

공기중 방사성 물질의 여과 기술



김정호 | 하나빌딩

사장

E-mail : chungsankim@naver.com

1. 서론

최근 (2011년 3월 11일 이후~) 일본 동북지방 지진(진도 : 9.0) 및 해일로 인한 원자력발전소의 방사능(radioactivity) 누출 문제가 심각한 환경오염 문제로 대두 되고 있다.

본고에서는 공기중 방사능을 어떻게 제어할 것인가에 대하여 다루고자 한다. 원자로 폐가스는 방사성요오드, 크립톤, 제논, 세슘, 스트론튬, 등도 있다. 본고는 상업용 원자력 발전소의 원자로 관련 설비별 원자력급 필터의 여과 메카니즘을 다루고자 한다. 방사능은 원자핵의 상태의 변화(방사성붕괴)에 따라 에너지가 방출되므로 방사능은 핵종의 고유 성질이다. 자연에 존재하는 물질의 방사능을 천연방사능, 핵반응 등에서 인공적으로 만들어진 물질의 방사능을 인공방사능이라 한다. 방사능을 갖는 핵종을 방사성핵종이라 하며 일반적으로는 이것들 방사성 핵종이 α 선, β 선, γ 선을 방출하는 성질을 방사능이라 한다. 방사능의 양은 보통은 단위시간에 붕괴하는 입자의수로 표시된다. 素粒子 등이 고에너지 입자를 방출하는 성질을 방사능이라 하기도 한다. 공기중의 부유미립자에 함유된 방사능입자를 여과하는 기술을 소개 한다.

2. 원자력 발전소별 방사성 물질의 배출 현황

그림 1은 壓力水 냉각형 반응로 이다. 압력수 냉각형 반응로는 철강압력용기가 내장되어 있고 동형태의 원자로 격납건물은 방사능가스와 방사능입자를 동반하고 있다. 방사능가스와 방사능입자를 필터로 여과시킨후 송풍기로 청정공기를 강제로 배기한다.

표 1.은 표준형 반응로에서 방출되는 방사능가스와 방사능입자의 여과 시스템이다.

그림 2.는 沸騰水 냉각형 원자로 이다. 비등수 냉각형 원자로는 철강압력용기 안에 물탱크가 있고 이 탱크는 압력을 내리고 포획된 입자와 요오드를 감소시킨다.

반응로에서 방출되는 방사능가스와 방사능입자의 여과시스템은 표 1과 같다.

표 1. 표준형 반응로의 공기청정 시스템

▶	Prefilter / Demister	HEPA filter	Carbon filter	HEPA filter	▶
---	----------------------	-------------	---------------	-------------	---

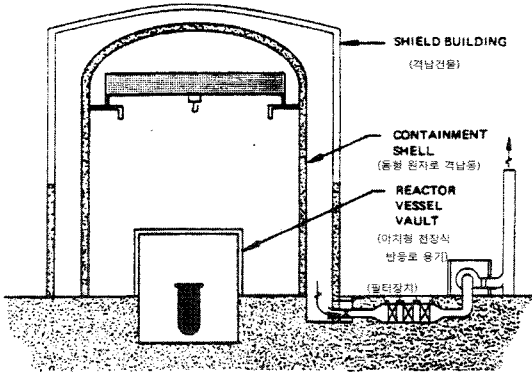


그림 1. 壓力水 냉각형 반응로

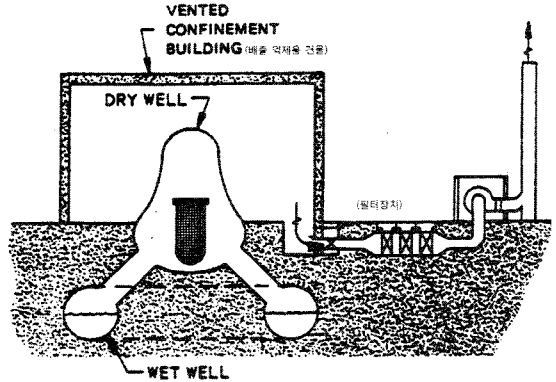


그림 2. 沸騰水 냉각형 원자로

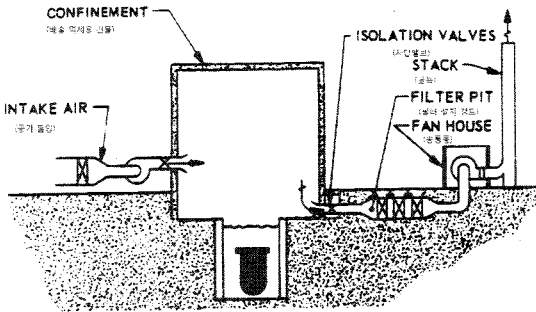


그림 3. 플로트늄 및 연구용 반응로

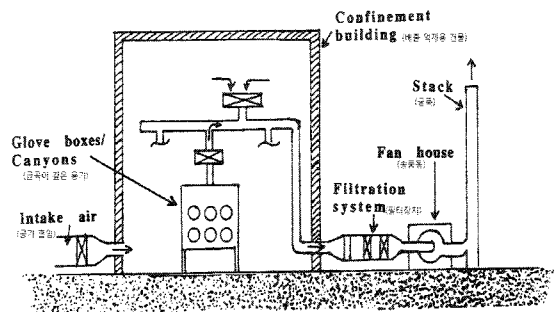


그림 4. 원자 핵무기 관련 설비

그림 3.은 플로트늄 및 연구용 반응로 이다. 이 반응로는 고압에 견디기 어려우므로 강제로 오염된 공기를 바깥으로 방출시킨다.

이 반응로에서 방출되는 방사능가스와 방사능입자의 여과시스템도 표 1과 같다.

그림 4.는 원자 핵무기 관련 시설이다. 이 시설은 연속 가동 가능한 공기청정시스템을 갖고 있다. HEPA 필터는 방사능이 오염된 입자를 제거 한다.

표 2.는 표준형 원자 핵무기 관련 설비의 공기여과 시스템 이다.

표 2. 표준형 원자 핵무기 관련 설비의 공기청정 시스템

▶	Prefilter / Demister	HEPA filter	HEPA filter	▷
---	----------------------	-------------	-------------	---

3. 공기중 방사성 물질의 여과 원리

표 3.은 공기중의 방사능입자를 여과하는 원자력급 前處理 필터(Prefilter)이다.

표 3. 공기중의 방사능입자를 여과하는 원자력급 前處理 필터 (Prefilter)

Air filter 종류	HEPA filter 및 中性能 filter의 前處理 filter (Prefilter)
形式	Panel形, Bag形
특징	좁은공간 : Panel形을 수직으로 설치한다 넓은공간 : Bag形을 수직으로 설치한다
모집효율	比色法 : 30% 이상 重量法 : 85% 이상
여과재 재질	Glass fiber, Steel fiber, FRENCH CERAMIC 等

표 4는 공기중의 방사능입자를 여과하는 원자력급 中性能 필터(Medium filter)이다.

표 4. 공기중의 방사능입자를 여과하는 원자력급 中性能 필터 (Medium filter)

Air filter 종류	HEPA filter 앞에서 前處理하는 中性能 filter(Medium filter)
形式	Panel形, Bag形
특징	좁은공간 : Panel形을 수직으로 설치한다 넓은공간 : Bag形을 수직으로 설치한다
포집효율	比色法 : 60~90% 이상
여과재 재질	Glass fiber, Steel fiber, FRENCH CERAMIC 等

표 5는 공기중의 방사능입자를 여과하는 원자력급 HEPA 필터이다.

그림 5는 원자력급 HEPA 필터의 입자크기별, 면풍속별 포집효율을 나타내고 있다.

가스분자의 크기는 0.0002~0.005 μ m 이다. 분자 상호간의 인력, 응축 등에 관계되는 힘(Vander

표 5. 공기중의 방사능입자를 여과하는 원자력급 HEPA 필터

Air filter 종류	원자력시설, 정밀산업, 병원, 제약, 건물 등의 最終 filter, HEPA filter
形式	Panel形, 圓筒形
특징	좁은공간 : Panel形을 수직으로 설치한다 배관 : 圓筒形을 유체의 흐름방향으로 설치한다
포집효율	HEPA : 計數法 : 0.3 μ m HOT DOP test : 99.97% 이상 ULPA : 計數法 : 0.1 μ m HOT DOP test : 99.999% 이상
여과재 재질	Glass fiber, Steel fiber, FRENCH CERAMIC 等

Waals력)과 같은 물리적인 힘에 의하여 흡착된다.

방사성요오드의 분자가 기체 경계면을 뚫고 활성화된 흡착면에 흡착된다. 이면은 즉각적으로 비활성화되고 다시 활성화 될 때까지 흡착능력이 없게된다. 흡착원리에서 공기속도는 활성화탄과 방사성요오드와의 접촉시간에 상관된다. 최대 지연시간은 1초, 최소 지연시간은 0.25초 이다. 속도가 증가하면 흡착효율은 감소한다. 그러므로 필터의 두께를

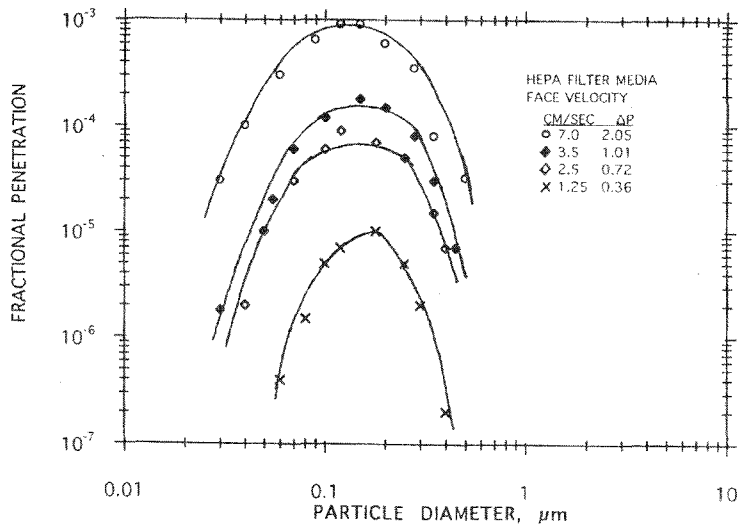


그림 5. 원자력급 HEPA 필터의 입자크기별, 면풍속별 포집효율

표 6. 원자력급 활성탄의 물성 및 방사성 요오드 제거효율

종 류	시험조건	Barneby Cheney B-C717	Carbon Application CNG-816
재 질		coconut shell	coconut shell
겉보기 밀도	ASTM D-2854 0.38 g/ml Min	0.56-0.52 g/ml	0.4 g/ml Min
경도 (Ball pan)	ASTM D-3802 92 % Min.	92 % Min.	95 % Min.
회 분 량	ASTM D-2866 State value	4 % Max	4 % Max
함 수 율	ASTM D-2867 State value	3 % Max	5 % Max
활 성 도	ASTM D-3467 60 % Min.	60 % Min	
점 화 온 도	ASTM D-3466 330 °C Min.	340 °C Min	330 °C Min
수소이온 농도(pH)	ASTM D-3838	9.2 Min.	
방사성 요오드 제거효율 분자요오드 30°C 95 RH 메틸요오드 30°C 95 RH 80°C 95 RH 130°C 95 RH	ASTM D-3803 0.1 % Pen Max 3.0 % Pen Max 1.0 % Pen Max 2.0 % Pen Max	50 mm bed depth 99.9 % Min. 93.0 % Min 99.0 % Min. 98.0 % Min	99.0 % Min.

* ANSI / ASTM N 509-1980

두꺼워지게하여 흡착효율이 증가하도록 설계한다. 또한 여과성능은 습도에 매우 민감하게 영향을 받는다. 활성탄 표면의 기공이 습기에 의하여 막히게되고 압력손실이 가중될 수 있다. 활성탄은 활성탄 필터의 방사능 분진제거 성능이 핵심이다. 활성탄 제작사는 미국의 Barneby Cheney, Carbon Application 등이 있다. 활성탄 필터의 방사성 요오드의 흡착효율은 활성탄 자체의 요인외에 활성화 등급, 회분량, 첨가제의 종류와 양, 입도, 온도 등에도 영향이 있다.

활성탄 필터를 형상에 따라 분류하면 판형(Panel type), V형, 흡수관형(원통형) 및 Bulk형 등이 있다.

표 6은 원자력급 활성탄의 물성 및 방사성 요오드의 제거효율 이다.

활성탄필터의 성능시험은 방사성요오드에 의한 방법이 주로 사용되고 있다. 시험분진을 이용하여

활성탄필터의 상류 및 하류의 시료공기를 채취하여 이때 포집된 양을 방사능 계수 장치로 비교측정 하는 방법을 사용하고 있다.

$$\eta = (1-p) \times 100 = \{1 - (Nd/Nu)\} \times 100$$

η : 포집효율(%), p : 투과율,
Nu : 상류측 채취시료의 전계수율,
Nd : 하류측 채취시료의 전계수율

4. 필터 자체별 성능

원자력급 Air filter의 자체는 각종 안전성이 보장 된 것이어야 한다. 자체별 성능은 표 7과 같다.

표 7. 원자력급 필터 자체별 성능

성능의 종류	성능 내역	관련 규격
안전성	1) Glass fiber media : 발수성(water repellency), 내산성, 내열성, 내한성, 발진성 등이 양호해야 한다. 2) Separator : 내산성, 내습성, 발진성 등이 양호해야 한다. 3) 접착제 : 밀봉성, 자기소화성, 내후성(-5.9℃~+45℃) (RH 10~88%), 충격진폭 19±3.2mm, 진동수 : 200회/분 등에 양호해야 한다. 4) Gasket : 밀봉성, 내열성, 발진성 등이 양호해야 한다. 5) Frame : 내산성, 자기소화성, 발진성, 강도 등이 양호해야 한다.	* MIL-F-51068E * MIL-F-51079C * UL-586
압력변형 시험	차압 254mmH ₂ O로 1시간 내압시험후 정격공량의 20%에서 초기 포집효율이 유지되고 외관에 이상이 없어야 한다. * 온도 조건 : 35±3℃ * 습도 조건 : 95±5%	* MIL-F-51068E
내염성(불꽃) 시험	필터면 2 Inch 이격거리에서 벤손버너 불꽃을 5분간 가열후 불꽃에 의한 외관 변화가 없어야 한다.	* UL-586

5. 결 론

원자력 발전소의 공기청정의 목적은 원자로 및 관련시설에서 발생하는 방사능입자와 방사성가스를 효과적으로 제거하는데 있다. 방사성 물질의 성분을 정확히 식별하여 적절하게 제거하는 것이 매우 중요하다. HEPA필터는 극미세(1μm 이하)한 방사능입자를 제거하는데 효과적이고, 활성탄필터는 방사성요오드화합물을 제거하는데 효과적이다.

상업용 원자력 발전소의 공기청정시스템은 각종 사고에 대비하여 연속적으로 가동 될수 있도록 설계 및 시공하는 것이 매우 중요하다. 핵무기 생산시설도 연속적인 가동이 가능하도록 설계 및 시공되어야 한다. 원자력 발전소의 건물은 진도 9.0이상에도 견딜수 있는 격납식 건물이어야 하고, 원자로는 동형격납식건물이어야 한다.

HEPA필터, 中性能필터, 前處理필터 및 활성탄필터는 진도 9.0이상에도 변형 없고, 성능도 이상이 없도록 설계 및 제작되어야 한다. 그러므로 각종 관련규격에 적합하도록 설계 및 제작되어야 한다. 인

체로 유입된 방사성 물질 중 방사성요오드의 유효 반감기는 4~5일, 방사성세슘의 유효반감기는 약70일, 플루토늄의 유효반감기는 수십년이 걸린다. 방사성요오드는 감상선암을 일으킨다고 한다. 그러므로 공기중 방사성 물질의 여과 기술이 더욱 발달하여 인류의 건강을 지키는데 공헌하여야 한다. 방사성 물질이 바닷물과 지하수에 오염되어 인류의 건강을 해치고 있다. 액체에 오염된 방사성 물질의 여과 기술도 더욱 더 개발되어야 한다.

미생물(Closterium moniliferum : 물면지말의 일종) 흡식 처리 기술이 개발되고 있다. 토양에 오염된 방사성 물질의 처리 기술도 개발되어야 한다. 예를 들면 2010년도 한국원자력연구원에서 땅속에서 사는 스와넬라균이 우라늄을 방사능이 없는 안정된 상태의 광물로 바꾸는 과정을 밝혔다고 보도되고 있다.

향후 우리나라, 일본, 중국, 북한 등에서도 이러한 원자력발전소의 사고 위험이 도사리고 있으므로 국제 공동 연구 기관이 설립되고 끊임없는 연구, 개발이 이루어지길 희망 한다.

- 참고문헌 -

1. 26th offering : Air and gas filtration for university of Minnesota : NO9 ; "Nuclear air cleaning"; Werner bergman Lawrence livermore national laboratory P.O. Box 5505, Livermore, CA 94550
2. Military standard MIL-F-51068 for HEPA filters
3. Military standard MIL-F-51079 for HEPA medium
4. Underwriters Laboratory in 1959, standard UL-586
5. ASME standard "Nuclear power plant air cleaning units and components" in 1976, with revisions in 1980 and 1989
6. ASME N509 : The department of energy(DOE) Order 6430.1A
7. MIL-STD-282 : the filter efficiency test method for nuclear grade HEPA filters
8. The first standard on in-place testing was the American National Standards Institute(ANSI) N101.1 issued in 1972 ; the standard was sponsored by the American institute of Chemical Engineers
9. ANSI / ASME N510-1980 ; "Testing of Nuclear Air Cleaning Systems"
10. ANSI / ASME N 509-1980 ; "Nuclear power plant air cleaning units and Components"
11. ASTM D-3802, 2854, 2862, 2866, 3467, 3466, 3838, 3803, 2867
12. Barnebey Cheny STD.
13. MIL-C-13724B : Ball mill ; Hardness.