

KRS 기준완충재 특성 및 완충재 블록 제작기술 현황

이재완, 조원진, 최종원

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

iolee@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원은 고준위폐기물 처분기술개발의 연구결과로서 2002년에 기준처분시스템 (Korean Reference disposal System)을 제안한 바 있다 [1]. 이 기준처분시스템의 설계개념에 따르면, 처분폐기물은 처분용기 (disposal container)에 넣은 후 처분터널 바닥에 굴착하여 만든 처분공 (borehole)에 정치시키고, 처분용기와 처분공의 암반 벽 사이에는 완충재 (buffer)를 설치하도록 되어 있다 (Fig. 1 참조). 고준위폐기물처분장에서 완충재는 공학적방벽의 중요한 구성요소 중 하나로서, 주위 암반으로부터의 지하수 유입을 최소화하고, 지하수에 의해 용해된 핵종이 폐기물로부터 유출되는 것을 저지하며, 외부의 역학적 충격으로부터 폐기물과 처분용기를 보호하고, 방사성폐기물 핵종에 의한 붕괴열을 외부로 발산시키는 역할을 한다. 우리나라는 현재 KRS 완충재 물질로 국산벤토나이트의 사용을 고려하고 있으며, 처분장에 설치 할 완충재는 방벽성과 제작/설치 시 작업성을 감안하여 블록형태의 압축벤토나이트를 사용할 예정이다. 본 논문에서는 이와 관련하여 국산 벤토나이트 실험결과로부터 선정된 KRS 기준완충재의 특성과 현재 진행 중인 공학적 규모의 완충재 블록제작 기술현황을 소개하고자 한다.

2. KRS 기준완충재 특성

한국원자력연구원에서는 KRS 완충재 기준물질로서 경주 벤토나이트를 제안하고, 경주시 양남면 소재 제29호 진명광산에서 채취한 벤토나이트 (이하 "경주벤토나이트"라 칭함)를 대상으로 완충재의 기본 물성을 측정 한 바 있다. 경주벤토나이트는 몬모릴로나이트 70%, 장석 29%, 석영 ~1%의 구성비율을 하고 있으며, 화학조성은 대부분 SiO_2 와 Al_2O_3 가 차지하였고, CaO는 NaO보다 높은 구성비율을 나타내고 있다. 양이온 교환능 (CEC)은 57.6 meq/100g 이며, 비중과 표면적은 각각 2.74 와 347.6 m^2/g 이었다. 그밖에 액상한계 244.5%, 소성한계 46.1%를 보였으며 소성지수는 198.4%이었다. Cho 등[3]은 고준위폐기물처분장 완충재 요구사항들을 분석하고, 우리나라 처분장에 적합한 완충재 성능기준을 (표 1 참조)을 설정한 바 있는데, KRS 기준완충재는 이 성능기준을 보수적으로 만족하는 압축 벤토나이트블록으로서, 표 2에 주요 열-수리-역학적 특성치를 수록하였다. 열전도도 0.8 W/m K, 비열 1.0 kJ/kg K, 열팽창계수 2.5×10^{-4} 1/K, 수리전도도 3×10^{-13} m/s, 흡인포텐셜 50 MPa, 팽윤압 0.3 MPa, 일축압축강도 5.0 MPa, 탄성계수 5.9×10^2 MPa, 포아송비 0.19, 점착력 1000 kPa, 내부마찰각 37° , 체적변형계수 0.021 m^2/MN , 압밀계수 0.018 m^2/yr , 압축지수 0.14를 나타내고 있다.

3. 공학적 규모 완충재블록 제작

KRS 공학적방벽의 설계개념[2]에 의하면, 직경 2.08 m, 높이 7.99 m의 처분공에 설치할 완충재는 처분용기 상.하부의 경우 직경 2.02 m, 높이 0.5 m인 디스크형 (disc type) 블록을 사용하고, 처분용기 둘레 측면의 경우에는 외경 2.02 m, 내경 1.30 m, 높이 0.5 m의 환형 (annular type) 블록을 사용하도록 되어 있다. 벤토나이트 분말을 사용해서 완충재 성능기준 뿐만 아니라 성형 및 설치 작업요건을 만족하는 건조밀도 1.6 M/m^3 이상의 대형 (large scale) 완충재 블록을 제작하기 위해서는 많은 현장 데이터와 기술경험의 축적이 필요하다. 한국원자력연구원에서는 이와 관련하여 실험실 규모의 벤토나이트 블록연구를 통하여 KRS 기준완충재 블록의 기술사양과 제작절차서를 제안한 바 있으며, 현재는 KRS 완충재 블록의 약 1/3 크기로, A-, B-, C-형 (type)으로 구성된 공학적 규모의 완충재 블록 제작연구를 수행하고 있다. 이 블록 제작연구에서는 블록 제작장치의 개발과 공학적 규모 블록의 방벽특성 및 성능 분석 및 기존 실험실 규모의 블록제작 공정을 비교 평가하여 공학적 규모의 완충재 블록 제작에 적합한 기술사양 및 제작절차서가 제시되며, 현장 설치와 관련하여 처분공 내 블록 배치모형 및 적용성을 평가할 예정으로 있다. Fig. 2에서는 완충재 블록 제작장치, A-, B-, C-형의 성형 블록 및 현재까지 실험결과와 일부를 보였다.

4. 결론

고준위폐기물처분장에서 완충재가 가져야 할 방벽특성치는 처분개념과 밀접한 관계가 있고, 일부 특성치는 처분개념에 따라 상당히 달라질 수 있기 때문에, 본 논문에서 제시된 KRS 기준완충재의 특성치는 향후 처분개념이 확정되고, 관련 성능 및 안전성에 대한 상세평가를 하기 위해서는 보다 광범위한 실측을 통해 보정을 한 후 사용하여야 할 것이다. 공학적 규모의 완충재 블록 제작 연구는 장치 개발, 블록의 성형특성 분석, 블록의 방벽특성 및 성능 분석을 완료하고, 현재는 처분공에서의 블록배치 모형 선정을 위한 블록유동특성실험이 진행 중에 있다.

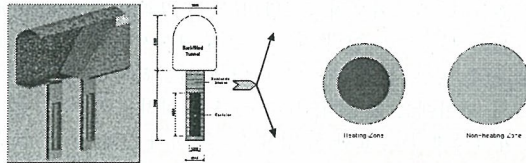


Fig. 1. KRS의 공학적방벽 개념도.

Table 1. KRS 완충재 성능기준 (좌측)과 기준완충재의 THM 특성치 (우측).

Basic Property	Reference Value	Material description	Value
Dry density (kg/m ³)	> 1.6	-Material	1.75±0.05
Water absorption (%)	< 10	-Specific gravity (G)	1.8
Swelling pressure (MPa)	< 1.5	-Initial water content (w ₀ %)	1.6
Mechanical properties		-Dry density (G _d /m ³)	0.41
Uniaxial compressive strength (MPa)	> 1.0	-Thermal/physical-mechanical properties	
Young's modulus at 20 °C (MPa)	> 50	-Thermal conductivity (W/m K)	0.3
Thermal ratio	0.5 ~ 0.2	-Specific heat (kJ/kg K)	1.0
Caloric (kJ)	50 ~ 100	-Thermal expansion coefficient (K ⁻¹)	2.5 × 10 ⁻⁴
Initial water content (w ₀ %)	5 ~ 30	-Thermal conductivity (mK)	2 × 10 ⁻³
Coefficient of consolidation (C _v)	0.03 ~ 0.15	-Porosity (n _v)	50
Thermal conductivity (W/m K)	> 0.8	-Swelling pressure (MPa)	0.3
Other values (ref. 1)	< 0.5	-Uniaxial compressive strength (MPa)	1.0
		-Young's modulus (at 20 °C) (MPa)	0.8
		-Porosity (n _v)	0.15
		- cohesion (kN/m ²)	1000
		-Internal friction angle (degrees)	37
		-Coeff. of volume compressibility (m ² /ton)	0.021
		-Coeff. of consolidation (C _v)	0.016
		-Compression index (C _c)	0.14

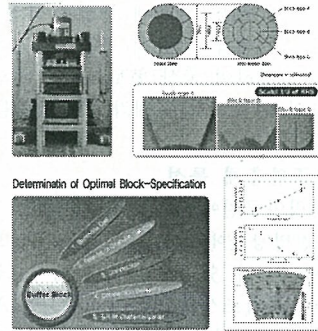


Fig. 2. 공학적규모 완충재블록 제작장치, 성형블록 및 실험결과

참고문헌

1. 강철형, 구정희, 김성기, 김승수, 김진웅, 박정화, 이연명, 이재완, 전관식, 조원진, 최종원, 황용수, 권상기, "고준위폐기물처분기술개발: 심지층처분시스템개발," 한국원자력연구원, KAERI/RR-2013/99, p. 519 (1999).
2. 최 회주, 이종열, 조동진, 김성기, 김승수, 김진영, 정종태, 이민수, 최종원, 이재완, 전관식, 김풍오, "한국형 고준위폐기물 처분시스템," 한국원자력연구원, KAERI/TR-3563/2008 (2008).
3. W.J. Cho, J.O. Lee, K.S. Chun, and H.S. Park, "Analysis of Functional Criteria for Buffer Material in a High-level Radioactive Waste Repository," J. of the Korean Nucl. Soc., Vol. 31, No. 1, pp116-132 (1999).