

고준위폐기물 복합 처분 방식 선정을 위한 개념 설정

최희주, 이종열, 최종원, 한필수

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

hjchoi@kaeri.re.kr

1. 서론

국내 원자력발전소에서 발생되고 있는 사용후핵연료 관리에 대해 다양한 방안이 정부를 비롯하여, 연구소, 학계 및 산업체에서 검토되고 있다. 지구 온난화와 화석연료의 고갈에 따른 원유 가격의 폭등은 이제 원자력의 지속적 사용을 선택이 아닌 필수로 이끌고 있으며, 사용후핵연료의 안전한 관리를 국민들은 요구하고 있다. 불과 몇 년 전만 하여도 국내에서 사용후핵연료의 재처리는 불가능한 것으로 간주되었으며, 따라서, 영구처분 부지만 확보되면, 직접 처분만이 해결책으로 간주되어, 이에 맞는 처분시스템을 한국원자력연구원에서 개발하였다. 그러나 사용후핵연료에 포함되어 있는 플루토늄의 재활용에 대한 새로운 기술적 가능성이 연구되어, 파이로 공정과 고속 증식로의 개발을 통해 원자력 자원을 효율적으로 이용하기 위한 노력이 한국원자력연구원을 중심으로 하여 진행되고 있다.

이와 같은 새로운 공정이 도입되어 사용후핵연료를 처리할 경우, 국내에서 예상되는 고준위폐기물 혹은 장반감기 폐기물의 종류는 매우 다양해진다. 본 논문에서는 이와 같은 다양한 폐기물의 형태에 대한 특성과 그에 맞는 처분 방안을 검토하였다.

2. 고준위폐기물 특성 및 처분 개념

일반적으로 PWR 사용후핵연료의 경우 파이로 공정을 이용한 재활용이 적극적으로 검토되고 있으나, CANDU 사용후핵연료의 경우 활용 계획을 배제하고 있어, 직접 처분이 유일한 방안으로 간주되고 있다. 따라서 이미 발생된 CANDU 사용후핵연료 특성을 분석하여 대표 사용후핵연료 특성을 결정하였다. PWR 사용후핵연료의 경우 파이로 공정을 이용하여 사용후핵연료 일부를 재활용할 경우, 예상되는 장반감기 혹은 고준위폐기물은 주로 피복관으로 구성된 금속 폐기물과 파이로 공정에서 발생하는 세라믹고화체와 유리고화체이다. 이들 폐기물의 특성과 물량 등에 대한 분석을 수행하였으며, 이에 따른 처분방안을 수립하고 있다. 또한, 원자력발전소 해체를 통해 원자로 구조물의 중성자 피폭에 의한 폐기물의 발생이 예상되고 있다. 이들 해체폐기물의 특성은 열을 발생시키는 고준위폐기물은 아니나 장반감기 핵종을 포함하거나 방사능 준위가 높아 경주에 건설 중인 중저준위 폐기물 처분장에 수용할 수 없는 폐기물이 일부 포함되어 있다. 따라서 이와 같은 다양한 종류의 폐기물 특성을 분석하여, 이에 대한 처분 개념을 설정하였다.

향후 예상되는 폐기물의 특성을 살펴보면, 첫째, 그 종류가 매우 다양하다는 것이다. 그중 일부 폐기물은 국내에서만 발생할 가능성이 있으며, 이럴 경우 폐기물 특성을 우리 기술로 파악하여야 하며, 이에 맞추어 처분시스템을 설계하여야 한다. 특히 열을 발생시키는 폐기물과 장반감기 핵종만을 포함한 폐기물이 공존하고 있어, 이들을 적절히 배치할 수 있는 시스템을 개발하여야 한다. 둘째, 파이로 공정의 도입에 따라 PWR 사용후핵연료로부터 예상되는 고준위폐기물 부피 및 방사능이 크게 감소하였다. 따라서, 발생 열도 크게 줄어 폐기물 처분시스템 설계를 크게 변경할 필요가 있다. 셋째, 비교적 반감기가 짧은 ^{137}Cs , ^{90}Sr 을 분리하여, 별도 관리할 경우, 고준위폐기물 처분시스템을 더욱 줄일 수도 있다. 이들 두 핵종을 포함한 폐기물을 관리할 수 있는 공간이 필요하다. 넷째, ^{129}I 를 분리함으로써 폐쇄 후 환경에 가장 큰 영향을 주는 핵종의 변화가 예상되며, 이들 핵종에 대한 연구가 필요할 것으로 예상되었다. 다섯째, 다량의 금속폐기물이 발생하여 설계 시 특별히 고려하여야 한다.

사용후핵연료 직접 처분 방식으로는 스웨덴의 KBS-3V 형의 수직공 처분 개념에 바탕을 둔 한국형기준처분시스템을 개발하였으나, 이 방식은 국내 지질환경과 같이 지하수로 포화된 암반에서 운영상 어려움이 예상되며, 처분밀도가 매우 낮다는 단점이 있다. 또한, 직경 2 미터, 깊이 8미터 정도의 수직 처분공을 굴착하는 것도 쉽지 않다. 따라서 향후 예상되는 새로운 종류의 고준위폐기물 처분시스템 개발을 위해서는 다음과 같은 목표를 설정하였다. ① 처분장 폐쇄 후 장기 안전성 확보이다. 대부분의 처분 개념은 방사선적 안전성 측면에서 안전하나, 새로운 폐기물 발생에 따른 안전성 규명을 위한 많은 실증 자료의 축적이 필요할 것으로 예상된다. ② 공학적방벽과 천연방벽을 이용한 다중방벽 개념의 지속적 활용을 통한 시스템 설계이다. 공학적방벽의 경우 장기 건전성을 유지하고, 이에 대한 모델링 및 실증을 제시한다. ③ 처분시스템 운영 측면에서 회수 가능성을 처분장 운영 후에도 상당 기간 보장한다. 회수성 향상은 최근 처분연구의 핵심 사항의 하나이다. 본 연구에서 제안한 개념의 특징은 회수성을 향상시킨 시스템이다. ④ 처분시설의 경제성 향상을 위해 처분밀도를 높인다. 기존 수직공 처분방식의 단점을 보완하기 위하여 다양한 처분개념을 검토하였으며, 이로부터 처분밀도를 향상시킨 개념을 도출하였다.

최근 처분시설 개발 동향의 큰 특징의 하나는 처분된 폐기물의 회수성을 향상시키는 것이다. 이를 가장 적극적으로 반영한 개념은 미국의 야카산 Monitored Geological Disposal 개념으로서 처분장을 곧 바로 폐쇄하지 않고 100년 정도의 기간 동안 개방된 상태로 운영 후, 폐쇄하는 처분 개념이다. 스위스 처분 개념도 이와 유사하며, 일본에서도 현재 새로이 제안하는 개념은 회수성을 향상시킨 처분 방식이다. 그러나 현재까지 외국에서 제안된 회수성이 보완된 개념들의 경우 완충재를 이용하여 폐쇄하는 방식에 있어 기술적으로 가능한가 하는 의문이 제기된다. 본 연구에서는 이와 같은 단점을 보완할 수 있는 개념의 회수가능-장기저장 처분방식을 제안하고 이에 대한 비교를 위하여 3가지 방안을 설정하였다. 본 논문에서 제안한 처분방식의 핵심은 2층으로 건설된 처분시설을 이용하여 상층(지하 150 미터에 위치)에서 장기저장을 하여, 방사능을 충분히 감소시킨 후, 지하 500 미터에 위치한 하층 처분시설에 처분을 하며, 상층 시설은 장반감기 폐기물의 처분에 활용한다는 개념이다.

3. 결론

사용후핵연료에 포함되어 있는 핵물질의 재활용을 위한 파이로 공정이 도입될 경우, 새로운 형태의 다양한 고준위폐기물이 발생될 것으로 예상된다. 원전 해체에서 예상되는 해체폐기물 등을 포함한 새로운 고준위폐기물 특성을 분석하고 이에 대한 처분방식 선정을 위한 개념을 제안하였다. 제안된 개념의 가장 큰 특성은 회수성을 강화하였으며, 장기저장과 처분 공간을 구분하는 새로운 처분개념이다.

사사

본 연구는 교육과학기술부의 원자력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.