

## 고준위 방사성폐기물 금속저장체 영구 처분에 따른 현안 평가

황용수, 김성기, 강철형  
한국원자력연구소 심지층처분시스템  
yshwang@kaeri.re.kr

### 요약문

국내 원전에서 배출되는 사용후핵연료의 안전한 장기 보관과 평화적 재활용을 위한 많은 연구 중에서 금속저장체 연구는 사용후핵연료의 장기 보관에 따른 부식 문제 해결과 방사성 붕괴열 제거 관점에서 관심을 끌고 있다. 본 논문에서는 고준위 방사성폐기물로 분류되는 금속저장체를 국내 심지층 암반에 영구 처분했을 때 발생하는 처분장 요구 면적과 영구 처분에 따른 방사선적 안전성에 관한 고찰을 통해 금속 저장체를 이용한 사용후핵연료 관리의 장단점을 분석하였다. 예비 조사 결과 주어진 데이터 조건에서는 금속 저장체는 고준위 방사성폐기물 처분장의 면적을 5 배 정도 줄일 수 있을 것이며 방사선적 안전성 또한 우수한 것으로 판명되었으나 향후 경제성과 핵비확산성을 고려한 종합적인 타당성 연구가 수행되는 것이 바람직하다고 판명되었다.

### 1. 서론

정부는 최근 2015년까지 건설될 원자력발전소의 규모와 위치 등을 결정한 바 있다. 이에 따르면 현재 총 발전량이 약 40%를 차지하고 있는 원자력은 21 세기 중반까지 이러한 지분을 유지하면서 안정적이며 경제적인 전원을 공급하기 위한 역할을 담당할 것으로 예상된다. 현재 국내에는 총 16기 원자력 발전소들이 이미 1978년부터 상용 운전을 시작하여 현재 국내에 4기, 북한에 2기 등 한국 표준형 원전들이 건설되고 있으며 이와 함께 향후 신고리, 월성 등에 추가로 각각 8기의 원자로들이 입지할 예정이다.

이와 같은 원자력 발전은 불가피하게 상당량의 사용후핵연료를 발생시킨다. 사용후핵연료의 발생량은 원전의 운전 이력과 원전 수명 등에 따라 달라지겠지만 2015년까지 건설 운영되기로 이미 확정된 원자력발전소로부터 약 3만 3천 여톤의 사용후핵연료가 발생할 것으로 예측된다.

### 2. 본론

본 연구에서 사용한 기준 사용후핵연료는 농축도가 3.2%이고 연소도가 33,000 MWd/tU이며 원자로에서 방출된 후 10 년동안 수중 풀에서 저장된 것을 선택하였다. 금속 저장체 공정은 미국 알콘 국립 연구소가 최초로 제안한 개념으로 Li 용매를 써서 사용후핵연료를 우

라늄 계열의 물질과 기타 물질로 분류하는 것이다. 이렇게 우라늄 계열의 물질이 분리되면 이들은 금속체로 만들어 저장하고, 기타 폐기물은 제올라이트와 혼합하여 용융염 고화체를 만들어 보관하게 된다. 그림 1에 도시된 분리 화학 공정 과정에서 효과적인 분리를 위한 장치(batch)의 수는 고방열 물질들의 농도에 좌우되게 되나 대략 5 개의 장치를 직렬 연결하면 적절한 것으로 알려져 있다. 이 공정은 아직 대규모로 실증된 바 없이 연구 단계이나 단위 투입 사용후핵연료에 대한 정확한 금속 저장체와 용융염 고화체의 발생량을 현재까지 국내의 연구 자료로 평가해 볼 때 사용후 핵연료 1톤을 처리할 경우 금속 저장체가 약 196 kg, 밀도가 2.1-2.0 g/cm<sup>3</sup> 정도인 제올라이트 혼합 고화체가 약 1,435 kg 발생할 것으로 예상된다.

표 1과 2는 이러한 금속 전환 공정에서 발생하는 선원항을 각각 금속 저장체와 용융염 고화체로 나누어 대별한 것이다. 표 1에서 나타난 바와 같이 금속 저장체의 대부분은 우라늄이 차지하고 있으며 이외 대부분의 액티나이드 원소들과 미량의 핵분열 생성물이 금속 저장체에 포함된다. 또한 용융염 고화체 내에는 표 2에 나타난 핵종 이외에도 요오드와 세슘 같은 고용해도 핵종들을 포함한 기타 핵종들이 포함된다. 이와 같은 분리 공정의 결과 실제적으로 이들이 가지고 있는 방사성 물질의 총량은 줄지 않으나 이와 같은 분리의 결과 방사성 물질을 지하에 심층 매립 처분하였을 경우 그 유출 형태가 변화하여 실질적으로 주변 환경에 유출되는 량이 저감될 수 있다.

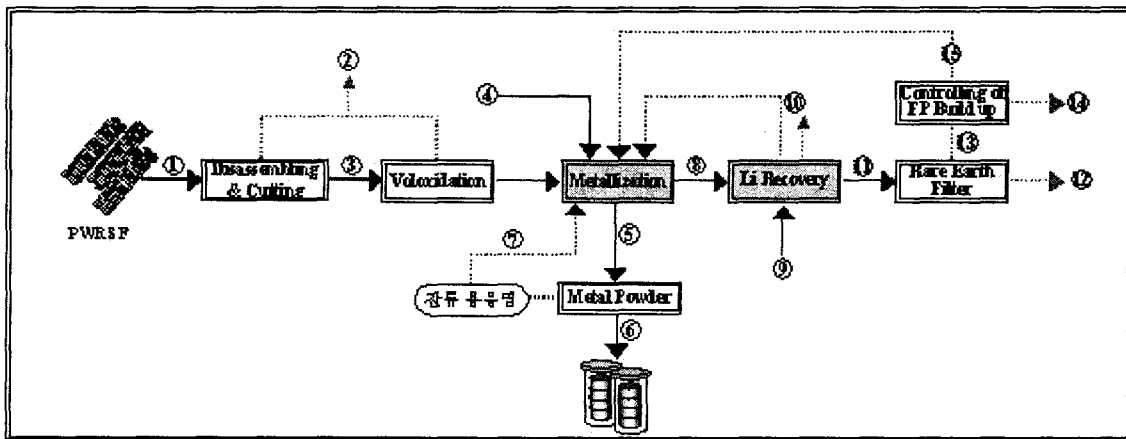


그림 1. 사용후핵연료 금속 저장체 변환 화학 공정 도시도

이와 같은 선원항을 가지는 금속 저장체와 용융염 고화체를 심지층 암반에 처분하는 경우에는 그림 2에서 나타나는 고용해도 핵종 유출(gap release) 현상을 방지할 수 있어 모든 핵종들이 조화 유출(congruent release)로 유출되게 되어 연간 개인당 선량이 저감되는 효과를 가져올 것으로 판단된다.

이와 함께 금속 저장체로 전환할 경우 그림 3에 나타난 바와 같이 사용후핵연료보다 발열량이 2배 가량 줄어들어 KBS-3 개념에서의 처분공 및 터널 간의 이격 거리를 줄어뜨리게 할 것으로 예상되는 바 예비 평가에 의하면 처분장 소요 면적이 약 5배 가량 감소할 것이다.

표 1. 사용후핵연료 20 kgHM당 발생하는 금속저장체 선원

Inventory	g-mole	분자량 (g)	weight (kg)
U	70.749	238.030	16.840
Am	0.061	243.100	0.015
AmO	0.005	259.100	0.001
Cm	0.004	247.100	0.001
Np	0.036	237.000	0.009
NpO2	0.001	269.000	0.000
Pu	0.614	244.100	0.150
PuO2	0.006	276.100	0.002
CeO	0.285	156.120	0.044
LiGdO2	0.016	196.190	0.003
LiNdO2	0.504	183.180	0.092
LiPrO2	0.144	179.850	0.026
LiSmO2	0.100	189.301	0.019
TbO2	0.000	190.930	0.000
LiYO2	0.094	127.847	0.012
Ag	0.008	107.870	0.001
Cd	0.014	112.410	0.002
Mo	0.634	95.940	0.061
Pd	0.244	106.420	0.026
Rh	0.072	102.910	0.007
Ru	0.382	101.070	0.039
Sb	0.002	121.760	0.000
Tc	0.150	97.910	0.015
Zr	0.719	91.224	0.066
Total			17.431

표 2. 사용후핵연료 20 kgHM당 발생하는 용융염 고화체 선원항

Inventory	g-mole	분자량	weight (kg)
BaCl2	0.248	208.250	0.051646
LiBr	0.005	86.840	0.0004342
CsCl	0.276	168.360	0.04646736
EuCl2	0.018	222.870	0.00401166
RbCl	0.074	120.940	0.00894956
Li2Se	0.013	92.840	0.00120692
SrCl2	0.159	158.520	0.02520468
Li2Te	0.065	141.480	0.0091962
LiLaOCl2	0.159	232.757	0.03700836
PmCl3	0.000	153.400	0
Li2O	148.063	29.880	4.42412244
Li	53.612	6.941	0.37212089
LiCl	4498.717	42.394	190.718608
Total			195.698977

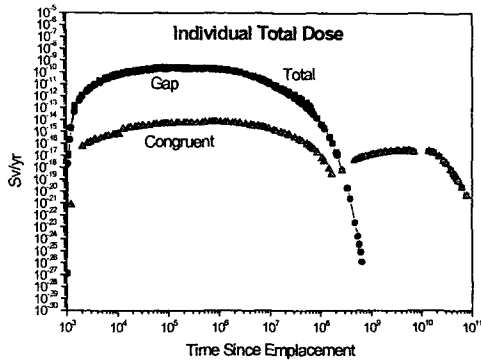


그림 2. 고준위 방사성폐기물의 유출에 따른 연간 개인 선량

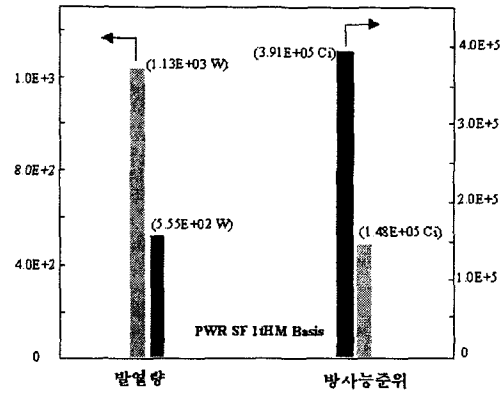


그림 3. 금속저장체와 사용후핵연료 특성 비교

### 3. 결론

본 논문에서는 현재 세계적으로 초기 개념 정립 단계에 있는 사용후핵연료의 금속저장체 전환 개념이 고준위 방사성폐기물 처분에 어떤 영향을 주는가에 대해 살펴보았다. 금속 저장체 저장 개념은 처분장 안전성과 처분장 부지 면적 감소에 효과를 주는 것으로 예비 평가 결과 나타났다.

그러나 아직 이 개념에 대한 정확한 설정 연구가 진행 중이기 때문에 본 연구에서 추론한 폐기물 발생량, 처분 대상 금속 저장체와 용융염 고화체의 규격 등에 많은 불확실성이 내포되어 있으며, 분리 공정에서 추가적으로 발생할 수 있는 저준위 폐기물과 2차 폐기물 발생량에 따른 환경 영향 평가도 수행되지 않았다. 2002년에 수행될 2차년도에서는 보다 정확한 폐기물 선원항과 열적 특성 자료를 바탕으로 안전성 및 부지 면적 평가가 수행될 예정이며 향후 금속 저장체의 도입 타당성 평가를 위해서는 처분과 연계된 안전성과 부지 확보 용이성 뿐 아니라 전체 공정의 경제성, 시설 입지에 따른 국내외적 수용성 등을 종합적으로 평가하여야 할 것이다.

### 감사의 글

본 논문에 수록된 연구 내용은 한국원자력연구소에서 주관하는 기초 연구 과제의 일환으로 수행되었습니다.