

ITER 중준위 금속폐기물(B형 폐기물)의 처리를 위한 삼중수소 제거공정 개념설계

홍대석, 홍권표, 손중식, 주용선, 정기정*, 나병찬**

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*ITER 한국사업단, 대전광역시 유성구 과학로 113

**ITER, Route de Vinon sur Verdon, 13115 Saint Paul lez Durance France

dshong@kaeri.re.kr

1. 서론

ITER(국제핵융합실험로)의 운전기간 동안, Tokamak에 설치된 부품들은 중성자에 의해 방사화되거나 삼중수소에 의해 오염되어 폐기시 방사성폐기물이 된다. 또한 핵융합반응의 연료로 사용되는 삼중수소는 구조물의 내부로 침투되어 폐기물 내 삼중수소의 농도를 높이는 원인이 된다. 각 부품별로 B형(중준위) 폐기물로 발생하는 방사성폐기물 내의 삼중수소 농도는 표 1과 같이 평가되었다.

Table 1. Tritium activity of Type B radwaste.

Type B radwaste	Tritium activity (Bq/kg)
Divertor	1.90E+12
Blanket first wall, Diag. SM	7.40E+12
ECH&CD, ICH&CD, NBH&CD, Diagnostics, TBM	2.70E+09
RH equipment, HC equipment	3.00E+09

폐기물 내 삼중수소를 추출하여 원료로 재사용하는 것이 ITER의 운영 원칙이다.

따라서 Hot cell 내부에 삼중수소 제거공정을 설치하기 위한 개념설계를 진행 중에 있다. 본 연구는 기본연구로서 최근의 논의 사항을 다루고 있다.

2. 본론

2.1 삼중수소 제거공정의 기능

삼중수소 제거공정은 B형 금속폐기물 내의 삼중수소를 제거시킨 뒤 이를 산화시켜 삼중수소화수(HTO)로 만들어 WDS(Water detritiation system)으로 보내는 기능을 수행하게 된다.

이와 더불어 삼중수소 제거공정에는 시료채취기가 설치되어 B형 폐기물의 특성분석을 위한 시료를 채취하게 된다.

2.2 삼중수소 제거공정의 배치도

삼중수소 제거공정에는 폐기물에 함유된 삼중수소를 제거하기 위한 고온의 진공가열로가 설치되며 이의 운전을 위한 배기체 처리 장치 및 냉각수 공급장치가 병행되어 설치된다.

폐기물 처리공정의 효율성 평가와 부품 내 삼중수소의 거동분석을 위한 시료가 필요한 데 삼중수소 제거공정에서는 이를 위하여 삼중수소 제거 전후에 시료를 채취하게 된다. 채취된 시료는 잠시 보관되다가 일정분량 이상이 수집되면 삼중수소 분석실로 이송되어 분석된다.

모든 공정은 10.75 m × 11.75 m의 공간에 배치되며 개략적인 배치도는 그림 1과 같다.

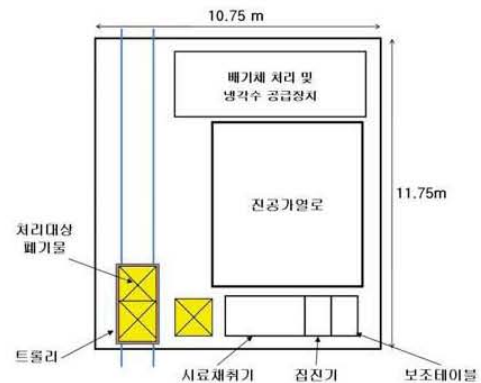


Fig. 1. Layout of TRS station.

2.2.1 진공가열로

현재로서는 1개의 폐기물 용기를 각각 처리할 수 있는 고온 진공가열로 2기를 설치하여 각각 독립적으로 운영하는 방안이 고려되고 있다.

폐기물 내 삼중수소의 효율적인 제거를 위하여 진공가열로의 내부는 800 ℃까지 가열되며 진공도는 약 5×10^{-2} mbar로 유지된다. 운전되는 동안 진공가열로 내부에는 불활성 기체와 삼중수소의 혼합기체가 순환되며 가열로의 외부는 물을 이용해 냉각된다. 발열체와 단열재는 모두 graphite를 이용해 구성되는 것으로 고려되고 있다.

2.2.2 배기체 처리 및 냉각수 공급장치

배기체 처리 장치로는 가열로 내의 진공유지를 위한 진공시스템, 가열되는 금속폐기물 표면의 산화방지와 가열로내 수소 농축으로 인한 폭발방지용 protective gas 공급 시스템, 수소-삼중수소간의 동위원소 치환으로 삼중수소 제거 효율 향상을 위한 수소 공급 시스템, 금속 폐기물에서 제거된 삼중수소를 산화시키는 반응기, 삼중수소수를 water detritiation system으로 수송하기 전까지 보관하기 위한 저장탱크 등이 설치된다.

또한 진공 가열로의 냉각을 위한 냉각수 공급장치 및 열교환기 등이 배치된다.

전체적인 TRS 공정을 간략하게 나타내면 그림 2와 같다.

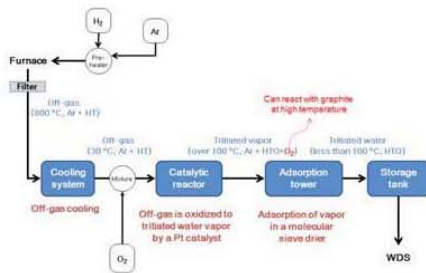


Fig. 2. Schematic diagram of detritiation process.

2.2.3 시료채취기

시료채취 대상이 되는 B형 폐기물은 금속폐기물이기 때문에 드릴을 이용하여 채취하게 된다. 채취된 시료는 삼중수소 제거효율 분석, 처분시 방사성폐기물의 특성평가, 부품 내 삼중수소의 거동 해석 등의 용도에 이용된다. 시료채취기를 이용하여 채취할 수 있는 시료의 크기는 지름이 5~10 mm 정도이며 처리대상 B형 폐기물의 크기를 고려하여 두께는 최대 100 mm 정도가 된다. 시료채취시 발생하는 분진은 집진기를 이용해 수집하게 되며 보조테이블에는 잣은 교체할 것으로 예상되는 드릴의 날, 집진기 필터, 시료용기 등이 저장된다.

2.3 삼중수소 제거공정의 운전

삼중수소 제거공정은 Hot cell의 지하층에 설치되며 모든 공정은 원격으로 제어된다. 원격 제어를 위한 주요 기구로는 폐기물의 운반을 위한 트롤리 및 크레인이다. 이때 트롤리는 공정간 폐기물의 이송에 이용되며, 크레인은 공정 내 폐기물 용기의 취급에 이용된다. 또한 포장용기 내 절단된 폐기물의 시료채취를 위하여 이의 취급을

위한 power manipulator가 설치된다.

원격으로 제어되는 공정의 특성상 모든 공정은 카메라를 통하여 감시되며, 안전을 위하여 수소감지기, 압력계, 유량계 등이 설치될 예정이다.

3. 결론

핵융합발전 과정에서 발생하는 B형 방사성폐기물은 그 방사능 준위로 인하여 모두 원격으로 처리 및 저장하는 것을 원칙으로 하고 있다. 그에 따라 처리기구가 복잡하며 처리 비용이 상승하여 핵융합발전의 경제성에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서 논의된 삼중수소 제거공정은 핵융합발전의 경제성 향상을 도모하고, 폐기물의 처분 안전성을 위한 공정으로 높은 제거효율을 위하여 지속적인 연구가 수행되고 있다. 현재까지는 개념설계의 단계로 삼중수소제거를 위한 기본장치의 도출, 배치, 운영요건, 공정 안전성 평가 등이 수행되고 있으며 향후 공정의 효율성 평가, 삼중수소의 거동 해석 등의 연구가 수행될 것이다.

이러한 연구는 향후 핵융합발전에서 발생하는 방사성폐기물의 안전하고 효율적인 처리에 기여하게 될 것이다.

4. 감사의 글

이 연구는 ITER 기구 및 국가핵융합연구소 ITER 한국사업단의 지원을 받아 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] Current status and critical review of the ITER operational radioactive waste amounts, ITER_D_2NHK7C v1.4, 2009.
- [2] Strategic design of 3H sampling, analysis and inventory determination for Type B and purely tritiated metallic radwaste components, ITER_D_4C2B5F, 2011.
- [3] Conceptual design of Type B radwaste tritium removal station and its development plan (final report), ITER_D_7355NT, 2011.
- [4] Assessment of current tritium removal system status, R&D needs and implementation plan for Type B radwaste treatment, 2010.