



รายงานการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ในการตรวจวัตถุ  
ระเบิดและของผิดกฎหมาย

**Feasibility Study of Using Nuclear Technics in Explosive and  
Contraband Detection**

ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ พันเอก ดร. วรศิษย์ อุทัย

สาขาวิชาฟิสิกส์

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2543

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2546

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ใช้งบประมาณอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยในการวิจัยครั้งนี้ซึ่งประกอบไปด้วย Prof. Dr. Wang Chongqi จาก China Institute of Atomic Energy, China ที่ได้ทำการฝึกอบรมวิธีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MCNP ให้ คุณปริวรรต เสียงสนั่น จากสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติภาพ ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้โปรแกรม MCNP คุณสมหมาย ช่างเขียน นักศึกษาระดับปริญญาเอก และคุณนพดล คีแท้ ผู้ช่วยสอน สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัย

## บทคัดย่อ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษา 2 ประการคือ 1) ศึกษาถึงชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบตรวจวัดฐานะเปิดและของผิดกฎหมายที่มีอยู่ในปัจจุบัน และ 2) ศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ในระบบตรวจวัดฐานะเปิดและของผิดกฎหมาย โดยมีวิธีการศึกษาดังนี้ (1) ในข้อ 1) ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมชนิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบตรวจวัดฐานะเปิดและของผิดกฎหมายที่มีอยู่ในปัจจุบัน และ (2) ในข้อ 2) ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MCNP เพื่อทำการจำลองการทำงานของระบบตรวจวัดฐานะเปิดและยาเสพติดที่ใช้เทคโนโลยี TNA โดยอาศัยระบบตรวจกระเป๋าดำเนินทางที่ใช้ในการทดลองของ J. Bratko และ F. H. Ruddy เป็นต้นแบบ ผลการวิจัยพบว่า ณ ปัจจุบันนี้อาจแบ่งชนิดของระบบตรวจวัดฐานะเปิดและของผิดกฎหมายออกเป็น 2 ชนิด คือชนิดที่ไม่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์และชนิดที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ ชนิดแรกนั้นจะมีข้อดีที่มีราคาถูก ขนาดเล็ก และสามารถเคลื่อนที่ได้แต่มีข้อเสียที่ไม่สามารถตรวจวัดฐานะเปิดขนาดเล็ก ๆ หรือวัดฐานะเปิดที่ตัดแปลงรูปทรงได้ ส่วนชนิดหลังนั้นจะมีข้อดีที่สามารถตรวจวัดฐานะเปิดได้ทุกชนิด ไม่มีข้อจำกัดในด้านขนาดและรูปทรงของวัดฐานะเปิด แต่มีข้อเสียที่มักมีขนาดใหญ่ ราคาแพงและมีระดับรังสีที่สูงกว่า ในระบบตรวจวัดฐานะเปิดและของผิดกฎหมายทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท เช่น ในกรณีของชนิดที่ไม่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์อาจแบ่งออกได้ 5 ประเภท คือ 1. ประเภทตรวจหาโลหะ 2. ประเภทตรวจหาสารเคมี 3. ประเภทตรวจหาคลื่น 4. ประเภทตรวจโดยใช้รังสีเอ็กซ์ และ 5. ประเภทตรวจโดยใช้คลื่นวิทยุ ส่วนชนิดที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์นั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1. ประเภทตรวจโดยใช้รังสีแกมมา และ 2. ประเภทตรวจโดยใช้อนุภาคนิวตรอน สำหรับการจำลองการทำงานของระบบตรวจวัดฐานะเปิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยี TNA โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MCNP นั้นพบว่ามีความสอดคล้องกับผลการทดลองของ J. Bratko และ F. H. Ruddy โดย สามารถตรวจพบวัดฐานะเปิดที่ซุกซ่อนอยู่ในกระเป๋าดำเนินทางพร้อมทั้งบอกตำแหน่งของวัดฐานะเปิดนั้นได้

## Abstract

In this research two studies were done : 1) The study of type of technologies used in the Explosive and Contraband Detection System (ECDS) available today and 2) The study of feasibility of using nuclear technology in ECDS. The method of these studies are : (1) Various literatures relevant to ECDS were reviewed for article 1) and (2) The MCNP computer program was used to simulate the ECDS which used luggage inspection system from J. Bratko and F.H. Ruddy's experiment as simulation prototype. Research findings indicated that there are two kinds of ECDS's technologies : 1. Non-nuclear technology and 2. Nuclear technology. The first technology has advantages of being cheap price, small size and movable but has disadvantages of being unable to detect the small size explosive or explosive with irregular shape. For the second technology, its advantages are the capability of detecting all kinds of explosive, no matter how big or small, and any kind of shape. However, it also has some disadvantages, namely, too large, too expensive and involves with higher level of radiation. In each kind of ECDS's technologies, it may be divided into different types. For example, the first kind can be divided into five types, depending of the detection method used : 1. Metal detection, 2. Chemical detection, 3. Canine detection, 4. X-ray detection, and 5. Radio wave detection. In case of the second kind, it may be divided into two types, depending of the kind of radiation used : 1. Gamma radiation and 2. Neutron radiation. For the simulation of the ECDS's TNA technology by using MCNP-computer program, the results showed that they agree with the results from the experiment of J. Bratko and F. H. Ruddy, by being able to identify the existence and position of explosive in the luggage.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ระบบตรวจวัดถูระเบิดและของผิดกฎหมายที่ไม่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์	7
บทที่ 3 ระบบตรวจวัดถูระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์	17
บทที่ 4 การจำลองการทำงานของระบบตรวจวัดถูระเบิดและของผิดกฎหมาย โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มอลติคาร์โต	29
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการจำลองและสรุปผล	49
บรรณานุกรม	59
ประวัตินักวิจัย	62

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลป้อนเข้า (input data) สำหรับการจำลองเมื่อบรรจุระเบิด C-4 ขนาดใหญ่ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง	38
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองเมื่อบรรจุผ้าไหม ผ้าขนสัตว์และผ้าไนลอน ในกระเป๋าเดินทาง	41
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองเมื่อบรรจุระเบิด C-4 ขนาดใหญ่ไว้ที่ ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง	42
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองเมื่อบรรจุระเบิด C-4 ขนาดกลางไว้ที่ ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง	43
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองเมื่อบรรจุระเบิด C-4 ขนาดกลางไว้ที่ กึ่งกลางของกระเป๋าเดินทาง	44
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองเมื่อบรรจุระเบิด C-4 ขนาดกลางไว้ที่ ขอบบนขวาของกระเป๋าเดินทาง	45
ตารางที่ 4.7 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองเมื่อบรรจุระเบิด C-4 ขนาดเล็กไว้ที่ กึ่งกลางของกระเป๋าเดินทาง	46
ตารางที่ 4.8 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองเมื่อบรรจุระเบิด C-4 ขนาดใหญ่ กับผ้าขนสัตว์ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง	47
ตารางที่ 4.9 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองเมื่อบรรจุระเบิด C-4 ขนาดกลางกับผ้าไหม ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง	48
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณี ที่บรรจุผ้าไหมผ้าขนสัตว์และผ้าไนลอนไว้ในกระเป๋าเดินทาง	50
ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณี ที่บรรจุ C-4ขนาดใหญ่ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง	51
ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณี ที่บรรจุ C-4ขนาดกลางไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง	52
ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณี ที่บรรจุ C-4 ขนาดกลางไว้ที่กึ่งกลางของกระเป๋าเดินทาง	53
ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณี ที่บรรจุ C-4 ขนาดกลางไว้ที่ขอบบนขวาของกระเป๋าเดินทาง	54

ตารางที่ 5.6	การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่ บรรจุ C-4 ขนาดเล็กไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของกระเป๋าดำเดินทาง	55
ตารางที่ 5.7	การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่ บรรจุ C-4 ขนาดใหญ่กับผ้าขนสัตว์ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าดำเดินทาง	56
ตารางที่ 5.8	การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่ บรรจุ C-4ขนาดกลางกับผ้าไหมไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าดำเดินทาง	57

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ความเสียหายของอาคารที่ทำการรัฐ โอกลาโฮมาหลังจากถูกลอบวางระเบิด	1
รูปที่ 1.2 ตำรวจอิสราเอลกำลังดับไฟที่เกิดจากระเบิดพลีชีพ	2
รูปที่ 1.3 การกักขังระเบิดที่ฝังอยู่ใต้ดินขององค์กรเอกชน (NGO)	4
รูปที่ 2.1 เครื่องตรวจวัตถุระเบิดประเภทตรวจหาโลหะ	8
รูปที่ 2.2 เครื่องตรวจวัตถุระเบิดประเภทตรวจหาโลหะแบบมือถือ	8
รูปที่ 2.3 เครื่องตรวจระเบิดประเภทตรวจสารเคมี	10
รูปที่ 2.4 การฝึกสุนัขดมกลิ่นของวัตถุระเบิดและยาเสพติด	11
รูปที่ 2.5 เครื่องตรวจวัตถุระเบิดและยาเสพติดประเภทที่ใช้รังสีเอ็กซ์	12
รูปที่ 2.6 เครื่องตรวจวัตถุระเบิดประเภทที่ใช้เทคโนโลยีของ Backscatter x-ray	14
รูปที่ 2.7 เครื่องตรวจวัตถุระเบิดและยาเสพติดที่ใช้เทคโนโลยี CT	15
รูปที่ 2.8 เครื่องตรวจวัตถุระเบิดและยาเสพติดประเภทที่ใช้ เทคโนโลยี QR	16
รูปที่ 3.1 กราฟแท่งที่แสดงถึงสัดส่วน (%) ของ H, C, N และ O	17
รูปที่ 3.2 ค่าอัตราส่วน C/O ของวัตถุระเบิด ยาเสพติด และของใช้ประจำวัน	18
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องตรวจวัตถุระเบิด/ของผิดกฎหมาย ที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์	19
รูปที่ 3.4 ระบบตรวจวัตถุระเบิดและยาเสพติด VACIS-I	21
รูปที่ 3.5 สเปกตรัมของรังสีแกมมาที่เกิดจากระบบการตรวจกระเป๋าเดินทาง ที่ใช้เทคโนโลยี TNA	23
รูปที่ 3.6 เครื่องตรวจกระเป๋าเดินทางที่ใช้เทคโนโลยี TNA	23
รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ในการทดลองของระบบ FNSA	25
รูปที่ 3.8 กราฟของ pulse height ที่เกิดขึ้นจากการกระเจิงของอนุภาคนิวตรอน เมื่อตกกระทบกับสารตัวอย่าง	26
รูปที่ 3.9 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัด (จุด) และค่าคาดหวัง (ฮิสโตแกรม) ของสัดส่วนจำนวนอะตอมของสารตัวอย่าง	27
รูปที่ 3.10 ค่าความน่าจะเป็น (Probability) หรือโอกาสที่สารตัวอย่าง 3 ชนิด ที่นำมาทดสอบโดยวิธี FNSA	28
รูปที่ 4.1 ลักษณะและองค์ประกอบของระบบตรวจวัตถุระเบิด/ของผิดกฎหมาย ที่ใช้ในการจำลอง	31



รูปที่ 4.2	รูปภาพตัดขวางของระบบตรวจกระเป๋าเดินทาง	32
รูปที่ 4.3	ตำแหน่งของระบบของแหล่งกำเนิดนิวตรอน-หัววัดรังสีแกมมา 9 ตำแหน่ง ที่ครอบคลุมหน้ากว้างของกระเป๋าเดินทางพอดี	34
รูปที่ 4.4	กระเป๋าเดินทาง ที่บรรจุผ้าไหม ผ้ายนสัตว์ และไนลอน	35
รูปที่ 4.5	ตำแหน่งการวางวัตถุระเบิดในกระเป๋าเดินทาง	36
รูปที่ 4.6	กระเป๋าเดินทางซึ่งบรรจุของใช้ประจำวันและวัตถุระเบิดไว้ที่ขอบล่างซ้าย	37

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 การก่อวินาศกรรมโดยใช้ระเบิด

ความขัดแย้งระหว่างประเทศ ระหว่างกลุ่มหรือระหว่างลัทธิ เป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งของการก่อวินาศกรรมซึ่งสามารถกระทำได้หลายรูปแบบ ในยุคต้น ๆ นิยมใช้การจี้เครื่องบินโดยสาร โดยเอาผู้โดยสารเป็นตัวประกันเพื่อเรียกร้องในสิ่งที่ต้องการในระยะหลังนิยมใช้การวางระเบิด ในรอบ 10 กว่าปีที่ผ่านมา ได้มีการลอบวางระเบิดตามสถานที่ต่าง ๆ หลายครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งทำให้เกิดมีการสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก ในปี พ.ศ. 2528 เครื่องบินของสายการบินแอร์อินเดียถูกลอบวางระเบิดในระหว่างที่บินจากกรุงมอนทรี-ออล ประเทศแคนาดา ไปยังกรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ทำให้เครื่องบินลำนั้นตกและมีผู้โดยสารเสียชีวิตถึง 329 คน ในปี พ.ศ. 2531 มีการลอบวางระเบิดในเครื่องบินอีกครั้งโดยคราวนี้เป็นเครื่องบินของสายการบินแพนแอม (Pan Am) เที่ยวบินที่ 103 ที่ประเทศสก็อตแลนด์ โดยคนร้ายซุกซ่อนระเบิดพลาสติกในเครื่องรับวิทยุ ซึ่งบรรจุอยู่ในกระเป๋าเดินทางโดยปราศจากการตรวจพบโดยเครื่องตรวจกระเป๋าเดินทางที่สนามบิน ระเบิดดังกล่าวเกิดระเบิดขึ้นในขณะที่เครื่องบินกำลังบินอยู่ในอากาศ ทำให้เครื่องบินลำนั้นตกและมีผู้โดยสารเสียชีวิตจำนวน 270 คน เมื่อปี พ.ศ. 2537 มีคนร้ายใช้รถบรรทุกนำวัตถุระเบิดจำนวนมากเข้าไปจอดในบริเวณอาคารที่ทำการของรัฐ โอกลาโฮมา ประเทศสหรัฐอเมริกา และทำการจุดชนวนระเบิดจากระยะไกล ทำให้อาคารพังพินาศเกิดการสูญเสียชีวิตอย่างมากมาย มีผู้เสียชีวิตจำนวน 168 คน บาดเจ็บ 518 คน และทรัพย์สินเสียหายมูลค่ากว่า 100 ล้านดอลลาร์สหรัฐ รูปที่ 1 เป็นภาพความเสียหายของอาคารที่ทำการรัฐ โอกลาโฮมา หลังจากถูกลอบวางระเบิด

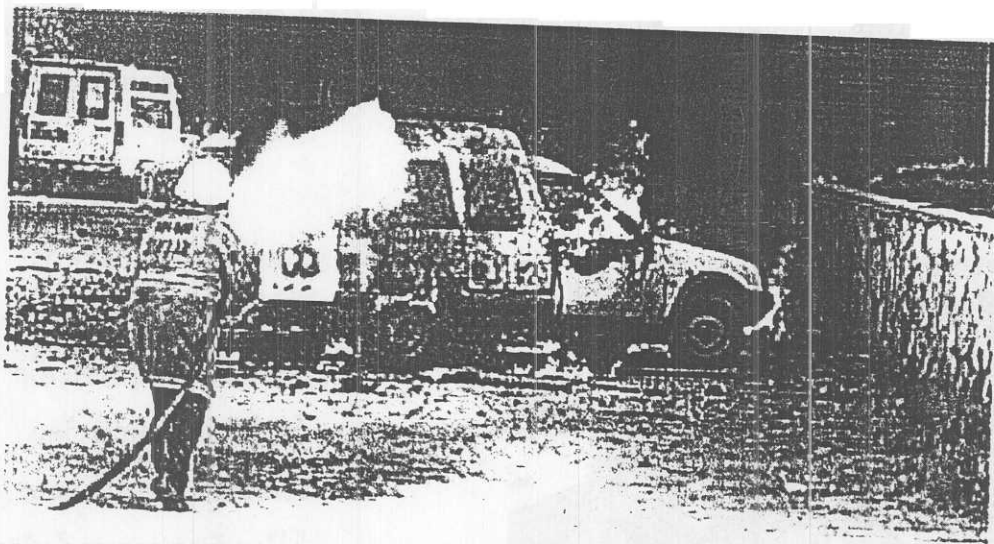


รูปที่ 1.1 ความเสียหายของอาคารที่ทำการรัฐ โอกลาโฮมา หลังจากถูกลอบวางระเบิด โดยใช้รถบรรทุกนำวัตถุระเบิดจำนวนมากไปจอดไว้ในบริเวณอาคารแล้วทำการจุดชนวนระเบิดจากระยะไกล (ที่มา AP/Wide World Photos)

ความขัดแย้งในตะวันออกกลาง โดยเฉพาะระหว่างประเทศอิสราเอลและปาเลสไตน์ทำให้เกิดแฟชั่นใหม่ของการลอบวางระเบิด คือ “ระเบิดพลีชีพ” ซึ่งสามารถกระทำได้ง่ายในที่สาธารณะ เช่น บนรถยนต์โดยสาร หรือในศูนย์การค้าต่าง ๆ เป็นต้น การลอบวางระเบิดในลักษณะนี้เป็นการยากที่จะป้องกันและทำให้รัฐบาลของประเทศอิสราเอลโกรธแค้นมากซึ่งมักจะตามมาด้วยการล้างแค้นอย่างรวดเร็วและรุนแรง ทั้งสองกรณี (ระเบิดพลีชีพและการล้างแค้น) มักจะทำให้ประชาชนที่ไม่เกี่ยวข้องหรือไม่รู้ชื่อไหนอึ้งรับกรรมเสมอ รูปที่ 1.2 เป็นภาพของเหตุการณ์ของระเบิดพลีชีพที่เมือง Yehud ประเทศอิสราเอล

การล้างแค้นต่อกลุ่มอัลกออิดะที่จับเครื่องบินชนตึกเวิร์ลเทรดและตึกแพนตากอน ของประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2544 โดยการส่งกำลังทหารเข้าไปไล่ล่าสมาชิกของกลุ่มดังกล่าวในอาฟกานิสถานนั้น ก่อให้เกิดผลลูกกลมหรือการปฏิบัติการเอาคืนมายังทวีปเอเชียหลายครั้ง เช่น ในปี พ.ศ. 2545 ได้มีการลอบวางระเบิดสถานบันเทิง (Nightclub) บนเกาะบาห์ลี ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวชั้นนำของโลกในประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งทำให้มีผู้เสียชีวิตนับร้อยคน ในประเทศไทยก็เช่นเดียวกันมีการลอบวางระเบิดตามสถานที่ต่าง ๆ บ่อยครั้ง เช่น ในห้างโลตัส สถานีรถไฟหรือบนรางรถไฟที่ภาคใต้ เป็นต้น

เหตุการณ์เหล่านี้ทำให้เกิดการสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินของมวลมนุษยชาติเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไขหรือหาทางป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น



รูปที่ 1.2 ตำรวจอิสราเอลกำลังดับไฟที่เกิดจากระเบิดพลีชีพที่เมือง Yehud ประเทศอิสราเอล  
(ที่มา [www.guardian.co.uk](http://www.guardian.co.uk))

## 1.2 การขนส่งของผิดกฎหมายข้ามชาติ

เป็นที่ทราบกันดีว่าในแต่ละวันมีการขนส่งสินค้าเป็นจำนวนมหาศาลข้ามพรมแดนทั้งระหว่างประเทศที่อยู่ติดกันและประเทศที่อยู่คนละทวีป แต่ละประเทศก็จะมีมาตรการตรวจสอบสินค้าที่ผิดกฎหมายนำเข้ามายังประเทศของตน แต่เนื่องจากการนำเข้ามาสินค้ามีเป็นจำนวนมาก พร้อมกับเจ้าหน้าที่และเครื่องมือในการตรวจสอบสินค้ามีจำนวนจำกัด จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบสินค้าได้ทุกชิ้น เป็นแต่เพียงสุ่มตรวจสินค้าบางชิ้นเท่านั้นเอง ดังนั้นจึงมีโอกาสที่สินค้าผิดกฎหมายจะเล็ดลอดเข้าประเทศได้ ถ้าสินค้านั้นเป็นสิ่งของเครื่องอุปโภคบริโภคที่ไม่เป็นภัยต่อสังคมก็อาจไม่มีผลกระทบมากนัก เพียงแต่เป็นการสูญเสียรายได้ของรัฐในรูปของภาษีศุลกากรเท่านั้น แต่ถ้าสินค้านั้นเป็นสิ่งที่เป็นภัยต่อสังคม โดยเฉพาะต่อความมั่นคงของประเทศ ก็จะเกิดผลกระทบอย่างมากมาย ยกตัวอย่างเช่น ยาเสพติด ซึ่งนอกจากจะเป็นภัยต่อสังคมและมีผลกระทบทางด้านความมั่นคงของประเทศแล้วยังทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจด้วย

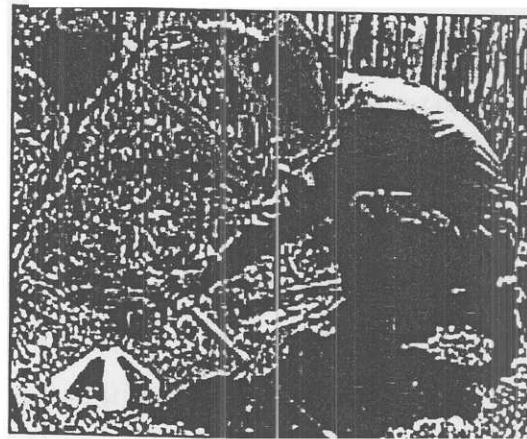
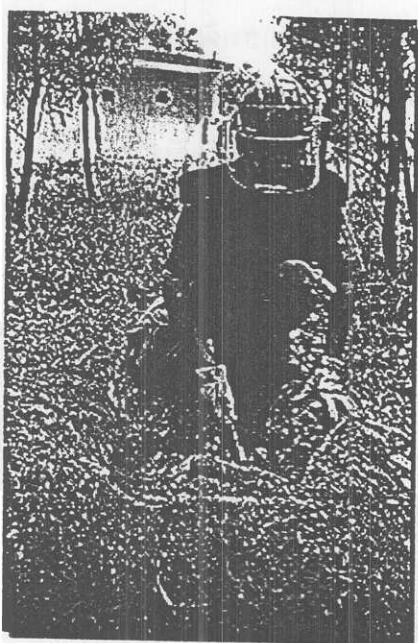
ในปัจจุบันนี้ตลาดทางการค้ายาเสพติดที่สำคัญ ๆ ก็คือประเทศในทวีปอเมริกาเหนือ ยุโรป และเอเชีย ซึ่งในแต่ละปีจะมีการนำยาเสพติดเข้าประเทศในทวีปเหล่านี้เป็นจำนวนมาก ต้นทางของการส่งยาเสพติดเข้าประเทศเหล่านี้ก็มาจากหลายแห่งมีทั้งจากทวีปอเมริกาใต้ แอฟริกาและเอเชีย ประเทศไทยก็เป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็นศูนย์กลางของการส่งผ่านยาเสพติดที่ผลิตในเอเชียไปยังประเทศปลายทาง ดังนั้นจึงปรากฏว่ามีการจับกุมชาวต่างชาติในคดียาเสพติดอยู่เป็นจำนวนมาก ในปี พ.ศ. 2543 มีการจับกุมชาวต่างชาติในคดียาเสพติดจำนวน 2,678 คดี ในคดีเหล่านี้ผู้กระทำความผิดมีสัญชาติต่าง ๆ 63 สัญชาติ เช่น ลาว มาเลเซีย จีน กัมพูชา อังกฤษ เยอรมัน ฝรั่งเศส อิตาลี สวีเดน อเมริกาและออสเตรเลีย เป็นต้น (1)

การแพร่กระจายหรือการค้ายาเสพติดภายในประเทศไทยนั้นมีความรุนแรงมากกว่าการส่งออกไปต่างประเทศอย่างมาก ในปี พ.ศ. 2543 มีการจับกุมคดียาเสพติดทั่วประเทศมากถึง 187,815 คดี โดยมีผู้ต้องหาเกี่ยวข้องกับถึง 201,928 คน ชนิดของยาเสพติดที่เกี่ยวข้องมีหลากหลาย เช่น เฮโรอีน เอ็กซ์ตาซี ผีน กัญชา แมทแอมเฟตามีน สารระเหย และอื่น ๆ ซึ่งมีน้ำหนักรวมกันไม่ต่ำกว่า 90 ตัน (2) ในระยะหลัง ๆ นี้การค้ายาเสพติดในประเทศไทยมักจะเป็นพวกยาบ้าหรือยากระตุ้นชนิดอื่น ๆ ซึ่งป้องกันหรือจับกุมได้ยาก ผลก็คือเยาวชนของชาติติดยาเสพติดอย่างมากมาย จนเป็นเหตุให้รัฐบาลภายใต้การนำของ พ.ต.ท. ดร. ทักษิณ ชินวัตร ประกาศสงครามยาเสพติดกับพ่อค้าและสามารถเอาชนะได้ซึ่งถือเป็นผลงานชิ้นโบว์แดงของรัฐบาลเลขที่เดียว

ปัญหาของการแพร่กระจายของยาเสพติดดังกล่าวทำให้เกิดผลกระทบต่อประชาคมโลกเป็นอย่างมาก ประชาชนในแต่ละประเทศตกอยู่ภายใต้อำนาจของยาเสพติดมีเป็นจำนวนมากและในจำนวนนี้ส่วนใหญ่เป็นเยาวชน จึงทำให้ขาดกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศเหล่านั้น

### 1.3 จำนวนกับระเบิดหลังสงคราม

ในยุคที่โลกแบ่งออกเป็น 2 ค่าย คือค่ายโลกเสรีและค่ายของลัทธิคอมมิวนิสต์นั้น ได้เกิดสงครามเย็นซึ่งมีการต่อสู้กันเป็นจำนวนมากทั้งระหว่างประเทศและระหว่างชนชาติเดียวกันที่นิยมลัทธิต่างกัน ในระหว่างสงครามดังกล่าวแต่ละฝ่ายก็จะฝังกับระเบิดไว้ใต้ดินตามท้องไร่ท้องนาหรือป่าเขาเป็นจำนวนมากเพื่อป้องกันตนเอง และเมื่อสงครามสงบลงส่วนหนึ่งของกับระเบิดเหล่านั้นก็ยังคงอยู่ใต้ดิน เป็นเหตุให้ประชาชนที่ไม่รู้วิธีโหม่งไฟ (ส่วนใหญ่ชาวดิน) เมื่อไปเหยียบกับระเบิดเหล่านั้นโดยบังเอิญ ในปัจจุบันมีองค์กรเอกชนต่าง ๆ (NGO) ได้พยายามทำการกู้กับระเบิดที่ยังฝังอยู่ใต้ดินในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก แต่ก็ยังคงไม่สามารถกำจัดให้หมดสิ้นไปได้ เพราะเหตุว่างานในการกู้กับระเบิดเป็นงานที่ยาก เสี่ยงอันตรายและมีกับระเบิดจำนวนมากเหลือเกิน รูปที่ 1.3 เป็นภาพของการกู้กับระเบิดที่ฝังอยู่ใต้ดินในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกโดยองค์กรเอกชน (NGO) ในปัจจุบันนี้มีกับระเบิดที่ฝังอยู่ใต้ดินในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกประมาณ 100 ล้านลูก และมีผู้เหยียบกับระเบิดโดยบังเอิญประมาณ 24,000 คนต่อปี ดังนั้นถ้าจะให้ได้หมดโดยใช้คนหรือสัตว์อื่น ๆ เช่น วัว ไปเหยียบต้องใช้เวลาประมาณ 4,000 ปี (3)



รูปที่ 1.3 การกู้กับระเบิดที่ฝังอยู่ใต้ดินในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกโดยองค์กรเอกชน (NGO)  
(ที่มา [www.clearpathinternational.org](http://www.clearpathinternational.org) และ [www.cnn.com](http://www.cnn.com))

#### 1.4 พัฒนาการของระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย

จากปัญหาค้างกล่าวไว้ใน 1.1 - 1.3 นั้น ย่อมเป็นเครื่องแสดงว่าระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่มีอยู่นั้นยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบใหม่ ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าขึ้นมา การพัฒนาได้เริ่มขึ้นอย่างจริงจังหลังจากกรณีเครื่องบินของสายการบินแพนแอมถูกลอบวางระเบิดในปี พ.ศ. 2531 เนื่องจากระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่มีอยู่ในอดีตนั้นเป็นระบบที่อาศัยหลักการทางเคมี ทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และทางการถ่ายภาพด้วยรังสีเอ็กซ์ ซึ่งเป็นหลักการที่อาศัยการตรวจหาส่วนประกอบอื่น ๆ ของวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายเป็นหลัก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าไม่ได้ตรวจหาเนื้อของวัตถุระเบิดที่แท้จริง ดังนั้น จึงมีโอกาสเกิดความผิดพลาดค่อนข้างสูงหรือมีประสิทธิภาพในการตรวจพบค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการพัฒนาระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย แบบใหม่จึงเน้นไปที่การตรวจหาเนื้อวัตถุระเบิดจริง ๆ เทคโนโลยีที่เหมาะสมอันหนึ่งสำหรับการตรวจในลักษณะนี้ก็คือเทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ซึ่งมีข้อดีที่สำคัญคือไม่มีการทำลายสิ่งที่ถูกตรวจ (non-destructive) มีอำนาจทะลุทะลวงสูง (high penetrability) และไม่ขึ้นกับรูปร่างของสิ่งที่ถูกตรวจ คุณสมบัติดังกล่าวนี้เป็นที่ต้องการสำหรับระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย

อาจถือได้ว่าบริษัท Science Application International Corporation (SAIC) ซึ่งเป็นบริษัทในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นบริษัทแรกที่นำเสนอระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายแบบใหม่นี้ โดยใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ บริษัท SAIC ได้ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาต้นแบบและทดสอบการใช้งานของระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย ดังกล่าวในปี พ.ศ. 2523 ซึ่งสามารถทำงานได้ผลเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง การวิจัยของบริษัท SAIC ครั้งนั้นได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยและพัฒนาจากองค์การการบินพลเรือนของสหรัฐอเมริกา (The U.S. Federal Aviation Administration) เป็นจำนวนมหาศาล (4)

อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาอีกหลายประการเกี่ยวกับการตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายของบริษัท SAIC ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาระบบอื่น ๆ มาอย่างต่อเนื่อง การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ

1. เพื่อศึกษาถึงพัฒนาการและชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ในระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย

ผู้วิจัยมีความคาดหวังว่า หลังจากการวิจัยครั้งนี้จะทราบว่า ณ ปัจจุบันนี้มีเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบตรวจวัดถูกระเบิดและของผิดกฎหมายอะไรบ้าง ข้อดี-ข้อเสียของเทคโนโลยีเหล่านั้นคืออะไร นอกจากนี้ยังคาดว่าจะได้ทราบถึงขีดความสามารถของระบบตรวจวัดถูกระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์

เนื่องจากระบบตรวจวัดถูกระเบิดและของผิดกฎหมายที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ไม่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์และชนิดที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ ดังนั้น บทที่ 2 และบทที่ 3 จะกล่าวถึงรายละเอียดของเทคโนโลยีของระบบตรวจวัดถูกระเบิดทั้งสองชนิดนี้ โดยบทที่ 2 จะเป็นชนิดที่ไม่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ ส่วนบทที่ 3 จะเป็นชนิดที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ ส่วนที่เหลือของรายงานฉบับนี้จะประกอบด้วยบทที่ 4 และบทที่ 5 โดยบทที่ 4 จะกล่าวถึงการจำลองการทำงานของระบบตรวจวัดถูกระเบิดและของผิดกฎหมายโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และบทที่ 5 จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และสรุปผล

## บทที่ 2

### ระบบตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายที่ไม่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์

#### 2.1 ประเภทของระบบตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายที่ไม่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์

เราอาจแบ่งประเภทของระบบตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายชนิดที่ไม่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ได้ดังนี้

1. ประเภทตรวจหาโลหะ
2. ประเภทตรวจหาสารเคมี
3. ประเภทตรวจหากลิ่น
4. ประเภทตรวจโดยใช้รังสีเอ็กซ์
5. ประเภทตรวจโดยใช้คลื่นวิทยุ

ในหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของหลักการทำงาน ข้อดี - ข้อเสียและความเหมาะสมในการใช้งานของแต่ละประเภท

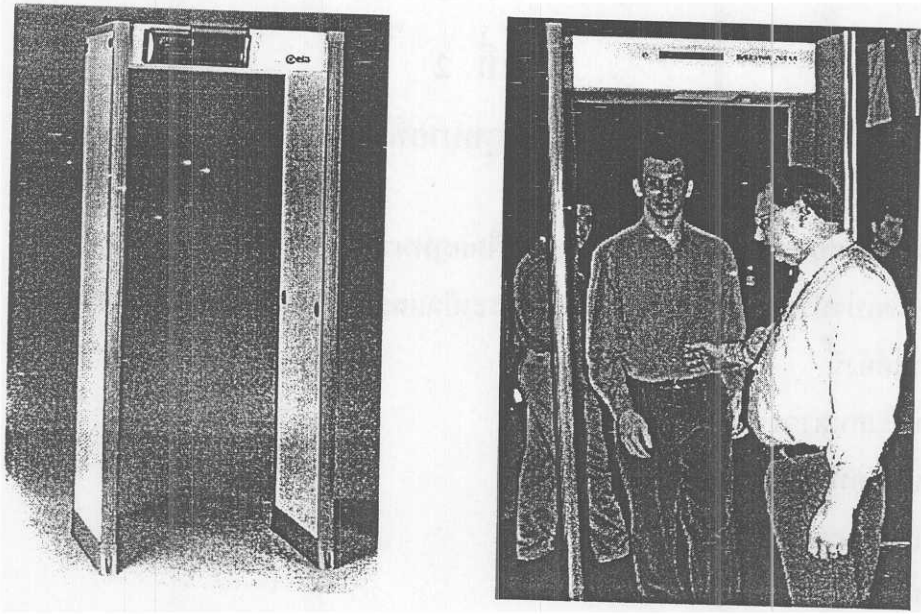
#### 2.2 หลักการทำงานของระบบตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายแต่ละประเภท

##### 2.2.1 ประเภทตรวจหาโลหะ

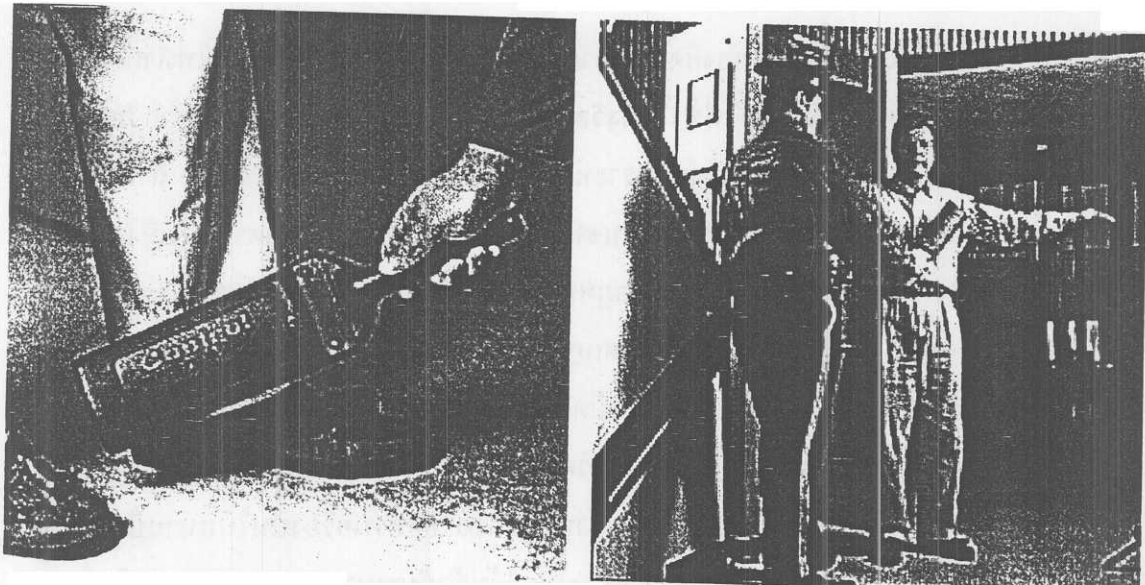
ระบบตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมาย ประเภทนี้จะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการตรวจ โดยทำการยิงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังวัสดุที่ต้องการตรวจ คลื่นที่สะท้อนจากวัสดุจะถูกตรวจจับโดยหัววัด (detector) แล้วทำการวิเคราะห์หาความยาวคลื่นของคลื่นสะท้อน ถ้าหากความยาวของคลื่นสะท้อนตรงกับค่าของคลื่นสะท้อนจากโลหะก็แสดงว่าวัสดุที่ถูกตรวจนั้นมีโลหะเป็นองค์ประกอบซึ่งอาจเป็นวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายก็ได้ เนื่องจากเครื่องประเภทนี้ตรวจหาโลหะซึ่งเป็นองค์ประกอบของวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายเท่านั้น จึงไม่ถือว่าเป็นเครื่องตรวจวัตถุระเบิดโดยตรง แต่เป็นเครื่องช่วยตรวจหาวัตถุระเบิด (Accessory to Explosive Detection)

เรามักจะใช้เครื่องประเภทนี้สำหรับตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมาย ณ ประตูทางเข้าสถานที่สำคัญต่าง ๆ เช่น ห้องประชุมและทางเข้าห้องพักรอโดยสารเครื่องบินในสนามบิน เป็นต้น เครื่องประเภทนี้นอกจากจะสามารถตรวจหาวัตถุระเบิดได้แล้วยังสามารถตรวจหาอาวุธชนิดอื่น ๆ เช่น ปืน มีด และของมีคมอื่น ๆ ได้อีกด้วย รูปที่ 2.1 เป็นภาพของเครื่องตรวจวัตถุระเบิดประเภทตรวจหาโลหะซึ่งนิยมใช้ ณ ทางเข้าสถานที่สำคัญต่าง ๆ รูปที่ 2.2 เป็นภาพของเครื่องตรวจหาวัตถุระเบิดประเภทตรวจหาโลหะชนิดมือถือ (hand held-metal detector)





รูปที่ 2.1 เครื่องตรวจวัตถุระเบิดประเภทตรวจหาโลหะซึ่งนิยมใช้ ณ ทางเข้าสถานที่สำคัญต่าง ๆ  
(ที่มา [www.academy.jccbi.gov](http://www.academy.jccbi.gov))



รูปที่ 2.2 เครื่องตรวจวัตถุระเบิดประเภทตรวจหาโลหะแบบมือถือ  
(ที่มา [www.controlscreening.com](http://www.controlscreening.com))

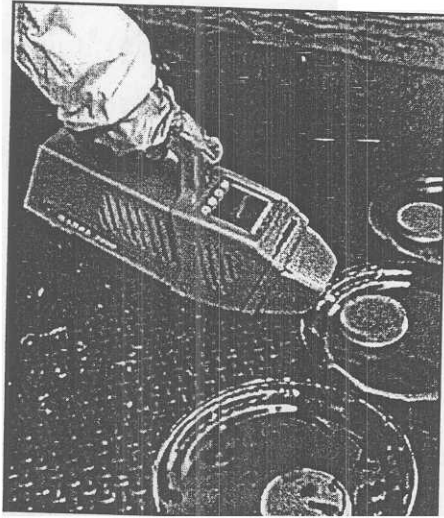
ข้อดีของเครื่องประเภทนี้คือมีราคาถูก (ประมาณ 2,000 - 20,000 เหรียญสหรัฐ) ไม่มีอันตรายในการใช้งานแต่ก็มีข้อเสียที่ไม่สามารถตรวจหาวัตถุระเบิดที่ไม่มีโลหะเป็นองค์ประกอบได้ ในปัจจุบันนี้ถือได้ว่าเทคโนโลยีของเครื่องประเภทนี้ได้รับการพัฒนาถึงจุดสูงสุดแล้วไม่อาจพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการตรวจได้สูงกว่านี้ (5)

### 2.2.2 ประเภทตรวจหาสารเคมี

เครื่องตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายประเภทนี้จะตรวจสารเคมีที่เป็นเนื้อของวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมาย โดยจะตรวจหาไอ (vapor) หรืออนุภาคขนาดเล็ก (microscopic particle) ซึ่งปลดปล่อยออกมาจากวัสดุที่ทำการตรวจสอบนั้น เนื่องจากไอหรืออนุภาคขนาดเล็กที่ปลดปล่อยออกมามีปริมาณต่ำมากจึงเป็นการยากที่จะตรวจพบและยากที่จะออกแบบให้เครื่องตรวจประเภทนี้มีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น วัตถุระเบิดที่ทำด้วยสารประกอบประเภท Ethylene Glycol Dinitrate (EGDN) ซึ่งถือเป็นวัตถุระเบิดที่มีปริมาณไอสูงสุดของดินระเบิดไดนาไมต์ (dynamite) จะมีความดันไอ (vapor pressure) เพียง 64 ppm (64 ส่วนในอากาศ  $10^6$  ส่วน) ในกรณีของดินระเบิด Trinitro Toluene (TNT) ค่าความดันไอยิ่งน้อยลงไปอีกหรือมีค่าเพียง 6 ppb (6 ส่วนในอากาศ  $10^9$  ส่วน) เท่านั้น สำหรับดินระเบิดประเภท Pentaery Tetranitrate (PETN) และ Cyclonite (RDX) ซึ่งเป็นวัตถุระเบิดที่มีอยู่ในวัตถุระเบิดชนิด Datasheet และ C-4 จะมีความดันไอเพียง 6 ppt (6 ส่วนในอากาศ  $10^{12}$  ส่วน) เท่านั้น (6) ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะออกแบบให้เครื่องตรวจวัตถุระเบิดประเภทนี้มีประสิทธิภาพในการตรวจเท่ากับเครื่องตรวจวัตถุระเบิดประเภทอื่น ๆ

เทคโนโลยีที่ใช้ในเครื่องตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายประเภทนี้มีหลายแบบ เช่น Electron-Capture Detector (ECD) , Chemiluminescence, Ion Mobility Spectrometry (IMS) และ Gas Chromatography/Surface Acoustic Wave (GC/SAW) เป็นต้น

เครื่องตรวจหาวัตถุระเบิดประเภทนี้จะสามารถตรวจหาวัตถุระเบิดได้หลายชนิด เช่น EGDN, NG, AN, TNT, RDX และ PETN เป็นต้น ข้อดีของเครื่องประเภทนี้คือมีขนาดเล็ก เคลื่อนที่ได้ และมีราคาไม่สูงนักประมาณ 20,000 - 150,000 เหรียญสหรัฐ (6) แต่มีข้อเสียที่บางครั้งต้องทำการเปิดภาชนะหรือกล่องที่บรรจุสิ่งที่ต้องการตรวจ เพื่อให้สามารถตรวจหาไอของสารที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุระเบิดในภาชนะนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายประเภทตรวจหาสารเคมีนี้เหมาะสำหรับใช้ตรวจบุคคลเพราะไม่เป็นอันตรายต่อผู้ถูกตรวจ และในปัจจุบันนี้มีขายในท้องตลาดทั่วไปอยู่หลายแบบด้วยกันเช่น Model 85 Entry Scan Portal, SecureScan Portal, Federal Aviation Administration/Sandia National Laboratories Portal และ ORION Walk-Through เป็นต้น รูปที่ 2.3 เป็นภาพของเครื่องตรวจประเภทตรวจหาสารเคมีซึ่งมีทั้งแบบเคลื่อนที่ได้ และแบบที่ใช้ตรวจคนที่ผ่านเข้าสถานที่สำคัญ



รูปที่ 2.3 เครื่องตรวจระเบิดประเภทตรวจสอบเคมี (ก) แบบเคลื่อนที่ได้ และ (ข) แบบประจำที่ซึ่ง  
 เหมาะในการตรวจคนผ่านเข้า-ออกบริเวณที่สำคัญ (ที่มา [www.bombdetection.com](http://www.bombdetection.com)  
 และ [www.mne.psu.edu](http://www.mne.psu.edu))

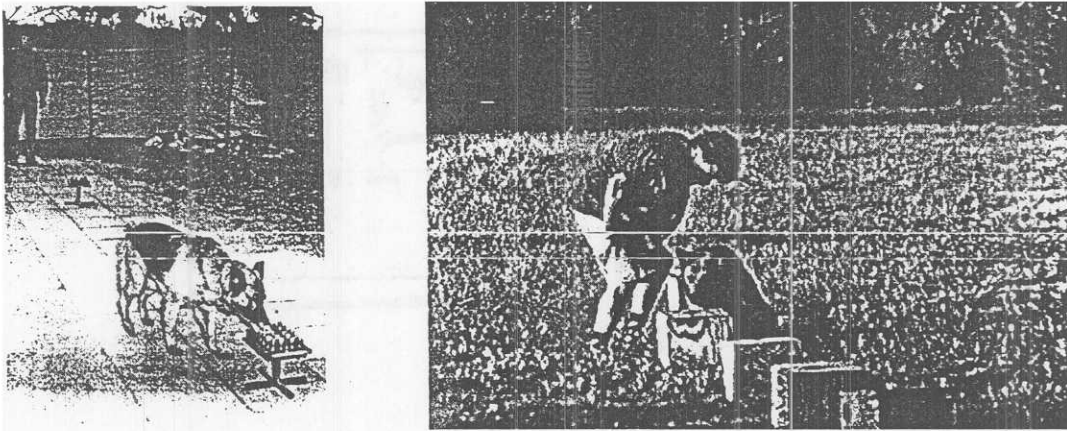
### 2.2.3 ประเภทตรวจหากลิ้น

สุนัขดมกลิ่นจัดเป็นเทคโนโลยีในเครื่องตรวจวัตถุระเบิดและยาเสพติดประเภทหนึ่งซึ่งสามารถตรวจหาวัตถุระเบิดที่ซุกซ่อนอยู่ตามสถานที่ต่าง ๆ ได้โดยการดมกลิ่น สุนัขดมกลิ่นเป็นที่นิยมใช้ในหน่วยงานของรัฐที่รับผิดชอบทางด้านความมั่นคง เช่น หน่วยงานของทหารตำรวจและหน่วยรักษาความปลอดภัย เป็นต้น กระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาเป็นหน่วยที่ใช้สุนัขดมกลิ่นมากที่สุดและเคยใช้ในสงครามต่างๆ ตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่ 1 โดยใช้ในการค้นหา地雷และลาดตระเวน ในปัจจุบันนี้กระทรวงกลาโหมสหรัฐมีสุนัขดมกลิ่นประจำการอยู่ตามที่ตั้งต่างๆ ทั่วโลกประมาณ 13,000 ตัวและมากกว่า 500 ตัวที่สามารถตรวจวัตถุระเบิดได้ (7)

โดยหลักการแล้วถือว่าสุนัขดมกลิ่นสามารถตรวจหาวัตถุระเบิดและยาเสพติดได้ทุกชนิดถ้าได้รับการฝึก และเป็นประเภทการตรวจหาวัตถุระเบิดและยาเสพติดที่ซุกซ่อนตามสถานที่ต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดดีกว่าระบบตรวจวัดที่มนุษย์สร้างขึ้นทุกชนิด ข้อดีของสุนัขดมกลิ่นคือมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ เพราะสุนัขสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกจุดที่ผู้ควบคุมสามารถไปได้ แม้แต่จุดที่เป็นอันตราย เช่น สนามกบระเบิด (mine field) และสามารถสะกดรอยหาตำแหน่งซุกซ่อนของวัตถุระเบิดและยาเสพติดได้ ข้อเสียของสุนัขดมกลิ่นคือไม่สามารถปฏิบัติงานได้เป็นเวลานานโดยต่อเนื่อง โดยปกติจะปฏิบัติงานไม่เกิน 40-60 นาที ต้องหยุดพักดังนั้นจึงไม่เหมาะกับปฏิบัติการที่ใช้เวลานาน ๆ ข้อเสียอีกอย่างคือไม่สามารถบอกชนิดของวัตถุระเบิดหรือยาเสพติดที่ตรวจพบได้

นอกจากนี้การใช้สุนัขดมกลิ่นยังมีข้อจำกัดในการตรวจหาวัตถุระเบิดและยาเสพติดที่ซุกซ่อนในคน เพราะอาจเป็นอันตรายต่อคนหรือทำให้คนตกใจกลัว

ค่าใช้จ่ายในการใช้สุนัขดมกลิ่น ถือได้ว่าไม่สูงโดยประกอบด้วย ค่าจัดหาสุนัข ค่าฝึกค่าอาหารและค่ารักษาพยาบาล ซึ่งตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา จะมีค่าจัดหาสุนัขอยู่ระหว่าง 5,000-10,000 เหรียญสหรัฐ ค่าฝึกสุนัขอยู่ระหว่าง 6,000-12,000 เหรียญสหรัฐ ค่าอาหารประมาณ 1,000 เหรียญสหรัฐต่อปีและค่ารักษาพยาบาล 600 เหรียญสหรัฐต่อปี (7) รูปที่ 2.4 เป็นภาพของสุนัขที่กำลังได้รับการฝึกให้ดมกลิ่น

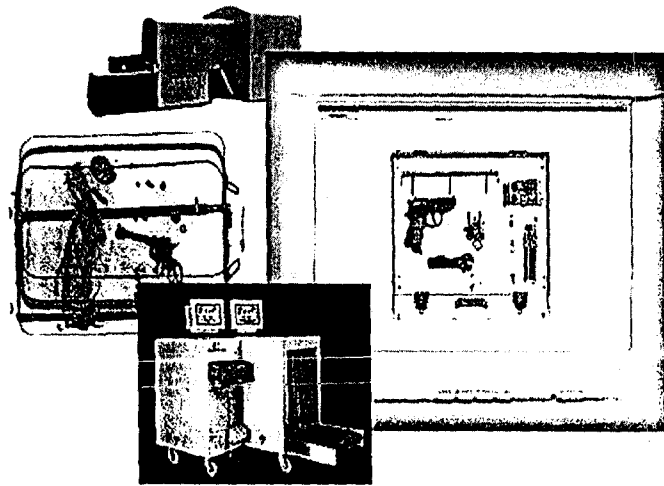


รูปที่ 2.4 การฝึกสุนัขดมกลิ่นของวัตถุระเบิดและยาเสพติด (ที่มา [www.hdic.jmu.edu](http://www.hdic.jmu.edu) และ [www.kernel101.com](http://www.kernel101.com))

#### 2.2.4 ประเภทตรวจโดยใช้รังสีเอกซ์

เทคโนโลยีในการตรวจวัตถุระเบิดโดยใช้รังสีเอกซ์นั้นเป็นเทคโนโลยีที่ทำการตรวจวัสดุทั้งก่อนเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์บางอย่างที่เป็นสมบัติของวัสดุนั้น ทั้งนี้เพื่อที่จะวินิจฉัยว่ามีวัตถุระเบิดอยู่ในวัสดุที่ทำการตรวจหรือไม่ การตรวจกระทำโดยการฉายรังสีเอกซ์กราดไปยังวัสดุที่ต้องสงสัยนั้น แล้วทำการวัดปริมาณรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านหรือสะท้อนกลับ จากปริมาณรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านหรือสะท้อนกลับจะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของวัสดุที่ถูกตรวจได้ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (absorption coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนกลับ (backscatter coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่าน (transmission coefficient) เป็นต้น จากค่าเหล่านี้จะสามารถคำนวณหาค่าที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของสารที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุที่ถูกตรวจ เช่น มวลความหนาแน่น ปริมาณของไนโตรเจน และค่าเลขอะตอมยังผล (effective atomic number) เป็นต้น ค่าเหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในการแปลงเป็นภาพถ่ายของวัสดุที่ถูกตรวจซึ่งสามารถแสดงรูปร่างพร้อม

สีสนับสนุนจอคอมพิวเตอร์ให้ผู้ควบคุมทำการวินิจฉัยได้ รูปที่ 2.5 เป็นภาพของเครื่องตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายประเภทที่ใช้รังสีเอ็กซ์ซึ่งสามารถแสดงลักษณะภาพให้ปรากฏในจอคอมพิวเตอร์ ถ้าผู้ควบคุมได้รับการฝึกอบรมในด้านการอ่านภาพจะสามารถวินิจฉัยได้ว่าวัสดุที่ถูกตรวจนั้นมีวัตถุระเบิดหรืออาวุธหรือไม่ เทคโนโลยีที่ใช้ในเครื่องตรวจวัตถุระเบิดประเภทนี้มีหลายแบบ เช่น Transmission/Dual-Energy X-Ray, Backscatter X-Ray และ Computed Tomography เป็นต้น หัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของหลักการทำงาน ข้อดี-ข้อเสีย ของแต่ละแบบ



รูปที่ 2.5 เครื่องตรวจวัตถุระเบิดและยาเสพติดประเภทที่ใช้รังสีเอ็กซ์ซึ่งสามารถแสดงลักษณะภาพให้ปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์

### 1) Transmission / Dual-Energy X-Ray

การใช้รังสีเอ็กซ์พลังงานเดียวเพื่อถ่ายภาพวัสดุในแนวเส้นตรงที่รังสีเดินทางผ่านนั้นจะได้ภาพของวัตถุชนิดเดียวไม่ว่าวัสดุที่ถูกถ่ายภาพนั้นจะประกอบด้วยวัตถุชนิดเดียวหรือหลายชนิด ดังนั้นเครื่องตรวจวัตถุระเบิดที่ใช้รังสีเอ็กซ์พลังงานเดียวจึงไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของวัตถุ 2 ชนิดได้ แต่ถ้าใช้รังสีเอ็กซ์ 2 พลังงาน (dual-energy-x-ray) จะทำให้ได้ภาพที่สามารถแยกวัตถุ 2 ชนิด ออกจากกันได้ ทั้งนี้เพราะค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนรังสีของวัตถุ ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีเอ็กซ์

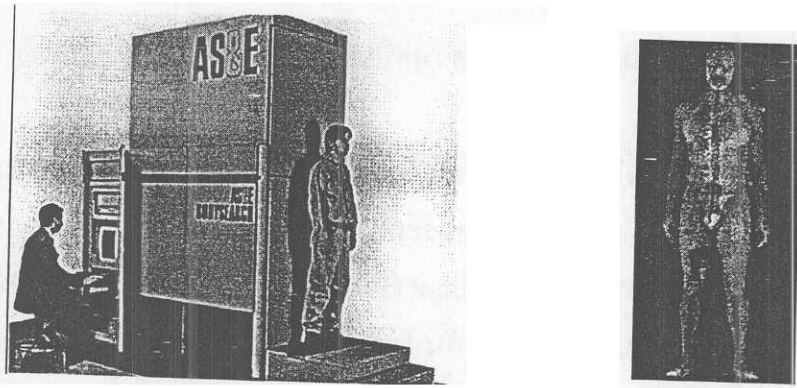
อย่างไรก็ตามการอาศัยรังสีเอ็กซ์ที่มี 2 พลังงานอย่างเดียวยังไม่คำนึงถึงทิศทางการฉายรังสีเอ็กซ์ทั้งสองนั้นก็จะไม่สามารถแยกวัตถุระเบิดออกจากวัสดุชนิดอื่น ๆ ได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะว่าวัตถุระเบิดส่วนใหญ่ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำ (low atomic number) ซึ่งไม่ค่อยทำอันตรกิริยากับรังสีเอ็กซ์ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆที่วัดได้จะไม่ค่อยถูกต้อง ซึ่งจะส่งผลให้การคำนวณค่าเลข

อะตอมยังผลของวัสดุที่ถูกตรวจสอบไม่ค่อยตรงตามความเป็นจริง และจะได้ภาพ (image) ที่ไม่สะท้อนความเป็นจริง

วิธีหนึ่งที่จะสามารถแก้ปัญหาได้คือต้องทำให้เครื่องตรวจวัดถูกระเบิดสามารถวัดความหนาของวัสดุที่ถูกตรวจสอบ แต่โชคไม่ดีที่เครื่องตรวจวัดถูกระเบิดที่ใช้เทคโนโลยีชนิดนี้ไม่สามารถวัดความหนาของวัสดุได้ ดังนั้นวิธีดังกล่าวจึงไม่อาจแก้ปัญหาได้ วิธีการที่แก้ไขปัญหานี้คือต้องทำรังสีเอ็กซ์ 2 พลังงานนั้นอยู่ในแนวแกน 2 แกนที่ต่างกัน โดยแต่ละแกนทำมุม 90 องศาต่อกัน วิธีนี้จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเลขอะตอมยังผลของวัสดุที่ทำการตรวจสอบ มีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงซึ่งทำให้สามารถวินิจฉัยได้ถูกต้องมากขึ้น (8) อย่างไรก็ตามหลักการวินิจฉัยของเครื่องตรวจวัดถูกระเบิดชนิดนี้ยังไม่แม่นยำเพราะไม่ได้วินิจฉัยว่ามีวัตถุระเบิดหรือไม่แต่จะวินิจฉัยว่ามีวัตถุที่มีลักษณะคล้ายวัตถุระเบิดหรือเปล่าเท่านั้นเอง

## 2) Backscatter X-Ray

เครื่องตรวจวัดถูกระเบิดชนิดนี้จะใช้เทคโนโลยีการสร้างภาพถ่ายโดยอาศัยสัญญาณจากการสะท้อนกลับของรังสีเอ็กซ์ (backscatter x-ray) ร่วมกับสัญญาณการทะลุผ่าน (transmission-x-ray) ในลักษณะนี้จะได้ภาพของวัสดุที่ถูกตรวจสอบจากสัญญาณทั้งสองชนิดที่มีลักษณะแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณทั้งสองทำอันตรกิริยากับวัตถุแตกต่างกัน โดยภาพที่ได้จากสัญญาณการสะท้อนกลับของรังสีเอ็กซ์จะมีสีที่สว่างจ้ามมากกว่าภาพที่ได้จากสัญญาณการทะลุผ่าน เนื่องจากรังสีเอ็กซ์จะสะท้อนกลับได้ดีเมื่อตกกระทบกับวัสดุที่ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำๆ และบังเอิญวัตถุระเบิดก็ประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำๆ ดังนั้นภาพที่เกิดจากสัญญาณการสะท้อนกลับของรังสีเอ็กซ์ก็คือภาพที่เกิดจากรังสีเอ็กซ์กระทบกับวัตถุที่น่าจะเป็นวัตถุระเบิดนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบลักษณะภาพที่เกิดจากสัญญาณการทะลุผ่านกับภาพที่เกิดจากสัญญาณการสะท้อนกลับจะทำให้สามารถวินิจฉัย ได้ว่าวัสดุที่ถูกตรวจนั้น เป็นวัตถุระเบิดหรือไม่ รูปที่ 2.6 เป็นภาพที่เกิดจากเครื่องตรวจวัดถูกระเบิดและยาเสพติดที่ใช้เทคโนโลยี Backscatter x-ray ซึ่งสามารถใช้ตรวจหาวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายที่ซุกซ่อนภายใต้ร่มผ้าของคน (9)(10) อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีวัสดุอื่น ๆ ที่มีเลขอะตอมสูง วางอยู่ด้านหลังของวัตถุระเบิดอย่างหนาแน่นก็จะเกิดปัญหาในการวินิจฉัยอยู่ดี ทั้งนี้เพราะว่าภาพที่ได้จากสัญญาณการสะท้อนกลับไม่มีความแตกต่างจากภาพของสัญญาณการทะลุผ่าน ดังนั้นจึงต้องแก้ไขโดยการใช้ชุดถ่ายภาพ 2 ชุด วางอยู่ในแนวตรงกันข้าม ในลักษณะเช่นนี้ ภาพถ่ายที่ได้จากสัญญาณการสะท้อนกลับจะแสดงให้เห็นความแตกต่างกับภาพที่ได้จากสัญญาณการทะลุผ่านซึ่งทำให้สามารถวินิจฉัยได้อย่างถูกต้องมากขึ้น



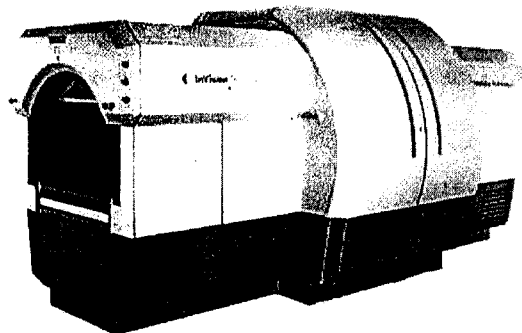
รูปที่ 2.6 ภาพที่เกิดจากการใช้เครื่องตรวจวัตถุระเบิดประเภทที่ใช้เทคโนโลยีของ Backscatter x-ray ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นว่ามีการซุกซ่อนอาวุธและของผิดกฎหมายได้ร่มผ้า (ที่มา [www.as-e.com](http://www.as-e.com))

### 3) Computed Tomography (CT)

CT เป็นเทคโนโลยีของการถ่ายภาพสองมิติของวัสดุที่ถูกตรวจสอบโดยอาศัยรังสีเอ็กซ์ที่ทะลุผ่าน ภาพที่ได้จะเป็นภาพของหน้าตัด (cross section) ของวัสดุที่ถูกตรวจสอบในแนวทางเดินของรังสีเอ็กซ์ เมื่อทำการถ่ายภาพของหน้าตัดต่าง ๆ ที่อยู่ติดกันจำนวนมาก ๆ แล้วใช้คอมพิวเตอร์ทำการรวมภาพสองมิติของแต่ละหน้าตัดที่อยู่ติดกันเข้าด้วยกันจะกลายเป็นภาพสามมิติของวัสดุที่ถูกตรวจสอบ เทคโนโลยีดังกล่าวจะขจัดปัญหาในการวินิจฉัยถึงความแตกต่างของวัสดุที่ต้องสงสัยจากวัสดุอื่นๆ ที่อยู่รอบๆ ทั้งนี้เพราะภาพที่ได้เกิดจากการแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนรังสีของวัตถุในแต่ละหน้าตัดของวัสดุที่ถูกตรวจสอบซึ่งจะสะท้อนความเป็นจริงมากขึ้น (11)(12)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าวัตถุระเบิดส่วนใหญ่จะประกอบด้วยธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำๆ ดังนั้นแม้เครื่องตรวจวัตถุระเบิดชนิดนี้จะสามารถวัดเลขอะตอมยังผลของวัสดุที่ถูกตรวจสอบได้ตรงความเป็นจริงและถ้าตรวจพบว่าวัสดุที่ต้องสงสัยมีเลขอะตอมต่ำก็ไม่ได้หมายความว่าวัสดุนั้นจะเป็นวัตถุระเบิดเสมอไป ทั้งนี้เพราะสิ่งของอื่นๆ ที่ปะปนอยู่ก็อาจประกอบด้วยวัตถุที่มีเลขอะตอมต่ำเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องใช้ข้อมูลอื่นๆ เพื่อประกอบการวินิจฉัยให้แม่นยำขึ้น เช่น ข้อมูลความหนาแน่น เป็นต้น

นับเป็นความโชคดีที่วัตถุระเบิดจะมีความหนาแน่นแตกต่างจากสิ่งของอื่นๆ ดังได้กล่าวมาแล้วและเครื่องตรวจวัตถุระเบิดชนิดนี้ สามารถวัดความหนาแน่นของวัสดุที่ถูกตรวจสอบได้ ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูล 2 อย่างนี้ประกอบการวินิจฉัยซึ่งทำให้สามารถวินิจฉัยได้อย่างถูกต้อง ข้อดีของเครื่องตรวจวัตถุระเบิดชนิดที่ใช้เทคโนโลยี CT นี้ นอกจากจะสามารถวินิจฉัยได้อย่างถูกต้องแล้วยังสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติแต่มีข้อเสียคือ ราคาสูง ระดับรังสีเอ็กซ์ที่ใช้สูงและใช้เวลาในการตรวจนาน รูปที่ 2.7 แสดงภาพของเครื่องตรวจระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยี CT



รูปที่ 2.7 เครื่องตรวจวัดฐานะเบ็ดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยี CT ที่ผลิตโดยบริษัท Invision Technologies ประเทศสหรัฐอเมริกา

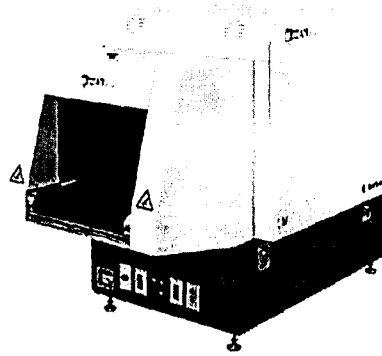
### 2.2.5 ประเภทตรวจโดยใช้คลื่นวิทยุ

เครื่องตรวจวัดฐานะเบ็ดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยีประเภทนี้จะอาศัยหลักการของ Quadrupole Resonance (QR) ซึ่งจะมีหลักการทำงานโดยอาศัยสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของนิวเคลียสของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุระเบิดหรือยาเสพติด เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุองค์ประกอบหลักของวัตถุระเบิดและยาเสพติด ดังนั้นเครื่องตรวจวัดฐานะเบ็ดและของผิดกฎหมายประเภทนี้จะอาศัยสมบัติทางแม่เหล็กไฟฟ้าของนิวเคลียสของไนโตรเจน ( $N-14$ ) เป็นดัชนีในการวินิจฉัย

เนื่องจากนิวเคลียสที่ไม่เป็นทรงกลมทุกชนิดจะมีโมเมนต์ชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า “electric quadrupole moment” โดยโมเมนต์ดังกล่าวจะทำอันตรกริยากับค่าเกรเดียนต์ของสนามไฟฟ้า (electric field gradient) ที่เกิดจากสิ่งอื่น ๆ ที่อยู่รอบ ๆ นิวเคลียสทำให้นิวเคลียสดังกล่าวเกิดการหมุนควง (precess) ไปรอบ ๆ สนามไฟฟ้านั้น การหมุนควงนี้จะทำให้เกิดโมเมนต์แม่เหล็ก (magnetic moment) ซึ่งหมุนควงไปพร้อม ๆ กับนิวเคลียสด้วยความถี่ที่เท่ากัน ความถี่ดังกล่าวจะเป็นค่าเฉพาะค่าหนึ่ง ซึ่งแสดงถึงสมบัติของนิวเคลียสแต่ละชนิด เมื่อทำการกระตุ้นนิวเคลียสดังกล่าวโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ (radio frequency) จะทำให้นิวเคลียสนั้นอยู่ในภาวะถูกกระตุ้นหรือไม่สมดุลและเมื่อนิวเคลียสเหล่านี้กลับสู่ภาวะสมดุลจะปลดปล่อยอนุภาคโฟตอนที่มีความถี่เฉพาะค่าหนึ่งออกมา อนุภาคโฟตอนนี้จะแสดงสมบัติของนิวเคลียสที่ถูกกระตุ้นนั้น และเมื่อตรวจจับอนุภาคโฟตอนดังกล่าวแล้วทำการวิเคราะห์ก็จะสามารถวินิจฉัยได้ว่าวัสดุที่ถูกตรวจสอบนั้นคืออะไร



ในปี พ.ศ. 2536 ห้องปฏิบัติการของกองทัพเรือสหรัฐฯ ได้สร้างต้นแบบ (prototype) ของเครื่องตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายชนิดนี้ขึ้นมา (13) ซึ่งสามารถตรวจวัดระเบิดได้ทุกชนิดรวมทั้งระเบิดพลาสติก และบริษัท Quantum Magnetics (San Diego, CA) ได้ทำสัญญากับกองทัพเรือสหรัฐฯ เพื่อสร้างเครื่องตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายชนิดดังกล่าว ในปี พ.ศ. 2537 เพื่อใช้ในทางพาณิชย์ ซึ่งมีรูปถ่ายดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เครื่องตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายประเภทที่ใช้เทคโนโลยี QR จาก บริษัท Quantum Magnetics (San Diego, CA) ซึ่งมีขนาดกะทัดรัดสามารถใช้ตรวจกระเป๋าเดินทางของผู้โดยสารเครื่องบินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

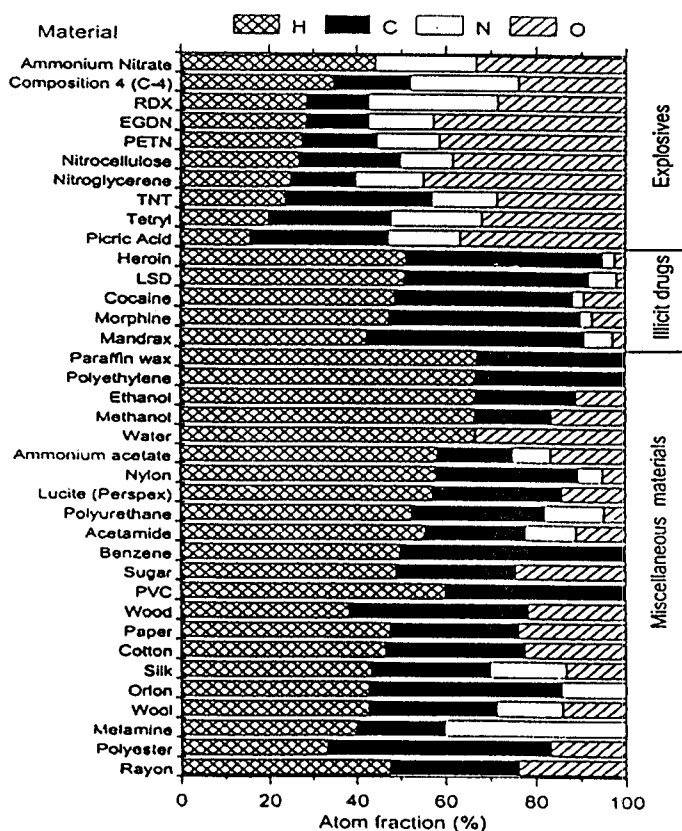
### บทที่ 3

## ระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์

### 3.1 ลักษณะทั่วไปของวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย

ก่อนที่จะกล่าวถึงระบบการตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์นั้น มีความจำเป็นที่จะต้องอธิบายถึงลักษณะทั่วไปของวัดระเบิดและของผิดกฎหมายเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเข้าใจในหลักการทำงานของระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์แต่ละประเภทได้ดียิ่งขึ้น คำว่าของผิดกฎหมายที่ปรากฏในบทนี้นั้นในที่นี้จะหมายถึงยาเสพติดเท่านั้น

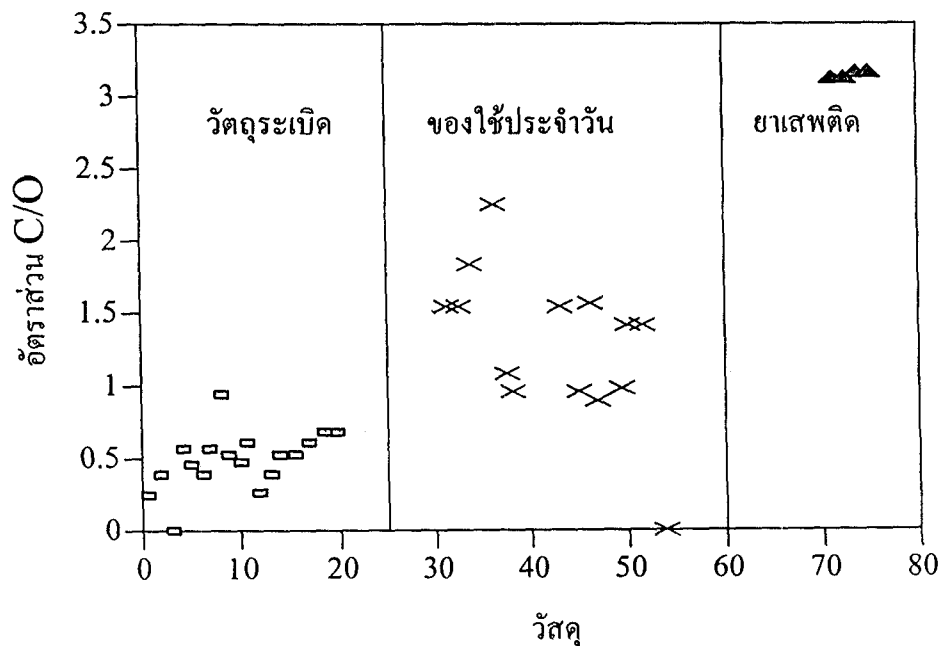
สำหรับวัดระเบิดที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้ไม่ว่าจะใช้ในทางทหารหรือทางพาณิชย์ล้วนแต่ประกอบด้วยธาตุหลัก ๆ 4 ธาตุคือ ไฮโดรเจน (H) คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) และออกซิเจน (O) ความหนาแน่นของธาตุเหล่านี้ในวัดระเบิดและยาเสพติดจะแตกต่างจากที่มีอยู่ในสิ่งของเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่ใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน



รูปที่ 3.1 กราฟแท่งที่แสดงถึงสัดส่วน (%) ของ H, C, N และ O ที่มีอยู่ในระเบิด ยาเสพติดและสิ่งของเครื่องใช้ประจำวัน

รูปที่ 3.1 เป็นกราฟแท่งที่แสดงถึงสัดส่วน (%) ของค่าความหนาแน่นของธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุระเบิด ยาเสพติดและสิ่งของ-เครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน (14) จะสังเกตเห็นว่าส่วนใหญ่วัตถุระเบิดจะมีค่าความหนาแน่นของ N และ O สูงเมื่อเทียบกับของใช้ประจำวัน แต่ค่าความหนาแน่นของ H และ C ในวัตถุระเบิดจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าในของใช้ต่าง ๆ ในกรณีของยาเสพติดนั้นค่าความหนาแน่นของ N และ O จะต่ำกว่าค่าในวัตถุระเบิดแต่ใกล้เคียงกับค่าในของใช้ประจำวันและค่าความหนาแน่นของ C จะสูงเมื่อเทียบกับค่าอื่น

จากข้อมูลความหนาแน่นของธาตุในวัสดุเหล่านี้จะเห็นว่าค่าอัตราส่วน C/O ของวัตถุระเบิด ยาเสพติดและของใช้ประจำวันจะแตกต่างกัน รูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราส่วน C/O ของวัสดุดังกล่าวซึ่งเห็นได้ชัดว่ามีความแตกต่างกัน ค่าอัตราส่วน C/O ของยาเสพติดจะอยู่ระหว่าง 3.0 - 3.5 ในขณะที่ค่าอัตราส่วน C/O ของวัตถุระเบิดและสิ่งของอื่น ๆ จะอยู่ระหว่าง 0.0 - 1.0 และ 1.0 - 2.5 ตามลำดับ ของข้อมูลของค่าอัตราส่วน C/O ในวัสดุเหล่านี้จะเป็นอีกข้อมูลหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์วัตถุระเบิดและยาเสพติดได้เป็นอย่างดี



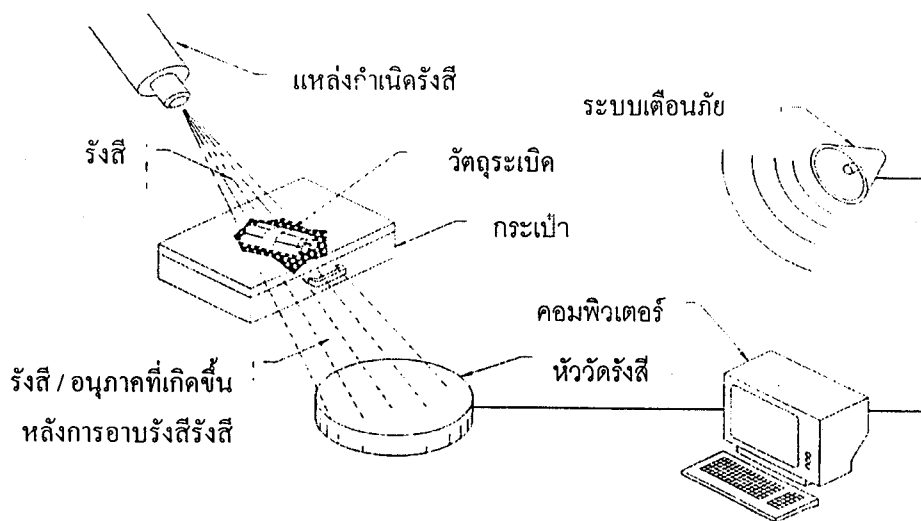
รูปที่ 3.2 ค่าอัตราส่วน C/O ของวัตถุระเบิด ยาเสพติด และของใช้ประจำวันซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีค่าแตกต่างกัน

### 3.2 ประเภทของเทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ที่ใช้ในการตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย

ถ้าหากยึดเอาชนิดของรังสีหรืออนุภาคที่ใช้เป็นสื่อในการตรวจเป็นเกณฑ์เราอาจจัดประเภทของเทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ที่ใช้ในการตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย ได้ดังนี้

- 1) ประเภทตรวจโดยใช้รังสีแกมมา
- 2) ประเภทตรวจโดยใช้อนุภาคนิวตรอน

หลักการการทำงานของระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายทั้งสองประเภทนี้จะคล้ายกัน ซึ่งอาจแสดงถึงขั้นตอนการทำงาน ได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์

รังสีแกมมาหรืออนุภาคนิวตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกยิงกราด (scan) ไปยังวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ เช่น กระเป๋าเดินทาง หรือตู้บรรทุกสินค้า แล้วทำอันตรกิริยากับธาตุที่เป็นองค์ประกอบของวัตถุที่บรรจุอยู่ภายในนั้น ซึ่งจะทำให้เกิดรังสีหรืออนุภาคใหม่ขึ้นมา รังสีหรืออนุภาคที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะถูกตรวจจับโดยหัววัดรังสี (radiation detector) แล้วส่งสัญญาณที่วัดได้ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ ผลของการวิเคราะห์จะถูกส่งไปยังระบบแจ้งเตือน (alarm) เพื่อส่งสัญญาณเตือน ถ้าหากพบว่าสิ่งที่ทำการตรวจนั้นมีวัตถุระเบิดหรือยาเสพติดอยู่ด้วย

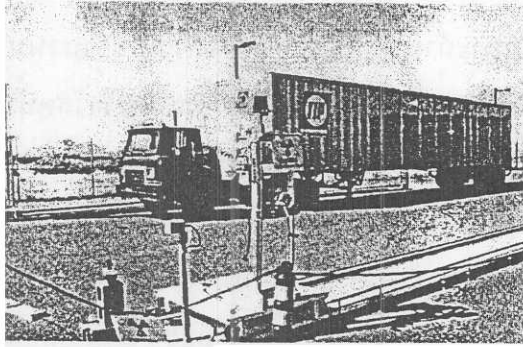
หัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงหลักการทํางาน ความเหมาะสมในการใช้งานและข้อดี - ข้อเสียของเครื่องตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์แต่ละประเภท

### 3.2.1 ประเภทตรวจโดยใช้รังสีแกมมา

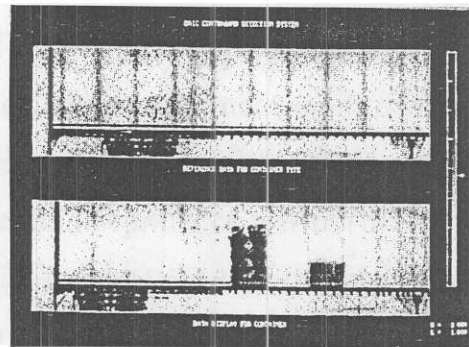
การใช้รังสีแกมมาเป็นสื่อในการตรวจวัตถุระเบิดและยาเสพติดนั้นอาศัยการสร้างภาพถ่ายโดยใช้รังสีแกมมา (gamma-ray radiography) ซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายกับการใช้รังสีเอ็กซ์ เมื่อรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดคราดไปยังวัตถุที่ต้องสงสัย รังสีเอ็กซ์จะทำอันตรกิริยากับองค์ประกอบของวัตถุนั้นแล้วบางส่วนจะทะลุผ่าน (transmitted) บางส่วนเกิดการกระเจิง (scattered) และบางส่วนจะสะท้อนกลับ (back-scattered) และเมื่อทำการวัดรังสีเหล่านี้ด้วยหัววัดรังสีชนิด โซเดียมไอโอไดน์ (NaI) จะสามารถนำสัญญาณจากหัววัดมาแปลงเป็นภาพในลักษณะเดียวกันกับภาพที่เกิดจากรังสีเอ็กซ์ ภาพเหล่านี้จะแสดงรูปร่างและสีสันทันที่ผู้ชำนาญสามารถวินิจฉัยได้ว่ามีอะไรบางอย่างอยู่ในวัตถุที่ทำการตรวจสอบนั้น

ในปัจจุบันนี้บริษัท SAIC (15) ได้มีการนำเทคโนโลยีของการสร้างภาพถ่ายด้วยรังสีแกมมามาใช้ในระบบการตรวจยานพาหนะที่ผ่านด่านศุลกากรของสหรัฐอเมริกาแล้ว มีชื่อเรียกว่า Vehicle and Cargo Container Inspection System (VACIS) ระบบ VACIS-I ซึ่งเป็นรุ่นที่ 1 ของระบบ VACIS สามารถใช้ตรวจรถบรรทุกน้ำมันหรือรถบรรทุกสินค้าโดยมีแหล่งผลิตรังสีแกมมาและชุดหัววัดเคลื่อนที่ไปบนรางพร้อม ๆ กันเพื่อยิงรังสีแกมมาไปยังรถบรรทุก ระบบนี้ใช้ Cs-137 เป็นแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา ซึ่งมีความแรง 1 คูรี และมีหัววัดรังสี NaI เป็นหัววัดรังสีแกมมาจำนวน 16 หัววัด โดยหัววัดทั้งหมดประกอบกันเป็นแถวในแนวตั้ง ทำหน้าที่ตรวจรังสีแกมมาที่มาจากตำแหน่งต่าง ๆ ของวัตถุที่ถูกตรวจสอบ สัญญาณที่วัดได้จะนำไปประมวลในคอมพิวเตอร์อย่างทันทีทันใด (on-line) แล้วแปลงเป็นภาพเพื่อแสดงบนจอคอมพิวเตอร์และเมื่อเปรียบเทียบภาพที่ได้กับภาพของสิ่งนั้นในขณะที่ยังไม่บรรจุสิ่งของใด ๆ (เช่น รถบรรทุกเปล่าที่ยังไม่บรรจุสินค้า) ซึ่งได้ทำการบันทึกภาพไว้ก่อนแล้ว จะสามารถวินิจฉัยได้ว่าสิ่งที่ทำการตรวจสอบนั้นบรรจุของผิดกฎหมายหรือไม่

รูปที่ 3.4 (ก) แสดงภาพของระบบตรวจวัตถุระเบิด VACIS-I ที่ติดตั้งอยู่ตามด่านศุลกากรของสหรัฐอเมริกา (ข) แสดงลักษณะภาพที่เกิดจากระบบ VACIS-I โดยภาพบนเป็นภาพของตู้บรรทุกเปล่า แต่ภาพล่างเป็นภาพขณะที่บรรทุกสินค้าต่าง ๆ แล้ว (รวมทั้งยาเสพติดชนิดโคเคน) จะสังเกตเห็นในภาพล่างว่ามียาเสพติดซุกซ่อนอยู่ในรถบรรทุกคันนั้น รูปที่ 15 แสดงภาพรถบรรทุกน้ำมันที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านระบบ VACIS-I เพื่อทำการตรวจสอบก่อนผ่านด่านศุลกากรของสหรัฐอเมริกา ขณะนี้ได้มีการพัฒนาระบบ VACIS-I ที่ติดตั้งบนรถยนต์ขนาดเล็ก (Van) ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปตรวจที่ใดก็ได้ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาระบบ VACIS-II สำหรับตรวจรถไฟ และ VACIS-III สำหรับตรวจรถยนต์แล้วด้วย (15) ข้อดีของระบบนี้คือสามารถตรวจวัตถุขนาดใหญ่ได้ มีระดับรังสีต่ำใช้พลังงานน้อยไม่ต้องมีระบบรักษาความเย็นไม่ต้องอุ่นเครื่องก่อนใช้ เคลื่อนที่ได้และมีราคาถูก



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) รถบรรทุกกำลังรอตรวจโดยระบบตรวจวัตถุระเบิดและยาเสพติด VACIS-I ก่อนผ่านด่านศุลกากรของสหรัฐอเมริกา

(ข) ลักษณะภาพที่ได้จากระบบ VACIS-I โดยภาพบนเป็นภาพตู้บรรทุกเปล่า (ยังไม่บรรทุกสิ่งของ) แต่ภาพล่างเป็นภาพตู้บรรทุกที่มียาเสพติดบรรจุอยู่

### 3.2.2 ประเภทตรวจโดยใช้อนุภาคนิวตรอน

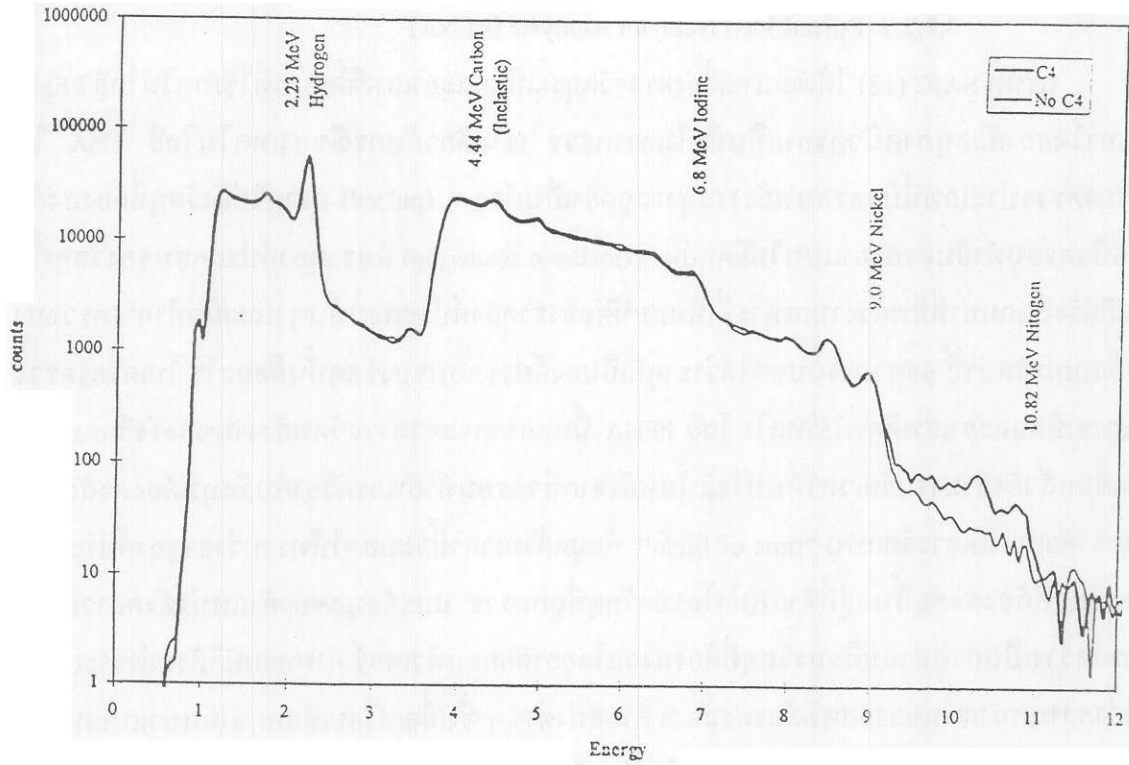
ระบบตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้นิวตรอนเป็นสื่อในการตรวจนั้นมีหลายแบบ T. Gozani ได้สรุปแบบของเทคโนโลยีที่ใช้อนุภาคนิวตรอนในการตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมาย ไว้ในตารางที่ 2 ของเรื่อง Inspection Techniques Based On Neutron Interrogation (16) ในตารางนี้จะอธิบายถึงชื่อของเทคโนโลยี ชนิดของนิวตรอนที่ใช้ อันตรกิริยาทางนิวเคลียร์ที่เกี่ยวข้อง รังสีหรืออนุภาคที่ใช้เป็นสื่อ แหล่งกำเนิดนิวตรอน ดัชนีชี้วัด และขีดความสามารถในการสร้างภาพสามมิติของเทคโนโลยีแต่ละแบบ ในที่นี้จะไม่ขอก้าวถึงรายละเอียดของทุกแบบแต่จะเลือกอธิบายเฉพาะ 3 แบบหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

#### 3.2.2.1 Thermal Neutron Analysis (TNA)

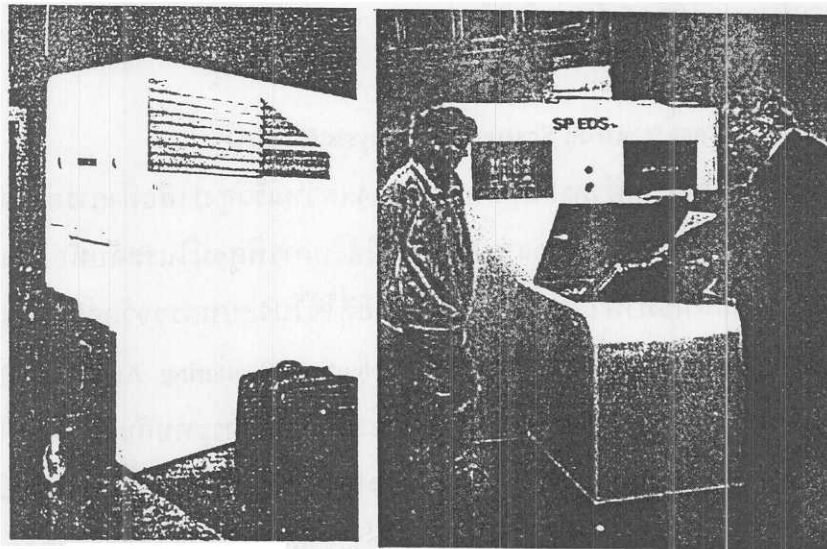
เนื่องจากอนุภาคนิวตรอนไม่มีประจุจึงไม่ค่อยทำอันตรกิริยากับวัตถุใดและสามารถทะลุทะลวงวัสดุต่างๆ ได้ดีกว่าอนุภาคอื่น ๆ ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจวัตถุระเบิดที่ซุกซ่อนอยู่ในกล่องขนาดใหญ่หรือกระเป๋าเดินทาง ในเครื่องตรวจวัตถุระเบิดและยาเสพติดแบบที่ใช้เทคโนโลยี TNA นี้อนุภาคนิวตรอนจะถูกยิงกราดไปยังวัสดุที่ต้องการตรวจสอบซึ่งถ้าเป็นวัตถุระเบิดหรือยาเสพติด จะมีไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อนิวตรอนถูกดูดกลืนโดยไนโตรเจนจะอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นและเมื่อกลับสู่สภาวะปกติจะปลดปล่อยรังสีแกมมา ซึ่งมีพลังงาน 10.8 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ (MeV) ออกมาพร้อม ๆ กับรังสีแกมมาที่เกิดจากราชาชนิด

อื่น ๆ เครื่องตรวจวัดรังสีจะทำการตรวจจับรังสีที่เกิดขึ้นและถ้าตรวจพบรังสีแกมมาชนิดนี้ ย่อมแสดงว่าวัสดุนั้นมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ และโดยเฉพาะถ้าพบรังสีแกมมาดังกล่าวเป็นจำนวนมาก ย่อมแสดงว่าวัสดุที่ถูกรวบรวมนั้น ประกอบด้วยไนโตรเจนเป็นจำนวนมากดังนั้นก็แสดงว่าวัสดุนั้นมีโอกาสสูงที่จะเป็นวัตถุระเบิดหรือยาเสพติด รูปที่ 3.5 แสดงภาพสเปกตรัมของรังสีแกมมาที่เกิดจากการตรวจกระเป๋าเดินทาง ตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยี TNA ซึ่งจะมีรังสีแกมมาชนิดที่มีพลังงาน 10.8 MeV อยู่ด้วย ดังนั้นย่อมแสดงว่าในกระเป๋าเดินทางมีวัสดุที่มี N เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังมีรังสีแกมมาที่เกิดจากการที่ธาตุอื่น ๆ (H, C, Cl, Al และ Fe) เมื่อถูกคลื่นอนุภาคนิวตรอนอีกด้วย

แต่ความเป็นจริงยังมีสิ่งของอื่นๆที่ใช้ในชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมากที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเช่นกัน เช่น เสื้อผ้าที่ทำด้วยขนสัตว์ ไนลอน และผ้าไหม เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะทำให้เกิดรังสีแกมมาชนิดเดียวกัน (10.8 MeV) เมื่อถูกคลื่นนิวตรอนจึงเป็นปัญหาหรือมีความยุ่งยากในการวินิจฉัย อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของไนโตรเจนในของใช้ประจำวันเหล่านี้มีค่าแตกต่างจากค่าในวัตถุระเบิดหรือยาเสพติดตั้งได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นเราจึงสามารถใช้ความหนาแน่นของไนโตรเจนเป็นเครื่องมือหรือดัชนีเพิ่มเติมในการวินิจฉัยที่ถูกต้องได้ บริษัท SAIC (17) ได้พัฒนาเครื่องตรวจวัตถุระเบิดชนิดนี้ขึ้นมาและทดลองใช้ตรวจกระเป๋าเดินทางในสนามบินของเมืองต่างๆในประเทศสหรัฐฯแล้ว โดยมีผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ อย่างไรก็ตามข้อเสียของเครื่องตรวจวัตถุระเบิดชนิดนี้คือ มีราคาแพง (900,000 เหรียญสหรัฐฯ) มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากเกินไป (~3,000 ปอนด์) รูปที่ 3.6 เป็นภาพของเครื่องตรวจกระเป๋าเดินทางที่ใช้เทคโนโลยี TNA เทคโนโลยีนี้นอกจากจะใช้ตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายแล้วยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจกับระเบิดที่อยู่ใต้ดินได้อีกด้วย



รูปที่ 3.5 สเปกตรัมของรังสีแกมมาที่เกิดจากระบบการตรวจกระเป๋าดินทางที่ใช้เทคโนโลยี TNA ซึ่งจะปรากฏรังสีแกมมาพลังงาน 10.8 MeV ในตอนท้ายของสเปกตรัม



รูปที่ 3.6 เครื่องตรวจกระเป๋าดินทางที่ใช้เทคโนโลยี TNA



### 3.2.2.2 Pulsed Fast Neutron Analysis (PFNA)

บริษัท SAIC (18) ได้พัฒนาเครื่องตรวจวัดระเบิดและยาเสพติดแบบที่ใช้เทคโนโลยี PFNA ขึ้นมาโดยอาศัยอนุภาคนิวตรอนเป็นสื่อในการตรวจ เช่นเดียวกับกรณีของเทคโนโลยี TNA ในเครื่องตรวจประเภทนี้ นิวตรอนพลังงานสูงจะถูกยิงเป็นห้วง ๆ (pulsed) กระจายไปยังวัสดุที่ต้องสงสัย เมื่อนิวตรอนทำอันตรกิริยาแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering) กับธาตุองค์ประกอบของวัสดุนั้น จะเกิดรังสีแกมมาที่มีพลังงานเฉพาะที่เป็นสมบัติของธาตุองค์ประกอบนั้นๆ และเมื่อทำการตรวจหา รังสีแกมมาเหล่านี้ จะสามารถบอกได้ว่าธาตุที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุนั้นคืออะไร ในเครื่องตรวจ วัดระเบิดและยาเสพติดที่ใช้เทคโนโลยี PFNA นี้ นอกจากจะสามารถวัดพลังงานของรังสีแกมมาที่เกิดขึ้นแล้วยังสามารถวัดเวลาที่พบรังสีนั้นหลังจากนิวตรอนทำอันตรกิริยากับวัสดุที่ต้องสงสัยแล้ว โดยอาศัยเทคนิคการวัดแบบ “time of flight” ข้อมูลด้านเวลานี้จะบอกให้ทราบว่าธาตุองค์ประกอบ ของวัสดุที่ต้องสงสัยนั้นอยู่ที่ตำแหน่งใดของวัสดุที่ถูกตรวจ และข้อมูลของตำแหน่งดังกล่าวจะถูก นำมาสร้างเป็นภาพสามมิติของวัสดุที่ต้องสงสัยโดยอาศัยคอมพิวเตอร์ ภาพสามมิติดังกล่าวจะแสดง ถึงค่าความหนาแน่นของวัสดุที่ต้องสงสัย ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นเหล่านี้ กับความหนาแน่นของวัสดุระเบิดที่มีอยู่ในปัจจุบันซึ่งมีอยู่ในฐานข้อมูลของคอมพิวเตอร์แล้วจะ สามารถวินิจฉัยอย่างอัตโนมัติ ว่าธาตุองค์ประกอบเหล่านั้น เป็นวัสดุระเบิดหรือไม่

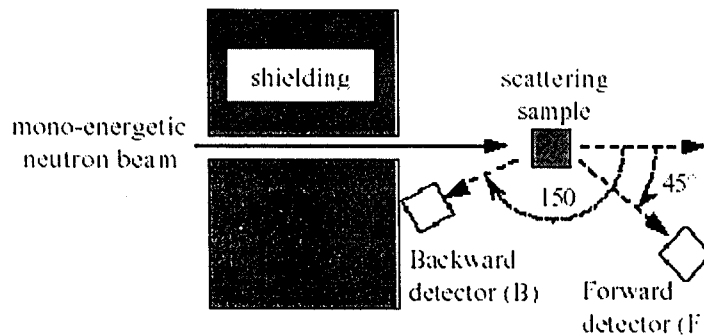
เครื่องตรวจวัดระเบิดชนิดนี้สามารถตรวจกระเป๋าเดินทางได้เร็วประมาณ 900-1,000 ใบต่อ ชั่วโมงและมีความแม่นยำกว่า 90 % อัตราความผิดพลาดเกือบเป็นศูนย์ (18) นอกจากนี้แล้ว บริษัท SAIC ยังได้ทำการพัฒนาระบบตรวจสินค้า (Cargo Inspection System, CIS) โดยใช้เทคโนโลยี PFNA ซึ่งสามารถตรวจรถบรรทุกได้ถึง 5 คันต่อชั่วโมง (19)

### 3.2.2.3 Fast Neutron Scattering Analysis (FNSA)

การใช้เทคนิคของอนุภาคนิวตรอนที่มีพลังงานสูง (ความเร็วสูง) เพื่อทำการตรวจวัดระเบิด และยาเสพติดในกระเป๋าเดินทางของผู้โดยสารเครื่องบินได้รับการพิสูจน์ในระดับห้องทดลองแล้วว่า สามารถใช้ได้ดีและมีประสิทธิภาพ (20)(21) เทคโนโลยีที่ใช้ในระบบตรวจวัดระเบิดและของผิด กฎหมายที่ใช้นิวตรอนพลังงานสูงนี้มีชื่อเรียกว่า “Fast Neutron Scattering Analysis (FNSA)” ซึ่ง อาศัยคุณลักษณะการกระเจิง (scattering) ของอนุภาคนิวตรอนเมื่อตกกระทบกับวัสดุที่ต้องสงสัยหรือ สารตัวอย่าง (sample) ลักษณะของการกระเจิงของอนุภาคนิวตรอนจะขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ องค์ประกอบ (element) ของสารตัวอย่าง โดยจะแตกต่างกันถ้าสารตัวอย่างมีองค์ประกอบที่ แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ลักษณะดังกล่าวเป็นดัชนีในการวิเคราะห์ว่าสารตัวอย่างนี้

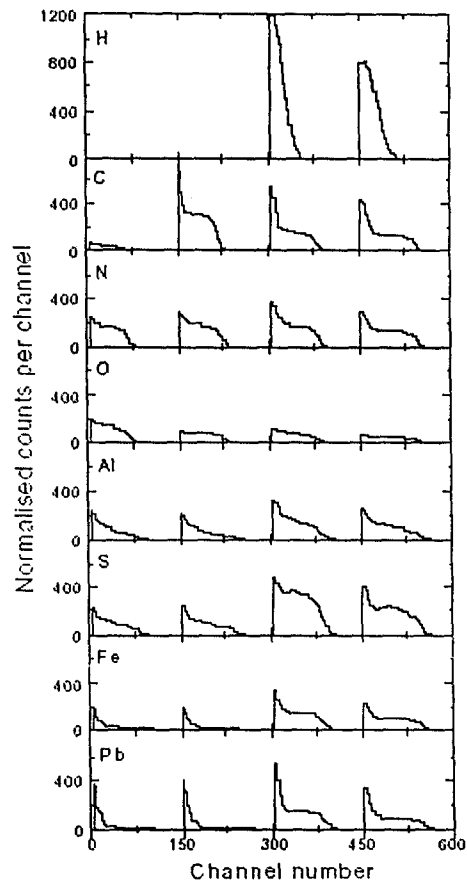
ประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง ปริมาณของธาตุดังกล่าวจะบอกให้ทราบว่าสารตัวอย่างนั้นใช้วัตถุระเบิดหรือยาเสพติดหรือไม่

Andy Buffler (14) ได้นำเสนอระบบตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคนิค FNSA และได้ทำการทดลองการทำงานของระบบดังกล่าวโดยมีองค์ประกอบของระบบดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ในการทดลองของระบบ FNSA ซึ่งประกอบด้วยลำของอนุภาคนิวตรอนพลังงานเดียว ถูกยิงกราดไปยังสารตัวอย่าง อนุภาคนิวตรอนที่กระเจิงหลังจากกระทบกับสารตัวอย่างจะถูกตรวจวัดในทิศทางที่ทำมุม  $45^\circ$  และ  $150^\circ$  กับแนวเดิม

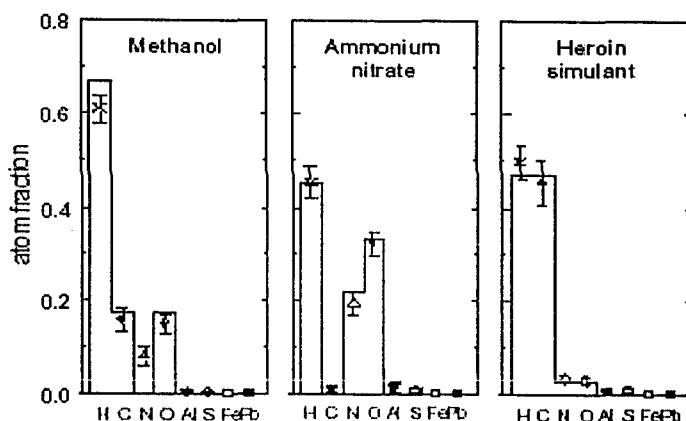
ในการทดลองในรูป 3.7 นั้น Buffler ได้ทำการวัดการกระเจิงของอนุภาคนิวตรอนใน 2 ทิศทางคือ  $45^\circ$  (forward scattering) และ  $150^\circ$  (backward scattering) โดยใช้นิวตรอนที่มีพลังงาน 2 ค่า คือ 6.8 และ 7.5 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ (MeV) ธาตุที่ใช้เป็นสารตัวอย่างในการทดลองมี 8 ธาตุด้วยกันคือ ไฮโดรเจน (H) คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) ออกซิเจน (O) อะลูมิเนียม (Al) ซัลเฟอร์ (S) เหล็ก (Fe) และตะกั่ว (Pb) ลักษณะของสัญญาณแบบ pulse height ที่เกิดจากการกระเจิงของอนุภาคนิวตรอนเมื่อตกกระทบสารตัวอย่างดังกล่าวมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.8 ในรูปนี้ 2 กราฟแรกเป็นการกระเจิงไปข้างหน้า (forward scattering) ด้วยค่าพลังงาน 6.8 และ 7.5 MeV ตามลำดับ 2 กราฟหลังเป็นการกระเจิงไปข้างหลัง (backward scattering) ด้วยพลังงานของอนุภาคนิวตรอนค่าเดียวกัน กราฟของ H เกิดจากการใช้น้ำ ( $H_2O$ ) เป็นสารตัวอย่าง แต่ได้หักค่าที่เกิดจาก O แล้วโดยค่าที่เกิดจาก O นั้นใช้ออกซิเจนเหลว (liquid oxygen) เป็นสารตัวอย่าง



รูปที่ 3.8 กราฟของ pulse height ที่เกิดขึ้นจากการกระเจิงของอนุภาคนิวตรอนเมื่อตกกระทบกับสารตัวอย่างที่เป็น H, C, N, O, Al, S, Fe และ Pb ทุกกราฟเกิดขึ้นจากจำนวนอนุภาคนิวตรอนและจำนวนอะตอม ( $100 N_A$ ) ของสารตัวอย่างที่เท่ากัน

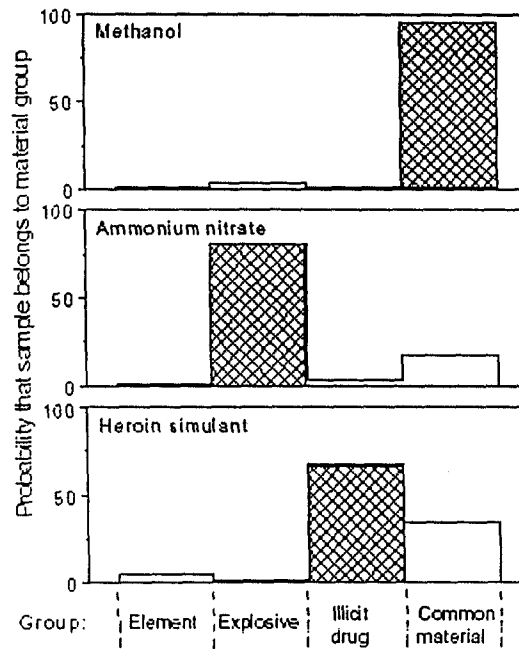
ลักษณะของกราฟที่เกิดจากสารประกอบ (มีหลายธาตุผสมกัน) นั้นสามารถสร้างขึ้นมาได้ โดยการรวมสัญญาณของธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่างเข้าด้วยกันโดยวิธี linear combination และเมื่อนำสารตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบมาทำการวัดการกระเจิงของอนุภาคนิวตรอนก็จะได้กราฟที่เป็นลักษณะเฉพาะของสารตัวอย่างดังกล่าว ถ้าทำการแยกกราฟรวมให้เป็นกราฟของแต่ละธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่าง (unfolding the scattering signature) ก็จะได้สัดส่วนของจำนวนอะตอม (atom fraction) ของสารตัวอย่างที่ทำการตรวจสอบ รูปที่ 3.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวัด (จุด) และค่าคาดหวัง (ฮิสโตแกรม) ของสัดส่วนจำนวนอะตอมของสารตัวอย่าง 3 ชนิดคือ เมทานอล (methanol) แอมโมเนียมไนเตรท (ammonium nitrate) และสารเฮโรอีน (heroin stimulant)

ที่นำมาทำการทดสอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าจากการวัดและค่าคาดหวัง (ซึ่งเป็นค่าจริง) มีความสอดคล้องกัน สารตัวอย่าง 3 ชนิดนี้คือตัวแทนของวัสดุ 3 ประเภทคือ วัสดุทั่วไป วัตถุระเบิด และยาเสพติด ความสอดคล้องดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเทคนิค FNSA สามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 3.9 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัด (จุด) และค่าคาดหวัง (สี่โตแกรม) ของสัดส่วนจำนวนอะตอมของสารตัวอย่าง 3 ชนิด เมธานอล แอมโมเนียไนเตรท และเฮโรอีน

ค่าสัดส่วนจำนวนอะตอมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค FNSA นี้สามารถนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อวินิจฉัยว่าสารตัวอย่างนั้นเป็นสารประกอบหรือธาตุชนิดใด (ธาตุบริสุทธิ์ วัตถุระเบิด ยาเสพติดหรือวัสดุทั่ว ๆ ไป) รูปที่ 3.10 แสดงค่าความน่าจะเป็น (Probability) หรือโอกาส ที่สารตัวอย่าง 3 ชนิดที่นำมาทดสอบนั้นจะเป็นอะไรในจำนวนสารประกอบ 4 ชนิดดังกล่าว ซึ่งปรากฏว่ามีโอกาสเป็นธาตุบริสุทธิ์ 1% วัตถุระเบิด 80% ยาเสพติด 2% และวัสดุทั่ว ๆ ไป 17% ค่าจากการคำนวณนี้แสดงให้เห็นว่าเทคนิค FNSA มีความแม่นยำและสามารถใช้ตรวจสอบสารตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.10 ค่าความน่าจะเป็น (Probability) หรือโอกาสที่สารตัวอย่าง 3 ชนิด (เมทานอล แอมโมเนียม-ไนเตรท และสารเฮโรอิน) ที่นำมาทดสอบโดยวิธี FNSA ว่าจะเป็ นสารประกอบชนิดใด และปรากฏว่ามีโอกาสเป็นธาตุบริสุทธิ์ 1% วัตถุระเบิด 80% ยาเสพติด 2% และวัสดุต่างๆ ไป 17%

## บทที่ 4

### การจำลองการทำงานของระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย

#### โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มอนติคาร์โล

##### 4.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์มอนติคาร์โล

โปรแกรมคอมพิวเตอร์มอนติคาร์โลที่ใช้ในการจำลองการทำงานของระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายในการวิจัยครั้งนี้คือโปรแกรม MCNP ซึ่งย่อมาจากคำว่า “Monte Carlo N-Particles” โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่านวัตถุซึ่งเริ่มต้นพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกที่ห้องทดลองแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกาที่เมืองลอส อลามอส (Los Alamos National Laboratory) ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องในการออกแบบระเบิดปรมาณูที่นำมาทิ้งที่ประเทศญี่ปุ่นในสงครามโลกครั้งนั้น

ในระยะแรก MCNP ใช้ได้กับเฉพาะอนุภาคนิวตรอนเท่านั้น แต่ต่อมาได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับอนุภาคอื่น ๆ ด้วย ดังนั้น อักษร N ในชื่อของโปรแกรมจึงหมายถึงอนุภาคอื่นอีกหลายอนุภาค ในการพัฒนาโปรแกรม MCNP นั้น นอกจากพัฒนาให้สามารถใช้ได้กับอนุภาคหลาย ๆ ชนิดแล้ว ยังพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย ถ้านับถึงปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนามาถึงรุ่น MCNP - 4C แล้วโดยมีผู้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาในโปรแกรมนี้มากกว่า 400 คน-ปี (man-year) (22)

วิธีการของโปรแกรม MCNP นี้จะแตกต่างจากวิธี “Deterministic Method” ซึ่งใช้วิธีแก้สมการ Integro-differential transport equation เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาค แต่ในวิธีของ MCNP นั้น จะไม่มีการแก้สมการการเคลื่อนที่แต่จะอาศัยหลักสถิติเพื่อทำการจำลองการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาคแล้วบันทึกค่าเฉลี่ยของพฤติกรรมบางอย่างของอนุภาคนั้นเอาไว้ ค่าเฉลี่ยของพฤติกรรมของอนุภาคในระบบกายภาพจริงจะสามารถหาได้จากค่าที่บันทึกไว้ในการจำลองนั่นเอง

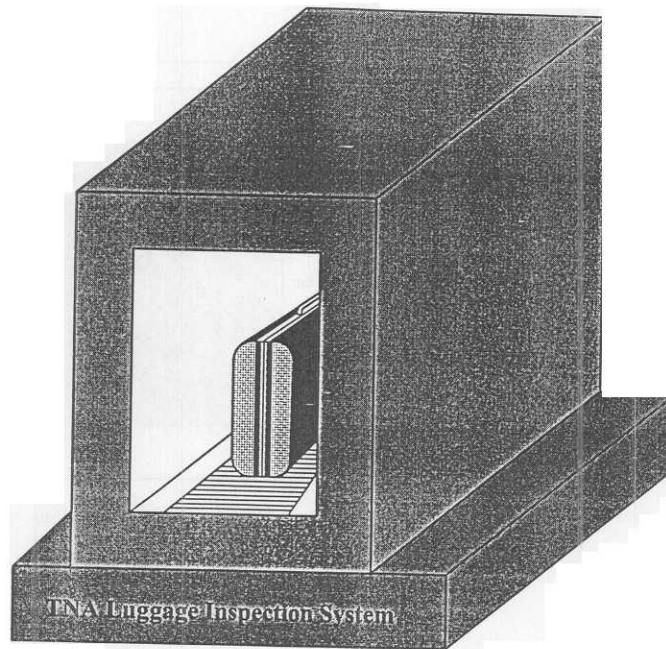
หลักในการจำลองของโปรแกรม MCNP นี้จะใช้หลักการ “สุ่มตัวอย่าง” (Random Sampling) ซึ่งคล้ายกับการสุ่มทิ้งไฟ หรือ การทอยลูกเต๋าในเกมสการพนันทั่ว ๆ ไป ดังนั้นจึงเป็นที่มาของชื่อโปรแกรมที่ว่า “Monte Carlo” ซึ่งเป็นชื่อของเมืองมอนติคาร์โลที่มีบ่อนการพนันอันเลื่องชื่อนั่นเอง

ในการใช้โปรแกรมนี้จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับ Cross Section ของอันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนและรังสีแกมมาที่วัตถุ เพื่อคำนวณหาโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยากับวัสดุชนิดต่าง ๆ ในขณะที่นิวตรอนและรังสีแกมมาเคลื่อนที่ผ่านวัสดุเหล่านั้น ข้อมูลเหล่านี้จะอยู่ในรูปของระบบฐานข้อมูลที่ได้มาจากการพัฒนาโดยนักวิจัยที่ห้องทดลองแห่งชาติลอส อลามอส ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “The Evaluated Nuclear Data File B-VI” หรือ ENDF/B-VI นั่นเอง

ในการวิจัยครั้งนี้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MCNP จะถูกใช้จำลองอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคนิวตรอนอุณหภาพ (พลังงาน 0.025 eV) เคลื่อนที่ผ่านธาตุองค์ประกอบของวัสดุที่นำมาทำการตรวจสอบ อนุภาคนิวตรอนดังกล่าว เมื่อถูกดูดกลืน (absorb) โดยธาตุองค์ประกอบของวัสดุที่นำมาตรวจสอบจะปลดปล่อยรังสีแกมมาชนิดหนึ่งออกมา รังสีแกมมานี้จะถูกตรวจจับด้วยหัววัดรังสีแกมมา จำนวนและพลังงานของรังสีแกมมาที่ตรวจจับได้ในหัววัดรังสีนี้จะถูกจำลองโดยโปรแกรม MCNP

#### 4.2 ระบบสำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม MCNP

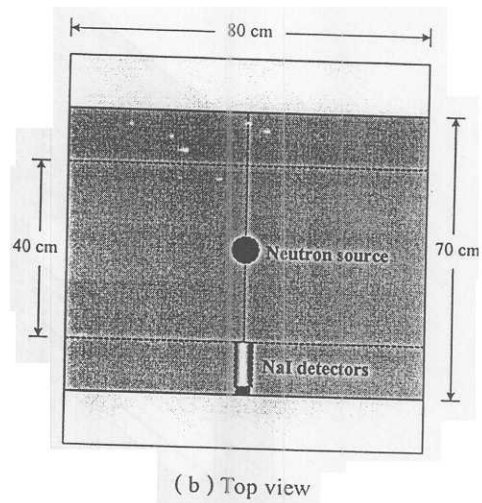
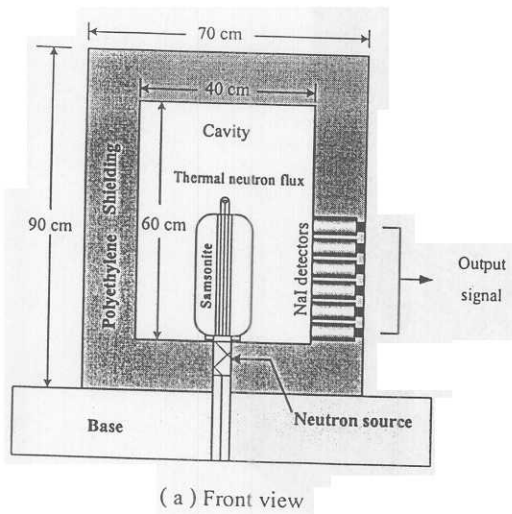
ในระบบการตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์นั้นนับว่า TNA เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกและเป็นเทคโนโลยีที่ตรงไปตรงมาไม่สลับซับซ้อน แต่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยี TNA จึงถูกนำมาเป็นระบบสำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม MCNP ในการวิจัยครั้งนี้ J. Bartko and F.H. Ruddy จาก Westinghouse Science & Technology Center (23) ได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจวัดระเบิดของเทคโนโลยี TNA ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ จนในเวลาต่อมาองค์การการบินพลเรือนของสหรัฐอเมริกา (Federal Aviation Administration) ได้สร้างเครื่องต้นแบบของเทคโนโลยี TNA ขึ้นมาและนำไปทดสอบในสถานการณ์จริง ณ สนามบินของเมืองชิคาโก และ ฟิลาเดลเฟีย แล้วพบว่าเทคโนโลยีนี้มีประสิทธิภาพในการวัด (detection rate) เกือบ 100% โดยมีอัตราความผิดพลาด (False Alarm Rate) ต่ำกว่า 5% การวิจัยในครั้งนี้จะเป็นการจำลองระบบการตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้ในการทดลองของ J. Bartko and F.H. Ruddy ข้อแตกต่างที่สำคัญในการจำลองครั้งนี้เมื่อเทียบกับการทดลองดังกล่าวคือการใช้การหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดน์แทนหัววัดรังสีชนิดพลาสติกซินติเลเตอร์ (Plastic Scintillator) ทั้งนี้เพราะเหตุว่าหัววัดโซเดียมไอโอไดน์มีประสิทธิภาพในการวัดสูงกว่า นอกจากนี้แหล่งกำเนิดรังสีนิวตรอนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ยังเป็นแบบที่ปลดปล่อยเฉพาะนิวตรอนอุณหภาพ ส่วนประกอบอื่น ๆ ของระบบทั้งสองนั้นมีลักษณะคล้ายกัน รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะและองค์ประกอบของระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้ในการจำลองในครั้งนี้



รูปที่ 4.1 ลักษณะและองค์ประกอบของระบบตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้ในการจำลองในการวิจัยในครั้งนี้ซึ่งเป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยี TNA

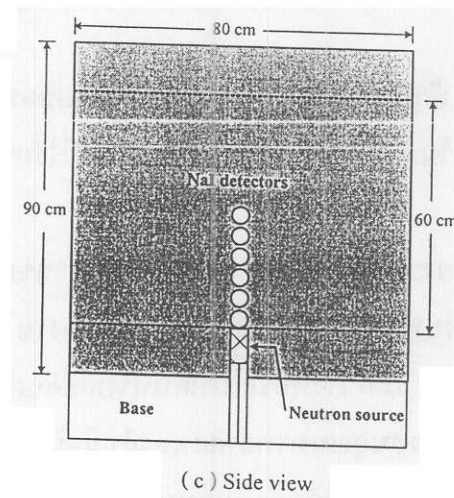
ระบบที่ใช้ในการจำลองการทำงานของเทคโนโลยี TNA ครั้งนี้คือระบบของเครื่องตรวจกระเป๋าเดินทางนั่นเอง ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานโดยเริ่มต้นที่กระเป๋าเดินทางจะเคลื่อนผ่านระบบไปบนสายพาน ระหว่างที่กระเป๋าเดินทางเคลื่อนผ่านระบบนั้นวัสดุที่อยู่ภายในกระเป๋าจะถูกอบด้วยอนุภาคนิวตรอนอุณหภูมิจากแหล่งกำเนิดนิวตรอน ( $^{252}\text{Cf}$ ) ที่วางอยู่ด้านล่างของอุโมงค์ (cavity) ได้สายพานแล้วทำให้เกิดรังสีแกมมาเมื่อธาตุองค์ประกอบของวัสดุภายในกระเป๋าเดินทางดูดกลืนอนุภาคนิวตรอน รังสีแกมมาที่เกิดขึ้นจะถูกตรวจจับโดยหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดน์ (NaI) ที่ฝังอยู่กับผนังของอุโมงค์ที่กระเป๋าเคลื่อนที่ผ่าน หัววัดรังสีแกมมาดังกล่าวมีจำนวน 6 หัวโดยจัดวางเรียงกันในแนวตั้ง จากปลายล่างสุดของผนังโดยมีระยะห่างระหว่างหัววัดเท่า ๆ กัน อุโมงค์ของระบบจะถูกห้อมล้อมไว้ด้วยวัสดุกำบังรังสี (shielding) ที่ทำด้วย โพลีเอทิลีน (polyethylene) ซึ่งมีขนาดดังแสดงในภาพที่ 4.2 (a) รูป 4.2 (b) แสดงรูปภาพตัดขวางของระบบตรวจกระเป๋าเดินทางเมื่อมองทางด้านบน ส่วนรูป 4.2 (c) นั้นแสดงรูปภาพตัดขวางเมื่อมองจากด้านข้าง





รูปที่ 4.2 ภาคตัดขวางของระบบตรวจกระเป๋าดินทาง

- (a) เมื่อมองจากทางด้านหน้า  
 (b) เมื่อมองจากด้านบน  
 (c) เมื่อมองทางในด้านข้าง



#### 4.3 องค์ประกอบของระบบตรวจกระเป๋าดินทางที่ใช้ในการจำลอง

ระบบตรวจกระเป๋าดินทางที่ใช้ในการจำลองในการวิจัยครั้งนี้มีองค์ประกอบดังนี้

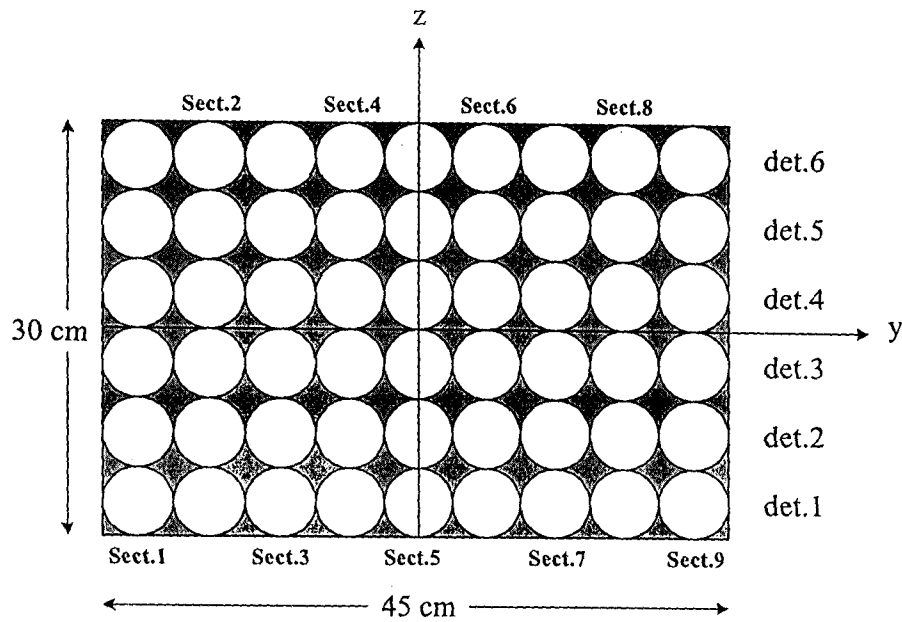
##### 4.3.1 แหล่งกำเนิดนิวตรอน

ในการทดลองของ J. Bartko and F.H. Ruddy นั้น เขาใช้  $^{252}\text{Cf}$  เป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอน ซึ่งปลดปล่อยนิวตรอนพลังงานสูง (14 MeV) ออกมา นิวตรอนเหล่านี้จะถูกลดพลังงานลงเมื่อชนกับโพลีเอทิลีน (polyethylene) ที่อยู่ล้อมรอบกระเป๋าดินทาง ทำให้กลายเป็นนิวตรอนอุณหภาพ (thermal neutron) ซึ่งมีพลังงาน 0.025 MeV ดังนั้น นอกจากโพลีเอทิลีนจะทำหน้าที่เป็นวัสดุกำบังรังสีแล้ว ยังเป็นวัสดุลดทอนพลังงาน (moderator) ของนิวตรอนด้วย แต่เพื่อความง่ายในการจำลองของการ

วิจัยครั้งนี้เรากำหนดให้แหล่งกำเนิดนิวตรอนผลิตเฉพาะนิวตรอนอุณหภูมิต่ำที่มีพลังงาน 0.025 MeV เท่านั้น โดยแหล่งกำเนิดรังสีนิวตรอนนี้มีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมแบนเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร วางอยู่ด้านล่างของอุโมงค์ใต้สายพานที่ใช้ลำเลียงกระเป๋าให้เคลื่อนผ่านอุโมงค์ แหล่งกำเนิดนิวตรอนนี้วางอยู่ในช่องเปิดที่ล้อมรอบด้วยวัสดุกำบังรังสีในตำแหน่งด้านล่าง ของอุโมงค์และทิศทางของนิวตรอนที่ปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดนิวตรอนนั้นไม่จำกัดว่าต้องพุ่งตรงออกมาในแนวแกนตั้ง (แกน z) หรือมีมุม 0 องศาเท่านั้น แต่นิวตรอนสามารถพุ่งไปได้ทุกทิศทาง (ยกเว้นด้านล่าง) หรือสามารถมีการกระจายของมุม (angular distribution) ตั้งแต่  $+90^\circ$  ถึง  $-90^\circ$  ในลักษณะเช่นนี้จะป็นหลักประกันได้ว่าทุก ๆ ส่วนของกระเป๋าเดินทางจะมีโอกาสที่จะถูกอาบด้วยนิวตรอน

#### 4.3.2 หัววัดรังสีแกมมา (Gamma-ray detector)

ในการวิจัยครั้งนี้เราใช้หัววัดรังสีแกมมาเป็นหัววัด โซเดียมไอโอดีน (Sodium Iodine, NaI) จำนวน 6 หัววัดวางอยู่ในแนวราบ โดยฝังอยู่ในโพลีเอทิลีน ที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุกำบังรังสีที่ด้านข้างของอุโมงค์ หัววัดเหล่านี้จะวางซ้อนกันในแนวตั้ง (แกน z) มีระยะห่างเท่า ๆ กันและอยู่ในแนวเดียวกับแหล่งกำเนิดนิวตรอน (มีค่า y เท่ากัน) โดยหัววัดที่ 1 อยู่ด้านล่างสุดหัววัดอื่น ๆ จะเรียงตัวซ้อนกันขึ้นไป เนื่องจากเส้นผ่าศูนย์กลางของหัววัดเหล่านี้คือ 5 เซนติเมตร และกระเป๋าที่ใช้ในการจำลองสูง 35 เซนติเมตร ดังนั้นหัววัดที่ 6 จะอยู่ในแนวเดียวกับขอบกระเป๋าด้านบนพอดี ในการทำงานจริงของระบบตรวจกระเป๋าเดินทางนั้นเพื่อให้สามารถทำการตรวจจุดต่างๆ ของกระเป๋าอย่างทั่วถึงจะต้องทำการเคลื่อนกระเป๋าผ่านแนวของแหล่งกำเนิดนิวตรอนและหัววัดซึ่งยึดอยู่กับที่ เนื่องจากความยาวของกระเป๋าเป็น 45 เซนติเมตรและเส้นผ่าศูนย์กลางของหัววัดเป็น 5 เซนติเมตร ดังนั้น เมื่อต้องการผลการวัดที่จะสามารถครอบคลุมตลอดความยาวของกระเป๋าพอดีจะต้องทำการเคลื่อนกระเป๋าไป 9 ครั้งโดยเลื่อนครั้งละ 5 เซนติเมตร รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่ง หัววัดรังสีแกมมา 9 ตำแหน่ง ซึ่งครอบคลุมหน้ากว้างของกระเป๋าได้พอดี



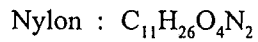
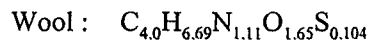
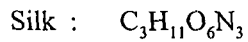
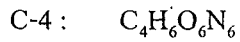
รูปที่ 4.3 ตำแหน่งของระบบหัววัดรังสีแกมมา 9 ตำแหน่ง ที่ครอบคลุมหน้ากว้างของกระเป๋าเดินทางพอดิ

#### 4.3.3 ระบบกำบังรังสี (Radiation Shielding System)

วัสดุที่ใช้เป็นระบบกำบังรังสีเพื่อป้องกันการรั่วไหลของรังสีคือ โพลีเอทิลีน ซึ่งสามารถทำหน้าที่ป้องกันการรั่วไหลของนิวตรอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังปรากฏในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าระบบกำบังรังสีมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่มีอุโมงค์อยู่ตรงกลาง เพื่อให้กระเป๋าเดินทางเคลื่อนที่ผ่านไบบนสายพาน ระบบกำบังรังสีมีความหนา 15 เซนติเมตรในแต่ละด้าน และอุโมงค์ตรงกลางมีความกว้าง 40 เซนติเมตร และสูง 60 เซนติเมตร ในบริเวณอุโมงค์นี้จะเต็มไปด้วยนิวตรอนอุณหภาพในขณะที่ระบบทำงาน

#### 4.4 การบรรจุวัสดุชนิดต่าง ๆ ในกระเป๋าเดินทางเพื่อการจำลอง

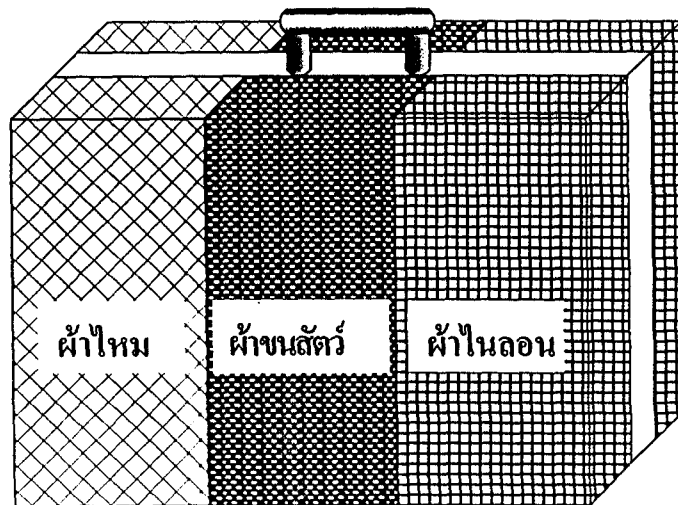
ในการวิจัยครั้งนี้เราต้องการศึกษาขีดความสามารถของเทคโนโลยี TNA ในการตรวจวัดถูระเบิดและของผิดกฎหมายในด้านต่าง ๆ จึงบรรจุวัสดุหลาย ๆ ชนิด ซึ่งล้วนแล้วแต่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบในกระเป๋าเดินทาง นอกจากจะบรรจุวัตถุระเบิด (C-4) แล้วยังบรรจุของใช้ประจำวันลงไปด้วย เช่น ผ้าไหม (silk) ผ้าขนสัตว์ (wool) และ ไนลอน (nylon) เป็นต้น สูตรโครงสร้างทางเคมีของวัสดุเหล่านี้คือ (24)



เป็นที่น่าสังเกตว่าสัดส่วนจำนวนอะตอมในสูตร โครงสร้างของสารประกอบของผ้าขนสัตว์ไม่เป็นเลขจำนวนเต็มการบรรจุวัสดุเหล่านี้ในกระเป๋าจะมีทั้งกรณีที่บรรจุอย่างเดี่ยวและหลาย ๆ อย่างพร้อมกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.4.1 กรณีที่บรรจุเฉพาะของใช้ประจำวัน

ของใช้ประจำวันที่บรรจุในกระเป๋าคือเดินทางคือ ผ้าไหม ผ้าขนสัตว์และไนลอน โดยผ้าไหมอยู่ด้านซ้ายของกระเป๋า ผ้าขนสัตว์อยู่ตรงกลางและไนลอนอยู่ทางด้านขวามือ วัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้จะครอบคลุมปริมาตรของกระเป๋าเท่า ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 4.4



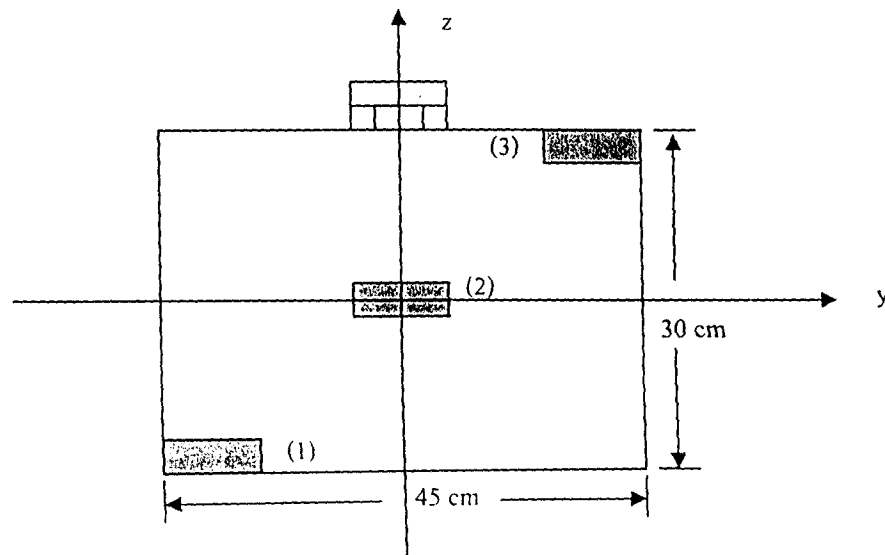
รูปที่ 4.4 กระเป๋าเดินทาง ที่บรรจุผ้าไหม ผ้าขนสัตว์ และไนลอนในปริมาตรที่เท่า ๆ กัน โดยมีผ้าไหมอยู่ด้านซ้าย ผ้าขนสัตว์อยู่ตรงกลางและไนลอนอยู่ทางด้านขวามือ

#### 4.4.2 กรณีที่บรรจุเฉพาะวัตถุระเบิด

วัตถุระเบิดที่บรรจุในกระเป๋าคือ C-4 ซึ่งมี 3 ขนาด (ใหญ่ กลาง เล็ก) ด้วยกัน โดยมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมที่มีหน้าตัด ความยาวและตำแหน่งที่วางในกระเป๋าดังนี้

ขนาด	หน้าตัด (cm <sup>2</sup> )	ความยาว (cm)	น้ำหนัก (g)	ตำแหน่ง
ใหญ่	10 x 15	15	4117.5	ล่างซ้าย
กลาง	3 x 5	8	219.6	ล่างซ้าย/กลาง/ขวาบน
เล็ก	2.5 x 2.5	2.5	15.6	กลาง

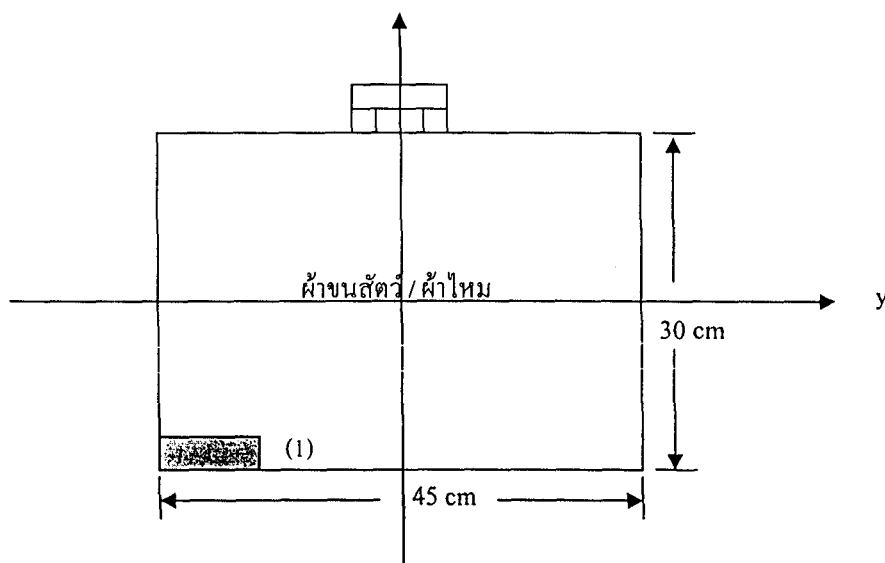
โปรดสังเกตว่าการวาง C-4 ขนาดใดขนาดหนึ่งนั้นไม่ได้วางครบทุกตำแหน่ง ยกเว้นขนาดกลางซึ่งวางครบแต่วางที่ละตำแหน่ง น้ำหนักของ C-4 หาได้จากการใช้ค่าความหนาแน่นของ C-4 เท่ากับ 1.83 g/cm<sup>3</sup> รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งการวางวัตถุระเบิดในกระเป๋าเดินทาง โดยตำแหน่งที่ (1) คือขอบล่างซ้าย (2) คือกึ่งกลาง และ (3) คือขอบขวาบน ของกระเป๋าเดินทาง



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งการวางวัตถุระเบิดในกระเป๋าเดินทางโดยวางกระเป๋าเดินทางซึ่งแสดงตำแหน่งของการวางวัตถุระเบิด 3 ตำแหน่งที่ (1) ขอบล่างซ้าย (2) กึ่งกลาง (3) ขอบขวาบน ของกระเป๋าเดินทาง

#### 4.4.3 กรณีที่บรรจุทั้งวัตถุระเบิดและของใช้ประจำวัน

เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าฟลักซ์ของรังสีแกมมาที่จำลองได้ในหัววัดรังสีแกมมาจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ ถ้าบรรจุทั้งสิ่งของอื่น ๆ ประปนไปกับวัตถุระเบิด เราจึงบรรจุผ้าไหมและผ้าขนสัตว์ปะปนไว้กับ C-4 จึงเป็นเสมือนหนึ่งว่ามีการชุกซ่อนวัตถุระเบิดไว้ภายใต้วัสดุเหล่านี้ โดยให้ C-4 อยู่ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋า และมีผ้าขนสัตว์หรือผ้าไหมล้อมรอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กระเป๋าเดินทางที่บรรจุผ้าไหมหรือผ้าขนสัตว์ไว้ล้อมรอบ C-4 ขนาดใหญ่หรือขนาดกลางซึ่งอยู่ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋า

#### 4.5 ข้อมูลป้อนเข้าสำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม MCNP

ในการวิจัยครั้งนี้มีกรณีของการจำลองด้วยโปรแกรม MCNP เป็นจำนวนมากจึงไม่สามารถแสดงข้อมูลป้อนเข้า (input data) สำหรับการจำลองได้ทุกกรณี แต่ได้แสดงตัวอย่างของข้อมูลดังกล่าวให้ดูเพียง 1 ตัวอย่างซึ่งเป็นข้อมูลป้อนเข้าของกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียวไว้ที่ตำแหน่งขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทางดังแสดงในตารางที่ 4.1 ในความเป็นจริงในกระเป๋าเดินทางไม่ได้มีเฉพาะวัตถุระเบิด C-4 เท่านั้นแต่มีอากาศซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ล้อมรอบวัตถุระเบิดด้วย

ตาราง 4.1 ข้อมูลป้อนเข้า (input data) สำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม MCNP ในกรณีที่บรรจุ  
เฉพาะ C-4 ขนาด ใหญ่ไว้ที่ตำแหน่งขบด่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง

```

Explosive on left buttom D#1.1
1 1 -1.83 1 -2 3 -4 5 -6 imp:n,p=1 $ C-4
2 2 -0.0013 50 -51 52 -53 54 -55 #1 imp:n,p=1 $ Bag (Air)
3 2 -0.0013 101 -102 104 -105 107 -108 #1 #2 #11
   imp:n,p=1 $ Air
4 3 -1.19 106 -109 100 -103 104 -105
   #1 #2 #3
   #5 #6 #7 #8 #9 #10 #11 imp:n,p=1
5 4 -3.670 108 -109 -200 imp:n,p=1 $ detector
6 4 -3.670 108 -109 -201 imp:n,p=1 $ "
7 4 -3.670 108 -109 -202 imp:n,p=1 $ "
8 4 -3.670 108 -109 -203 imp:n,p=1 $ "
9 4 -3.670 108 -109 -204 imp:n,p=1 $ "
10 4 -3.670 108 -109 -205 imp:n,p=1 $ "
11 2 -0.0013 -235 245 -250 imp:n,p=1 $Source
12 0 -300 (-104:103:105:-100:-106:109)
   #5 #6 #7 #8 #9 #10 imp:n,p=1
13 0 300 imp:n,p=0

c C-4
1 pz -25
2 pz -10
3 py -2.5
4 py 12.5
5 px -5
6 px 5
c Bag
50 pz -25
51 pz 5
52 py -2.5
53 py 40
54 px -5
55 px 5
c Shielding
100 pz -45
101 pz -30
102 pz 30
103 pz 45
104 py -40
105 py 40
106 px -35
107 px -20
108 px 20
109 px 35

```

c Detector

200 c/x 0 -22.5 2.49

201 c/x 0 -17.5 2.49

202 c/x 0 -12.5 2.49

203 c/x 0 -7.5 2.49

204 c/x 0 -2.5 2.49

205 c/x 0 2.5 2.49

c Source Housing

235 pz -25

245 pz -33.3

250 cz 1.3

c Sphere

300 so 100

mode n p

c MATERIAL SPECIFICATION

m1 8016 6 6012 4 7014 6 1001 6 \$ C-4

c m1 7014 1

m2 8016 -0.000301 7014 -0.000976 \$air

c m2 082207 -1 \$Lead

m3 1001 -2.97 6012 -17.79 5010 -9.93 \$Borated Polyethylenc

m4 11023 0.4995 53127 0.4995 \$ NaI detector 81000 0.001

c SOURCE SPECIFICATION

sdef sur=101 pos= 0 0 -25.05 rad= d1 dir=1 erg 2.5e-8 par=1

si1 1.3

c TALLY SPECIFICATION

f4:p 5

f24:p 6

f34:p 7

f44:p 8

f54:p 9

f64:p 10

e0 0 .001 .1 1 9 180i 12

nps100000000



#### 4.6 ข้อมูลผลลัพธ์การจำลองด้วยโปรแกรม MCNP

เนื่องจากข้อมูลผลลัพธ์ (output data) จากการจำลองโดยโปรแกรม MCNP สำหรับการจำลองในแต่ละกรณีนั้นประกอบด้วยข้อมูลมากมาย ดังนั้นจึงไม่สามารถนำมาแสดงไว้ในรายงานนี้ได้เพียงแต่จะสรุปข้อมูลดังกล่าวในรูปของตารางเท่านั้น ตาราง 4.2 เป็นข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองในกรณีที่บรรจุผ้าไหม ผ้าขนสัตว์และผ้าในลอนไว้ในกระเป๋าเดินทาง ข้อมูลในตารางนี้คือค่าฟลักซ์ของรังสีแกมมาที่เกิดจากไนโตรเจนเมื่อถูกคลื่นนิวตรอนอุณหภูมิต่ำและตรวจจับได้ด้วยหัววัดรังสีแกมมาแต่ละหัววัด (หัววัดที่ 1 - 6) เมื่อหัววัดเหล่านั้นวางอยู่ในตำแหน่งของตอน (section) ที่ 1 - 9 ของกระเป๋าเดินทาง ดังนั้นข้อมูลในคอลัมน์ที่ 2 ก็คือผลลัพธ์จากการจำลองเมื่อระบบหัววัดอยู่ในตำแหน่งของตอนที่ 2 และข้อมูลในคอลัมน์ที่ 3 - 9 ก็คือผลลัพธ์จากการจำลองเมื่อระบบหัววัดอยู่ในตำแหน่งของตอนที่ 3 - 9 ตามลำดับ ค่าฟลักซ์ของแต่ละหัววัดในคอลัมน์เหล่านี้คือค่าที่เกิดขึ้นต่อจำนวนอนุภาคนิวตรอนที่ใช้ในการจำลอง 1 อนุภาค โดยที่จำนวนอนุภาคนิวตรอนทั้งหมดที่ใช้ในการจำลองคือ 100 ล้านอนุภาค

รายการตารางข้างล่างนี้เป็นหมายเลขตารางของข้อมูลผลลัพธ์และรายการการบรรจุวัสดุในกระเป๋าเดินทางของแต่ละตาราง

ตารางหมายเลข	รายการการบรรจุวัสดุในกระเป๋าเดินทาง
4.2	บรรจุผ้าไหม ผ้าขนสัตว์และในลอนในกระเป๋าเดินทาง
4.3	บรรจุ C-4 ขนาดใหญ่ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง
4.4	บรรจุ C-4 ขนาดกลางไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง
4.5	บรรจุ C-4 ขนาดกลางไว้ที่กึ่งกลางของกระเป๋าเดินทาง
4.6	บรรจุ C-4 ขนาดกลางไว้ที่ขอบบนขวาของกระเป๋าเดินทาง
4.7	บรรจุ C-4 ขนาดเล็กไว้ที่กึ่งกลางของกระเป๋าเดินทาง
4.8	บรรจุ C-4 ขนาดใหญ่และผ้าไหมไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง
4.9	บรรจุ C-4 ขนาดกลางและผ้าขนสัตว์ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองในกรณีที่มีบรรจุผ้าใหม่ ผ้าม้วนตัวและผ้าในลอนในกระเป๋าดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	1.12E-08	1.52E-08	1.88E-08	1.78E-08	1.74E-08	1.75E-08	9.10E-09	8.25E-09	6.63E-09
5	1.52E-08	2.13E-08	2.15E-08	2.23E-08	2.29E-08	2.34E-08	1.28E-08	1.23E-08	8.81E-09
4	2.21E-08	2.73E-08	2.50E-08	2.84E-08	2.64E-08	3.12E-08	1.81E-08	1.52E-08	1.02E-08
3	2.84E-08	3.25E-08	3.27E-08	3.10E-08	3.10E-08	3.06E-08	2.04E-08	1.61E-08	1.04E-08
2	2.77E-08	3.48E-08	3.50E-08	3.86E-08	3.77E-08	3.72E-08	2.29E-08	1.92E-08	1.56E-08
1	3.07E-08	3.59E-08	3.69E-08	3.99E-08	3.82E-08	3.63E-08	1.97E-08	1.80E-08	1.35E-08

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลผลสัมฤทธิ์จากการจำลองในกรณีที่มีการวัดระดับขนาดใหญ่ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	2.32006E-08	2.68948E-08	2.06631E-08	4.79050E-10	6.03637E-10	5.73083E-10	5.93722E-10	5.93722E-10	7.21435E-10
5	3.02595E-08	3.56293E-08	3.12884E-08	4.13801E-10	8.28865E-10	7.90229E-10	5.46651E-10	5.42811E-10	5.42811E-10
4	3.81463E-08	4.16453E-08	3.28397E-08	6.08275E-10	9.34032E-10	3.59773E-10	5.06230E-10	5.06230E-10	3.34642E-10
3	4.40066E-08	5.06861E-08	4.16607E-08	1.04638E-09	7.45434E-10	8.18950E-10	7.03513E-10	7.03513E-10	5.09527E-10
2	4.40240E-08	5.34164E-08	4.64935E-08	8.33188E-10	1.08757E-09	1.08757E-09	1.08757E-09	1.08757E-09	1.08757E-09
1	4.28465E-08	5.37517E-08	4.50974E-08	9.77043E-10	1.33144E-09	1.26619E-09	1.26619E-09	1.26619E-09	1.26619E-09

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองในกรณีที่มีบรรจุดูระเบิดขนาดกลางวางไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	1.145E-08	7.694E-09	4.451E-10	4.451E-10	4.451E-10	4.451E-10	5.937E-10	5.937E-10	7.214E-10
5	1.484E-08	1.012E-08	7.550E-10	7.550E-10	7.902E-10	7.902E-10	5.768E-10	5.768E-10	5.768E-10
4	1.759E-08	1.266E-08	5.314E-10	5.314E-10	5.314E-10	5.314E-10	5.062E-10	5.062E-10	5.062E-10
3	1.875E-08	1.186E-08	7.035E-10	7.035E-10	7.035E-10	7.035E-10	7.035E-10	7.035E-10	7.035E-10
2	2.061E-08	1.367E-08	1.088E-09	1.088E-09	1.088E-09	1.088E-09	1.088E-09	1.088E-09	1.088E-09
1	2.006E-08	1.295E-08	1.068E-09	1.068E-09	1.266E-09	1.266E-09	1.266E-09	1.266E-09	1.266E-09

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองในกรณีที่มีการกระจายตัวระยะเบี่ยงเบนค่ากลางไว้ที่กึ่งกลางของกระเป๋าดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	5.87E-10	4.45E-10	4.45E-10	4.45E-10	1.56E-08	1.06E-08	5.94E-10	5.94E-10	7.21E-10
5	8.15E-10	7.55E-10	7.55E-10	7.55E-10	2.24E-08	1.31E-08	5.47E-10	5.47E-10	5.47E-10
4	5.31E-10	5.31E-10	5.31E-10	5.31E-10	2.62E-08	1.57E-08	5.06E-10	5.06E-10	5.06E-10
3	7.04E-10	7.04E-10	7.04E-10	7.04E-10	2.73E-08	2.05E-08	7.04E-10	7.04E-10	7.04E-10
2	1.09E-09	1.09E-09	1.09E-09	1.09E-09	2.22E-08	1.88E-08	1.09E-09	1.09E-09	1.09E-09
1	1.07E-09	1.07E-09	1.07E-09	1.07E-09	1.77E-08	1.26E-08	1.27E-09	1.27E-09	1.27E-09

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลผลลัพท์จากการจำลองในกรณีที่มีการจัดวางตัวตรวจวัดระยะเปิดขนาดกลางไว้ที่ขอบบนขวาของกระเป๋าดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	5.872E-10	4.451E-10	4.451E-10	5.937E-10	5.937E-10	4.451E-10	5.937E-10	1.969E-08	2.989E-08
5	8.154E-10	7.550E-10	7.550E-10	7.550E-10	7.902E-10	7.902E-10	5.467E-10	1.533E-08	2.591E-08
4	5.314E-10	5.314E-10	5.314E-10	5.314E-10	5.314E-10	5.314E-10	5.062E-10	1.521E-08	2.280E-08
3	7.035E-10	7.035E-10	7.035E-10	7.035E-10	7.035E-10	7.035E-10	7.035E-10	1.135E-08	1.737E-08
2	1.088E-09	1.088E-09	1.088E-09	1.088E-09	1.088E-09	1.088E-09	1.088E-09	8.752E-09	1.418E-08
1	1.068E-09	1.068E-09	1.068E-09	1.068E-09	1.266E-09	1.266E-09	1.266E-09	7.318E-09	1.240E-08

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองในกรณีที่มีบรรจุก๊าซธรรมชาติไว้ที่กึ่งกลางของกระเป๋าดินทาง

Section No.5

Detector	No-Lead	Lead
6	8.01E-09	8.202E-09
5	1.35E-08	1.065E-08
4	1.81E-08	1.100E-08
3	1.51E-08	1.377E-08
2	1.35E-08	1.362E-08
1	9.78E-09	1.096E-08

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองในกรณีที่มีขุมหินขนาดใหญ่ไว้ที่ขอบล่างซ้ายกระเป๋าดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	2.80E-08	3.59E-08	3.32E-08	2.31E-08	1.63E-08	1.58E-08	1.52E-08	1.43E-08	1.40E-08
5	4.37E-08	5.32E-08	4.63E-08	2.81E-08	2.16E-08	2.09E-08	2.03E-08	2.02E-08	1.88E-08
4	5.98E-08	6.94E-08	6.14E-08	3.70E-08	3.10E-08	2.97E-08	2.88E-08	2.79E-08	2.40E-08
3	6.76E-08	7.73E-08	7.38E-08	4.66E-08	3.38E-08	3.28E-08	3.20E-08	3.18E-08	2.50E-08
2	7.53E-08	9.08E-08	8.45E-08	5.37E-08	3.87E-08	3.72E-08	3.52E-08	3.32E-08	2.90E-08
1	7.87E-08	8.97E-08	8.22E-08	5.36E-08	4.15E-08	3.85E-08	3.70E-08	3.72E-08	2.91E-08



ตารางที่ 4.9 ข้อมูลผลลัพธ์จากการจำลองในกรณีที่มีการปรับจำนวนตัวต่อหัวสัตว์ที่ขอบเขตบริเวณขนาดกลางไว้ที่ขอบล่างซึ่งยกฐานะเป็นเดินทาง

Detector	Section	
	No.1	No.6
6	2.61E-08	1.89E-08
5	3.80E-08	2.26E-08
4	4.46E-08	2.94E-08
3	5.38E-08	3.05E-08
2	5.83E-08	3.71E-08
1	6.48E-08	3.85E-08

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์ผลการจำลองและสรุปผล

เนื่องจากค่าฟลักซ์ในตารางของข้อมูลผลลัพธ์ในบทที่ 4 นั้น เป็นค่าฟลักซ์ต่อ 1 อนุภาคนิวตรอนที่ใช้ในการจำลองและเกิดจากการจำลองโดยใช้นิวตรอนทั้งหมด 100 ล้านอนุภาค ดังนั้น ถ้าทำการเปรียบเทียบสัดส่วนของทุกค่ากับค่าที่น้อยที่สุด (หารแต่ละค่าด้วยค่าของหัววัดรังสีที่ 4 เมื่อระบบหัววัดอยู่ในตำแหน่งของตอนที่ 9 ของกระเป๋าดำเดินทาง) ก็จะได้ตัวเลขที่แสดงถึงการกระจาย (distribution) ของจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีในแต่ละตอน ตัวเลขดังกล่าวจะเป็นข้อมูลที่บอกให้ทราบว่าหัววัดที่ 1 - 6 วัดรังสีแกมมาได้มากน้อยแตกต่างกันเพียงใด ตัวเลขเหล่านี้จะแสดงถึงการกระจาย (Distribution) ของจำนวนรังสีแกมมาของหัววัดตลอดหน้าตัดด้านข้างของกระเป๋าดำเดินทาง ลักษณะของการกระจายของรังสีแกมมานี้จะเป็นดัชนีที่บอกให้ทราบว่าวัสดุที่อยู่ในกระเป๋านั้นเป็นวัตถุระเบิดหรือของผิดกฎหมายหรือไม่

#### 5.1 กรณีที่บรรจุเฉพาะของใช้ประจำวันในกระเป๋าดำเดินทาง

ตารางที่ 5.1 เกิดจากการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลผลลัพธ์จากตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นกรณีที่บรรจุผ้าไหม ผ้าขนสัตว์และผ้าไนลอนไว้ในกระเป๋าดำ จะสังเกตเห็นว่าลักษณะของการกระจายของจำนวนรังสีแกมมาเป็นไปอย่างกระจัดกระจาย ไม่มีบริเวณใดของกระเป๋าดำมีค่าของจำนวนรังสีแกมมาแตกต่างจากบริเวณอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด เพียงแต่ค่าการกระจายในแนวตั้งของแต่ละตอนลดลงอย่างสม่ำเสมอ

การที่การกระจายของรังสีแกมมาเป็นไปอย่างกระจัดกระจายนั้น เพราะความหนาแน่นของไนโตรเจนในวัสดุทั้ง 3 นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้จำนวนนิวเคลียสของธาตุไนโตรเจนที่มีโอกาสเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนอุณหภูมามีจำนวนใกล้เคียงกัน การกระจายของรังสีจำนวนแกมมาในลักษณะนี้แสดงว่าวัสดุที่อยู่ในกระเป๋าดำเดินทางนั้นไม่ใช่วัตถุระเบิด

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่บรรจุผ้าไหม  
ผ้าขนสัตว์และผ้าไนลอนไว้ในกระเป๋าเดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	37	53	57	57	55	56	57	52	42
5	50	67	67	71	67	65	68	66	56
4	62	78	83	88	86	83	83	85	72
3	69	86	88	91	94	94	92	88	75
2	83	98	114	116	112	110	107	104	87
1	90	110	111	118	117	118	113	114	87

## 5.2 กรณีที่บรรจุเฉพาะวัตถุระเบิดในกระเป๋าเดินทาง

### 5.2.1 เมื่อวางวัตถุระเบิดขนาดใหญ่ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง

ตารางที่ 5.2 เป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลผลลัพธ์จากตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นกรณีที่บรรจุ C-4 ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง จะสังเกตเห็นว่าค่าจำนวนรังสีแกมมาจะสูงที่สุดเมื่อหัววัดอยู่ในตำแหน่งของตอนที่ 1 2 และ 3 ของกระเป๋าเดินทาง ทั้งนี้เพราะตำแหน่งของตอนที่ 1 2 และ 3 เป็นตำแหน่งที่วัตถุระเบิด C-4 วางอยู่ (ตำแหน่งอื่น ๆ ของกระเป๋านั้นเป็นอากาศ) และเนื่องจากวัตถุระเบิดนี้มีค่าความหนาแน่นของไนโตรเจนสูงกว่าอากาศ จึงทำให้มีโอกาสเกิดอันตรกิริยากับนิวตรอนอุณหภาพแล้วทำให้เกิดรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 10.8 MeV สูงกว่า ส่วนในตอนที่ 4 - 9 นั้นจะมีค่าจำนวนของรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดต่าง ๆ ใกล้เคียงกันและน้อยมากเมื่อเทียบกับตอนที่ 1 2 และ 3

นอกจากนี้จะเห็นว่าการกระจายของจำนวนรังสีแกมมาในหัววัดแต่ละหัววัดในแนวตั้ง ในตอนที่ 1 2 และ 3 จะไม่สม่ำเสมอ โดยหัววัดที่ 1 2 และ 3 จะมีค่าสูงสุดและลดหลั่นกันลงไป ในหัววัดที่ 4-6 ทั้งนี้เพราะเหตุว่า หัววัดที่ 1 2 และ 3 อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่วางวัตถุระเบิดมากที่สุด ดังนั้น จึงมีโอกาสตรวจจับรังสีแกมมาที่เกิดขึ้นได้สูงที่สุด การกระจายของจำนวนรังสีแกมมาในลักษณะนี้เป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่ามีวัตถุระเบิดบรรจุอยู่ในกระเป๋าเดินทางและสามารถใช้ออกตำแหน่งของวัตถุระเบิดในกระเป๋าเดินทางได้อย่างคร่าว ๆ ด้วย

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดใหญ่ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	69	80	62	1	2	2	2	2	2
5	90	106	93	1	2	2	2	2	2
4	114	124	98	2	3	1	2	2	1
3	132	151	124	3	2	2	2	2	2
2	132	160	139	2	3	3	3	3	3
1	128	161	135	3	4	4	4	4	4

### 5.2.2 เมื่อวางวัตถุระเบิดขนาดกลางวางไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง

ตาราง 5-3 เป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลผลลัพธ์จากตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นกรณีที่บรรจุวัตถุระเบิดขนาดกลางไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง จะสังเกตเห็นว่ามีลักษณะการกระจายคล้ายกับการกระจายของรังสีแกมมาในหัววัดรังสีในกรณีของหัวข้อ 5.2.1 โดยมีค่าสูงสุดเมื่อหัววัดอยู่ในตอนที่ 1 และ 2 ทั้งนี้เพราะว่าเป็นตำแหน่งที่หัววัดอยู่ใกล้กับวัตถุระเบิดมากที่สุดส่วนในตอนที่ 3 - 9 นั้น จะมีค่าจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดต่าง ๆ ใกล้เคียงกันและน้อยมากเมื่อเทียบกับตอนที่ 1 และ 2 ในทำนองเดียวกันกับกรณีของหัวข้อ 5.2.1 การกระจายของรังสีแกมมาในหัววัดรังสีตามแนวตั้งจะมีค่าสูงสุดในหัววัดที่ 1 และ 2 ทั้งนี้เพราะตำแหน่งของหัววัดที่ 1 และ 2 อยู่ใกล้กับตำแหน่ง C-4 มากที่สุด ส่วนหัววัดที่ 3 - 6 นั้นจะมีค่าลดหลั่นกันลงไป สิ่งหนึ่งที่แตกต่างจากกรณีของหัวข้อที่ 5.2.1 คือ ขนาดของจำนวนรังสีในแต่ละหัววัดลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง ซึ่งเป็นการสะท้อนถึงขนาดของวัตถุระเบิด C-4 ที่ลดลง การจำลองในกรณีนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อลดขนาดของวัตถุระเบิดลงเป็น 219.6 g ก็ยังสามารถตรวจได้ว่ามีวัตถุระเบิดบรรจุในกระเป๋า

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดกลางไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	34	23	1	1	1	1	2	2	2
5	44	30	2	2	2	2	2	2	2
4	53	38	2	2	2	2	2	2	2
3	56	35	2	2	2	2	2	2	2
2	62	41	3	3	3	3	3	3	3
1	60	39	3	3	4	4	4	4	4

### 5.2.3 เมื่อวางวัตถุระเบิดขนาดกลางวางไว้ที่กึ่งกลางของกระเป๋าเดินทาง

ตารางที่ 5.4 เป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลผลลัพธ์จากตารางที่ 4.5 ซึ่งเป็นกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดกลางไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางกระเป๋าจะเห็นว่าการกระจายในลักษณะคล้ายกันกับกรณีของ หัวข้อ 5.2.1 และ 5.2.2 คราวนี้ค่าจำนวนรังสีแกมมาที่สูงที่สุดจะอยู่ที่ตำแหน่งของ ตอนที่ 5 และ 6 ของกระเป๋าเดินทาง ทั้งนี้เพราะตำแหน่งของหัววัดเหล่านี้อยู่ใกล้กับตำแหน่งของ C-4 มากที่สุด ส่วนการกระจายของรังสีแกมมาในแนวตั้งของหัววัดในตอน 5 และ 6 นี้ จะมีค่าสูงสุดที่หัววัดที่ 3 และ 4 เนื่องจากเป็นหัววัดที่อยู่ใกล้วัตถุระเบิดมากที่สุด ส่วนหัววัดที่ 2 - 1 และ 5 - 6 นั้นจะมีค่าลดหลั่นกันลงไป ด้วยเหตุผลเดียวกันกับกรณีที่ผ่านมา การกระจายของรังสีแกมมาในลักษณะนี้เป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่ามีวัตถุระเบิดในกระเป๋าเดินทางและบอกตำแหน่งของวัตถุระเบิดอย่างคร่าว ๆ ได้ด้วย

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดกลางไว้ที่กึ่งกลางของกระเป๋าเดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	2	1	1	1	46	32	2	2	2
5	2	2	2	2	67	39	2	2	2
4	2	2	2	2	78	47	2	2	2
3	2	2	2	2	82	61	2	2	2
2	3	3	3	3	66	56	3	3	3
1	3	3	3	3	53	38	4	4	4

#### 5.2.4 เมื่อวางวัตถุระเบิดขนาดกลางวางไว้ที่ขอบขวาของกระเป๋าเดินทาง

ตารางที่ 5.5 เป็นการเปรียบเทียบ โดยใช้ข้อมูลผลลัพธ์จากตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดกลางไว้ที่ขอบขวาของกระเป๋า จะเห็นว่าการกระจายของรังสีแกมมาคล้ายกับในกรณีของหัวข้อ 5.2.1 - 5.2.3 คราวนี้ค่าจำนวนรังสีแกมมาที่สูงที่สุดจะอยู่ที่ตำแหน่งของตอนที่ 8 และ 9 ของกระเป๋าเดินทาง ทั้งนี้เพราะตำแหน่งของหัววัดเหล่านี้อยู่ใกล้กับตำแหน่งของ C-4 มากที่สุด ส่วนการกระจายของจำนวนรังสีแกมมาในแนวตั้งของหัววัด ในตำแหน่งของตอนที่ 8 และ 9 นี้จะมีค่าสูงสุดที่หัววัดที่ 5 และ 6 เนื่องจากเป็นหัววัดที่อยู่ใกล้วัตถุระเบิดที่สุด ส่วนหัววัดที่ 4 - 1 จะมีค่าลดหลั่นกันลงไป

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดกลางไว้ที่ขอบบนขวาของกระเป๋าเดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	2	1	1	2	2	1	2	59	89
5	2	2	2	2	2	2	2	46	77
4	2	2	2	2	2	2	2	45	68
3	2	2	2	2	2	2	2	34	52
2	3	3	3	3	3	3	3	26	42
1	3	3	3	3	4	4	4	22	37

#### 5.2.5 เมื่อวางวัตถุระเบิดขนาดเล็กลงไว้ที่กึ่งกลางของกระเป๋าเดินทาง

ตารางที่ 5.6 เป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลผลลัพธ์จากตารางที่ 4.7 ซึ่งเป็นกรณีที่บรรจุวัตถุระเบิดขนาดเล็ก (15.6 g) ไว้ในกระเป๋าเดินทาง คอลัมน์ที่ 2 เป็นผลลัพธ์ของกรณีที่ระบบหัววัดรังสีอยู่ในตำแหน่งของตอนที่ 5 ซึ่งเป็นตอนที่วาง C-4 ไว้สำหรับตอนอื่น ๆ นั้น (1 - 4 และ 6 - 9) เราไม่ได้ทำการจำลองเนื่องจากได้เห็นประจักษ์แล้ว (จากหัวข้อ 5.2.1 -5.2.4) ว่าตอนไม่มีวัตถุระเบิดวางอยู่จะมีค่าจำนวนรังสีแกมมาในหัววัดต่ำ ดังนั้นค่าที่ปรากฏในตอน 5 นี้จึงควรเป็นค่าการกระจายของจำนวนรังสีสูงที่สุด ส่วนค่าการกระจายของรังสีแกมมาในหัววัดในแนวตั้งควรมีค่าสูงสุดในหัววัดที่ 3 และ 4 และก็เป็นเช่นนั้นจริงๆ ดังปรากฏในตาราง ผลลัพธ์ในคอลัมน์ที่ 3 นั้น เป็นกรณีที่ใส่แผ่นตะกั่วขนาด 5 x 5 x 0.5 ซม<sup>3</sup> กั้นระหว่างแหล่งกำเนิดนิวตรอนกับ C-4 ผลลัพธ์ของกรณีนี้มีลักษณะคล้ายกับกรณีที่ไม่มีแผ่นตะกั่วกั้น การจำลองในหัวข้อนี้ได้ข้อสรุปที่มีนัยสำคัญเพิ่มเติมขึ้นมา 2 ประการคือ 1. ระบบสามารถตรวจจับวัตถุระเบิดขนาดเล็ก ๆ ได้ (15.6 g) และ 2. ระบบสามารถตรวจจับวัตถุระเบิดที่ซุกซ่อนในโลหะ (ตะกั่ว) ได้

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดเล็กไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของกระเป๋าเดินทาง

Detector	Section No.5	
	No-Lead	Lead
6	24	25
5	40	32
4	54	33
3	45	41
2	40	41
1	29	33

### 5.3 กรณีที่บรรจุวัตถุระเบิดและของใช้ประจำวันในกระเป๋าเดินทาง

จากหัวข้อที่ 5.2 เราพบว่าถ้าบรรจุเฉพาะวัตถุระเบิดไว้ในบริเวณใดบริเวณหนึ่งของกระเป๋าเดินทาง โดยบริเวณที่เหลือเป็นอากาศนั้น ระบบตรวจวัตถุระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยี TNA จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่ากระเป๋าเดินทางนั้นมีวัตถุระเบิดบรรจุอยู่หรือไม่ ในหัวข้อนี้เราต้องการทดสอบว่าถ้าบรรจุของใช้ประจำวัน เช่น ผ้าไหมหรือผ้าขนสัตว์ปะปนไว้กับวัตถุระเบิด ระบบดังกล่าวจะสามารถวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกันหรือไม่ ดังนั้นหัวข้อต่อไปนี้จะเป็นการทดสอบดังกล่าว

#### 5.3.1 เมื่อวางวัตถุระเบิดขนาดใหญ่กับผ้าไหมไว้ที่ขอบซ้ายล่างของกระเป๋าเดินทาง

ตารางที่ 5.7 เป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลผลลัพธ์จากตารางที่ 4.8 ซึ่งเป็นกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดใหญ่ไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทางและส่วนที่เหลือของกระเป๋าเป็นผ้าไหม จะสังเกตเห็นว่าจำนวนรังสีแกมมาของหัววัดรังสีในตอนที่ 1 - 3 จะมีค่าสูงเกือบเป็น 2 เท่าของจำนวนรังสีในหัววัดเดียวกันที่อยู่ในตอนที่ 4 - 9 ทั้งนี้เพราะเหตุว่า C-4 วางอยู่ในตำแหน่งของตอนที่ 1 - 3 ของกระเป๋าเดินทาง ดังนั้นในบริเวณนี้จึงมีความหนาแน่นของไนโตรเจนสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ จึงทำให้เกิดอันตรกิริยาที่ให้รังสีแกมมาพลังงาน 10.8 MeV มากกว่าบริเวณอื่น ๆ ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ถึงแม้จะมีของใช้ประจำวันปนอยู่กับ C-4 ระบบก็ยังสามารถวิเคราะห์ได้ว่ากระเป๋าบรรจุวัตถุระเบิดหรือไม่



ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดใหญ่กับผ้าไหมไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง

Detector	Section								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
6	84	107	99	69	49	47	45	43	42
5	131	159	138	84	65	62	61	60	56
4	179	208	184	111	93	89	86	83	72
3	202	231	221	139	101	98	96	95	75
2	225	271	252	160	116	111	105	99	87
1	235	268	246	160	124	115	111	111	87

### 5.3.2 เมื่อวางวัตถุระเบิดขนาดกลางกับผ้าขนสัตว์ไว้ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง

เพื่อเป็นการทดสอบว่าถ้าเปลี่ยนผ้าไหมมาเป็นผ้าขนสัตว์และลดขนาดของวัตถุระเบิดให้เล็กลงระบบจะสามารถตรวจพบวัตถุระเบิดหรือไม่ เราจึงนำผ้าขนสัตว์มาแทนผ้าไหมและลดขนาด C-4 ลงให้เป็นขนาดกลาง (219.6 g) ผลการจำลองปรากฏดังตาราง 5.8 ซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลผลลัพธ์จากตาราง 4.9 ในกรณีนี้เราทำการจำลองเฉพาะกรณีที่ระบบหัววัดรังสีอยู่ในตำแหน่งของตอนที่ 1 และ 6 เท่านั้น ทั้งนี้เราได้ประจักษ์จากกรณีของหัวข้อที่ 5.3.1 แล้วว่าผลลัพธ์ของตอนที่ 2 จะคล้ายกับตอนที่ 1 และตอนที่ 3 - 5 และ 7 - 9 จะคล้ายกับตอนที่ 6 ดังนั้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการกระจายของจำนวนรังสีแกมมาในตอนที่ 1 กับตอนที่ 6 ก็เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ ดังปรากฏในตาราง 5.8 นั้นเราจะเห็นว่าจำนวนรังสีแกมมาของหัววัดรังสีในตอนที่ 1 มีค่าเกือบเป็น 2 เท่าของจำนวนรังสีแกมมาของหัววัดรังสีในตอนที่ 6 เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าจำนวนรังสีแกมมาของหัววัดในตอนที่ 6 ก็มีขนาดใกล้เคียงกับค่าจำนวนรังสีแกมมาของหัววัดในกรณีที่บรรจุผ้าไหม ผ้าขนสัตว์และผ้าในลอนในกระเป๋าเดินทาง (ดูหัวข้อที่ 5.1 ตาราง 5.1 ตอนที่ 4 - 6 ซึ่งเป็นตอนที่บรรจุผ้าขนสัตว์ไว้ในกระเป๋าเดินทาง) ดังนั้นย่อมสรุปได้ว่ามีวัตถุระเบิด C-4 บรรจุในกระเป๋าเดินทางในตำแหน่งของตอนที่ 1 - 2 โดยอยู่ใกล้กับหัววัดรังสีที่ 1 และ 2

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบจำนวนรังสีแกมมาที่วัดได้โดยหัววัดรังสีที่ 1 - 6 ในกรณีที่บรรจุ C-4 ขนาดกลางกับผ้าไหมไว้ที่ขอบล่างซ้ายของกระเป๋าเดินทาง

Detector	Section	
	No.1	No.6
6	78	56
5	113	68
4	133	88
3	161	91
2	174	111
1	194	115

#### 5.4 สรุปผล

เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา 2 ประการ ดังได้กล่าวไว้ในตอนท้ายของบทที่ 1 ดังนั้น จึงขอสรุปผลการวิจัยครั้งนี้ ดังต่อไปนี้

##### 5.4.1 พัฒนาการและชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ในการตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย

ในปัจจุบันนี้มีเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมาย 2 ชนิด คือ ชนิดที่ไม่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์และชนิดที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ โดยแต่ละชนิดก็มีหลายประเภท ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละประเภทดังปรากฏในบทที่ 2 และ 3 ระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายชนิดที่ไม่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์นั้นจะมีข้อดีที่มีราคาถูก มีขนาดเล็กและมีทั้งแบบที่เคลื่อนที่ได้และติดตั้งอยู่กับที่ ไม่ค่อยมีปัญหาในเรื่องของอันตรายจากรังสี แต่ก็มีข้อเสียที่มีข้อจำกัดในด้านการตรวจวัดระเบิดที่มีขนาดเล็ก หรือคัดแปลงรูปทรงให้เป็นแผ่นบาง ๆ รวมทั้งไม่สามารถทำให้เป็นระบบที่ทำการตรวจแบบอัตโนมัติได้ (ต้องอาศัยผู้ควบคุม) ทั้งนี้เพราะเหตุว่าระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายชนิดนี้ใช้หลักการการตรวจหาส่วนประกอบของวัตถุระเบิด โดยไม่ได้ตรวจหาเนื้อวัตถุระเบิดจริง ๆ ดังนั้นจึงมีโอกาสตรวจพลาดได้ง่ายหรือมีอัตราของการตรวจพบ (detection rate) ต่ำ

ในกรณีของระบบตรวจวัดระเบิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์นั้น จะมีข้อดีที่สามารถตรวจวัดระเบิดได้ทุกชนิด ทั้งนี้เพราะใช้หลักการตรวจหาเนื้อวัตถุระเบิดจริง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ตรวจวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ๆ เช่น ใช้ตรวจของที่บรรจุในตู้สินค้าหรือบรรทุกในรถบรรทุกขนาดใหญ่ได้ แต่ระบบนี้จะมีข้อเสียที่มีราคาแพง ขนาดใหญ่และมีอันตรายจากรังสีมากกว่า

#### 5.4.2 ความเป็นไปได้ของการใช้เทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ในการตรวจวัดฐานะเปิดและของผิด กฎหมาย

ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.2 ว่าเทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ที่ใช้ในระบบตรวจวัดฐานะเปิดและของผิดกฎหมายนั้นมี 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้รังสีแกมมาและประเภทที่ใช้อนุภาคนิวตรอน ในการวิจัยครั้งนี้เราสนใจที่จะศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการใช้ระบบตรวจวัดฐานะเปิดและของผิดกฎหมายประเภทที่ใช้อนุภาคนิวตรอน จึงเลือกเทคโนโลยี TNA เป็นแบบของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MCNP ทั้งนี้เพราะเทคโนโลยีนี้มีประสิทธิภาพในการตรวจสูงและไม่ซับซ้อน การจำลองดังกล่าวได้ใช้การทดลองของระบบตรวจกระเป๋าดำเดินทางของ J. Bartko and F.H. Ruddy จาก Westing house Science & Technology Center เป็นต้นแบบ ซึ่งได้ผลของการจำลองสอดคล้องกับการทดลองดังกล่าว ความสอดคล้องนี้ก็คือการจำลองแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยี TNA สามารถตรวจหาวัตถุระเบิดในกระเป๋าดำเดินทางได้

ความสอดคล้องนี้มี 2 ประเด็นคือ 1 สามารถบอกได้ว่ามีวัตถุระเบิดบรรจุอยู่ในสิ่งให้นำมาตรวจสอบ และ 2 สามารถบอกตำแหน่งของวัตถุระเบิดที่บรรจุในสิ่งนั้น ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้เทคโนโลยี TNA ในการตรวจวัดฐานะเปิดและของผิดกฎหมาย และควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบตรวจวัดฐานะเปิดและของผิดกฎหมายที่ใช้เทคโนโลยี TNA อย่างไรก็ตามในการจำลองครั้งนี้ ใช้อนุภาคนิวตรอนคุณภาพซึ่งไม่ตรงกับเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองของ J. Bartko and F.H. Ruddy ดังนั้นจึงอาจเป็นประโยชน์ถ้าจะทำการจำลองโดยใช้อนุภาคนิวตรอนพลังงานสูงในอนาคตต่อไป

### บรรณานุกรม

- (1) คณะกรรมการป้องกันและปราบปรามยาเสพติด, สำนักงาน. สำนักปราบปรามยาเสพติด. รายงานสรุปผลการปราบปรามยาเสพติดทั่วประเทศประจำปี พ.ศ. 2543. หน้า 77.
- (2) คณะกรรมการป้องกันและปราบปรามยาเสพติด, สำนักงาน. สำนักปราบปรามยาเสพติด. รายงานสรุปผลการปราบปรามยาเสพติดทั่วประเทศประจำปี พ.ศ. 2543. หน้า 2.
- (3) Landmine Survivors Network: <http://www.landminesurvivors.org/heritage/landmines.php>
- (4) Michael C. Smith and Roger L. Hoopengardner. Science Application International Corporation (1992). A system Approach to The Explosive Detection Problem. In Tsahi Gozani. Advanced Technology For Contraband Detection. 31-43.
- (5) Sandia National Laboratories. (1998). Explosive Detection Equipment. In Jeremy Travis. Surrey of Commercially Available Explosives Detection Technologies and Equipment. 24-25.
- (6) Sandia National Laboratories. (1998). Explosive Detection Equipment. In Jeremy Travis. Surrey of Commercially Available Explosives Detection Technologies and Equipment. 7-13.
- (7) Sandia National Laboratories. (1998). Explosive Detection Equipment. In Jeremy Travis. Surrey of Commercially Available Explosives Detection Technologies and Equipment. 13-15.
- (8) Kristoph D. Krug and Jay A. Stein. Advanced Dual Energy X-Ray For Explosive Detection. Vivid Technology. Waltham. Ma. (private communication)
- (9) Steven W. Smith. Ph.D. IRT Corporation. Detection of Objects Concealed Under Person's Clothing Using the "Secure System". (private communication)
- (10) Gerald J. Smith. Detection Of Contraband On the Body Using X-Ray Imaging. American Science and Engineering, Inc. Billerica, Ma. (private communication)
- (11) K. W. Dulan, R. W. Ryon, D. J. Schneberly, H.E. Martz, and R.D. Rikard, Explosive Detection Limitations Using Dual-Energy Radiography and Computed Tomography. Lawrence Livermore National Laboratory. (private communication)

- (12) Robert A. Armistead. (1999). Advanced X-Ray System For Non-destructive Inspection and Contraband Detection. Invited Paper SPIE Conference on Penetrating Radiation System and Application. (July 1999) SPIE Vol. 3769, 98-105.
- (13) T. J. Rayner, B. D. Thorson, S. Beevor, R. West and R. A. Krauss. (1996). Explosives Detection Using Quadrupole Resonance Analysis. Physics-Based Technology For the Detection of Contraband. Proceedings, SPIE Vol. 2936. 22-30.
- (14) Andy Buffler. Contraband Detection by Fast Neutron Scattering. Paper Present at the 2<sup>nd</sup> National Nuclear Technology Conference. NAC. South Africa. 13-15 May 2001. (private communication)
- (15) Victor V. Verbinski and Victor J. Ophan. (1996). Gamma Radiography Cargo Vehicle Scanner. Physics-Based Technology For the Detection of Contraband. Proceedings, SPIE Vol. 2936. 112-123.
- (16) T. Gozani. (1996). Inspection Technique Based On Neutron Interrogation. Physics-Based Technology For the Detection of Contraband. Proceedings, SPIE Vol. 2936. 9-20.
- (17) D. R. Brow and T. Gozani. (1996). Thermal Neutron Analysis Technologies. Physics-Based Technology For the Detection of Contraband. Proceedings, SPIE Vol. 2936. 85-94.
- (18) Sandia National Laboratories. (1998). Explosive Detection Equipment. In Jeremy Travis. Survey of Commercially Available Explosives Detection Technologies and Equipment. 19-20.
- (19) D. R. Brown A. Coats S. N. Kuo R. A. Loveman E. A. Pentaleri and J. C. Rynes. (1996). Cargo Inspection System Based on Pulsed Fast Neutron Analysis. Physics-Based Technology For the Detection of Contraband. Proceedings, SPIE Vol. 2936. 76-84.
- (20) Buffler et. al. (2001). Material Classification by Fast Neutron Scattering. Nucl. Instr. and Meth. B173 (2001). 483-502.
- (21) Miller et. al. (1996). Contraband Detection Using Neutron Transmission. Physics-Based Technology For the Detection of Contraband. Proceedings, SPIE Vol. 2936. 102-109.

- (22) Oak Ridge National Laboratory. Radiation Shielding Information Center. (1993). MCNP 4A Monte Carlo N-Particle Transport Code System. RSIC Computer Code Collection.
- (23) J. Bratko and F. H. Ruddy. A Review Of the Development Of A Luggage Explosive Detection. Westinghouse Science & Technology Center. Pittsburgh. PA. (private communication)
- (24) W. V. Nunes et. al. (2002). Explosives Detection Using Prompt-Gamma Neutron Activation and Neural Networks. Applied Radiation and Isotopes. 56 (2002). 937-943.

## ประวัตินักวิจัย

ชื่อ – สกุล : พันเอก ดร. วรศิษย์ อุทัย

ตำแหน่ง : หัวหน้าสาขาวิชาฟิสิกส์

วัน เดือน ปีเกิด : 9 กรกฎาคม 2492

สถานที่เกิด : จังหวัดนครพนม

วุฒิการศึกษา :

<u>ปริญญาบัตร</u>	<u>สถานศึกษา</u>	<u>ปีที่สำเร็จการศึกษา</u>
วท.บ. (ทบ.)	โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า	2517
M.Sc.	Emory University (U.S.A.)	2524
Ph.D.	Emory University (U.S.A.)	2528

ประสบการณ์ :

พ.ศ. 2517 – พ.ศ. 2520	อาจารย์กองฟิสิกส์ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ศ. 2528 – พ.ศ. 2535	อาจารย์กองฟิสิกส์ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
พ.ศ. 2536 – พ.ศ. 2537	ผู้จัดการแผนกวิเคราะห์ห้องโถง สถานีดาวเทียมไทยคม
พ.ศ. 2537 – พ.ศ. 2538	ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการดาวเทียม สถานีดาวเทียมไทยคม
พ.ศ. 2538 – พ.ศ. 2541	ผู้จัดการทั่วไป บริษัทกัมพูชาชินวัตร
พ.ศ. 2541 – ปัจจุบัน	อาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี- สุรนารี

ผลงานทางวิชาการ :

เขียนตำราและเอกสารประกอบการสอนไม่น้อยกว่า 8 เรื่อง

เขียนบทความทางวิชาการและงานวิจัย 5 เรื่อง