

조사 지지격자 셀 스프링 특성시험 기술 개발

김도식, 백승제, 유병욱, 주용선, 권인찬, 김기하, 손영준, 전용범, 류우석
한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045

kimds@kacri.re.kr

1. 서론

핵연료 집합체의 노내 연소 중 건전성을 확보하기 위해서는 각 부품들의 전 수명 기간 동안 중요 기능들을 유지하여야 한다. 구성 부품들 중 지지격자(spacer grid)는 사용 중 연료봉을 지지하고, 연료봉 및 안내관의 간격을 유지하며, 냉각재의 혼합성능 보유하여야 한다[1]. 이와 같은 지지격자의 연료봉 프레팅 마모의 최소화, 압력강하량 감소 및 연료봉 휨 방지가 가능한 지지격자의 설계 해석 그리고 수명 말에서의 건전성 평가를 위해서는 지지격자 스프링에 대한 중성자 조사 전·후의 기계적 시험을 통하여 조사특성 자료가 제공되어야 한다. 본 논문에서는 조사 지지격자 셀 스프링의 기계적 특성시험을 위한 시험장비를 개발하고 시험절차를 확립하여 이에 대한 조사 성능시험 기술을 개발하였다.

2. 본론

2.1 시험방법 및 시편

조사 지지격자의 셀 스프링시험은 Fig. 1 및 Fig. 2와 같이 전체 지지격자 중 1×1 셀 및 전체 지지격자를 대상으로 수행하였다. 사용한 시험기는 INSTRON사(Model 8562, 하중=1 kN)의 만능시험기이며, 상온에서 0.5 mm/min의 속도로 설정 변위(0.4 mm)까지 1사이클 동안 하중을 부하/제하하여 셀 스프링에 대한 하중-변위 선도를 얻었다. 얻어진 하중-변위 선도로부터 설정변위에서의 최대 스프링력 그리고 스프링 상수를 산출하여 중성자 조사 전/후의 기계적 특성의 변화를 평가하였다.

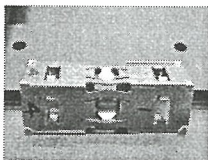


Fig. 1. Grid 1×1 cell spring specimen.

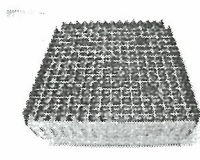


Fig. 2. Grid cell spring specimen.

시험 중 하중 값은 만능시험기에 설치된 로드셀 그리고 변위 값은 액츄에이터에 설치된 LVDT로부터 얻어졌다. 시편을 그림에 안착시키기 위하여 시험 개시 전 4 N의 초기 압축하중을 가한 후 셀 스프링시험을 개시하였다.

2.2 셀 스프링시험용 그림

Fig. 3 및 Fig. 4는 셀 스프링 시험 개념도로서 사용한 그림은 지지격자 시편의 외면을 고정하기 위한 하부 그림(lower grip), 셀 스프링에 압축하중을 작용하는 하중 봉(load rod)을 고정하기 위한 상부 그림(upper grip)으로 구성하였다. Fig. 3 및 Fig. 4와 같은 시험을 위한 그림을 개발하기 위한 설계 조건은 다음과 같다.

- 하부 그림은 지지격자 1×1 셀 및 전체 지지격자 시편의 외면을 완전히 고정할 수 있어야 하며, 시편이 설치된 하부 그림은 시험기의 액츄에이터에 견고하게 장착되도록 한다.
- 하중 봉은 시험될 셀에 삽입될 수 있는 공차를 가진다.
- 상부 그림은 하중 봉과 접촉하여 셀 스프링에 하중을 안정적으로 전달하기 위하여 환봉과 동일한 곡률을 가진 접촉부를 가지도록 한다.
- 핫셀 내에서 원격조종기에 의한 시편 장착 및 그림 조작의 용이성을 고려하여야 한다.
- 상·하부 그림 및 하중 봉의 재질은 시편의 재질보다 강도 및 경도가 높아야 한다.

하중 봉은 셀 스프링에 하중을 직접 가하므로 스테인리스 환봉으로부터 피복판의 외경보다 0.8 mm 작은 직경을 가지도록 가공하고 경도가 HRC40 이상이 되도록 열처리하여 제작하였으며, 다른 부분들은 알루미늄 합금(Al6061)으로 제작하였다. Fig. 5 및 Fig. 6은 위의 조건을 만족하도록 설계 및 제작한 셀 스프링 시험용 그림을 핫셀 내부에 설치되어 있는 만능시험기에 장착한 사진이다. 하부 그림에 1×1 셀 및 전체 지지격자를 설치/고정하였으며, 시험하고자 하는 셀 스프링에 하중을 부하하기 위한 하중 봉을 삽입한 사진이다. 전체 지지격자의 경우 시험 셀 이외의 셀에는 실제 연료봉과 동일한 직경을 가진 모의 연료봉 삽입한 후 시험을 수행한다.

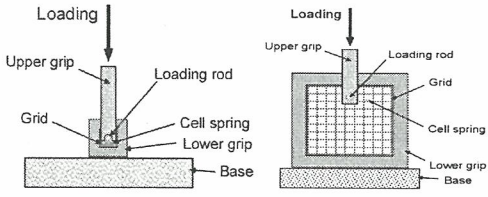


Fig. 3. Schematic of Grid 1x1 cell spring test.

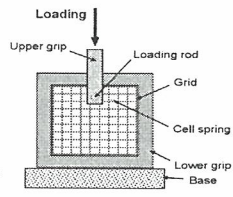


Fig. 4. Schematic of Grid cell spring test.

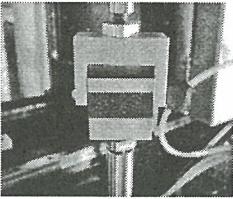


Fig. 5. Grip for grid 1x1 cell spring test in a hot cell.

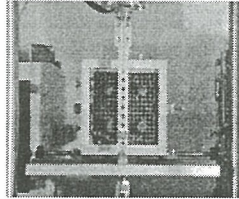


Fig. 6. Grip for grid cell spring test in a hot cell.

2.3 지지격자 스프링시험

비조사 및 조사 중간 지지격자 시편을 대상으로 개발된 시험방법 및 그림에 대한 핫셀 내 셀 스프링 시험을 수행하였다. Fig. 5와 같이 핫셀 내에 설치한 그림에 1x1 셀 스프링 시편을 장착하고 시험을 수행하여 얻어진 하중-변위 곡선은 Fig. 7이다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 1x1 셀 스프링 시편은 16x16 또는 17x17 셀을 가지는 전체 지지격자로부터 1개의 셀을 방전가공기를 사용하여 채취한 것으로서 하부 그림과 시편 사이에 접촉이 안정적이지 못한 경우는 하중-변위 곡선 상에서 하중의 반복적인 증가와 감소를 보인다. 따라서 향후 보다 정확한 시험결과를 얻기 위해서는 1x1 셀 스프링 시편의 채취에 주의를 기울여야 한다. 한편 Fig. 6과 같은 그림을 사용하여 셀 스프링 시험을 수행한 후 얻어진 조사 지지격자 시편에 대한 하중-변위 곡선은 Fig. 8이다. 이 그림에서 하중-변위 곡선은 특이점을 보이지 않고 부드러운 곡선을 나타내고 있다. 그러므로 본 논문에서 개발한 지지격자 셀 스프링시험방법 및 그림은 비조사 및 조사 지지격자에 대하여 적용성을 확인하였다.

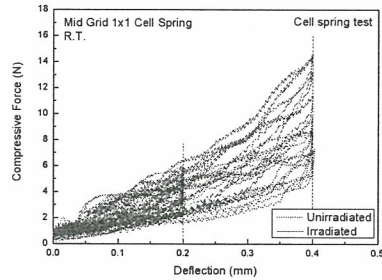


Fig. 7. Results of grid 1x1 cell spring tests

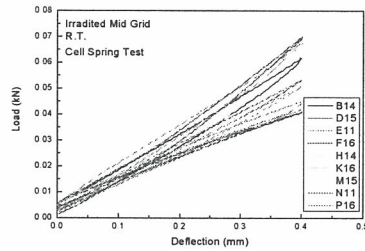


Fig. 8. Results of grid cell spring tests

3. 결론

핵연료 집합체를 구성하는 부품들 중 지지격자의 신규 설계를 위한 해석 그리고 수명 말에서의 건전성을 평가하기 위하여 지지격자 셀 스프링에 대한 중성자 조사 전·후의 기계적 시험 자료가 필수적이다. 지지격자 셀 스프링의 기계적 시험을 위한 시험방법 및 그림을 개발하였으며, 비조사 및 조사 지지격자에 대한 셀 스프링 시험을 수행하여 조사성능시험 기술을 확보하였다.

4. 감사의 글

본 논문은 지식경제부 원자력발전기술사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계기관에 감사의 뜻을 표합니다.

5. 참고문헌

- [1] 김규태 외 152인, “한국표준원전용 개량핵연료 개발,” 한전원자력연료(주), 과학기술부, 2002.