조사핵연료 FP 방출 핵종분석 가열시험장치 개발

김대호*, 김동주, 김종헌, 방제건, 전태현, 김선기, 양재호
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*kdh@kaeri.re.kr

1. 서 론

사용후핵연료의 안전성평가를 위한 핵종분석 시험이 준비되고 있다. 핵연료의 과도상태 또는 사고시 핵분열생성물의 방출거동은 다양한 핵연료의 개발 검증과 가동중 원전에 사용하고 있는 핵연료의 성능 평가에 중요한 요소이다. 특히 한국원자력연구원을 주축으로 개발되고 있는 다양한 소결체의 연소성능검증은 향후 안전성과 경제성 평가에 중요한 자료로 사용될 것으로 판단된다. 지난 2004년 8월 ~ 2010년 10월까지 운용되었던 사용후핵연료 가열시험장치(PIA, Post-irradiation Annealing Apparatus)는 경수로원전의 사용후핵연료와 하나로 조사시험을 거친 UO_2 소결체의 산화와 소둔시험에 이용되었던 전례를 가지고 있다.

지금의 가열시험장치는 한국원자력연구원 PIEF Hot-cell에 설치는 점을 감안하여 조사된 핵연료(Irradiated Pellet)의 가열에 의한 핵분열생성물을 방출거동과 정량적 평가를 위해 소형화 및 핫셀 내에서의 계측이 가능하도록 개발되었다. 시험목적에 따라 PCI 완화 UO_2 소결체, SFR 조사핵연료, VHTR용 TRISO 핵연료 등 개발이 진행되거나 완료된 핵연료의 안전성 평가를 위한 다양한 목적의 가열에 의한 핵분열생성물 측정이 가능할 것으로 예상하고 있다.

본 가열시험장치는 최대 온도 1700℃까지의 가열이 가능하고, 산화와 소둔 가능하도록 설계 제작되었다.

2. 본 론

2.1 가열시험장치 구성

조사 핵연료의 가열시험을 위한 시험장비는 가열부, 계측부, 조절부로 구성되어 있다. 가열부는 간접가열방식의 전기로이다. 국내 가열로 생산업체의 기술적 제한성을 감안하여 독일 NETZSCH LFA(Laser Flash Apparatus) 427(열확산도 측정장비)의 소형 가열로(최대 2000℃) 부분을 적용하여 핫셀내 설치의 제한성을 극복하였다. 일반 조사연료의 어닐링에 의한 핵종분석은 물론 저장조사고 또는 핵연료의 대량손상에 의한 핵분열생성물의 핵종분석이 가능하도록 가열부의 최대온도를 재료적 한계를 고려하여 1700℃로 제한하였다. 계측부는 핫셀 내 가열부 상단에 부착하는 Gamma Counter는 방출되는 핵분열생성물을 직접 계측하도록 하였으며, 핫셀 밖에 설치되는 Glove Box 내 Beta Counter는 Kr-85만을 측정하도록 구성되었다. 핫셀 내 계측기는 Canberra사의 Genie-1000 CZT-005S 모델을 적용하였으며, 검출범위는 100 mSv/hr(10 rem/h)이다. 제어부는 핫셀 내의 가열부와 계측부를 조절할 수 있는 조작부가 설치되어 있으며 PID 컨트롤과 계측기 등의 조작이 수행된다.

2.2 가열시험장치 기능 및 특징

2.2.1 노심 가열부

가열시험장치를 설치하여 운용할 PIEF의 제한적 크기를 감안하여 시험장치의 소형화가 절대적으로 필요한 요소로 작용하였다. 가열로의 크기를 최소화하여 적용하기 위해 독일 Netzsch LFA 가열부 기성품을 기준으로 제작되었다. 노심부는 가열부분의 Heat Zone 구성을 위해 축방향 단열 Disk를 설치하였고, 가열조건에 따라 Two Path의 인입가스 경로를 확보하였다. 시료의 산화와 소둔시험이 가능한 알루미나 재질을 사용하였으며, 최대시험온도는 1700℃로 설정되었다.

2.2.2 계측부

Canberra EM80020모델의 방사선계측기는 핫셀 내 가열로 상단부위에서 위치하게 된다. 기존의 계측방법은 독성물질의 필터링을 통해 불활성기체인 Kr-85를 측정하는 방법을 사용하였으나, 본 시험장비에서는 조사핵연료 시편을 가열하여 방생된 Cs, I 등의 FP를 직접 측정할 수 있다. 고방사선의 계측 민감도를 확보하기 위해 1.0 mm Slit의 텅스텐 Collimator를 사용하였으며, 계측기 probe는 20 mm의 납 차폐체를 이용하여 보호하도록 하였다. 핫셀 밖의 Glove Box에 설치된 FHT-59E Xp Beta 검출기를 통해 독성 FP가 제거된 KR-85의 방출거동을 확인하게 된다.

2.2.3 제어부

제어부에서는 가열로의 PID 온도 Control, MFC를 통한 분위기가스의 In/Out, 방사선계측의 조작 등이 수행된다. Fig. 1은 시용후핵연료 가열시험장치의 개략도이며, Fig. 2는 제작사진이다.

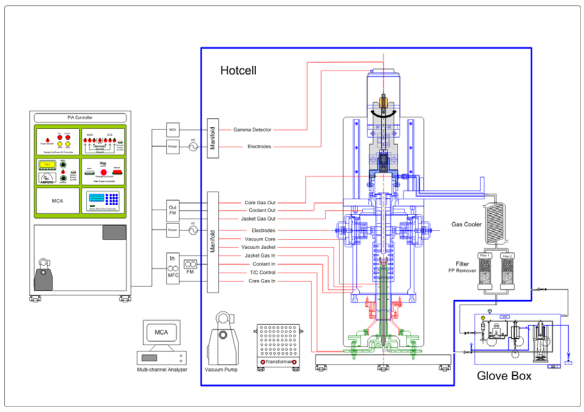

Fig. 1. Schematic Drawing of PIA.

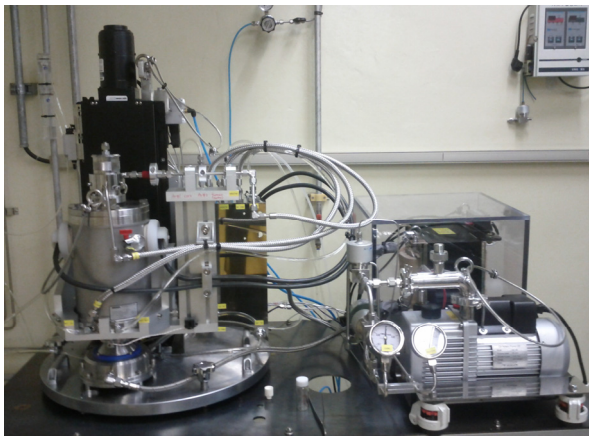

Fig. 2. Picture of Manufactured PIA Apparatus.

2.3 시험장비 운용 및 특징

본 가열시험장비는 조사된 핵연료 시편을 정해진 온도 시나리오 조건에서 방출되는 핵분열생성물의 핵종분석이 목적으로, 시편에서 방출되는 핵종을 Gamma Detector를 통해 직접계측하고 측정된 수치를 통해 정량화평가를 시행하게 된다. 일반적인 시험방법은 대략 200 mg의 크기의 고형시편을 Crucible에 넣어 노심관 Heat zone에 다양한 온도범위의 가열을 통해 방출되는 FP 핵종을 측정하게 된다. 특이할만한 사항으로 시료 지지대 축의 안쪽으로 인입 분위기가스를 조절하여 고온조건의 열충격 시험이 가능하여 급격한 온도변화에서의 FP 방출거동을 평가할 수 있다. 또 하나 특징으로, 가열로 상부캡은 오염정도에 따라 Manipulator를 통해 교체가 가능하도록 되어 있으며, 상부캡 안쪽에 세라믹 필터를 부착할 수 있도록 제작되었다. 시험이 종료되면 이 세라믹 필터에 부착된 FP 핵종은 별도의 계측을 통해 방출핵종의 교차평가가 가능하도록 하였으며, 특정핵종의 검출정도를 평가할 수 있다.

3. 요 약

사용후핵연료 및 조사핵연료의 안전성평가를 위한 산화시험과 소둔시험을 다양한 핵연료 개발과제에서 준비하고 있다. 한국원자력연구원의 PIEF에서 수행될 본 시험장치는 핫셀의 제한된 특성을 반영하여 효과적인 핵분열생성물의 핵종분석시험이 가능하도록 설계.제작되었다. 가열로의 소형화와 조작의 편이성을 반영하였으며, 핫셀 내 가열로 상부캡 위에 Gamma Counter를 설치하여 핵분열생성물의 방출량 측정이 가능하도록 하였다. 시험운용에 있어 일정한 온도범위에서의 가열조건과 급격한 온도변화를 모사할 수 있는 기능이 포함되었다. 아울러, 핵분열생성물의 핵종분석은 계측 외에 세라믹 흡착제에 고착된 방사선량의 측정을 통해 교차평가가 가능하다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력연구개발사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2012M2A8A4013172)

5. 참고문헌

[1] 김대호 외,. 조사후 핵연료 가열시험장치 개발, 한국원자력학회 2004 춘계학술발표회, 2004. 5.

[2] 김대호 외,. 고연소도 UO_2 사용후핵연료의 고온(1700℃) 가열시험 특성, 한국방사성폐기물학회 2007 추계학술발표회, 2007. 11.

[3] 김대호 외,. 사용후 UO_2 소결체와 DU 및 SIMFUEL의 고온산화 특성, 한국방사성폐기물학회 2014 추계학술발표회, 2014. 11.