเช็ดผิวผ้า ฝ่ายบริเวณที่มีการปนเปื้อนสาร นำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนสแกน

2.3.5. เมื่อตรวจไม่พบสารระเบิดในความเข้มข้นนี้ ให้เพิ่มความเข้มข้นของสารจนกว่าเครื่องไอออนสแกนจะตรวจพบสารระเบิด RDX ในความเข้มข้นที่ค่าหนึ่ง ๆ โดยจะต้องตรวจพบจำนวน 7 ครั้งจากการตรวจทั้งหมด 10 ครั้ง (มาตรฐานการยอมรับ FBI)

2.3.6. ทำการหาค่า LOD ของสารระเบิด PETN ตามขั้นตอนที่ 2.2.3 - 2.2.5

2.3.7. ทำการหาค่า LOD ของสารระเบิด TNT ตามขั้นตอนที่ 2.2.3 - 2.2.5

**2.4. การหาค่าความเข้มข้นที่สามารถตรวจพบ สารระเบิด บนพื้นผิววัตถุ 2 ชนิดภายในระยะเวลา 30 วัน ด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B**

2.4.1. ทำการเตรียมสาร ระเบิดทั้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ 0.5, 2.5, 5, 10, 25, 50 และ 500 µg

2.4.2. ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยเตรียมแผ่นไม้อัดและผ้า ฝ่าย ขนาด 15x15cm ที่ไม่มีการปนเปื้อนสารระเบิดชนิดใด ๆ แล้วทำการ Pipette สารระเบิดแต่ละชนิด ปริมาตร 500 µl หยดลงบนผิววัตถุ แต่ละชนิด โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำแล้วนำไปเก็บไว้ในห้องทดลองที่ปิดมิดชิด

2.4.3. ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 7 และ 30 ของการทดลอง โดยนำไป ตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B

**2.5. การศึกษาการคงอยู่ของสารระเบิดที่ความเข้มข้น 500 µg บนพื้นผิววัตถุ 2 ชนิดภายในระยะเวลา 60 วัน ด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B**

2.5.1. ทำการเตรียมสารระเบิดทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 500 µg

2.5.2. ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยเตรียมแผ่นไม้อัดและผ้า ฝ่าย ขนาด 15x15 cm ที่ไม่มีการปนเปื้อนสารระเบิดชนิดใด ๆ แล้วทำการ Pipette สารระเบิดแต่ละชนิด ปริมาตร 500 µl หยดลงบนผิววัตถุแต่ละชนิด โดยทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำแล้วนำไปเก็บไว้ในห้องทดลองที่ปิดมิดชิด

2.5.3. ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 1, 5, 7, 15, 30, 45 และวันที่ 60 ของการทดลอง โดยนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B

### 3. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนสแกน Smith detection 400B



ภาพที่ 16 เครื่องไอออนสแกน Smith detection 400B

#### 3.1. การเก็บตัวอย่าง (Sampling procedure)

3.1.1. การใช้ผ้า Swab ในการเก็บตัวอย่าง ให้ทำการ เช็ดลงไปบริเวณพื้นผิวไม้หรือผ้าฝ้ายในบริเวณที่มีการปนเปื้อนกับสารระเบิด โดยจับตรงมุมผ้าแล้วทำการป้ายหรือเช็ดไปในทิศทางเดียวกัน แต่ควรระมัดระวังการปนเปื้อนของสารระเบิดแต่ละชนิดด้วย



ภาพที่ 17 ผ้า Swab

3.1.2. นำผ้า swab วางตรงช่องสไลด์ของเครื่องไอออนสแกน ด้วยการวางให้ด้านที่เช็ดหรือสัมผัสกับตัวอย่าง หายขึ้นหรือ อยู่ด้านบน แล้วเลื่อนสไลด์เข้าไปยังช่องตรวจวิเคราะห์



ภาพที่ 18 ช่องสไลด์สำหรับวางผ้า Swab

3.1.3. เครื่องจะทำการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง และแสดงผลการตรวจ ผ่านหน้าจอแสดงผล

### 3.2. การวิเคราะห์ผล

3.2.1. ผ้า Swab จากการเช็ดผิววัตถุที่ปนเปื้อนสารระเบิด จะถูกให้ความร้อนด้วยพลังงานจากกระแสไฟฟ้าภายในตัวเครื่องไอออนสแกนเพื่อให้อนุภาคของสารกลายเป็นไอระเหย แล้วไอระเหยนี้จะถูกลมที่สะอาดจากตัวเครื่องเป่าผ่านช่อง IMS เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์สาร

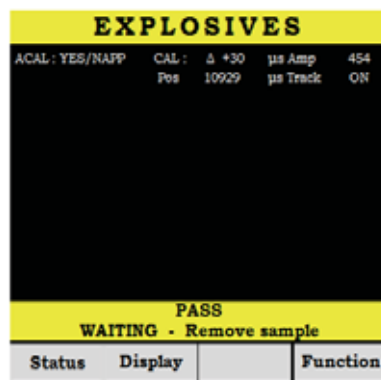
3.2.2. ขณะที่เครื่องทำงาน หน้าจอของเครื่องไอออนสแกนจะเป็นสี เหลือง และคำว่า ANALYZING จะแสดงขึ้นที่หน้าจอ



ภาพที่ 19 หน้าจอสีเหลืองแสดงสถานะกำลังทำงาน

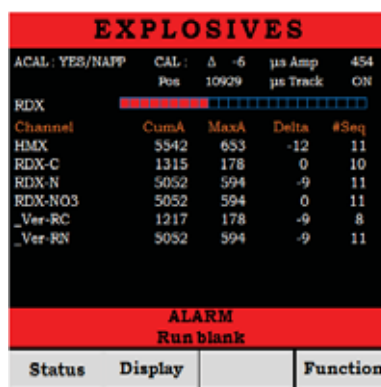


3.2.3. ถ้าเครื่องไอออนสแกนตรวจไม่พบสารระเบิดจะแสดงไฟหน้าจอสีเขียวและคำว่า “PASS” ให้นำผ้า Swab ออกจากช่องตรวจ



ภาพที่ 20 หน้าจอสีเขียว แสดงสถานะ การตรวจไม่พบสารระเบิด และคำเตือนให้นำผ้า Swab ออกจากช่องตรวจ

3.2.4. ถ้าเครื่องไอออนสแกนตรวจพบสารระเบิด จะมีเสียงสัญญาณเตือนและหน้าจอจะแสดง คำว่า ALARM พร้อมทั้งแสดงชื่อสาร ที่ตรวจพบบนหน้าจอ ด้านบนสุด พร้อมผลการวิเคราะห์ตามประเภทของสาร



ภาพที่ 21 หน้าจอสีแดงแสดงการพบสาร และแสดงชื่อสารที่ตรวจพบ

โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ บนหน้าจอดังนี้

ตารางที่ 4 ความหมายของค่าต่าง ๆ บนหน้าจอเครื่องไฮออนสแกน 400B

| รายละเอียดหน้าจอ   | ความหมาย                                                             |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------|
| ALARM              | ชื่อของสารที่ตรวจพบ                                                  |
| Channel            | ชื่อของส่วนประกอบของสารที่ตรวจพบ                                     |
| MaxA               | ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสารที่ตรวจพบ                                    |
| Delta              | ค่าที่เบี่ยงเบนจากค่าจริง ควรอยู่ในช่วง $\pm 50$ มีหน่วยเป็น $\mu s$ |
| #Seg               | ค่าจำนวน Segment ที่ตรวจพบสาร                                        |
| Calibrant Position | ค่าของตำแหน่งสารตั้งต้น ณ ขณะนั้น มีหน่วยเป็น $\mu s$                |
| Calibrant Delta    | ค่าที่เบี่ยงเบนจากค่าจริง มีหน่วยเป็น $\mu s$                        |
| Calibrant Level    | ค่าแอมพลิจูดสูงสุดของสารตั้งต้นควรอยู่ในช่วง 200 – 600 du            |

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

การศึกษาทดลองนี้เป็นการทดลองเชิงคุณภาพ ผลการทดลองสามารถบอกได้ว่าการตรวจพบสารระเบิดจากพื้นผิววัตถุว่าพบหรือไม่พบเท่านั้น การทดลองไม่สามารถบอกเป็นปริมาณของสารระเบิดที่ตรวจพบได้

ในการตรวจวิเคราะห์เพื่อหา สารระเบิด ผู้วิจัยใช้เครื่องไอออนสแกนเยื่อ Smiths Detection รุ่น 400B ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ในการตรวจวิเคราะห์โดยเทคนิค IMS ในการทดลอง โดยเครื่องไอออนสแกนนี้ใช้ในการตรวจหาสารระเบิดเบื้องต้น (Screening Test) ใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้และ 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ในงานการตรวจค้นพิสูจน์ทราบเพื่อการคัดกรองผู้บริสุทธิ์และสืบหาผู้ก่อการร้าย หรือแนวร่วมขบวนการก่อการร้าย เพื่อทราบผลว่ามีสารระเบิดในสถานที่ไหน มีความเกี่ยวข้องกับผู้ก่อการร้ายหรือไม่ ซึ่งสิ่งที่ทำให้ทราบเหล่านี้จะ ใช้เป็นแนวทางในการสืบสวนสอบสวนขยายผลหาตัวผู้ก่อการร้ายและแนวร่วมก่อการร้ายต่อไป

#### 1. ความใช้ได้ของวิธี (Method Validation)

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องไอออนสแกนรุ่น Smiths Detection 400B พบว่าสามารถวิเคราะห์สารที่ต้องการทดสอบได้

#### 2. การหาค่า Limit of Detection (LOD) ของสารระเบิดทั้ง 3 ชนิดด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B

ผลการตรวจหาค่า LOD ของสารระเบิด 3 ชนิด ได้แก่ RDX, PETN และ TNT แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่า LOD ของสารระเบิด RDX, PETN และ TNT

| สารระเบิด | ค่า LOD |
|-----------|---------|
| RDX       | 0.5 µg  |
| PETN      | 0.5 µg  |
| TNT       | 2.5 µg  |

จากการหาค่า LOD ของสารระเบิดทางทหารที่นำมาใช้ในการ ศึกษาทดลองด้วย เครื่องไอออนสแกน Smith Detection 400B ครั้งนี้ ผลการทดลองพบว่าสาร RDX มีค่า LOD เท่ากับ 0.5 µg สาร PETN มีค่า LOD เท่ากับ 0.5 µg และสาร TNT มีค่า LOD เท่ากับ 2.5 µg ซึ่ง จากค่า LOD ที่ได้จากการทดลอง ครั้งนี้มีค่าสูงกว่าค่า LOD ที่กำหนดมาของเครื่องไอออนสแกน (ตารางที่ 2) เป็นเพราะความบริสุทธิ์ของสารที่แตกต่างกัน โดยค่า LOD ที่กำหนดมาพร้อมเครื่อง ไอออนสแกนเป็นการหาค่าจากสารระเบิดมาตรฐาน (Standard Explosives) ซึ่งเป็นสารที่มีความ บริสุทธิ์สูง (Purity) กว่าสารระเบิดทางทหาร (Military Explosives) หรือสารระเบิดทาง อุตสาหกรรม (Industry Explosives) แต่สารระเบิดมาตรฐานนี้มักใช้ในการทำวิจัยทาง ห้องปฏิบัติการมากกว่า ไม่นิยมนำมาใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากมีราคาสูง ในการก่อการร้ายจึงนำ สารระเบิดทางทหารหรือสารระเบิดทางอุตสาหกรรม มาทำการก่อเหตุ ซึ่งเป็นสารที่มีความบริสุทธิ์ ต่ำ (Impurity) มีราคาไม่สูงมาก และหาซื้อได้ง่ายกว่า ดังนั้นในการทดลอง จึงทำการหาค่า LOD จากสารระเบิด ทางทหาร 3 ชนิด เพื่อทราบถึงข้อจำกัดใน การตรวจพบ สารระเบิดในการ ศึกษา ทดลอง

ในการหาค่า LOD นี้เป็นการหา LOD โดยวิธีการคือประยุกต์จากการตรวจพิสูจน์ ด้วยการ Swab จากพื้นผิววัตถุ โดยผลการตรวจพบ 7 จาก 10 ครั้งถือว่าเป็นค่า LOD ตาม มาตรฐานของ FBI โดยผลการตรวจหาค่า LOD แสดงไว้ในภาคผนวก

### 3. ผลการหาค่าความเข้มข้นที่สามารถตรวจพบสารระเบิดบนพื้นผิววัตถุทั้ง 2 ชนิดภายในระยะเวลา 30 วัน ด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B

ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารระเบิด 3 ชนิด ได้แก่ สาร RDX, PETN และ TNT ที่ความเข้มข้น 0.5, 2.5, 5.0, 10.0, 25.0, 50.0 และ 500.0  $\mu\text{g}$  บนพื้นผิววัตถุ 2 ชนิดในวันที่ 7 และวันที่ 30 ของการทดลอง แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการตรวจพบสารระเบิดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 30 วัน

| วันที่เก็บ | สารระเบิด | ชนิดวัตถุ | ความเข้มข้น ( $\mu\text{g}$ ) |     |     |      |      |      |       |
|------------|-----------|-----------|-------------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|
|            |           |           | 0.5                           | 2.5 | 5.0 | 10.0 | 25.0 | 50.0 | 500.0 |
| 7          | RDX       | ผ้าฝ้าย   | —                             | —   | —   | +    | +    | +    | +     |
|            |           | ไม้อัด    | —                             | —   | +   | +    | +    | +    | +     |
|            | PETN      | ผ้าฝ้าย   | —                             | —   | —   | +    | +    | +    | +     |
|            |           | ไม้อัด    | —                             | —   | —   | +    | +    | +    | +     |
|            | TNT       | ผ้าฝ้าย   | —                             | —   | —   | —    | —    | +    | +     |
|            |           | ไม้อัด    | —                             | —   | —   | —    | +    | +    | +     |
| 30         | RDX       | ผ้าฝ้าย   | —                             | —   | —   | —    | +    | +    | +     |
|            |           | ไม้อัด    | —                             | —   | —   | +    | +    | +    | +     |
|            | PETN      | ผ้าฝ้าย   | —                             | —   | —   | +    | +    | +    | +     |
|            |           | ไม้อัด    | —                             | —   | —   | +    | +    | +    | +     |
|            | TNT       | ผ้าฝ้าย   | —                             | —   | —   | —    | —    | —    | +     |
|            |           | ไม้อัด    | —                             | —   | —   | —    | —    | +    | +     |

+ หมายถึงเครื่องไอออนสแกนตรวจพบสารระเบิด

- หมายถึงเครื่องไอออนสแกนตรวจไม่พบสารระเบิด

### 3.1. ผลการทดลองในวันที่ 7 เมื่อนำวัสดุทั้ง 2 ชนิดมา Swab ตรวจพบว่า

ความเข้มข้น 0.5 µg และความเข้มข้น 2.5 µg ตรวจไม่พบสารระเบิด RDX, PETN และ TNT จากวัสดุทั้ง 2 ชนิดแต่อย่างใด

ความเข้มข้น 5.0 µg ตรวจพบสารระเบิด RDX จากไม้อัดแต่ตรวจไม่พบจากผ้าฝ้าย และตรวจไม่พบสารระเบิด PETN และ TNT จากวัสดุทั้ง 2 ชนิด

ความเข้มข้น 10.0 µg ตรวจพบสารระเบิด RDX และ PETN จากวัสดุทั้ง 2 ชนิด แต่ตรวจไม่พบสารระเบิด TNT

ความเข้มข้น 25.0 µg ตรวจพบสารระเบิด RDX และ PETN จากวัสดุทั้ง 2 ชนิดและตรวจพบสารระเบิด TNT จากไม้อัดแต่ตรวจไม่พบจากผ้าฝ้าย

ความเข้มข้น 50.0 µg และ 500.0 µg ตรวจพบสารระเบิด RDX, PETN และ TNT จากวัสดุทั้ง 2 ชนิด

### 3.2. การทดลองในวันที่ 30 เมื่อนำวัสดุทั้ง 2 ชนิดมา Swab แล้วตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนสแกน พบว่า

ความเข้มข้น 0.5, 2.5 และ 5.0 µg ตรวจไม่พบสารระเบิด RDX, PETN และ TNT จากวัสดุทั้ง 2 ชนิดแต่อย่างใด

ความเข้มข้น 10.0 µg ตรวจพบสารระเบิด RDX จากไม้อัดแต่ตรวจไม่พบจากผ้าฝ้าย ตรวจพบสารระเบิด PETN จากวัสดุทั้ง 2 ชนิด และตรวจไม่พบสารระเบิด TNT จากวัสดุทั้ง 2 ชนิด

ความเข้มข้น 25.0 µg ตรวจพบสารระเบิด RDX และ PETN จากวัสดุทั้ง 2 ชนิด แต่ตรวจไม่พบสารระเบิด TNT

ความเข้มข้น 50.0 µg ตรวจพบสารระเบิด RDX และ PETN จากวัสดุทั้ง 2 ชนิด และตรวจพบสารระเบิด TNT จากไม้อัดแต่ตรวจไม่พบจากผ้าฝ้าย

ความเข้มข้น 500.0 µg ตรวจพบสารระเบิด RDX, PETN และ TNT จากวัสดุทั้ง 2 ชนิด

4. ผลการตรวจหาสารระเบิด ทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 500.0  $\mu\text{g}$  บนพื้นผิววัตถุ 2 ชนิด ภายในระยะเวลา 60 วัน ด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B

ผลการตรวจหาสารระเบิดทางทหาร RDX, PETN และ TNT บนพื้นผิวผ้าฝ้ายและไม้อัด โดยทำการตรวจในวันที่ 1, 5, 7, 15, 30, 45 และวันที่ 60 ของการทดลอง แสดงผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการตรวจหาสารระเบิด RDX, PETN และ TNT ที่ความเข้มข้น 500.0  $\mu\text{g}$

| วันที่เก็บ | สารระเบิดความเข้มข้น 500.0 $\mu\text{g}$ |        |         |        |         |        |
|------------|------------------------------------------|--------|---------|--------|---------|--------|
|            | RDX                                      |        | PETN    |        | TNT     |        |
|            | ผ้าฝ้าย                                  | ไม้อัด | ผ้าฝ้าย | ไม้อัด | ผ้าฝ้าย | ไม้อัด |
| 1          | +                                        | +      | +       | +      | +       | +      |
| 5          | +                                        | +      | +       | +      | +       | +      |
| 7          | +                                        | +      | +       | +      | +       | +      |
| 15         | +                                        | +      | +       | +      | +       | +      |
| 30         | +                                        | +      | +       | +      | +       | +      |
| 45         | +                                        | +      | +       | +      | +       | +      |
| 60         | +                                        | +      | +       | +      | +       | +      |

+ หมายถึงเครื่องไอออนสแกนตรวจพบสารระเบิด

- หมายถึงเครื่องไอออนสแกนตรวจไม่พบสารระเบิด

จากผลการตรวจหาสารระเบิดที่ความเข้มข้น 500.0  $\mu\text{g}$  พบว่าสามารถตรวจพบจากพื้นผิววัตถุทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้ายและแผ่นไม้อัด ได้นานถึง 60 วัน โดยเหตุที่ใช้ความเข้มข้น 500.0  $\mu\text{g}$  มาทำการทดลองหาระยะเวลาในการตรวจหาสารระเบิด ในระยะเวลา 60 วัน เนื่องจากผลการตรวจหาสารระเบิดทางทหารที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในระยะเวลา 30 วันนั้นพบว่าที่ความเข้มข้น 500.0  $\mu\text{g}$  เป็นความเข้มข้นที่สามารถตรวจพบได้จาก ทุกพื้นผิววัตถุและสามารถตรวจพบได้นานถึง 30 วัน (ตารางที่ 6) จึงนำความเข้มข้นนี้มาทำการทดลอง

โดยในการตรวจหาสารระเบิดทางทหาร RDX ด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B จากการ Swab ตรวจนั้น เนื่องจากค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่องไอออนสแกนสามารถตรวจพบสารได้มีค่าเท่ากับ 0.5  $\mu\text{g}$  การใช้ความเข้มข้น 500.0  $\mu\text{g}$  จึงดูเหมือนว่าจะเป็นความเข้มข้นที่มากเกินไป











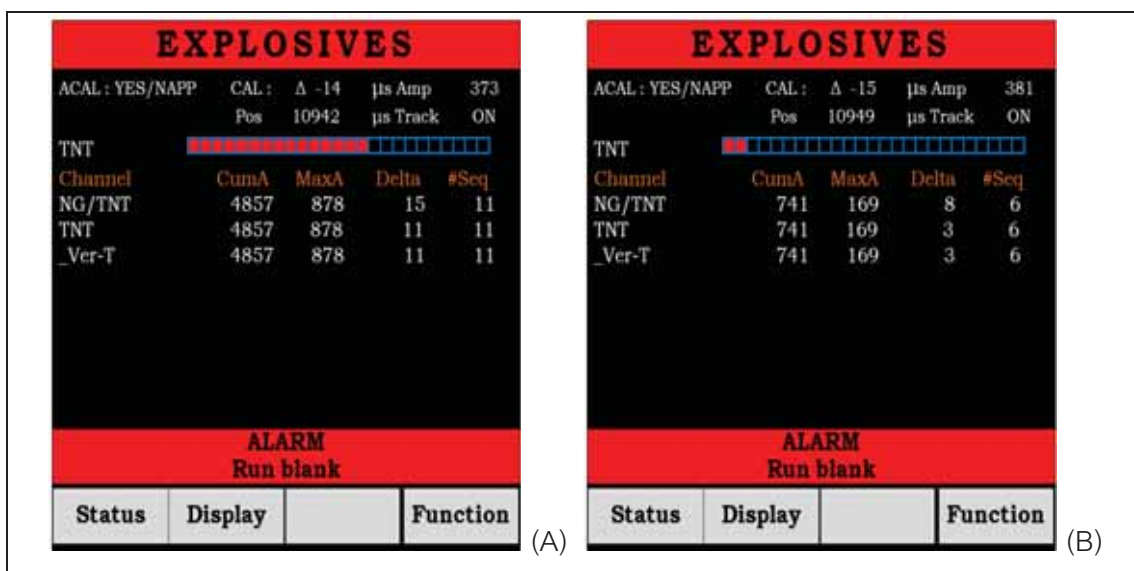




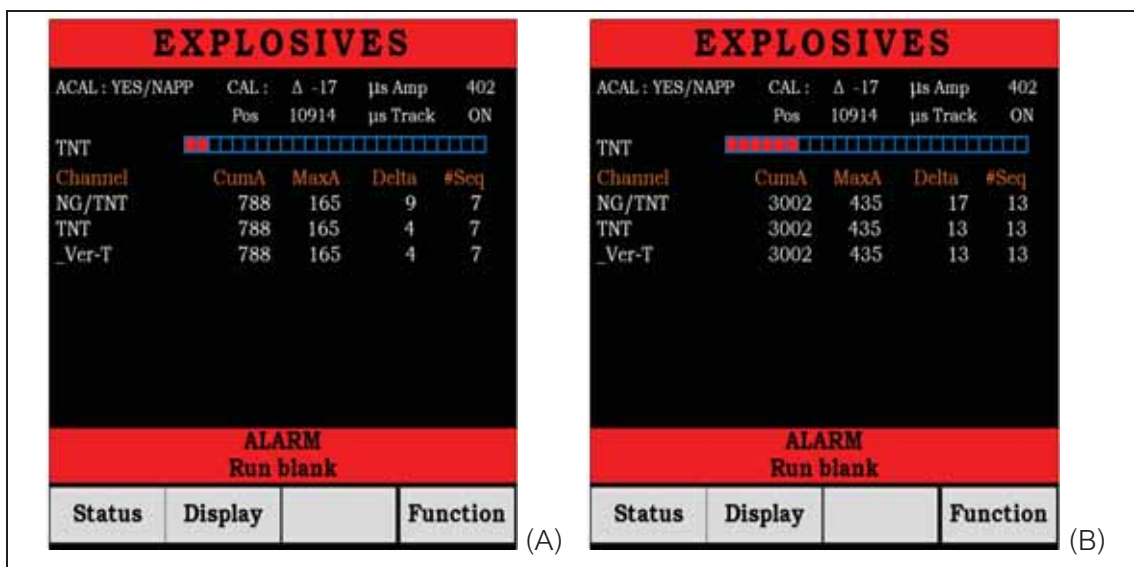




สารระเบิดทางทหาร TNT ต่างจากสารระเบิดทั้ง 2 ชนิดข้างต้น พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของสารตรวจจากทั้งวัสดุทั้ง 2 ชนิดลดลงอย่างชัดเจน ในวันที่ 60 (ภาพที่ 42) มีปริมาณสารเหลืออยู่น้อยมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอัตราการระเหยของสารชนิดนี้มีสูงกว่าสาร RDX และ PETN ในความเข้มข้นที่เท่ากัน



ภาพที่ 36 ผลการตรวจพบสาร TNT จากผ้าฝ้าย (A) และไม้อัด (B) ในวันที่ 1



ภาพที่ 37 ผลการตรวจพบสาร TNT จากผ้าฝ้าย (A) และไม้อัด (B) ในวันที่ 5







| EXPLOSIVES      |         |                                                                                   |               |      | EXPLOSIVES      |         |                                                                                    |               |      |
|-----------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|------|-----------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------|
| ACAL : YES/NAPP |         | CAL : $\Delta$ -17                                                                | $\mu$ s Amp   | 402  | ACAL : YES/NAPP |         | CAL : $\Delta$ -28                                                                 | $\mu$ s Amp   | 292  |
|                 |         | Pos 10914                                                                         | $\mu$ s Track | ON   |                 |         | Pos 10905                                                                          | $\mu$ s Track | ON   |
| TNT             |         |  |               |      | TNT             |         |  |               |      |
| Channel         | CumA    | MaxA                                                                              | Delta         | #Seq | Channel         | CumA    | MaxA                                                                               | Delta         | #Seq |
| NG/TNT          | 788     | 165                                                                               | 9             | 7    | NG/TNT          | 1225    | 147                                                                                | -4            | 11   |
| TNT             | 788     | 165                                                                               | 4             | 7    | TNT             | 1149    | 147                                                                                | -6            | 10   |
| _Ver-T          | 788     | 165                                                                               | 4             | 7    | _Ver-T          | 1149    | 147                                                                                | -6            | 10   |
| ALARM           |         |                                                                                   |               |      | ALARM           |         |                                                                                    |               |      |
| Run blank       |         |                                                                                   |               |      | Run blank       |         |                                                                                    |               |      |
| Status          | Display |                                                                                   | Function      |      | Status          | Display |                                                                                    | Function      |      |

(A)

(B)

ภาพที่ 42 ผลการตรวจพบสาร TNT จากผ้าฝ้าย (A) และไม้อัด (B) ในวันที่ 60

## บทที่ 5

### สรุปและอภิปรายผล

#### 1. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

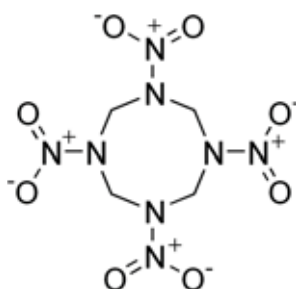
การทดลองศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อการตรวจหา สารระเบิด 3 ชนิด ได้แก่ สารระเบิด RDX, PETN และ TNT ด้วยเครื่องไอออนสแกน 400B ได้ทำการศึกษา การตรวจหาสารระเบิดบนพื้นผิววัตถุ 2 ชนิดคือผ้าฝ้ายและไม้อัด โดยมีระยะเวลาในการศึกษา 60 วัน กำหนดทำการตรวจในวันที่ 1, 5, 7, 15, 30, 45 และวันที่ 60 ของการทดลอง

ในการทดลองใช้สารระเบิดทางทหาร (Military Explosives) มาทำการทดสอบ ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกับสารระเบิดมาตรฐาน (Standard Explosives) ทั้งในความบริสุทธิ์ (Purity) และราคาของสารระเบิด การทดลองจึง ทำการศึกษาหาค่า LOD ของสารระเบิดทั้ง 3 ชนิดเพื่อทราบข้อจำกัดในการตรวจ ของเครื่องไอออนสแกน โดยได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4 ซึ่งมีค่า LOD ของสารระเบิดทั้ง 3 ชนิดสูงกว่าค่า LOD ที่กำหนดมาของเครื่องไอออนสแกน (ตารางที่ 2) ทำให้ทราบว่าสารระเบิดที่นำมาใช้มี Impurity สูง อีกทั้งในการทดลองหาค่า LOD นี้เป็นการทดลองโดยวิธีการ จากการประยุกต์วิธีที่ใช้ในการทำงานตรวจหาสารระเบิดซึ่งอาจเป็นคุณละวิธีกับทางบริษัทที่ทดสอบ ทำให้ค่า LOD ที่ได้มีค่าสูง

เมื่อทราบค่า LOD ของสารระเบิดแล้ว จึงทำการ หาความเข้มข้นที่ค่าต่าง ๆ เพื่อทราบถึงข้อจำกัดของ ค่าความเข้มข้นในการทดลองเรื่องของ ระยะเวลา โดยในการทดลองดังตารางที่ 6 ได้ใช้ความเข้มข้นจากค่า LOD ของสารระเบิดทั้ง 3 ชนิด และทำการเพิ่มความเข้มข้นเป็น 10, 20, 50, 100 และ 1000 เท่าในสารระเบิด RDX และ PETN และเพิ่มความเข้มข้น 2, 4, 10, 20 และ 200 เท่าในสารระเบิด TNT เพื่อให้ความเข้มข้นของสารทุกตัวมีค่าเท่ากัน แล้วจึง ทำการหาความเข้มข้นที่สารระเบิดสามารถ ติดอยู่บนผ้าฝ้ายและไม้อัดได้ในระยะเวลา 30 วัน จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้น 500.0  $\mu\text{g}$  ของสารระเบิดทั้ง 3 ชนิดสามารถตรวจพบได้นาน 30 วัน จากผิววัตถุทั้ง 2 ชนิด

จากความเข้มข้น 500.0  $\mu\text{g}$  ของสารระเบิด RDX, PETN และ TNT สามารถตรวจพบจากผิววัตถุทั้ง 2 ชนิดได้ตั้งแต่วันแรกของการทดลองจนถึงวันที่ 60 ของการทดลอง (ตารางที่ 7) และอาจสามารถตรวจพบได้นานมากกว่า 60 วันขึ้นไป

ในการวิเคราะห์สาร RDX ด้วยเครื่องไอออนสแกนนั้น พบว่าเมื่อทิ้งตัวอย่างไว้ถึงวันที่ 15 ของการทดลอง พบว่าเครื่องไอออนสแกน สามารถ ตรวจพบ สาร HMX (Cyclotetramethylenetetranitramine หรือชื่อที่รู้จักทั่วไปคือ Octogen) จากผ้าฝ้าย (ภาพที่ 25A) และพบทั้งจากผ้าฝ้ายและไม้อัดในวันที่ 30 ของการทดลอง (ภาพที่ 26) และพบต่อเนื่องไปตลอดการทดลองในวันที่ 60 (ภาพที่ 27- 28) การพบสาร HMX นี้เกิดเนื่องจากในกระบวนการสังเคราะห์ RDX ด้วยกระบวนการ Bachmann ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการสังเคราะห์สาร RDX ในกระบวนการผลิตจะได้สาร HMX เป็น by product ทำให้สาร RDX ที่ได้มีสาร HMX เป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณ 8-12% ของน้ำหนัก ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดจากหมู่ไนโตรของสาร Nitric Acid ( $\text{HNO}_3$ ) ทำปฏิกิริยากับ Hexamine  $[(\text{CH}_2)_6\text{N}_4]$  โดยสาร HMX นี้จัดว่าเป็นสารที่มีความไวและประสิทธิภาพสูงเหมือนกับ RDX



ภาพที่ 43 โครงสร้างสาร HMX

ที่มา : Wikipedia, [HMX](http://en.wikipedia.org/wiki/HMX) [Online], accessed 29 March 2009. Available from <http://en.wikipedia.org/wiki/HMX>

จากการมีสาร HMX เป็นส่วนประกอบอยู่ เมื่อเวลาผ่านไป ในสภาพแวดล้อมที่ประกอบไปด้วยอุณหภูมิ ความชื้น และอัตราการระเหยของสาร เป็นตัวกระตุ้นให้ HMX มีการสลายตัวและระเหยออกมา จึงทำให้เครื่องไอออนสแกนสามารถที่จะวิเคราะห์เจอสาร HMX ได้ ส่วนจากภาพที่ 26B พบสาร  $\text{NO}_3$  จากการตรวจไม่อัด เกิดจากการปนเปื้อนในการตรวจวิเคราะห์เนื่องมาจากการ Clean เครื่องไอออนสแกนได้ไม่หมดรวมถึงส ภาพแวดล้อมบริเวณที่ทำการทดลองมีการปนเปื้อนของสาร  $\text{NO}_3$  เช่นกันกับการตรวจวิเคราะห์สาร PETN ที่พบว่ามีสารปนเปื้อนสาร NG (ภาพที่ 34A) เนื่องมาจากสาเหตุเดียวกัน

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหากมีการปนเปื้อนสารระเบิดบริเวณพื้นผิววัตถุที่มีความเข้มข้นมากกว่า ค่า LOD เครื่องไอออนสแกนรุ่น 400B จะสามารถตรวจพบสารระเบิดทั้ง 3 ชนิดได้นานกว่า 60 วันหรือ 2 เดือน อย่างไรก็ตามการติดทนหรือคงอยู่ บนพื้นผิววัตถุของสารระเบิดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ปริมาณความเข้มข้นของสาร อุณหภูมิ ความชื้น ลักษณะการสัมผัสของสารกับวัตถุ ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อ อัตราการระเหยของสาร (Krausa 2008) ทำให้มีผลต่อการตรวจหาสารด้วย

การตรวจด้วยเครื่องไอออนสแกนมีขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์ที่สำคัญคือ กระบวนการเก็บตัวอย่าง โดยในการเก็บตัวอย่างนี้ต้องอาศัยผ้า Swab ซึ่งเป็นผ้าที่มีคุณสมบัติพิเศษในการยึดเกาะของสารกับผ้า Swab และมีการทำให้สะอาดโดยไม่มีการตกค้างหรือปนเปื้อนของสารใด ๆ ) ทำการป้ายหรือเช็ดบนวัตถุที่สงสัยว่ามีสารระเบิดติดอยู่ หาก Swab ถูกจุดนั้นหมายความว่าตรวจพบสารระเบิด แต่หาก Swab ไม่ถูกจุดก็อาจตรวจไม่พบเช่นกัน ทั้งนี้ ขึ้นกับความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ทำการตรวจด้วยเช่นกัน การนำเทคโนโลยี Ion Mobility Spectrometry (IMS) มาใช้ในการทำงานนั้นเป็นการช่วยให้การทำงานของเจ้าหน้าที่ มีความสะดวกขึ้น สามารถวิเคราะห์และรู้ผลได้เร็ว เช่น หากสงสัยว่าผู้ต้องสงสัยคนไหนเป็นผู้ ก่อความไม่สงบโดยการวางระเบิดหรือมีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำระเบิด สามารถทำได้โดยเอาผ้า Swab ป้ายตามตัวในจุดที่คิดว่ามีละออง หรืออนุภาคของสารระเบิด แล้วนำผ้า Swab นั้นมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนสแกน หากผู้ต้องสงสัยคนนั้นมีส่วนเกี่ยวข้องจริงก็จะพบสารระเบิดจากการตรวจ แต่มีจำกัดคือเครื่องไอออนสแกน 400B เป็นเครื่องตั้งโต๊ะ หากเอาไปตรวจนอกสถานที่บ่อย ๆ ก็จะเป็นการไม่สะดวก

## 2. ข้อเสนอแนะ

2.1. ควรเพิ่มระยะเวลาในการตรวจสอบหาระเบิด ชนิดต่าง ๆ ให้นานกว่านี้ และทำการตรวจจนกว่าจะไม่พบสารระเบิดในความเข้มข้นหนึ่ง ๆ

2.2. ทดสอบเปรียบเทียบ กับการตรวจจากพื้นผิววัตถุที่มีความแตกต่างกัน และหลากหลายชนิด

2.3. ทำการทดสอบในขั้นตอนการยืนยันผล (Confirmation Test) จากผลการตรวจด้วยเครื่องไอออนสแกน

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

- เรามาทำความรู้จักระเบิดกันเถอะ [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 6 มกราคม 2553. เข้าถึงจาก <http://www.weopenmind.com/board/>
- วัตถุระเบิดสำหรับงานเหมืองแร่และเหมืองหิน [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 6 ธันวาคม 2552. เข้าถึงจาก <http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/equipment/explosive.htm>
- สถาบันข่าวอิศรา สมาคมนักข่าวหนังสือพิมพ์แห่งประเทศไทย. 5 ปีไฟใต้รู้ทันระเบิดแสวงเครื่อง และแนวโน้มปี 52 [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 17 เมษายน 2552. เข้าถึงจาก <http://wbns.oas.psu.ac.th/shownews.php>
- สมพร จงค์คำ. “การตรวจวัตถุระเบิดด้วยวิธีนิวเคลียร์.” เอกสารข่าวสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ 10, 3 (กรกฎาคม – กันยายน 2538): 6 - 10
- สิทธิชัย โกศล. วัตถุระเบิดแสวงเครื่องและวิธีป้องกัน [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 12 ตุลาคม 2552. เข้าถึงจาก <http://www.oaep.go.th/nstkc/content>

### ภาษาอังกฤษ

- Boonpanya, Job et al. “Forensic Investigation of Explosion Cases in the Restive South.” Royal Thai Army Medical Journal 60 (2007): 91-100.
- Cooper, Paul W. Explosives Engineering. Weinheim: Wiley-VCH Publishers, 1996.
- Dorozhkin, L.M. et al. “Detection of Trace Amounts of Explosives and/or Explosive Related Compounds on Various Surfaces by a New Sensing Technique/Material.” Sensors and Actuators B 99(2004): 568-570.
- Explosives [Online]. Accessed 29 March 2009. Available from <http://web.fccj.org/~ethall/explode/explode.htm>
- Hallowell, Susan. Explosives Trace Detection. USA: Homeland Security, 2008.
- Kolla, P. and P. Hohenstatt. “Stability of Explosives Traces on Different Supports.” Forensic Science International 60 (1993): 127-137.

Krausa, Michael. "Chances of and Demands on Chemical Vapor Explosives Detection."

Germany: Fraunhofer-Institut Chemische Technologie, 2008. (Mimeographed)

Lynch, Jason C., James M. Brannon, and Joseph J. Delfino. "Dissolution Rates of Three High Explosive Compounds: TNT, RDX and HMX." Chemosphere 47(2002): 725-734.

Malti, H. Rock Excavation Handbook. Edited by Sandvick - Tamrock. n.p. 1999.

Midkiff, C.R. In Forensic Science Handbook. Edited by R. Saferstein. Prentice-Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.

Nairmen, Mina et al. "Ion Mobility Spectrometry Determination of Smokeless Powders on Surfaces." IJIMS 5, 3 (2002): 127-131.

Popov, Igor A., et al. "Detection of Explosives on Solid Surface by Thermal Desorption and Ambient Ion/Molecule Reactions." ChemComm (2005): 1953-1955.

Rodacy, Phil. "The Minimum Detection Limits of RDX and TNT Deposited on Various Surfaces as Determined by Ion Mobility Spectroscopy." New Mexico: n.p., 1993. (Mimeographed)

Smiths Detection. "IONSCAN Operator's Manual." New Jersey: n.p., 2002. (Mimeographed)

\_\_\_\_\_. Ion Mobility Spectrometry [Online]. Accessed 18 December 2009. Available from <http://www.smithsdetection.com/eng/IMS.php>

\_\_\_\_\_. SABRE 4000 [Online]. Accessed 18 December 2009. Available from [http://www.smithsdetection.com/eng/sabre\\_4000\\_1.php](http://www.smithsdetection.com/eng/sabre_4000_1.php)

\_\_\_\_\_. IONSCAN [Online]. Accessed 18 December 2009. Available from <http://www.smithsdetection.com/eng/IONSCAN.php>

\_\_\_\_\_. Sentinal II [Online]. Accessed 18 December 2009. Available from [http://www.smithsdetection.com/eng/sentinal\\_II.php](http://www.smithsdetection.com/eng/sentinal_II.php)

Wikipedia. HMX [Online]. Accessed 16 January 2010. Available from <http://en.wikipedia.org/wiki/HMX>



ภาคผนวก

ตารางผลการตรวจวิเคราะห์ค่า LOD

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ค่า LOD ของเครื่องไอออนสแกน 400B ในสารระเบิด RDX

| ความเข้มข้น<br>ของสารระเบิด<br>(ng) | ผลการตรวจพบใน 10 ครั้ง (ครั้งที่) |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                                     | 1                                 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $5 \times 10^5$                     | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 1                                   | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 10                                  | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 100                                 | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 200                                 | -                                 | - | - | - | - | + | - | - | - | -  |
| 250                                 | -                                 | - | + | - | - | - | - | + | - | -  |
| 300                                 | -                                 | + | - | - | + | + | - | - | - | -  |
| 350                                 | -                                 | + | - | - | + | + | - | - | - | -  |
| 400                                 | +                                 | - | + | + | + | - | + | - | - | +  |
| 450                                 | +                                 | + | - | + | + | - | + | - | - | +  |
| 500                                 | +                                 | + | - | + | + | - | + | - | + | +  |

+ หมายถึงเครื่องไอออนสแกนตรวจพบสารระเบิด

- หมายถึงเครื่องไอออนสแกนตรวจไม่พบสารระเบิด

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ค่า LOD ของเครื่องไอออนสแกน 400B ในสารระเบิด PETN

| ความเข้มข้น<br>ของสารระเบิด<br>(ng) | ผลการตรวจพบใน 10 ครั้ง (ครั้งที่) |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                                     | 1                                 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $5 \times 10^5$                     | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 1                                   | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 10                                  | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 100                                 | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 250                                 | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 300                                 | -                                 | - | - | - | - | - | - | + | + | -  |
| 350                                 | -                                 | + | - | - | + | + | - | - | - | +  |
| 400                                 | +                                 | - | + | + | + | - | + | - | - | -  |
| 450                                 | -                                 | + | - | + | + | - | + | + | - | +  |
| 500                                 | +                                 | + | + | + | + | - | + | - | + | +  |

+ หมายถึงเครื่องไอออนสแกนตรวจพบสารระเบิด

- หมายถึงเครื่องไอออนสแกนตรวจไม่พบสารระเบิด

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ค่า LOD ของเครื่องไอออนสแกน 400B ในสารระเบิด TNT

| ความเข้มข้น<br>ของสารระเบิด<br>( $\mu\text{g}$ ) | ผลการตรวจพบใน 10 ครั้ง (ครั้งที่) |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                                                  | 1                                 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $3 \times 10^8$                                  | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 0.5                                              | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 0.75                                             | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 1                                                | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 1.5                                              | -                                 | - | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 2                                                | -                                 | + | - | - | - | - | - | - | - | -  |
| 2.25                                             | -                                 | + | - | - | - | - | - | - | - | +  |
| 2.4                                              | +                                 | + | - | - | - | - | + | - | + | -  |
| 2.45                                             | +                                 | - | + | - | + | - | - | + | + | -  |
| 2.5                                              | -                                 | + | + | + | + | + | + | - | + | +  |

+ หมายถึงเครื่องไอออนสแกนตรวจพบสารระเบิด

- หมายถึงเครื่องไอออนสแกนตรวจไม่พบสารระเบิด

### ประวัติผู้วิจัย

|                            |                                                                                                             |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ – ชื่อสกุล<br>ที่อยู่ | นภาพร กั้วตระกูล<br>162 หมู่บ้านอมรชัย 3 ซอย 3 ถนนบรมราชชนนี<br>แขวงศาลาธรรมสพน์ เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ 10170 |
| ประวัติการศึกษา            |                                                                                                             |
| พ.ศ. 2546                  | สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต<br>สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง                          |
| พ.ศ. 2550                  | ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์<br>บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร                          |
| ประวัติการทำงาน            |                                                                                                             |
| พ.ศ. 2548                  | ผู้ช่วยนักวิจัย มหาวิทยาลัยมหิดล                                                                            |
| พ.ศ. 2552 - ปัจจุบัน       | นักนิติวิทยาศาสตร์ สถาบันนิติวิทยาศาสตร์                                                                    |