

## 고준위폐기물 처분기술개발을 위한 완충재의 물리적 성능향상 방안 고찰: 국내 벤토나이트원광의 열전도도 측정실험

김건영<sup>1</sup>, 김승수<sup>1</sup>, 최종원<sup>1</sup>, 박성완<sup>2</sup>, 임원목<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국원자력연구소 방사성폐기물처분연구부(kimgv@kaeri.re.kr)

<sup>2</sup> (주)한국수드케미

### 1. 서론

고준위방사성폐기물은 사용후 핵연료 자체 또는 이를 자원으로 재활용하기 위해 재처리할 때에 발생하는 높은 수준의 방사능을 갖는 폐기물로서 독성이 강한 장반감기 핵종을 포함할 뿐더러 핵종들의 붕괴로 인하여 많은 열이 발생한다. 국내에서 발생하는 고준위폐기물은 대부분 사용후핵연료이며 우리나라에서는 아직 사용후핵연료의 관리에 대한 정책이 확정되지 않았다. 그러나 결과적으로 고준위폐기물처분은 반드시 필요하며 또한 이러한 고준위폐기물 처분기술은 개발에 많은 시간을 요하기 때문에 적절한 시기에 처분장을 확보하기 위해서는 국민이 신뢰할 수 있는 고준위폐기물의 심지층 처분기술 개발을 서둘러야 하는 실정이다. 대부분의 선진국에서는 이러한 고준위방사성폐기물의 처분을 위해 심층처분방식을 채택하고 있으며, 이 경우 처분장의 안전성은 다중방벽 개념에 근거하고 있다. 다중방벽은 폐기물고화체, 폐기물용기, 완충재, 뒷채움재, 그리고 자연지질방벽으로 구별된다. 이 중 완충재의 주기능은 처분용기가 지하수와 접촉하는 것을 지연시킬 뿐만 아니라 처분용기를 보호하고, 용기 파손 시 핵종의 이동을 지연시키는 것이다. 따라서 완충재가 가져야 하는 요구사항은 낮은 수리전도도, 높은 핵종저지능, 높은 팽윤성, 적절한 팽윤압, 양호한 역학적 특성, 높은 열전도도, 장기건전성 및 낮은 유기물 함량이다 (Dixon et al., 1985; Simmons and Baumgartner, 1994; SKBF/KBS, 1983). 이번 연구에서는 국내산 벤토나이트 원광을 이용하여 제작한 블록의 열전도도를 측정하여 완충재로서의 국내산 벤토나이트의 적합성을 살펴보고, 건조밀도, 수분함량 및 첨가물질로서 모래의 함량을 조절하여 제작한 벤토나이트 블록의 열전도도를 측정함으로써 완충재의 물리적 성능향상방안을 고찰하여 보았다.

### 2. 실험방법 및 재료

벤토나이트 블록의 제조를 위하여 현재 한국수드케미에서 벤토나이트 제품의 주원료로 사용하고 있는 경북 경주시 양남면에 위치하는 옥산광산의 벤토나이트 원광을 사용하였다. 완충재의 첨가물로서 사용된 모래는 금강의 강모래를 사용하였다. 원료물질의 기본적인 광물 조성 및 화학특성을 알기 위하여 벤토나이트 원광과 모래에 대한 화학분석 및 XRD분석을 수행하였다. 다양한 조건에서의 벤토나이트 블록의 열전도도 향상 양상을 조사하기 위하여 블록의 건조밀도는 1.6과 1.8g/cm<sup>3</sup>, 함수량은 5, 9.4, 15, 20wt%, 첨가물로서의 모래함량은 0, 10, 20, 30wt%로 변화시켜 각각의 블록을 제작하였다. 벤토나이트 블록 제작을 위하여 별도의 금형을 제작하였고 이 금형을 이용하여 미리 건조밀도와 함수량 및 모래함량 조건에 맞추어 균질하게 혼합시켜 놓은 시료에 대해 500톤급의 프레스기를 이용하여 벤토나이트 블록을 제조하였다. 최종적으로 제조된 벤토나이트 블록의 크기는 250×250×20mm로 하였다. 이들에 대하여 Kyoto Electronics QTM-500을 이용하여 열전도도를 측정하였다. 측정 전후에는 표준물질로 매번 측정값들을 보정하였다.

### 3. 결과 및 토의

옥산광산 벤토나이트는 전형적인 Ca 벤토나이트로서 광물조성은 몬모릴로나이트가 69.5%, 장석 22.2%, 크리스토팔라이트 6.9% 석영 1.4%로 구성된다. 일반적으로 벤토나이트 블럭의 건조밀도, 수분함량, 모래함량이 증가할수록 열전도도가 증가한다. 이번 실험에서는 건조밀도가 1.6에서 1.8g/cm<sup>3</sup>로 증가할 경우 자연수분함량을 기준으로 열전도도의 증가는 0.092~0.385W/mK 이었으며 이는 7~50% 증가에 해당한다. 모래함량 30wt% 첨가에 의한 열전도도 증가는 자연수분함량을 기준으로 건조밀도 1.6g/cm<sup>3</sup>일 경우 0.083~0.351W/mK, 1.8g/cm<sup>3</sup>일 경우 0.061~0.426W/mK로 측정되었으며 이는 각각 12~22%와 22~27%의 증가에 해당한다. 함수량 15wt%증가에 의한 열전도도의 증가율은 자연수분함량을 기준으로 동일 모래함량 조건에서 건조밀도가 1.6g/cm<sup>3</sup>일 경우 0.736~0.956W/mK, 1.8g/cm<sup>3</sup>일 경우 0.784~1.102W/mK로 측정되었으며 이는 각각 101~128%와 63~74%의 증가에 해당한다. 따라서 함수량의 변화에 의한 열전도도 증가 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 특히, 함수량이 15wt% 이상일 경우 건조밀도와 모래함량변화와는 상관없이 일반적인 다중방벽개념 하에서 완충재의 열전도도값의 요건인 1.0W/mK 이상의 값 (김승수 외, 2003)을 나타내었다. 따라서 블럭제작의 용이성과 열전도 증가의 효율성을 고려하였을 때 국내산 벤토나이트로 완충재를 사용할 경우 건조밀도 1.6g/cm<sup>3</sup>, 모래함량 20wt%, 함수량 15wt%로 벤토나이트 블럭을 제조하는 것이 경제적, 기술적으로 가장 효율적인 것으로 제안될 수 있다.

### 4. 참고문헌

- Dixon, D. A., Gray, M. N. and Thomas, A. W. (1985) A study on the compaction properties of potential clay-sand buffer mixtures for use in nuclear fuel waste disposal, *Engineering Geology*, 21, 247-255.
- Simmons, G. G. and Baumgartner, P. (1994) The disposal of Canada's nuclear fuel waste: engineering for disposal facility, Atomic Energy of Canada Limited Report, AECL-10715, COG-93-5.
- SKBF/KBS (1983) Final storage of spent fuel - KBS-3, Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co.
- 김승수, 전관식, 박종목, 최종원 (2003) 사용후핵연료 처분을 위한 처분용기, 완충재, 뒷채움재의 성능 및 설계요건, 한국원자력연구소 KAERI/TR-2628/2003.

표 1. 완충재의 건조밀도, 모래함량, 함수율에 따른 열전도도 측정결과 (단위: W/mK)

| 밀도<br>(g/cm <sup>2</sup> ) | 모래함량<br>(%) | 함수량(%) |       |       |       |
|----------------------------|-------------|--------|-------|-------|-------|
|                            |             | 5.0    | 9.4   | 15.0  | 20.0  |
| 1.6                        | 0           | 0.476  | 0.602 | 0.976 | 1.212 |
|                            | 10          | 0.485  | 0.616 | 1.094 | 1.318 |
|                            | 20          | 0.504  | 0.641 | 1.145 | 1.432 |
|                            | 30          | 0.606  | 0.685 | 1.218 | 1.563 |
| 1.8                        | 0           | 0.566  | 0.778 | 1.177 | 1.350 |
|                            | 10          | 0.582  | 0.818 | 1.337 | 1.410 |
|                            | 20          | 0.587  | 0.961 | 1.486 | 1.569 |
|                            | 30          | 0.627  | 1.013 | 1.603 | 1.729 |

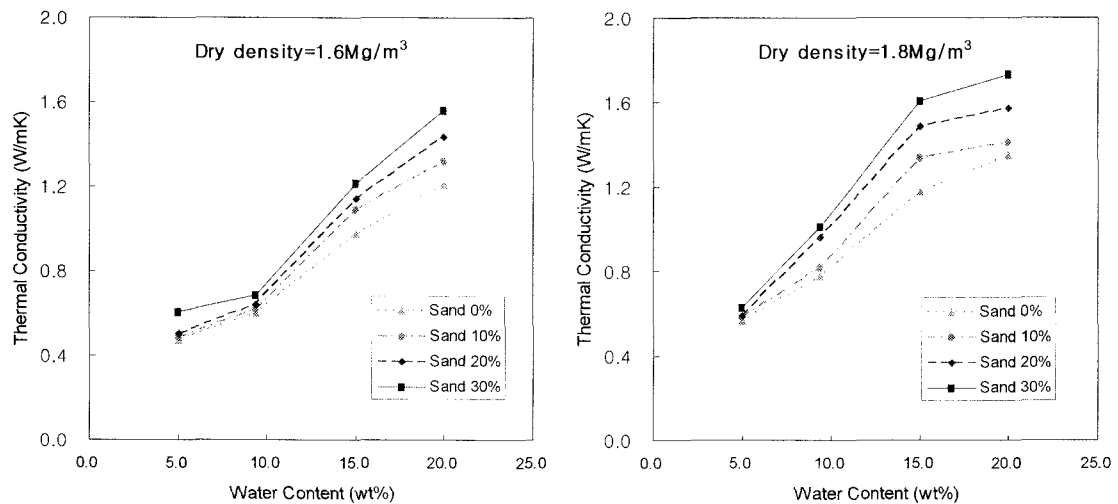


그림 1. 완충재의 건조밀도, 모래함량, 함수율에 따른 열전도도의 변화