

사용후핵연료 피복관 내압크립시험 시스템 개발 Development of internal pressure creep test system for spent fuel cladding

*#김성근, 장정남, 권형문, 김도식

*#S. G. Kim(sg316@kaeri.re.kr), J. N. Jang, H. M. Kwon, D. S. Kim
한국원자력연구원

Key words : spent fuel, cladding, internal pressure creep test system

1. 서론

가압경수로에서 고연소도화가 추진됨에 따라 피복관의 크립특성은 핵연료 성능을 평가하기 위한 중요한 요소 중의 하나이다. 또한 사용후핵연료 습식저장의 대안으로 건식저장이 유력하게 고려되고 있는데 사용후핵연료를 건식저장시스템으로 옮기는 과정에서 재료적 성질에 변화가 발생하여 장기간 건식저장 환경에서 열화거동이 가속화될 수 있다. 따라서 사용후핵연료 피복관의 건전성 확보를 위해 크립특성이 정확히 파악되어야 하며 이를 위하여 본 연구에서는 사용후핵연료 피복관의 크립거동을 평가하기 위한 내압크립시험시스템을 개발하였다.

2. 본론

2.1 시스템 설계 및 제작

사용후핵연료 피복관의 크립거동은 피복관을 고온으로 가열한 후 내부에 일정한 압력을 가하여 시간에 따른 직경 변화를 측정하여 평가한다. 본 시스템은 그림 1과 같이 3개의 독립적인 모듈로 제작되었으며 시편을 고정하고 지지하는 본체, 시편을 시험온도로 가열하기 위한 로(furnace), 시

편 내부에 내압을 가하는 가압부, 시편 직경변화측정 시스템, 제어부로 구성되어 있다. 또한 사용후핵연료 시편으로부터 나오는 방사선을 차폐하기 위한 차폐설비가 장착되어 있다.

가열로는 최대 상승온도 600 °C 이며 피복관 중앙 100 mm 구간에서 ± 2°C 이내의 온도편차를 가지도록 2 zone 제어방식을 사용한다. 공압을 사용한 개폐가 가능토록 하여 시편의 장착이 용이하며 시편의 온도를 모니터링 하도록 3개의 열전대가 설치되어 있다.

가압은 Ar 기체를 부스터(booster) 를 사용하여 최대 130 MPa 의 압력으로 시편내부에 가하며 각 모듈마다 정밀 레귤레이터(regulator) 가 설치되어 있어 미세 압력조절이 가능하다.

사용후핵연료는 수동으로 취급이 불가능하므로 시험 중 시편의 직경 변화를 실시간으로 측정하기 위해 측정범위 34 μ m, 분해능 1 μ m 의 레이저 익스텐소미터(laser extensometer) 를 사용하였다. 또한 그림 2와 같이 퀴즈(quartz) 와 미러(mirror) 를 사용하여 레이저 광원(light source) 과 리시버(receiver) 가 시편에서 나오는 방사선에 직접 노출되지 않도록 구성하였다.

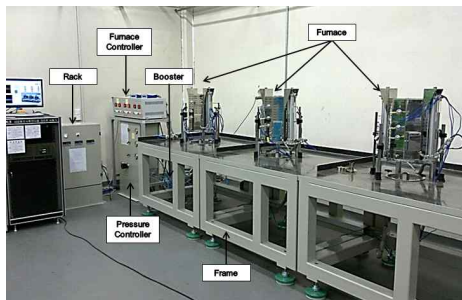


Fig. 1 Internal pressure creep test system

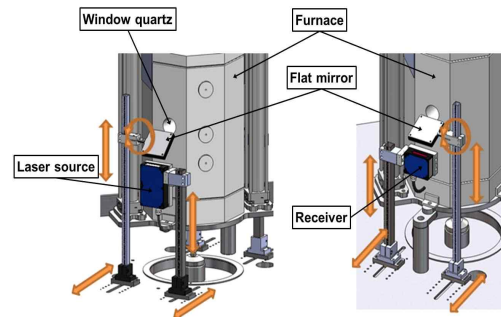


Fig. 2 Laser extensometer for measurement of strain

본 시스템은 사용후핵연료 피복관 실험 시 시편으로부터 나오는 방사선을 차폐하고 시험자의 피폭을 최소화하기 위하여 차폐설비의 구축이 필요하다. 따라서 약 2Sv/hr (시편표면 접촉선량)의 방사선원을 기준으로 차폐체 표면 1m 거리에서 25 μ Sv/hr 로 설정하여 그림 3과 같이 차폐체를 제작하였으며 그 구성은 시편주변을 차폐하는 가열로 차폐부와 시편 장착 시 피폭을 줄이기 위한 시편취급용 차폐부로 나뉜다.



Fig. 3 Shielding structure of system

2.2 비조사 피복관 시험
제작된 시스템의 성능평가를 위해 비조사 17ACE7 피복관을 사용하여 시험을 수행하였다.

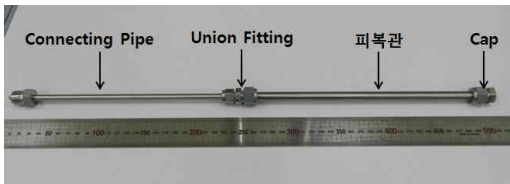


Fig. 4 Test specimen with fitting

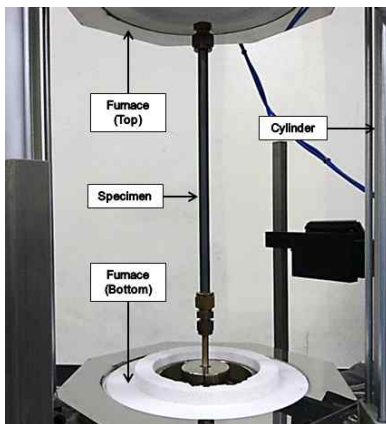


Fig. 5 Specimen setting on system for test

사용된 시편은 그림 4와 같으며 피복관의 길이는 250mm 이다. 피복관의 양단에는 고압용 피팅이 체결되어 있고 공압부와와의 연결을 위한 봉(connecting pipe) 이 장착되어 있다. 사용후핵연료 피복관의 경우 피팅과의 결합은 별도의 시편 체결장치를 통해 이루어진다. 가열로에 시편이 장착된 사진은 그림 5와 같다.

크립시험은 시편온도 400 $^{\circ}$ C 에서 원주응력(hoop stress) 200MPa 을 가하여 100시간동안 수행하였다. 그 결과 직경방향 변형률은 0.081 이었으며 파열(rupture) 은 발생하지 않았다.

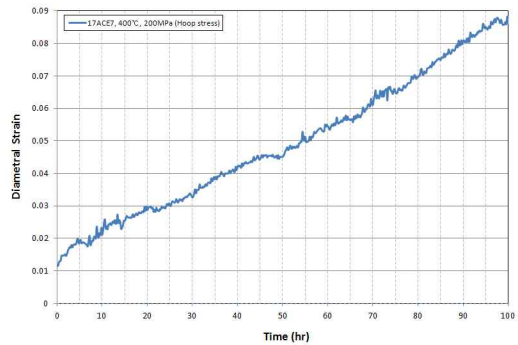


Fig. 6 Diametral creep strain curve

3. 결론

본 연구에서는 사용후핵연료 피복관의 내압크립거동을 평가하기 위한 시스템을 제작하였고 비조사 피복관을 대상으로 시스템의 성능을 시험하였다. 본 장비는 일반적인 내압크립시험기와는 달리 고방사선의 재료를 시험하므로 수동으로 시편의 취급이 불가능하여 직경변화의 측정은 비접촉식 레이저 측정방식을 채택하였으며 피폭을 최소화하기 위한 차폐체가 추가로 설치되었다. 추후 비조사피복관 시험을 통한 추가적 검증이 완료된 후에 사용후핵연료 피복관에 대한 시험이 수행될 예정이다.

후기

본 연구는 지식경제 기술혁신사업의 일환으로 수행되었습니다.