

TECHNICAL NOTE

핀란드 고준위방사성폐기물 심층처분시설 처분터널 뒤채움 설계 변경을 위한 연구사례 분석

구희권¹, 김석훈², 이정환^{3*}

¹(주)미래와도전 원자력신기술연구부 부장, ²(주)미래와도전 SNF처분엔지니어링사업단 단장, ³한국원자력환경공단 고준위기술개발원 차장

Analysis on Design Change for Backfilling Solution of the Disposal Tunnel in the Deep Geological Repository for High-Level Radioactive Waste in Finland

Heekwon Ku¹, Sukhoon Kim², and Jeong-Hwan Lee^{3*}

¹General Manager, Advanced Nuclear Technology Research Group, FNC Technology Co., Ltd.

²General Manager, SNF Disposal Engineering Group, FNC Technology Co., Ltd.

³Principal Researcher, HLW Technology Development Institute, Korea Radioactive Waste Agency

*Corresponding author: oathway@korad.or.kr

Received: November 9, 2023

Revised: November 17, 2023

Accepted: November 22, 2023

ABSTRACT

In the licensing application for the deep geological disposal system of high-level radioactive waste in Finland, the disposal tunnel backfilling has been changed from the block/pellet (for the construction) to the granular type (for the operation). Accordingly, for establishing the design concept for backfilling, it is necessary to examine applicability to the domestic facility through analyzing problems of the existing method and improvements in the alternative design. In this paper, we first reviewed the principal studies conducted for changing the backfill method in the licensing process of the Finnish facility, and identified the expected problems in applying the block/pellet backfill method. In addition, we derived the evaluation factors to be considered in terms of technical and operational aspects for the backfilling solution, and then conducted a comparative analysis for two types of backfill methods. This analysis confirmed the overall superiority of the design change. It is expected that these results could be utilized as the technical basis for deriving the optimum design plan in development process of the Korean-specific deep disposal facility. However, applicability should be reviewed in advance based on the latest technical data for the detailed evaluation factors that must be considered for selecting the backfilling method.

Keywords: Disposal tunnel backfill, Backfilling solution, Bentonite block/pellet, Granular backfilling, Engineered barrier design

초록

핀란드에서는 고준위방사성폐기물 심층처분시스템 공학적방벽의 구성요소인 뒤채움재에 대해 기존 건설허가 신청 시 적용한 블록/펠릿 방식을 과립형 방식으로 변경하여 운영허가를 신청한 바 있다. 이에 따라 뒤채움에 대한 설계개념 수립을 위해 기존 뒤채움 방식의 문제점 및 대안 설계의 개선점을 확인하여 국내 적용성을 검토할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 우선적으로 핀란드 심층처분시설 인허가 과정에



서 처분터널 뒤펀 방식 변경과 관련하여 수행된 주요 연구사례를 검토하여 블록/펠렛 뒤펀 방식 적용 시 예상되는 문제점을 확인하였다. 또한, 이를 바탕으로 뒤펀 방식에 대해 기술적 및 운영적 측면에서 고려되어야 하는 요소항목을 도출한 후 2가지 방식에 대한 비교평가를 수행하여 설계 변경의 종합적 우위성을 규명하였다. 이와 같은 결과는 향후 국내 고유 심층처분시설 개발과정에서 최적 설계를 도출하기 위한 기술적 근거자료로 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 단, 뒤펀 방식 선정을 위해 필수적으로 고려되어야 하는 세부 요소항목에 대해 추가 기술자료를 확보하여 적용 가능성을 사전에 검토해야 한다.

핵심어: 처분터널 뒤펀, 뒤펀 방식, 벤토나이트 블록/펠렛, 과립형 뒤펀, 공학적방벽 설계

1. 서론

고준위방사성폐기물을 지하 깊은 곳의 안정한 지층구조에 처분하여 인간 생활권으로부터 영구히 격리시키는 심층처분시스템은 방사성폐기물 형태 및 특성, 공학적방벽 등 설계 특징, 천연방벽 등의 다중 방벽 및 이들이 제공하는 다중의 안전기능으로 구성되어 야 한다(NSSC, 2021). 심층처분시설의 설계개념은 처분환경에서 방사성폐기물의 유출과 처분시설로의 지하수 침투 또는 인간의 침입을 제한하는 역할을 하는 인공물인 포장용기, 처분용기, 완충재, 처분고 구조물, 뒤펀재 등의 공학적방벽시스템을 포함하며, 각 구성요소의 기능은 심층처분시설의 전체 성능에 직접적으로 영향을 미친다. 이에 따라 처분부지 특성에 적합한 처분용기, 완충재 및 뒤펀 방식 등에 대한 최적화 연구가 진행되고 있다.

핀란드의 경우 2001년 올킬루토(Olkiluoto)를 고준위방사성폐기물 최종 처분부지로 결정한 후 부지에 대한 상세 특성조사 및 연구를 진행하였다. 처분 실시주체인 POSIVA는 이러한 연구결과를 바탕으로 KBS-3V 개념의 “고준위방사성폐기물 심층처분시설”에 대해 2012년에 건설허가를 신청하였으며, 2015년 핀란드 정부로부터 최종 승인을 받아 2016년 처분장 건설에 착수하였다. POSIVA는 해당 시점까지 심층처분시설 처분터널의 뒤펀재 설치와 관련하여 블록/펠렛 방식을 유지하고자 하는 입장이었으며, 다양한 연구를 통해 성능 및 현장 적용성을 검증하였다. 그러나, 이후 다음과 같은 과정을 거쳐 뒤펀 설치대안에 대한 검토를 진행하였으며, 2021년에 뒤펀 방식을 과립형으로 변경하여 운영허가를 신청하였다(Johanna and Ville, 2022).

- 2018년 이전 : 블록/펠렛 재료 특성, 제작성 및 현장 설치성능 평가
- 2018년 : 실증규모(Pilot-scale) 처분터널 블록/펠렛 방식 설치시험 수행
- 2018년 : 과립형 뒤펀 방식에 대한 프로젝트 착수
 - Lucoex 배경시험 : FE Experiment
 - 설계, 재료 제작, 설치 시험 및 성능평가
- 2019년 : 과립형 뒤펀 방식에서의 설계 변경 결정(POSIVA)
- 2019년 이후 : 과립형 뒤펀 성능평가, 관련 기계 개발 및 시험, 최종 시운전 계획 등

2021년 산업통상자원부에서 수립·발표한 ‘제2차 고준위 방사성폐기물 관리 기본계획(안)(MOTIE, 2021)’에 따라 국내에서는 핀란드식 심층처분에 활용되고 있는 KBS-3 방식의 다중방벽시스템을 우선 고려하여 한국형 심층처분시스템을 개발하고 있다. 이의 일환으로 뒤펀에 대한 설계개념 수립을 위해 핀란드의 뒤펀 방식 변경사례를 검토하여 국내 적용에의 타당성 등을 사전에 확인할 필요가 있다.

이에 본 논문에서는 우선적으로 핀란드의 고준위방사성폐기물 심층처분시설 인허가 과정에서 처분터널 뒤채움 방식 변경을 위해 수행된 관련 연구사례를 검토하여 설계 변경에 대한 기술적 근거를 확인하였다. 또한, 이를 바탕으로 뒤채움 방식에 대해 기술적 및 운영적 측면에서 고려되어야 하는 요소항목을 도출한 후 2가지 뒤채움 방식에 대한 비교·평가를 수행하였다.

2. 연구방법

앞서 기술한 바와 같이, 핀란드의 POSIVA는 처분장의 공학적방벽시스템 구성요소 중 하나인 뒤채움에 대해 건설허가 신청에서는 기반층(Foundation layer), 블록/펠릿(Block & pellet)으로 구성된 뒤채움 방식을 적용하였으나, 운영허가 신청에서는 과립형(Granular) 방식으로 설계를 전면 변경하였다. 심층처분시설 내 처분터널의 뒤채움 방식은 공학적방벽시스템에 요구되는 성능요건뿐만 아니라 재료의 취급, 제작성, 현장 설치성 및 비용 등을 종합적으로 검토하여야 한다. 이에 본 논문에서는 POSIVA의 뒤채움 방식 설계 변경과 관련된 주요 연구사례를 검토하여 이에 대한 기술적 근거를 확인하고, 각 설계대안의 특징 및 장·단점을 비교/평가하였다. 연구사례 검토결과는 이하에 보다 자세히 기술하였다.

2.1 블록/펠릿 방식 뒤채움 성능시험(1:6 규모 처분터널 축소 시험장치)

POSIVA에서는 1:6 규모의 처분터널 시험장치 내부에 뒤채움 영역의 3가지 주요 구성요소(즉, 기반층, 뒤채움 블록 및 펠릿)를 설치한 후 뒤채움 습윤·포화·침식에 대한 민감성, 뒤채움 내 채널의 형성, 팽윤압 및 밀도 균질화 발생 등을 평가하기 위한 성능시험을 수행하였다. 0.05~0.1 L/min의 유입속도 조건에서 뒤채움 성능평가를 5회에 걸쳐 진행하였으며, 주요 연구내용 및 결과를 요약하면 다음과 같다(Jari et al., 2019).

- 뒤채움 내 채널 형성: 유입수에 의해 Fig. 1과 같이 뒤채움 내 채널이 형성된 후 시간이 경과함에 따라 크기(폭 및 깊이)가 증가하였으며, 채널 내에 상당량의 퇴적물질 존재
- 포화 및 침식: 그리스(Greek) 뒤채움 블록의 경우 이음새(Seams)를 통한 유동경로(Flow path)를 밀봉할 수 없었으며, 이로 인해 최대 유입압력(600 kPa) 및 유입속도(0.05 L/min) 조건에서 블록의 침식 방지 불가
- 팽윤 특성: 유입유량에 의해 포화되는 과정에서 블록 체적의 질량손실(침식) 영역으로 펠릿 재료의 팽윤 현상이 관찰되었으며, 이와 반대로 펠릿의 질량손실 영역으로 블록 재료의 팽윤 현상이 발생하는 것도 확인

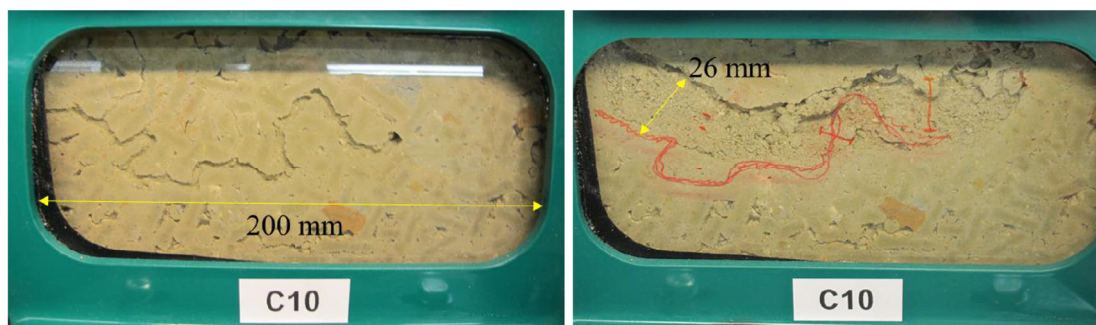


Fig. 1. Photographic images of channel formation after 22 (left) and 190 (right) hours after initiation of inflow in test (Jari et al., 2019)

- 밀도 균질화: 전체적으로 측정된 팽윤압 데이터(Fig. 2) 및 사후분석(Post-mortem analysis) 결과 시험과정에서 블록 팽창에 의한 유의미한 밀도 균질화 미발생

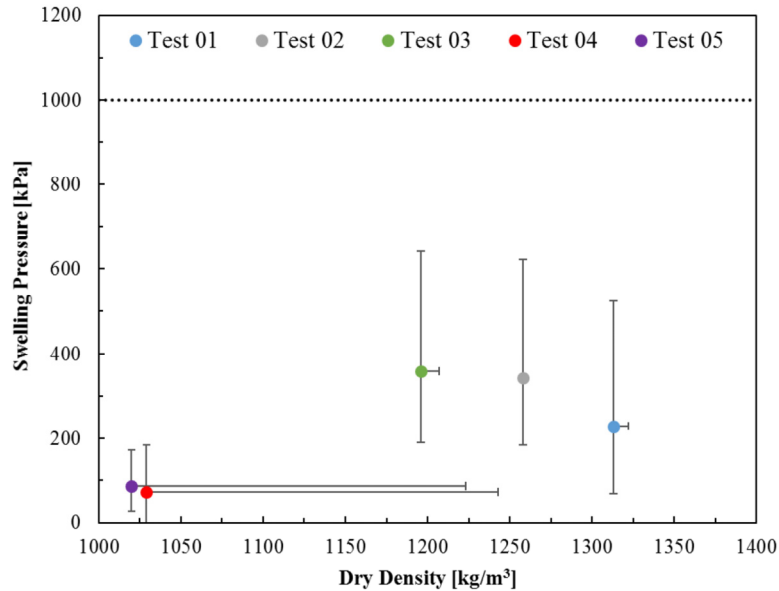
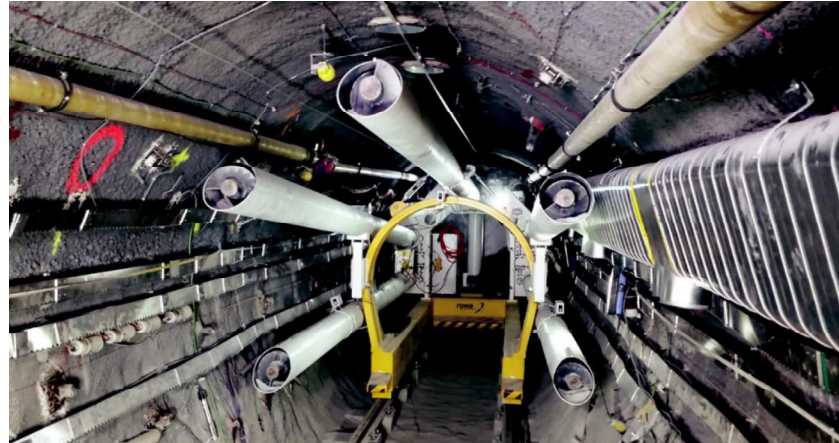


Fig. 2. Average estimated swelling pressures as a function of average total dry densities in the backfill tunnel tests at the end of the tests (Jari et al., 2019)

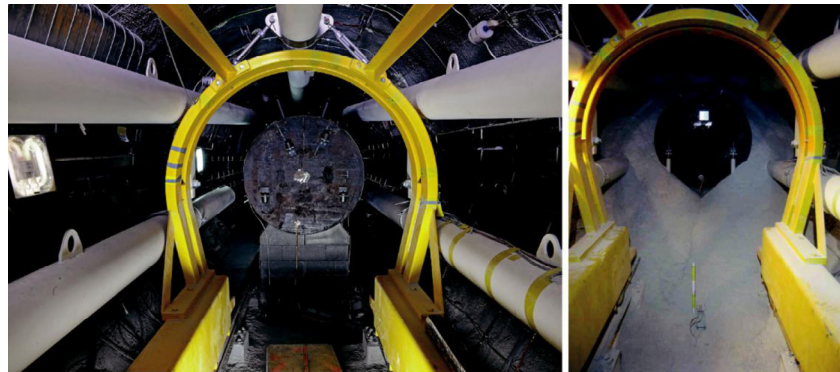
2.2 LUCOEX-Full Emplacement (FE) Experiment

LUCOEX는 방사성폐기물 처분장 개념의 단계적 개발을 위해 스위스 NAGRA, 프랑스 ANDRA, 스웨덴 SKB 및 핀란드 POSIVA가 공동으로 수행한 프로젝트로 처분시설 건설, 처분용기 주변 완충재 제작·배치, 처분용기 정치(Emplacement), 처분 시설 뒤채움 및 밀봉 등 4가지 핵심기술 분야를 대상으로 한다. 동 프로젝트는 총 6개의 연구목표(Work packages)로 구분하여 진행되었으며, 이 중 Work package 2를 통해 뒤채움 설계 변경(즉, 블록/펠릿→과립형)에 대한 근거를 확보하기 위한 실규모 시험(FE experiment)을 Mont Terri 지하연구시설에서 수행하였다. LUCOEX Work package 2의 주요 연구내용 및 결과는 다음과 같다(Jan et al., 2015).

- 처분방식: 스위스 개념 기반의 수평처분 방식
- 뒤채움재: 압축블록 및 과립형 벤토나이트를 적용하였으며, 현장 설치를 위한 장비 제작 및 실제 터널 충전시험 수행
 - 장비개발: Fig. 3(a)와 같이 5개의 오거 컨베이어(Auger conveyor)를 이용하여 과립형 벤토나이트를 주입 및 현장 압축시키며, 뒤채움 작업속도 및 오거 컨베이어 토출부에서의 개별압력 제어 구현
 - 충전시험: 2회의 예비시험을 포함하여 FE Experiment 터널 내 약 255톤의 과립형 벤토나이트 혼합물(GBM) 뒤채움 충전 시험을 성공적으로 완료(Fig. 3(b))
- 시험결과: 과립형 벤토나이트 뒤채움의 국부적 부피 건조밀도(Local bulk dry density)는 $1,700 \text{ kg/m}^3$ 으로 측정되었으며, 10년 이상 모니터링을 통한 성능 확인중.



(a) Front view of granular backfilling device



(b) Before (left) and after (right) photos of granular backfilling

Fig. 3. Prototype Auger conveyor equipment for granular type backfilling (Jan et al., 2015)

2.3 공장 품질관리 및 시험

동 연구에서는 제조된 뒤택음 블록의 재료 특성 및 압축 매개변수 최적화를 통한 일축 제조기술의 고도화를 목표로 소규모 실험실 규모 및 공장 규모에서 제작특성을 평가하였다. 블록 재료의 체질(Sieving), 파쇄 및 혼합을 통한 물질 균질화 연구를 수행하였으며, 2013~2015년 기간 동안 공장 규모 제작시험에서 실제 크기의 Friedland 블록 118개, IBECO RWC BF 블록 72개, MX-80 블록 14개가 제조되었다. 블록의 재료 특성 및 제작특성 평가를 통해 도출된 주요 결과는 다음과 같다(Jutta et al., 2020).

- 벤토나이트 소재의 품질에 따른 영향
 - 실규모 뒤택음 블록의 생산을 위한 일축 압축공정에서 재료의 특성 및 수분 함량이 주요 문제점으로 도출
 - 특히, 벤토나이트 입자 모양 및 각도 변화가 압축 블록의 인장강도 등의 특성에 영향을 미침을 확인
- 압축공정에서의 가압하중에 따른 영향
 - 제조과정에서 가압하중이 높을수록 블록의 균열 및 접합 발생 확인
 - 이는 압축과정 동안 벤토나이트 내에 갇혀 잔류하는 공기로 인한 것이며, 가압공정을 조절한 경우에도 동일 현상 관찰
 - 설계요건에 제시된 건조밀도 달성을 위해 벤토나이트 종류별로 상이한 가압하중 입력값 충족 필요
- 압축공정 개선사항: 압축공정에서 진공환경 적용 시 블록의 제조 품질 향상이 가능함을 확인

핀란드의 건설허가 신청 당시 처분터널 뒤채움 방식으로 블록/펠릿을 적용하였으며, 블록의 주 재료로는 Friedland 벤토나이트를 선정하였다. 동 벤토나이트가 처분터널 내에서 성능을 확보하기 위해 요구되는 건조밀도는 $1,990 \sim 2,070 \text{ kg/m}^3$ 범위이며, 압축 공정 시 가압하중이 매우 크게 작용한다. 따라서, 해당 연구를 통해 Friedland 벤토나이트 이외의 소재를 뒤채움재의 기준 재료로 고려해야 하며, 압축블록 형태는 건조밀도 여부에 따른 균열·접합의 발생 불확실성이 존재함이 확인되었다.

2.4 Backfilling and Closure of the Deep Repository

핀란드와 스웨덴은 처분터널 뒤채움 및 밀봉을 위한 뒤채움 개념, 재료 및 기술 개발을 위한 공동 프로젝트를 수행하였다. 해당 프로젝트는 4단계로 구분되어 진행되었으며, 개념, 재료 및 기술 선정은 통한 예비실험, 파일럿 시험 및 대규모 현장 시험을 포함한다. 뒤채움의 개념, 재료 및 기술 선정에는 비용평가가 포함되며, 이와 관련하여 가장 중요한 변수는 원자재 및 작업비용(재료 가공, 제조, 보관, 현장설치 및 기타 부대비용)이다. 이를 고려하여 다음과 같은 6가지 뒤채움 개념을 선정하여 평가를 수행하였다(David et al., 2004).

- A : 터널 내 압축 벤토나이트 및 쇄석 혼합 형태 압축
 - A1 : MX-80 벤토나이트 사용
 - A2 : 활성화 Ca-벤토나이트(Milos) 사용
- B : 터널 내 과립형 팽윤성 점토 압축
- C : 천장부(Roof)에 벤토나이트 블록을 설치한 터널 내 비팽윤 토양형(Soil type) 압축
- D : 전체 터널 단면에 사전 압축 블록 배치
 - D1 : 활성화 Ca-벤토나이트(Milos)로 제작된 블록 사용
 - D2 : Friedland 벤토나이트로 제작된 블록 사용
 - D3 : 활성화 Ca-벤토나이트 및 쇄석이 혼합된 블록 사용(30:70)
- E : 구획(Compartment) 형태
- F : 샌드위치(Sandwich) 형태

다양한 재료(MX-80, Milos, 암석, 비팽윤 점토 등), 재료 형태(블럭, 과립형, 쇄석 등), 작업방법(사전압축, 현장압축) 및 작업 형태(블럭 배치, 블럭/과립 혼합, 과립 단독, 적층 및 구획 형태)가 적용된 6가지 개념에 대해 Fig. 4와 같이 비용이 평가되었으며, 주요 결과는 다음과 같다.

- 저비용 : C 개념(원자재 사용량 저감, 단, 비팽윤 토양 사용)
- 고비용 : D 개념(원자재 비용, 사전 블록 압축 비용, 현장 설치비용)

C 개념은 비용 측면에서는 유리하지만 설계요건에 맞지 않는 비팽윤 점토를 사용하여 적용이 불가하다. 상기 개념별 평가결과를 종합하면 설계요건(팽윤성 점토 100%)을 충족하고, 사전압축이 아닌 현장압축(블럭 압축장비 불필요)이 가능하며, 설치과정(설치 장비 최소화)도 단순한 B 개념이 가장 적절할 것으로 판단된다.

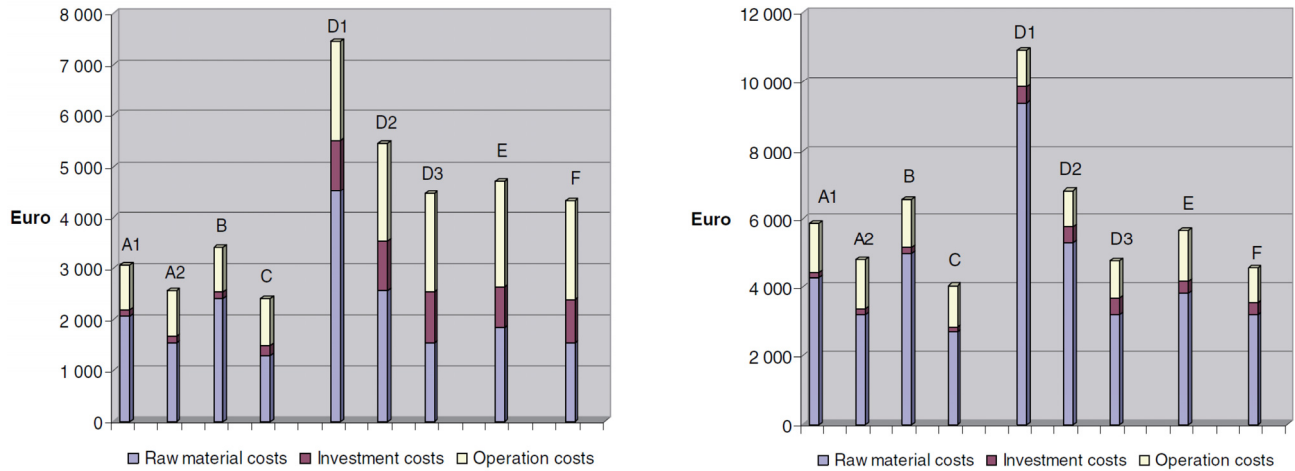


Fig. 4. Estimated costs (Euros) per one tunnel meter in the deep geological repository of Finland (left) and Sweden (right) (David et al., 2004)

2.5 ONKALO FST 및 Optimization in Posiva EBS Clay Component Design

FST (Full-Scale In Situ System Test)는 결정질 기반암 내 고유 처분시스템에 대한 실규모 현장 시험이며, 최종 처분의 기술적 타당성을 검증하기 위해 2010년 핀란드 ONKALO 실증지역 처분심도 420 m에 굴착 · 건설되었다. 2019년 해당 시설에서 약 50 m 길이의 터널 처분공에 시험용 처분용기 2개를 설치하였으며, 실제 최종 처분과 동일한 방법으로 Fig. 5와 같이 벤토나이트 뒤채움재를 충전한 후 철근 콘크리트 플러그로 밀봉 작업을 수행하였다(Tiina and Mika, 2020).



Fig. 5. Backfilling solutions of block/pellet (left) and granular (right) types in the full-scale in-situ system test (Johanna and Ville, 2022)

이 과정에서 블록 및 펠릿을 사용한 뒤채움 방식에 대한 현장 적용성의 문제점이 다음과 같이 확인되었으며, 이를 해결하기 위해 운영상 효율적인 과립형 현장 뒤채움(Granular in-Situ backfilling) 방식을 개발하여 대안으로 제시하였다.

- 처분공 원층재 설치 후 처분터널 내 뒤채움 블록 설치 및 설치차량을 이용한 분사방식의 펠릿 충전
- 블록/펠릿은 시제품(Prototype) 형태의 기계를 이용한 설치요건 충족(공차 등)
- 다만, 처분터널 내 블록/펠릿의 설치과정이 너무 느리고 수동적인 관계로 산업적 측면에서 실현 가능성이 낮은 것으로 판단

POSIVA는 2022년 “공학적방벽시스템 점토 구성 설계 최적화(Johanna and Ville, 2022)” 연구를 통해 과립형 뒤채움 방식에 대한 특징(장점)을 다음과 같이 소개하였으며, 이는 과립형 방식으로의 설계 변경에 대한 기술적 근거로 고려된다.

- 블록/펠릿 방식과 비교하여 성능과 관련된 많은 불확실성을 제거할 수 있는 “간편화” 시스템
- 대량(Bulk) 자재의 생산 및 취급(운송, 보관 등)이 보다 용이

3. 연구결과

핀란드의 심층처분시설 처분터널 뒤채움 방식에 대한 설계 변경 사유를 확인하기 위해 뒤채움재의 취급, 성능, 제작성, 현장 설치성 및 비용과 관련된 5가지 연구사례를 검토하였다. 이를 통해 2012년 건설허가 당시 적용한 블록/펠릿 뒤채움 방식과 관련하여 다음과 같은 문제점이 확인되었다.

- 뒤채움 소재(Friedland clay) : 성능요건 충족을 위해 너무 높은 건조밀도 요구
- 제조과정에서 균열 및 접합 문제 등 발생 : 건조밀도 달성을 위해 매우 높은 압축강도 요구
- 성능 불확실성 : 팽창에 따른 밀도차 균일화 불확실 등
- 설치 속도 및 자동화 제한(수동)
- 블록/펠릿 제작에 대한 낮은 경제성 : 사전압축, 추가 압축설비 및 보관장소 필요
- 대량 생산에 대한 품질보증 불확실

상기 문제점을 해결하기 위한 연구가 진행되었으며, 이와 동시에 과립형(Granular) 벤토나이트 방식이 대안으로 제시되었다. 과립형 방식의 경우 다음과 같은 특징으로 인해 블록/펠릿 방식의 문제점 및 불확실성을 해소할 수 있다.

- 재료 제작 시 건조밀도 달성 여유도 : 블록 대비 낮은 압축강도 요구
- 재료 제조 및 설치 단순화 가능 : 분무 형태
- 성능시험 결과, 설치기계 성능 및 뒤채움 설치 조밀성 · 균질성 확보 가능성 확인
- 경제적으로 대량 자재 생산 및 취급 가능(용이)

상기 검토결과를 바탕으로 다음 요소에 따라 2가지 뒤채움 방식에 대한 비교 분석을 수행하였으며, 그 결과를 Table 1에 제시하였다. 이를 통해 과립형 방식으로의 설계 변경이 종합적 우위성을 나타냄을 확인할 수 있다.

- 설계요건 : 100% 벤토나이트, 건조밀도, 수리전도도, 밀도 균일화
- 재료 취급 : 공급, 운송, 저장
- 제작/생산 : 사전압축 장비, 생산성, 제품 저장, 터널로의 운송
- 경제성 : 원재료, 뒤채움 속도, 투자
- 현장 시공성 : 설치장비, 단순성

Table 1. Comparison and evaluation results for two types of the backfilling solution

Evaluation Factor		Block & pellet type (Construction license)	Granular type (Operation license)
Design requirement	100% Bentonite	○	○
	Dry density		●
	Hydraulic conductivity	○	○
	Swelling pressure	○	○
	Density homogenization		●
Material handling	Material supply	○	○
	Material transportation	○	○
	Material storage	○	○
Production	Pre-pressing device		●
	Productivity		●
	Product storage		●
	Transportation to tunnel		●
Economics	Raw materials	●	
	Backfilling rate (excluding pre-compression time)	○	○
	Investments		●
In-situ constructability	Installation device		●
	Simplicity		●

Notes) ○ : Same and/or similar level
 ● : Relative advantage

4. 결론

고준위방사성폐기물 심층처분시설의 격리성능 및 처분 안전성은 다중 방벽 및 이들이 제공하는 다중의 안전기능 유지 여부에 따라 보증되며, 이는 처분환경에서 최적화된 설계의 적용을 통해 달성될 수 있다. 세계 최초로 고준위방사성폐기물 심층처분시설의 인허가를 진행한 핀란드에서는 공학적방벽의 구성요소인 뒤채움재에 대해 기존 건설허가 신청 당시 적용한 블록/펠렛 방식을 과립형 방식으로 변경하여 운영허가를 신청한 바 있다. 이에 따라 기존 뒤채움 방식의 문제점 및 대안 설계의 개선점을 확인하여 국내 적

용성을 검토할 필요가 있다.

이에 본 논문에서는 우선적으로 핀란드 심층처분시설의 인허가 과정에서 처분터널 뒤채움 방식 변경과 관련하여 수행된 주요 연구사례를 검토하여 블록/펠릿 뒤채움 방식 적용 시 예상되는 문제점을 확인하였다. 또한, 이를 바탕으로 설계요건, 재료 취급, 제작/생산, 경제성, 현장 시공성 등의 측면에서 2가지 뒤채움 방식에 대한 비교 분석을 수행하여 설계 변경의 종합적 우위성을 규명하였다.

이와 같은 결과는 향후 국내 고유 심층처분시설 개발과정에서 최적 설계안을 도출하기 위한 기술적 근거자료로 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 단, 뒤채움 방식 선정을 위해 필수적으로 고려되어야 하는 세부 요소항목에 대해 최종 처분부지 특성, 기술수준, 원자재 및 설비 인프라 등 추가 기술자료를 확보하여 적용 가능성을 사전에 검토해야 한다.

감사의 말

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 사용후핵연료관리핵심기술개발사업단 및 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구사업(No.2021040101003C)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- David, G., Lennart, B., Paula, K., Pasi, T., and Johanna, H., 2004, Backfilling and Closure of the Deep Repository-Assessment of Backfill Concepts, Working report 2003-77, Posiva Oy, Olkiluoto, Eurajoki, Finland.
- Jan, G., Erik T., and Christer, S., 2015, LUCOEX-Final report, EURATOM.
- Jari, M., Pieit, M., and Teemu, L., 2019, Testing backfill performance under early inflow in a 1:6 scale deposition tunnel test device, Working report 2018-10, Posiva Oy, Olkiluoto, Eurajoki, Finland.
- Johanna, H. and Ville, H., 2022, Optimisation in Posiva EBS clay component design, IGD-TP Symposium, IGD-TP, Zürich, Switzerland.
- Jutta, P., Jouko, R., and Ville, S., 2020, Quality control and testing of factory-scale uniaxially produced backfill blocks, Working report 2020-09, Posiva Oy, Olkiluoto, Eurajoki, Finland.
- Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), 2021, The second basic plan for the management of high-level radioactive waste (draft).
- Nuclear Safety and Security Commission (NSSC), 2021, General standards for geological disposal facility of high-level radioactive waste. Notice No. 2021-21.
- Tiina, J. and Mika, P., 2020, Posiva's Onkalo[®] FST (Full-Scale In Situ System Test)-20051, WM2020 Conference, WM Symposia, Phoenix, Arizona, USA.