

ITER 중준위 금속폐기물(B형 폐기물)을 위한 삼중수소 제거공정의 정성적 위해도 평가

홍대석, 홍권표, 장원혁, 손중식, 주용선, 정기정*, 나병찬**
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*ITER 한국사업단, 대전광역시 유성구 과학로 113

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

dshong@kaeri.re.kr

1. 서론

ITER(국제핵융합실험로)의 운전기간 동안, Tokamak의 부품들은 방사화되거나 삼중수소에 의해 오염되어 폐기시 방사성폐기물(B형 폐기물)이 된다. 또한 핵융합반응의 연료로 사용되는 삼중수소는 구조물의 내부로 침투되어 폐기물 내 삼중수소의 농도를 높이는 원인이 된다.

삼중수소 제거공정은 Hot Cell에 설치되어 원격으로 운영되며 B형 금속폐기물 내 삼중수소를 제거시킨 뒤 이를 WDS(Water detritiation system)으로 보내게 된다. 또한 삼중수소 제거공정에서는 폐기물의 특성분석을 위한 시료를 채취하게 된다. 고온의 가열로가 설치되며 폭발성을 가진 수소와 삼중수소가 있으므로 삼중수소 제거 공정은 개념설계와 안전성 분석이 병행되어야 한다. 본 연구는 삼중수소 제거공정의 개념설계를 바탕으로 수행한 정성적 위해도 평가에 대해 논의하게 된다.

2. 본론

2.1 삼중수소 제거공정의 배치도

삼중수소 제거공정에는 고온의 진공가열로가 설치되며 이의 운전을 위한 배기체 처리 장치 및 냉각수 공급장치가 설치된다. 또한 분석을 위해 폐기물에서 시료를 채취하게 된다. 개략적인 배치는 그림 1과 같다.

2.2 기기별 운전 조건

2.2.1 진공가열로

진공가열로는 1개의 폐기물 용기를 각각 처리할 수 있는 용량의 고온 진공가열로 2기가 설치되며 각각 독립적으로 운영된다. 가열로의 내부는 800 °C까지 가열되며 진공도는 약 5 Pa로 유지된다.

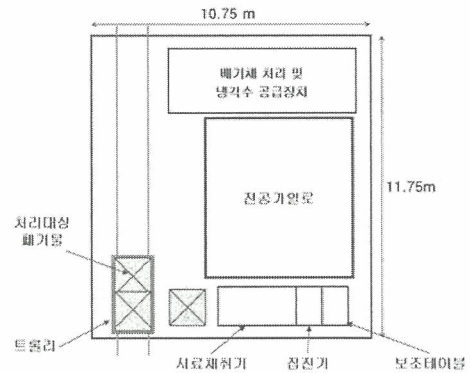


Fig. 1. Layout of TRS station.

진공가열로 내부에는 불활성 기체와 삼중수소의 혼합기체가 순환된다. 발열체와 단열체는 모두 graphite를 이용해 구성하는 것을 고려하고 있다.

2.2.2 배기체 처리 및 냉각수 공급장치

배기체 처리 장치로는 가열로의 진공유지를 위한 시스템, 가열되는 금속폐기물 표면의 산화방지와 가열로 내 수소 농축으로 인한 폭발방지용 protective gas 공급 시스템, 수소-삼중수소간의 동위원소 치환을 위한 수소 공급 시스템, 제거된 삼중수소를 산화시키는 반응기, 삼중수소수를 WDS로 수송하기 전까지 보관하기 위한 저장탱크 등이 설치된다. 또한 진공 가열로의 냉각을 위한 냉각수 공급장치 및 열교환기 등이 배치된다.

2.2.3 시료채취기

시료채취는 드릴을 이용하여 수행하는데 시료의 크기는 지름이 5~10 mm 정도, 두께는 최대 100 mm 정도가 된다. 시료채취시 발생하는 분진은 집진기를 이용해 수집된다.

2.2.4 원격제어기기

원격 제어를 위한 주요 기기로는 폐기물의 운반을 위한 트롤리 및 크레인이 있다. 또한 포장용

기 내 절단된 폐기물의 시료채취를 위하여 이의 취급을 위한 power manipulator가 설치된다.

2.3 정성적 위험도 평가

2.3.1 위험도 평가 방법

위험도 평가는 기본적으로 공정이 정상 운전되고 있는 상태에서 이상이 발생하는 것을 가정하게 된다.

정성적 평가를 위하여 우선 기능을 검토하여 전체 시스템을 여러 Segment로 구분하여 나누게 된다. 구분된 각 Segment에 대하여 Guide Word와 운전 변수를 고려하여 Segment별로 발생할 수 있는 시스템 이상을 평가하게 되며 그에 따른 영향이 발생할 경우 가능한 발생원인과 영향을 평가하게 된다.

향후 공정에 대한 설계가 진행될 경우 그에 따라 대책 및 잔여 위험도까지 평가하게 된다.

2.3.2 삼중수소 제거 공정의 정성적 위험도 평가

삼중수소 제거 공정은 크게 진공가열로(가열로 및 부속기기), 배기체 처리 시스템(배기체 냉각, 진공시스템, 반응기, 전단가열로), 시료채취기(시료 고정기, 드릴, 집진기), 기타(크레인) 등으로 Segment를 구분하였다.

평가결과 발생할 수 있는 주요 위험도는 화재, 폭발, 오염 등이 고려되었다. 화재가 발생할 수 있는 기기로는 가열로, 배기체 냉각기, 삼중수소 산화를 위한 반응기, 시료채취를 위한 드릴 등으로 평가되었고, 폭발이 발생할 수 있는 기기로는 가열로, 배기체 냉각기, 삼중수소 산화를 위한 반응기 등이 고려되었다. 또한 집진기 부품에서 오류가 발생하여 방사성 분진으로 인해 방사성 오염이 발생할 수 있는 것으로 평가되었다. 이러한 평가결과 및 위험도 완화장치로 고려되는 사항들을 그림 2에 나타내었다.

3. 결론

ITER의 삼중수소 제거공정은 고온가열로와 수소 및 삼중수소가 공정에 이용되기 때문에 시설에 대한 위험도 평가가 수행되어야 한다. 현재 상세 개념설계가 진행 중이므로 위험도 평가는 정성적 평가 수준으로 이루어졌으나, 가열로, 삼중수소 반응기, 배기체 냉각시스템, 시료채취기 등

에서 화재, 폭발, 방사성오염 등이 발생할 수 있는 것으로 평가되었다. 평가결과 및 시스템 구성은 설계관련 연구가 진행되면서 바뀔 수 있다.

또한 본 연구에서 도출된 위험도를 완화하기 위하여 수소감지기, 온도계, 유량계, 레벨 게이지, 압력계, 전력 측정기 등의 설치가 필요한 것으로 분석되었다.

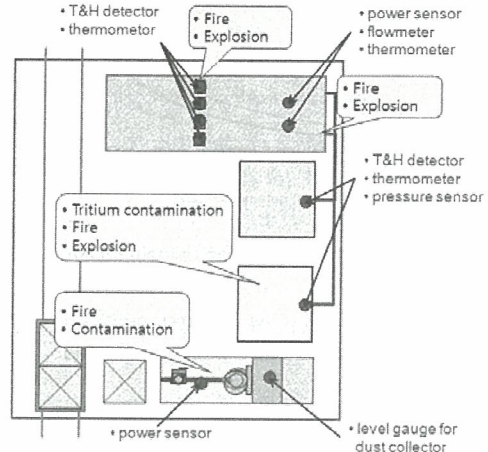


Fig. 2. Hazard analysis results for tritium removal station.

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.