

핵융합로 부품 개발을 위한 고열부하 시험시설 KoHLT-1 구축

배영덕, 김석권, 이동원, 신희윤, 홍봉근

한국원자력연구원 핵융합공학기술개발부

국제핵융합실험로(ITER)의 블랭킷 일차벽 개발의 일환으로, 핵융합로에서 고열부하 환경에 노출되는 플라즈마 대향부품에 대한 건전성 시험을 수행할 수 있는 고열부하 시험시설 KoHLT-1 (Korea Heat Load Test facility)을 구축하였으며, 여러 가지 ITER 일차벽 mockup에 대해 고열부하 시험을 수행하였다. KoHLT-1의 열부하원은 판형 그라파이트 히터이며, 시험 대상물의 크기, 요구되는 열부하에 따라 적절한 저항 값을 가지는 그라파이트 히터를 설계, 제작하였다. KoHLT-1은 히터와 mockup이 설치되는 사각 시험용기, 냉각계통, 고전류 전원, 진단계통, 진공 및 He 기체 주입계통으로 구성되어 있다. 그라파이트 히터는 두 개의 mockup 사이에 설치되며, 그라파이트 히터에 100-400 A의 전류를 인가하여 복사열에 의해 mockup에 열부하를 가하게 된다. 고열부하 환경에서 열피로 시험을 위해 전류를 시간에 따라 일정한 패턴으로 반복적으로 ON-OFF 하게 된다. ITER 일차벽 검증용 mockup의 경우, 0.625 MW/m²의 열부하에서 30-s heating-up/180-s holding/30-s cool-down/60-s cooling의 과정을 12000회 반복하게 된다. 본 시험 시설에서 가능한 최대 열부하는 시험 대상물의 크기와 전원의 용량, 그라파이트의 허용 최대 온도에 따라 좌우되는데, ITER 일차벽 검증용 mockup (244×80 mm²)의 경우 0.8 MW/m², 110×35 mm² 크기의 경우 1.6 MW/m²가 가능하다. 세 종류, 12개의 mockup에 대해 고열부하 환경에서 열피로 시험을 성공적으로 수행하였다.

ITER 블랭킷 일차벽 제작법 개발을 위한 시험용 35x35x3 Be/Cu mock-up의 고열부하 시험

이동원¹, 배영덕, 김석권, 신희윤, 홍봉근, 정현규, 박정용, 정용환, 최병권

¹한국원자력연구원

한국은 국제핵융합실험로 (ITER) 사업에 참여하고 있으며, 건설 단계에서는 일차벽을 포함한 블랭킷의 약 10%를 조달할 예정이다. 이를 위해서는 핵융합로의 핵심기술 중 하나인 블랭킷 일차벽의 제작법을 개발하는 것이 필수적이다. 제작법 개발을 위해 제작된 여러 mock-up들은 파괴 및 비파괴 검사를 통해 그 접합 성능을 입증하고 있으며, 최종적으로 ITER 운전 조건과 같이 고열부하 환경에서의 성능을 검증하기 위해 전자빔 시설을 이용한 고열부하 시험을 수행하고 있다. ITER 블랭킷 일차벽은 Be, Cu합금, Stainless Steel (SS)가 접합된 형태로 이루어져 있으며, 3 가지 금속을 접합하기 위해 HIP (Hot Isostatic Pressing) 방법을 사용하고 있다. 접합법 개발을 위해서, Cu/SS 접합 및 Be/Cu 접합을 순차적으로 진행하여, 각각의 최적 접합조건을 도출하였으며, 현재는 Be/Cu/SS를 2단계에 걸쳐 접합한 mock-up들을 제작하고 있다. Cu/SS mock-up에 대한 고열부하 시험은 32, 33회 학술회의에 걸쳐 소개하였으며, 러시아 Efremov 연구소에서 수행된 50x50 및 80x80x3 Be/Cu/SS mock-up의 고열부하 시험은 34, 35회 학술대회에서 소개하였다.

본 연구는 접합법 개발 및 검증을 위해 제작된 35x35x3 Be/Cu mock-up을 국내에서 구축된 고열부하 시험 장비인 KoHLT를 활용하여 수행한 고열부하 시험에 대한 것이다. 본 mock-up은 35.5x35.5x10mm(t)의 Be tile 3개를 36x134.5x23(t)의 Cu block에 접합한 형태의 mock-up이며, Cu block에는 냉각을 위한 12.7mmD의 hole이 가공되어 있다. 총 6개의 mock-up이 3가지 interlayer에 따라 제작되었으며, 초음파를 활용한 접합 계면의 결함확인 후 고열부하 시험이 수행되었다. 냉각수의 온도 및 속도는 11 C, 1.2 m/sec로 유지되었고, 열부하는 1.5 MW/m²로 유지하였다. 시험 조건에 대한 예비해석을 통해, 가열시의 온도 및 stress, strain 분포를 얻었고, 이를 통해, cycle to failure 값을 도출하였다.