

**KAERI 개발 HEPA 필터폐기물 압축처리장치 특성 및
일본, 미국 압축처리장치와의 비교**

**Characteristics of HEPA Filter Waste Compactor Developed by KAERI
and Comparison with Japan's and U.S.A's Compactors**

이강무, 안섭진, 배상민, 손종식, 홍권표
한국원자력연구소
김홍태
한국원자력안전기술원

요 약

원자력산업 분야의 공기정화장치에 사용되고 있는 HEPA 필터폐기물은 무게 약 20 Kg, 크기 610 x 610 x 292 mm의 직육면체로써 무게에 비해 부피가 상대적으로 크다. 따라서 이는 방사성 폐기물의 임시저장 및 영구처분 시에 필요 이상의 많은 저장 공간을 차지하게 되고 관리에 따른 비용도 많이 소요된다. 각국에서는 이런 HEPA 필터폐기물의 부피를 최소화하기 위해서 일반적으로 압축처리를 하고 있는데, 본고에서는 한국원자력연구소(KAERI)에서 개발한 HEPA 필터폐기물 압축처리장치의 특성을 소개하고 일본 및 미국의 압축처리장치와 비교 검토하였다.

Abstract

The HEPA filter waste (Hexahedron, 610 x 610 x 292 mm, 20 Kg), which is used for the ventilation system in the nuclear industries, has relatively large volume to compare with it's weight. Due to the large volume of HEPA filter waste, it needs the large storage and/or disposal space and managing cost during the long period of storage and management. Many countries use the compactor to reduce the volume of HEPA filter waste. On this paper we introduce the new type compactor developed by KAERI with the characteristical comparison to the Japan's and U.S.A's compactors.

1. 서 론

HEPA 필터(High Efficiency Particulate Air Filter; 고성능공기여과기)는 원자력산업분야의 환기설비에 사용되는 배기처리장치용 필터로서, 필터폐기물에는 인체에 해로운 방사성 분진 등이 함유되어 있기 때문에 인간 및 자연환경에 영향을 미치지 않도록 안전하게 처리하고 처리된 폐기물은 인문환경으로부터 격리하여 엄격히 관리되어야 한다.

현재 HEPA 필터폐기물의 처리는 일반적으로 필터폐기물을 압축하여 강철재 드럼 등의 포장용

기에 넣어 밀폐포장하는 방식을 택하고 있는데, 여기에는 두 가지 측면이 고려되어야 한다.

그 첫째는 폐기물의 부피를 최소로 감용시키는 문제이며 또 하나는 처리된 폐기물을 규격화된 포장용기에 포장하는 것으로써, 이렇게 함으로써 폐기물의 처리 및 관리를 보다 효율적으로 할 수 있기 때문이다. 이를 위해서는 필터폐기물의 압축처리장치가 무엇보다도 중요하다. 즉, 압축처리장치의 작업공정이 단순하여 처리 소요시간이 짧아야 하며 또한 구조가 간단하여 장치의 운전 및 유지보수도 용이해야 한다.

이에 상응하기 위해서 한국원자력연구소 방사성폐기물처리 팀에서는 종래의 장치를 개선한 보다 효율적인 HEPA 필터폐기물 압축처리장치를 개발하였는데, 여기서는 이에 대한 특성 및 현재 일본 및 미국에서 사용되고 있는 HEPA 필터폐기물 압축처리장치를 비교 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 기술 현황

HEPA 필터는 일반적으로 알루미늄 또는 아연도 강판의 프레임 안에 여과재를 채운 것으로써 부피에 비해서 무게는 상대적으로 가벼운 제품이기 때문에, 방사성폐기물로서의 처리 및 저장 관점에서 볼 때는 그 형상이나 크기를 적절히 변경시키는 것이 바람직하다.

즉, 방사성폐기물 영구처분장의 건설 및 수백년 간에 걸친 장기간 동안의 저장관리 비용을 줄이기 위해서는 폐기물의 부피를 최소로 줄이는 게 필수적이며 또한, 저장관리의 효율화를 위해서 가능하다면 규격용기에 넣어 포장할 수 있도록 폐기물의 형상을 적절히 변형시킬 필요가 있다.

이를 위해서 HEPA 필터폐기물의 프레임과 여과재를 분해하거나 또는 그대로 압축처리하는 방법을 사용하고 있다. HEPA 필터폐기물의 부피 감용에는 일반적으로 3-axis 압축기를 사용하여 폐기물을 3 방향(x, y, z축 방향)으로 압축하는 방식을 쓰고 있는데, 이는 3 개의 작업공정(x, y, z축 공정)으로 이루어지기 때문에 압축작업에 소요되는 시간이 많이 걸리고, 장치도 크고 복잡해지는 단점을 가지고 있다.

형상의 변형도 역시 3-axis 압축방식을 사용하고 있는데 이는 단순히 HEPA 필터폐기물의 부피 감소만을 위한 것으로써, 방사성폐기물 포장용 규격용기에 적합한 형상으로 변형시키기 위한 목적은 아니다.

근래에는 초고압 압축기를 사용하여 HEPA 필터폐기물은 물론이고 다른 일반적인 압축성 폐기물들을 모두 압축처리 하고 있는데, 압축효율이 좋은 반면 장비의 가격 및 유지관리 비용이 매우 높은 게 흠이다.

2.2 일본 및 미국의 HEPA 필터 압축처리 장치

가. 일본의 HEPA 필터 압축처리 장치

일본에서는 HEPA 필터의 여과재(Media, 濾過材)와 프레임(Frame)을 분해한 후 각각 별도로 처리하는 방식을 사용하고 있다.

Fig.1에서 보는 바와 같이 1차적으로 HEPA 필터의 여과재를 프레임 밖으로 밀어내어 밑에 놓

여 있는 성형실린더 안에 넣은 다음 여과재를 포장용기 드럼에 들어갈 수 있는 형상과 크기로 성형한다.

이렇게 용기에 맞게 성형된 여과재는 다시 성형 실린더 아래쪽에 놓여있는 포장용기 안으로 넣은 다음 여과재의 부피를 줄이기 위한 2차 압축과정을 거치게 된다. 여과재로부터 분리하였던 HEPA 필터의 프레임은 별도의 처리과정을 거치게 된다.

일본의 HEPA 필터폐기물 압축처리장치는 필터의 미디어만을 성형, 압축하는 방식이기 때문에 우선 HEPA 필터폐기물의 미디어와 프레임을 분리시키지 않으면 안된다. 이를 위해서는 별도의 분리공정이 필요하게 되고, 이에 따라 장치가 더 복잡해지고 작업시간도 추가로 길게 소요되게 된다.

성형장치에서도 무려 4개의 압축 실린더가 사용되고 있고, 장치 전체로서는 무려 7개나 되는 많은 실린더를 사용하고 있기 때문에, 장치가 매우 복잡하고 거대해짐은 물론이거니와 이는 필연적으로 잦은 고장의 요인도 안게 된다.

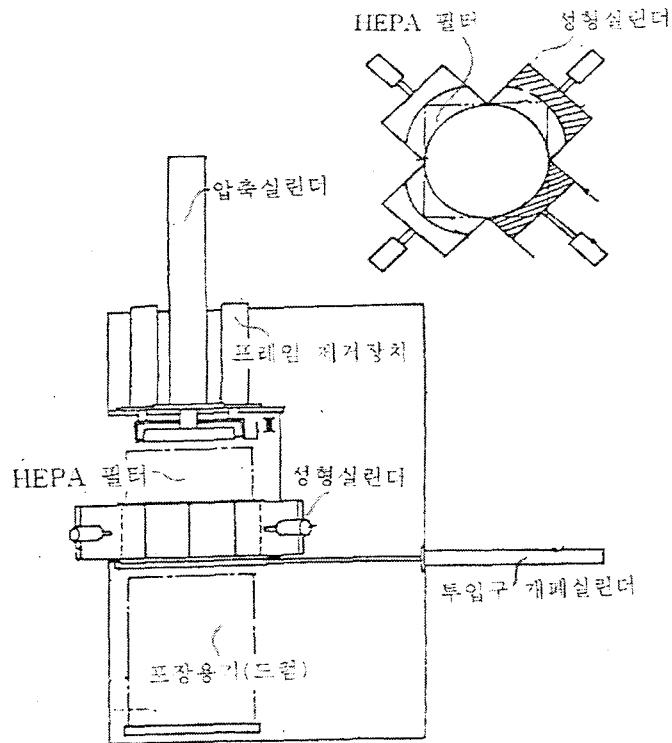


Fig.1 Japan's HEPA Filter Waste Compactor

이 장치는 당초 목적이 필터 미디어만을 성형압축하기 위한 장치이나 만일 이를 미디어와 프레임을 포함한 필터 전체를 성형, 압축하는 장치로 사용하고자 한다면, 성형 실린더 사이로 돌출하여 밀려나온 프레임 때문에, 현재 방사성폐기물 포장용기로 일반적으로 사용되고 있는 DOT17H 원주형 드럼에는 넣을 수 없는 문제가 있다.

나. 미국의 HEPA 필터 압축처리 장치

미국의 경우에도 압축처리장치의 기본개념은 일본의 방식과 비슷하다. 즉, HEPA 필터의 프레임과 여과재를 각각 별도로 처리하는데, 다른 점은 여과재를 고압으로 압축하여 소형 펠렛으로 만든 다음 포장용기에 담는 방식이다.

기계적 구조를 보면, 먼저 Media Stripping Cylinder로 여과재를 HEPA 필터 프레임으로부터 분리시킨 후 가로축 실린더를 사용하여 1차 압축을 실시한다. 1차 압축을 통하여 펠렛 Die에 적합한 크기로 성형된 여과재를 고압 실린더로 펠렛 Die 안으로 밀어 넣어 압축함으로써 소형의 펠렛을 형성하게 되는 구조이다.

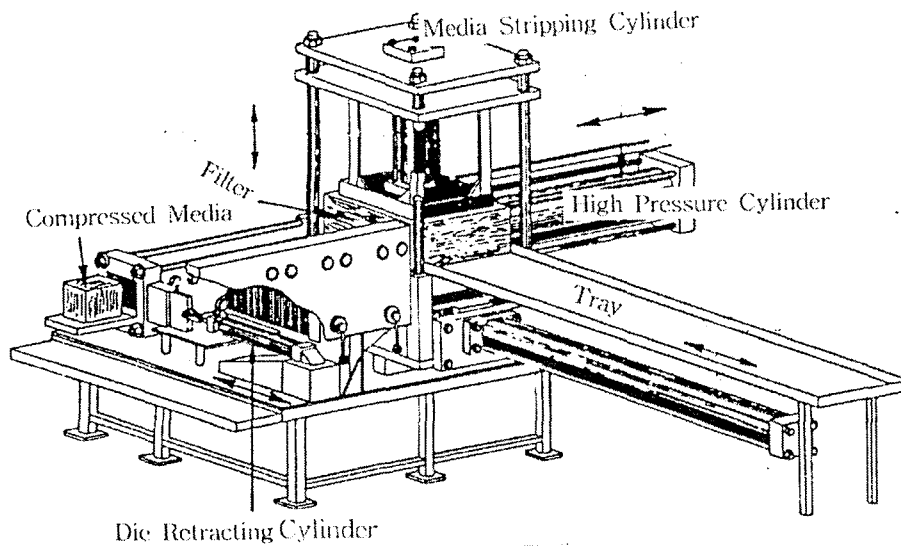


Fig.2 U.S.A's HEPA Filter Waste Compactor

그런데, 이 압축처리장치 역시 Fig.2에서 보는 바와 같이 Die Retracting Cylinder를 포함하여 모두 4개의 실린더를 사용하게 됨으로써 장치가 크고 복잡한 단점이 있다. 그러나 폐기물이 아주 소형의 펠렛으로 성형됨으로 감용효과가 우수한 장점을 가지고 있다. 그러나 압축된 여과재의 복원(Spring back)을 줄이기 위한 별도의 대책이 마련되어야 할 것이다.

2.3 KAERI 개발 HEPA 필터 압축처리 장치

KAERI에서 개발한 HEPA 필터폐기물 압축처리장치는 프레임과 여과재를 분해하지 않고 동시에 압축처리하는 방식을 취함으로써, 처리공정을 단순화하였으며 특히 성형 및 압축용 실린더를 두 개만 사용함으로써 장치를 대폭 간소화하였다.

2축식 원주형 방사성 HEPA 필터폐기물 압축처리장치인 본 개발장치는 Fig.3 및 Fig.4에 보인 바와 같이 이동축 원주형 성형틀(1), 고정축 원주형 성형틀(2), 유압식 성형실린더(3), 유압식 압축실린더(4) 그리고 유압구동 유니트(8)와 장치 프레임(7) 만으로 매우 단순하게 구성되어 있다.

본 장치는 직육면체 형상의 HEPA 필터폐기물(6)을 x축 방향의 단일 성형공정만으로써 x, y축

방향의 변형을 얻을 수 있도록 고안되어 있는데, 이는 두 원주형 성형틀의 독특한 구조 및 작동방식에 의해서 가능하게 된다. 이동측 원주형 성형틀과 고정측 원주형 성형틀이 마치 왼손과 오른손을 깎지 끼듯이 서로 겹치면서 조여줌으로써 x 방향 1축의 단일 성형공정만으로 x, y 두 방향의 변위를 동시에 얻으면서 HEPA 필터폐기물이 원주형상으로 성형되는 방식이다. 이때 고정측 원주형 성형틀은 장치 프레임에 고정되어 있고, 이동측 원주형 성형틀만이 성형실린더에 의해서 이동된다.

또한, 본 장치는 직육면체 형상의 HEPA 필터폐기물이 규격용기인 DOT17H 포장용 드럼에 직접 투입될 수 있도록 원주형상으로 성형하는데, 성형실린더(3)에 의해서 이동측 원주형 성형틀(1)이 고정측 원주형 성형틀(2) 쪽으로 전진을 시작하면 HEPA 필터폐기물은 압축실린더의 바로 아래 위치까지 점점 밀려들어가게 된다. 이 과정에서 직육면체 형상의 HEPA 필터폐기물은 최종적으로는 성형틀(1) 및 (2)의 반경을 갖는 원주형상으로 압축, 성형되게 된다.

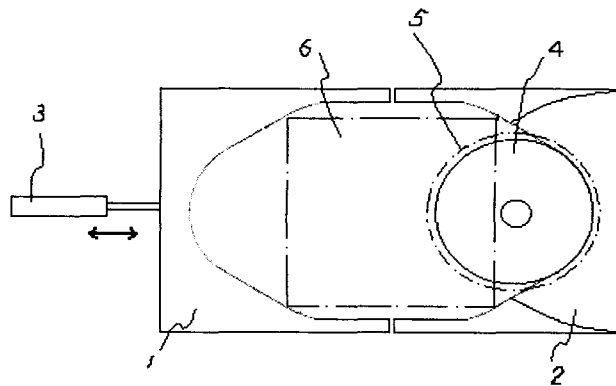


Fig. 3 Schematic Plane View of the Equipment

이렇게 원주형상으로 성형된 HEPA 필터폐기물은 압축실린더(4)에 의해서 압축실린더의 바로 아래 지점에 놓여있는 방사성폐기물 포장용 규격용기인 원주형 드럼(DOT17H Drum) 안으로 자동적으로 직접 투입되면서 동시에 감용을 위한 수직방향(Z축)의 압축이 연이어 진행된다. HEPA 필터폐기물이 압축되어 부피가 최대한도까지 축소되면 압축실린더는 복귀되고, 다시 같은 과정을 반복하면서 다음 HEPA 필터폐기물을 성형, 압축하면서 포장용기 드럼을 가득히 채우게 된다.

Fig.4는 장치의 개략적인 입체도이다. 본 장치 중 성형부분(즉, 압축실린더 부분을 제외한 나머지 부분)의 기능만을 별도로 사용하면, 기존의 일반 압축기를 그대로 병행 사용해서도 본 장치를 사용하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다.

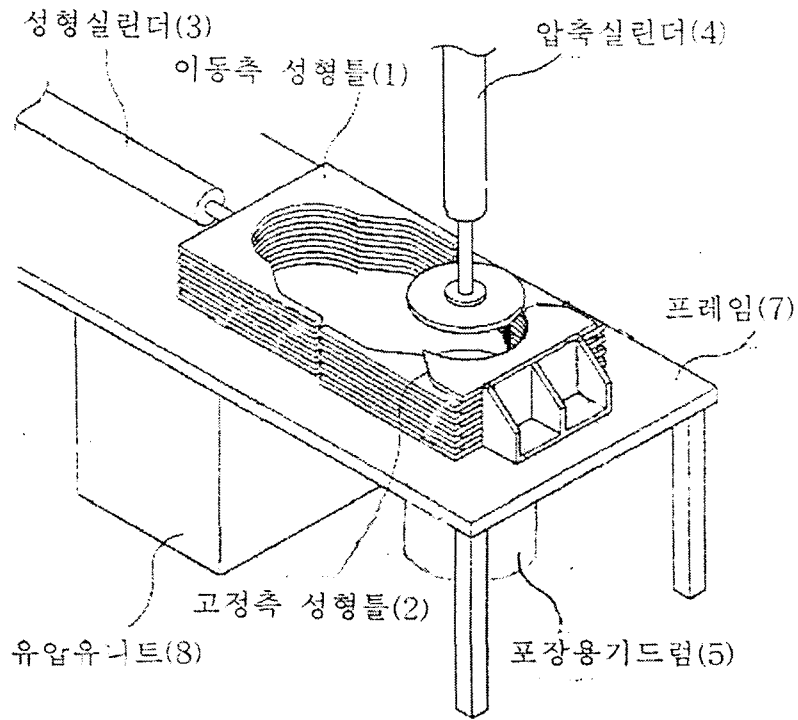


Fig. 4 Schematic Bird-Eye's View of the Equipment

Table 1은 KAERI에서 제작한 장치의 사양, Fig.5는 외형을 보여주고 있다.

Table 1 Specification of the KAERI Compactor

항 목	Specification
크기 및 중량	2,300x1,200x2,200 mm
압축력/압축속도	16 mm/min, 15 ton
압축물 크기(Max.)	640 x 640 x 315 mm
압축 후 크기	460 mm ϕ x 315 mm H
구동방식	유압 실린더 방식
안전장치	Over-stroke shutdown
Table Lifter 방식	유압 실린더 방식

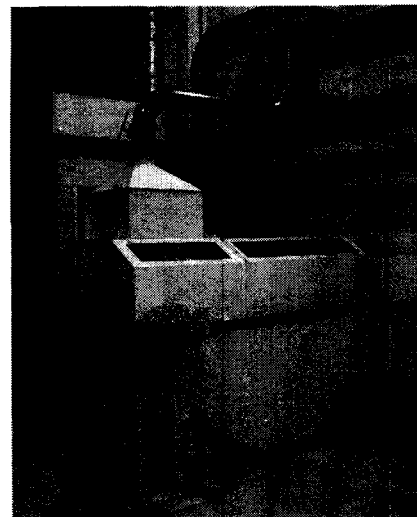


Fig. 5 KAERI's Compactor

KAERI에서는 일반 고체폐기물 처리용으로 보유하고 있는 기존의 압축처리장치를 그대로 사용하기 위해서, 위에 기술한 바와 같이 압축실린더를 제외한 원주형 성형장치만을 제작하였다. 본

장치를 사용하여 직육면체 형상의 HEPA 필터폐기물을 원주형상으로 성형한 후, 방사성폐기물 포장용 규격용기인 원주형 드럼(DOT17H Drum) 안에 넣어 기존 압축기를 사용하여 압축처리하기 위해서이다.

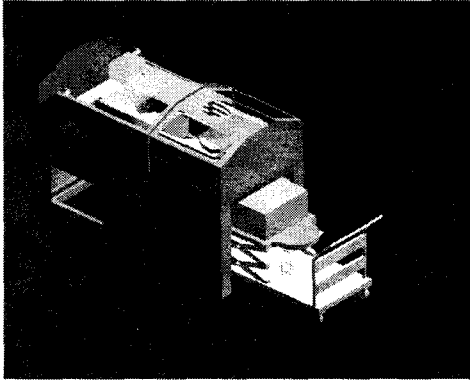


Fig. 6 Compacting Procedure

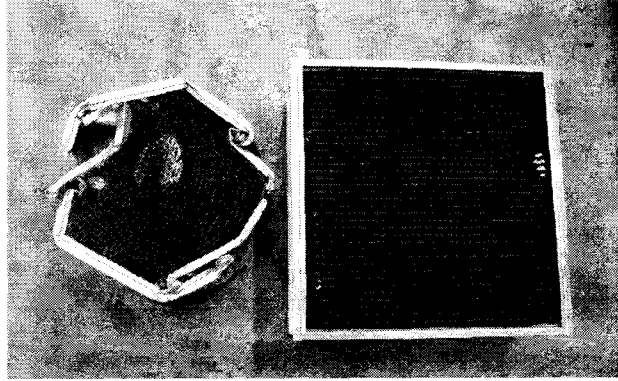


Fig. 7 HEPA Filter Waste
- Before(Right) and After Compaction(Left)

Fig. 6은 본 장치를 사용한 압축처리과정이며 Fig.7의 오른쪽은 압축성형 전의 HEPA 필터폐기물(610 x 610 x 292 mm 직육면체)이고, 왼쪽은 압축성형 후의 HEPA 필터폐기물 형상(ø500 mm 원주형)을 보여주고 있는데, 방사성폐기물 포장용 규격용기인 DOT 17H 드럼(ø606 mm x 높이 884 mm)에 적합한 형상 및 크기를 얻을 수 있었다.

Table 2는 HEPA 필터폐기물과 DOT17H 드럼의 제원 비교표이다.

Table 2 Specification of HEPA Filter Waste and DOT17H Drum

	HEPA 필터 폐기물	DOT17H 드럼
형 상	직육면체	원주형
크 기	610 x 610 x 292 mm	ø 606 x 884 mm
재 료	프레임: 알루미늄, 또는 강철 여과재: Glass Wool	드럼 : 강철 내부 : 방식도장

2. 4 KAERI 및 일본, 미국 압축처리장치의 특성 비교

일본 및 미국의 HEPA 필터폐기물 압축처리방식은 필터의 프레임과 여과재를 분해하여 각각 별도로 처리하는 하는 것이 특징이다. 이는 폐기물을 종류별로 분류하여 처리 및 저장관리 한다는 측면에서는 긍정적이거나 이를 위하여 투입되는 시간과 비용 그리고 이에 필연적으로 수반되는 크고 복잡한 압축처리장치의 운전 및 유지관리 비용 등을 고려하면 그렇게 바람직한 방식은 아니다.

미국의 경우에는 HEPA 필터폐기물의 여과재를 분리한 후 이를 고압 압축하여 소형 펠렛으로 만드는 방식인데 폐기물의 부피 감용면에서는 매우 효과적일 것으로 판단된다. 그러나 이 역시 처

리에 투입되는 시간과 비용 등의 문제가 남아 있다. 이렇게 고압으로 처리하는 방식이라면 근래 들어 일반적인 고체폐기물의 처리에 사용되고 있는 초고압 압축기를 이용하는 것이 더 바람직할 것으로 보인다.

KAERI에서 개발한 HEPA 필터폐기물 압축처리장치는 필터의 프레임과 여과재를 분리하지 않고 일괄 압축처리하는 방식이며, 또한 미국이나 일본과 같이 4 - 7개의 많은 실린더를 사용하지 않고 단지 2개만의 압축실린더를 사용하여 장치를 극히 단순화함으로써, 압축처리에 소요되는 시간을 절감하고 장치의 운전 및 유지관리 또한 매우 용이하게 한 방식이다.

또한, HEPA 필터폐기물이 가로 610 mm x 세로 610 mm x 높이 292 mm의 직육면체 형상이기 때문에 현재 우리나라를 비롯하여 외국에서 방사성 폐기물 포장용기로써 마치 국제적인 규격 용기처럼 일반적으로 사용되고 있는 DOT17H 원주형 드럼(직경 606 mm x 높이 884 mm)에 직접 넣어 포장할 수가 없는데, 본 장치는 HEPA 필터폐기물을 적절한 크기를 갖는 원주형상으로 변형시킴으로써, DOT17H 드럼 안에 필터폐기물을 직접 넣어 최종적인 부피감용 압축처리까지 마무리할 수 있게 함으로써 이런 문제를 완전히 해결하고 있다. Table 3은 KAERI 및 일본, 미국의 압축처리장치의 특성 비교표이다.

Table 3 KAERI 및 일본, 미국의 압축처리장치 특성 비교

KAERI	일 본	미 국
1. 필터 프레임과 여과재를 분리하지 않고 함께 처리	1. 필터 프레임과 여과재를 분리하여 별도로 처리	1. 필터 프레임과 여과재를 분리하여 별도로 처리
2. 2축 방식으로 구조 간단	2. 7축방식으로 구조 매우복잡	2. 4축 방식으로 구조 복잡
3. 압축 후 복원 없음	3. 압축 후 복원(Spring back)	3. 압축 후 복원
4. DOT17H 드럼에 직접 포장	4. DOT17H 드럼에 부적합	4. 처리시간 과다소요 및
5. 처리시간 및 장비관리 유리	5. 처리시간 과다소요 및	장비유지관리 어려움
6. 기존 일반압축기 병용 가능	6. 프레임 별도처리 필요	5. 프레임 별도처리 필요

3. 결 론

가. 일본 및 미국의 HEPA 필터폐기물 압축처리장치는 필터프레임과 여과재를 분리하여 별도 처리하는 방식으로써, 처리공정이 복잡하고 이에 따른 비용 및 소요시간이 많이 걸린다.

나. KAERI에서 개발한 HEPA 필터폐기물 압축처리장치는 필터프레임과 여과재를 일괄 처리하는 방식이며 또한, 일본 및 미국의 장치가 다축(4~7축) 구조방식인데 반해 2축방식의 매우 간단한 구조이기 때문에 장치의 운전과 유지관리가 용이하고, 처리시간 및 비용이 감소된다.

다. 또한, HEPA 필터폐기물을 적절한 크기의 원주형상으로 압축, 성형함으로써, 현재 방사성폐기물 포장용기로써 가장 일반적으로 사용하고 있는 원주형 DOT17H 드럼에 직접 넣어 포장할 수 있으며, 필터프레임과 여과재를 함께 압축하는 방식이기 때문에 비압축성 재료인 여과재의 복원변형(Spring back)도 상호 억제되어 포장용기의 적재공간을 100 % 활용하게 된다.

참 고 문 헌

- [1] JP 昭62-113099 “廢 HEPA 필터 濾材減用裝置”
- [2] 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-)
- [3] Buttedahl, O.I. “Volume reduction of used HEPA filters”, RFP-3132, 1981.