

핵연료 집합체 지지격자의 조사후시험기술 개발

김도식†, 유병욱, 백승제, 김기하, 주용선, 류우석, 이진석*, 서정민*, 한희탁*

한국원자력연구원 조사재시험시설; *한전원자력연료(주)
(kimds@kaeri.re.kr†)

지지격자 조사후시험국내 고유의 핵연료를 개발하고 실제 상용 원자로에 적용하기 위한 기초 시험자료의 생산기술 확보를 위한 과정의 일환으로서 핵연료 집합체의 주요 부품 들 중 지지격자 셀 및 지지격자 판의 중성자 조사특성 자료를 생산하기 위한 조사후시험기술을 개발하였다. 시험용 치구 및 장비의 설계 시에는 한국원자력연구원 조사재시험시설 핫셀 내에서의 사용 조건에 대한 적합성과 원격조종기(manipulator) 등에 의한 원격조작의 용이성 등을 고려하였다. 지지격자 셀 스프링 특성시험은 스프링 및 덤플의 성형가공이 완료된 지지격자체 중 한 개(1×1)의 셀에 해당하는 부분을 사용하며, 시편의 외면을 완전 고정하고 스프링에 접촉되어 있는 연료봉에 수직하중을 가함으로서 스프링에 대한 하중-변위 곡선을 얻는다. 지지격자 셀 좌굴 특성시험은 지지격자 셀 스프링 시편과 동일한 시편을 사용하며, 은 시편의 위/아래 면에 수직하중을 가함으로서 셀에 대한 하중-변위 곡선을 얻는다. 지지격자 판 스프링 특성시험은 스프링 및 덤플의 성형가공이 완료된 지지격자판을 사용하며, 시편의 모든 면을 완전 고정하고 스프링에만 수직하중을 가함으로서 스프링에 대한 하중-변위 곡선을 얻는다. 이상의 시편의 지지조건을 고려하여 각 시험에 적합한 시험용 치구들을 설계 및 제작하였으며, 이를 사용하여 연구용 원자로인 하나로에서 조사된 시편들에 대한 조사후시험을 수행하였다. 이 시험으로 부터 중성자 조사에 의하여 지지격자 셀 및 지지격자 판 스프링의 스프링 상수는 감소하고, 좌굴시험으로부터 최대 압축하중은 증가하는 양상을 보였다. 본 논문에서 개발된 조사후 특성시험 기술을 사용하여 생산된 조사후 특성 자료는 향후 차세대 원자로용 핵연료 집합체 부품들의 조사에 따른 기계적 특성 평가 및 파괴거동 관련 데이터베이스를 개선하고, 이로부터 사용 조건에 적합한 재료의 선정 및 부품들의 파손기준을 확립하기 위하여 활용될 것이다.

Keywords: Post Irradiation Examination, Fuel Assembly, Grid, Spring, Buckling

핵연료의 연료봉 및 시편 감마스캐닝시험에 대한 연소거동 분석

엄성호†, 백승제, 송웅섭, 유병욱, 황용화, 전용범

한국원자력연구원 조사재시험실
(eom@kaeri.re.kr†)

원자력발전소에서 3주기 동안 연소한 핵연료의 연소거동을 조사하기 위하여 집합체에서 고연소도인 3개의 연료봉을 선정하여 핫셀시험을 수행하였다. 핵연료봉에 대한 연소도 분포를 측정하기 위한 감마선 스캐닝(scanning) 핵종으로는 연소기간과 냉각기간에 따라 핵종을 선정하여 스캐닝하였다. 상용핵연료의 경우에는 일반적으로 반감기가 30년인 Cs-137 핵종을 선정하여 축방향 연소도분포를 측정하였다. 그 결과 연료봉의 평균 연소도는 55,247 MWd/tU, 44,615 MWd/tU 및 51,997 MWd/tU, 로서 발전소 공표 값과는 약 2.8 %, 10.1 % 및 3.5 %의 차이를 보였으며, 연료봉의 축방향에 따른 측정위치별 연소도분포는 연료봉 하단부와 상단부에서 낮았고 그 외의 부위에서는 고른 분포를 나타냈는데, 다만 지지격자의 열중성자 흡수(absorption of thermal neutron)에 의한 영향으로 다른 부위 보다 약간 낮았는데, 집합체내 연료봉의 위치에 관계없이 약 1 % 정도 낮은 연소도를 보였다. 그리고 연료봉에 대한 시편단면 연소도분포는 연료집합체의 외면에 위치한 연료봉에서 연소도가 45,000 MWd/tU 인 부위와 집합체 내부에 위치한 연료봉 52,000 MWd/tU 및 55,000 MWd/tU 연소된 부위를 선정하여 조사하였는데, Cs-137을 시편단면 감마스캐닝 한 결과 반경방향의 상대적 Cs-137 분포는 연료의 외주부에서 최대치를 나타내고 중심부쪽으로 갈수록 감소하였는데, 연소도에 관계없이 Cs-137 감마선 강도의 구배율은 일정하였다. 따라서 본 시험은 연소도분포 측정, 감마선스펙트럼 측정, 핵종판별 및 핵분열생성물의 거동에 관한 정보를 얻으므로, 핵연료의 건전성을 평가하기 위한 자료로 활용될 것이다.

Keywords: 연소도, 감마선분광분석, 열중성자흡수