

## 폐 방사성 HEPA 필터 처리를 위한 2축식 원주형 압축성형장치 개발

### Development of the Two Cylinder Operated Radioactive HEPA Filter Waste Compactor

이강무, 이영희, 김태국, 안삼진, 홍권표

한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

#### 요 약

HEPA 필터폐기물은 610 mm x 610 mm x 292 mm의 직육면체로써 그 형상 및 크기가 현재 국내외에서 방사성 폐기물 포장용기로서 일반적으로 사용되고 있는 원주형 포장용기 즉, DOT 17H 드럼( $\phi 606$  mm x 884 mm)에는 직접 포장할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 본 장치는 이 HEPA 필터폐기물을 원주형 규격 포장용기에 포장할 수 있도록 압축성형하기 위하여 개발한 장치로서, 이를 사용하여 HEPA 필터폐기물을  $\phi 500$  mm x 300 mm의 원주형상으로 양호하게 압축, 성형시킬 수 있었다.

#### Abstract

The shape and size of HEPA filter waste (Hexahedron, 610 mm x 610 mm x 292 mm) is unsuitable to pack in the cylindrical package, DOT17H( $\phi 606$  mm x 884 mm) which is used as the standard package for the radioactive wastes in the country and abroad commonly. We developed the two cylinder operated compactor for changing the shape and size of the HEPA filter waste into the cylindrical shape of  $\phi 500$  mm x 300 mm in order to pack in the standard package of DOT17H Drum.

#### 1. 서 론

##### 1.1 장치의 필요성 및 목적

HEPA 필터(High Efficiency Particulate Air Filter; 고성능공기여과기)는 원자력산업분야 환기설비의 최종 배기처리단계에 사용되고 있는 필터로서, 이는 원자력산업분야뿐만 아니라 의약품 및 식품가공산업, 전자관련산업, 유전공학 실험실, 미생물 배양시설 등에서도 매우 광범위하게 사용되고 있으며, 이들 시설로부터 매년 다량의 HEPA 필터폐기물이 계속해서 발생되고 있다.

그런데, 미생물이나 유전공학분야 그리고 원자력산업분야에서 발생하는 HEPA 필터폐기물은 특수산업폐기물이기 때문에 인문자연환경에 영향을 미치지 않도록 안전하게 관리하지 않으면 안된다.

특히, 원자력산업분야에서 발생하는 HEPA 필터폐기물은 인체에 유해한 방사성 물질을 포함하고 있기 때문에 인간 및 환경에 영향을 미치지 않도록 엄격하게 관리하고 있다.

즉, 이들은 특수 포장용기에 포장해서 철저히 사후관리를 하게 되는데, 폐기물에 함유된 방사성 물질의 종류에 따라서 짧게는 수십 년에서부터 길게는 수백 년에 이르기까지 장기간 동안 저장, 관리하도록 되어 있다.

방사성폐기물의 관리에는 작업자의 방사성피폭을 방지하기 위해서 특별한 주의가 필요하다. 여기에는 필연적으로 많은 관리비용이 수반되는데, 이와같은 막대한 저장관리 비용을 절감하기 위해서 그리고 안전하고 효율적인 관리를 위해서는, 규격화된 포장용기의 사용과 아울러 폐기물 부피를 최소화하는 것이 매우 중요하다.

그런데, HEPA 필터폐기물은 크기 및 형상이 일반적으로 사용되고 있는 방사성폐기물 포장용기에 직접 넣을 수 없는 문제점을 안고 있다. Table 1은 HEPA 필터폐기물과 현재 사용되고 있는 포장용기 DOT17H 드럼의 제원에 대한 비교표이다.

Table 1. Specification of Used HEPA Filter and DOT17H Drum

	Used HEPA Filter	DOT17H Drum
Shape	Hexahedron	Circular Cylinder
Size	610 x 610 x 292 mm	ø606 x 884 mm
Material	Frame : Aluminium, Steel Media : Glass Wool	Body : Steel Interior : Anti-Corrosion Coated

이와같은 현안 문제점을 해결하기 위하여, 직육면체 형상의 방사성 HEPA 필터폐기물을 원주형상으로 성형함으로써, 현재 우리나라는 물론 외국에서 주로 사용하고 있는 방사성폐기물 포장용 규격용기인 원주형 드럼에 HEPA 필터폐기물을 직접 포장할 수 있는 장치를 개발하고자 하였다.

또한, 지금까지는 최소한 3축 이상이던 압축처리장치를 2축 방식으로 개선함으로써, 장치 및 작업공정을 단순화하여 장치의 고장요소를 최소화함과 아울러 처리작업에 소요되는 시간을 단축하고자 하였으며, 아울러 HEPA 필터폐기물의 미디어와 프레임을 분리하지 않은 채 폐기물 전체를 동시에 압축, 성형하도록 함으로써 공정의 단순화 및 부피 감용을 극대화를 꾀하고자 하였다.

## 1.2 기술 현황

방사성 HEPA 필터폐기물의 처리에는 2 가지 사항이 필수적으로 고려되어야 한다. 즉, 막대한 저장관리비용을 줄이기 위해서 폐기물의 부피를 최소로 줄이는 문제와 저장관리의 효율화를 위해서 가능하면 규격용기에 넣어 포장할 수 있도록 폐기물의 형상을 적절히 변형시키는 문제이다. 먼저, HEPA 필터폐기물의 부피를 감소시키기 위한 종래의 기술을 살펴보면, 지금까지는 3축식 압축기를 사용하여 폐기물을 3 방향(x축 방향, y축 방향, z축 방향)으로 압축하는 방식인데, 이는 3 개의 작업공정(x축 공정, y축 공정, z축 공정)으로 이루어지기 때문에 압축작업에 소요되는 시간이 많이 걸리고, 장치도 매우 크고 복잡해지는 단점이 있다.

HEPA 필터폐기물의 형상을 변형시키는 종래의 기술도 역시 3 축식(x축, y축, z축) 압축기를 사용해서 폐기물을 압축, 변형시키는 방식이었다. 그런데 이는 단순히 HEPA 필터폐기물의 부피 감소만을 위한 것으로서, 방사성폐기물 포장용 규격용기에 적합한 형상으로 변형시키기 위한 목적은 아니었기 때문에, 진정한 의미에서 볼 때 HEPA 필터폐기물의 형상을 규격용기인 DOT17H 원주형 드럼에 적합하게 변형시키기 위한 시도나 장치는 아직까지 없었다고 할 수 있다.

종래의 장치를 사용하면 압축된 폐기물의 형상이 자연히 원래의 형상과 똑같은 직육면체 형상으로 남기 때문에, 방사성폐기물 포장용기의 규격품으로서 일반적으로 쓰이고 있는 원주형 포장용기 즉, DOT17H 드럼( $\phi 606$  mm x 높이 884 mm)에 직접 넣어 포장할 수 없거나 또는 억지로 넣는다 하여도 포장 공간효율이 낮아짐은 물론, 압축된 폐기물의 직육면체 모서리 부분이 포장용기의 부식방지를 위해서 드럼 내면에 도포해둔 에나멜 코팅을 파손시키기는 문제점이 있었다.

일본에서는 필터 미디어(Media, 濾材)를 원주형상으로 성형, 압축시키는 장치가 개발되었었는데, 이는 HEPA 필터 내의 미디어만을 대상으로 한 것으로서, 본 장치가 미디어는 물론 프레임까지를 포함한 HEPA 필터 전체를 대상으로 하고 있는 것과는 그 기능 면에서 구별되고 있으며, 또한 이는 직육면체 형상을 원주형상으로 변형시키는데 있어서 4축(x축, x'축, y축, y'축)을 사용하고 있는데 비해 본 개발장치는 1축(x+y축)만을 사용하고 있는 점에서 크게 다르다.

또한 이는 필터 미디어만을 성형압축하기 때문에 HEPA 필터의 미디어와 프레임을 먼저 분리시켜야만 하는데, 이를 위해서는 별도의 분리공정이 필요하게 되고, 따라서 장치가 복잡해지고 작업시간이 추가로 더 소요되게 된다. 성형장치로서는 4축 실린더를 사용하고 있고 장치 전체로서는 무려 7개나 되는 많은 실린더를 사용하고 있기 때문에 장치가 매우 복잡하고 거대해짐은 물론이거니와 이는 필연적으로 잦은 고장의 요인도 되고 있다. 이 장치는 당초 목적이 필터 미디어만을 성형압축하기 위한 장치이나 만일 이를 미디어와 프레임을 포함한 필터 전체를 성형압축하는 장치로 사용하고자 한다면, 위에서 설명한 이유로 인해서 규격용기인 DOT17H 원주형 드럼에 넣을 수가 없는 문제점을 가지게 된다.

## 2. 본 론

### 2.1 장치의 구성

2축식 원주형 방사성 HEPA 필터폐기물 압축처리장치인 본 개발장치는 Fig. 1에 보인 바와 같이 이동축 원주형 성형틀(1), 고정축 원주형 성형틀(2), 유압식 성형 실린더(3), 유압식 압축 실린더(4) 및 유압구동 유니트(9)와 장치 프레임(10)으로 매우 단순하게 구성되어 있다. 본 장치는 직육면체 형상의 HEPA 필터폐기물(6)을 1축(x축) 방향의 단일 성형공정만으로써 2축(x, y축) 방향의 변형을 얻을 수 있도록 되어 있다. 이는 두 원주형 성형틀의 독특한 구조 및 작동방식에 의해서 가능하게 되는데, 반원 부분과 긴 팔 부분을

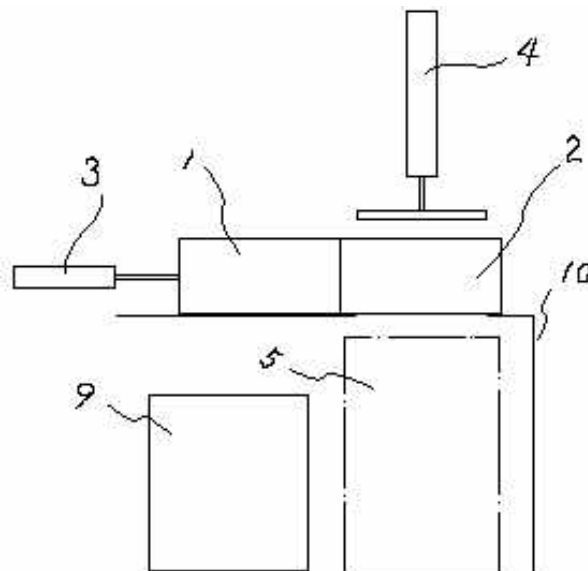


Fig. 1 Schematic Front View of the Equipment

가진 멍에(Yoke) 모양의 팔 있는 성형판(成形板)과 반원 부분만 있는 라쳇트 모양의 팔 없는 성형판을 교대로 첩첩이 쌓아올려 결합시킨 이동측 원주형 성형틀과 고정측 원주형 성형틀가 마치 왼손과 오른손의 손가락을 포크 모양으로 벌린채 각지끼듯이 서로 겹쳐지면서 조여 들어옴으로써 x 방향 1축의 단일 성형공정만으로 x, y 두 방향의 변위를 동시에 얻으면서 HEPA 필터폐기물이 원주형상으로 성형된다. 이때 고정측 원주형 성형틀은 장치 프레임에 고정되어 있고, 이동측 원주형 성형틀만이 유압식 성형 실린더에 의해서 이동된다.

직육면체 형상의 HEPA 필터폐기물이 원주형상으로 성형되는 과정은 다음과 같다. Fig. 1 및 Fig. 2에 보인 유압식 성형 실린더에 의해서 이동측 원주형 성형틀이 고정측 원주형 성형틀 쪽으로 전진을 시작하면 HEPA 필터폐기물은 압축실린더의 아래까지 점점 밀려들어가면서 압축, 성형된다. 이 과정에서 직육면체 형상의 HEPA 필터폐기물은 최종적으로는 성형틀(1) 및 (2)의 반경을 갖는 원주형상으로 압축, 성형된다.

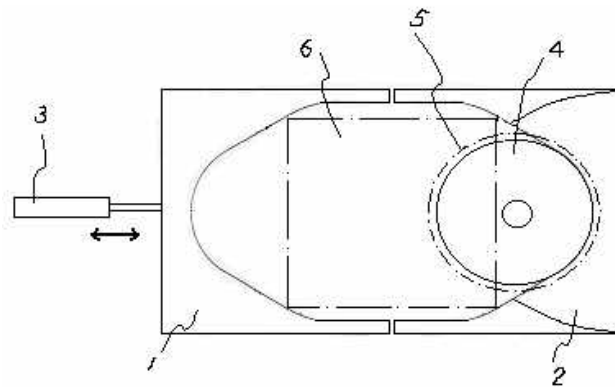


Fig. 2 Schematic Plane View of the Equipment

이때 직육면체 형상을 가지고 있는 HEPA 필터폐기물(6)의 모서리 부분이 원주형 성형틀(1 및 2) 내로 원활히 밀려들어갈 수 있도록 소정 반경의 원호(圓弧)부분을 두어 안내하고 있다. Fig. 3은 본 장치의 개략적인 입체도이다.

이렇게 원주형상으로 성형된 HEPA 필터폐기물은 압축 실린더(4)에 의해서 압축 실린더의 바로 아래에 놓여있는 방사성폐기물 포장용 규격용기인 원주형 드럼(DOT17H Drum) 안으로 자동적으로 직접 투입되면서 동시에 폐기물 감용을 위한 수직방향(Z축)의 압축이 진행된다. HEPA 필터폐기물이 압축되어 부피가 최대한도까지 축소되면 압축 실린더는 복귀되고, 다시 다음 HEPA 필터폐기물을 같은 과정으로 성형, 압축하면서 포장용기를 가득 채우게 된다.



Table 2. Specification of the Equipment

Item	Specification
Size & Weight	2,300 x 1,200 x 2,200 mm, 2,500 Kg
Capacity, Speed	15 ton, 16 mm/min
Waste Size Max.	640 x 640 x 315 mm
Compacted Size Min.	460 mm $\varnothing$ x 315 mm H
Compacting Driver	Hydraulic Cylinder
Safety Apparatus	Over-stroke shutdown Type
Table Lifter Type	Hydraulic Cylinder Type

특히, 본 개발장치는 HEPA 필터폐기물의 미디어와 프레임을 분리하지 않은 채 동시에 압축함으로써 폐기물 처리에 소요되는 작업시간이 더욱 단축되었다. 본 장치는 필요에 따라 원주형상의 반경을 포장용기에 적합하게 적절히 달리 할 수도 있다.

### 2.3. 시운전 결과

이상과 같은 특성 및 구성을 갖춘 장치를 제작하여 시운전을 실시하였다. 그런데, 우리 연구소에는 기존 압축처리장치가 있기 때문에 위에 기술한 바와 같이 압축실린더(4)를 제외한 장치만을 제작하였다. 즉, 본 장치를 사용하여 직육면체 형상의 HEPA 필터폐기물을 원주형상으로 성형한 후, 방사성폐기물 포장용 규격용기인 원주형 드럼(DOT17H Drum) 안에 넣어 기존 압축기를 사용하여 압축처리하기 위해서 이다.

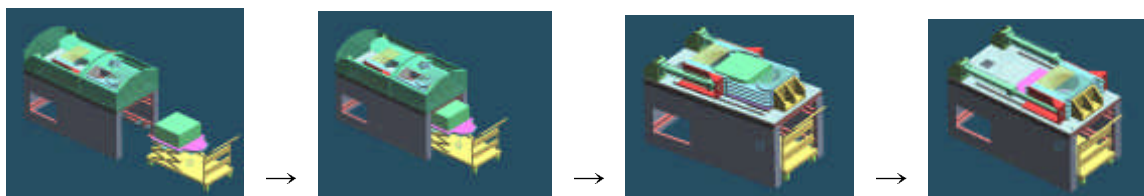


Fig. 4 Compacting Procedure

Fig. 4는 본 장치를 사용하여 HEPA 필터폐기물을 원주형 드럼에 넣을 수 있도록 형상

을 변형시키는 압축성형 작업과정이며, Fig. 6은 이렇게 압축, 성형된 결과물을 보여주고 있다. Fig. 5는 이번에 우리 연구소에서 제작한 장치의 외형 모습이다.



Fig. 5 Used HEPA Filter Compactor Developed by KAERI

Fig. 6의 오른쪽은 압축성형 전의 폐 HEPA 필터(610 x 610 x 292 mm 직육면체)이고, 왼쪽은 본 장치를 사용하여 압축, 성형한 후의 HEPA 필터 폐기물 형상( $\phi$ 500 mm 원주)으로써, 방사성폐기물 포장용 규격용기인 원주형 드럼(DOT17H Drum :  $\phi$ 606 mm x 높이 884 mm)에 아주 적합한 형상 및 크기를 얻을 수 있었다.



Fig. 6 Used HEPA Filter Waste Before(Right) and After Compaction(Left)



### 3. 개발효과 및 결론

- 가. 본 개발장치를 사용하여 HEPA 필터폐기물을 적절한 크기의 원주형상으로 압축, 성형함으로써, 현재 국내외에서 방사성폐기물 포장용기로 일반적으로 사용하고 있는 원주형 포장용기인 DOT17H 드럼에 포장할 수 있다. 또한, HEPA 필터폐기물을 원주형 포장용기에 넣은 후 포장용기 안에서 직접 압축처리를 할 수 있어서 작업공정의 단순화 및 작업시간이 단축된다.
- 나. 본 장치는 필터 미디어와 프레임을 분리하지 않고 동시에 압축성형하는 방식이기 때문에 분리공정이 생략되어 공정이 단순화됨은 물론, 비압축성 재료인 필터 미디어의 복원변형도 억제되어서 포장용기의 적재공간을 100 % 활용할 수가 있다.
- 다. 종래의 HEPA 필터폐기물 처리장치는 다축(3~7축) 구조방식으로써 장치가 복잡하였으나, 본 장치는 2축 구조로써 장치 구조가 매우 간단하여 기존 폐기물처리시설의 좁은 공간 내에도 설치가 용이하다.
- 라. 본 장치를 활용함으로써 원자력산업분야 현장에서의 방사성폐기물 처리비용 및 방사성폐기물 영구처분장에서의 장기적 저장관리 비용을 절감할 수 있으며, 또한 막대한 건설비용이 드는 방사성폐기물 영구처분장의 소요 저장공간도 크게 감소된다.

### 참고 문헌

- [1] JP 昭59-99400 “金枠付 廢 HEPA 필터 처리장치”
- [2] JP 昭62-113099 “廢 HEPA 필터 濾材減用裝置”
- [3] Buttedahl, O.I. et al., “Compaction and packaging of low level and TRU waste contaminated HEPA filters”, Proc. Symp. Waste Manage., v.2, 1981, p.837-848. (CONF-810217-)
- [4] Buttedahl, O.I. “Volume reduction of used HEPA filters”, RFP-3132, 1981.
- [5] Martkar, A.W. et al., “Development of compaction systems for radioactive assorted waste and HEPA filters, an Indian perspective”, Waste Management 2000 Symposium, 27 Feb-2 Mar 2000