

핵종분리율에 따른 처분면적 영향평가를 위한 붕괴열 민감도 분석

김인영*, 최희주, 유맑고밝게빛나라

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*iykim@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료에 포함된 핵분열성 물질을 균분리하여 재활용하고, 고방열 핵종 및 장수명 핵종을 균분리함으로써 고준위폐기물을 감용하기 위한 파이로-고속로 기술이 개발되고 있으며, 파이로 공정 물질수지 2.6.0을 토대로 파이로 공정에서 발생된 고준위폐기물을 처분하기 위한 A-KRS 처분개념이 개발되었다[1]. 하지만 파이로 공정의 지속적인 개발로 개선된 공정이 도입되는 경우, 물질수지가 달라지며 이에 따라 핵종분리율이 변동되어 처분대상 폐기물의 특성이 변화하게 되고 처분간격 등도 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구에서는 핵종분리율에 따른 처분면적 영향평가를 위한 기초연구로 Roald A. et. al[2]의 연구를 참고해 Pu, Am, Sr, Cs를 대표핵종으로 선택하고 핵종분리율에 따른 붕괴열에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

2. 본론

2.1 해석방법 및 주요 가정

본 연구에서는 다음과 같은 기준 사용후핵연료를 가정하고, SCALE 6.1 (ORIGEN-ARP)을 이용해 사용후핵연료 및 특정 핵종분리율에서 각 폐기물의 붕괴열을 평가하였다.

- 핵연료 종류: Plus7
- 농축도 및 방출연소도: 4.5wt%, 55 GWd/MtU
- 연소조건: 37.5 MW/MtU, 3주기 운전, 재장전기간 60 일
- 냉각기간: 원자로 방출 후 10 년 후 핵종분리, 핵종분리 후 30 년 후 처분 40 년

2.2 핵종분리율에 따른 붕괴열

Fig. 1은 고정된 Pu&Am 분리율에 따라 사용후핵연료 10톤을 분리했을 때, Fig. 2는 고정된 Cs&Sr 분리율에 따라 사용후핵연료 10톤을 분리했을 때 발생된 폐기물의 붕괴열을 나타내고 있다.

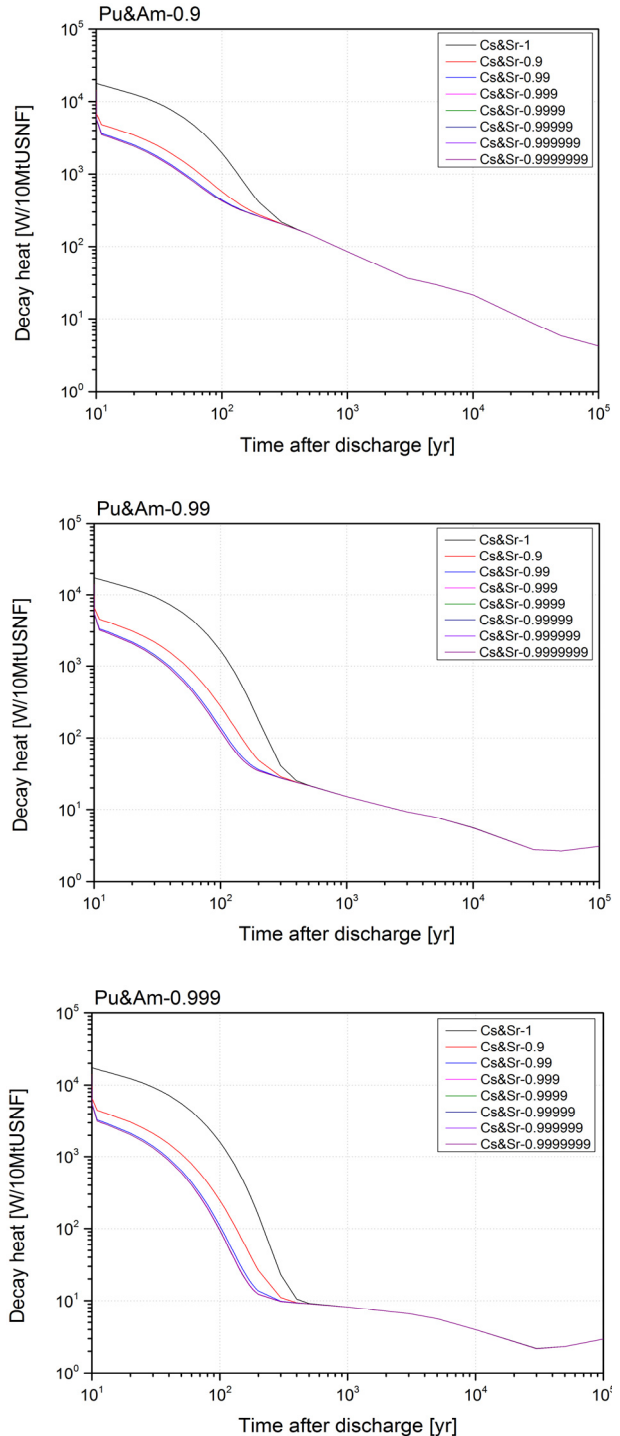


Fig. 1. Decay heat of waste depending on elemental separation rate (fixed Pu&Am separation ratio).

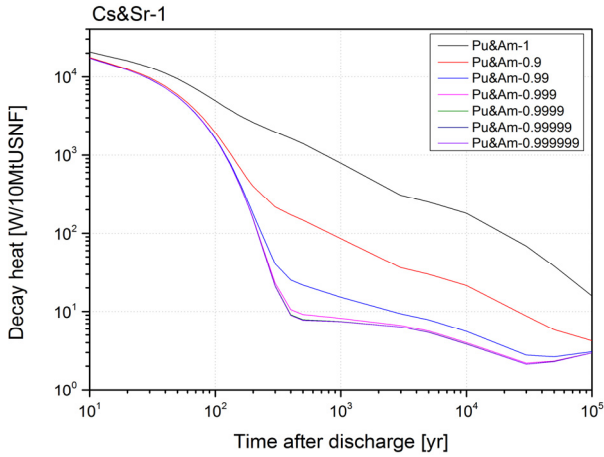


Fig. 2. Decay heat of waste depending on Pu&Am separation (non-separation of Cs&Sr).

Fig. 1에서와 같이 반감기가 짧은 Cs, Sr을 분리하는 경우 수백년 이내 범위에서 붕괴열에 영향을 미침을 확인할 수 있으며, Fig. 2에서와 같이 악티나이드인 Pu과 Am를 분리하는 경우 수백년 이후 기간에서 붕괴열에 영향을 미침을 확인할 수 있다. A-KRS 설계개념에 따르면, 처분시스템의 처분간격은 완충재 최고온도가 100°C를 초과하지 않도록 결정되며, 처분 후 초기 십여년 내에 완충재 온도가 최고점에 도달하게 된다[3]. 따라서 핵종분리를 통한 처분면적 감소에는 Pu, Am과 같은 악티나이드 핵종의 분리보다는 Cs, Sr과 같은 고방열 핵종의 분리가 더 효과적일 것으로 판단된다.

또한 Fig. 1 및 Fig. 2를 통해 Cs&Sr의 경우 분리를 99%, Pu&Am의 경우 분리를 99.9% 이상이 되는 경우, 추가적인 분리가 붕괴열에 미치는 영향은 상대적으로 미미함을 확인할 수 있다.

2.3 핵종분리율에 따른 처분시점에서의 붕괴열

Fig. 3은 처분시점(원자로 방출 후 10년, 핵종분리 후 30년 냉각, 총 40년 냉각)에서 사용후핵연료 1톤 처리시 발생된 폐기물에서 발생하는 붕괴열을 나타내고 있다. Pu, Am만을 최대한 분리하는 경우 붕괴열은 약 719.7 W로 사용후핵연료의 붕괴열 최대 1110 W 대비 약 1/1.54로 붕괴열이 감소함을 확인할 수 있으며, Cs, Sr 핵종만을 최대한 분리하는 경우 붕괴열은 478.3 W로 사용후핵연료 대비 약 1/2.32로 감소함을 확인할 수 있다. 또한 두 핵종을 모두 최대한 분리하는 경우 붕괴열은 약 87.6 W로 사용후핵연료 대비 약 1/12.69로 감소함을 확인할 수 있다. 따라서 추가적인 처분면적 감소를 위해서는 Pu, Am, Cs, Sr 외 추가적인 핵종의 분리가 요구됨을 확인할 수 있다.

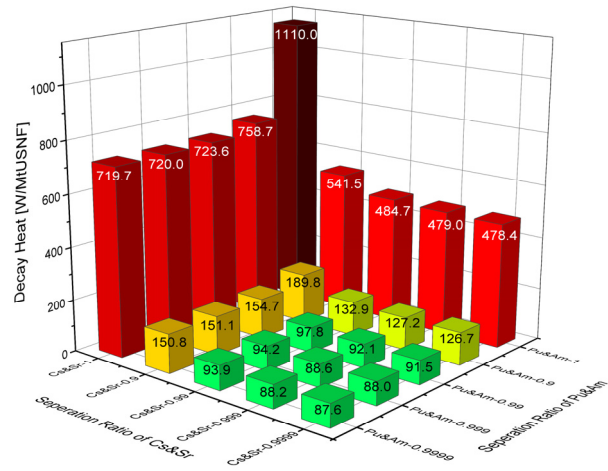


Fig. 3. Decay heat at disposal time.

3. 결론

본 연구에서는 핵종분리에 따른 붕괴열 민감도 분석을 수행하였으며, 이를 통해 국내 처분개념에서는 악티나이드 핵종의 분리보다는 핵분열생성물의 분리를 통한 처분시점에서의 붕괴열 감소가 효과적임이 확인하였다. 또한 처분장면적의 추가적 감소를 위해서는 Pu, Am, Cs, Sr 이외의 추가 핵종분리가 필요하며, 핵분열생성물의 붕괴열 감소기여도가 큰 점을 감안할 때 핵분열 생성물의 추가 분리가 효과적일 것으로 판단되었다. 단, 본 연구는 핵종분리율에 따른 붕괴열을 평가한 것으로 처분면적 영향을 정량적으로 평가하기 위해서는 본 연구에서 도출된 붕괴열을 토대로 열해석 및 처분간격 평가가 수행되어야 할 것이다. 또한 실제 파이로 공정에서는 균분리를 채택하고 있으므로 균분리에 따른 민감도 분석을 통한 처분면적 영향평가가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

- [1] Jong-Won Choi et al., (KAERI/TR-4525/2011) Geological Disposal of Pyroprocessed Waste from PWR Spent Nuclear Fuel in Korea, KAERI, 53, 2011.
- [2] Roald A. Wigeland et. al., "Separations and Transmutation Criteria to Improve Utilization of a Geologic Repository", Nuclear Technology, Vol 154, 95-106, 2006.
- [3] 김인영, 최희주, 이민수, "선진핵주기폐기물 처분시스템 A-KRS의 처분효율 향상방안 평가 (KAERI/TR-5554/2014)", 한국원자력연구원, 2014.