

## 사용후연료집합체 구조재 폐기물 처리 방안 최적화

나상호, 박창제, 양재환, 강권호, 박근일  
한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045  
[shna@kaeri.re.kr](mailto:shna@kaeri.re.kr)

### 1. 서론

원자력발전소에서 일정 기간 연소되어 인출된 연료 즉 사용후연료는 현재 잠정적으로 발전소에서 보관 저장되고 있으며, 이러한 저장능력은 거의 포화되어 가고 있는 실정이다. 사용후핵연료는 2007년 12월말을 기준으로 총 9420톤이 저장되어 있으며, 2010년에는 약 1만1000톤, 2020년에는 약 2만톤, 2040년에는 약 3만4000톤이 누적될 전망이다[1]. 따라서 사용후연료의 저장량을 감소시키고, 사용후연료 내에 잔존하는 유효 에너지 자원을 재활용하기 위하여 많은 연구가 많은 나라에서 수행되고 있다. 이와 함께 사용후연료집합체의 구조재에 대한 처리방안도 동시에 고려되어야 한다. 구조재폐기물은 방사화특성으로 인하여 고준위폐기물로 분류되고 있는 실정이다. 지금까지 검토된 구조재의 처리 방법에는 주로 부피를 줄이는 감용기술이 큰 부분을 차지하고 있으며, 크게 용융 기술과 압축 기술로 나눌 수 있다.

본 연구에서는 구조재 폐기물의 처리방법에 대해 여러 인자를 고려하여 최적화된 방안을 도출하고자 하였다. 핫셀 적용성 및 운용성, 균질성, 감용성, 2차 폐기물 발생 가능성 그리고 고준위핵종 처리 가능성 등의 인자를 고려하여 검토하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 구조재 폐기물 처리방법

구조재폐기물의 처리 방법으로 현재까지 잘 알려진 기술은 압축법과 용융법으로 대별된다. 이들 방법에 대한 각각의 특성 및 장단점을 나타내면 다음과 같다.

##### 2.1.1 압축법

압축법은 폐기물에 단순히 물리적 힘을 가해 기하학적 구조를 변화시켜, 폐기물이 점유하고 있는 실제 부피를 감소시키는 방법으로, 소각 및 기타 처리가 용이하지 않은 경우에 효과적으로 이용할 수 있다.

압축 방식으로는 유압식, 전기식 및 기계식 등

이 있다[2]. 유압식은 기계식 및 전기식에 비해 효율성, 기기 연결의 융통성 및 컴팩트하고 가볍지만 고압으로 사용할 경우, 오일의 누설 가능성이 있으며, 또한 고온이나 방사선 환경 하에서 사용할 경우 오일의 열화 등이 일어날 수 있는 단점이 있다. 이러한 단점에도 불구하고 핫셀에서의 원격조종과 유지·보수 그리고 공간 확보의 차원에서 유압식이 주로 선호되고 있다. 유압에 의한 압축방식에는 습식(미국의 B&W)과 건식(독일의 PKA)이 있다. 독일은 구조재 폐기물을 고압의 유압프레스로 수평방향으로 압축처리하여 처분용 캐니스터에 밀봉한 후 캐스크에 적재하여 저장 또는 처분한다. 반면에 미국은 수직으로 내려오는 구조재 폐기물을 수중에서 수평방향으로 측면 압축시킨 후 일정 길이로 절단 및 적재하여 저장한다.

##### 2.1.2 용융법

용융기술은 주로 원자력시설의 해체에 따른 시설 구조물의 방사성폐기물의 중저준위로서의 처분, 감용 또는 재활용 목적으로 사용되어 왔다. 현재 외국에서 상용화되어 주로 사용되고 있는 방사성폐기물의 용융처리 기술은 크게 아크 용융(arc melting)과 유도용융(induction melting)법이 있으며, 여러 인자들을 고려하여 나라마다 특색에 맞게 선택하거나 병용한다.

유도용융의 경우, 바람직한 인자는 용탕의 양호한 교반, fume 제어 용이성 그리고 급가열 등이 있으며, 이러한 인자는 방사성폐기물의 초기 고화/균질화 용융을 고려할 때 중요하다. 반면에 아크 용융은 용탕 크기 증대시 비용이 저렴하며, 대용량의 물질의 수용이 가능하고, 용탕 조성의 변경이 용이하며, 수냉각이 불필요하므로 신뢰성 및 안전성에 대한 마진이 큰 장점이 있다.

#### 2.2 구조재 폐기물 처리시 고려사항

##### - 감용비

압축법의 경우, 적용압력은 4.5톤~2,200톤으로 폐기물의 약 70~80%의 압축이 가능하며, 감용비

는 2~10 정도이다. 반면에 용융법의 경우 폐기물을 고온가열에 의한 용탕화로 인하여 기공 등이 존재하지 않아 감용비는 압축법에 비해 상당히 높다.

- 균질성

압축법은 구조재폐기물을 단순히 압축하는 것이므로 성분의 균질성은 어렵다. 다만 압축하기 전에 폐기물을 성분 별로 분류한다면 어느 정도의 균질성은 확보될 것으로 예상된다. 반면에 용융법은 폐기물을 용융시키므로 성분의 균질성은 양호한 것으로 사료된다.

- 핫셀 적용성

압축법은 초기에 적용이 원활하고 용이하며, 소규모 시설에서도 가능하며 검증된 기술로 핫셀에 적용성이 양호하다. 반면에 용융법은 폐기물을 고온으로 용융시켜야 하므로 고온의 용융로가 필요하며, 이에 따른 부대시설의 설치도 요구되므로 대용량화할 경우 핫셀에서의 적용성은 바람직하지 않은 것으로 사료된다.

- 2차 폐기물 발생 가능성

압축법은 기기를 이용하여 단순 압축하는 것이므로 부수적인 2차 폐기물은 그다지 발생하지 않는다. 용융후 2차폐기물(슬래그, 필터, 도가니 등)이 다량으로 발생한다.

- 고준위핵종 처리 가능성

압축법의 경우, 단순 압축하는 것이므로 고준위핵종 처리 가능성은 거의 없으나 압축 전에 폐기물을 재료별로 분류할 경우 고준위폐기물의 양은 감소할 것으로 판단된다. 용융법은 슬래그에 의한 고준위핵종(Co, Tc)의 분리가 어려운 것으로 보고되고 있다[3].

- 폐기물의 크기

유압에 의한 압축은 고압을 사용할 경우, 연결부위에서 오일 누설의 가능성이 크므로, 폐기물의 크기가 작은 것이 바람직하다. 반면에 용융법은 폐기물의 크기 증대가 용이하다.

2.3 구조재 폐기물 처리 방안 도출

위에서 언급한 처리방법 및 처리시 여러 인자를 고려하여 구조재 폐기물 처리 방안에 대한 도출 경로를 Fig. 1에 도시하였다[4].

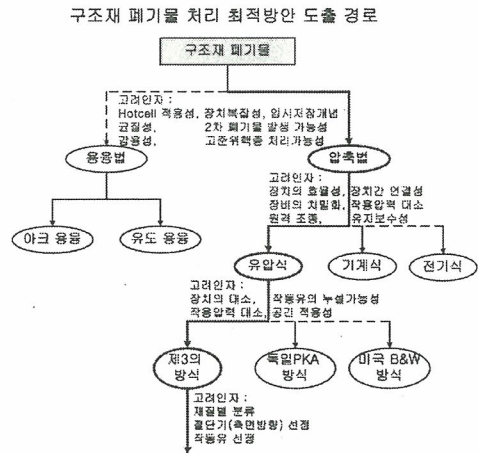


Fig. 1. Flow chart of treatment approach for structural material waste

3. 결론

구조재폐기물의 처리방법은 여러 인자, 특히 핫셀 적용성을 고려할 때 용융법보다는 압축법이 바람직한 것으로 나타났다. 압축에 의한 구조재폐기물은 향후 기술수준에 따라 보다 향상된 기술로 처리할 수 있도록 임시 저장의 개념도 있는 방법이다. 압축법에서는 유압식이 여러 인자를 고려할 때 바람직하며, 구조재폐기물 전체를 일시에 압축하는 것보다 재료별로 분리하여 모으고, 원하는 크기로 절단하여 건식으로 압축처리하는 방식이 바람직한 것으로 사료된다.

4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력증장기과제의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

[1] 2008 원자력연감(I), 한국원자력협회, “제4장 사용후핵연료현황”, pp.351-364.  
 [2] 김영환 외, “핵연료집합체 구조재폐기물 압축 기술 개발”, KAERI/TR-1442/99.  
 [3] 민병연 외, “방사성금속폐기물의 용융시 방사성핵종의 분배특성”, Korean Chem. Eng. Res., vol.45, No.6(2007) 627-632.  
 [4] 나상호 외, 사용후핵연료 집합체 구조재의 폐기물 처리 방안의 최적화, KAERI/TR-4218/2010.