

원자력 발전소 공기 조화용 HEPA 필터 설계

° 박 종범*, 권 태종*, 문 기원**, 이 세엽**
 *한국전력공사 전력연구원 ** (주)한국원자력 엔지니어링

Design of a HEPA Filter Assembly for Air-Filter in Nuclear Power Plant

° Jong Beom Park*, Tae Jong Kwon*, Ki Won Moon**, Se Yup Lee**
 *Korea Electric Power Research Institute ** Songam Electronics Co., Ltd

Abstract - In developing the assemble HEPA(High Efficiency Particulate Air) Filter, the main frame and sub frame can be easily assembled and disassembled and tightly sealed. The sub frame(included Media) will be made of the manageable material, so it will be easily compacted with the spent filter compactor. It does not take a lot of time for disassembling the spent filter. The main frame can be recycled and the volume of the spent filter is reduced, so the cost for treating the radioactive waste is reduce. And the changing costs can be reduced, because the cost of the media is lower than the filter.

어 전력사업에 상당한 도움을 줄 수 있다. 본 논문에서는 이러한 이점을 가진 조립식 필터를 개발하기 위해서 우선 어떤 방식으로 설계되어야 하는지 논의하였다.

2. 조립식 HEPA 필터 기본설계구조

설계하고자 하는 HEPA 필터는 원자력 발전소의 환기구에 공기를 정화시키도록 설치되는 필터 조립체이며, 양쪽이 개방된 사각상자 형태의 프레임과 프레임의 양쪽 개방 단부에 착탈 가능하게 조립되는 사각대 형태의 전·후면 커버와 프레임의 내부에 분리 가능하도록 설치되는 필터 요소로 이루어진 원자력 발전소용 필터 조립체이다. 또한, 필터 요소는 양쪽이 개방된 사각상자 형태의 케이싱과 케이싱의 내부에 부착되고, 지그재그형으로 접혀져 그 전·후에 다수의 포켓들을 갖는 필터 클로스와 필터 클로스의 포켓들 각각에 개재되는 다수의 전·후방 알루미늄 스페이서들과 전·후방 알루미늄 스페이서들 각각을 일체로 연결하는 고정 플레이트로 이루어지는 것에 있다. 그림-1과 그림-2는 원자력발전소 필터 조립체와 필터 요소를 나타내고 있다. 필터 조립체는 양쪽이 개방된 대략 사각상자 형상의 프레임에 갖추어 있으며, 프레임의 양쪽 개방단부에 플랜지가 각각 형성되고, 플랜지에는 탄성변형이 가능한 다수의 결편들이 각각 형성된다. 프레임의 플랜지에는 대략 사각대 형상의 전·후면 커버가 각각 착탈 가능하게 조립되는 것으로, 전·후면 커버의 가장자리에는 프레임의 결편들에 대응하는 관계로 결합되는 결합구멍들이 각각 형성되며, 전·후면 커버의 내면에는 네트가 각각 부착된다.

1. 서 론

현재 우리나라 원자력 발전소에서 사용되고 있는 HEPA 필터는 조립·분해구조가 아니므로, HEPA 필터를 분해하는데 많은 투입인력과 시간이 필요하고, 필터 전체를 드럼에 넣어 처리해야 하므로 폐기물의 대부분을 차지하고 있는 Frame을 재활용하는 것은 불가능하게 되어있다. 또한, 고압축기를 이용하여 압축 처리하는 경우에도 폐기물 감소 효과가 적기 때문에 쉽게 분해·조립이 가능하고 재활용이 필요한 구조로 기술 필요하다. 그러나, 지금까지 시도된 적이 없어 Frame과 필터 요소를 결합하는 부위의 완벽한 밀봉을 위해 새로운 기술을 도입해야 하며, Frame과 필터 요소를 쉽게 분해, 조립 가능하면서 단단하게 결합할 수 있는 구조로 기술개발이 이루어져야 한다.

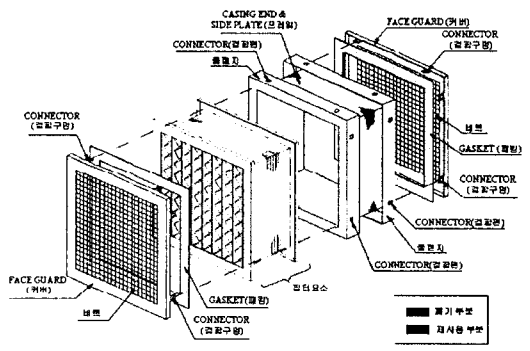


그림 1. 원자력발전소 필터 조립체

현재 원자력 발전소에서 폐 HEPA 필터를 폐기처분하는 방법은 환기구로부터 HEPA 필터를 분리한 후, Frame과 필터 요소를 고압축기를 이용하여 압축하여 드럼 처리하거나, Frame으로부터 필터 요소를 분리한 후, Frame은 드럼에 넣기 좋은 형태로 변형시켜 드럼 처리하고, 필터 요소는 압축하여 드럼 처리한다. 이때 압축기는 작업을 용이하게 하지만, 사실상 완전한 압축이 불가능하므로 폐기물 발생량 절감효과가 적다. 분해하여 처리하는 방식은 이렇게 HEPA 필터 자체가 일체형으로 되어 있으므로, 분해가 쉽지 않아 인력과 시간이 많이 들고, 드럼 처리하여 폐기 처분하는 비용 또한 크게 절감되지 않는다. 그리고 원자력 발전소의 노후화가 진행됨에 따라 년간 소모되는 필터의 소모량도 증가하여 필터 구입비용과 폐 HEPA 필터 처리 및 드럼 영구처분 비용은 계속 증가할 것으로 보인다.

프레임의 내부에 공기의 정화를 행하는 필터 요소가 분리 가능하게 설치된다. 필터 요소는 양쪽이 개방된 대략 사각상자 형상의 케이싱을 갖고, 케이싱은 고무나 유연한 수지를 소재로 제작되며, 케이싱의 양쪽 개방단부에는 프레임의 플랜지와 전·후면 커버사이에서 탄성적으로 협지되어 기밀을 유지할 수 있도록 유연성 플랜지가 각각 형성되고, 이 유연성 플랜지의 끝에는 프레임의 플

조립식 HEPA 필터를 개발하여 사용할 경우, HEPA 필터의 분해·조립이 용이하여 적은 인력으로 짧은 시간 안에 폐 필터를 분해할 수 있다. 필터 요소와 Frame을 분해한 후, 재사용이 가능한 Frame은 재활용할 수 있기 때문에, 폐 필터의 부피가 줄어 드럼처리 비용을 절감할 수 있고, 필터 교체비용도 많은 부분 절약할 수 있다. 따라서, 폐기물 발생량과 경비를 크게 절감할 수 있

랜지에 걸림이 유지되도록 걸림판이 절곡 형성된다.

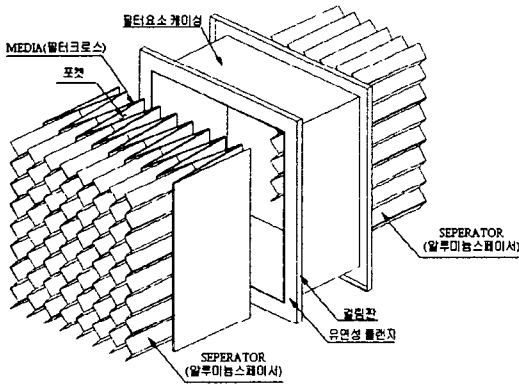


그림 2. 필터 요소

케이싱의 내부에는 여과 표면과 여과 영역이 넓어지도록 지그재그형으로 접혀진 물결 모양의 필터 클로스(filter cloth)가 부착되며, 필터 클로스는 지그재그형으로 접혀져 그 전·후면에 다수의 포켓들을 형성하게 된다. 이 필터 클로스는 섬유 또는 종이로 소재로 제작되고, 필터 클로스는 접착제 또는 에폭시 수지에 의해 케이싱의 내부에 부착하는 구조로 될 것이다. 필터 클로스의 포켓들 각각에는 필터 클로스의 형태를 유지할 수 있도록 다수의 판형 전·후방 알루미늄 스페이서들이 개재되며, 전·후방 알루미늄 스페이서들의 한쪽은 고정 플레이트에 의해 일체로 연결된다. 전·후방 알루미늄 스페이서들과 고정 플레이트는 예를 들어 용접에 의해 연결시킬 수 있으며, 도면에서 고정 플레이트는 전·후방 알루미늄 스페이서들 각각의 상·하부와 중간에 세 개가 연결된 것을 나타냈으나, 고정 플레이트의 숫자 및 위치를 적절하게 변경할 수 있다. 그림-3은 필터 패키징부를 나타내며 이 프레임과 전·후면 커버사이에는 기밀을 유지하는 대략 사각테 형상의 패키징이 추가로 설치되는 것으로, 패키징은 케이싱의 유연성 플랜지를 탄성적으로 협지하게 된다.

패키징은 고무나 유연한 수지를 소재로 제작된다. 그리고, 패키징은 네 개를 대략 사각테 형상으로 조합하여 설치시킬 수도 있다. 이러한 패키징은 케이싱의 유연성 플랜지를 탄성적으로 협지하여 기밀을 보다 효과적으로 유지시키게 된다.

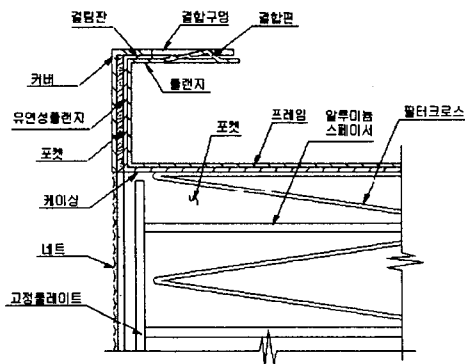


그림 3. 필터 패키징부

기본구조 설계에 따른 원자력발전소용 필터 조립체에 대한 사용상태를 설명하면, 그림 -1과 그림-2에 나타낸 바와 같이, 케이싱의 내부에 지그재그형으로 접혀진 물

결 모양의 필터 클로스를 부착시킨 후, 필터 클로스의 포켓들 각각에 전·후방 알루미늄 스페이서들을 각각 개재시킨다. 이때, 전·후방 알루미늄 스페이서들 각각은 고정 플레이트에 의해 일체로 연결되어 있으므로, 전·후방 알루미늄 스페이서들을 필터 클로스의 포켓들 각각에 용이하게 개재시킬 수 있게 된다. 이와 같이 조립이 완료된 필터 요소는 프레임의 내부에 끼워 설치시킨다. 필터 요소의 케이싱을 프레임의 내부에 끼울 때에는, 프레임의 내부로 진입되는 케이싱의 유연성 플랜지는 탄성 변형되어 프레임의 내부를 용이하게 통과한 후 원상태로 복원된다. 그리고 케이싱의 유연성 플랜지는 프레임의 플랜지에 지지되며, 유연성 플랜지의 걸림판은 프레임의 플랜지에 걸림유지되고, 이로 인하여 케이싱의 설치 상태가 견고하게 유지된다. 그림-3 필터 패키징부와 그림-4 프레임과 필터 요소 결합부위에 나타낸 바와 같이, 프레임의 내부에 필터 요소를 설치시킨 후에는, 전·후면 커버의 내면에 패키징을 각각 위치시키고, 프레임의 결합편들에 전·후면 커버의 결합구멍들을 대응하는 관계로 끼우면서 결합시킨다. 이때, 프레임의 결합편들은 전·후면 커버의 결합구멍들에 자연스럽게 결합되도록 탄성 변형된다. 그리고, 프레임의 양쪽에 전·후면 커버가 조립되면, 전·후면 커버와 케이싱의 유연성 플랜지 사이에서 패키징이 눌리면서 압축 변형되어 기밀을 유지해 주게 되며, 전·후면 커버의 네트는 프레임내의 필터 요소를 보호해 주게 된다. 패키징은 필요에 따라 사용할 수 있는 것으로, 패키징을 사용하지 않을 때에는, 전·후면 커버가 조립될 때 케이싱의 유연성 플랜지를 누르게 되고, 이로 인하여 프레임의 플랜지와 전·후면 커버사이에서 케이싱의 유연성 플랜지가 눌리면서 압축 변형되어 기밀을 유지해 주게 된다. 이러한 케이싱의 유연성 플랜지에 의해 패키징을 별도로 사용하지 않고서도 프레임과 전·후면 커버사이의 기밀을 유지시킬 수 있으므로, 부품수의 감소로 인하여 생산비용을 줄일 수 있다.

패키징을 사용할 때에는 패키징이 전·후면 커버와 케이싱 사이의 기밀을 보다 효과적으로 유지시켜 주게 된다.

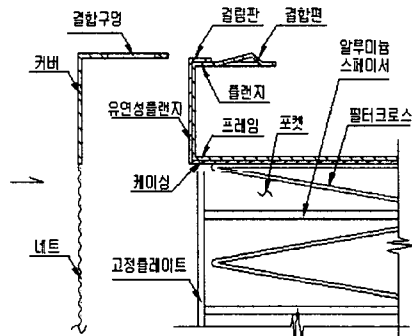


그림 4. 프레임과 필터 요소 결합부위

그림-5는 기본설계 최종 필터 조립체이며, 이와 같이 조립이 완료된 필터 조립체는 전·후면 커버를 체결 수단, 예를 들어 볼트에 의해 도시하지 않은 원자력 발전소의 환기구에 체결시켜 설치시킨다. 필터 요소의 필터 클로스와 전·후방 알루미늄 스페이서들은 환기구를 통과하는 공기중의 입자, 예를 들어 먼지 등을 걸러 정화시키게 된다. 즉, 필터 클로스를 통과하는 공기중의 입자는 필터 클로스에 의해 걸러지며, 전·후방 알루미늄 스페이서들에는 필터 클로스들의 포켓들을 통과하는 공기중의 입자가 달라붙어 걸러지게 된다. 원자력 발전소의 환기구에서 일정 기간 사용한 필터 조립체는 필터 요소의 효율 저하를 막기 위하여 정비를 행하여야 한다.

그리고, 필터 요소의 필터 클로스에 입자가 너무 많이 끼거나 손상이 발생된 경우에는 필터 클로스를 새것으로 교환하여야 하며, 사용된 필터 클로스는 방사능 물질로 오염되어 있기 때문에 안전하게 폐기시켜야 한다. 이러한 필터 요소의 필터 클로스를 교환하기 위해서는 전·후면 커버에 체결된 볼트를 풀고, 환기구로부터 필터 조립체를 분리시킨다. 프레임의 결합편들에 결합된 전·후면 커버의 결합편들을 이탈시키면서 프레임과 전·후면 커버를 분리시킨다. 이와 같이 프레임과 전·후면 커버를 분리시킨 후 프레임의 내부로부터 필터 요소를 꺼내 완전히 분리시키고, 이 필터 요소의 필터 클로스와 전·후방 알루미늄 스페이서들을 분리시킨다.

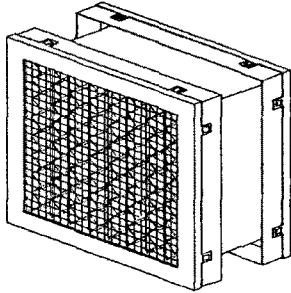


그림 5. 기본설계 최종 필터 조립체

3. 조립식 HEPA 필터 설계

3.1 Main Frame

HEPA 필터에서 Main 프레임은 Sub 프레임(필터 요소체)을 보호 해주는 역할을 하고, Duct와 직접적인 연결부위로서 전체적인 기능을 담당하는 프레임이다. 재질은 Stainless Steel을 사용했으며, 두께는 0.984 inch(25mm)이고, 규격은 ASME/ANSI AG-1-1988 Standard를 적용하여 610×610×292(mm)로 제작되었다. Main 프레임에 각 프레임 접촉면과 Face Guard 접촉면에는 공조설비 운영시 프레임의 Leak를 방지하기 위해 폴리우레탄 및 실리콘 처리를 했다.

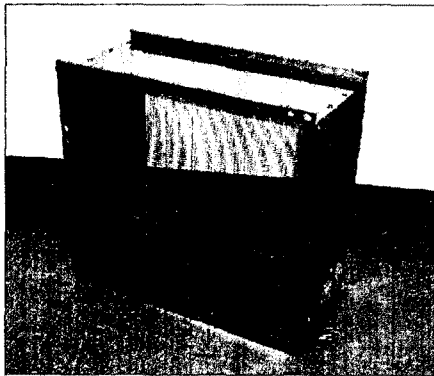


그림 6. Main 프레임

Sub 프레임의 체결을 위해 One Touch 방식의 Connector를 좌·우에 2개씩 설치해서 필터 요소체인 Sub 프레임을 고정 및 Leakage를 방지하기 위한 역할을 한다. 또한, 필터 요소체를 보호하기 위해 Face Guard를 앞·뒤면에 설치했으며, 앞면 Face Guard는 Sub 프레임 교체시 용이하도록 앵글방식(분리형)으로 제작했고, 뒷면 Face Guard는 고정형으로 제작하였다. Face Guard 재질은 Stainless Steel이며, 두께는

0.0787 inch(2mm)이다. Face Guard의 망은 Galvanized Steel로 제작했다. Face Guard 규격은 전면 560×560×10(mm), 후면 610×610×36(mm)이다. Main 프레임과 공조설비 Duct와의 접촉면에 교체형 방식으로 Gasket을 설치함으로써 전체적인 Leakage를 방지하기 위한 방법으로 그림-6 같이 제작되었다.

3.2 필터 요소체

Filter 요소체의 구성은 Galvanized Steel 재질의 외곽 Frame과 Glass Fiber, Separator로 되어있다. 규격은 Main Frame 형태에 따라 변하지만, ASME/ANSI AG-1-1988 Standard와 원자력발전소 규격에 따라 풍량이 1500 cfm 이상 되도록 제작하였고, [표 3] Filter 크기와 유량과 동일하다.

Media 제작은 폴리우레탄을 사용하여, Frame에 제작했으며 공조설비 운영시 Main Frame과 Sub Frame 사이에 Leak 방지를 위해 Main Frame과 접하는 면에 Gasket을 부착 했다. Media를 고정시켜주기 위해 폴리우레탄을 사용했지만, 견고성과 Media의 손상을 막기 위해 Frame의 모서리 부분에 보강대를 설치했다. 그림-7은 필터 요소체 완성품을 보여주고 있다.

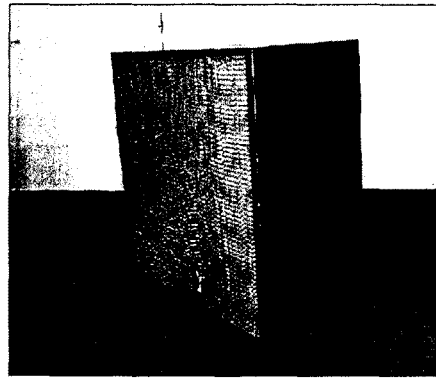


그림 7. 필터 요소체 완성품

5. 결 론

원자력 발전소의 중요 설비중 하나인 공기조화 설비에 들어가는 필터는 매우 중요하다. 원자로 건물 안에 신선한 공기들을 공급하지 못하면 크기는 발전을 중단하여야 한다. 이 폐 필터는 방사능 물질로 분리되어 운전원들이 각 부분으로 분리하고 고압축기를 사용하여 드럼으로 처분하여 고방사능 저장 창고에 영구 보관한다. 이런 처리 비용은 앞으로 계속 늘어날 것이며, 이 문제를 해결하기 위해서 앞장에서 서술한 조립식 HEPA필터를 설계 개발하여 적용하면 폐기물 양과 작업시간을 많이 줄일 수 있다. 현재는 조립식 HEPA를 설계하고 있지만, 앞으로는 설계 개발한 것들의 성능시험과 인증시험을 거쳐 현장에 적용할 수 있도록 진행하여야 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 박종범 등, 원자력 발전소 공기정화용 조립식 HEPA 필터 개발 중간보고서, 전력연구원, 2000.5.
- [2] ASME, Code On Nuclear Air and Gas Treatment ASME/ANSI AG-1-1988, 1988.
- [3] ASME, Nuclear Power Plant Air-Cleaning Units and Component ASME N509-1989.
- [4] 한국전력기술주식회사, 원자력 발전소 공기조화 설계 관련 코드 연구(기술개발 최종 보고서), 1991.2.