

DFDF 핫셀용 배기체 처리장치 설계

신진명, 박장진, 이영순, 이도연, 김영자, 박근일
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
jmshin@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후핵연료를 재활용하기 위해서는 사용후핵연료 물질을 피복판으로 부터 분리하는 탈피복 공정, 탈피복된 사용후핵연료를 후속공정(습식인 경우 UREX 공정, 건식인 경우 Pyroprocessing 공정)에 적합한 원료물질로 제조하는 동시에 여러 가지 핵분열생성물을 제거하는 전처리 공정이 요구된다. Pyroprocess 공정의 전처리공정으로서 고온 휘발성 산화공정을 도입하면 기존 저온 휘발성 산화공정 채택 시 제거효과가 미미한 Cs, Tc, I, Ru, Te, Mo 등을 상당량 제거할 수 있다[1].

한미공동연구의 원활한 수행을 위하여 DFDF 핫셀에 ACPF 전해환원공정에 원료물질 공급을 위해 1kg-SF/batch 규모 원료물질제조 장치와 배기체 처리장치를 제작하여 IAEA로부터 시설부록과 미국으로부터 JD를 얻어 DFDF 핫셀에 설치할 예정이다. 따라서 사용후핵연료를 이용하여 원료물질 제조기술의 실증의 일환으로서 부가적으로 발생하는 배기체를 처리하기 위해서 1 kg - HM/batch 기준 3 batch 처리용량의 배기체 처리장치를 설계하였다. 향후 배기체 처리장치를 이용한 핫셀 시험의 주요목적은 포집필터를 이용하여 연소도 및 공정 변수별 전해환원공정 공급용 원료물질 제조공정 중 발생하는 핵분열가스의 선택적 포집성능을 확인하고 배기체 처리장치의 운전자료 확보에 있다.

배기체 처리장치의 설계 시 원료물질 제조공정에서 발생하는 배기체 휘발량은 각 핵종의 휘발률을 고려하여 산정하였으며 또한 배기체 처리장치 공정도를 작성하였다. 이를 위해 각 포집단위공정은 포집될 목표 핵종들의 화학적 특성을 고려하여 이들을 선택적으로 제거하기 위하여 배치되었다. Cs, Rb, Cd 핵종은 fly ash filter(porous inorganic filter), Tc, Mo, Te, Se 핵종은 Ca-based filter (porous inorganic filter), 그리고 I의 포집은 AgX로 포집하며, 최적포집 온도가 각각 900℃, 600℃ 및 250℃가 되도록 설계하였다. 배기체 처리시스템은 각 단위포집장치 별

포집매질의 특성, 포집될 핵종의 양, 운전온도, 공압속도 등과 같은 설계기준을 고려하여 설계하였다. 배기체 처리시스템 설계 기준 수립 시 핫셀작업이 가능하도록 장치의 원격성, 접근성, 운전성 및 효율적인 장치의 보수를 위하여 개별적으로 분리가 가능한 장치의 유연성, 포집 후 필터 분석을 위한 포집통의 분리성 및 고온 내구성이 유지되는 장치의 재질 등을 고려하여 설계하였다. 또한 장치크기는 DFDF 핫셀의 공간, MSM 및 크레인의 작업영역을 고려하여 설계하였다.

2. 본론

2.1 원료입자 제조공정 중 FPs 휘발량

현재 Pyroprocessing 공정의 기준 핵연료인 PWR(초기농도: 4.5wt.%, 연소도: 55,000 MWd/tU, 냉각기간: 10년)을 선정하여 본 배기체 처리장치의 설계기준으로 하였다. 원료물질 제조공정의 조건은 처리온도는 최대 ~1200℃, 분위기 가스는 Air, Ar, 4%-H₂/Ar이었다. 배기체처리장치에서 포집 할 포집대상 핵종은 Cs, Rb, Cd, Tc, Ru, Rh, Te, Se, Mo, C, I, Br을 선택하였다. 상기 사용후핵연료 이력을 기준으로 ORIGEN-ARP (Automatic Rapid Processing) code를 이용하여 원료물질 제조공정 중 발생하는 휘발성 및 준휘발성 핵종의 총량을 계산하였다. 또한 핵분열가스 포집량은 핵분열가스 휘발량이 전량 포집되는 것으로 가정하여 계산하였다.

2.2 단위 포집 공정별 주요 설계 원칙

- (1) KAERI pyroprocessing 공정 중 고온 휘발성 산화공정의 배기체 처리 포집 대상 핵종은 Cs, Rb, Cd, Tc, Ru, Rh, Te, Se, Mo, C-14, I, Br 12 종으로 한다.
- (2) 적용될 배기체 포집기술은 화학적 흡착방식이며, Cs, Rb, Cd 핵종은 fly ash filter, Tc, Ru, Rh, Te, Se, Mo, C-14 핵종은 Ca 필터, 그리고 I 및 Br의 포집은 AgX를 이용하여 포집한다. 각 포집매질의 온도는 900℃, 600℃ 및

250℃가 되도록 설계한다.

- (3) 사용후핵연료(Burn-up : 55,000 Mwd/tU) 3kg (1kg/batch, 3batch)을 기준으로 휘발된 포집 대상 핵종 전량(100%)이 배기체 처리장치에서 제거되는 것으로 설계한다.
- (4) 포집장치에 연결되는 모든 배기가스 이송배관은 각각의 휘발 핵종들이 배관 내부에 응축 및 침적되지 않도록 끓는점 이상의 온도가 유지되도록 설계한다.
- (5) 포집반응기 및 포집통의 재질은 각 필터의 포집온도 이상을 유지시킬 수 있는 재질을 선정한다.
- (6) 원료입자 제조장치 및 각 포집장치 반응기 내부 온도 측정 및 이들 장치사이를 연결하는 이송배관의 온도를 측정을 위해서 TIC 및 TI를 설치한다.
- (7) 포집통(filter container)은 원격으로 탈부착이 용이하도록 설계한다.
- (8) 각 필터 unit는 측방향 포집농도 분포를 알기 위하여, 단위 길이별로 독립적인 화학분석이 가능한 구조로 설계한다.

2.3 포집매질의 특성

배기체 단위공정 포집장치에는 각 핵종을 제거할 포집매질로서 fly ash filter, calcium filter 및 silver impregnated zeolite (AgX)를 사용한다.

2.4 배기가스 이송 배관 유지온도

휘발성 산화 장치에서 휘발되는 준휘발성 핵종들은 각 포집장치에 도달하기 전에 끓는점 이하로 냉각될 경우 배관 내부에 응축되거나 축적되어 기체의 흐름을 방해할 우려가 있다. 따라서 각 단위 포집공정별 제거대상 핵종의 끓는점 이상으로 배관의 온도를 설계하였다.

2.5 배기체 처리장치 설계

배기체 포집장치 설계에 반영할 사항은 각 단위공정 포집장치에서 제거할 포집 대상 핵종, 각 반응기의 설계온도 및 운전 온도, 각 포집장치에 사용될 포집매질의 특성을 고려한 각 포집장치별 포집매질의 적정, 높이, 공압 가스속도, 체류시간 등이었다. 이들 설계 반영인자들을 고려하여 Fig. 1에 DFD hot-cell 배기체 처리장치 배치도를 제시하였다.

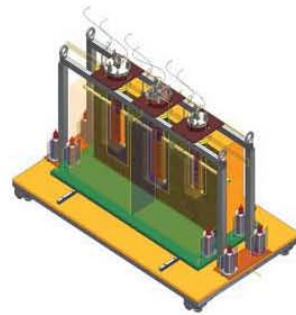


Fig. 1. Lay-out of DFD hot-cell off-gas trapping system.

3. 결론

1 kg-SF/batch 규모의 원료물질 제조공정 중 배출되는 준휘발성 핵종을 제거할 DFD 배기체 처리장치를 설계하였다. 배기체 처리 흐름도를 작성한 후 KAERI pyroprocessing 공정 중 원료물질 제조공정의 배기체 처리 포집대상 핵종들을 선정하였다. 각 포집장치에 사용될 포집매질로는 Cs, Rb, Cd 핵종 제거용으로서 fly ash filter, Tc, Mo, Te, Se 핵종은 제거용으로서 Ca-based 필터, 그리고 I 및 Br을 제거할 AgX를 선정하였다. 이들 포집매질을 이용하여 원료물질 제조공정의 휘발성 산화로 배기체 처리시스템의 구성 장치별 크기 및 사용 포집매질의 설계기준을 완성하였다.

이상과 같이 1 kg-SF/batch 규모의 대용량 배기체 처리시스템을 설계하여 기 사양을 만족하는 설계도면을 작성하였다. 향후 작성된 설계도면에 따라 DFD 배기체 처리장치를 제작할 예정이다.

4. 감사의 글

이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

5. 참고문헌

[1] J. J. Park, J. M. Shin, G. I. Park, J. W. Lee1, J. W. Lee2 and K. C. Song, "An Advanced Voloxidation Process at KAERI", Global 2009, Paris(2009).