공학적방벽 갭채움물질의 열전도도 측정기술 고찰

이재완*, 이민수, 최희주
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*jolee@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위폐기물처분장에서 완충재와 뒷채움재는 공학적방벽의 핵심 구성요소이다. 굴착 처분공과 처분터널에 각각 완충재와 뒷채움재를 설치하면, 처분용기와 완충재 사이, 완충재와 처분공 벽 사이, 뒷채움재와 처분터널 벽 사이에 빈 공간, 즉 갭(gap)이 생성된다[1].

처분장에 완충재와 뒷채움재를 설치하고, 폐쇄 후에도 이러한 갭이 그대로 존재하면, 구성방벽재의 차수능 (water-retarding capacity)과 열전달 효율 (heat-transferring efficiency)이 떨어질 뿐만 아니라, 지하수 침식작용 (erosion)에 의한 블록의 건전성 저하와 벤토나이트 콜로이드 생성으로 인한 핵종이동 가속화가 일어날 수 있다. 그러므로 처분공과 처분터널에 생성된 갭은 빈 공간으로 두지 않고 갭채움물질을 채워 완충재와 뒷채움재가 본래의 성능을 유지할 수 있도록 한다.

완충재 및 뒷채움재의 갭채움물질 열전도도는 처분장 열해석 모델의 중요한 인자이다. 만일 갭채움물질의 열전도도가 낮을 경우, 완충재나 뒷채움재의 첨두온도(peak temperature)는 설계기준(design criterion)을 초과하여 방벽재 성능을 저하시키고, 또한 처분공 사이 간격이나 처분터널 간의 간격을 증가시켜 소요 처분면적을 더 크게 할 가능성이 있다. 그러므로 완충재 및 뒷채움재의 갭채움물질 열전도도를 정확히 측정하는 것은 처분장의 열 해석 및 성능평가를 위해서 필수적이다.

본 논문에서는 문헌에 보고된 갭채움물질의 열전도도 측정법을 분석하고, KRS 처분장에 적용 가능한 갭채움물질의 열전도도 측정법을 제시하고자 한다.

2. 완충재 및 뒷채움재의 갭채움물질

고준위폐기물처분장 공학적방벽의 갭채움재 물질로는 벤토나이트, 점토, 모래, 분쇄암석 등이 고려되고 있다. 처분공 완충재의 갭채움물질로는 벤토나이트가 선호되고, 처분터널의 뒷채움재용으로는 벤토나이트, 점토, 모래, 분쇄암석 등의 혼합물이 선호된다. 갭채움재의 형태는 가능한 한 충전밀도를 크게 하기 위해서 펠렛(pellet)이나 과립상(granulate), 또는 펠렛-과립상 혼합물(pellet-granulate blend)의 형태로 압축하여 사용된다[2]. 펠렛은 갭채움재의 주 구성요소로서, 처분장에 소요되는 펠렛의 양을 감안하여, 롤러압축(roller compression)과 압출-컷팅(extrusion-cutting) 방법으로 제조한 것을 주로 사용한다. 과립상 갭채움재는 벤토나이트 원광을 직접 체(mesh sieve)로 쳐서 회수하는 방법, 입자크기가 작은 벤토나이트에 적당량의 수분을 넣고 뭉쳐서 만드는 방법 및 고밀도 블록 분쇄(dense block-crushing) 방법이 있으나, 이 중 높은 충전밀도를 얻기 위해서 고밀도 블록 분쇄방법이 주로 사용된다. 처분공과 처분터널에서의 갭채움재 설치는 완충재와 뒷채움재의 방벽성능이 저하되지 않도록 가능한 한 다짐밀도를 크게 한다.

3. 갭채움물질의 열전도도 측정기술

고체물질의 열전도도 측정방법은 정상열유동법(steady state heat flow method)과 과도상태열유동법(transient state heat flow method)으로 대별된다. 과도상태열유동법으로는 열선법(hot-wire method), 열디스크법(hot-disk method), 탐침법(needle probe method) 등이 사용되며, 정상열유동법으로는 열유동미터법(heat flow meter method)과 열박스법(hot-box method) 등이 사용되고 있다.

열선법(Fig. 1(a))은 매질과 열선사이의 거리가 매우 짧고 측정시간이 충분히 길다는 가정을 하는 측정법이다. 측정기기의 열선에 일정한 전류를 흘러 보내고, 가열 대수시간과 온도 상승과의 관계가 직선이 될 때 열전도도를 결정한다. 열디스크법(Fig. 1(b))은 열선 대신에 디스크 열원을 사용하는 방법이다. 측정시료를 2 조각(piece)으로 만들어 그 사이에 디스크센서를 넣고, 일정시간 동안 전류를 흘러 보내면서 전기저항 변화에 따른 온도를 측정하여 열전도도를 계산한다. 탐침법(Fig. 1(c))은 시

료에 탐침열원(needle probe heat source)을 꽂아 측정하는 방법이다. 열원을 통하여 일정한 전류를 흘러 보내고, 그 주변의 온도변화를 측정하여 열전도도를 결정한다.

열유동미터법(Fig. 1(d))은 시료의 양단에 일정한 온도차를 주고 이 때 통과하는 열 유동속도의 밀도(density of heat flow rate)를 측정하여 열전도도를 결정하는 방법이다. 프레임의 크기는 0.45 m x 0.45 m x 0.08 m, 측정시간은 약 48 시간이상 소요된다. 열박스법(Fig. 1(e))은 창호나 건축물 단열재 열관류율(U-value) 측정에 많이 사용하는 방법이다. 열박스법은 핀란드 국가기술연구센터 VTT에 의해 처음으로 펠렛 갭채움재의 열전도도 측정에 사용되었다. Fig. 1(e)에서와 같이, 측정장치는 고온챔버, 저온챔버, 측정챔버(metering chamber) 등으로 구성되고, 크기는 길이 3.3 m x 너비 2.7 m x 높이 3.3 m이다. 열전도도 측정을 위해 펠렛을 채워 넣을 몰더(mould)의 크기는 1.2 m x 1.2 m x 0.32 m이다.

문헌에 보고된 열전도도 측정법을 분석한 결과, 과도상태열유동법은 간편하고 측정 시간이 짧은 장점이 있으나 표면이 고른 다공성 매질에만 적합하다는 한계가 있었다. 반면에, 정상상태열유동법은 과도상태열유동법보다 측정시간이 다소 많이 걸리지만, 입자크기가 서로 다른 구성요소로 된 혼합물 등에서도 비교적 높은 정확성을 보였다. 열전도도는 함수비, 건조밀도, 구성물질, 온도 이외에, 측정시료의 구조 및 표면상태에 따라서도 큰 차이를 보일 수 있다. 그러므로 펠렛 기반 갭채움재의 열전도도는 과도상태열유동측정법보다 정상상태열유동측정법으로 측정하는 것이 더 유리하고, 그 중에서도 열박스법을 이용한 정상상태열유동측정법을 통해 가장 신뢰성 있는 열전도도를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 완충재 및 뒷채움재 갭채움물질의 열전도도 측정법을 비교·분석하였다. 분석결과, 펠렛 기반 갭채움물질의 열전도도는 과도상태열유동측정법보다 정상상태열유동측정법이 더 유리하였다. 정상상태열유동측정법 중에서는 열박스법이 가장 신뢰성 있는 열전도도를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

5. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력기술개발사업(NRF-2012M2A8A5025577)의 일환으로 수행되었습니다.

6. 참고문헌

[1] 이재완, 최영철, 최희주, “고준위폐기물처분장 완충재 및 뒷채움재의 갭채움물질 기술현황분석”, KAERI/AR-1005/2013, 한국원자력연구원 (2013).

[2] Martino, J., D. Dixon, “Placement and formulation studies on potential light backfill and gap fill materials for use in repository sealing”, Report 06819-REP-01300-10011-R00, Ontario Power Generation, Nuclear Waste Management Division, Canada (2007).

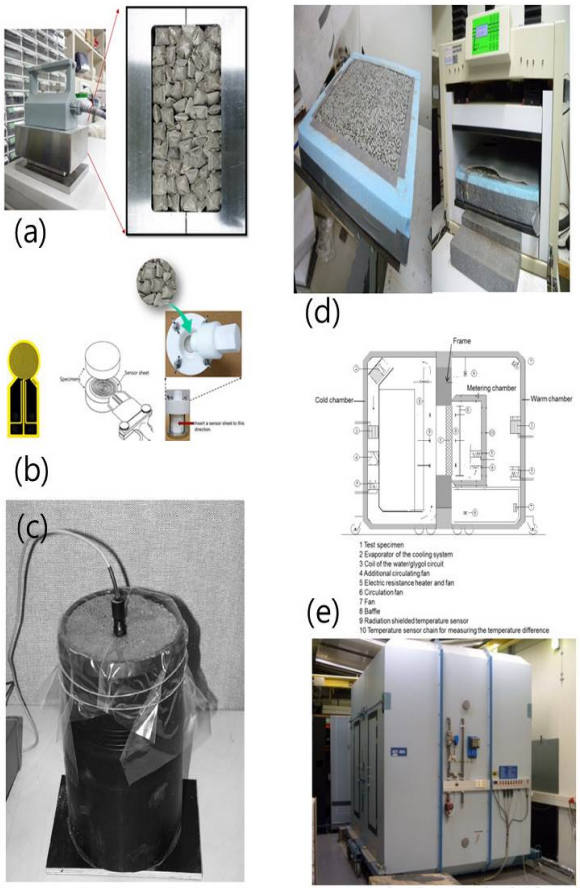

Fig. 1. Techniques for measuring the thermal conductivity of the gap-fills of buffer and backfill: (a) hot-wire method, (b) hot-disc method,(c) needle probe method, (d) heat flow meter method, (e) hot-box method.