



KR9900005

KAERI/TR/983/98

원자력시설의 환기 시스템 설계(I)

- 시스템 및 필터하우징 일반요건 -

Design of the Ventilation System
of the Nuclear Facility(I)
- General Requirements -

한국원자력연구소

Korea Atomic Energy Research Institute

R 30 - 40

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

이 보고서를 “원자력시설의 환기시스템 설계(I)-시스템 및 필터 하우징
일반요건-”의 기술보고서로 제출합니다.

1998. 3.

과 제 명 : 방사성폐기물처리시설운영분야

주 저 자 : 책임기술원 이 강 무

공 저 자 : 선임연구원 강 일 식

 선임연구원 배 상 민

 연 구 원 김 태 국

 책임연구원 김 길 정

책임감수위원: 책임연구원 서 인 석

감 수 위 원 : 책임연구원 김 은 가

요 약 문

방사성 물질을 취급하는 공정에서는 공정 특성이나 취급하는 방사성 물질의 종류 및 양에 따라서 정도의 차이가 있기는 하지만 기체 핵분열생성물이나 방사성 가스 또는 에어로졸 방사성 물질들이 발생된다.

원자력 시설의 방사성 환기 시스템은 이들이 시설 밖으로 누출되지 않도록 함으로써 주변 자연환경을 보호하고 아울러, 시설내 작업자의 안전도모와 쾌적한 작업환경 유지를 목표로 하고 있다. 특히, 원자로 건물의 경우는 화재 등 비상시에 원자로 건물 내의 온도 및 압력이 상승하지 않도록 억제하는 중요한 기능을 가지고 있다. 원자력 시설의 환기 시스템은 부압유지의 특수성과 단위 시간당 환기횟수가 많은 특성이 있기 때문에 대형 회전기계류가 많이 사용되고 있으며, 따라서 이들 설비의 건설비용 및 운영비용이 매우 높다. 이러한 기능이 원활하고 경제적으로 이루어지기 위해서는 합리적이고 효과적인 환기 시스템의 설계가 필요하다.

이를 위하여는 원자력 시설 내부를 방사선 준위에 따라서 적절한 구획으로 구분하고, 이에 따른 효율적인 일방향 유로를 설정함으로써 환기 소요량이 필요이상 커지지 않도록 배려함과 아울러, 각 구역간의 차압 및 환기횟수를 적합하게 설정하는 것이 매우 중요하다. 소요 환기량의 대소는 바로 운영비용과 직결되므로 이를 최소화하기 위해서는 오픈 박스나 글로브 박스 등의 밀폐용기를 활용하여 오염공기량을 줄이고, 오염되지 않은 공기는 배기체 여과장치를 거치지 않고 직접 대기중으로 방출하도록 하는 것이 효과적이다.

Abstract

Depending on the characteristics of processes, the quantity and kinds of radioactive materials handled in the processes, nuclear facilities produce the airborne radioactive nuclides and fission products such as noble gas fission products and activation gases, fission product iodine and aerosols.

The primary purpose of the nuclear ventilation system is to remove and/or reduce the release of radioactivity to the environment, and to keep the facility atmosphere clear and safe. In case of accidents, containment sprays and recirculation system in reactor building remove heat from the containment atmosphere as well as scrubbing airborne radioactivity.

To assure that the operation of the nuclear ventilation system is effective and economic, the reasonable design of the system is essential. As the nuclear ventilation system has to meet the particular conditions; to keep the rooms at an below atmospheric pressure at all times and, furthermore, to maintain frequent air circulation in the rooms, the system needs the big rotating machinery. Consequently, the construction cost and the operational cost of the ventilation system is very high.

For maximum function with the minimum cost, areas are to be divided into several zones depending on the level of radioactivity and the once-through air flow in the shortest route should be adopted. The pressure differences between the zones and the number of air circulations in the rooms per unit time must be reasonable, thus, the venting air volume should be of minimum.

Large venting air volume means large costs.

Another way to minimize the venting air volume which needs cleaning or filtration is to utilize the open boxes, glove boxes and cells depending on the contamination risk of the work in the box. It is a simple idea but a very effective method to reduce the contaminated air, as a result, most of the exhausted air may be released to the environment without treatment.

차 례

제 1 장 서론	1
제 2 장 설계 일반 요건	2
1. 흡입공기 계통	5
2. 배출공기 계통	6
3. 구역 구분	7
4. 공기정화 설비	9
5. 시설용도의 가변성	10
6. 환기량 산출기준	10
7. 유량 분배	11
8. 구역간 차압	12
9. 환기량의 최소화	15
10. 배기체의 통합배출	17
11. 비상시 환기대책	18
12. 배기체의 최종여과	20
제 3 장 실험실, 핫셀 및 원자로 건물의 방사성환기 설계 요건	22
1. 실험실	22
가. Fume cupboard	22
나. Open box	24
다. 글로브 박스	24
라. 환기 조건	25
마. 재순환 시스템	29

2. 핫셀	29
가. 일반 요건	29
나. 환기 횟수 및 유속	30
다. 배기체의 여과	30
3. 원자로 건물	32
가. 일반 요건	32
나. Off-gas 시스템	34
다. 비상시 환기 시스템	39
(1). 스웨덴의 경우	40
(2). 프랑스의 경우	42
(3). 독일덴의 경우	42
(4). 캐나다의 경우	45
(5). 이태리의 경우	45
 제 4 장 필터 하우스	 49
1. 비차폐형 필터 하우스	49
가. Canister형 하우스	49
나. 선반형 하우스	53
다. 사다리형 하우스	53
라. 글로브 박스형 하우스	53
2. 차폐형 필터 하우스	56
가. 일반 요건	56
나. 저풍량용 하우스	58
다. 고풍량용 하우스	58

제 5 장 Commisioning시 고려사항	60
1. 풍량 및 차압	60
2. 필터 하우징	60
제 6 장 결 론	61
참 고 문 헌	62

표 차례

Table 1. Guidelines for effluent releases and dose limits for NPPs	3
Table 2. Risk analysis criteria for NPPs	4
Table 3. Zone classification	9
Table 4. Annual limits of exposure	11
Table 5. Air cleaning requirements	13
Table 6. Relationships between US licencing guidelines and Engineering safety features (ESFs)	37
Table 7. Emergency ventilation systems in other countries	39

그림 차례

Fig. 1. A typical ventilation scheme	21
Fig. 2. Fume cupboard with a HEPA filter	23
Fig. 3. Vortex amplifier (Normal position)	26
Fig. 4. Vortex amplifier (Switch position)	28
Fig. 5. Push-through filter system	31
Fig. 6. Containment purge system	33
Fig. 7. Block diagram of simplified PWR gaseous effluent treatment for normal and accident conditions	35
Fig. 8. Air cleaning system in reactor containment	38
Fig. 9. Filter system at Barseback	40
Fig. 10. Multi-venturi water scrubber system for Swedish reactors	41
Fig. 11. Sand bed filter	42
Fig. 12. Stainless steel fiber filter	43
Fig. 13. Venting system	44
Fig. 14. Functional diagram of the CANDU containment system	46
Fig. 15. Venting system concept	47
Fig. 16. Parallel battery of canister housings	50
Fig. 17. Plug-in Circular insert filter housing	52
Fig. 18. Shelf type housing systems	54
Fig. 19. Ladder type housing systems(Rectangular)	55
Fig. 20. Ladder type housing systems(Circular)	56
Fig. 21. Push-through filter change system	57

제 1 장 서 론

방사성 물질을 취급하는 공정에서는 공정 특성이나 취급하는 방사성 물질의 종류 및 양에 따라서 정도의 차이가 있기는 하지만 기체 핵분열생성물이나 방사성 가스 또는 에어로졸 방사성 물질들이 발생된다.

원자력 시설의 방사성 환기 시스템은 이들이 시설 밖으로 누출되지 않도록 함으로써 주변 자연환경을 보호하고 아울러, 시설내 작업자의 안전도모와 쾌적한 작업환경 유지를 목표로 하고 있다. 특히, 원자로 건물의 경우는 화재 등 비상시에 원자로 건물 내의 온도 및 압력이 상승하지 않도록 억제하는 중요한 기능을 가지고 있다. 또한, 여러나라에서는 점차 대기중 방사성 핵종 방출 허용치를 엄격하게 규제해 가고 있으며, 공기 정화기술 및 공정 Off-gas 처리기술도 지속적으로 발전되고 있어서 공기중 방사성 핵종의 포집효율이 매우 향상되어 가고 있다. 원자력 시설의 환기 시스템은 부압유지의 특수성과 단위 시간당 환기횟수가 많은 특성이 있기 때문에 대형 회전기계류가 많이 사용되고 있으며, 따라서 이들 설비의 건설비용 및 운영비용이 매우 높다. 이러한 기능이 원활하고 경제적으로 이루어지기 위해서는 합리적이고 효과적인 환기 시스템의 설계가 필요하다.

이를 위하여 본 기술보고서는, 현재 원자력 시설에서 사용되고 있는 공기 및 Off-gas 처리기술을 근간으로한 환기시스템 설계의 일반 요건 및 각 시설별 고려사항과 외국의 사례들을 기술하고자 한다. 제 2장에서는 원자력 시설 환기 시스템 설계의 일반 원칙들 즉, 시설내 구역 구분 및 구역별 차압 조건과 환기량의 산출 및 배기체의 여과 그리고 화재 등 비상시의 환기대책을 위한 설계 요건들에 대하여 기술한다. 제 3장에서는 원자력 시설중 원자로 건물 및 핫셀 그리고 실험실의 환기 시스템 설계에 있어서 고려하여야 할 기본 요건들에 대하여 보다 구체적으로 살펴 보고 특히, 원자로 건물의 화재에 대비한 비상 환기 시스템에 대한 외국의 사례들을 소개하고자 한다. 제 4장에서는 배기체 여과설비의 핵심인 HEPA 필터 장치중에서 배기체의 누설 방지 및 필터의 교체 등 유지, 보수에 편의성에 큰 영향을 미치는 필터 하우징에 대하여 여러 가지 종류 및 그 특성 등에 대하여 기술한다.

제 2 장 설계 일반요건

방사성 물질을 취급하는 공정은 그 공정의 특성이나 취급하는 방사성 물질의 종류에 따라서 차이는 있지만 어느 것이나 방사성 가스나 증기 또는 에어로졸 형태의 오염을 어느 정도는 다들 발생시킨다. 원자력 시설내의 방사성 환기시스템은 이들로부터 작업자 및 주변 대기환경을 보호하기 위하여 오염기체를 여과 또는 세정하는 것이 주 기능이다.

방사선 방호에 대한 기본철학 중의 하나는 ICRP(International Commission on Radiological Protection)에서 제안하는 아래의 사항이다. “ all exposures shall be kept as resonably achievable (ALARA), economic and social factors being taken into account” 및 “ all proposed installations and new operations (and) all changes in existing installations and operationsshould be examined at the design stage from the point of view of restricting the resulting occupational and general exposure taking into account the recommendations of the Commission”[1].

원자력시설내의 환기시스템은 두가지의 목적을 가지고 있다. 원자력 시설이라는 특수성에 때문에 원자력 시설 내에서 발생하는 기체성 방사성물질이 시설 밖으로 방출되어 확산됨으로써 주변 지역의 인문, 자연 환경을 파괴하여 인간 생활에 영향을 미치지 않도록 하는 것과 청정 공기를 적절하게 시설 내로 공급함으로써 각 공정설비들이 원활하게 정상기능을 발휘하며 운전될 수 있도록 하며 또한 시설 내 작업자들에 대한 쾌적한 환경 조건을 조성해 주는 것이다. 각국에서는 표1 및 표2와 같이 대기중 방출에 대한 설계 기준을 잡고 있다.[1]. 여기서는 원자력 시설의 환기시스템 설계에 있어서 고려하여야 할 가장 기본 요건에 대하여 개괄적으로 검토한다.[2]

Table 1. Guidelines for effluent releases and dose limits for NPPs

Country	Limit	Remarks
Canada	1% of ICRP limit	Design target
France	1.85×10^{11} Bq halogens + aerosols/a	Statutory limit for LWRs of 3000 MW(th)
	2.96×10^{12} Bq noble gases	
Germany, Federal Republic of	0.3 mSv/a, whole body	Statutory
Italy	0.1 mSv/a, whole body	Proposed for design of 2000 MW(e) PWR
	0.3 mSv/a, organ dose	
UK	0.05 mSv/a 1/30 of the ICRP limits	Design target Operational limit
USA	0.05 mSv/a, airborne, whole body 0.15 mSv/a, airborne, skin 0.15 mSv/a, iodine + particulates, any organ	Design targets
	0.25 mSv/a, whole body 0.75 mSv/a, thyroid 0.25 mSv/a, other organs	Operational limits

Table 2. Risk analysis criteria for NPPs

Maximum design accident frequency event/year	Accident limitations		
	France	Italy	UK
1	Routine authorized discharge limits apply	0.1 mSv/event effective dose equivalent	
10^{-1}		0.30 mSv/event single organ	10^{-3} - 10^{-2} ERL
10^{-2}	5 mSv whole body	5 mSv/event whole body 15 mSv/event thyroid	10^{-2} - 10^{-1} ERL
10^{-3}		100 mSv/event whole body	
10^{-4}	150 mSv whole body	250 mSv/event thyroid	10^{-1} -1 ERL
10^{-5}			
10^{-6}	Immediate off-site evacuation		Sum of frequencies of all accidents giving large uncontrollable releases
10^{-7}	Such accidents can be ignored for design purposes		Frequency limit for single accident giving large uncontrollable releases

1. 흡입공기 계통

가. 흡입공기의 여과

대기중에는 먼지 및 여러 가지 부유물질이 섞여 있다. 우리나라의 경우 특히 봄철, 중국 지역으로부터 불어오는 황사는 원자력 시설 환기시스템의 가장 중요한 요소 중 하나인 HEPA 필터에 눈매꿈(Clogging)을 촉진시키는 원인이 되고 있다. 또한 지역에 따라서, 또는 그때 그때의 주변 여건에 따라서 대기 조건이 다른데, 일반적으로 시골 지역의 경우 0.05 mg/m^3 , 도시 지역의 경우에는 1 mg/m^3 정도가 포함되어 있다.[2] 이들 먼지류가 공정 운전상 영향을 미칠 수 있거나 또는 배기측에 있는 HEPA 필터에 영향을 줄 수 있는 경우에는 흡입공기를 여과시켜야 한다. 원자력시설의 환기시스템 경우에는 흡입 공기를 여과하는 것이 일반적이다.

또한, 흡입공기 중에 있는 방사성물질로 인하여 영향을 받을 수 있는 곳, 예컨대 민감한 방사성 감시장치가 설치되어 있는 곳이라든지 사진 감광물질이 있는 실험실 등에 공급되는 공기의 경우에도 여과장치를 설치하여야 한다. 방사선 준위가 높은 물질을 처리하는 구역의 경우에도, 그 구역 공기의 가압 또는 흡출이 가능한 경우에는 흡입공기를 여과시킨다.

나. 공기 흡입구

공기 흡입구는 다른 환기시스템의 배기구로부터 되도록 멀리 떨어진 곳에 위치시킴으로써 타 환기시스템에서 배출된 오염공기가 흡입되는 일이 발생되지 않도록 주의한다. 흡입구에는 루버 또는 철사망으로 입구측을 보호하여 나무 조각이라든지 기타 이물질의 혼입을 방지한다. 비가 많이 오는 지역이나 바다 인근 지역에서는 필터 앞쪽에 습기제거 장치가 필요하며, 아울러 부식방지에 대한 조치도 하여야 한다. 한편, 건조한 지역이나, 우리나라의 경우 건조한 봄철에 대비하여 흡입측에 습기 조절을 위한 가습 설비도 필요하다.

다. 필터

사용할 필터의 품질 등급은 그 시설에서 필요로 하는 제염계수에 따라서 결정된다.

흡입공기의 여과는 보통 Prefilter 와 Medium filter를 같이 써서 하는 경우가 많다. 방사선 준위가 높은 곳에는 HEPA 필터를 사용할 수도 있다.

2. 배출공기 계통

각 공정을 거쳐온 공기는 Off-gas 및 기타 방사성 오염물질을 함유하고 있으므로 대기로 방출하기 전에 방사성 물질을 허용 배출기준치 이하로 여과시켜야 한다. 필터는 HEPA 필터를 사용하며, 배기체 중에 Iodine이 포함되어 있을 경우에는 Charcoal 필터도 함께 설치한다.

HEPA 필터의 부하를 감소시키기 위하여는, 사무실과 같이 방사성 구역이 아닌 곳에 사용된 공기는 별도 덕트를 사용하여 직접 대기중으로 방출하도록 하는 것이 좋다.

원자력발전소 환기계통의 설계 및 시험등에 관한 기준은 Reg. Guide 1.52(사고용) 및 Reg. Guide 1.140(정상용)에 따르며, 필터의 여과 성능 등에 대한 시험은 ANSI N510의 기준에 따르는 것이 일반적이다.

가. 재순환의 금지

원자력시설이 아닌 일반 플랜트나 오피스 건물의 경우에는 난방열 또는 냉방열의 회수를 위하여 일단 한번 환기계통을 통과하고 나온 배출공기를 시설내로 재순환시키는 것이 보통이지만, 방사성 시설의 환기시스템에서는 일반적으로 난방열 또는 냉방열의 회수를 위하여 재순환시키지는 않는다. 이는 안전성의 이유 때문인데, 시설 내를 일단 통과한 공기는 비록 그 공

기를 깨끗하게 세정할 수가 있다하더라도 재사용하지 않고 그대로 방출한다.

나. 예외적인 경우

부득이한 경우 즉, 일방향 유로 환기시스템이 불가능한 곳에 놓여 있는 모터의 경우에는 구역적으로 폐쇄형 재순환 냉각회로를 둘 수도 있다. 이와같은 독자적 구역 회로의 경우에는 필히 HEPA 필터를 사용하여 열교환 부위의 방사성 오염을 방지하도록 하여야 한다.

폐쇄형 재순환 냉각회로는 CANDU형 원자로 구역 일부에도 사용되고 있다.

다. 부압 및 차압 유지

원자력 시설내에는 다음 항에서 기술한 바와 같이 그곳의 방사선 준위에 따라서 구역을 구분하고 있는데, 일반적으로 사무실 등의 비방사선 구역을 제외한 다른 모든 구역에는 부압을 항상 유지하도록 하고 있으며 또한, 방사선 준위가 높은 곳의 공기가 준위가 그 보다 낮은 구역으로 역류되지 않도록 하기 위하여 구역간에는 차압을 유지시킨다. 이로써 전체 환기시스템 내의 유로를 일방향으로 확실히 유지할 수가 있게 된다.

3. 구역 구분[2]

원자력시설 내 각 지역의 공기중에 포함되어 있는 방사성 물질의 양은 그 지역의 방사성 준위에 따라 좌우된다. 방사성 시설은 전 지역을 보통 4 종류의 구역(Zone)으로 구분하여 운영하고 있는데, 환기시스템에서도 이를 기준으로 하여 각 구역간 차압의 설정 및 유지와 각 구역별 환기횟수 등을 정하고 있다. 이들은 번호 또는 색깔로 표시되고 있으며, 이들은 또한 Zone 1은 6000 구역, Zone 2는 7000 구역, Zone 3은 8000 구역 및 Zone 4는 9000 구역으로도 표시한다.. 표1에 보인 바와같이 번호가 클수록 방사선

준위가 높은 구역이며 따라서 위험도가 높은 구역이다.

White, Zone 1 : 사무실, 통제실 등의 비방사능 구역으로써, 환기 기준은 일반적인 비방사성 환기 기준에 따른다. 이 구역은 공기는 대기압을 유지한다. 6000 구역이다.

Green, Zone 2 : 탈의실 및 Health physic room, 대부분의 운전실과 일반 작업장, 실험실 등이 이에 속한다.
참고문헌[3]에서는, 이 구역의 환기량을 시간당 2 -3회로 제안하고 있다. 참고문헌[4]에서는 대부분의 방사성 실험실이 시간당 6 - 10회의 환기를 하고 있다고 기술하고 있다.
이 구역은 비교적 적은 부압을 유지하도록하고 있다.
7000 구역이다.

Amber, Zone 3 : 각종 공정설비 및 Hot-cell, Glove box 조작실 등이 이에 속한다. ISO(International Organization of Standard-ization) 의 권고에 따르면, 시간당 5 - 10회의 환기가 필요하다.
방사선 준위가 높은 곳에는 시간당 20회의 환기도 많이 하고 있다. [4]: 8000 구역이다.

Red, Zone 4 : Hot-cell, Glove box 및 각종 공정설비를 포함한다. 이 구역에는 비상시 이외에는 사람이 들어가 있지 않기 때문에 환기량은 그 공정 자체 조건에 따른다. 부압은 일반적으로 -25mmWG 전후 또는 그보다 크게 유지하고 있다. 9000 구역이다.

Table 3. Zone classification [5]

Zone	Design	Clothing	Access
White, 1	<3-10 MPD	No specific Clothing	No limit
Green, 2	<1 MPD	Protective Clothing	Permanently for occupational works only
Amber, 3	>1 MPD	Full body protection respirators, if needed	Limit imposed by duration of occupancy or efficiency of protective equipment
Red, 4	>1 MPD	Full body protection; respirators	Entry forbidden unless zone decontaminated or radiation source removed

* MPD; Annual Maximum Permissible Dose

4. 공기정화 설비

원자력시설내 방사성오염공기에 대한 ‘오염공기 정화설비설계’ Guide가 IAEA에서 발간된 바 있다. [6]

정상적인, 표준 실험실(저준위)의 배기체에 대해서는 일반적으로 정화를 필요로 하지 않는다. 중준위 방사성 실험실의 경우에는 환기횟수를 늘리고, 후드(Hood) 배기체에 대해서는 정화를 실시한다. 고준위 실험실은 핫셀(Hot cell)과 글로브 박스(Glove box)에 환기설비를 연결시켜야 한다.

실험실에 설치되는 모든 장치류는 그 구역의 방사선 준위에 부합되는 품질 등급을 가진 것들이어야 한다. 작업자와 주변의 안전을 도모하기 위하여는 그 실험실에서 수행되는 작업이 당해구역의 허용범위에 드는 것이어야 함도 물론이다.

표3에 제시된 구역별 연간 피폭선량(ALE; Annual Limits of Exposure)으로부터 표4와 같이 일반적인 분류를 할 수 있다. 이와같이 오염도에 따라 각 'Room family'별로 정화설비를 달리 설계하게 된다. 한 예로서, 프랑스에서는 표5와 같이 설계요건을 정하고 있다.

5. 시설용도의 가변여유

연구/시험 시설을 설계할 때, 그 시설을 사용할 당사자도 장차 그 시설의 각 구역에서 어떤 형태의 일을 할 것인지를 정확하게 말 할 수 없는 경우도 있다. 연구/시험의 결과에 따라서는 당초의 목적이나 연구 방향을 수정할 필요도 생기기 때문이다.

그러므로, 당초 예정한 작업이외에도 필요에 따라서는 다른 종류의 작업도 할 수 있도록 환기설비 및 장치류라든지 유틸리티 시설등의 설계에 여유를 주는 것이 바람직하다. 그리고 이곳에서 취급할 수 있는 방사선 준위도 여유있게하여 실험실을 설계하는 것이 좋다.

6. 환기량 산출기준

천정이 높은 방의 경우에는, 바닥으로부터 3 미터 높이까지의 공기량을 기준하여 필요 공기량을 산출한다. 방사성 구역의 환기횟수 설정은, 원칙적으로, 일반적인 환기계통에서와 같은 쾌적한 작업환경을 조성하기 위한 1차 목적 보다는 다른 요인들 예컨대 방사선 안전 등이 더 근간이 된다.

환기량의 산출을 때로는 그 방 내에 있는 후드의 수량과 크기로부터 하는 경우도 종종 있다. 어떤 플랜트(Plant)의 경우에는, 예컨대 원자로 건물과 같은 경우에는 그 방에서 제거해야 할 열량을 환기요건으로부터 결정하기도 한다. 냉각설비를 설치하여 공기를 재순환시킴으로써 그 방에 공급되어야 할 흡입공기량을 줄일 수도 있다.

Table 4. Annual limits of exposure

Room family	Permanent admissible contamination (ALE)	Maximum accident contamination(ALE)
I	0	0
II A	≤ 1	≤ 80
II B	≤ 1	≤ 4000
III A	< 80	≤ 4000
III B	< 4000	≥ 4000
IV	> 4000	≥ 4000

* ALE ; Annual Limit of Exposure

7. 유량 분배

같은 구역 내에서, 일부 공기는 그 보다 낮은 구역으로부터 또는 외부로부터 직접 공급될 수도 있다. 이는 대개 복도에 직접 연결되어 있는 실험실의 경우인데, 일부 공기는 실험실에 직접 공급되어야 하며 일부 공기는 복도를 통해서 실험실로 유입되도록 한다. 이렇게 함으로써 실험실 내의 유로 방향을 확보할 수 있으며 또한 실험실과 복도간의 공기압력 차이를 유지할 수 있게 된다.

원자력시설의 환기계통설비 설계시에는 서로 다른 구역간에 공기의 흐름이 있는지 여부를 확인하여야 한다. 공기의 교환/흐름이 있을 경우에는 방사선 준위가 낮은 구역으로부터 방사선 준위가 높은 구역으로 공기 흐름의 유로가 형성되도록 함으로써 오염도가 높은 공기가 더 낮은 구역으로 역류되 않도록 하여야 한다.

방사성 시설의 대규모 환기계통에 있어서는, 시설 내 작업자에 대한 쾌적한 작업환경 제공 및 장치류, 예컨대 전자 장비나 모터류 등의 운전 신뢰성을 확보하기 위하여 공기 공급유량의 적절한 분산을 도모하여야 한다.

8. 구역간 차압

각 구역간에 압력 차이를 확실하게 유지하기 위해서는, 5 mmWG 단위의 차압 유지, 이중 문 또는 에어 록(Air lock)이 필요하다. 구역간의 압력차는 오염도가 적은 구역으로부터 오염도가 높은 구역으로 공기가 흘러갈 수 있도록 오염도가 높은 구역의 공기압을 더 낮게 형성시킨다. 각 구역의 부압은, Zone 2 는 수 mm WG 정도, Zone 3은 50 - 100 Pa (5 - 10 mmWG), Zone 4는 150 - 450 Pa (15 - 45 mmWG)가 추천되고 있다. Zone 1은 대기압으로 한다. [3]

Table 5. Air cleaning requirements (French classification)

Contamination risks	Organization of ventilation according to contamination risks	Examples
Family I CP = 0 CA = 0		Zone: 1 Control room
		Corridors, storage area ...
Family IIA CP ≤ 1 CA = improbable ≤ 80 MPC		Zone: 2, 3, 4 Corridors Intervention areas Laboratories Reagent room
Family IIB CP ≤ 1 CA ≤ 4000 MPC		Zone: 3, 4 Fission product evaporators Cold chemical cells Water processing Resin storage Solvent processing Solvents Fission product storage
Filtration sector	Estimation of filtration according to contamination thresholds	General function building ventilation

Tab 5. Air cleaning requirements(Cont'd)

Contamination risks	Organization of ventilation according to contamination risks	Examples
Family IIIA CP ≤ 80 MPC CA ≤ 4000 MPC	Extraction or transfer from Zone 3, FIIB, or Zone 3, FIIB Transfer from Zones 2 or 3, FIIA 	Zone: 3, 4 Low contamination risk intervention cells
	Extraction or transfer from Zones 3 or 4, FIIB, or Zones 3 or 4, FIIIA Transfer from Zones 2, 3 or 4, FIIA 	
Family IIIB CP ≤ 4000 MPC CA = Major over 4000 MPC	Extraction or transfer from Zones 2 or 3, FIIA or FIIB, or Zone 3, FIIIA 	
Family IV CP: around 4000 MPC CA: greatly in excess of 4000 MPC	Extraction or transfer from Zones 2 or 3, FIIIA or FIIB 	Zone: 4 Cutting cell High contamination risk intervention cell
	Extraction or transfer from Zone 3, FIIIA or FIIB 	Zone: 4 Pu powder area
In situ sampling β detection γ monitoring	High efficiency filter Very high efficiency filter CP: Constant contamination CA: Accidental contamination	S ₁ : Systems ensuring constant air extraction and filtration S ₂ : Systems ensuring constant air extraction while filters are being replaced F: Family
Filtration sector	Estimation of filtration according to contamination thresholds	General function building ventilation

9. 환기량의 최소화

시설 내 환기에 소요되는 비용 및 오염 공기의 여과에 소요되는 비용은 그에 사용된 공기의 양에 비례하므로, 환기시스템의 설계시에는 필요 환기량을 최소화하도록 노력하여야 한다.

가. 공정을 전반적으로 검토한다.

재료를 보다 덜 유해한 것으로 대체한다든지, 다른 연구방법을 적용함으로써 취급하는 재료의 양을 줄이도록 할 수도 있을 것이다. 제품 생산 공장의 경우에는, 재료의 양이나 종류를 바꿀 수는 없으나 공정을 변경하여, 예컨대 건식 방법에서 습식 방법으로 바꿈으로써 먼지의 발생을 훨씬 더 줄일 수 있을 것이다.

나. 여러 형태의 개별 밀봉장치(후드, 글로브 박스, 셀 등)도 매우 효과적이다.

글로브 박스나 후드, 셀 등으로 해당 작업공간 자체를 밀봉시킴으로써 유해 물질이 방 전체로 퍼지는 것을 방지한다. 방사성 물질에 오염되는 공기를 훨씬 줄일 수 있기 때문이다. 특수한 형태의 먼지 밀봉장치도 많이 사용되고 있는데 여기에는 필터가 부착되어 있어서 HEPA필터 수준까지 먼지 농도를 낮출 수 있다.

이는 또한, 덕트 내에 먼지가 쌓이는 것을 방지해 주게 되므로 방사선 피폭의 선원을 제거하는 효과는 물론 화재 위험 가능성까지도 방지하게 된다. 방사선 준위가 높은 것 또는 고인화성 물질을 취급하는 경우에는 특히 유용하다.

다. 배기시스템은 각각 별도의 라인으로 한다.

오염된 정도에 따라서 배기라인을 각각 별도로 하면 배기체의 여과나 세정을 그 오염도에 따라 각기 달리 적용할 수 있기 때문에 환기설비 운영비

용을 절감할 수 있다. 특히, 방사성 오염이 없는 구역의 공기는 여과 등이 필요하지 않으므로 별도 라인으로하여 직접 대기중으로 배출하는 것이 보통이다.

그러나 먼지가 많은 구역은 배기체를 여과시키도록 한다. 이때, 결정 인자는 비정상 상태 또는 비상사태 시에 방사능의 확산 가능성에 대한 잠재 위험도이다.

라. Booster fan을 사용한다.

공기압력의 차가 크게 요구되는 각종 형태의 밀봉장치로부터 나오는 배기 라인에는 Booster fan을 설치한다. 이렇게 함으로써 당해 밀봉장치의 압력차를 확실하게 유지시킬 수가 있으며, 또한 중앙통합 배기팬의 부하를 줄일 수 있다.

마. 부식성 유해물질은 분리시킨다.

부식성 유해물질을 미리 제거함으로써, 이를 취급하는 밀봉장치로부터 나오는 공기도 다른 대량의 공기와 합류시켜서 함께 처리 할 수 있다. 그 대로 합류시킬 경우에는 덕트 전체를 부식시킬 염려가 있다.

바. 공기는 가능하면 여러 구역을 통과시킨다.

필요한 전체 공기량은 또한 일단 흡입한 공기를 직렬 유로로 몇 개 지역이나 통과시킬 수 있는가에도 달려 있다. 예컨대, 사무실 지역에서 나온 공기는 복도로 다시 통과 시킬 수도 있으며 또는 실험실의 공급 공기로도 사용할 수가 있다.

공기량에 따라서 장치 비용 및 그 운영비가 증가하게 된다.

사. 방사선원을 밀봉한다.

소요 공기량을 최소화하는 것은 공기가 흐르는 개방 면적을 얼마나 줄일 수 있는냐에 비례하므로 결국 가장 경제적인 환기는 방사선원 자체를 밀봉시켜서 그 곳의 오염된 공기를 별도로 처리하는 것이다.

이와같은 용도로 실험실에서는 두 종류의 밀봉장치가 주로 사용될 수 있다. 즉, 글로브 박스와 같은 완전 밀봉장치 그리고 후드나 컵보드같은 반밀봉장치이다.

10. 배기체의 통합 배출

일반적으로 원자력시설의 플랜트 레이아웃(Layout)은 환기 시스템의 배출 공기를 어느 정도로 중앙집중 통합 배출시스템으로 할 것인지에 영향을 미치게 된다.

각각의 작업실, 후드 또는 건물마다 별도의 배기팬과 굴뚝을 갖추는 개별 관리방식과 중앙 집중실에 대형 배기팬을 설치해 놓고 각각의 작업실이나 후드 또는 각 건물로부터 배기체를 이곳으로 모아서 통합 배출하는 중앙집중 관리방식이 있는데, 각각의 장단점이 있다.

가. 개별 관리방식의 장점

- (1). 설계가 간편하고, 시스템의 밸런싱이 용이하다.
- (2). 규격 생산품의 소형 팬을 사용하게 되므로 설계 및 건설 일정 관리가 용이하다.
- (3). 덕트가 소형이고, 따라서 공기 마찰저항으로 인한 손실이 적다.

나. 개별 관리방식의 단점

- (1). Stand-by 배기팬을 설치하지 않는 경우가 많으므로 오버홀 수리

(Overhaul)에 어려움이 있다.

(2). 건설 및 운영비용이 비교적 크다. 이는,

(가). 각각의 팬을 설치할 많은 공간이 필요하고,

(나). 각 팬마다 따로 전력선, 모터, 스타터(Starter) 등을 설치해야 하며,

(다). 각각 별개의 굴뚝도 필요하다. 또한, 운영에 있어서도

(라). 수많은 소형 단위장치류들을 검사하고 및 유지보수하여야 하며,

(마). 배기체 감시장치가 많이 설치되어야 한다.

고준위 방사성 플랜트의 경우에는 중앙집중 관리방식이 유리하다. 또한, 높은 신뢰도가 요구되는 경우에도 중앙집중 관리 방식이 적당하며 이때, 높은 굴뚝과 성능이 좋은 배기체 감시장치도 필수적이다.

대형 플랜트의 경우에는, 두 가지 방식의 혼용이 가장 바람직하다. 즉, 비방사능 구역과 저준위 구역에는 개별관리방식을, 오염도가 높은 구역은 중앙집중 관리방식을 적용한다.

각 구역간의 공기 압력차를 유지하는 것은 중앙집중 관리방식의 경우가 더 용이하다. 이는 중앙집중 관리방식의 주 배기덕트는 늘 일정한 압력이 유지되고 있기 때문이다. 각개 팬에 의한 난류 또는 각개 필터의 눈매꿈(Clogging)이 유체 밸런스에 큰 영향을 미치지 않는다.

환기설비 운용비용을 절감하기 위해서는 작업시간이 아널 때는 공기 유량을 줄여야 한다. 이는 특히 중앙집중관리 방식일 때 유용하다. 유량제어는 팬 속도를 조절하거나 가동 팬의 수량을 가감함으로써 할 수있다.

11. 비상시 환기대책

비정상 상태 또는 비상사태에 대한 대응체제가 설계되어 있어야 하는데, 이는 정상 조건과는 매우 다르므로 특별한 형태의 비상대책 시스템을 설치

하여야 한다. 이런 경우는 일반적으로는 원자력 발전소에만 해당된다.

배기체 여과를 위한 필요조건과 비상사태시의 물리적 조건이, 예컨대 공기의 온도나 습도조건이, 사뭇 다르기 때문에 비상사태 발생시에는 정상 환기체제를 대체할 수 있는 별도의 시스템이 필요하다.

그 시스템은 화재의 확산을 차단할 수 있도록 설계되어야 한다. 고준위 방사성 물질을 취급하는 건물의 경우에는 가능한한 비가연성 재료를 사용하여야 한다.

화재 발생시에 환기시설 전체의 가동을 중단시키면 산소가 부족하게 되어 불은 시들어 지겠지만, 연기 때문에 소화작업이 어려워지게 되고 또한, 방사성물질이 확산되어 불 그 자체보다 오히려 더 문제가 심각해 지게 된다. 그러므로 대재앙의 큰 화재가 아닌 한 배기계통은 계속 가동시킬 수 있으며 다만 흡기계통만을 정지시킨다.

수소나 기타 폭발성 가스가 포함되어 있는 경우에는 폭발의 위험성을 최소화하기 위하여 공기를 계속 공급하는 것이 필요할 것이다.

화재 위험성이 내포되어 있는 경우에는, 최종단에 있는 필터는 고성능의 내연성 및 내고열성의 것으로 설치하여야 한다.

실험실에 있어서, 인화성이 높은 재료를 취급하는 글로브 박스는 문체야기의 가능성이 높으므로 이런 경우에는 공급측의 덕트에 댐퍼를 설치하거나 불활성 가스(N_2) 분위기를 조성하도록 한다. 불활성 가스를 이용하는 것은 대형 실험실 경우에도 가능하다. 화재시에 고온의 영향 때문에 최종단에 있는 필터는 연기 등으로 인하여 정상적인 수명을 다하기 전에라도 못쓰게 될 수가 있다. 이런 경우에는 내열성의 Prefilter 와 Secondary filter를 설치하여 먼지를 미리 걸르는 것이 좋다.

덕트 속으로 불똥이나 인화성 물질이 흘러 들어갈 가능성이 있는 공정에서는 필히 불똥 제거기(Spark arrestor)를 설치하여야 한다. 그 공정 자체의 배기계통에 Prefilter가 설치되어 있지 않은 경우에는 배기계통에 불똥 제거기를 설치하여야 한다. 설치한 이후에는 정기적으로 불똥 제거기에 누

적되어 있는 먼지를 제거하여 항상 정상기능을 발휘할 수 있도록 하여야 하며 필요하면 이를 교체 한다.

Prefilter가 설치되어 있는 경우에는 그 바로 아래에 불똥 제거기를 설치한다. 불똥 제거기와 환기계통 하류측 필터와는 충분한 거리가 확보되도록 덕트를 길게 설치하여야 한다. 그 거리는 적어도 설계 유량의 5배가 통과될 수 있는 시간을 가질수 있도록 한다.

12. 배기체의 최종 여과

정상 운전상태 시 또는 비상사태 시를 막론하고, 원자력 시설로부터 배출되는 여과되지 않은 공기는 방사성 위험성이 있을 수 있으므로 시설로부터 대기로의 배출되는 방사성 오염 공기는 항상 여과시켜야 한다. 이런 개념에 있어서는, 시설 내 각 구역에 설치되어 있는 Local prefilter는 여과체로서 간주하지 않는게 보통인데, 이는, 비상사태 시에는 이런 Local prefilter는 그 기능을 상실한다고 보기 때문이다.

배기체의 여과를 위한 최종단 HEPA필터를 몇 단으로 설치할 것인가는 그 플랜트에서 배출 예상되는 에어로졸 농도/방사능과 굴뚝에서 방출되는 에어로졸 농도로부터 산출할 수 있다. 또는, 유사 플랜트의 운전 경험결과나 데이터도 좋은 참고가 될 것이다. 플랜트나 실험실의 경우 모두에 있어서, 고온 또는 고농도 에어로졸 사고 가능성이 내재되어 있는 경우에는 적어도 2단의 HEPA필터를 직렬로 설치하여야 한다.

이상의 내용을 고려한 기본 모델의 예가 그림 1 이다.

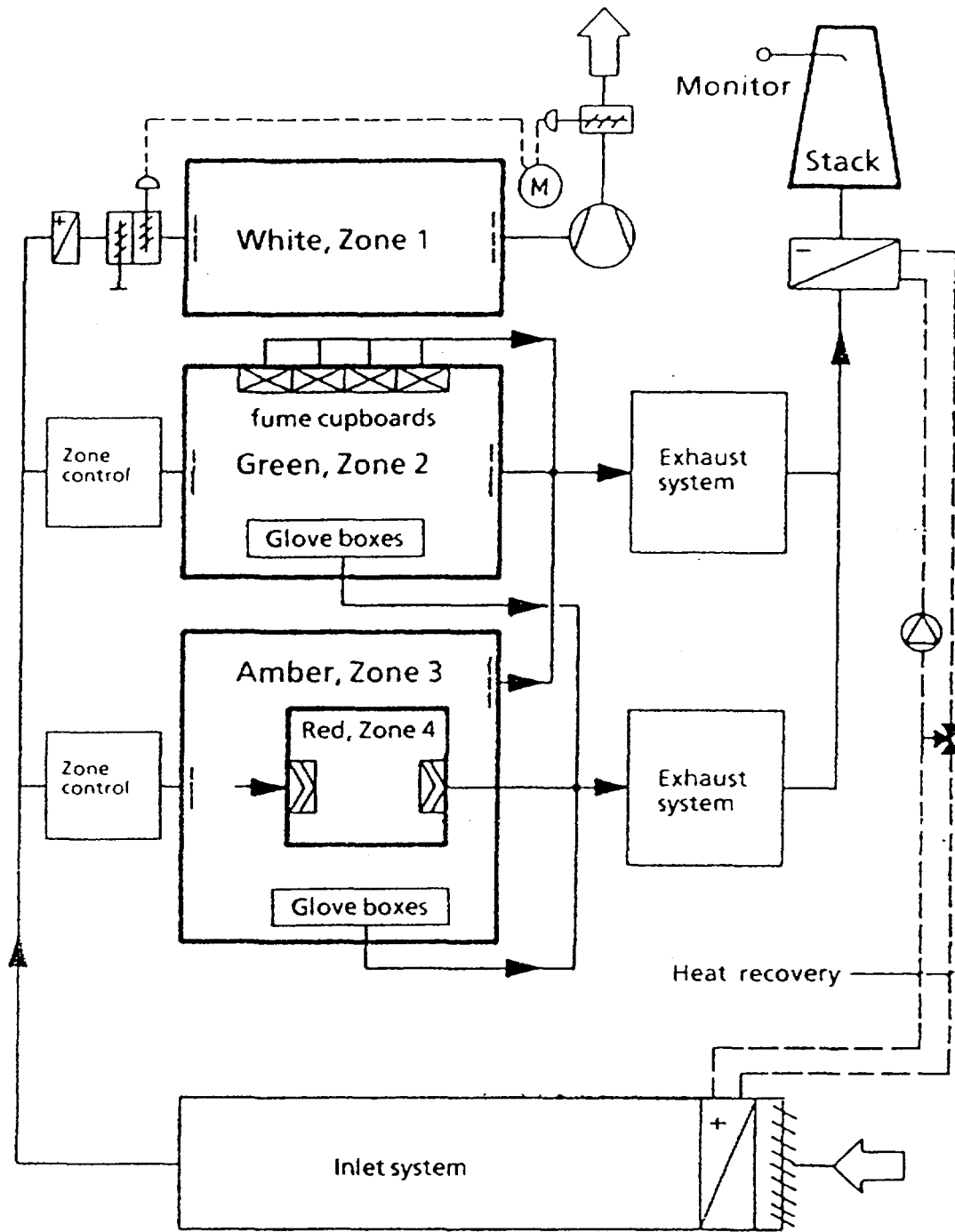


Fig. 1 A typical ventilation scheme

제 3 장 실험실, 핫셀 및 원자로 건물의 방사성환기 설계

1. 실험실

방사성 작업을 취급하는 여러 가지 실험실들은, 어떤 것은 특수한 작업만을 위한 것도 있고 어떤 것은 일반적인 여러 가지 작업을 할 수 있도록 되어 있는 것도 있다. 특수한 작업을 위한 실험실은, 거기서 수행할 작업의 특성에 맞게 방사성환기의 설계요건을 결정할 수가 있다. 그러나 여러 가지 작업을 두루 할 수 있도록 하는 실험실의 경우에는 이것이 어려우므로 다른 시스템들과 일치할 수 있도록 환기설비 및 공기청정 설비를 설계하여야 한다.

고준위 방사성 실험실은 HEPA필터로 배기체를 여과하여야 한다. 이런 실험실에 설치할 수 있는 배기시스템으로는 몇가지 종류가 있다. 일반 배기시스템으로 부터는 모든 방에 전반적인 환기를 실시한다. 실험실에 위험 가능성이 잠재해 있는 경우에는 필히 HEPA필터를 설치하도록 한다.

또한, 실험실에서 방사성 작업을 하기 위해서는 특수한 장비가 필요하다. 즉, 후드, 컵보드, 글로브 박스 및 핫셀 등이 그것이다.

가. Fume cupboard

방사능 추적 정도 레벨의 작업을 위한 컵보드는 여과장치가 달린 일반 배기시스템에 연결 시켜도 된다. 컵보드에서 먼지가 발생되는 작업이 이루어질 경우에는 배기시스템에 연결시키기 전에 미리 1차 공기 청정을 실시하여야 한다.

중앙 집중실에 있는 HEPA필터는 여러 개의 컵보드로부터의 배기를 수용할 수 있다. 각각의 컵보드에는 자체에 부착시키거나 또는 별도의 필터 하우징에 1차필터(Prefilter)를 설치하여야 한다. 그런데, 컵보드 자체에 1차필터를 설치할 경우에는 필터의 교체가 용이하지 않다. 설치할 수 있는 공

간의 여유만 있다면 어느 형식의 콤보 이든간에 별도의 하우징에 필터를 설치하는 것이 보다 프렉시블한 설계가 된다. (그림 2 참조)

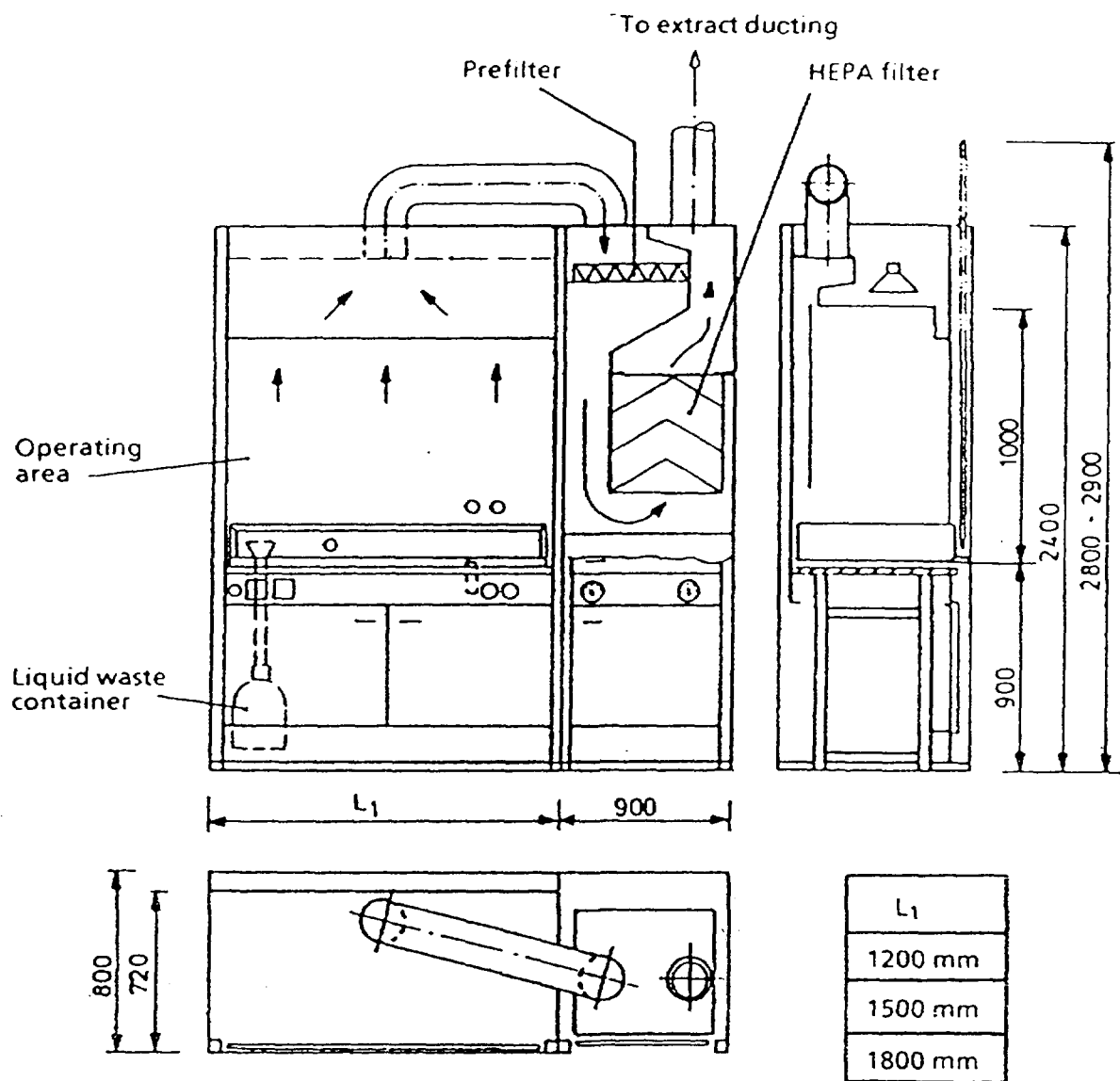


Fig. 2. Fume cupboard with a HEPA filter

나. Open box

컴보드의 공기 흡입구가 하나 뿐일 경우에는, 빠른 유속을 유지하기 위하여 많은 공기량이 그 한 흡입구에 필요하게 된다. 따라서 이를 방지하기 위하여 작은 흡입구를 여러 개 설치하는 형식의 컴보드도 여러 종류 있다. 작업용 장치가 박스 내에 고정적으로 설치되어 오랫동안 사용하는 것일 경우 즉, 작업공정이 일정한 경우에는 이와같은 형식의 것이 매우 유용하다. 예컨대 동위원소 제조나 핵연료 펠릿 제조공정 등의 경우이다.

흡입구의 크기는 공기가 충분히 들어갈 수 있을 정도로 커야 하는데 (보통 직경 15 - 20 cm 정도) 이때 유속은 0.5 - 1 m/s를 유지할 수 있어야 한다. 일반적으로 이 정도 유속이면 박스내의 환기가 충분하다.

때로는 유량을 더욱 줄이기 위하여 박스의 개구부에 고무막을 씌우는 경우가 있는데 이런 것은 필요치 않다. 고무막이 쉽게 오염되어 오히려 방사능만 확산시킬 수 있다.

Open box의 필터도 컴보드의 경우와 같다. 다만, 컴보드의 경우보다는 유량이 적기 때문에 필터의 수량 및 크기는 작아 진다.

다. 글로브 박스

방사성 위험성이 큰 물질을 취급하는 경우에는, 예를들면 플루토늄같은 경우에는, 작업공간 전체를 완전히 격납하는 것이 바람직하다. 이때, 박스 내부로부터 외부로 누출되지 않도록 하기 위하여 박스 내를 항상 약간의 부압상태로 유지한다. 부압은 대체로 200 - 500 Pa (20 - 50 mmWG) 정도로 하는데 박스내에서 이루어지는 작업의 오염 위험도에 따라서 결정한다.

부압이 250 Pa (25 mmWG)을 넘으면 글로브 작업의 정밀성이 영향을 받게되므로, 안전성 측면에서만 허용된다면 압력차를 낮추는 것이 좋다. 또

한, 부압이 200 - 300 Pa (20 - 30 mmWG) 정도로 유지되지 않는 경우에는 글로브를 빠르게 움직이면 양압(Overpressure)이 쉽게 야기되므로 글로브 자체의 체적을 어느 정도는 고려하여야 한다.

라. 환기 조건

환기량은 작업의 내용에 따라서 그 소요 폭이 매우 넓다. 그러나 글로브 박스 내의 비교적 덜 위험한 작업의 경우에는 시간당 10회 정도의 환기면 충분하다. 배기시스템의 설계에는 글로브가 찢어지는 것과 같은 중요한 사태에 대비한 고려가 꼭 필요하다. 대개는 글로브가 약간 찢기는 정도의 경미한 경우가 대부분이지만 기본 설계에는 글로브 포트를 통한 풍속을 적절하게 고려하여야 한다.

직경 15 cm, 풍속 0.5 - 1 m/s의 경우 소요 공기량은 40 -80 m³/h 범위이다. 경우에 따라서는, 글로브가 파손되었을 때 박스내의 필요 환기횟수를 충족하기에는, 글로브 박스의 정상적인 환기량만으로는 개방된 포트에 대비한 풍속으로는 충분하지 못할 수가 있다.

글로브 파손으로 인하여 박스 내 부압이 감소될 경우에 대비한 장치로서 볼텍스 증폭장치(Vortex amplifier system)가 쓰이고 있다. 이는 박스가 파손되어 공기가 박스 내로 설계유량보다 많이 유입되더라도 박스 내 부압을 보완하여 박스로부터의 배기체를 주 덕트 쪽으로 원활히 배출하도록 한다. (그림 3 및 그림 4 참조), [7]

글로브 박스 내에서 이루어지는 작업은 항상 위험한 작업이므로 배기체에 대한 여과는 필수적이다. 여과 필터는 투과율 10⁻⁴ 이하 이어야 한다.

습식 화학공정일 경우에는 증기가 발생되고 이것이 응축되어 패널에 뿌연 안개를 형성시킬 수가 있다. 이는 다음과 같은 작용에 기인한다.

- (가) 재료 물질의 증발과 그 표면적
- (나) 증발물질의 누적

- (다) 액체의 온도 및 가스가 그 위를 유동
- (라) 밀봉체 내외부 공기의 온도
- (마) 판넬 깨끗한 쪽의 온도

이와같은 응축현상을 방지하기 위해서는 시간당 10 - 15회의 환기가 필요하다. 또한, 증기를 제거하기 위하여 응축기를 사용하는 것도 필수적이다.

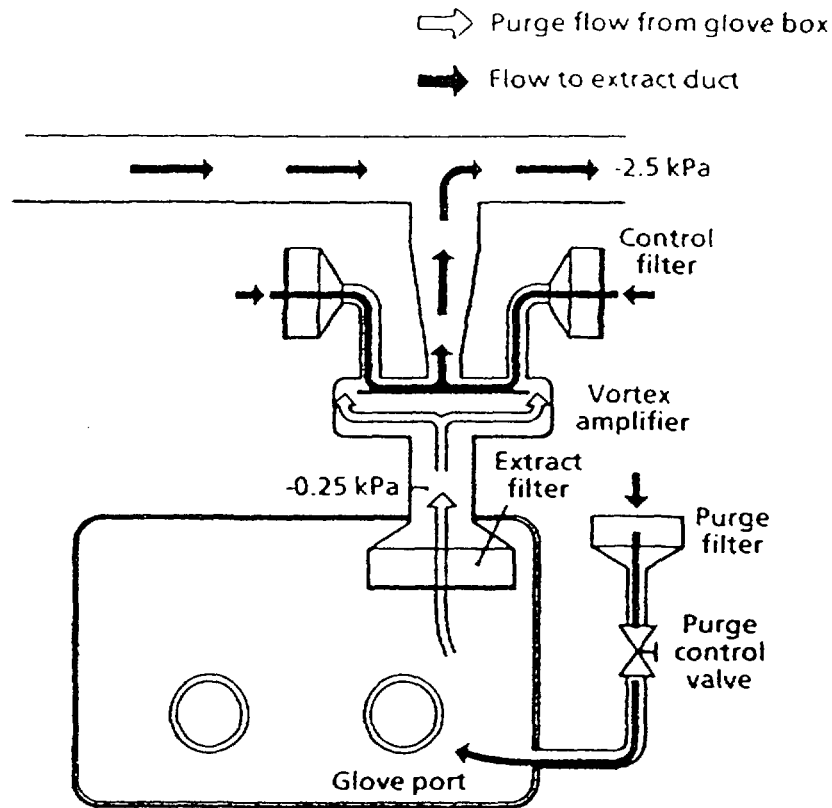


Fig. 3. Vortex amplifier (Normal position)

부식성 증기나 가스가 박스 내에 확산되지 않도록 하여야 한다. 이들은 그를 제거하거나 또는 중화시킬 수 있는 별도의 시스템 즉, 스크러버(Scrubber)나 다른 적절한 수단을 이용하여 그 공정장치로부터 배출시켜야 한다. 그러나, 이들 증기나 가스가 박스 내에 일부 확산되는 것을 완전히 피할 수는 없을 경우도 있다. 이때, 박스 내 및 배기계통 내에 이들이 과도하게 누적되는 것을 방지하기 위해서는 시간당 30회의 환기가 필요하다.

플루토늄의 건식 취급공정일 때는 투과율 10^{-6} 이하가 필요하다. 필터는 난연성 재료를 사용한 것이어야 하며, 아울러 내부식성 재료이어야 한다. 글로브 박스 필터의 효율이 충분하더라도 배기계통에는 필히 백업 필터(Backup filter)를 설치하여야 한다. 이때 백업 필터는 여러 개의 글로브 박스를 수용할 수 있는 것이 좋다.

박스 환기용 공기는, 박스가 설치되어 있는 방 공기를 박스 입구에서 여과한 후 박스로 공급시키게 된다. 이때 필터는, 필터가 눈매꿈(Clogging)되어도 박스와 방 간의 압력차를 극복할 수 있을만큼 충분한 크기를 갖어야 한다. 또한, 흡입측 필터는 배기측 필터의 수명을 길게 하는 역할을 해야 하며, 사고로 인하여 박스 내의 압력이 증가될 경우에도 오염물질의 확산을 방지할 수 있어야 한다. HEPA 필터의 사용이 일반적이다. 박스 내의 압력이 증가될 가능성이 있는 경우에는 필수적이다.

박스에 연결되는 인입부(Inlet) 및 배출부(Outlet)는 폐쇄할 수 있도록 되어 있으며, 박스 자체도 매우 기밀구조로 되어 있어서 필요하면 분리하여 수리장소로 이동할 수 있다. 박스의 기밀도는 압력차 1,000 Pa (100 mm WG)일 때 박스 자체 체적의 0.5 % 이하이어야 한다.

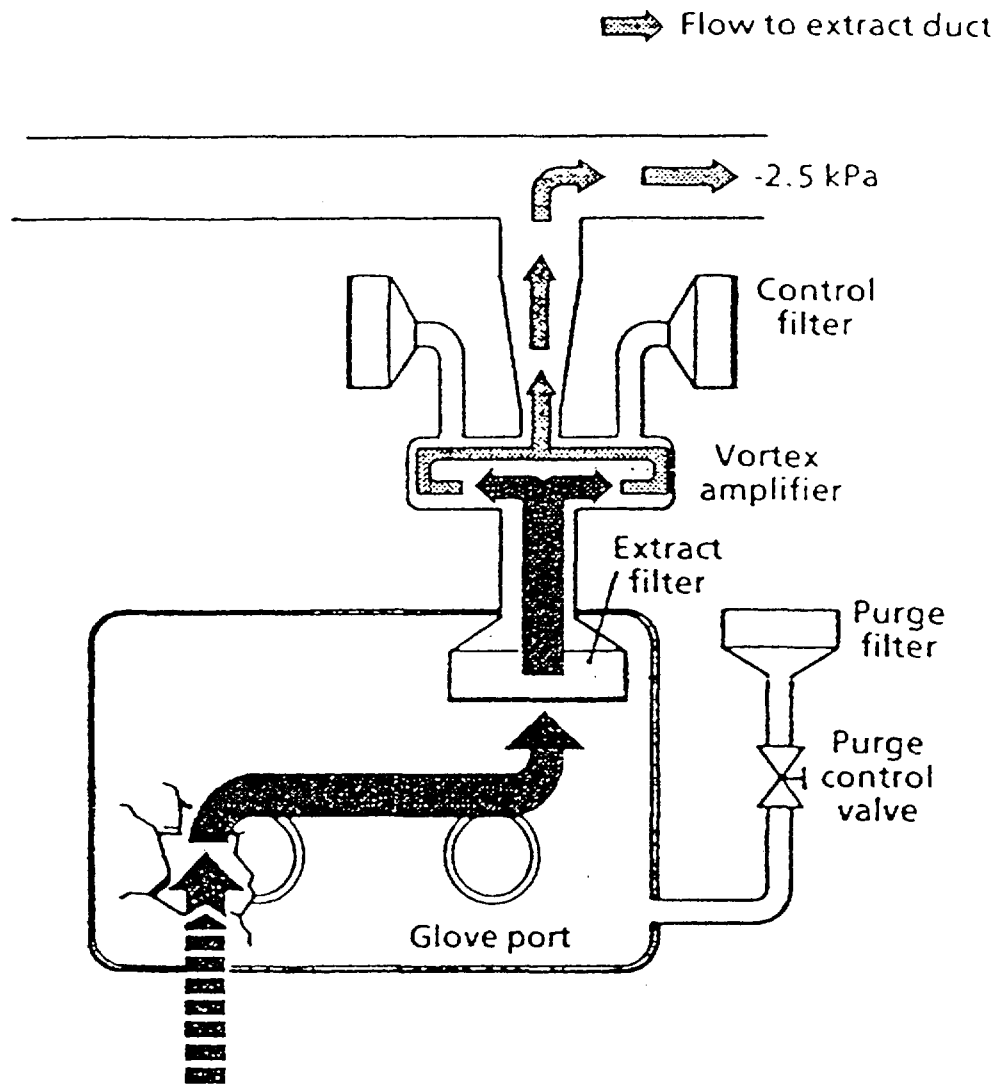


Fig. 4. Vortex amplifier (Switch position)

마. 재순환 시스템

재순환 시스템을 채택할 경우에는, 가스 세정/재순환 플랜트를 거쳐서 가스를 재순환시킨다. 이때, 플랜트는 부식성, 폭발성 및 기타 불필요한 가스나 증기 등을 제거하고 시스템 내의 압력을 조절하는 기능을 갖추도록 설계하여야 한다. 재순환 시스템은 건조 공기 또는 불활성 가스 분위기의 공정에 적합하다.

박스는 기밀성이 아주 높아야 한다. 시간당 최대 누설율은 일반적으로 1,000 Pa (100 mmWG) 부압에서 박스 자체 체적의 0.05 % 로 하고 있다. 비상시에는 박스를 배기계통에 연결할 수 있다. 단일 유로시스템에서 기술한 바와같은 요건들이 필요하다. 즉, 글로브가 파손될 경우에도 오염물질이 확산되지 않도록 하여야 한다.

2. 핫셀

가. 일반 요건

감마선을 방출하는 물질을 많이 취급하는 경우에는 필히 차폐하여야 한다. 작업중에 먼지가 발생하는 작업일 때는 오염의 가능성이 있으며, 이런 핫셀의 환기 및 공기여과에 대한 기본 요건은, 원칙적으로 글로브 박스의 경우와 같다. 소형 셀의 경우에는 납벽돌로 차폐하는 것이 대부분이지만, 대형 셀에서는 두꺼운 콘크리트 벽을 쳐서 차폐한다. 설계 요건은 취급하는 방사선 준위 및 셀의 크기에 따라서 글로브 박스에 필요한 요건에 추가된다.

핫셀의 환기에는 제어수단이 강구된 단일유로 시스템이 일반적으로 채택되고 있다. 공급측의 여과필터를 통해서 핫셀 외부 운전구역(Maintenance area)의 공기를 핫셀에 공급하는데 이때 공기유량은 그 셀에서 이루어지는 작업에 따라서 결정된다. 콘크리트 핫셀은 일단 건설이 완료되면 그 특성이 불변하게 되므로 그 셀내에서 여러 가지 작업을 수행하기 위하여는 환

기 시스템을 이런 여러 가지 작업에 부응할 수 있도록 설계하여야 한다.

나. 환기횟수 및 유속

핫셀의 환기 횟수는 시간당 60회로 설계하는 경우가 많다. 가능하면, 공기 흐름이 셀의 상부로부터 하부로 형성되도록 공기 공급 포트와 배기 포트를 설치하는 것이 좋다. 이렇게 하면 셀 내의 먼지 입자가 부유되지 않고 용이하게 갈아앉게 하는데 효과적이다. 핫셀의 출입용 차폐 도어를 개폐할 때는 유속이 1 m/s로 유지될 수 있도록 한다. 이는, 개폐시에 방사성 분진이 운전구역으로 확산되지 않도록 하기 위함이다. 이 유속이 배기측 필터의 크기를 결정하는 설계 인자가 될 것이다.

다. 배기체의 여과

배기측에는 난연성 재질로 된 1차 HEPA 필터나 Prefilter를 필히 설치하여야 한다. 필터를 핫셀 내부에 설치할 수도 있는데 이때, 매니퓰레이터(Manipulator)를 사용해야만 할 경우에는 예기치 않은 손상의 위험성도 있으며 또한 필터의 취급도 용이하지 않다. 대안으로, 압출 교체식 원형 필터(그림 5)가 고려될 수 있다. 최종 HEPA 필터에서는 배기중의 분진을 모두 제거하여야 한다.

대형 셀에서는 조사핵연료를 취급하는 경우도 자주 있으므로, 여기서 나오는 Iodine을 제거하기 위해서는 Charcoal filter도 필요하다.

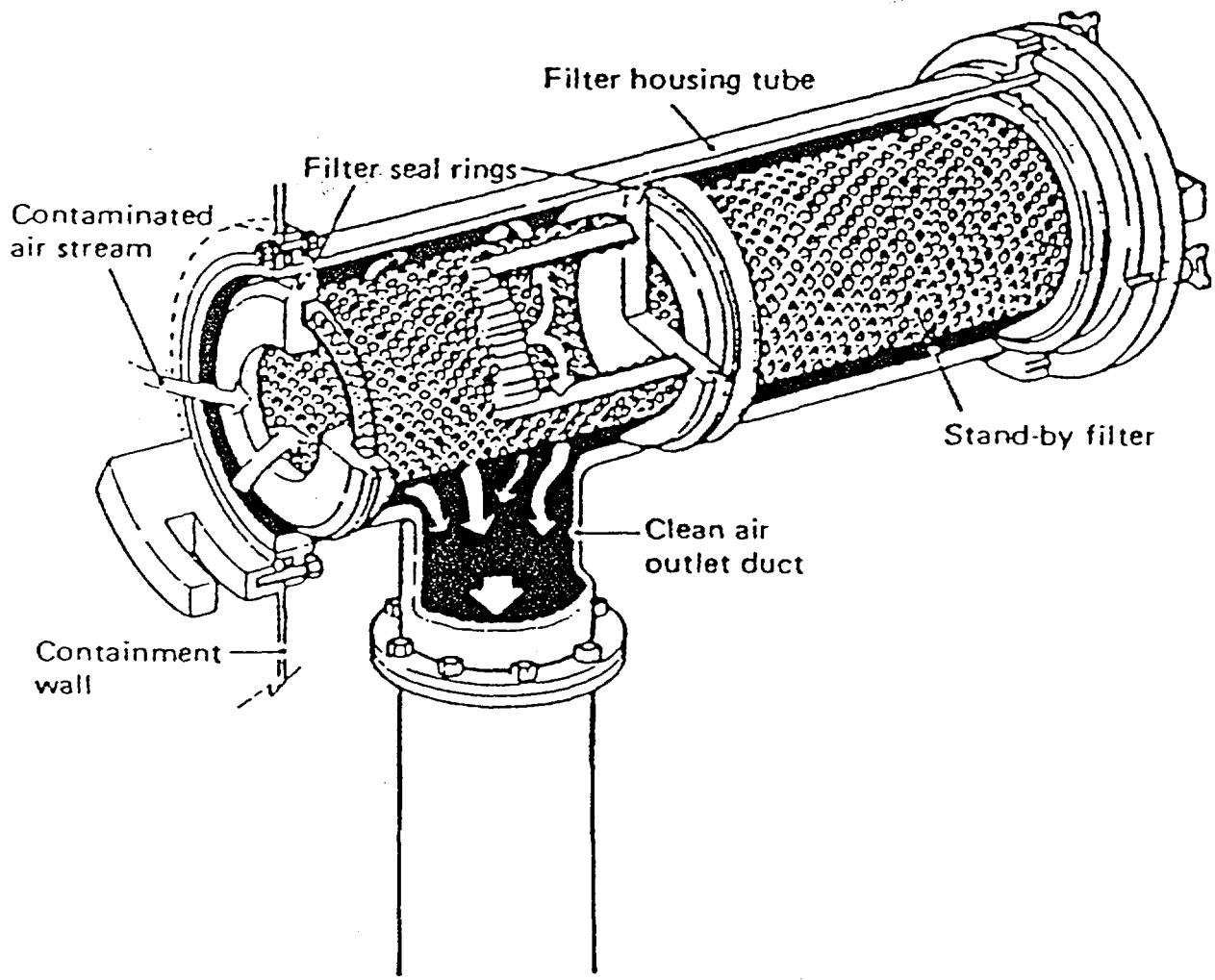


Fig. 5. Push-through filter system

3. 원자로 건물

가. 일반 요건

원자력 건물의 정상운전시 환기 시스템 설계에 대한 기준은 USNRC Regulatory Guides 1.140 및 1.143 [8, 9]와 Reaktorsicherheitskommission(독일)[10]이 많이 사용되고 있다.

원자로 건물 환기 시스템의 주 기능은 아래와 같다.

- (1) 격납용기 안의 기체 방사성 준위를 기준치이하로 유지하고, 또한 주변 환경으로의 방출을 감소시킨다.
- (2) 설계 부압 및 유로 방향을 유지한다.
- (3) 설계 온도이하를 유지한다.

원자로 건물에서 나오는 공기나 가스에 대한 세정 요건은 그 공기나 가스가 나오는 시스템의 종류에 따라서 다르다.

원자로 건물은 통상적으로 출입의 제한 정도에 따라서 구역을 구분하고 있는데 즉, 자유 출입 구역, 제한 출입 구역 및 출입금지 구역으로 되어 있으며 이에 따라서 환기 시스템이 각각 다르다. 원자로 건물 환기 시스템의 한 예가 그림 6인데 이는 PWR의 Purge system 이다.

운전 중에 사람이 출입할 수 있는 구역의 일반 환기에는 오염기준을 낮게 유지하여야 한다. 작업중에 사람이 그곳에 있을 수 있으므로 방사성 오염 기준을 최대 DAC(Derived Air Contaminations) 이하로 유지해야 한다.

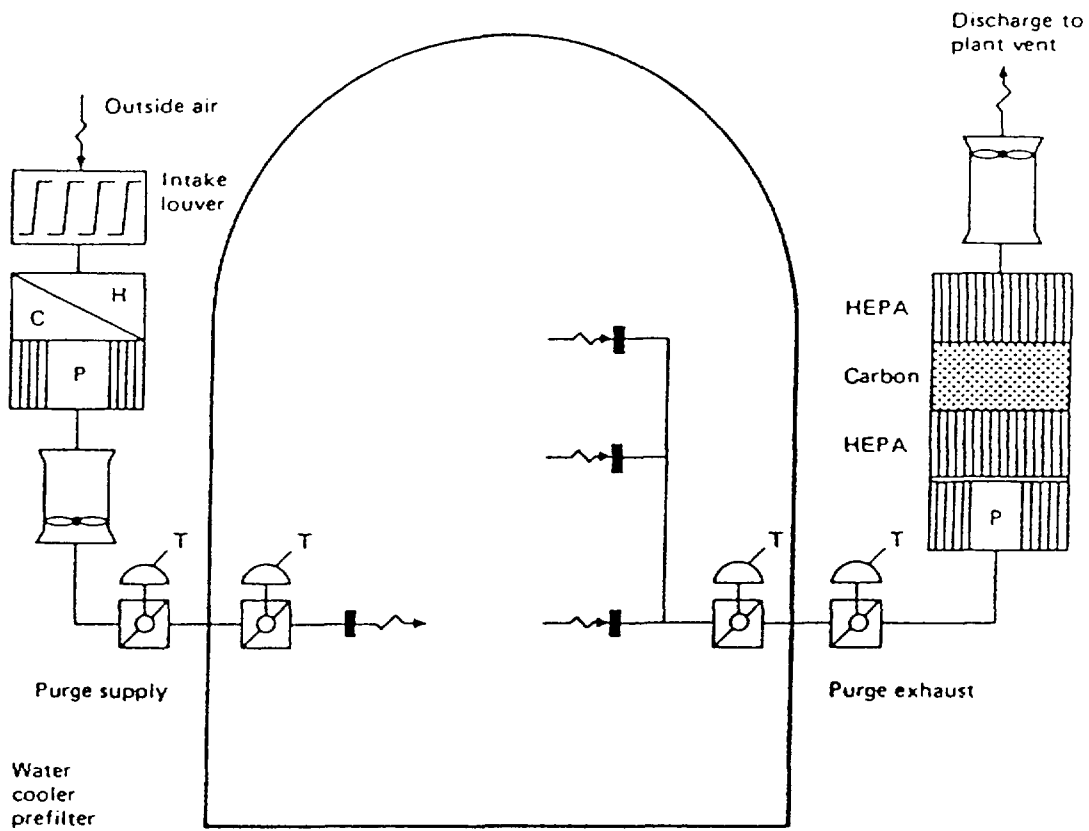


Fig. 6. Containment purge system

1차 냉각수 시스템이 있는 시설에는, 여기된 부식성 물질 및 구멍난 핵연료봉으로부터 새어나온 핵분열 생성물질이 포함되어 있는 냉각수가 누출되어 공기의 오염도가 높을 수 있다. 그러나 이때 공기중의 높은 오염도 때문에 운전에 영향을 끼치지 않는데 이는 1차 냉각수 구역은 방사선 준위가 높은 곳이어서 출입금지 구역으로 되어 있기 때문이다.

핵연료봉의 균열부나 핀홀로부터 누출되어 나오는 핵분열 생성물질들의 양은 핵연료의 운전 온도에 크게 좌우된다. 1,600 °C에서 Iodine의 방출이 급격히 증가된다.

배기체의 정화시스템은 고효율의 것이어야 하며, HEPA 필터이어야 한다. 또한, Iodine을 포집할 수 있도록 Charcoal 필터가 겸비되어야 한다.

나. Off-gas 시스템

공정에서 나오는 Off-gas는 환기시스템에서 나오는 공기보다 오염도가 높은 경우가 대부분이다. 그러므로 원칙적으로, 공정의 Off-gas는 전체 환기 시스템에 합류되기 전에 미리 처리한다.

이렇게 함으로써 다음과 같은 이점을 얻을 수 있다.

- (1) 전체 환기시스템의 공기를 다 처리하지 않아도 됨으로 처리 비용이 낮아진다.
- (2) 환기 시스템의 사고시에도 오염의 확산이 최소화 된다.

모든 원자로에는 원자로에서 나오는 Gas를 대기중에 방출하기 전에 세정하는 Off-gas 시스템이 설치되어 있다. 에어로졸은 물론이고, Off-gas에는 Iodine 및 Noble gas가 포함되어 있을 수 있다. Iodine은 핵연료로부터 누출되어 나올 수 있는 핵분열 생성물 중에서 통상적으로 가장 유해한 것이므로 HEPA필터에 추가해서 Iodine 포집필터를 설치하여야 한다.

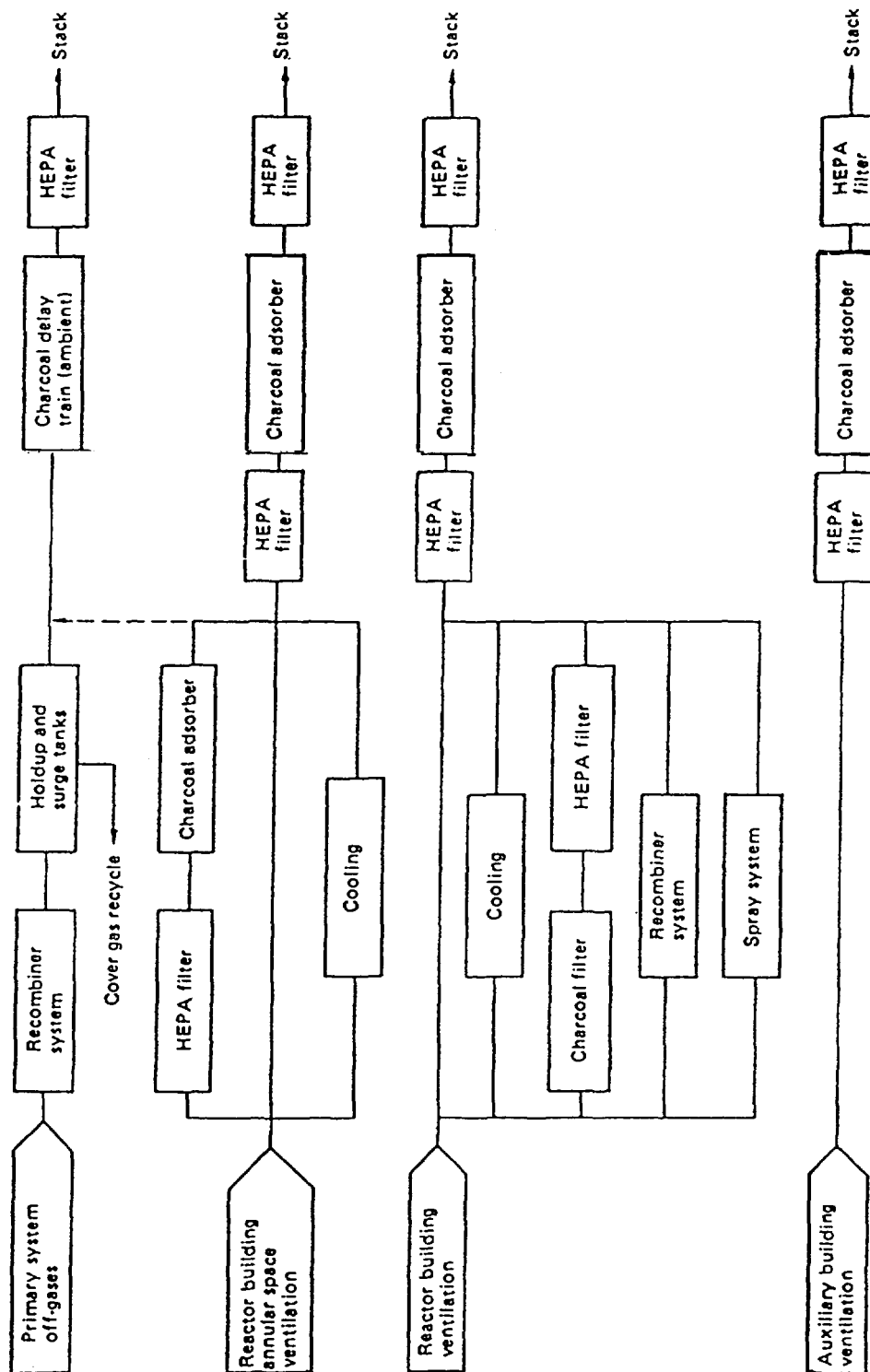


Fig. 7 Block diagram of simplified PWR gaseous effluent treatment for normal and accident conditions

그림 7은 PWR의 Off-gas system의 한 예인데 환기 시스템과 연결되어 있다. 정상운전시 및 비상 조건시에 모두 사용될 수 있도록 되어 있다.

Noble gas는 상온의 Charcoal 필터에서 다만 잠시동안 지체되는 효과만 얻을 수 있다. 이 지체시간을 늘리기 위해서는 필터를 낮은 온도로 유지시켜야 한다.

소정의 목표치까지 감쇄시키기 위해서 감쇄탱크나 Chromatograph 설비를 많이 사용하기도 한다. 감쇄후 생성되는 물질들이 방사성 에어로졸을 형성하므로 이를 제거하기 위해서는 HEPA 필터가 감쇄설비에 함께 설치되어야 한다.

사고시의 Off-gas 시스템 설계에는 ESFs(Engineered safety features)를 참고하게 되는데 이는, 환경으로 방출되는 방사능의 콘트롤, 추가 냉각능력의 확보, 원자로 건물내의 압력 증가 콘트롤 및 수소증가 등을 콘트롤 하게 된다. 이에 관한 미국의 인허가 관련 가이드 라인은 표 6과 같다.

Table 6. Relationships between US licencing guidelines and Engineering safety features (ESFs)

ESFs	USNRC Regulatory Guide	US 10 CFR 50 General design criterion [11]
Containment sprays	1.3, 1.4, 1.7	41
Containment recirculation filters	1.3, 1.4, 1.52	41
Auxiliary building filters	1.52	-
Main steam isolation valve leakage control	1.3, 1.96	-
Stand-by gas treatment	1.52	-
Ice condener	-	-
Containment leakage	1.3, 1.4	16
Dual containment	1.4	50
Pressure suppression pool	-	-

초창기 PWR에서는 사고시 발생되는 핵분열생성물(Iodine 및 에어로졸)을 잡기위하여 원자로 건물 공기재순환 필터시스템을 사용하였다. [그림 8(a), (b).] 이 시스템은 경미한 사고시에 사용키 위한 것이었다. 그림 8.(c)는 격납용기 차폐건물이 있는 경우인데 사고시에 격납용기에서 새어나오는 2차 공기를 여과시킨후 대기중으로 방출시키는 시스템이다. 이는 SGTS(Stand-by gas treatment system)인데 보통 8.5 - 50,000 m³/h 규모이다.

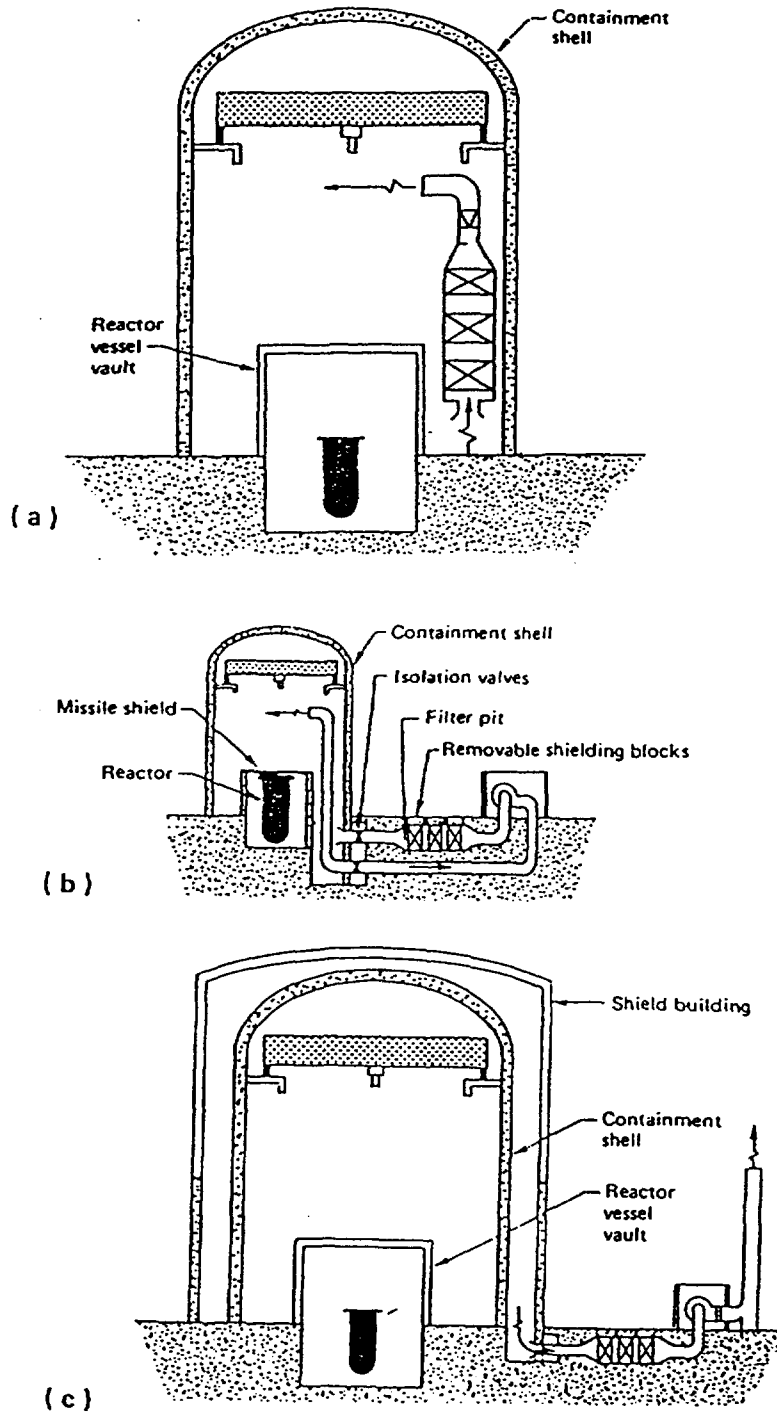


Fig. 8 Air cleaning system in reactor containment
 (a) Pressure containment with internal circulating or kidney ESF post-accident air cleaning system.

- (b) Pressure containment with external recirculating post-accident air cleaning system.
- (c) Pressure containment with shield building Once-through ESF air cleaning system vents shield space to remove containments leaked to shield space from containment.

다. 비상시 환기시스템

사고시에 원자로 격납고를 보호하기 위해서는 비상시 환기시스템이 필요하다. 이는 사고시에 격납고를 보호하고 방사성 물질이 대기중으로 방출되는 것을 최소화 하기 위해서이다. 설계 형태는 원자로의 형식에 따라서 각기 다르다. 각국의 예를 보면 다음과 같다. 표 7은 각국의 비상시 환기시스템 개요이다.

Table 7. Emergency ventilation systems in other countries

Country	System	Decontamination Facto.	Cost estimate (US \$)
Sweden	Column filled with gravel	1,000(aerosol +iodine)	25 x 10 ⁶
"	Multi-venturi scrubber	1,000(")	5 x 10 ⁶
France	Sand bed filter	10(aerosol)	1 x 10 ⁶
Germany	Stainless steel fiber filter	>10,000 (aerosol)	0.5 x 10 ⁶
"	Scrubber + stainless steel fiber filter	>10,000(aerosol) >100(iodine)	3 x 10 ⁶
Canada	Vacuum building + EFAD	>10,000(aerosol) >1,000(iodine)	>100 x 10 ⁶
Italy	SGBT + off-gas treatment	100(aerosol +iodine)	-

(1). 스웨덴의 경우

그림 9 및 그림 10은 스웨덴 Barseback 플랜트에 설치된, 자갈을 사용한 10,000 m³ 짜리 대형 비상용 Stand-by filter system이다.[12] 이는 냉각수가 현격히 감소된 가상사고(Hypothetical accident) 시에 노심이 용융된 경우에 대비한 비상 환기시스템이다.

이들 자갈의 열용량은 사고시의 스팀을 응축시키기에 충분하며, 또한 이때 응축중의 에어로졸 및 Iodine을 포집하게 된다. 이 필터 시스템의 효율은 Noble gas를 제외한 모든 노심 핵종에 대해서 99.9 % 이상으로 설계되어 있다. 그림 9 참조.

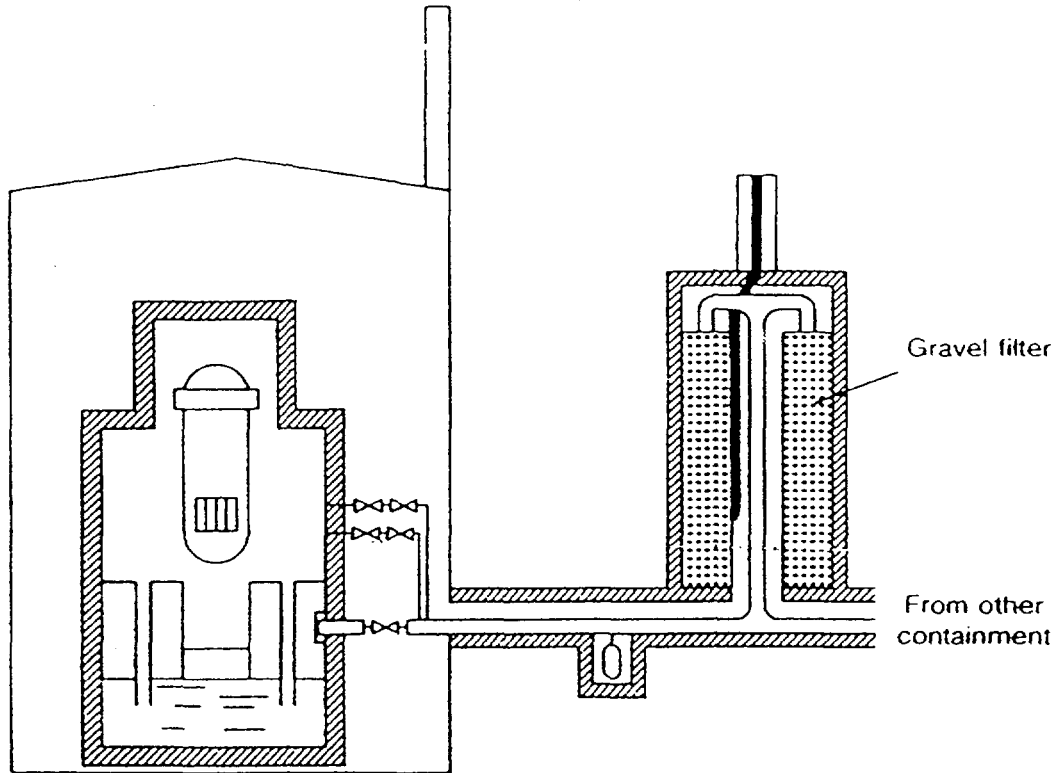


Fig. 9 Filter system at Barsebäck (Gravel filter : volume 10,000 m³, diameter 20 m, height 40 m, stone size 25-30 mm)

스웨덴의 다른 원자로에는 Multi-venturi scrubber를 채택하고 있다.[13] 오염된 가스는 알카리수중을 통과하게 되며, 이어서 그 뒤에 있는 소형 자갈층을 거치면서 분리되게(Droplet separation) 되어 있다. 그림 10 참조. 이 시스템의 성능기준은 위의 경우와 같다.

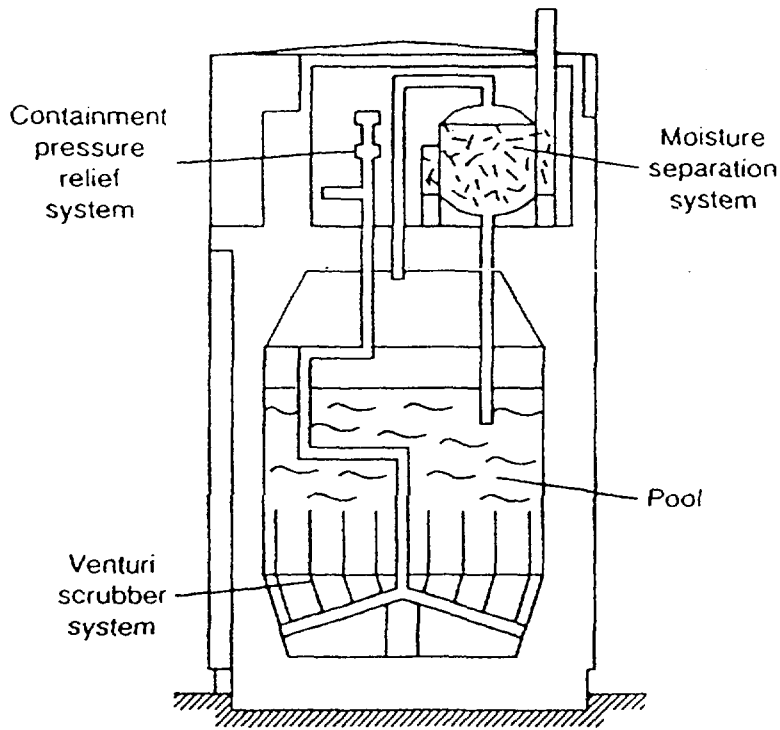


Fig. 10 Multi-venturi water scrubber system for Swedish reactors

(2). 프랑스의 경우

프랑스에서는 모래를 사용하여 사고시의 배출공기를 여과하는 방식이다. 여기 사용되는 모래의 양은 80 톤 가량이다.[14] 표면부의 유속은 10 cm/s, 필터 면적은 42 m² 이다. 그림 11 참조.

필터 모래는 항상 건조상태를 유지하여야 한다.

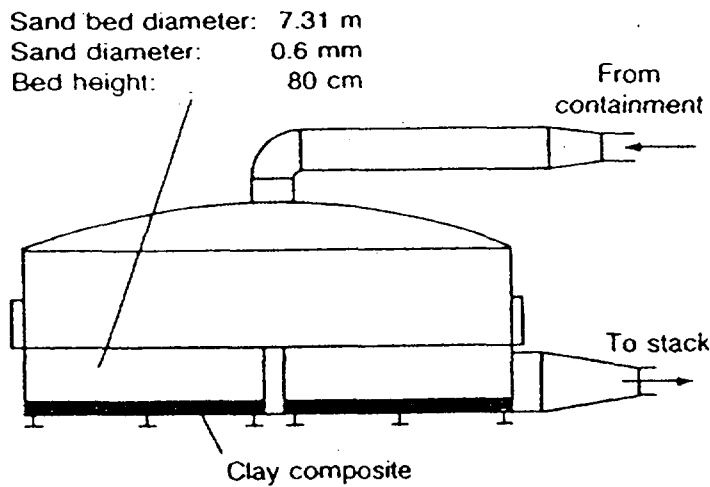


Fig. 11 Sand bed filter (PWR: France)

(3). 독일의 경우

독일의 PWR 원자로에서는 다른 방식을 채택하고 있다. 맨 처음에 설치된 필터는 Stainless steel fiber를 사용해서 만든 것이다. 그림 12는 그 개요이다.

이 필터는 Prefilter부와 HEPA 필터부의 2 단계로 구성되어 있다. Prefilter부에서는 1 μm 이상의 에어로졸을 포집하고, 가스중에 있는 대부분의 물방울을 제거하여 HEPA 필터의 기능을 원활하게 하여준다. [15] 필터의 효율은 HEPA 필터 수준으로써, uranine aerosol에 대해 99.99%이다.

필요하면 여기에 Iodine 필터부도 추가할 수가 있다. 원소 Iodine 또는 유기 Iodine 모두에 대해서 은도금 격자망(Silver loaded molecular sieves)으로 된 필터부를 추가하는 것이다.

BWR 원자로의 경우에 대하여는 Scrubber와 Stainless steel fiber를 같이 사용하는 방식이다. 이 개념의 기본은 BWR은 PWR에 비해서 원자로 격납용기의 기능상실(Failure)이 훨씬 빠르다는데 근거하고 있다. PWR은 며칠정도가 걸리지만 BWR은 하루 이내에 진행되기 때문이다.

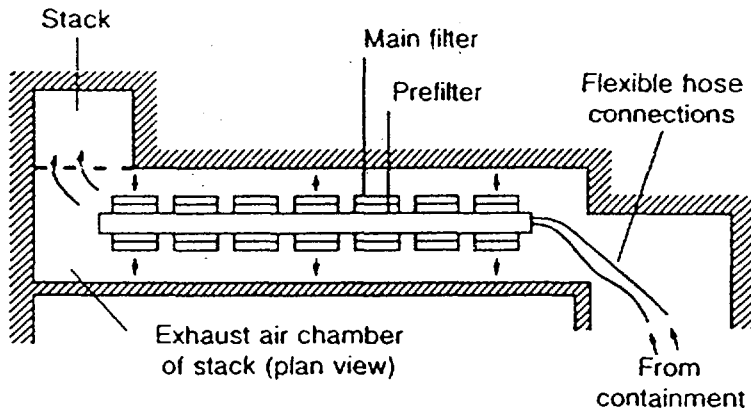


Fig. 12 Stainless steel fiber filter(Brokdorf PWR, Germany)

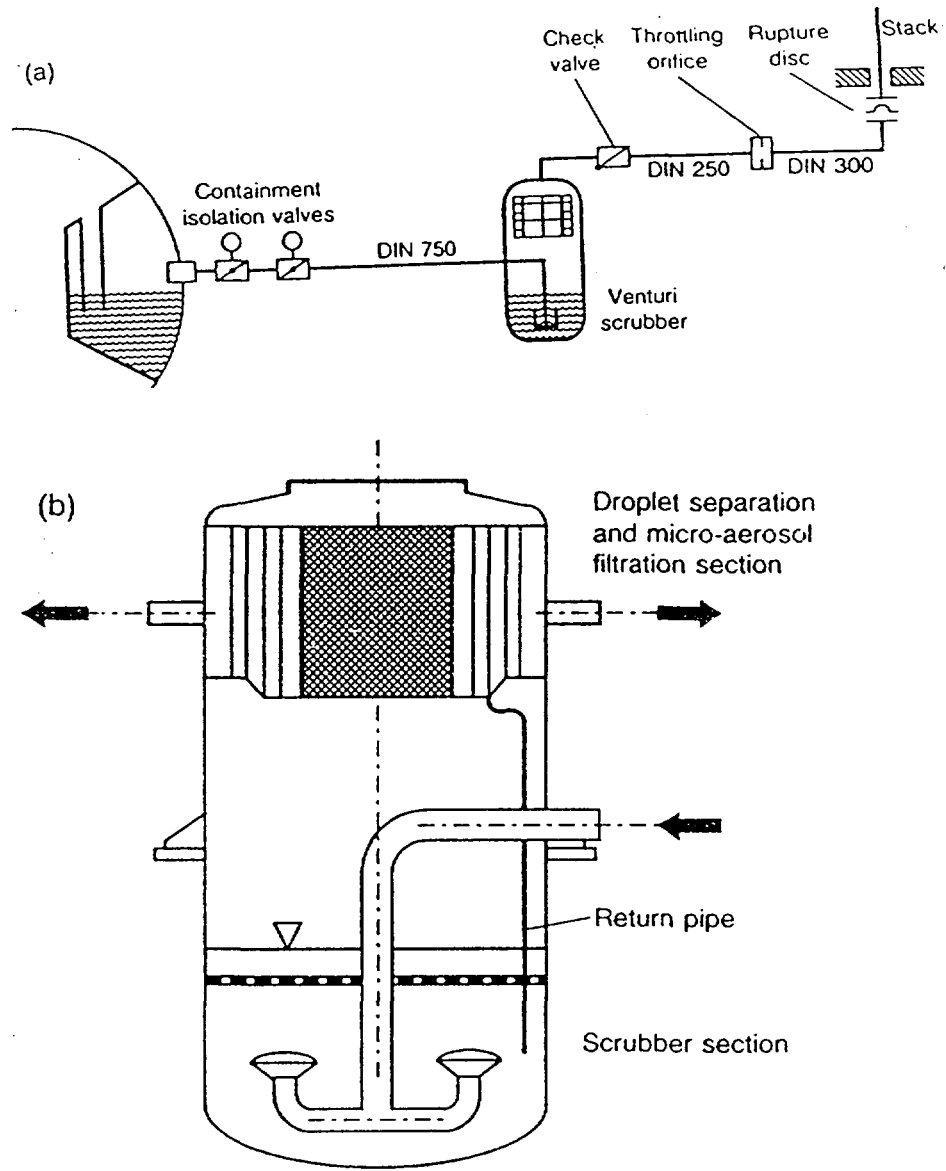


Fig. 13. Venting system (BWR; Germany) (a) Flow diagram, (b) containment venting venturi scrubber(mass flow:<math>< 13.5 \text{ kg/s}</math>, flow: air/steam & mixture, diameter: 4 m, height: 8 m)

즉, 이와같이 빠른 진행은 감쇄되지 않은 Iodine 동위원소의 방출이 더 많이 초래되기 때문에 이에 대한 Scrubber가 필요하게 된다.[16], 그림 13.

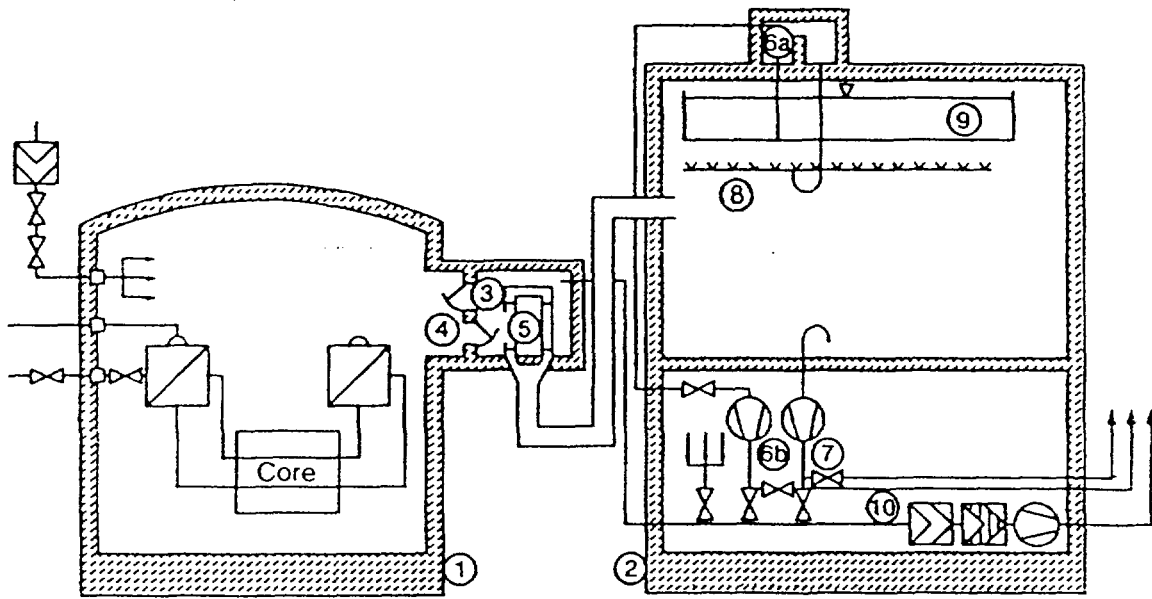
독일에서는, 1989년 말까지 독일 내의 모든 원자로에 대해서 비상시 환기필터 시스템을 갖추도록 법제화 하였다.

(4) 캐나다의 경우

또 다른 방식으로서, 캐나다의 CANDU 원자로에서는 비상시 배기체 여과시스템(EFAD : Emergency Filtered Air Discharge System)을 갖춘 진공용기(Vacuum containment) 개념을 쓰고 있다.[17] 이것은 보통 4개의 원자로에 대해서 한 개의 필터를 설치하고 있다. 그림 14 참조,

(5). 이태리의 경우

이태리의 Alto Lazio와 Caorso 원자력발전소에서는 SBGT(Stand-By Gas Treatment) 와 Off-gas system을 적용한 비상여과 방식을 추진하고 있다. 그림 15는 각종 사고의 경우에 대응할 수 있는 이 방식의 환기시스템 개요도이다. [18], [19]



Cross-section
A-A









- | | |
|---|---|
|  Valve |  Containment penetration |
|  Dust filter |  Steam generator |
|  HEPA filter |  Line with spray nozzles |
|  Blower, fan |  Liquid level |

Fig. 14. Functional diagram of the CANDU containment system
 (1. reactor building 2. vacuum building 3. pressure relief duct 4. blow-out & blow-in panels 5. pressure relief duct 6a. upper chamber 6b. evacuation system 7. vacuum building evacuation system 8. vacuum building spray system 9. dousing tank 10. filtered air discharge system)

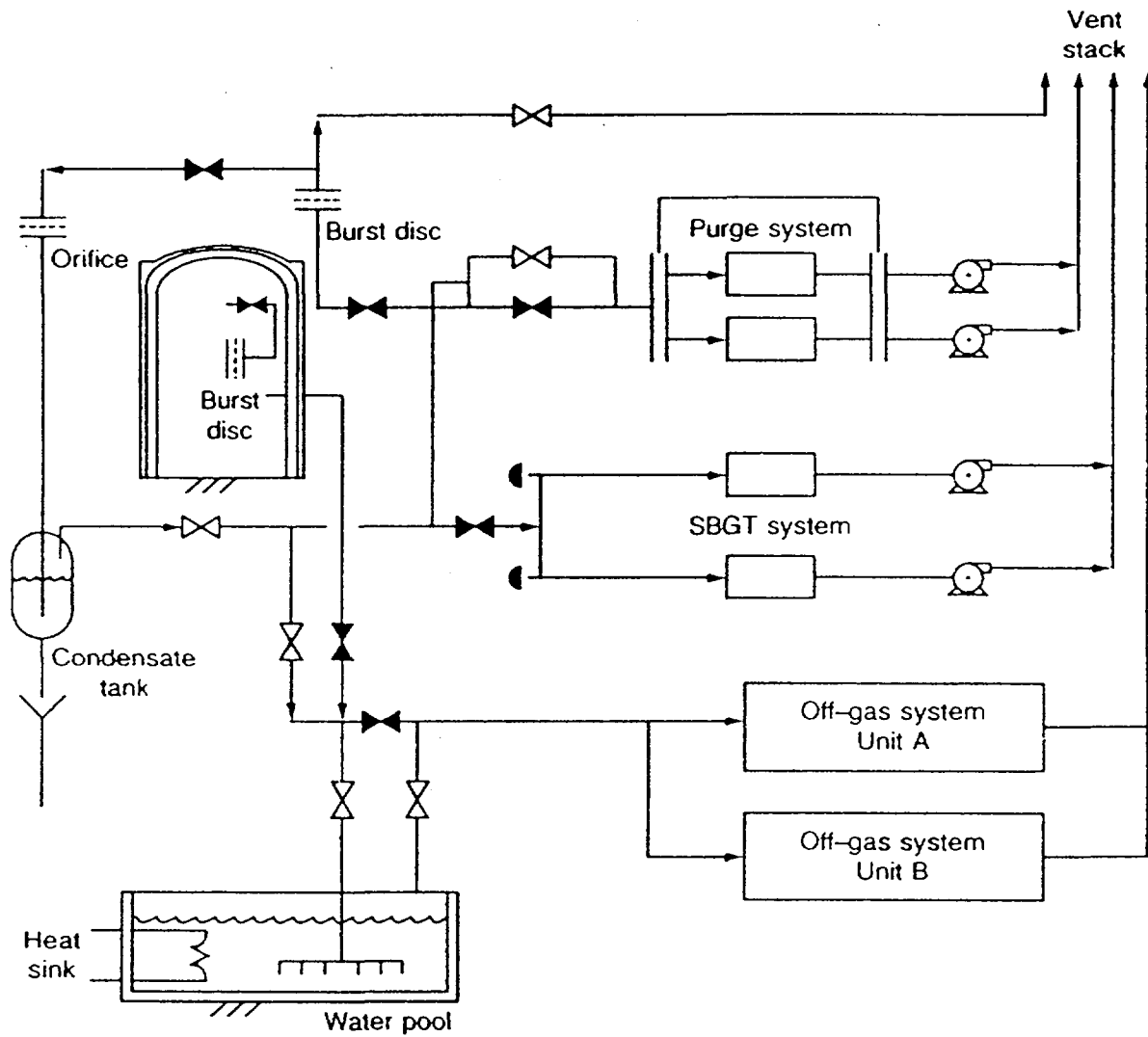


Fig. 15. Venting system concept (Italy)
 (SBGT: stand-by gas treatment)

이때, 배기 가스를 식히거나 청정하기 위하여 격납 용기안에 순환시스템을 설치할 수도 있다. 온도 조건을 필히 고려하여야 하며, 수냉식 원자로의 경우에는 공기의 습도가 높은 점도 고려해야 한다. 핵분열 생성물 중에서

도 Iodine은 그 위해도가 가장 큰것이므로 청정시스템에는 HEPA필터 및 Iodine 포집기를 설치하여야 한다.

물방울이 혼합되어 있는 공기로 인하여 HEPA 필터가 젖게 되는 것을 방지하기 위하여 또, 높은 습도 조건하에서도 Charcoal filter의 효율을 유지하기 위하여는 필터 상류측에 수분 분리기와, 가능하면, 공기 가열기를 설치하여야 한다.

그런데, Noble gas는 이런 장치로도 감소되지 않으므로, 격납되어 있는 용기로부터 누출된 일부는 굴뚝을 통하여 밖으로 배출될 수가 있다. 그러나 설계가 보다 엄격한 경우에는 누출된 가스는 격납용기로 다시 역배출될 수있다.

소형 연구용 원자로의 경우에는, 핵분열생성물에 대한 인벤토리가 까다롭지 않으므로 위에 기술한 비상시 환기시스템을 굴뚝에 연결하여 원자로 건물을 환기시키는 것도 가능하다.

제 4 장 필터 하우징

필터 하우징의 형식은 다음과 같이 크게 두 가지로 분류되고 있다.

가. Unshielded filter housing

저-고 오염부(Low to high contamination), 저 방사선준위(Low radiation) 용으로 사용되며 차폐는 필요하지 않다.

나. Shielded filter housig

저-고 오염부(Low to high contamination), 고 방사선준위(High radiation) 용으로 사용되며 차폐가 필요하다.

1. 비차폐형 필터 하우징

건물 환기 및 소정 공간의 공기 배출에는 일반적으로 이 형식의 필터 하우징이 사용되고 있다. 전체 유량은 어떤 종류의 하우징을 사용할 것인가에 따라서 결정된다.

소형의 하우징에는 표준형 500 - 950 L/s HEPA필터를 각 Canister(형태에 따라서 Canister, Caisson 또는 Bag change housing으로 불리운다)에 장착하여 사용한다.

대형의 하우징에는 선반형 또는 계단형 시스템을 사용하는데, 한 개의 하우징 내에 필요한 만큼의 개별 필터함이 내장된다.

가. Canister형 하우징

배기체 여과에 필요한 용량을 확보하기 위하여는, 표준형 500 또는 850 L/s 사각형 필터 또는 500 또는 950 L/s 원형 필터를 각 Canister형 하우징에 여러개 조합해서 설치할 수 있다. 조합형태는 직렬식이나 병렬식 또

는 그 혼합형 어느것이나 가능하다. 그런데, 이런 조합형은 병렬식의 경우 일반적으로 최대 10개 하우징 이내로 제한하고 있다.

그림 13.은 병렬식 Canister형 하우징의 일반적인 형태이다.

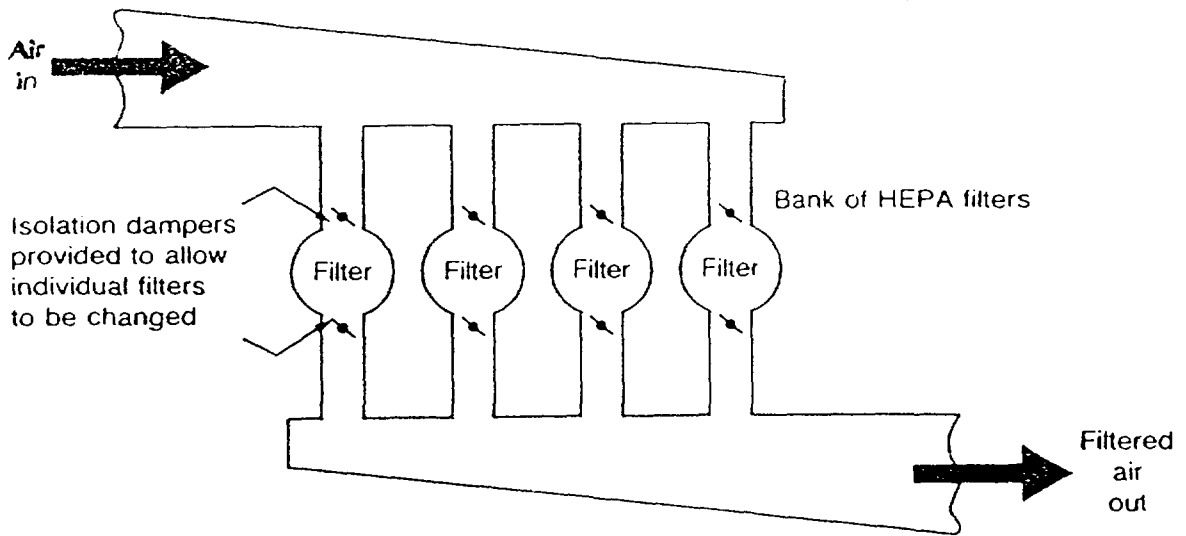


Fig. 16. Parallel battery of canister housings

필터의 교체시에는 각 하우징을 따로따로 조작할 수 있다. 직렬 조합의 경우에는, 하우징을 4개 이상 직렬로 구성하면 필터를 교체하기 위하여 그 중 어느 한 필터를 차단하여도 다른 필터 라인에서 이를 소화시킬 수가 있다. 그러나 그 이하 수량일 경우에는 여분의 Stand-by 라인을 추가로 설치하여야 한다.

필터의 상류측과 하류측 사이에 충분한 공간이 확보되어 있을 경우에는 필터가 설치되어 있는 그 상태에서, 현장에서 필터의 시험이 가능하다. 사각형 및 원형 필터함에 대한 여러 가지 형태의 하우징 디자인이 사용되고 있다.

필터 하우징(하우징 외형 및 필터함 포함)으로부터의 누출 여부는 주로 필터함과 하우징간 접촉부의 기밀상태에 좌우된다. 사각형 필터함의 경우에는 필터함에 가스켓을 붙인 것을 사용하고 있다. 가스켓은 주로 실리콘이나 네오프렌 또는 유리섬유로 되어 있다. 이때, 가스켓이 하우징에 밀착되도록 하기 위하여 필터함을 캠 바(Cam bar)나 나사식 조임쇠로 밀착하여 설치한다.

그림 17은 원형 필터함 및 하우징을 보여주고 있다. 이 경우에 있어서는, 필터함과 하우징 사이에 실리콘 고무로된 실링(Sealing)으로 기밀을 유지하고 있다. 이렇게 실링을 사용하는 것이 사각형 설치함의 경우와 비교할 때 누설율이 매우 낮은 것으로 나타나고 있으며, 설치함을 클램프로 하우징에 조여 붙이지 않아도 된다. 필터함을 교체할 때에는 Bag change technique을 사용한다. 원형 필터함이 사각형의 경우보다 교체가 용이하다.

이동식, 일체형 환기장치를 만들기 위하여 필터 하우징을 팬과 함께 이동 트롤리 위에 설치할 수도 있다.

하우징에는 여과기가 달린 소형 배기구를 따로 설치하여 필터 교체시에 Bag suction을 최소화하는 것이 좋다.

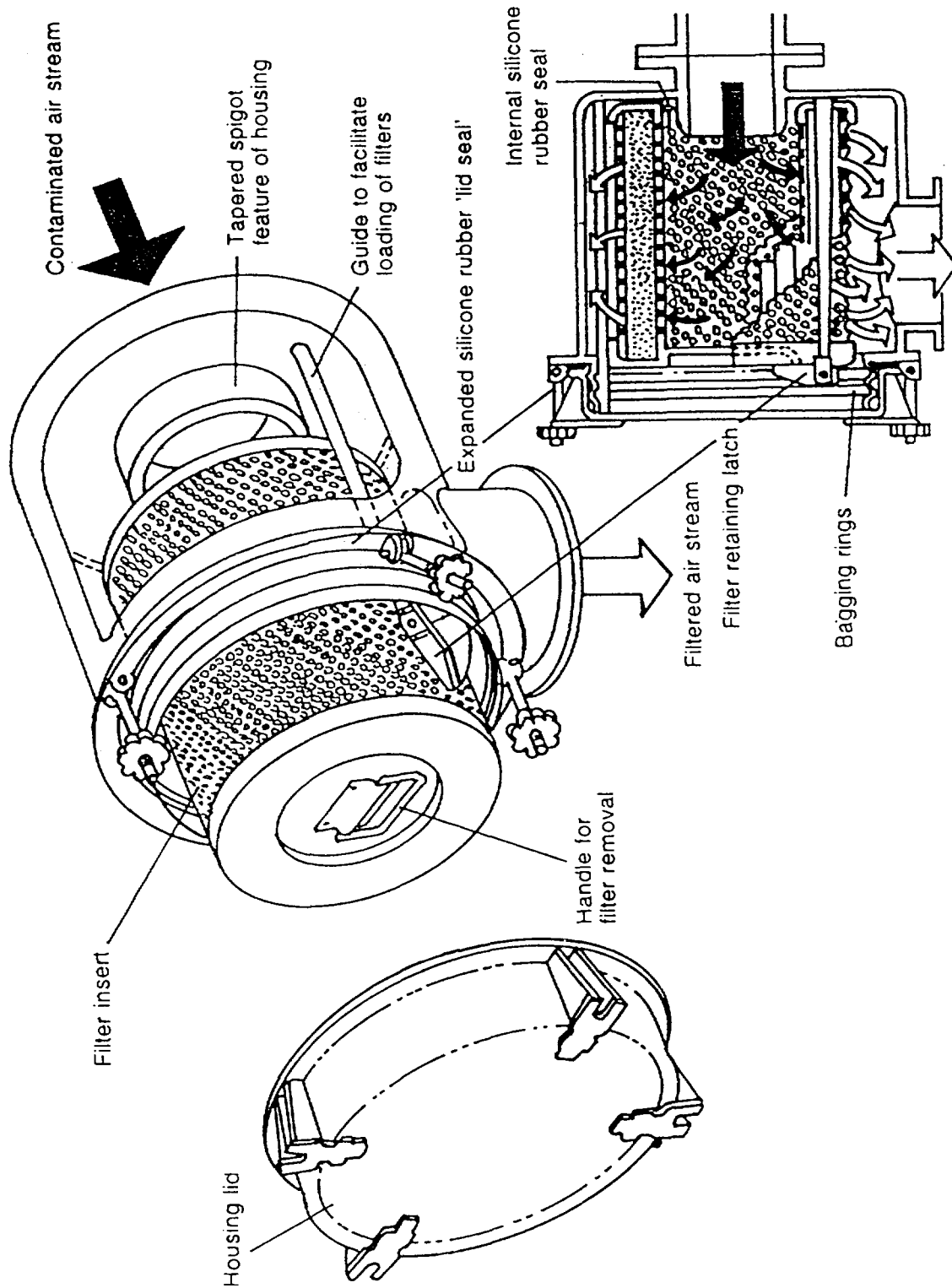


Fig. 17. Plug-in Circular insert filter housing

나. 선반형 하우징

이 하우징 형식은 유량이 많은 경우에 사용된다. 콘크리트 구조물 또는 철구조물로써 박스모양으로 만드는데, 사람이 직접 들어갈 수 있을 만큼 크게 한다. 필터는 구조물의 양면에 수평으로 배열된 선반에 설치하도록 되어 있다.

사각형 필터함의 경우, 필연적으로 덕트의 한 면은 오염되게 되는데 압축공기 주입형 방호복을 입고 들어갈 수가 있다. 원형 필터함의 경우에는 래치(Latch)를 사용하여 필터를 교체하므로 교체는 오염되지 않은 구역에서 행해진다.

이때 실링(Sealing)은 차압과 필터 자중에 의하여 이루어진다. 사각형 필터함의 경우에는 역시 클램프가 사용된다. 사각형 필터함의 경우에는 실링 표면이 되는 선반 바닥판이 평평하여 굴곡이 없어야 한다.

실링 개요는 그림 18.에서 보는 바와 같다. 사용한 필터는 Bag을 사용하여 교체하는 것이 일반적이다.

다. 사다리형 하우징

이 형식의 필터 하우징도 근본적으로는 선반형 하우징과 유사하다. 다만, 필터함이 벽체의 한면 역할을 하게되는 콘크리트 또는 철구조물의 프레임에 설치되도록 되어 있다. 그림 19 및 그림 20.은 사각형 및 원형 필터함의 사다리형 하우징 개요이다.

여기에는 다량의 필터를 한꺼번에 설치할 수가 있다. 주름이 깊은 사각형 필터를 사용할 경우에는 주름의 방향이 수직이 되도록 설치하여야 한다. 그렇지 않으면 주름이 쳐지거나 늘리게되어 필터의 효율이 저하되게 된다. 또한, 사각형 필터함의 경우에는 정확한 위치 설정 및 확실한 클램프의 사용이 실링의 관건이 된다.

선반형 하우징에서와 마찬가지로, 사각형 필터함 교체 작업시에는 압축공기 주입형 방호복을 입고 하여야 한다.

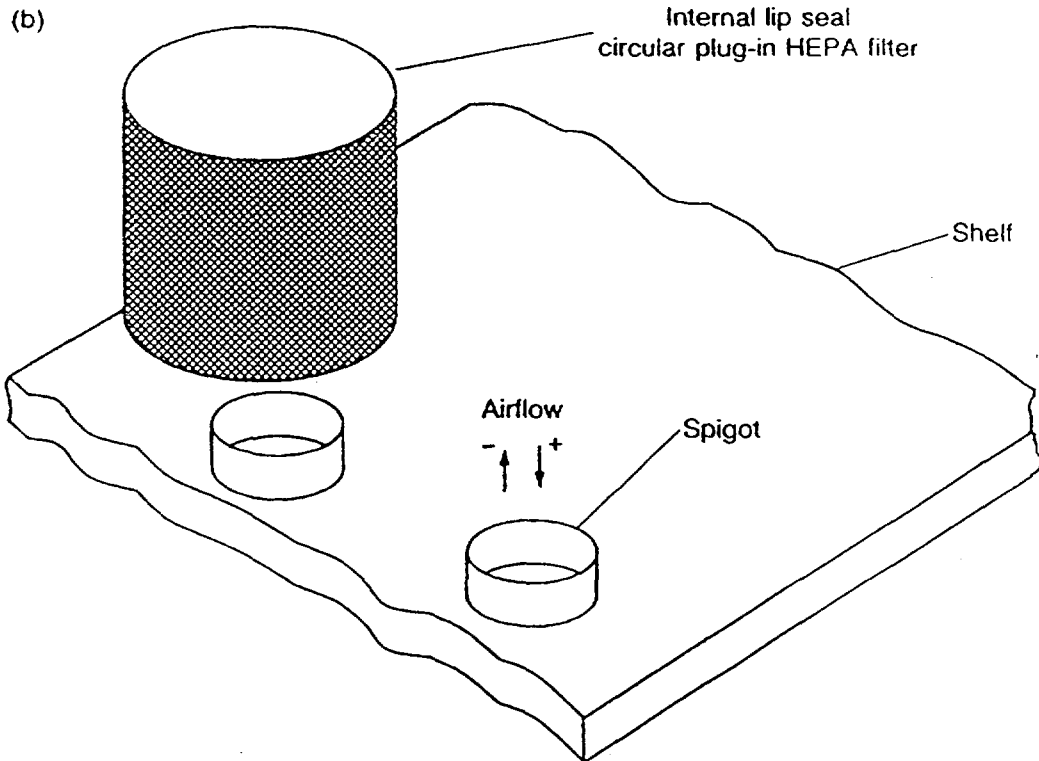
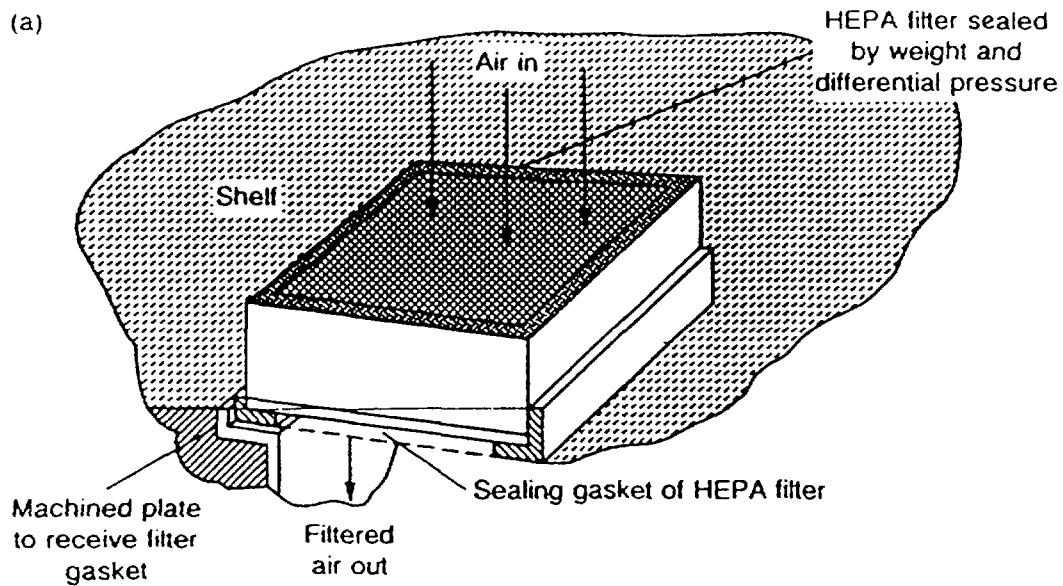


Fig. 18. Shelf type housing systems (a) Rectangular insert
(b) circular insert without latches

라. 글로브 박스형 하우징

25 L/s 까지의 사각 글로브 박스형 HEPA 필터는 글로브 박스 안에 있는 필터 인출라인에 클램프로 고정하여 설치하는 것이 일반적이다. 160 L/s 까지의 하우징에 있어서는, 분진이 많이 누적되거나 오염이 높아져서 필터를 교체하기 위하여 압출식 필터교체 장치가 필요하다. 그림 21.은 그 한 예를 보여주고 있다. 교체한 필터는 Bag에 넣어 반출한다.

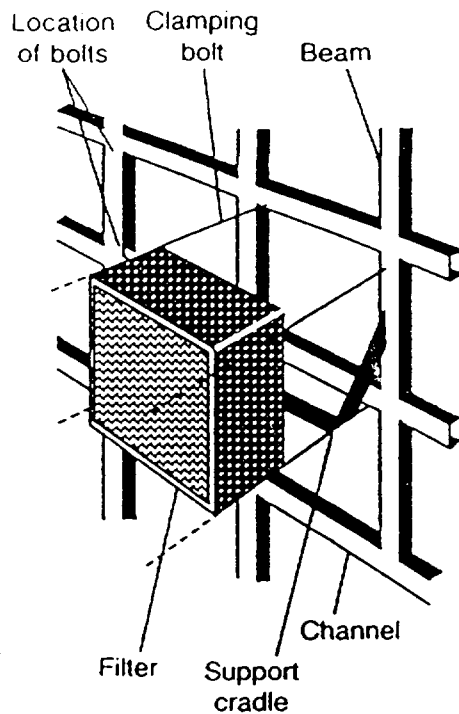


Fig. 19. Ladder type housing system ; Rectangular insert

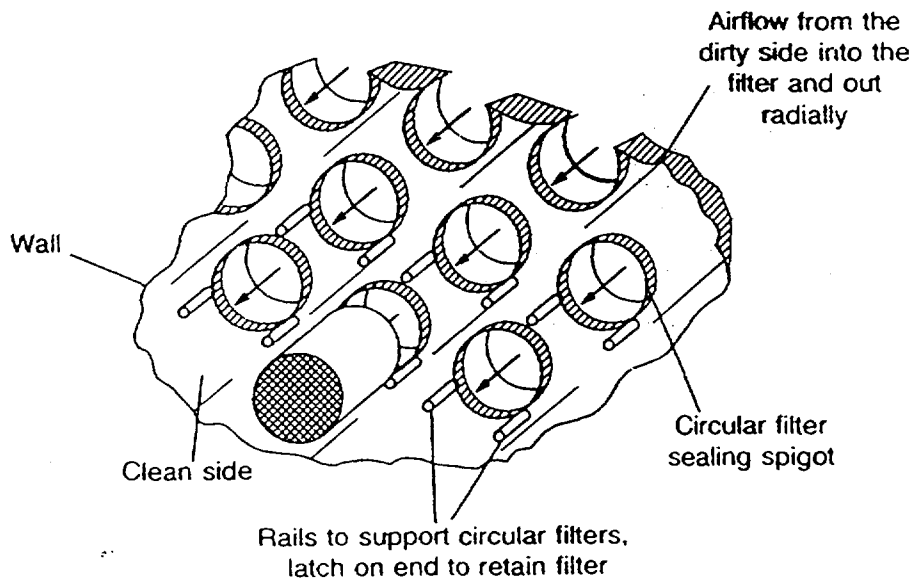


Fig. 20. Ladder type housing system ; Circular insert

2. 차폐형 필터 하우스

필터 하우스를 차폐시킨 형식으로 할 것인가의 여부는 필터 및 덕트 내부 등의 방사성 오염물질 누적을 고려한 위험성 분석 결과에 따라서 결정된다. 화재의 위험성이 있는 경우에는 가능한한 화재 가능 장소로부터 먼 위치에 필터 하우스를 설치하도록 한다.

풍량이 적을 경우와 풍량이 클 경우에 각각 그 형식이 다르다.

가. 일반 요건

차폐형 필터 하우스를 설계할 때에는 위에서 검토한 일반적인 사항들 외에도 다음 요인들을 고려하여야 한다.

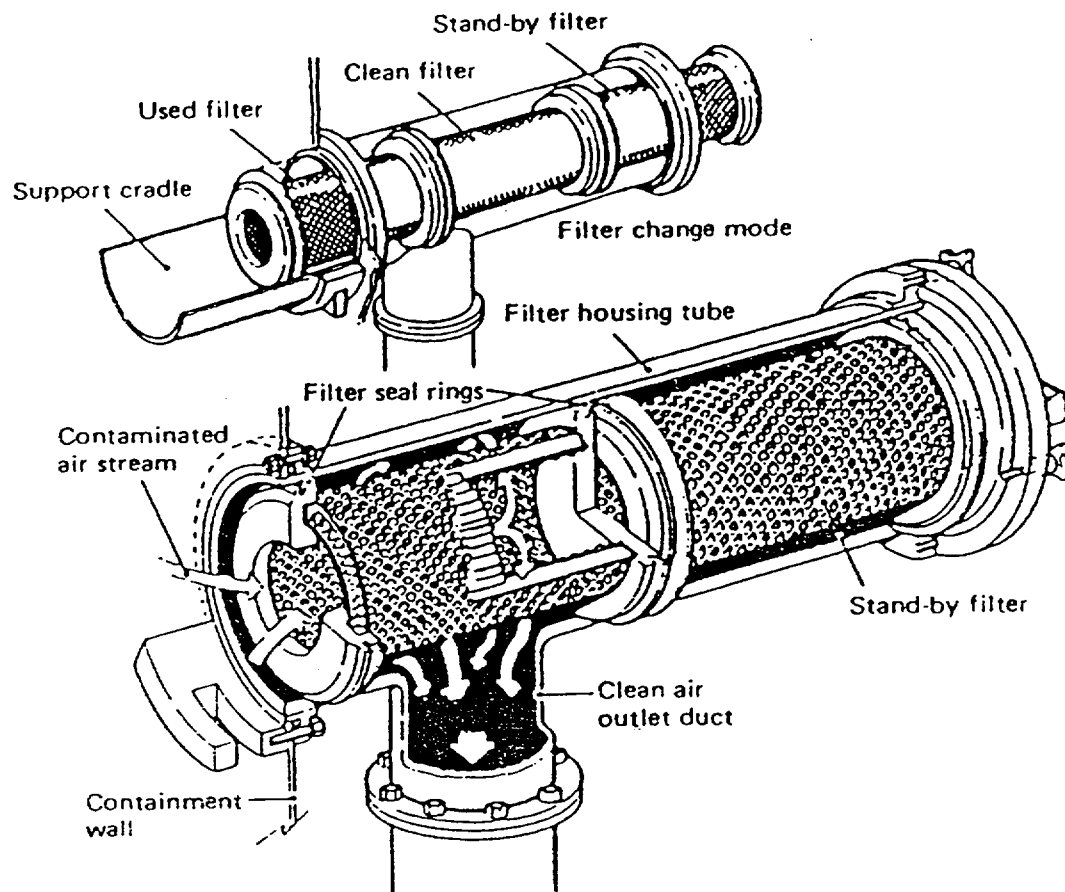


Fig. 21. Push-through filter change system

- (1). 실험실의 경우, 처리공정 설비가 포함되어 있는 셀이 있으면 그것의 Layout는 중앙집중 종합시스템 또는 관련 시스템에 덧붙인다.

- (2). 오염 덕트의 총 길이, 필요한 팬의 수량 및 덕트내 오염부위의 피막 도포 등은 하우징 형식 선택에 중요한 고려인자가 된다.
- (3). 비교적 고준위 방사성 물질이 취급되는 HEPA 필터의 경우, 그 폐기물의 처리 및 처분방법

나. 저풍량용 하우징

위에서 기술한 Canister형 하우징을 각각 개별적으로 원격조작하는 형태이며 이를 차폐시킨 것인데 아직 쓰이고 있지는 않다. 조사후 시험시설 같은 곳에 이 형식의 것을 사용할 수 있는데 셀내에 사각형 필터를 수평방향으로 또는 수직 방향으로 설치할 수 있다.

그런데, 만일 필터함을 매니퓰레이터나 셀내 크레인을 사용하여 원격조작코져 한다면 심각한 문제를 야기시킬 수가 있다. 따라서 이와같이 원격조작을 행하는 것은 Prefilter에나 적용할 것이며, 또한 유로의 하류측에 있는 플랜트에는 적용하지 않는 것이 좋다.

만일 이와같은 Prefilter가 꼭 필요한 경우에는, Push-through type 160 L/s 원형 필터를 벽에 낸 구멍속에 단독 또는 복수로 설치하는 것이 좋다.

다. 고풍량용 하우징

고풍량용 차폐형 필터 하우징은 자체 Cell 이나 Canyon과 한 세트로 설치하게 된다. 여기에는, 필터의 교체를 용이하게 하기 위하여 원격 교체설비를 갖추며, 또한 콘크리트로 차폐시킨 선반형 하우징으로 한다. 이는 사다리형 하우징으로 할 때 보다 교체작업이 용이하다.

지금까지 매우 여러 가지 형태의 차폐형 필터 하우징이 사용되어 오고 있는데 그 기본 개념은 다음과 같이 두 가지로 분류할 수 있다.

- (1). 전체 차폐형식 : 필터와 원격교체 장치를 동일 차폐함 내에서 함께 차폐시킨 형식
- (2). 개별 차폐형식 : 필터는 필터대로 원격교체장치는 장치대로 각각 별도로 차폐시킨 형식

비차폐형 필터 하우징과 마찬가지로, 이때에도 원형 필터함의 경우에는 필터 위치가 자동 조심(調心)되며, 클램프가 필요없는 이점이 있다.(이때 필터함에는 외부 실링막(External lip seal)이 필요하다.)

차폐형 필터 하우징의 현장 누설시험 시에는 시험용 에어로졸의 주입 라인과 샘플링 라인의 배치에 주의를 기울여야 한다. 라인의 배관은 될수록 짧게하고, 굽힘부를 적게하며 가능하면 에어로졸이 자체로 드레인 될 수 있도록(특히 에어로졸 주입라인) 설치함으로써 에어로졸이 라인 내에 정체되어 장애가 되지 않도록 하여야 한다.

제 5 장 Commisioning시 고려사항

원자력시설의 방사성 환기 플랜트를 Commisioning 할 때에는 공기 유량 및 각 구역간 부압 조정 등 각종 요소들을 적절하게 조절하여 셋팅하여야 한다. 일단 방사성 물질이 취급되기 시작하면 이와같은 조절을 할 기회가 없을 수도 있기 때문이다.

1. 풍량 및 차압

각 작업구역의 유량 및 각 구역간 차압을 설계치대로 조절하여 셋팅한다. 중요한 것은 이 과정을 여러번 반복 실시하여 정확한 셋팅이 되도록 하는 것이다. 이렇게 함으로써 비록 Commisioning시에 많은 시간과 노력이 들더라도 장차 운전중에 일어날 수 있는 어려움을 예방할 수가 있는 것이다. 일단 환기 시스템이 균형있게 셋팅 완료되면 추후에는 그 셋팅을 변경하지 않도록 한다.

2. 필터 하우스

차폐형 필터하우스, 비차폐형 필터하우스 및 사다리형 필터하우스 등에 대하여, 주입구 및 샘플 채취구에서의 테스트 에어로졸의 분포도를 구한다. 각 샘플링 포인트에서 얻은 값들의 평균값과 각 샘플링 포인트 자체값 각각과를 비교한다. 이때 값차이가 많으면 에어로졸이 더 잘 혼합되도록 하거나 또는 샘플링 포인트의 위치를 바꾼다.

각각의 샘플링 포인트에서 얻은 새 필터의 제염계수와 샘플링 포인트들의 평균값에서 얻은 새 필터의 제염계수는 서로 어느정도 적절히 일치하는 값이어야 한다. 만일 그렇지 못하면, 샘플링 라인을 수정하도록 한다. 이렇게 두 값으로부터 얻은 제염계수의 비로부터 정해진 Calibration factor를 장차 계속해서 현장측정시에 적용하게 되므로 Commisioning시에 정확하게 측정하는 것이 중요하다.

제 6장 결 론

원자력 시설의 방사성 환기 시스템은, 시설내에서 발생하는 기체 핵분열 생성물이나 방사성 가스 또는 에어로졸 방사성 물질 등이 시설 밖으로 누출되지 않도록 함으로써 주변 자연환경을 보호하고 아울러, 시설내 작업자의 안전도모와 쾌적한 작업환경 유지를 목표로 하고 있다. 특히, 원자로 건물은 화재 등 비상시에 원자로 건물내의 온도 및 압력이 상승하지 않도록 억제하는 중요한 기능을 가지고 있다. 원자력 시설의 환기 시스템은 부압유지의 특수성과 단위 시간당 환기횟수가 많은 특성이 있기 때문에 대형 회전기계류가 많이 사용되며 따라서 건설비용 및 운영비용이 매우 높다. 이러한 기능이 원활하고 경제적으로 이루어지기 위해서는 합리적이고 효과적인 환기 시스템의 설계가 필요하다.

이를 위하여는, 원자력 시설 내부를 방사선 준위에 따라서 적절한 구획으로 구분하고, 이에 따른 효율적인 일방향 유로를 설정함으로써 환기 소요량이 필요이상 커지지 않도록 배려함과 아울러, 각 구역간의 차압 및 환기횟수를 적합하게 설정하는 것이 매우 중요하다. 소요 환기량의 대소는 바로 운영비용과 직결되므로 이를 최소화하기 위해서는 오픈 박스나 글로브 박스 등의 밀폐용기를 활용하여 오염공기량을 줄이고, 오염되지 않은 공기는 배기체 여과장치를 거치지 않고 직접 대기중으로 방출하도록 하는 것이 효과적이다.

참고 문헌

- [1]. International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication 26, Pergamon Press, Oxford and New York, (1977)
- [2]. International Atomic Energy Agency, Particulate filtration in nuclear facilities, Technical reports series No. 325, IAEA, Vienna, (1991)
- [3]. International Organization for Standardization, Fundamental principle for protection in the design and construction of installation for work on unsealed radioactive material, Draft ISO Recommendation 1710, ISO, Geneva (1968)
- [4]. International Atomic Energy Agency, Techniques for controlling air pollution from the operation of nuclear facilities, Safety series No.17, IAEA, Vienna (1966)
- [5]. International Atomic Energy Agency, Air filters for use at nuclear facilities, Technical reports series No. 122, IAEA, Vienna (1970)
- [6]. International Atomic Energy Agency, Design and operation of off-gas cleaning systems at high level liquid waste conditioning facilities, Technical reports series No. 291, IAEA, Vienna (1988)
- [7]. International Atomic Energy Agency, Design and operation of off-gas cleaning and ventilation systems in facilities handling low and intermediate level radioactive material, Technical reports series No. 292, IAEA, Vienna (1988)
- [8]. United States Nuclear Regulatory Commission, Design, testing and maintenance criteria for normal ventilation exhaust system air filtration and adsorption units of LW cooled nuclear plants, Reg. guide 1.140, Rev.1, USNRC, Washington, DC (1978)
- [9]. United States Nuclear Regulatory Commission, Design guidance for radioactive waste management systems, structure and components installed in LW cooled NPPs, Reg. guide 1.143, Rev.1, (1979)

- [10] Reaktorsicherheitskommission, Federal Republic of Germany, Leitlinien für Drukwasserreaktoren, 3 Ausgabe, 14.10.1981, Bundesregister Nr. 69, Beilage Nr. 19/82, 14.4.1982
- [11] United States Nuclear Regulatory Commission, Domestic licencing of production utilization facilities, 10 CFR 50, Office of the Federal Register, Washington, DC (1979)
- [12]. Project FILTRA, Final report, Nov. 1982, Rep. s-61182, Studsvik Library, Nyköping (1982)
- [13]. ELISSON, K., " A multi-venturi scrubber system for containment venting", Filtered containment venting system (Proc. CSNI specialists Mtg Paris, 1988), Rep. CEA-DAS-51 (1988) (available from INIS, IAEA, Vienna)
- [14]. JOUEN, E., "Containment venting system - sand bed filter: description, operating procedure, implementation programme and associate research and development", *ibid.*
- [15]. DILLMANN, H., PASLER, H., WILHELM, J., Containment venting filter design incorporating stainless steel fibers, *Kerntechnik* 53 1 (1988) 75-80
- [16]. ECKERT, B., Containment venting for light water reactor plants, *Kerntechnik* 53 1 (1988) 81-82
- [17]. International Atomic Energy Agency, Design of off-gas and air cleaning systems at nuclear plants, Technical reports series No. 274, IAEA, Vienna, (1984)
- [18]. ARRU, L., SGALAMBRO, G., "Containment venting alternatives in Italian BWRs: A preliminary approach", Severe accidents in nuclear power plants (Proc. Int. Symp. Sorrento, 1988), Vol. 2, IAEA, Vienna (1988) 697-714
- [19]. ARROW, L., ARRU, L., SGALAMBRO, G., "Outlines of a possible strategy for containment ventilation", Filtered containment venting systems (Proc. CSNI Specialists Mtg. Paris, 1988), Rep. CEA-DAS-511 (1988) (available from INIS, IAEA, Vienna)

서 지 정 보 양 식

서 지 정 보 양 식					
수행기관 보고서번호		위탁기관보고서번호		표준보고서 번호	
KAERI/TR-983/98					
제목 / 부제		원자력시설의 환기 시스템 설계(I) /시스템 및 필터하우징 일반요건			
연구책임자/부서명 (AR, TR일 경우 주저자)		이강무 (방사성폐기물 처리시설운영)			
연구자 / 부서명		강일식/방사성폐기물 처리시설운영, 배상민/좌동 김태국/좌동, 김길정/좌동			
발행지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행일	1998.3
페이지	63 P.	도표	유 (V), 무 ()	크기	26 cm.
참고사항					
비밀여부	공개 (V), 대외비 (), 급 비밀			보고서 종류	기술보고서
연구 위탁기관				계약 번호	
초 록					
<p>원자력 시설의 환기시스템은 부압유지의 특수성과 단위 시간당 환기 횟수가 많은 특성이 있기 때문에 대형 회전기계류가 많이 사용되고 있으며, 따라서 이들 설비의 건설비용 및 운영비용이 매우 높다.</p> <p>최소의 비용으로 원활한 기능을 확보하기 위하여는 시설 내부의 적절한 구역구분과 이에 따른 효율적인 일방향 유로 설정으로 환기 소요량을 최소화함과 아울러, 구역간 차압 및 환기횟수를 적합하게 설정하는 것이 중요하다. 소요 환기량의 대소는 바로 운영비용과 직결되므로 이를 최소화하기 위해서는 오픈 박스나 글로브 박스 등의 밀폐용기를 활용하는 것이 효과적이다.</p>					
주제명 키워드		환기 시스템, 구역구분, 차압, 환기, 유로, Off-gas, 실험실, 원자로 건물, 핫셀, 여과, 필터 하우징,			

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code		
KAERI / TR-983 /98					
Title/Subtitle	Design of the ventilation system(I)				
Project Manager/Dept. (or Main Author)	K. M. Lee /Radioactive Waste Treatment Facility				
Researcher/Dept.	I.S. Kang, S.M. Bae, T.K. Kim, K.J. Kim / RWTF				
Pub. Place	Taejon	Pub. Org.	KAERI	Pub. Date	1998. 3
Page	63 P.	Fig. &Tab.	Yes (v), No ()	Size	26 cm
Note					
Classified	Open (v), Outside (), Class ()		Report Type	Technical Report	
Sponsoring Org.			Contract No.		
Abstract					
<p>To assure that the operation of the the nuclear ventilation system is effective and economic, the resonable design of system is essential. As the nuclear ventilation system has to meet the particular conditions; to keep the rooms at an below atmospheric pressure at all times and, furthermore, to maintain frequent air circulation in the rooms, the system needs the big rotating machinery. Consequently, the construction cost and the operational cost of the ventilation system is very high.</p> <p>For maximum function with the minimum cost, areas are to be divided into several zones depending on the level of radioactivity and the once-through air flow in the shortest route should be adopted. The pressure difference between the zones and the number of air circulations per unit time in the rooms must be reasonable, thus, the venting air volume should be of minimum.</p>					
Subject Keywords					
ventilation system, zone, pressure difference, air circulation, once-through flow,					