(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.[7]
G21G 1/06

(45) 공고일자 2000년07월15일
(11) 등록번호 10-0261529
(24) 등록일자 2000년04월19일

(21) 출원번호	10-1991-0701068	(65) 공개번호	특1992-0701984
(22) 출원일자	1991년09월09일	(43) 공개일자	1992년08월12일
(86) 국제출원번호	PCT/US 91/00179	(87) 국제공개번호	WO 91/11009
(86) 국제출원일자	1991년01월09일	(87) 국제공개일자	1991년07월25일

(30) 우선권주장 463,025 1990년01월10일 미국(US)
(73) 특허권자 앤코어 코포레이션 패트릭 엠 쉐아
미국 캘리포니아 95054 산타 클라라 패트릭 헨리 드라이브 2950
(72) 발명자 츠사히고자니
미합중국 캘리포오니아주 94301 팔로 알토시 해리어트 스트리트 1050
제트피터사와
미합중국 캘리포니아주 94622 오클랜드시 애스콧 드라이브 6118
패트릭엠시어
미합중국 캘리포오니아주 94087 서니베일시 트렌톤 드라이브 814
(74) 대리인 차순영, 차윤근

심사관 : 김형철

(54) 고속 중성자 작용을 이용한 금지품 검출 장치 및 검출 방법

요약

본 장치 및 방법은 물체를 비침해적으로 조사하여 금지품을 검출해 낸다. 본 장치는 6.7MeV 보다 큰 고속의 중성자 에너지로 물체(134)를 조사하고, 그 다음 감마선 스펙트럼을 측정한다. 물체를 조사한후 중성자 빔(132)이 생성되고 조사된 물체가 빔에 대해 단계적으로 또는 계속적으로 이동한다. 조사된 물체의 용적내에서 완전히 투과한 중성자의 상호작용은 핵종 특성의 감마선을 야기시킨다. 방출된 감마선의 에너지와 세기는 감마선 소오스 즉, 물체내의 특정한 핵종의 공간 분포 및 밀도 분포에 대한 정보를 제공한다. 이 정보로 부터 핵 종의 공간 및 밀도 분포들에 대한 3차원 영상이 추론된다. 이러한 3차원 영상들은 금지품의 존재에 대한 판정을 내린다. 이 측정들은 감마선 신틸레이터 검출기배열부(144)를 이용해서 이루어진다. 통계적 방법(예, 식별 분석) 또는 인공 중성 시스템 또는 다른 전문 시스템을 기초로 한 판정 분석은 오경보율을 떨어뜨린다. 본 장치에 대한 일실시예는 물체의 방사 용적을 한정하기 위한 중성자 빔 집속기 수단(136)과 요구된 중성자 빔 방향이 아닌 곳에서 중성자수를 감쇠시키기 위한 보조 중성자 차폐수단(135)을 포함한다. 또 다른 실시예는 X선 시스템(150)을 포함하여, 물체에 대한 이 X선 영상으로 부터 얻어진 전자 밀도 정보와 감마선 소오스의 공간 분포 및 밀도 분포 정보를 결합시켜 판정 해석을 더욱 강화시키고 있다.

대표도

도1

명세서

[발명의 명칭]

고속 중성자 작용을 이용한 금지품 검출 장치 및 검출 방법

[발명의 배경]

본 발명은 원자핵에 기초한 금지품 검출 장치에 관한 것으로, 특히 가방이나 소포 등에 은닉된 금지품을 정확하게 검출하는 장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명에 사용되는 "금지품(contraband)" 이라는 용어는 폭발물과 마약을 의미하지만, 이에 한정되는 것은 아니다.

항공산업에서는 폭발물질을 검출하기 위해 소포와 수화물을 신속하게 정밀검사할 수 있는 시스템 및/또는 방법이 요망되고 있다. 이러한 시스템이나 방법을 사용하는 경우에는 폭발물 검출 확률이 높아야 한다. 게다가, 국제선에서 매일 운반되는 수화물의 수가 2백만에 가깝기 때문에 공공에 해를 끼치지 않으려면 오경보 발생이 극히 적어야 한다.

통관법 실행 분야에서도, 국경지대에서 전달되는 수화물이나 짐속에 숨겨진 예를 들어 마약과 같은 금지물질을 정확하게 검출해낼 수 있는 시스템 및 방법이 요망되고 있다. 이러한 시스템 및 방법도 역시 검

출 확률이 높고 오경보 확률은 낮아야 한다.

이러한 요구를 충족시키려면, 감도와 특성이 좋고 고속이어야 하며 비침투성 검출 기술이 적용되어야 한다. 핵을 적절히 이용한 기술이 이같은 요건들을 만족시킬 수 있다. 이는 물체를 빠르게 처리하고 손상시키지 않는 탐색 수단을 제공하며, 적절히 설계될 경우 생물학적 위험을 무시할 수 있다.

일반적으로, 핵을 이용한 진단 기술은 양질의 투과성 방사선을 2개(중성자선과 감마선) 사용하는데, 이중 하나는 숨겨진 폭발물을, 나머지 하나는 금지품을 색출한다. 상기 방사선들은 다음과 같이 작용한다. 적절히 만들어진 제 1 방사선은 지정 물체내의 원자핵을 여기시킨다. 이처럼 여기된 원자핵들은 느슨해져 그 특성이 핵종(nuclear species)인 전자기 또는 입자 방사선을 방출한다. 방출된 스펙트럼을 분석하면 물체내의 특정 물질 즉, 폭발물이나 불법의 마약을 쉽게 검출할 수 있다. 즉, 만일 방출된 스펙트럼에 소정의 에너지 방사선이 존재하면, 그 물체내에 특정 물질이 존재한다는 것을 추측할 수 있다. 따라서, 특정 강도의 방사선이 나타난 스펙트럼은 검사될 물체내에 특정의 화학 원소가 존재한다는 것을 알리는 "신호(징후)"로 작용한다. 그러므로, 물체내의 화학 원소이나 화학 합성물을 식별하는 과정은 미국 핵 조정 협회의 Active Nondestructive Assay of Nuclear Materials(NURCC-CR-0602, SA1-FM-2585, 1981)에서 기술한 바와 같이, 그 물질에서 방출된 방사선에 존재하는 해당신호를 식별하는 과정을 포함하는 것이다.

일반적으로는 중성자를 1차 방사선으로 사용하고 이에 따른 감마선을 측정하여 비침투성 진단을 실행한다. 예를 들어 미국 특허 제 3,832,545 호에는 주로 열에너지의 중성자를 사용한 핵 이용 폭발물 색출 시스템이 서술되어 있으며, 이와는 달리 유럽 특허 공보 EP-0-227-497-A1에는 15 MeV(million electron volt: MeV)의 범위를 가지는 고속 중성자를 사용한, 핵 이용의 폭발물 검출 시스템이 서술되어 있다. 그러나, 실제로 열중성자에 기초한 검출 시스템은 폭발물의 4개 기본 원소중 단지 하나의 신호, 즉 주로 질소(수소도 가능함) 신호만을 공급한다는 단점을 갖고 있다. 반면에, 고속 중성자에 기초한 검출 시스템은 폭발물이나 다른 금지품의 4개의 원소로 이루어진 신호를 제공하여 그 식별력을 증가시킬 수 있다(폭발물의 4개 기본 원소는 수소, 탄소, 질소 및 산소이다).

그러나, 단지 특정 금지품의 구성 원소를 나타내는 신호를 얻었다고 해서 그것이 반드시 조사중인 물체 안에 그러한 금지품이 있다는 것을 나타내지는 않는다는 것을 명심해야 한다. 그 이유는 많은 양성반응을 나타내는 물질(즉, 비금지품)도 그러한 원소들을 포함할 수 있기 때문이다. 따라서, 진단의 큰 장점은 의문체내 원소 밀도의 3차원 분포 영상이 형성될 때 얻어질 수 있다는 점에 있으며, 그 이유는 이와 같은 밀도 영상이 금지품과 비금지품을 구별하는데 추가적으로 도움을 주기 때문이다. 이러한 목적에 적당한 3차원 영상은 물체에 중성자를 구간 단위(section-by-section)로 조사(irradiation)하고 각 구간에서 발생하는 감마선의 강도와 에너지를 컴퓨터를 사용하여 분석함으로써 쉽게 얻을 수 있다. 이러한 분석은 1987년 5월 26일에 출원된 특허출원되고 본 발명에 참조인용된 미국 특허출원 제 07/053,950 호에서 기술한 바와 같이 물체 주위에 감마선 검출기를 양호하게 배치할 것이 요구되었었다.

금지품 검출 시스템은 몇몇 요건을 충족시켜야 한다. 이러한 요건들은 다음과 같다. (1) 폭발물이나 기타 다른 금지품의 색출은 폭발물이나 금지품의 특수한 구성과 무관해야 한다(즉, 폭발물이나 기타 다른 금지품은 그 형태와 무관하게 색출되어야 한다). (2) 물체에 대한 검사는 조사중인 물체의 내용물에 대한 최대한의 비밀보장과 시스템을 통과한 물체의 성능을 최대한 보장하기 위해 비침투적으로 실행되어야 한다. (3) 이러한 검출 시스템은 검출 확률이 높아야 한다. 즉, 검출 감도가 높고 오경보율이 낮아야 한다. (4) 검출 기술은 탐색될 물체, 작동자 및 환경에 해를 끼치지 않아야 한다. (5) 검출 시스템은 다양한 환경하에서 작동할 수 있어야 하고 운용 및 보수유지가 용이해야 한다.

핵을 이용하지 않는 폭발물 검출 시스템은 본 기술분야에 널리 알려져 있으며 그중 일부는 상술한 특허출원에서 언급되었다. 그러나, 지금까지의 비핵 시스템들은 상술한 요건들을 충족시키지 못했다.

그러나, 핵을 이용한 폭발물 검출 시스템은 상술한 바와 같이 검출 시스템의 요구사항을 거의 처리할 수 있지만, 현존의 핵을 이용한 시스템들은 아직 미흡한 점이 많다. 본 발명은 핵을 이용한 검출 부분을 개선하고 종래 시스템의 결점들을 극복한 것이다. 이러한 개선점들은 폭발물의 관련 특성을 우선 검토하고, 그러한 폭발물 검출에 있어서 종래 기술의 시스템의 단점을 평가하므로써 보다 잘 이해될 수 있을 것이다(물론, 폭발물은 본 발명을 이용하여 검출될 수 있는 금지품의 일실시예이다).

폭발물은 다음과 같이 6종류로 분류될 수 있다.

1) 니트로글리세린계 다이나마이트

2) 암모늄 질산염계 다이나마이트

3) 군사용 폭발물(합성물-4, TNT, PETN 및 피크르산)

4) 사제 폭발물(예를 들어 비료, 연료용 기름으로 제조된 것)

5) 저급의 화약(흑색 및 무연 화약)

6) 특수 용도의 폭발물(납 아지드, 납 스티파네이트, 수은 뇌산염 및 폭파겔)

이러한 폭발물의 물리적 특성과 원소 성분이 표 1에 도시되어 있다. 폭발물의 정상 밀도는 일반적으로 1.6 g/cm^3 이며, 1.25 g/cm^3 내지 2.0 g/cm^3의 범위를 가지며, 주요 원소는 수소, 탄소, 질소 및 산소임을 알 수 있다. 표 1에 따르면, 폭발물이 효과적이 되려면 최소의 전파두께를 가져야 하므로, 폭발물 본체는 연속적으로 최소한의 크기가 요구된다.

미국 특허 제 4,756,866 호(알바레즈에 허여)에는 제조과정중 폭발물에 삽입되는 예를 들어 중수소(deuterium)와 같은 불활성 추적자를 사용한 폭발물 검출 시스템이 기술되어 있다. 이에 따라, 폭발물은 2.223 MeV 보다 큰 광자 에너지로 짐과 수화물을 조사해서, 삽입된 중수소의 광-분해로 인해 발

생한 중성자를 검출하므로써 색출된다. 이와 같은 시도에서 주요한 단점은 (1) 적절량의 중수소를 폭발물에 첨가하는데는 폭발물 제조업자간의 동의가 필요하다는 것과, (2) 일부 폭발물, 예를 들어 흑색 화약(수소를 함유하지 않은것)과 사제 폭발물은 색출할 수 없다는 것이다.

종래 기술에서 제시된 또 다른 핵이용 기술은 폭발물의 주성분이 질소임을 인식하는 단계와(표 1 참조), 10.6 MeV 보다 큰 광자 에너지에 의해 유도된 $^{14}N(r, n)$ 프로세스에서 ^{13}N 방사능($t_{1/2}$ = 10m, 양전자 방사체)을 생성하는 단계와, 그후 소멸 방사선을 검출하여(양전자 방사의 X 선 단층 촬영을 촉진시키는 단계), 질소의 존재 여부를 확인하는 단계로 구성되어 있다. 그러나, 이러한 기술에 관련된 문제점은 조사된 물체에 대량의 방사선(Krad/Kg 정도)이 필연적으로 전달되어, 공공에 해를 끼친다는 것이다.

상술한 문제점을 해소하거나 적어도 최소화하는 관련 핵 기술은 예를 들어 상술한 미국 특허 제 3,832,545 호(바르코에 허여)에서 설명한 바와 같이 질소와 열중성자와의 활동에 그 근거를 둔 것이다. 이러한 발명은 저속의 중성자로 개시되는 $^{14}N(n, r)$ 프로세스가 정확히 10.8 MeV의 감마선 광자 방출을 자극하여 그 검출을 촉진시킨다는 사실에 근거를 두고 있다. 상기 미국 특허 제 3,832,545 호에서는 유기적 신틸레이터가 감마선 검출기로서 사용되며, 그 결과 소오스 위치 분해능이 중간정도로 얻어지고(즉, 질소 분포에 대한 영상의 질이 열악하다), 검출 효율이 낮아진다.

유럽 특허 제 0 227 497 A1 호에도 종래 기술에 따른 폭발물 검출용 핵 이용기술이 기술되어 있다. 이에 따르면, 7-14 MeV(고속) 중성자의 비탄성 스캐터링에 기초한 폭발물 검출 시스템이 서술되어 있다. 고속 중성자들은 펄스식 중수소 빔이 조사된 $^{3}H(d, n)^{4}He$ 반응에서 생성되고, 중성자 상호작용으로 인해 즉발 감마선(prompt gamma-ray)이 검출되고, 그 출력들은 적절히 시기가 맞추어진다. 즉발 감마선 스펙트럼을 분석하면 조사된 물체내의 원소 농도를 알 수 있다. 특히, ^{14}N 에서의 감마선 천이 대 ^{16}O 에서의 천이비율이 폭발물질의 존재를 고려한 정보를 산출함을 알 수 있다.

상기 유럽특허에 기술된 고속 중성자 발명은 매우 미흡하지만, 상술한 설명으로부터 질소 대 산소비가 폭발물질의 존재에 대한 유일한 지시자로 사용되며 탄소신호는 무시되고 있음을 알 수 있다. 이는 방사스펙트럼에서 매우 굵은 선으로 표시되는 탄소신호가 상당량의 탄소핵의 반발속도와 ^{12}C 에서 4.44 MeV 레벨의 짧은 수명에 의해 발생되기 때문이며, 이러한 굵은 선은 제안된 유형의 고분해능 고체상태 검출기에 의한 측정을 어렵게 한다.

상기 유럽특허에 기술된 고속 중성자 장치와 관련된 또 다른 단점은 물체의 조사시간을 보다 길게 해야 하기 때문에, 이로 인해 폭발물 검출시스템의 처리시간이 비교적 늦어진다. 이러한 긴 조사시간은 대부분 고분해능 고체 상태 감마선 검출기의 낮은 검출 효율에 기인한 것으로서, 검출기의 두가지 기술적 한계 즉 (1) 검출기의 비교적 작은 활동 용적(예, 100 cm^3 이하)과, (2) 최대 계수율이 10^5 보다 작은 검출기의 상부 대역폭에 의해 발생된다.

그러나, 상술한 결함을 극복한 고속 중성자 시스템이 얻어진다해도, 고속 중성자 활동에 기초한 금지품 검출 시스템이 실현되기 전에 반듯이 처리되어야 할 고속 중성자 사용에 따른 악영향은 계속 남아 있다. 예를 들어, 고유 게르마늄의 감마선 검출기의 에너지 분해능은 고속 중성자의 $\approx 10^{10}$ n/cm^2의 유속량 후에 저하되므로, 검출기 냉각 경화 처리를 반드시 실행하거나 검출기를 대체해야 한다. 유럽특허에 기술된 방법은 예를 들어 중성자량을 줄이기 위해 텅스텐과 붕산염으로 처리된 폴리에틸렌으로 이루어진 새도우 차폐부재를 사용하였다. 그러나, 새도우 바아의 길이가 0.5 m 라고 가정하면, 이러한 차폐량으로 인해 감쇠요인이 2.6×10^{-3} 보다 커지게 된다. 이러한 감쇠량에서 10^{12} n/second 의 d+T 중성자 소오스가 사용되었다고 가정하면, 검출 유닛의 성능은 47 시간 이하로 제한된다. 이는 현존의 금지품 검출 시스템에서 받아들일 수 없을 정도로 짧은 시간일 것이다.

[표 1a]

폭발물 및 기타 다른 재료의 각종 물리적 특성 및 조성

재료	물리적 밀도상태	조성(중량%) (G/CM)	H	C	N	O	기타	O+N
니트로글리세린(NG)	액체	1.6	2.2	15.9	18.5	63.4	0	81.9
	액체	1.48	2.4	22.0	17.1	58.5	0	75.6
질산암모늄	고체	1.7	5.0	0	35.0	58.0	0	93
흑색화약	고체	1.7-1.95	0	-22	10	36	S(3), K(29)	-46
니트로 셀룰로오스 (9-14% N)	고체	1.50-1.7	2.4	24.3	14.1	59.2	0	73.3
PEIN(순수)	고체	1.76	2.4	19.0	17.7	60.7	0	78.4
PEIN(데이타 시이트)	고체	1.48	4.3	31.4	12.2	52.1	0	64.3
TNT(압축)	고체	1.63	2.2	37.0	18.5	42.3	0	60.5
조성물B	고체	1.71	2.7	24.4	30.5	42.7	0	73.2
압스티파네이트	고체	3.02	0.7	15.4	9.0	30.8	Pb : 44.2	39.8
테트릴	고체	1.57-1.71	1.8	29.3	24.4	44.6	0	69
다이아마이트	고체	1.25	4.0	14.0	15.-20	59.0	Na : 10.0	74-79
옥토겐HMX)	고체	1.90	2.8	16.2	37.8	43.2	0	81

[표 1b]

재료	물리적 밀도상태	조성(중량%) (G/CM)	H	C	N	O	기타원소	O+N
조성물 3(C-3)	퍼티형 고체	1.58-1.62	2.9	22.8	32.8	41.6	0	74.4
조성물 4(C-4)	퍼티형 고체	1.64-1.66	3.6	21.9	34.5	40.2	0	74.7
피크로산	고체	1.76	1.3	31.4	18.3	48.9	0	67.3
납 아지드(Desonator)	고체	4.48	0	0	28.9	0	Pb	28.4
트리아세톤	고체	1(7)	9.7	38.7	0	51.6	0	59.7
트리퍼옥사이드 헥사메틸렌 트리퍼옥사이드디아민	고체	1.57	5.77	34.6	13.5	46.2	0	59.7
비폭발성								
팩되어진 피륙	고체	<0.1						
폴리에스테르	고체	(1.38)	3.7	66.7	0	29.6	0	29.6
데에크론	고체	(1.38)	4.2	62.5	0	33.3	0	33.3
면	고체	(1.30)	6.0	48.0	0	46.0	0	46.0
모직	고체	(1.32)	4.7	37.5	21.9	5.1	0	27.0
실크	고체	(1.25)	5.3	39.5	28.8	26.3	0	55.1

[표 1c]

나일론	고체	(1.14)	9.7	63.7	12.4	14.2	0	26.6
올론, 아크릴렌	고체	(1.16)	5.7	67.9	26.4	0	0	26.4
기타재료								
ABS(아세토니트릴 부타디엔스티렌)	고체	1.20	8.92	84.5	76.5	0	0	76.5
멜라민-포롬알데히드	고체	1.48	5.5	43.6	50.9	0	0	50.9
네오프렌(젖은 슈트)	고체	1.25	4.4	64.0	0	0	Cl : 31.6	0
폴리우레탄	고체	1.50	7.9	52.2	12.2	27.8	0	40
폴리에틸렌	고체	0.92-0.96	14.3	85.7	0	0	0	0
폴리프로필렌	고체	0.89-0.91	14.3	85.7	0	0	0	0
루시트, 아크릴계 플렉스 유리	고체	1.16	9.1	54.6	0	36.4	0	36.4
PVC	고체	1.2-1.55	4.8	38.4	0	0	Cl : 56.8	0
사란	고체	1-1.7	3.1	30.0	0	0	Cl : 66.9	0
물	액체	1	11.1	0	0	89.9	0	89.9
에틸 알콜	액체	0.79	13.1	52.1	0	34.0	0	34.0
설탕	고체	1.59	6.5	42.0	0	51.4	0	51.4

[발명의 요약]

본 발명은 고속 중성자와 원자핵과의 상호작용이 독특한 핵종 신호라 할 수 있는 즉발 감마선의 발생 원인이 된다는 공지의 원리를 이용한 것이다. 이러한 감마선 스펙트럼들을 적절히 측정하므로써 감마선 소오스의 밀도 즉, 조사된 물체를 구성하는 핵원자 원소의 밀도를 나타내는 비침투성 수단을 얻을 수 있다.

본 발명은 6.7 MeV 보다 큰 에너지를 가진 고속 중성자로 물체를 탐색한 후 감마선 스펙트럼을 측정하여 폭발물과 같은 금지품을 검출하는 장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 장치는 (1) 중성자 빔의 생성수단과, (2) 조사된 물체의 용적내에서 중성자를 완전히 투과시키는 핵의 상호작용에 의해 감마선이 발생되도록 탐색 물체를 빔에 대해 연속적으로 또는 불연속적으로 이동시키는 수단과, (3) 상기 감마선의 에너지와 세기를 판단하는 측정수단과, (4) 감마선 소오스의 분포에 대한 3차원 영상을 형성하고, 소오스의 분포가 지정된 금지품을 지지하는지의 여부를 결정하는 처리수단을 포함한다.

본 발명에 따른 방법은 (1) 고속 중성자 빔을 발생하는 단계와, (2) 물체내에 함유된 원소를 특정하는 스펙트럼선을 갖는 감마선을 생성하기 위해, 고속 중성자 빔으로 검사 물체를 조사하는 단계와, (3) 물체내에 포함된 원소의 원자핵에 대한 밀도 및 분포를 결정하기 위해 감마선 스펙트럼의 스펙트럼선을 측정하는 단계와, (4) 물체내 원소의 원자핵에 대해 측정된 밀도 및 분포와, 금지품을 특정하는 원소의 원자핵의 원자핵의 밀도 및 분포를 서로 비교하는 단계와, (5) 이러한 비교 결과가 실질적으로 일치할 때 그 물체내에 금지품이 존재함을 결정하는 단계로 구성되어 있다.

본 발명의 바람직한 용도는 항공기에 적재되는 짐 또는 수화물에 숨겨진 폭발물을 색출해내는 경우이다. 그러나, 고속 중성자로 조사되었을 때, 모든 금지물질이 검사중인 물체에서 방출된 특이한 감마선 스펙트럼을 생성하는 경우 다른 용도로도 사용가능하다.

동작에 있어서, 고속 중성자 소오스로부터 방출된 고속 중성자는 검사될 물체, 예를 들어 수화물이나 기타 다른 컨테이너를 향하게 되며, 여기서 중성자들은 물체내 원소의 원자핵과 상호작용하게 된다. 중성자 빔의 전방에서 물체를 이동시켜 조사될 물체의 용적을 제어하기 위해 종래의 컨베이어 벨트나 이와 유사한 시스템이 사용될 수 있다. 일실시예에 있어서, 고속 중성자 소오스는 물체의 조사 용적 범위를 한정하기 위한 중성자 빔 접속기와 원하는 중성자 빔 방향이 아닌 곳에서 중성자를 감쇠시키기 위한 보조 중성자 차폐부재를 포함할 수도 있다. 중성자 빔의 전방에서 예를 들어 팬 빔으로의 중성자 축적과 물체의 연속적인 동작 또는 불연속적인 동작을 조합하므로써, 또한 감마선 검출기의 배열을 후술하는 바와 같이 채택함으로써, 핵 밀도에 대한 3차원 탭핑을 얻을 수 있다.

본 발명에 관련된 측정 수단이나 측정 방법은 검사 물품의 성능을 양호하게 유지시키는 감마선 검출기의 배열을 이용한다. 상기 감마선 검출기는 광전자 배증관(photomultiplier)에 결합된 신틸레이션 수정(crystal)이 바람직하다. 이와 같은 조합은 최종 감마선 스펙트럼을 충분한 에너지 분해능으로 측정하여, 예를 들어 수소(H), 탄소(C), 질소, 산소(O) 및 일부 경우에서는 염소(Cl) 들의 신호라 할 수 있는 감마선의 존재와 강도를 확인할 수 있다. 이러한 검출기들은 적절한 처리 회로에 결합되며, 상기 회로는 광전자 배증관에 의해 출력된 신호 펄스들을 컴퓨터처리에 적절한 디지탈화된 펄스로 변환시킨다(광전자 배증관에 의해 출력된 펄스는 특수 감마선의 검출을 나타내며, 펄스의 높이는 감마선의 에너지 크기를 나타낸다).

상술한 감마선 검출기 배열과 함께, 측정 수단은 중성자 소오스에 대향하는 조사된 물체측에 위치된 적

어도 하나의 중성자 검출기를 포함한다. 이러한 중성자 검출기는 그 물체를 통과한 중성자들을 측정하기 때문에, 종래의 중성자 방사선 기술과 마찬가지로 물체내의 원자핵의 밀도를 표시하게 된다.

처리수단은 통계 방식(예, 식별 분석)에 기초한 판단 분석이나 인공 신경 시스템 또는 다른 전문 시스템을 포함한다. 이러한 공정은 오경보율을 떨어뜨린다. 조사된 물체로부터 예를 들어 질소와 같은 단지 하나의 원소 표시를 얻을 수 있는 종래 열 중성자 검출 시스템과는 달리, 본 발명에 따른 처리 수단은 예를 들어 H, C, N, O 및 Cl(일부 경우)에 대한 복수개의 독특한 광원소 신호 발생에 초점을 맞추고 있다. 이들 원소의 특수한 조합이 발생되었을 경우에는 폭발물과 같은 특정금지품의 조합을 나타낸다. 따라서, 기초적인 광 원소의 조합을 결정하게 되므로써 검사중인 물체내의 금지품을 용이하게 확인할 수 있다. 이러한 결정은 중성자 검출기와 감마선 검출기 배열로부터 얻은 원소의 밀도 분포와 3차원 분포의 분석에 의해 더욱 강화된다.

상술한 바와 같이, 금지품/일반품의 최종 판단은 통계학적 식별 분석과 같은 통계적 방식에 기초를 두고 있으며, 또는 선택적으로 전자 신경망을 사용하여 이루어지는데, 상기 전자 신경망은 내용물이 변하는 물체의 대형 풀(pool)을 향해 초점이 맞추어져 있다. 한가지 처리방식이나 두가지 처리방식의 조합 그 어떤 방식이던지, 하나이상의 프로그램가능한 디지탈 컴퓨터를 사용하여 실행되며, 이에 따라 금지품의 높은 검출 확률이 보장되는 동시에 오경보가 감소되고 또한 프로세싱이 이루어지는 방식의 개연성을 높은 수준으로 유지할 수 있다.

본 발명의 다른 실시예에서는, 짐이나 다른 수화물 및 기타 다른 내용물에 대한 일반적인 전자 밀도 영상을 생성하기 위해, 핵 폭발물 검출 시스템에 종래의 X선 시스템이 부가되었다. 그리고, 검출 시스템의 전체 성능을 강화시키기 위해 간단한 지식을 바탕으로 한 알고리즘이 핵과 전자 밀도 분포에 결합되었다.

본 발명의 특징은 밀폐된 물체내에 폭발물과 같은 밀봉된 금지품이 존재하는 지를 정확하고 신속하게 판단할 수 있는, 핵을 이용한 비침투성 검출 시스템을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 특징은 검사될 물체속에 수소, 산소, 탄소 및 또는 질소가 존재하는지의 여부와 이러한 원소의 3차원 분포를 정확하게 식별할 수 있는 금지품 검출 시스템을 제공하는 것이다.

본 발명의 또 다른 특징은 물체내 금지품의 형상과는 관계없이 밀폐된 물체내의 금지품을 검출하여, 종래의 원통형 폭발물 뿐만 아니라 시트형 폭발물도 검출할 수 있는 금지품 검출 시스템을 제공하는 것이다.

본 발명의 특징은 밀폐된 물체속의 지정된 금지품을 검출하는 확률을 높게 유지하는 동시에 오경보의 확률을 낮추고, 시스템을 통과하는 물체에 대한 처리량도 높게 유지할 수 있는 금지품 검출 시스템을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 특징은 동작이 용이하고 안전하여 검사 물체와 운용 요원 및 환경에 해를 끼치지 않는 금지품 검출 시스템을 제공하는 것이다.

[도면의 간단한 설명]

제1도는 핵을 이용한 금지품 검출 시스템을 개략적으로 도시한 도면.

제2도는 14 MeV 중성자의 고정 빔과 수소, 탄소, 질소 및 산소로 이루어진 폭발물에서 방출된, 에너지가 1 MeV 보다 큰 독특한 감마선의 개략적 스펙트럼을 도시한 도면.

제3a도 내지 제3c도는 14 MeV 중성자 빔으로 조사된 각종 물질에서 얻어진 각각의 에너지 스펙트럼을 도시한 도면.

제4도는 본 발명의 일 실시예에 따라 금지품 검출 시스템에 포함될 수도 있는 주요 하드웨어 부품을 도시한 도면.

제5a도 및 제5b도는 본 발명의 핵을 이용한 검출 시스템의 기본 부품을 개략적으로 도시한 도면으로서, 상기 부품들은 고속 중성자의 비탄성 스캐터링에 기초한 감마선 분광기술을 이용하여 금지품을 포함했을 거라고 의심되는 물체를 검사하는데 사용되며, 제5a도는 폭이 협소한 집속기를 포함하고 있지 않은 실시예를 도시하고 있으며, 제5b도 집속기를 포함하고 있는 실시예를 도시한 도면.

제6도는 본 발명의 실시예에 사용된 데이터 흐름과 제어 동작의 실시예를 도시한 도면.

[본 발명의 상세한 설명]

본 발명의 설명을 보다 명확하게 하기 위해 편의상, 숨겨진 폭발물을 신속히 검출하는 실시예에 대해 설명한다. 그러나, 핵 분광 기술분야의 숙련자라면 본 발명에 서술된 장치 및 방법을 이용하여 다른 물질의 검출에도 용이하게 실행할 수 있음을 인식해야 한다. 예를 들어, 고속 중성자의 비탄성 스캐터링에 의해 특정의 방사 "신호"(예, 특징 조합, 농도 및/또는 원소 배열에 기인한 것)를 갖는 물질은 본 발명에 서술된 방법 및 장치를 사용하여 식별될 수 있다.

본 발명은 MeV 에너지의 고속 중성자가 목표물 핵의 저레벨에서 즉발 감마선 천이를 유도하는 현상에 근거를 두고 있다. 대응의 횡단면(cross section)은 상당히 크며, 예를 들어 ^{12}C, ^{14}N 및 ^{16}O의 경우 열중성자 에너지에서 중성자 방사성 포착횡단면(cross section)보다 크다. 그러나, 중성자 입사 에너지가 여기될 핵의 여기 에너지 레벨을 초과해야 하기 때문에, 중성자는 14MeV 중성자를 가진 ^{16}O 에서 감마선 천이 측정을 고려할 경우 예컨대 6.7 MeV 보다 훨씬 큰 에너지를 가져야 한다. 중성자 에너지가 너무 크게 증가하면 반응 채널수가 급격히 증가하기 때문에 비생산적이 되며, 이로 인해 필요한 횡단면(cross section)의 감소가 야기되며, 또한 불필요한 지연 방사능이 생성되는 부작용을 낳게 된다. 그러나, 실제로는 본 발명에 의해 실행된 감마선 분광 해석에서는 예를 들어 14 MeV 중성자를 압력빔으로 사용하는

것이 바람직하다. 다행히도, 쉽게 이용가능한 14 MeV 중성자 발생기가 존재하므로, 필요한 감마선이 충격 중성자 에너지로 양호하게 생성된다. 또한, 14 MeV 중성자와 핵과의 상호작용에 대해 평가된 상당량의 유용한 데이터가 존재하며, 이는 14 MeV 중성자와 함께 사용하는 경우 목표핵들의 밀도와 효율적인 생물학적 차폐에 대한 설계의 평가들을 쉽게 한다.

제 1 도에는 핵을 이용한 폭발물 검출 시스템(100)이 개략적으로 도시되어 있다. 상기 핵 폭발 검출 시스템은 중성자 빔(106)을 생성하는 중성자 발생기(이온 가속기) 소오스(102)를 포함한다. 중성자 발생기 소오스(102)는 중성자 빔(106)을 원하는 물체로 향하게 하는 집속기(104)나 이와 유사한 구조물을 포함할 수도 있다. 프로빙 중성자는 소화물(108) 내부에 있는 폭발물질(110)과 상호작용하여 감마선을 방출한다. 감마선의 갯수와 에너지는 검출기(114)에서 측정된다.

수소(H), 탄소(C), 산소(O) 및 질소(N)와 같은 주목 받는 원소는 측정 스펙트럼의 특정위치에서 에너지 피크 스펙트럼으로 나타낸다. 적절한 프로세싱 회로를 사용함으로써 상술한 에너지 피크의 존재여부가 컴퓨터(116)에 의해 모니터된다. 상술한 원소에 대한 신호가 수화물의 적어도 일부분이나 수화물(108)의 "복셀(voxel)"에서 발견되었다면, 이는 폭발물이 수화물의 복셀에 존재한다는 것을 의미한다. 이 경우에, 경보(118)가 울리게 된다. 이러한 경보(오디오 또는 비디오)는 폭발 물질(110)이 수화물(108)속에 존재할 수 있음을 작동자에게 알려주는 것이다.

감마선 스펙트럼의 적절한 감시 및 처리에 의해 경보 작동이 결정되는 것처럼, 상술한 원소들의 특정한 조합 및 밀도가 존재하는 경우에만 경보를 울리게 함으로써, 폭발 물질의 검출확률(probability of detection: PD)이 높아지는 동시에 오경보율(probability of false alarm: PFA)을 낮게 유지할 수 있다.

상술한 설명(제 1 도와 관련하여 기재된 설명)은 물론 매우 간단하다. 그러나, 본 발명은 밀폐된 물체내에서 폭발물과 같은 특정한 형태의 금지품을 비침투적으로 검출하는 방식으로 감마선 분광기법(spectroscopy)과는 무관하다는 것을 알 수 있다.

감마선 분광 기법(spectroscopy)과 관계가 있는 경우에 대해 제 2 도를 참조로 설명한다. 제 2 도에는 14 MeV 중성자의 정적 빔(steady beam)으로 수소, 탄소, 질소 및 산소의 충격에 의해 방출되는 1 MeV 보다 큰 에너지를 갖는 감마선에 대한 스펙트럼이 개략적으로 도시되어 있다. 지정된 감마선의 생성에 대한 원자핵의 단면적은 10^{-27} cm^2(밀리바)의 로그 단위(logarithm scale)로 도시되어 있다[원자 핵의 횡단면에 대한 개념은 핵 분광학 숙련자라면 용이하게 이해할 수 있을 것이며, Active Nondestructive Assay of Nuclear Materials, Supra 라는 문헌의 36-40 페이지에 상세히 서술되어 있다). 스펙트럼선[1, 3, 6, 8(일부), 9, 11, 13]은 질소에 관련된 것이며, 스펙트럼선(4, 5, 7, 10, 12 및 14)은 산소에 관련된 것이고, 스펙트럼선(8)은 탄소에 관련된 것이다. 또한, 스펙트럼선(2)은 수소에 관련된 것으로, 이 선은 수소에 의한 중성자의 방사능 포착에 기인한 것이다(주의, 이러한 특정선의 강도는 제 2 도에서 임의로 설정되었다).

제 2 도에 도시된 정보 판독 방식을 이해하는데는, 핵의 상호작용을 발생시키고 해당 측정을 수행하는 방식을 기본적으로 이해하는 것이 도움이 된다. 이러한 상호작용과 측정기술은 크놀 지 .에프가 저술한 Active Nondestructive Assay of Nuclear Naterials, Principles and Application 와 죤 윌리 앤 선즈가 1979년에 저술한 Radiation Detection and Measurement 라는 문헌에 서술되어 있다. 중성자가 소정의 물질, 예를 들어 질소에 들어갈 때는 목표핵의 횡단면과 중성자 에너지에 따라 원자핵과 충돌할 가능성이 있다. 감마선은 소정량의 에너지가 목표핵에 전달될 때에만 방출된다. 이러한 감마선을 흡수하고 이들의 에너지를 측정하기 위해 적절한 검출기가 설치될 수 있다. 상호작용이 발생할 가능성과, 이에 따른 감마선 방출 가능성은 중성자의 유속량으로 인해 상당히 증가한다.

따라서, 제 2 도에 있어서 굵은 스펙트럼선(예를 들어 2, 3, 8, 9 및 10)은, 표시된 단면적을 갖는 식별 원소가 14 MeV 중성자로 타격될 때 표시된 에너지를 갖는 감마선이 발생할 가능성이 높다는 사실을 의미한다. 가는 스펙트럼선들(예를 들어 1, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13 및 14)은 표시된 에너지 레벨에서 감마선이 발생(빈번하게 발생되지는 않는다)될 수 있음을 표시하는 것이다. 다시 말해, 14 MeV 중성자로 조사되었을 때 수소, 탄소, 질소 및 산소로부터 방출된 대부분의 감마선들은 굵은 스펙트럼선(2, 3, 8, 9, 10)으로 나타나지만, 선(1, 4, 5, 6, 6, 7, 11, 12, 13, 14)은 보다 가늘게 나타나거나 기술적인 문제로 인하여 측정불가능하게 된다.

제 2 도는 이상적인 측정 장비와 조건을 가정하여 측정된 탄소, 수소, 질소 및 산소로부터 방출된 감마선의 스펙트럼을 개략적으로 도시한 반면, 제 3a 도 내지 제 3c 도는 수소, 질소, 탄소 및 산소의 조합을 포함하는 샘플이 14 MeV 중성자로 조사될 때 비이상적인 장비와 조건하에서 측정된 실제 감마선 스펙트럼을 도시하고 있다. 제 3a 도 내지 제 3c 도에 도시된 스펙트럼의 수직축은 "계수(count)"로 측정되었으며, 하나의 계수는 수평축상에 표시된 특정 에너지의 펄스 검출(신티레이터에서 감마선 상호작용에 기인함)을 나타낸다. 이러한 특징들은 다른 형태의 금지품에 대한 "신호"를 식별할 수 있는 본 발명의 장점을 나타내는데 유용하게 사용된다(여기서, 물질에 대한 "신호"는 고속 중성자로 조사되었을 때 물질에 의해 방출된, 예를 들어 감마선과 같은 방사선 에너지와 강도 및 특정 형태를 포함한다). 또한, 이러한 특징들은 스펙트럼에 나타나는 배경 또는 기기 잡음에 기인한 특정 신호의 인식에 따른 어려움을 나타내고 있다.

제 4 도는 본 발명의 일 실시예에 따라 금지품 검출 시스템에 포함된 주요하드웨어 소자들을 개략적으로 도시하고 있다. 고속 중성자 소오스(130)는 중성자빔(132)을 물체(134) 쪽으로 보내, 그 물체 속의 내용물이 검사되게 한다. 양호한 실시예에서, 집속기(136)는 빔이 물체(134)에 충돌하는 지점에서 필요로 하는 단면형태가 형성되도록 중성자 빔(132)의 모양을 만든다. 제 4 도에 도시된 바와 같이 예를 들어, 빔(132)의 단면 형태는 빔이 물체에 충돌하는 지점에서 폭이 좁은 사각형(138)으로 형성된다.

물체(134)는 컨베이어 벨트(140)나 이와 유사한 화물 운반기구상의 차폐챔버(135)내에서 빔(132)을 통과한다. 상기 컨베이어 벨트는 모터(142)에 의해 연속적으로 또는 불연속적으로 구동된다. 상기 컨베이어 벨트(140)는 물체(134)를 종래의 X선 시스템(150)으로 이동시키고, 상기 X선 시스템(150)은 X선

소오스(152)와 대응의 검출기(도시 생략)를 이용해서 물체와 그 내용물에 대한 일반적인 전자 밀도 영상을 생성한다.

X선 시스템(150)은 본 발명의 핵부분[예를 들어 차폐챔버(135)]과는 분리된 별도의 시스템으로 도시되어 있다. 본 발명의 특정 실시예는 동일한 물리적 하우징내에 본 발명의 핵부분과 X선 부분을 포함할 수도 있다.

감마선 검출기의 배열부(array)(144)는 물체가 차폐 챔버(135) 내에서 중성자 빔에 조사되도록 물체(134) 주변에서 선택적으로 위치될 수 있다. 일 실시예에 있어서, 이러한 배열부는 제 4 도에 도시된 바와 같이 물체가 조사될 때 물체의 3면을 둘러싸는 C 링을 형성한다[제 4 도에서는 C 링 검출기 배열부(144)의 상부만 보인다]. 제 5b 도는 다른 실시예로서 조사될 샘플의 "전방"과 "후방"에 배치된 바아(bar)를 형성하는 검출기 배열을 이용하고 있다. 또 다른 실시예는 물체가 조사될 때 그 물체를 완전히 둘러싸는 링을 포함하는 검출기 배열부를 이용한다. 감마선 검출기 배열부(144)이외에, 적어도 하나의 중성자 검출기(146)가 중성자 소오스(130)와 정렬되어 물체(134)의 뒤쪽에 놓인다. 따라서, 상기 중성자 검출기(146)는 간섭성 원자핵과 실제로 상호작용하지않고 차폐챔버(135)와 물체(134)를 통과하는 중성자를 주로 검출한다.

적당한 제어 회로(148)는 상술한 소자들과 결합하게 된다. 그리고 제어회로들은 컴퓨터(154)에 의해 모니터되거나 구동된다. 컴퓨터(154)는 키보드(156)와 같은 입/출력 장치와, 터미날 표시 스크린(158) 및 프린터(도시않음)를 포함한다. 필요하다면, 여러 금지품 검출에 관련한 시스템의 고속처리 능력 및 신뢰성을 보장하는데 필요한 경험적 데이터를 수집 및/또는 검색 또는 추적하는 시스템의 작동을 촉진시키기 위해, 비휘발성 메모리(예, 디스크 또는 테이프 메모리)와 같은 추가장치(160)가 컴퓨터(154)에 제공될 수도 있다. 예를 들어, 주 컴퓨터(154)에 결합될 수도 있는 이러한 추가장치(160)중 하나는 검출 장비를 작동시키는 사람과 결합하도록된 보조 컴퓨터를 들 수 있다.

작동시, 물체(134)가 빔을 통과할 때는 그 일부나 어떤 한 부분이 빔(132)에 조사된다. 조사된 물체의 일부에서 중성자와 원자핵간의 상호작용으로 인해 발생된 감마선은 감마선 검출기 배열부(144)에서 검출된다. 챔버(135)와 물체(134)를 통과하는 중성자의 강도는 중성자 검출기(146)에 의해 측정된다. 배열부내의 검출기에 의해 검출된 지정된 에너지의 감마선의 갯수는 조사된 물체의 복셀에 존재하는 특정 원소의 량을 나타낸다. 물체를 통과한 중성자 수(중성자 유속량)를 고려하고 모든 검출기로부터의 정보들을 조합하므로써, 조사된 물체내의 특정 원소에 대한 공간 분포 및 밀도 분포를 얻을 수 있다(상술한 "공간" 분포란 한정된 공간에서 존재하는 특정 원소의 위치를 말하며, "밀도" 분포란 주어진 공간내에 존재하는 특정 원소의 량을 의미한다). 이러한 공간 정보 및 밀도 정보는 유도될 물체의 구성 원소(핵)에 대한 3차원 공간 및 밀도 영상을 가능하게 한다. 얻어진 핵의 공간 및 밀도 정보는 X선 시스템(150)으로부터 획득한 전자 밀도 정보와 조합되므로써 더욱 보강된다. 이처럼 조합된 공간 정보 및 밀도 정보가 금지품이 존재한 것을 암시하게 되면, 물체는 정밀 검사를 위한 신호를 받게 된다(예, 수동조사를 위해 컨베이어 벨트에서 내려진다).

제 4 도에 도시된 바와 같이, 중성자 빔(132)은 집속기(136)에 의해 검사될 물체(134)를 향하게 된다. 상기 집속기(136)는 종래 형태의 것으로서, 감마선 검출기에 부딪힌 중성자 플럭스를 감소시키고 필요로 하는 빔 횡단면 선단부를 보장하는 밀도를 갖는 흡수부와 중성자 산란부로 구성된다. 따라서, 집속기의 갭은 검사 물체의 공지의 구간이나 체적 성분에 충돌되는 협소한 팬 형 형태의 중성자 빔 소오스를 형성한다. 집속기(136)를 몇 개 사용하면 펜 모양의 중성자 빔 세트를 발생시킬 수 있으므로, 필요할 경우 독립적인 조사 스테이션 구축을 촉진시킬 수 있으며 중성자 소오스의 경제성도 향상시킬 수 있다. 또한, 성형화된 빔을 원하는 구간이나 물체의 복셀에만 향하게 함으로서, 물체 전체에 무제한으로 빔을 조사하는 경우보다 구간 또는 복셀 전체에 걸쳐 중성자 조사를 보다 균일하게 유지할 수 있다.

제 5a 도와 제 5b 도는 본 발명의 핵이용부분에 사용된 기본 부품들을 도시하고 있다. 제 5b 도의 실시예는 중성자 빔 집속기(136)를 포함하고 있지만, 제 5a 도의 실시예는 집속기가 제공되어 있지 않다. 후자의 경우 공간 정의는 전자보다 더 우수하지만 보다 약한 중성자 소오스를 필요로 한다. 이러한 차이점 이외에는 두 실시예는 본질적으로 동일하므로 묶어서 설명될 것이다. 제 5a 도와 제 5b 도는 제 4 도와 동일한 도면부호가 부여되었다.

제 5a 도와 제 5b 도에 있어서, 중성자 소오스(130)는 생물학적 차폐부(172)로 둘러싸인 고속 중성자 발생기(170)를 포함한다. 중성자 소오스는 상용가능한 몇몇 고속 중성자 발생기 예를 들어, 카만 뉴클리어에 의해 제조된 모델 A711 발생기와 같은 D + T(중수소+트리튬) 발생기, 소던에 의해 제조된 TN46 또는 TN26 중성자 발생기 또는 D+D(디트륨+디트륨) 발생기, D+Be(디트륨+베릴륨) 발생기 또는 H+Li(경수소+리튬) 발생기와 같은 다른 적당한 중성자 발생기중 하나일 수도 있다. 생물학적 차폐부(172)는 잠재적으로 해로울 수도 있는 방사선으로부터 작동자를 보호하는데 사용된다. 이는 핵기술에서 차폐용으로 사용되는 공지의 적절한 일부 물질 즉, 붕소 밀랍, 폴리에틸렌 중금속(예, 납, 비스무스 또는 텅스텐)과 같은 몇몇 물질로 이루어진 합성물질로 제조될 수도 있다.

상술한 바와 같이, 사용시 집속기(136)(제 5b 도)는 중성자 빔(132)을 원하는 횡단면 형태로 형성한다. 이것은 필요한 물체의 용적(138)(빗금친 부분)에 대한 조사를 보장하는 펜 모양(제 5a 도 및 제 5b 도에 도시되지 않음)이 바람직하다. 집속기가 사용되지 않은 경우(제 5a 도)에도, 차폐부(172)는 예측가능한 일부 용적구간(138')을 형성하기 위해 물체(134)의 전방 조사 영역을 계속 제한한다. 물결모양 화살표(174)는 물체(134)의 조사된 용적(138)내의 한 점(176)에서 중성자 상호 작용으로 인해 발생된 감마선 통로를 나타낸다.

제 5a 도와 제 5b 도에 개략적으로 도시된 다수의 검출기(178, 179, 180, 181)는 본 발명에 사용된 검출기 배열부(144)에 포함될 수도 있다. 양호한 실시예에 있어서, 이러한 검출기들은 검사중인 물체(134)를 둘러싸는 감마선 신틸레이션 검출기이다. 상기 검출기(178, 181)는 2개의 C 형 링을 형성하도록 적층되거나 2개의 0형 링을 형성하도록 적층되며(도면에 도시되지 않음), 이 경우 검출기(178, 180)는 검출기(179, 181)와 마찬가지로 0 형 링에 포함된다. 상기 각각의 검출기(179 내지 181)는 적절한 검출

기 차폐부(182)로 둘러싸인다. 선택적으로, 검출기 배열부는 예를 들어 물체 뒤에서 직선형 바아의 형태를 취한다. 또한, 방사능 때문에 생물학적 차폐부가 부가적으로 제공되어 설비 전체를 차폐할 수도 있다.

제 4 도와 제 5a 도 및 제 5b 도에 도시된 바와 같이, 고속 중성자로 물체(134)를 조사한 결과 발생되는 즉발 감마선은 감마선 검출기에 의해 측정된다. 폭발물 검출에 관한 본 발명의 일실시예에서는 신틸레이터가 감마선 검출기로 사용된다. 예를 들어, 감마선을 검출하는데 사용될 수도 있는 신틸레이터중 한가지 형태는 나트륨 요오드(NaI(T1)) 또는 비스무스 게르마네이트(BGO)와 같은 무기물 신틸레이터이다. 이러한 신틸레이터 검출기는 표 1과 제 2 도에 도시된 바와 같이 폭발물을 표시하는 감마선 측정시 만족스러운 스펙트럼 분해능을 제공한다. 비탄성 조건하에서 14 MeV 중성자로 수행되는 실험에서 본 발명의 출원인이 알아낸 사실에 따르면 스펙트럼선들 즉, 폭발물 구성 원소에 대한 신호를 포함하는 스펙트럼선(2, 3, 8, 9 및 10)은 스펙트럼선(2, 3, 8, 9, 10)을 포함한다(제 2 도).

본 발명의 주요한 특징은 제어회로(148)와 컴퓨터(154)(제 4 도)에 내장되어 관심있는 금지품의 지정된 구성 원소에 대한 밀도 분포를 3차원 영상을 생성하는 프로세싱 회로의 성능에 있다. 예를 들어, 금지품이 폭발물인 경우, 물체(134)에 담겨진 폭발물 구성 원소(H, C, N 및 O)에 대한 3차원(3D) 영상이 얻어진다. 이러한 분포는 조사된 물체(134)의 기하학적으로 양호하게 형성된 소규모 용적 성분인 복셀(volume elements: voxels)에서 발생하는 감마선의 측정값으로부터 얻어진다. 상기 3D 맵핀은 미세한 크기의 신틸레이션 수정(crystal)에 대한 공지의 입체각과 검출 효율의 효과를 활용하므로써, 즉, 수정의 크기 및 형태, 수정의 위치와 복셀의 비율, 중성자 빔 집속기의 개구 간격, 및 완벽하고 균일한 검사를 보장하는데 이용되는 중성자 빔에 대한 물체의 단계적 이동 또는 연속 이동을 적절히 선택하므로써 얻어진다.

핵 기술분야의 숙련자에게 공지된 바와 같이, 신틸레이터는 고에너지 방사선 예를 들어, 감마선들의 상호작용시 가시 범위내에서 그리고 가시 범위에 인접 범위로 에너지가 낮은 광자를 방출할 수 있는 물질이다. NaI와 같은 무기성 신틸레이터 수정이 사용된 경우에는, 수정에 감마선이 충돌했을 때 희미한 가시광이 발생된다. 이러한 광은 광전 배증관에 의해 전기 펄스로 변환된다. 이러한 펄스의 전압은 감마선의 에너지에 정비례한다. 따라서, 본 발명의 신틸레이터 검출기 배열부와 함께 사용되는 프로세싱 회로는 펄스와 감마선들을 계수할 수 있어야 한다. 이러한 작업을 실행할 경우, 특히 개수율이 높은 경우에는 몇가지 문제점이 야기된다. 이러한 문제점과 이에 대한 해결책은 IEEE, Proceedings of Nuclear Science(1988년 2월)에 "A Signal Processor for High Counting Rate Camma Ray Spectroscopy with NaI(T1) Detectors" 라는 명칭의 논문에 기술되어 있다.

상술한 논문에서 기재된 바와 같은 펄스 처리 회로를 사용하면 10^5 Hz 보다 큰 계수율이 사용될 수 있다. 이와 같이 계수율이 크면, 물체에 대한 원소 분석을 즉시 실행할 수 있으므로, 금지품 검출시스템의 처리능력을 고속으로 적절히 유지할 수 있다.

본 발명의 또 다른 특징은 검출기 배열부(144)에 포함된 감마선 검출기 이외에도 1개 이상의 중성자 검출기(146)를 포함한다는 것이다. 이러한 중성자 검출기를 사용하므로써 검출기 위치에서 고속 중성자의 플럭스량을 측정할 수 있다. 따라서, 중성자 플럭스량은 중성자가 지나간 물질의 원자핵 밀도값을 나타낸다. 조사된 물체의 모든 복셀에 대한 밀도 정보를 조합하면 중성자 방사선 사진술의 작동시 통상적으로 실행되는 것처럼 물체의 핵 밀도에 대한 3차원 형상이 이루어진다. 이 중성자 방사선 영상은 감마선 검출기에서 얻어진 물체의 구성 원소 밀도에 대한 3차원 영상과 결합될 수도 있다. 이러한 영상들이 종래의 X선 시스템(150)에서 얻어진 2차원 전자 밀도 영상과 결합되었을 때, 금지품이 아닌 물질에 오경보가 발생되지 않고 특정 금지품에 대한 검출 확률이 대폭적으로 증가된다.

본 발명의 일실시예에 따르면, 검사될 이동 물체(134)는 물체가 조사 캐비티(135)를 "일방통행(once-through-pass)할 때 검사된다. 다른 실시예에 있어서, 물체(134)는 서로 교환되는 상부측 통로와 하부측 사이에서 이동되면서 조사되는 이중 조사 방식으로 검사될 수도 있다.

제 4 도에 도시된 바와 같이, 본 발명은 물체를 조사하고 그에 따른 방사선을 분석하여 구성 원소와 그 분포를 결정하기 위해 다양한 전자 센서와 제어부 및 프로세싱 회로(148)을 사용하고 있다. 이러한 제어부 및 프로세싱 회로와 결합된 컴퓨터(154)의 소프트웨어의 구성을 설명하기 위해, 제 6 도를 참조하는데, 제 6 도에는 본 발명의 일실시예에 사용된 데이터의 흐름 및 제어에 대한 실시예가 도시되어 있다.

중앙 처리 장치(CPU) 모듈(190)은 금지품 검출 시스템의 중심부에 위치된다. 검출기와 센서로부터의 유효신호가 수신되었을 때, CPU 모듈(190)은 상기 검출기 및 센서로부터의 데이터에 대한 분석을 실행하거나 제어한다. 그리고, 그 결과는 모듈(192)에 전달되고, 모듈은 데이터를 결합하고 결정을 내린다. 결정을 내리기 위해, 모듈(192)은 통계학적 식별 분석 방법 또는 전자 신경망과 같은 인공 신경망 시스템(artificial neural system: ANS)을 사용한다. 상기 CPU 모듈(190)은 서브 시스템 즉, 194-199 모듈을 제어하는 신호를 추가로 발생한다.

제 6 도의 모듈(194)은 감마선 검출기 예를 들어 검출기(178-181)(제 5a 도와 제 5b 도)를 나타내며, 감마선 검출기에서 나온 전기적 신호를 처리하는 회로와 이러한 검출기들의 전기적 세팅을 조절하고 감시하는 여러 제어 회로들을 포함하고 있다.

모듈(195)은 검사중인 물체의 중성자 방사선 사진 분석을 실행하는데 이용되는, 중성자 검출기(146)(제 4 도, 제 5a 도 및 제 5b 도)와 같은 표준 또는 위치 감지성 중성자 검출기에 결합된 제어부를 포함하고 있는 회로를 나타낸다.

모듈(196)은 작동기와 본 발명과 함께 사용되는 제어 장치나 기계식 장치를 나타내는 것으로서, 예를 들어 컨베이어 벨트 구동 모터(142), 변환기 및 안전 도어를 들 수 있다. 상기 변환기는 지정된 금지품을 포함하고 있다는 판정이 내려진 물체를 컨베이어 벨트에서 내려놓는데 사용된다. 안전 도어는 조사룸(room)으로부터 누출될 수도 있는 방사선으로부터 작동자를 보호하는데 사용된다.

모듈(197)은 중성자 발생기(130)와, 상기 중성자 발생기(130)의 동작 제어에 사용되는 여러 제어 회로들을 나타낸다.

모듈(198)은 시스템이 작동자에게 안전하다는 것과 조사된 품목에 유도된 방사능이 상술한 레벨을 초과하지 않는다는 것을 보장하기 위해 시스템 성능을 제어하는 방사능 제어부를 나타낸다.

모듈(199)은 제 4 도에 도시된 X선 시스템(150)과 같은 종래의 X선 서브시스템을 나타내며, 이는 물체의 전자 밀도 분포에 대한 디지탈 영상을 제공한다.

모듈(192)은 검사중인 물체의 내용물에 대한 특성을 고려한 최종데이타 분석과 판정을 제공하는 소프트웨어를 포함한다. 이 모듈은 H, 12C, 14N 및 160 핵 분포에 대한 3D 영상을 쉽게 구성하고, 이러한 핵 밀도 분포를 X선 서브시스템 모듈(199)로 얻어진 전자 밀도맵과 중성자 방사선 사진 검출기(195)로 얻어진 방사선 사진으로 쉽게 처리한다. 또한, 상기 모듈(192)은 사용자가 시스템과 상호작용하여 상황 표시를 위한 수단과 이력(history) 기록 화일을 갱신하는 수단을 제공한다.

본 발명은 CPU 모듈(190)이나 데이터 평가 모듈(192) 또는 제 6 도에 도시된 다른 모듈내에 다수의 프로세서를 포함할 수도 있고, 이러한 다수의 프로세서를 병렬로 동작하도록 설계되었으므로, 주어진 물체의 분석에 필요한 처리시간을 상당히 감축시킬 수 있다. 따라서, 처리시간이 감축되기 때문에, 물체의 금지품 검출 시스템 통과 속도("처리량"속도)가 더욱 빨라진다.

또한, 프로세서를 병렬로 사용하면 상술한 모듈의 일부 기능들은 결합되거나 생략되며, 데이터와 제어부는 재순환 되거나 삭제된다. 따라서, 제 6 도에 도시된 시스템 구성 다이아그램이 본 발명의 일실시예의 데이터 및 제어 계획만을 필요로 하는 것은 아니며, 마찬가지로 다른 여러 실시예도 본 기술분야의 숙련자에 의해 쉽게 형성될 수 있음을 인식해야 한다.

상술한 바와 같이, 본 발명의 금지품 검출시스템은 폐쇄된 물체속에 폭발물과 같은 숨겨진 금지품의 존재를 정확하고 신속하게 결정하는, 핵을 이용한 비침투성 검출 시스템을 제공한다. 특히, 상술한 실시예의 경우, 검출 시스템은 수소, 산소, 탄소 또는 질소, 또는 기타 다른 원소(예, 염소)중 하나 이상의 원소가 존재한다는 것을 정확하게 식별하고; 또한 물체가 검사받을 동안 상술한 원소의 밀도분포에 대한 3차원 영상을 제공하거나 상술한 원소의 공간 분포와 밀도 분포에 대한 정보를 제공한다. 이와 같은 영상은 물체내에 존재하는 금지품의 모양에 관계없이 금지품을 검출해낼 수 있게 한다. 시스템내에 종래의 X선 시스템 뿐만 아니라 감마선 검출기와 중성자 검출기가 포함되므로써, 시스템은 지정된 금지품의 검출확률을 높이고 동시에 낮은 오경보율을 보장하며, 물체의 다량으로 처리할 수 있다. 이러한 시스템은 그 동작이 쉽고 안전하며, 검사 물체와 작동자 및 환경에 악영향을 끼치지 않는다.

본 발명은 양호한 실시예를 참조로 서술되었기에 이에 한정되지 않으며, 본 기술분야의 숙련자라면 첨부된 청구범위로부터의 일탈없이 본 발명에 다양한 변형과 수정이 가해질 수 있음을 인식해야 한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

검사중인 물체 속의 금지품 검출 방법에 있어서, 고속 중성자의 펄스형 빔을 발생하는 단계와, 검사중인 물체(134)를 상기 고속 중성자(130, 136, 132)의 펄스형 빔으로 조사하는 단계와, 상기 물체(134)에 포함된 3개 이상의 원소(144, 148, 154, 160, 190, 192)들의 원자핵의 3차원 공간 분포 및 밀도 분포를 결정하기 위해 감마선 스펙트럼의 스펙트럼선을 측정하는 단계와, 3차원 공간 분포 및 밀도 분포를 3차원 영상(148, 154, 160, 190, 192)으로 해상하는 단계와, 측정된 상기 물체(134)내 3개 이상의 원소(154, 160, 190, 192)들의 원자핵의 3차원 공간 분포 및 밀도 분포와 3차원 영상을 금지품에 특징적인 3개 이상의 원소들에 대한 원자핵의 기지의 공간 분포 및 밀도분포를 상호 비교하는 단계와, 상기 비교 단계에서의 비교 결과가 일치했을 때 금지품이 상기 물체(134)내에 존재하는 것으로 판정하는 단계를 포함하며, 상기 고속 중성자는 물체(134)내의 원자핵과 상호작용하여 상기 물체(134)에 포함된 3개 이상의 원소의 특징적 스펙트럼선을 갖는 감마선 스펙트럼을 발생하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 감마선 스펙트럼(144, 148, 154, 160, 190, 192)의 스펙트럼선 측정 단계는 상기 측정된 감마선 스펙트럼선을 포함하는 감마선을 발생하는 원소의 물체내 위치를 결정하는 단계와, 이것으로부터 상기 물체에 포함된 원소들의 원자핵의 공간 분포 및 밀도 분포를 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 고속 중성자의 펄스형 빔을 물체에 조사하기 전에 필요한 단면 형상으로 집속하는 단계를 부가로 포함하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 스펙트럼선을 측정하는 단계는 수소, 탄소, 질소 및 산소중 적어도 한 원소의 존재에 기인한 적어도 하나의 스펙트럼선 존재 여부를 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 물체(134)내에 존재하는 염소에 기인한 스펙트럼선 존재 여부를 결정하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 방법.

청구항 6

검사중인 물체(134)내의 금지품을 비침투성으로 검출하기 위한 검출 장치에 있어서, 펄스형 고속 중성자 발생 수단과, 물체를 상기 고속 중성자 빔으로 조사하는 수단(130, 132, 136)과, 3개 이상의 원소의 원자핵에 대한 3차원 공간 분포 및 밀도분포를 결정하기 위해 상기 감마선 스펙트럼의 스펙트럼선을 측정하는 수단(144, 148, 154, 160, 190, 192)과, 3차원 공간 분포 및 밀도 분포로부터 3차원 영상을 생성하기 위한 수단(148, 154, 160, 190, 192)과, 원자핵의 3차원 공간 분포 및 밀도 분포와 3차원 영상이 금지품에 대응하는 지의 여부를 결정하는 수단을 포함하며, 상기 고속 중성자 빔과 물체내의 원자핵과의 상호작용은 물체내에 포함된 금지품을 나타내는 3개 이상의 원소에 대한 독특한 신호를 포함하는 감마선 스펙트럼을 발생하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 스펙트럼선 측정 수단(144, 148, 154, 160, 190, 192)은 물체로부터 방출된 감마선을 검출하기 위해 물체(134)에 대해 선택적으로 배치된 다수의 감마선 검출기를 포함하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

청구항 8

제7항에 있어서, 각각의 검출기(144)에 의해 검출된 다수의 감마선이 결합해서 상기 물체(134)에 포함된 원자핵 분포의 3차원 맵을 제공하도록, 상기 다수의 감마선 검출기(144)가 상기 물체에 대하여 배치되는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 고속 중성자를 필요한 형태의 빔(132)으로 집속하는 수단(136)과, 상기 물체중 원하는 부분만이 소정 시간동안 빔으로 조사되도록 집속된 빔의 전방부에서 조사된 물체를 제어가능하게 이동하는 수단(140)을 부가로 포함하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 집속 수단(136)은 펄스형의 고속 중성자 빔을 직사각형 단면의 팬 빔(132)에 집속하며, 상기 직사각형 단면의 1차원은 넓고 2차원은 좁으므로, 상기 팬 빔(132)은 물체(134)가 빔(132)의 전방부에서 이동할 때 물체의 좁은 부분을 조사하며, 조사된 물체의 일부분에 포함된 원자핵 분포에 대한 3차원 맵을 제공하기 위해 임의의 순간에 각각의 검출기(144)에 의해 검출된 다수의 감마선은 서로 결합되는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

청구항 11

제9항에 있어서, 원자 핵과 상호작용하지 않고서도 상기 조사된 물체(134)의 일부분을 통과하는 펄스형 고속 중성자를 검출하기 위해, 상기 물체 뒤쪽에 위치된 중성자 검출기(146)를 부가로 포함하며, 다수의 펄스형 고속 중성자는 조사된 물체(134)의 일부분내에서 원자핵 분산에 대한 부가적 측정을 제공하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

청구항 12

제8항에 있어서, 상기 스펙트럼선 측정 수단은 금지품의 3개 이상의 원소 특성이 상기 물체(134)내에 존재한다는 것을 증명하는 스펙트럼선을 측정하며, 상기 3개 이상의 원소는 수소, 탄소, 질소 및 산소를 포함하는 집단에 속하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

청구항 13

제12항에 있어서, 검사중인 물체(134)의 전자 밀도 맵을 발생하는 수단(152, 150, 148)을 부가로 포함하며, 상기 전자 밀도 맵과 원자 핵 분포 맵은 물체내의 금지품 존재여부를 결정하는 결정수단(148, 154, 160)에 정보를 제공하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 결정 수단(148, 154, 160)은 핵분포 맵과 검사중인 물체로부터 얻어진 전자 밀도 맵을 상기 금지품에 대한 기지의 맵과 자동적으로 비교하고, 비교결과가 일치할 때마다 표식을 제공하는 전자 처리수단(154, 160, 190, 192)을 구비하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

청구항 15

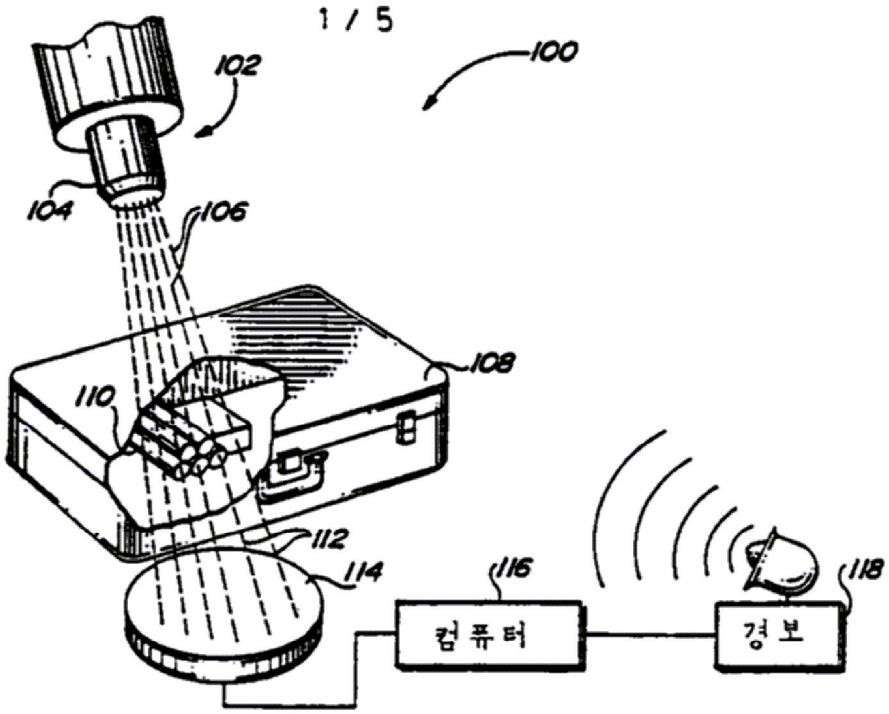
제14항에 있어서, 상기 전자 처리수단(154, 160, 190, 192)은 금지품의 핵분포 맵 및 전자 밀도 맵을 비금지품의 핵분포 맵 및 전자 밀도 맵과 구분하는 전자 신경망을 포함하는 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

청구항 16

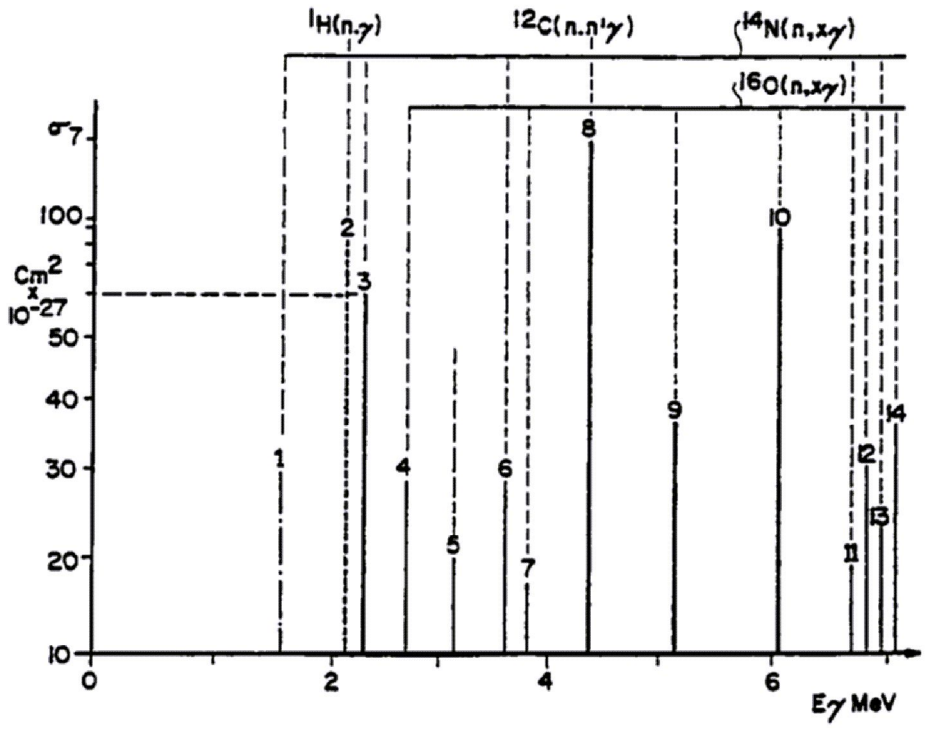
제15항에 있어서, 상기 검사중인 물체(134)는 항공기 수화물을 포함하며, 검출되는 금지품은 폭발물인 것을 특징으로 하는 금지품 검출 장치.

도면

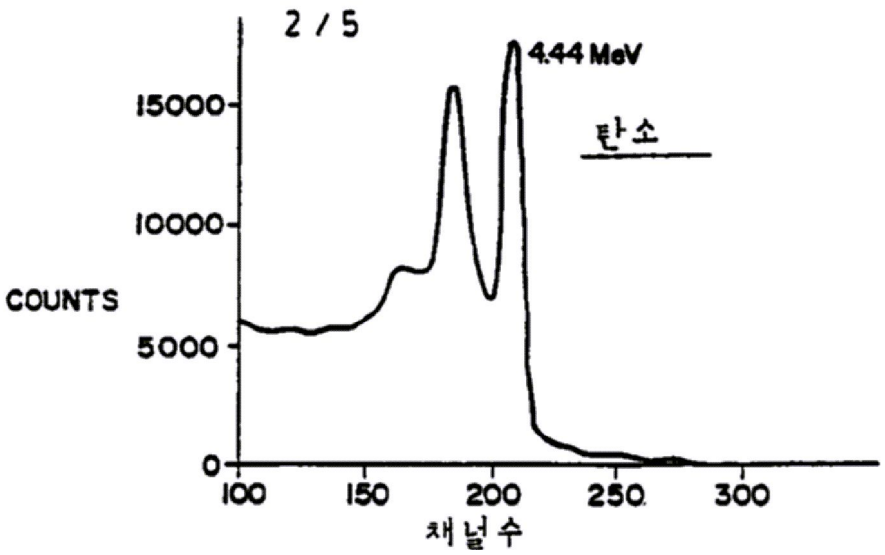
도면1


1 / 5
100
102
104
106
108
110
112
114
116
118
컴퓨터
경보

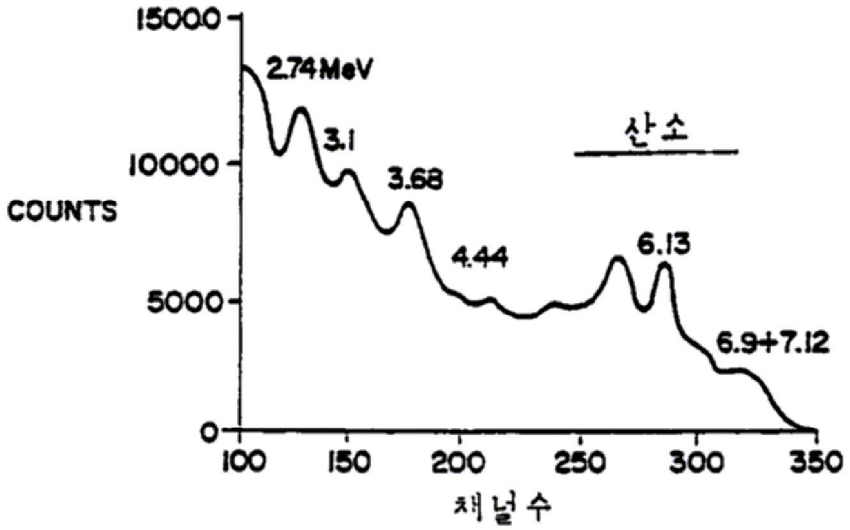
도면2


1H(n,γ)
12C(n,n'γ)
14N(n,xγ)
16O(n,xγ)
σγ
100
Cm2 x 10-27
50
40
30
20
10
0
2
4
6
Eγ MeV
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14

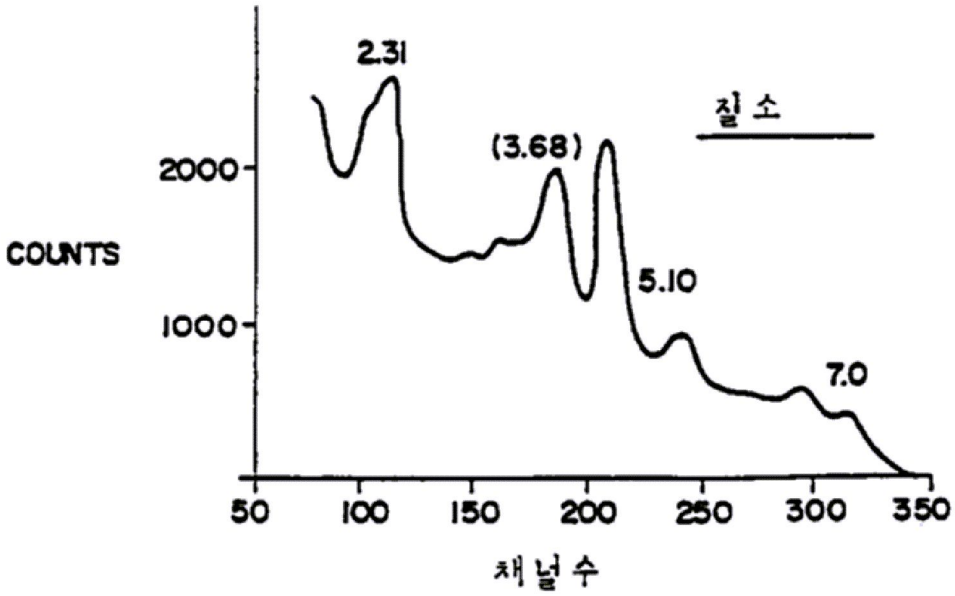
도면3a


2 / 5
4.44 MeV
탄소
15000
10000
5000
0
COUNTS
100
150
200
250
300
채널수

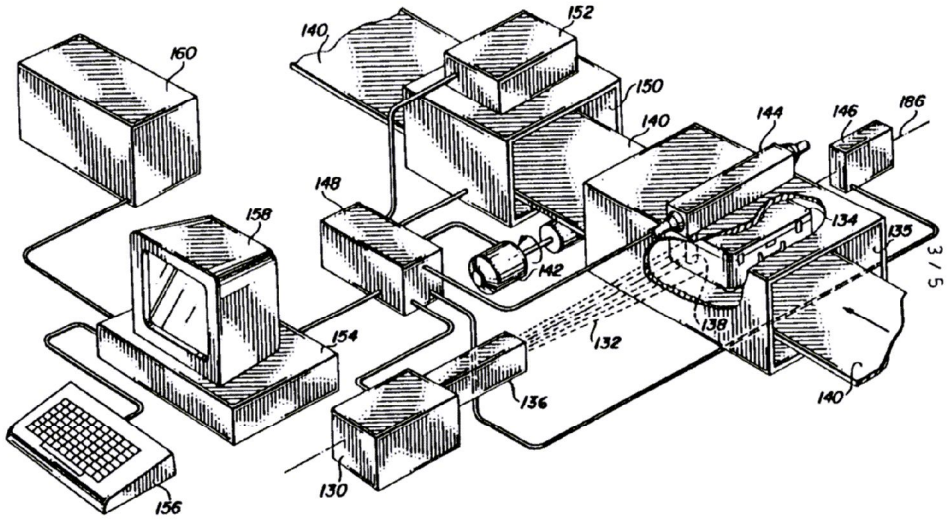
도면3b


15000
10000
5000
0
COUNTS
2.74 MeV
3.1
3.68
4.44
6.13
6.9+7.12
산소
100
150
200
250
300
350
채널수

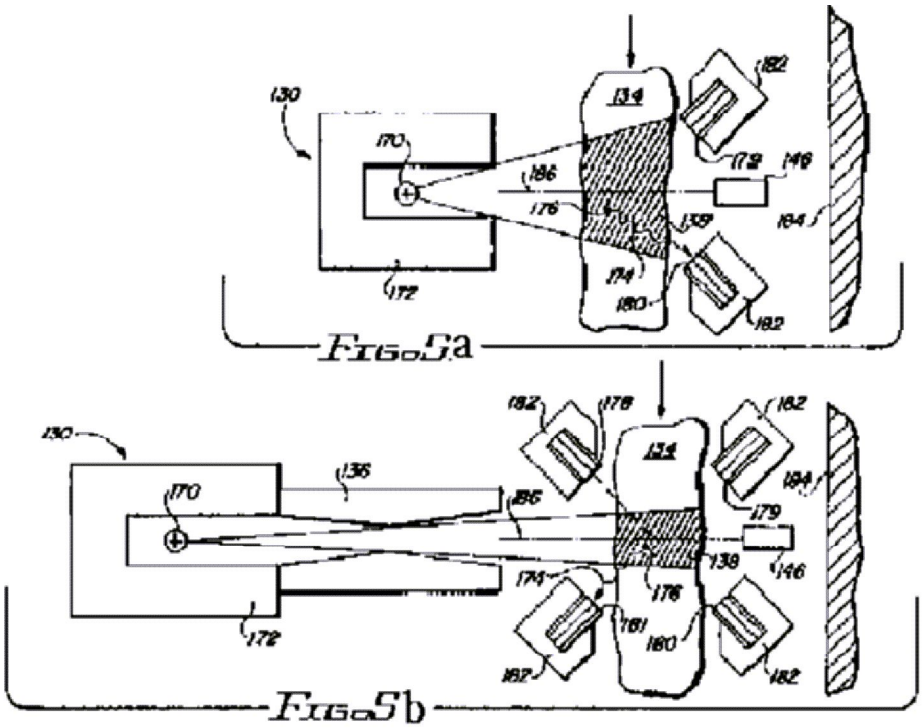
도면3c


2.31
(3.68)
5.10
7.0
질소
2000
1000
COUNTS
50
100
150
200
250
300
350
채널수

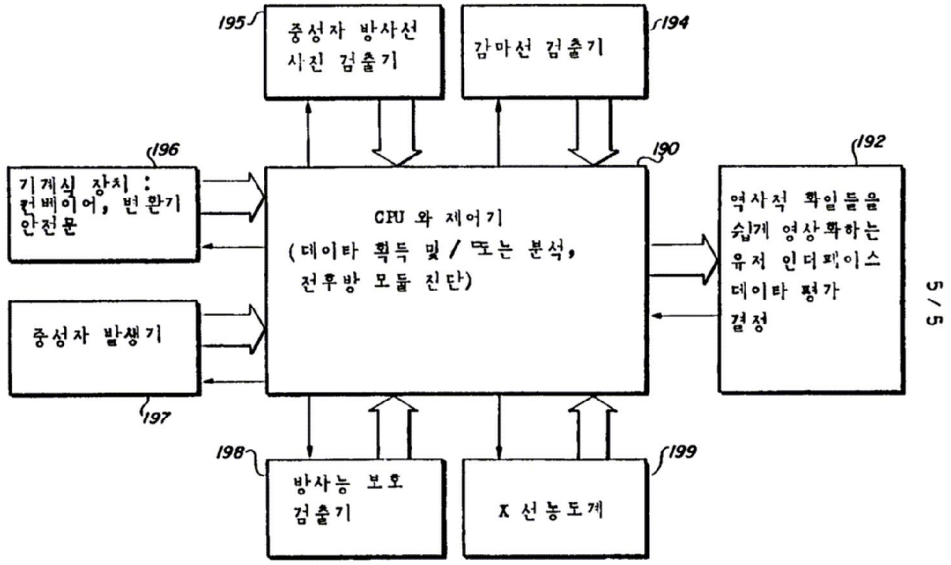
도면4


160
140
152
150
140
144
146
186
148
158
134
135
142
154
132
138
136
140
130
156
3/5

도면5


130
170
172
134
182
186
176
174
180
179
146
138
184
FIG.5a
136
FIG.5b

도면6


195
중성자 방사선 사진 검출기
194
감마선 검출기
196
기계식 장치 : 컨베이어, 변환기 안전문
190
CPU 와 제어기 (데이타 획득 및 / 또는 분석, 전후방 모듈 진단)
192
역사적 확일들을 쉽게 영상화하는 유저 인터페이스 데이타 평가 결정
중성자 발생기
197
198
방사능 보호 검출기
199
X 선농도계

5 / 5