

과열조건(over-heating condition)에서의 완충재 블록 열-수리-역학적 거동

이계완, 조원진

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

iolee@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원은 고준위폐기물 처분기술개발의 연구결과로서 한국형기준처분시스템 (Korean Reference disposal System)을 제안한 바 있으며, 완충재 블록의 열-수리-역학적 거동 실증을 위해 엔지니어링 규모의 KENTEX 실험을 수행해 오고 있다. KENTEX 실험은 2006년부터 2008년까지 1단계 정상가열조건 (normal heating condition, 90℃)에서의 실험을 수행하였고, 현재는 2단계 과열조건 (120℃)에서의 실험이 수행되고 있는데, 본 논문에서는 과열조건에 대한 완충재 블록의 열-수리-역학적 거동을 소개하고자 한다.

2. KENTEX 실증실험

KENTEX 실험장치는 KRS 공학적방벽시스템의 1/3 크기로 설계·제작된 엔지니어링 규모의 장치이다. 압력실린더, 가열시스템, 완충재블록, 수화시스템, 센서/기기, 히터제어시스템/데이터수집시스템, 프레임구조물 등의 하드웨어와 실험장치를 모니터링 및 제어하고 또한 센서로부터 나오는 신호를 계속하고 수집·분석하는 운영프로그램으로 구성된다 (Fig. 1). 총 176개의 블록이 채워진 압력실린더 내 완충재 블록의 건조밀도는 1.5 Mg/m^3 , 초기 수분함량은 13 %이었다. 지하수는 KURT (KAERI Underground Research Tunnel) 심부지하수를 사용하였으며, 5기압으로 가압하여 압력용기 실린더의 둘레면으로 공급되게 하였으며, 실린더의 상부와 하부방향으로는 공급되지 않도록 하였다. 히터의 제어는 programmable logic circuit 방식으로 수행하였으며, 완충재블록과 히터 경계면에서의 온도는 정상가열조건에서의 실험이 종료된 시점에 히터에 공급되는 전력을 더 높여 120℃를 유지하게 하였다.

3. 실험결과 및 결론

과열조건에서의 KENTEX 실험이 진행되는 동안, 히터 전력 (electric power)은 약 360 W로 공급되었고, 완충재 블록과 히터 경계면에서의 온도는 $120 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지 되었다. 실험장치가 설치된 실험실의 온도는 25°C 로 유지되었다. 그리고 압력용기로 공급되는 지하수의 압력은 5기압으로 일정하게 유지되었다.

완충재블록의 열적 특성 (Fig. 2(a))으로, 히터와 완충재블록 경계면에서의 온도를 90°C 에서 120°C 로 올리는 데에는 1.5일정도 소요되었다. 과열조건에서 열전대 (thermocouple)로부터 수집된 완충재블록 내 온도는 정상가열조건 실험에서와 같이 히터의 전력에 민감하였지만, 비교적 안정적이고 균일성 (uniformity)을 보였다. 시간에 따른 온도변이는 모든 측정지점에서 비슷한 패턴을 보였으며, 120°C 로 가열한 후 얼마 지나지 않아 거의 일정한 값을 유지하였다. 측정온도는 히터에 가까울수록 높고 멀어질수록 낮은 값을 보였으며, 반경방향의 경우 안쪽이 바깥쪽보다 높은 온도분포를 보였다. 축 방향으로서는 가운데가 가장 높고 그 다음 아래쪽, 위쪽 순의 온도분포를 보였다. 압력용기의 축방향과 수직인 벤토나이트블록의 단면에서 동일한 반경에 위치한 센서에서의 온도 값은 거의 차이가 없었고 대칭성 (axis-symmetry)을 보였다.

완충재블록의 수리특성 (Fig. 2(b))은 높이 0.34 m, 반경 0.246 m에 위치한 습도센서로부터 수집된 상대습도 (relative humidity) 데이터를 바탕으로 조사되었다. 과열조건에서 얻은 진 상대습도는 온도 상승에 상관없이 정상가열조건 때와 같이 거의 100%에 가까운 포화상태의 값을 보였다. 벤토나이트의 건조밀도가 1.5, 공극률 0.46 임을 감안하면, 벤토나이트 블록의 수분함량은 거의 32 %에 가까운 값을 가질 것으로 예상되었다. 그림 2(b)의 상대습도 변이곡선의 중간에서 상대습도 값이 비정상적으로 변하는 부분이 있는데, 이것은 전기적 노이즈에 의해 발생된 것으로 판단된다.

완충재블록의 역학적 특성 (Fig. 2(c))으로, 과열조건에서 측정된 압력값 (total pressure)은 비교적 안정적이고 균일성을 보였으며, 히터-완충재블록 경계면에서의 온도를 90°C 에서 120°C 로 올렸을 때, 압력값은 온도를 올릴 동안은 증가하다가, 온도가 120°C 에 도달한 이후에는 얼마동안 감소하다가 거의 일정한 값을 보였다. 정상가열조건에서의 측정값과 비교했을 때, 온도 증가에 따른 완충재블록과 지하수의

열팽창으로 인해 약간 증가하는 하였으나 두드러진 변화는 보이지 않았다. 과열조건 실험 동안 완충재 블록 내 각 압력센서로부터 측정된 압력값은 정상가열조건에서의 것과 비슷한 분포를 보였으며, 이것은 온도 증가가 벤토나이트블록의 팽윤압에 미치는 영향이 크지 않기 때문으로 판단된다.

본 실증실험의 운전경험과 이 실험에서 얻어진 과열조건에서의 완충재블록 열-수리-역학적 거동 실험데이터는 향후 KURT에서 수행될 현장시험과 KRS 공학적방벽시스템의 설계에 기초자료로 활용 될 것이다.

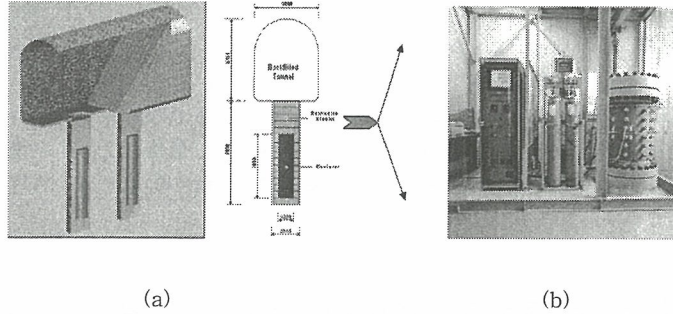


Fig. 1. KRS의 공학적방벽시스템 개념도(a) 및 KENTEX실험장치(b).

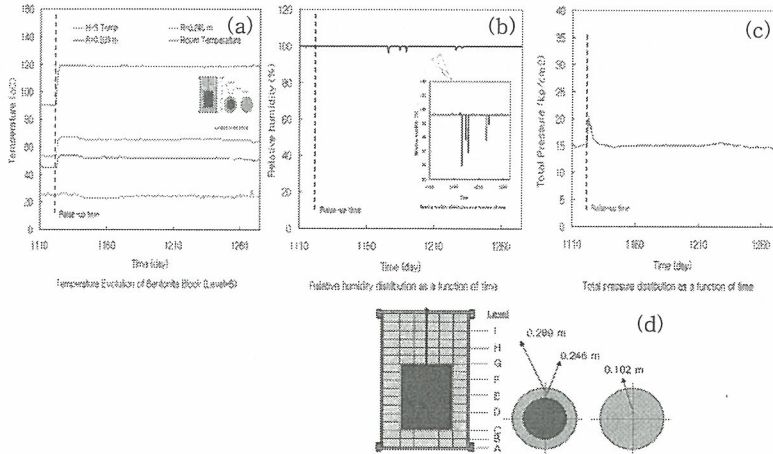


Fig. 2. 과열조건에서의 완충재블록 열-수리-역학적 거동: (a) 온도분포, (b) 상대습도 분포, (c) 압력분포, (d) 측정센서 위치.