

폐 피복관 처리기술 개발-1

강권호, 박근일, 이창화, 전진구, 양재환, 허철민
한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 1045
nghkang@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료를 원료로서 재활용하기 위해서는 사용후핵연료 집합체의 해체, 연료봉의 절단, 탈피복 등의 일련의 공정을 거쳐 사용후핵연료를 회수하여야 한다. 사용후핵연료 집합체의 해체 과정에서 집합체를 구성하고 있는 구조물, 탈피복 과정에서 폐 피복관, 사용후핵연료의 분말화 공정에서 핵분열 기체와 휘발성물질을 포집한 배기체 폐필터가 공정폐기물로 발생한다. 연간 사용후핵연료 10 톤 처리시 폐 피복관은 약 2.5톤 발생한다. 이는 전처리 공정 폐기물 중 57.2 wt%, 30.8 vol%에 해당하며 연소 중 증성자에 의한 방사화 및 핵분열 생성물의 침투에 의한 오염으로 고준위 방사성폐기물로 분류된다. 본 연구에서는 폐 피복관 처리를 위해 폐 피복관의 특성을 분석하였으며, 특성에 따른 처리기술의 장단점을 분석하였다.

2. 폐 피복관의 특성 분석

2.1 폐 피복관 특성

피복관은 대부분이 Zr 합금이며, Zircaloy-4의 경우 약 98 %가 Zr이다. 또한 사용후핵연료를 재활용하기 위한 파이로 전처리 공정에서 산화 탈피복 후 발생하는 폐 피복관의 경우 적재밀도가 980 kg/m^3 으로 이론밀도 $6,500 \text{ kg/m}^3$ 에 비해 약 7배 차이가 난다. 또한 폐 피복관은 원자로 내에서 외면은 물과의 반응으로, 내면은 핵연료와 피복관의 상호작용(PCI, Pellet Cladding Interaction)에 의해 산화층이 형성되어 있다. 산화 탈피복 과정에서도 내외면이 산화 되어 전체의 피복관의 약 10 % 정도가 ZrO_2 형태로 존재한다. 합금원소와 불순물은 증성자에 의해 방사화 되며, 내면의 산화층에는 6.65 mCi/kg의 TRU를 비롯한 핵분열 생성물이 침투되어 있어 고준위로 분류된다.[1] 폐 피복관의 Zr은 강한 산화력으로 장기 저장시 안정성에 영향을 미치게 된다.

2.2 폐 피복관의 특성에 따른 처리 방안

폐 피복관에서 산화층을 제외할 경우 Zr 금속이 약 88 % 존재하며, 이를 회수할 경우 12%만 방사성폐기물로 남게된다. 회수된 Zr 금속은 고속로 핵연료인 U-TRU-Zr 제조, Zr 기반의 금속폐기물 고화체 제조 및 Zr 합금의 피복관 제조에 재활용 할 수 있다. 폐 피복관으로부터 Zr 금속의 회수를 위하여 화학적 방법인 전해정련 또는 염소화 방법이 개발되고 있다.[2]

폐 피복관의 적재밀도가 이론밀도에 비해 크게 작은 것을 이용하여 이론밀도에 가깝게 용융이나 압축처리가 개발되고 있다. 용융 처리 시 이론밀도의 98% 까지 고화체 제조가 가능하고, 압축 처리 시 약 80% 까지 감용이 가능하다. 용융 및 압축 처리는 부피를 줄일 수는 있으나 무게는 줄일 수 없으며 용융처리 시 용융온도를 낮추기 위한 첨가제를 추가할 경우 무게는 늘어 날 수도 있다. 용융 처리 시 슬래그 형성제를 이용하여 핵종들을 산화시켜 밀도 차이에 의해 용융고화체 상부에 슬래그 형태로 분리시키는 연구도 수행되었으나, Co의 경우 완전한 슬래그 형성이 되지 않는 것으로 나타났다.

폐 피복관을 고준위 폐기물이 되게 하는 핵분열 생성물이 주로 산화층에 존재하기 때문에 산화층을 제거할 경우 폐기물 양을 상당부분 줄일 수 있기 때문에 표면의 박리기술이 개발되고 있다.[3] 산화막 제거를 위하여 Ion-gun, Laser, Dry Ice, 사포 등이 이용되었으나 TRU 침투층이 약 $180 \mu\text{m}$ 이상으로 실용화에 의문이 있다.[4]

폐 피복관의 Zr은 강한 산화력으로 장기 저장시 안정성에 영향을 미치므로 안정화 처리가 필요하다. 이를 위해서 Zr을 산화 처리하여 안정화 하는 연구가 진행되고 있다. 폐 피복관을 고온에서 산화처리 할 경우 ZrO_2 의 형태의 분말이 형성된다. 이는 안정화 뿐만 아니라 감용효과도 있을 것으로 판단된다.

3. 결론

사용후핵연료를 재활용하는 과정에서 발생하는 고준위의 폐피복관 처리를 위해서는 기계적, 열-기계적 및 화학적 방법이 다방면으로 연구되고 있다. 폐 피복관의 독성 저감화, 감용, 감량 및 자원 재활용 등을 고려할 경우 화학적 방법에 의한 Zr 회수가 가장 적합한 방법으로 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] R. Restani, NAGRA TR92-13, 1992.
- [2] M. K. Jeon, J. W. Lee, K. H. Kang, G. I. Park, C. H. Lee, J. H. Yang and C. M. Heo, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 289, pp.417-422, 2011.
- [3] I. H. Jung, J. M. Shin, H. H. Lee, J. J. Park, M.S. Yang, Separation Sci. Tech., Vol. 41, pp.2097-2109, 2006.
- [4] T.S. Rudisill, Journal of Nuclear Materials, Vol. 385, pp.193-195, 2009.