

핵활동 감시를 위한 대기 입자방사능 측정 시스템 개발

김중수, 윤석철, 함영수, 윤여창, 홍종숙
한국원자력연구소

요 약

최근 포괄적 핵확산금지조약(CTBT)의 협정은 핵활동 감시의 목적으로 핵실험으로 인하여 발생하는 지진, 대기 방사성 핵종, 수중음향 그리고 초저음파 등을 종합운영하는 감시 시스템의 구축에 초점을 두고 있다. 1995년에 개최된 제네바군축회담/핵실험금지 특별위원회(CD/NTB/WP.224)에서 방사능 감시 전문가들은 대기중의 방사성 핵종의 검출, 핵실험 여부의 식별 그리고 핵실험 장소의 위치를 확인하기 위하여 국제 방사핵종 측정시스템(IRMS)을 설치할 것에 동의하였으며, 방사성 핵종의 검출은 핵실험 감시에 필수적인 수단으로 결정하였다.

본 연구에서는 대기중의 입자 방사능을 검출 시스템을 대기중의 공기를 흡입하기 위한 High Volume Air Sampler(HVAS)와 대기중의 방사능을 채집한 Filter Paper를 압축하는 Filter Paper 압축기 그리고 HpGe 검출시스템의 3 부분으로 구성하였다. HVAS와 Filter Paper 압축기는 본 연구의 수행을 위하여 자체 설계·제작하였으며, HpGe 검출시스템은 ORTEC사의 모델 CFG-PH-2를 사용하였다.

HVAS에 의하여 Filter Paper에 채집된 시료를 측정하여 Raw Data를 분석하였다. 추후 본 시스템은 CTBT 원거리 대기 입자방사능 감시시스템의 네트워크에 연결하여 핵실험 감시를 위한 역할을 궁극적으로 검토중에 있다.

1. 서 론

현재 CTBT의 협정은 핵무기 실험에 대한 감시를 위하여 지진파탐지, 대기핵종 감시, 수중음향탐지, 초저음파탐지 등의 시스템을 종합운영하는 감시시스템의 구축에 초점을 두고 있다.[1,2]

핵무기 실험과 체르노빌과 같은 원자로 사고는 핵분열 생성물과 activation 생성물을 대기중으로 노출시키며, 이러한 생성물들은 방사성 입자와 개스 형태로 장시간 동안 대기 이동한다. 1995년에 CD/NTB/WP.224에서는 대기중 방사능 감시시스템은 핵실험 감시를 위하여 대기 방사능의 검출, 핵실험 여부의 식별, 핵실험 장소의 위치를 확인하는데 입자와 개스의 방사능 검출은 필수적인 요소로 결정하였다. 이러한 목적을 위하여 국제 방사핵종 측정시스템(International Radionuclide Measurement System:IRMS)을 지구상에 설치할 계획

중에 있다[3], 미국의 PSR(Pacific Seirra Research)에서는 원거리 대기 입자방사능 검출시스템을 개발하였으며, 미국, 스웨덴, 캐나다, 쿠웨이트, 러시아, 오스트라리아, 필랜드, 독일 등의 나라에 설치하여 Prototype Computer Data Network 시스템으로 운영중에 있다.[4] 여기서 측정된 데이터는 IDC(International Data Center)로 전송되어 데이터를 분석·평가하여 그 결과를 Report하고 있다. CD/NTB/WP.224에서 전문가들은 시스템의 운영적 측면에서 거의 실시간 검출과 단수명의 방사핵종의 이유로 On-Site 측정을 요구하고 있으며, 측정된 데이터의 분석과 평가, 기상학적 대기이동 등의 핵실험 감시에 필요한 여러 파라메타들을 조합하여 IDC로 전송된 데이터를 평가하기 위한 연구와 노력을 하고있다.

본 연구는 핵실험으로 인하여 발생하는 대기중의 입자방사능을 검출하기 위하여 지상에 감시소를 둔, On-Site 감시로 추후 CTBT 원거리 대기 입자방사능 감시시스템의 네트워크에 연결하여 핵실험 감시를 위한 역할을 궁극적으로 검토중에 있다.

2. CD/NTB/WP.224 기술 사항

CD/NTB/WP.224에서 지상에 설치될 감시소의 수를 50, 75, 100개의 3가지 유형으로 구분하여 Bench Marking한 다음 가상의 핵실험(1kt)시 방사핵종의 대기이동에 대한 Separate Atmospheric Tracer Model의 전산코드를 사용하여 평가를 수행하였다. 이들 3가지 유형의 감시소는 위의 핵실험에 대하여 공기 채집에 의한 ^{140}Ba 의 방사능 농도는 적어도 $1\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ 과 $1.3\text{pBq}/\text{m}^3$ 의 ^{133}Xe 을 검출할 수 있어야 한다고 평가하였다.

CTBT 감시 시스템에서 주요 방사능 핵종에 대한 최소검출방사능 농도는 표2-1과 같다.

표 2-1. CTBT 감시를 위한 주요핵종의 최소검출 방사능농도(MDA)

Radionuclide (Particulate)	Half life	MDA ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)	Radionuclide (Xenon Gas)	Half life	MDA ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)
Zr-95	64d	3-10	Xe-133m	11.9d	22
Nb-95	35d	5-15	Xe-133	5.2d	2
Zr-97	17h	20-60	Xe-133m	2.2d	5
Mo-99/ Tc-99m	2.75d	20-60			
Ru-103	39d	3-10			
I-131	8d	>5			
Te-132	3.3d	5-15			
I-133	20h	>30			
Cs-134	2.1y	3-10			
Cs-136	13.2d	3-10			
Cs-137	30y	3-10			
Ba-140	12.8d	10-30			
Ce-143	1.4d	15-50			

MDA : Minimum Detectable Activity

감시소에서의 지형학적 상태는 방사핵종의 장시간 대기이동에 채집능력이 확실한 장소를

선정하여야 한다. 감시소의 설치 위치는 고도가 높은 곳이 바람직하며, 산골짜기, 울창한 숲, 공기중 먼지가 많은 지역, 환경 방사능의 자연 백그라운드가 높은 지역은 삼가야 한다.

또한 전문가들은 비용절감의 목적으로 현존하는 국가 감시소를 최대한 이용할 것을 동의하였다. 시스템의 운영적 측면에서 one-day sampling, one-day decay, one-day counting 이 바람직하며, 적어도 입자와 가스 방사성핵종을 감시하기 위한 흡입율은 적어도 각각 500 m³/h와 10 m³/day이 되어야 한다. 방사성핵종의 채집에 사용되는 Filter Paper는 지름 0.1 micron 입자 크기에 대하여 최소한 80%의 채집능력을 가져야 한다. 또한 감시의 신뢰성을 위하여 감시소에서의 sampling downtime은 1년에 1주를 초과하지 않게 최소화하여야 하고 고장난 장비는 빠른 시일내에 대처하여야 한다.

전문가들은 채집한 시료의 측정과 분석을 위하여 HpGe 검출기의 high resolution gamma spectroscopy 사용을 권고하고 있으며, HpGe 검출기의 상대 검출효율(1.33MeV)은 30% 이상이 되어야 한다. Detection Sensitivity는 입자 방사성핵종의 측정을 위하여 1~60 μ Bq/m³ 이내여야 하며, Noble gas는 1~30mBq/m³ 이내이어야 한다.[5]

3. High Volume Air Sampler(HVAS) 제작

CTBT 감시를 위하여 대기중 입자 방사능을 채집하기 위한 Sampler를 그림 2에서 보는바와 같이 전기모터, Blower Fan, Filter Chamber, Filter Cassette, Variable Speed Motor Controller 부분으로 설계·제작하였다.

Sampler는 공기흡입을 증가에 대한 필요성과 미국 PSR(Pacific Sierra Research)에서 개발한 1000m³/h의 HVAS를 고려하여 설계한 것으로 Variable Motor Speed Controller에 의하여 500에서 1300 m³/h 까지 조절 가능하며, 정상 가동시 1000 m³/h로 설정하여 운영한다.

전기모터는 단상 220V 소비전력 5Hp를 사용하였으며, 높은 흡입을 위하여 회전축에 벨트를 이용하여 Turbo Blower Fan으로 동력 전달하는 Fan-Belt 방식의 Blower Motor로 구성하였다. Filter Chamber는 지름 70mm의 Blower의 흡입구에 15°의 경사로 길이 700mm로 설계하였으며, 높은 풍압으로 인한 필터의 손상을 방지하기 위하여 공기가 흡입되는 면에 Grid와 Prefilter를 설치하였다. 또한 Chamber Volume 내의 풍압을 고려하여 Filter Cassette를 중심으로 유입되고 유출되는 P₁과 P₂ 사이에 ΔP 의 압력차로 인한 흡입을 저하와 모터의 과부하를 고려하여 압력계를 각각 설치하여 설계시 고려하였다. Filter Cassette를 Filter Chamber에 부착시키기 위하여 D형 조임쇠를 각각의 면에 2개씩, 총 8개를 부착하였다. Filter Chamber와 Filter Cassette 사이로 공기의 흡입을 방지하기 위하여 폭 1cm 두께 0.3mm의 고무 밴드를 사용하였다. Variable Speed Motor Controller는 Motor의 속도를 제어하는 장치로 흡입된 공기가 유출되는 duct(지름 15mm)에 설치된 Air Flow Meter로부터 신호를 받아 일정한 공기의 흡입(1000m³/h)과 ΔP 의 발생으로 Motor의 정상가동에 영향을 미칠 수 있는 경우에 모터의 속도를 가변시키기 위하여 사용하였다.

본 연구에 사용한 Filter Paper는 지름 0.1 micron 입자크기에 대하여 99%의 채집 효율을 갖는 Glass Fiber Filter Paper를 사용하였으며, 크기는 610mm x 610mm이다. 채집된 Filter Paper를 HpGe 검출기의 기학적 효과를 고려하여 지름 57.2mm와 두께 20mm 크기로 압축하기 위하여 그림 1에서 보는 바와 같이 압축 시스템을 제작하였다. 본 시스템은 일정한 재현성을 갖게 Filter Paper를 압축하기 압력계를 부착하여 Filter Paper에 가해지는 압축

력을 20,000 pound로 설정하였다. 또한 방사성 오염과 채집시료의 보관을 위하여 초중이에 싸서 압축하였다.

4. 측정 시스템

측정 시스템은 그림 3에서 보는바와 같이 검출부와 납차폐체로 구성하였다. 검출부는 HpGe 검출기, 전치증폭기, 주 증폭기, 고전압 공급장치 그리고 방사선 핵종의 분석과 스펙트럼을 보여주기 위한 노트북 컴퓨터와 소프트웨어를 포함한다. 납차폐체는 주변의 백그라운드와 cosmic 에너지를 차폐하기 위하여 사용하였으며, 납 두께는 65mm이고 내부에 납으로부터 발생하는 저에너지를 차폐하기 위하여 두께 7mm의 구리를 안쪽에 납차폐체의 내면에 밀착시켜 제작하였다. 모형은 정원통형 실린더이다. 또한 HpGe 검출기는 ORTEC 사의 모델 CFG-PH-2로 대기중의 입자 방사능의 Gamma-Ray Spectroscopy를 위하여 사용하였으며[6], 본 검출기의 상대 검출효율은 20%이다.

5. 결과 및 고찰

본 연구에서는 대기중 입자 방사능을 검출하기 HVAS을 설계·제작 하였다. 또한 HVAS에 의하여 단위 시간당 1000m³으로 흡입되는 공기중의 방사성 물질을 채집하기 위한 Filter Paper는 610mm×610mm의 크기로 측정시 HpGe 검출기로의 기하학적 검출손실을 고려하여 지름 57.2mm, 두께 20mm의 크기로 압축하기 위한 압축기를 제작하였다. 압축된 Filter Paper를 High Resolution HpGe 검출기를 사용하였으며, 측정결과에 대한 Gamma-ray Spectrum을 그림 3에 나타내었다.

HVAS는 CD/NTB/WP.224에서 요구하는 흡입을 보다 거의 두배 정도의 공기량을 흡입하는 1000m³/h의 대단히 높은 흡입율로 설계하였으며, 흡입에 의한 Sensitivity를 증가시킬 수 있었다. HpGe 검출기에서 측정된 Raw Data를 분석한 결과 다른 나라 감시소에서 측정된 Raw Data와 미미한 차이가 있었으나, 이것은 감시소의 고유 백그라운드 차이라고 사료된다.

HpGe 검출기는 단수명의 표준방사선원 구입의 어려움으로 정밀교정이 어려운 상태이다. 따라서 측정결과에 대한 신뢰도를 향상시키기 위한 측정절차의 확립이 필요하며, 측정시 주변 백그라운드의 차폐를 위한 납차폐체의 설계 및 보완, HpGe 검출기의 정밀교정, 상대 검출효율이 높은 검출 시스템의 사용이 요구된다.

또한 HVAS의 공기 흡입율과 흡입량은 대기중의 방사능 농도 계산에 적용되는 함수로 정확히 알기 위하여는 이에 대한 교정기술이 필요하다고 사료된다.

6. 결 론

설계·제작한 HVAS는 대기 입자방사능 채집을 위한 시스템으로 CTBT의 감시의 목적에 사용할 수 있다. 핵실험에서 발생하는 Noble 개스, 특히 Xenon 개스의 검출과 이의 측정을 위한 시스템을 개발하여야 한다.

본 시스템은 CTBT 원거리 대기 입자방사능 감시시스템의 네트워크에 연결하여 핵실험 감시를 위한 역할을 궁극적으로 검토중에 있다.

참고문헌

- [1] Conference on Disarmament, Verification-International Monitoring System, Working Group I, CD/NTB/WP.224 March 16, 1995
- [2] Conference on Disarmament, Verification-International Monitoring System, Working Group I, CD/NTB/WP.171 August, 1994
- [3] Options for a Design of a CTBT Radioactivity Monitoring Network-Their Most Important Capabilities and Costs., Report of the Group of Experts on Radioactivity Working Group 1., Conference on Disarmament, WGI FOC NON-SEISMIC, August, 1994.
- [4] L. R. Mason, Network Design Analyses of a Radionuclide Monitoring System for the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty., PSR Report 2584, July, 1995
- [5] L. E. DeGeer, B. Bjurman and I. Vintersved, The Detection of Radioactive Material from Venting Underground Nuclear Explosion, Journal of Environmental Radioactivity., Vol. 11, pp.1-14, 1990.
- [6] C. G. Sanderson, Automatic Remote Atmospheric Measurement System for Gamma-Ray Spectroscopy., Environmental Measurements Laboratory Lab.,

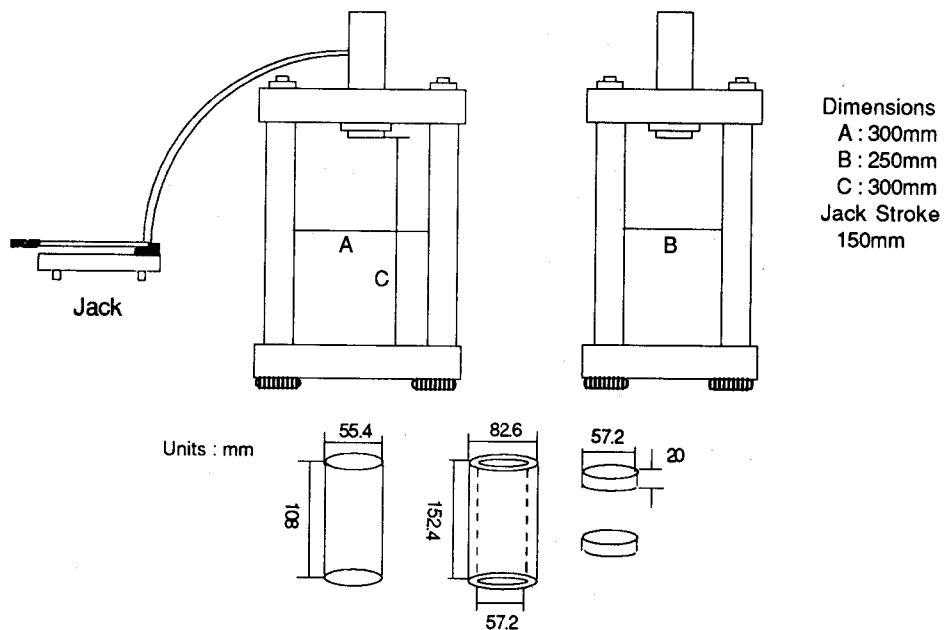
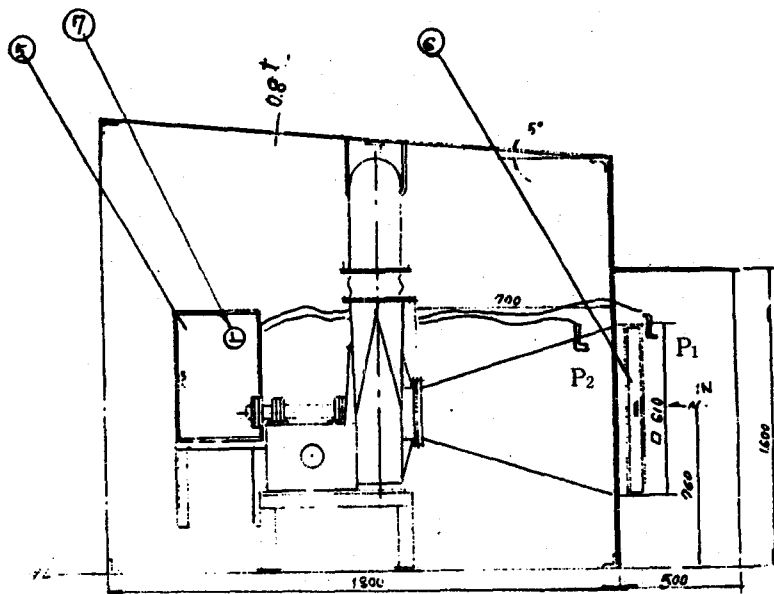
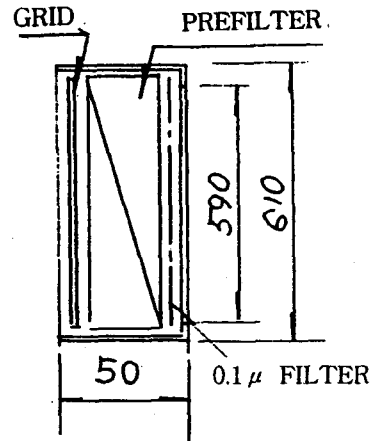


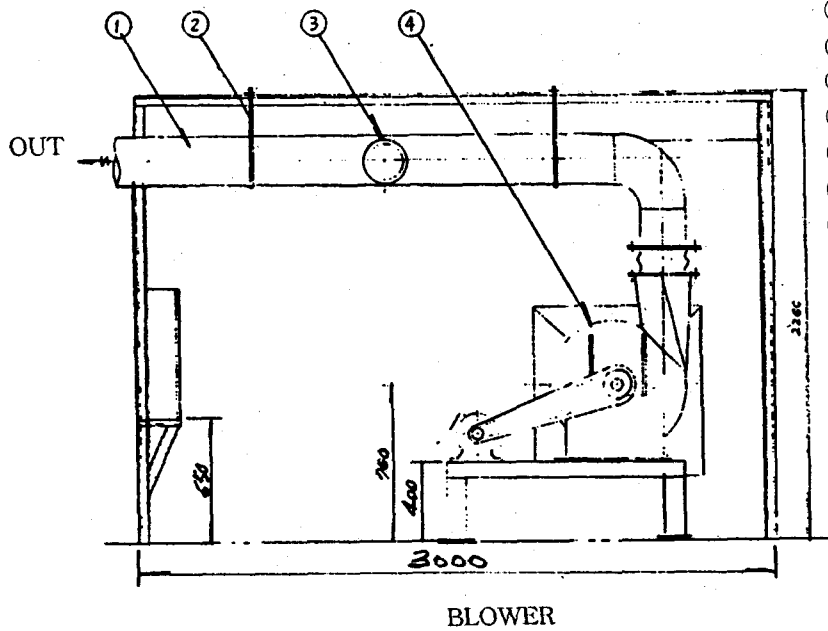
그림 1. Filter Paper 압축기



FILTER CHAMBER



FILTER CASSETTE



BLOWER

NOTE

- ① 배기 Duct : PVC $\phi 200$
- ② Hanger
- ③ Flow Controller
- ④ Blower : 30 CMM, 400mmAq
- ⑤ Controller Box
- ⑥ Filter Cassette
- ⑦ Mano Meter : 0~100mmAq

그림 2. 대기방사능 측정을 위한 HVAS

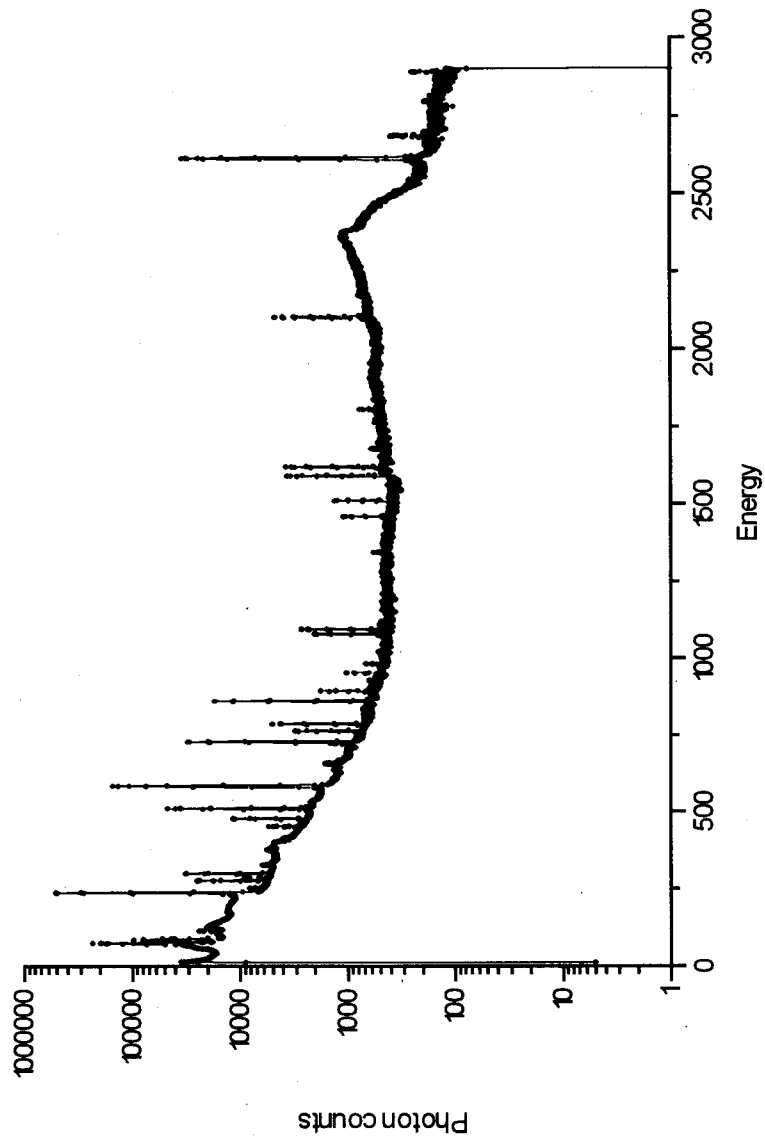


그림 3. 채집한 Filter Paper로부터 측정된 Gamma-Ray Spectrum