

경주 중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 소개



유성호
한국전력기술(주)
토목기술처 차장



김영기
한국전력기술(주)
토목기술처 차장



최기원
한국전력기술(주)
토목기술처 부장

1. 서론

현재 우리나라에는 20기의 원자력발전소가 운전 중에 있고 6기의 원자력발전소가 건설되고 있으며, 원자력발전소에서 생산하는 전력은 우리나라 전체 전력생산량 중 절반 가까이 차지하고 있다. 원자력발전소에서는 전기를 생산하는 과정에서 방사성폐기물이 발생되며, 이러한 중·저준위 방사성폐기물은 현재 발전소 부지내 임시저장시설에 보관하고 있으나 2008년부터 일부 임시저장시설의 포화가 예상되고 있다. 방사성폐기물은 화학 변화에 의해 없어지지 않고 자연적인 방사성 붕괴를 통해서만 소멸되므로 생태계로부터 오랫동안 격리시켜 안전하게 처분할 수 있는 영구처분시설이 필요하다. 1986년 원자력위원회에서 방사성폐기물 처분시설을 짓기로 결정을 내린 이후 정부는 여러 차례에 걸쳐 부지확보를 시도하였으나 지역주민의 반대로 모두 무산되었

다. 결국 주민의 동의 없이는 부지선정이 불가능하다고 판단한 정부는 주민투표를 의무화 하고 부지 신청절차의 민주성 및 투명성을 대폭 강화하는 특별법을 제정하였다. 이에 따라 2005년 정부에서 처분시설 부지 선정을 공고하였고, 군산, 영덕, 포항, 그리고 경주 지역이 처분시설 유치신청을 하여, 4곳의 유치 신청 지역 중 주민들의 찬성률이 가장 높은 경주가 처분부지로 선정되었다.

처분부지가 선정된 후에 학계와 시민단체 대표 등으로 이루어진 처분방식선정위원회가 구성되었으며, 선정위원회는 천층처분방식과 동굴처분방식에 대한 타당성을 검토한 후에 200리터 드럼기준 10만 드럼을 처분하기 위한 1단계 처분시설을 지역주민의 선호도를 반영하여 동굴처분방식으로 결정하였다. 나머지 70만 드럼의 폐기물에 대한 처분방식은 부지여건과 폐기물처분 정책 등 제반여건을 고려하여 결정될 예정이다.

본고에서는 경주에 건설 예정인 중·저준위 방사성폐기물 1단계 처분시설의 설계현황에 대해 소개하고자 한다.

2. 부지 특성

경주 부지는 동해안 남쪽지역을 따라 위치하고 있으며 신월성 1, 2호기 원자력발전소 부지와 접해있다.(그림 1) 처분시설은 해안부근 신생대 제 3기에 형성된 견고한 화강암에 설치된다. 시추조사에 따르면 암반은 주로 각섬석-흑운모 화강암과 중립질 화강섬록암으로 구성되어 있으며, 일부 암맥이 나타난다. 화강암은 백악기 퇴적암류(이암과 사암)를 관입하여 있으며, 기반암 상부의 퇴적물은 지표면으로부터 20m 깊이까지 세사와 풍화토, 풍화암으로 구성되어 있다. 화강암 표면의 풍화로 인하여 지형적으로 완만한 경사를 이루고 있다.

3. 방벽설계의 개념

처분시설은 방사성 오염물질이 생태계로 이동하는 것

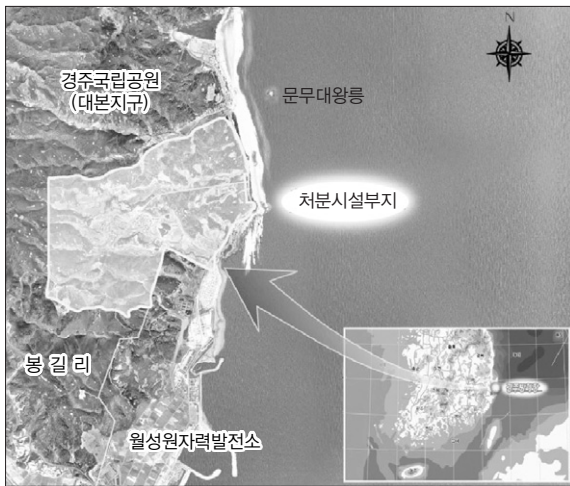


그림 1. 처분시설 부지 위치

을 장기간 차단할 수 있어야 한다. 각종 연구결과에 따르면 방사성 오염물질을 생태계로 이동시키는 주된 매개체는 지하수이다. 따라서 처분시설 방벽설계의 주요 목표는 방사성 오염물질과 지하수의 접촉을 최소화하고 지하수 침입을 제한하는 것이라 할 수 있다. 이를 위하여 양호한 암반의 깊은 심도에 처분시설을 설치하여 자연방벽에 의해 폐기물의 장기간 격리가 가능하도록 하고, 방사성 오염물질의 격리 및 이동제한에 유리하고 장기적 격리 성능을 유지할 수 있는 재료를 활용한 공학적 방벽을 추가한 다중 방벽시스템을 구축하는 것으로 계획하였다. 즉, 다중방벽시스템은 처분시설의 안전성이 개별 방벽에만 의존하지 않도록 하며, 각 방벽들은 상호간에 보완작용을 하여 전체 방벽시스템의 격리성능을 향상시킬 수 있도록 하였다. 다중방벽시스템은 3단계 격리시스템으로 구성되어 있는데 각 단계별 격리시스템의 구성 및 기능은 다음과 같다.

(1) 1차 방벽 -폐기물 고화 및 처분용기

시멘트, 레이진, 폴리머 등으로 폐기물을 고화처리한 후 폐기물드럼 및 콘크리트 처분용기 등에 저장하여 오염물질의 누출을 차단하고 지하수와 접촉을 최소화 한다.(그림 2)

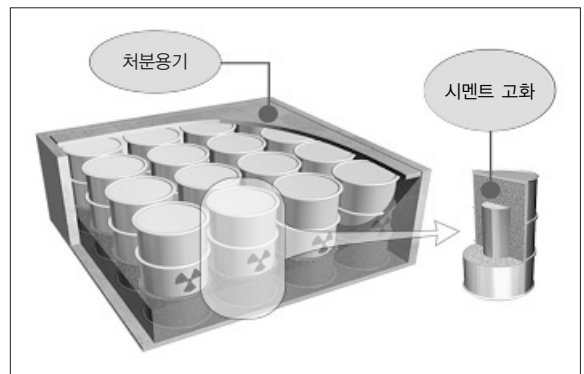


그림 2. 1차 방벽 개념도

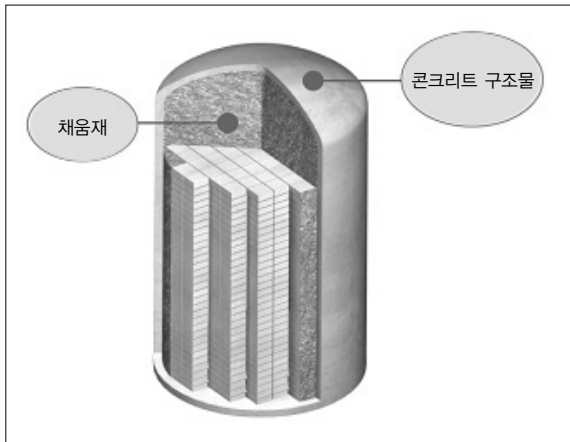


그림 3. 2차 방벽 개념도

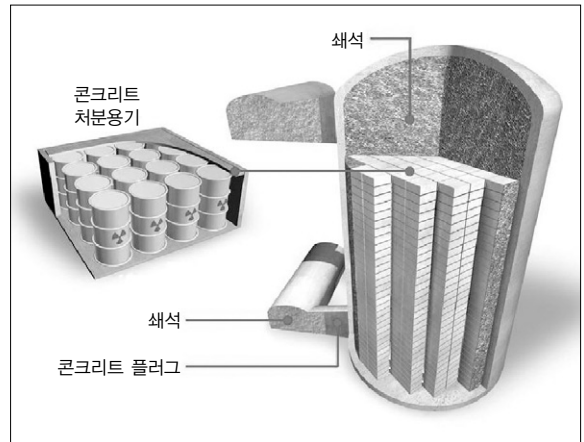


그림 5. 공학적 방벽의 개념도

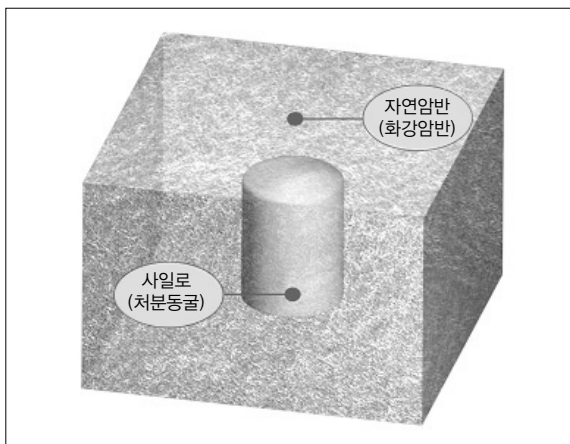


그림 4. 3차 방벽 개념도

(2) 2차 방벽-콘크리트 구조물(사일로) 및 뒤채움재
 콘크리트 구조물은 지하수의 침입을 제한하고 오염물질의 누출을 차단한다. 뒤채움재는 누출된 핵종을 흡착 및 침전시켜 주변으로의 이동을 지연시킨다.(그림 3)

(3) 3차 방벽- 자연암반(화강암)
 자연암반인 화강암은 투수계수가 낮아 지하수 유동이 적을 뿐만 아니라 누출된 핵종을 흡착시킨다.(그림 4)

1차 및 2차 방벽에 적용되는 공학적 방벽은 방사성 핵종의 이동을 제한하고 지연하는 물리적 및 화학적 완충 재료로서 건설, 운영단계에서 제도적 관리기간을 거쳐서 궁극적으로 부지의 자유로운 사용 시기까지 안전성 확보에 중요한 요소이므로 다음과 같은 요건들을 만족하도록 설계한다.

- 폐기물포장 또는 공학적 방벽 자체로부터 방사성 핵종 누출 최소화
- 표층수 및 지하수 침입 제한
- 발생가스의 제한 및 분산 메카니즘
- 열화 재료의 침입에 의한 폐기물포장의 일체성 보호
- 장기적 구조 안전성 확보
- 부주의한 접근에 의한 침입 가능성 최소화
- 침투수의 집수 및 유도 배수, 그리고 감시 및 처리를 위한 설계의 지원

공학적 방벽의 전체 개념도는 그림 5와 같다. 방벽설계의 기본적 목표는 처분시설 폐쇄 후 장기적 안전성을 보장하는 것이므로 폐쇄된 처분시설에서는 실제적이고 보수적으로 예상되는 어떠한 누출 시나리오에

서도 0.1 mSv/년 이상의 방사성 핵종이 누출되어서는 안된다. 공학적 방벽은 처음 수백년간 방벽성능을 최대한 발휘할 것이며, 이 기간동안 폐기물의 방사선 선량은 현저하게 감소하게 될 것이다. 궁극적으로 장기적인 안전성은 자연방벽에 의하여 확보된다.

4. 동굴시설의 설계

2074년까지 처분해야할 총 예상폐기물량은 약 80만 드럼이며, 최초 10만 드럼에 대한 처분방식은 동굴처분 방식으로 선정되었다. 다음 단계의 70만 드럼에 대한



그림 6. 처분시설의 일반 배치도

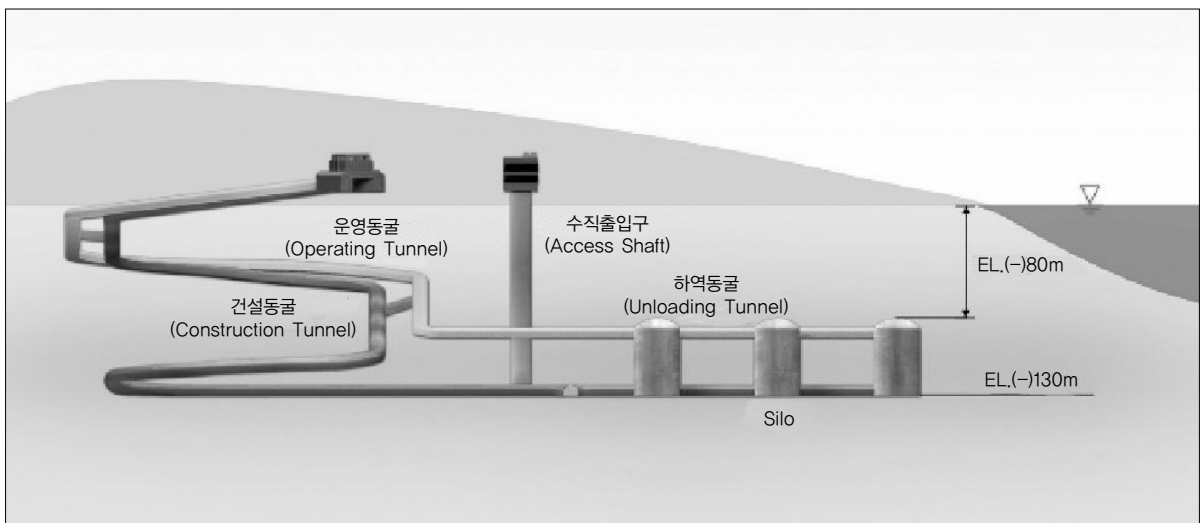


그림 7. 처분시설의 단면도

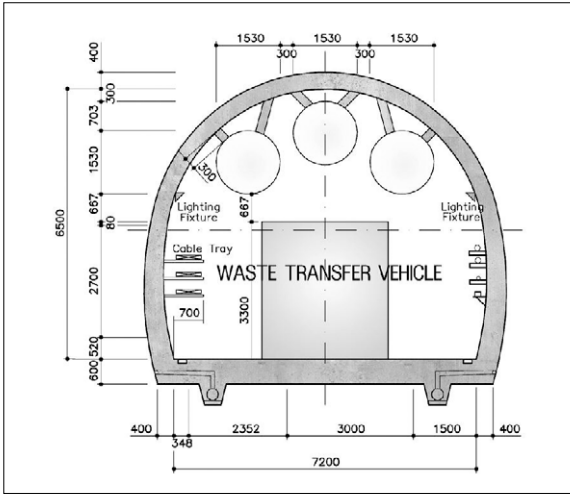


그림 8. 운영동굴 단면도

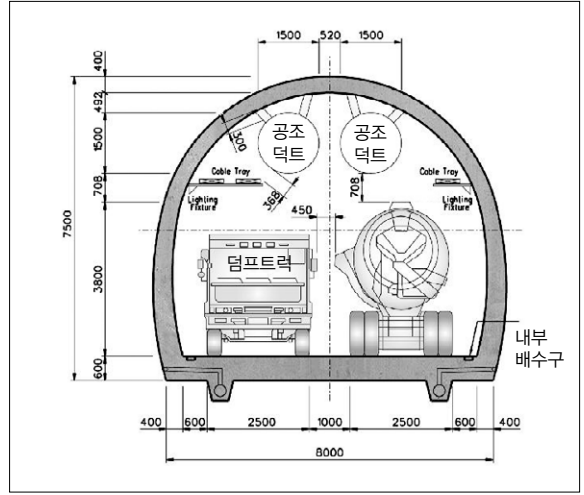


그림 9. 건설동굴 단면도

처분방식은 추후에 결정될 예정이나, 처분시설의 기본 배치는 80만 드럼을 모두 동굴에 처분한다는 가정 하에 설계하였다. 처분시설은 단계적으로 건설되며, 1단계 처분시설에서는 폐기물 10만 드럼 처분을 목표로 6개의 사일로를 건설하며, 동굴 배치설계에는 다음 단계 처분 시설의 확장 및 연결이 고려되었다.

처분시설의 위치 결정에는 지질학적 조건, 가용한 지하공간, 그리고 수리지질학적 조건을 고려하였다. 폐기물이 처분되는 사일로는 부지내에서 가장 양호한 지역에 위치하도록 하였으며, 지하수의 흐름과 암반 조건 등을 고려하여 해수면 이하 80m~130m에 설치하기로 결정하였다.

처분시설의 기본 배치는 그림 6, 7과 같다. 배치도에 나타난 바와 같이 중·저준위 방사성폐기물은 사일로와 수평동굴로 구성되는 처분동굴에 적재된다. 처분동굴의 수량은 사일로 42개, 수평동굴 5개로 구성되며, 수평동굴에는 폐기물의 규모가 클 것으로 예상되는 발전소 해체폐기물을 처분할 예정이다.

진입동굴은 운영동굴, 건설동굴, 수직출입구, 그리고 하역동굴로 구성된다. 운영동굴은 폐기물을 지상에서

사일로로 운반하는 통로로 이용된다. 따라서 운영동굴의 크기는 폐기물수송차량의 크기와 기타 운영에 필요한 공조덕트, 급배수배관, 전기 케이블 등을 설치하는데 필요한 공간을 고려하여 결정하였다. 운영동굴의 형상은 동굴의 구조 안정성을 증진하기 위하여 수정 마제형을 적용하였으며 높이가 7.5m, 폭이 8m, 그리고 길이가 1,810m이다.(그림 8)

건설동굴은 1단계 처분시설의 효율적인 공사와 다음 단계 처분시설의 확장공사를 용이하게 할 수 있도록 설계하였으며, 형상은 운영동굴과 동일하게 수정 마제형으로서 건설차량의 이동이 가능하도록 크기를 정하였다. 건설동굴은 사일로의 하부에 접속되도록 설계하여 굴착된 버력을 용이하게 처리할 수 있도록 하였다.(그림 9)

운영요원들의 용이한 출입과 동굴시설에 설치되는 공조덕트, 급배수배관, 전기 케이블 등의 효율적 배치를 위하여 수직출입구를 설치하였다. 따라서 수직출입구에는 운영요원 및 방문자 출입용 엘리베이터 및 각종 시스템들의 설치공간이 확보될 수 있도록 직경이 10m인 원통형 수직구로 적용하였다.(그림 10)

하역동굴은 운영동굴을 통하여 운반된 폐기물 처분용

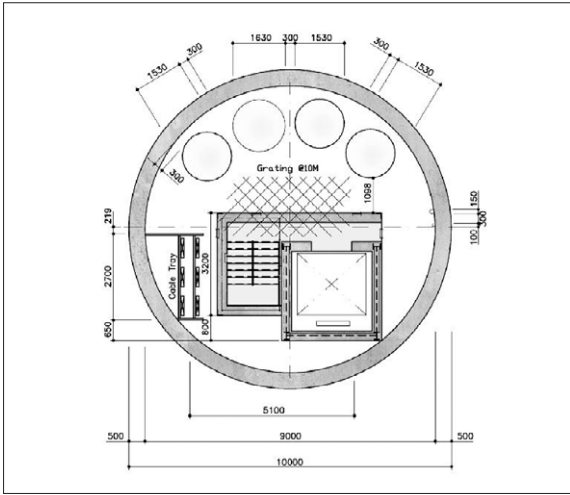


그림 10. 수지출입구 단면도

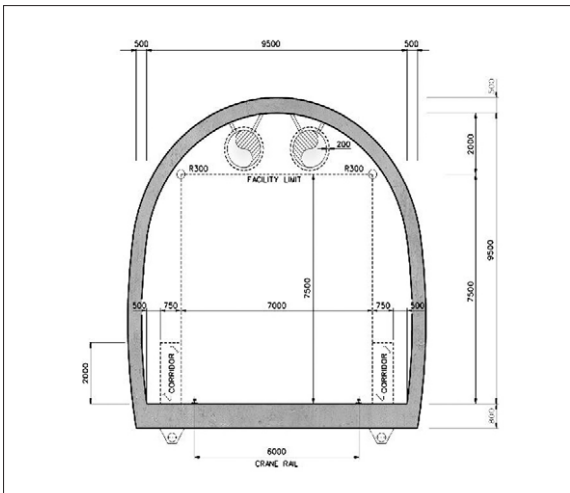


그림 11. 하역동굴 단면도

기를 하역하여 사일로로 이동시키는 공간이다. 처분용기의 하역 및 이동에는 갠트리 크레인을 이용하므로(그림 12) 하역동굴은 처분용기 수송차량 이동공간, 갠트리 크레인 운전 및 정비공간, 그리고 공조덕트, 전기케이블 등에 필요한 공간을 고려하여 설계하였다.(그림 11)

방사성폐기물이 처분되는 사일로는 원통형 형태로 직경 24.8m, 높이 52.4m이다.(그림 13) 사일로의 크기는

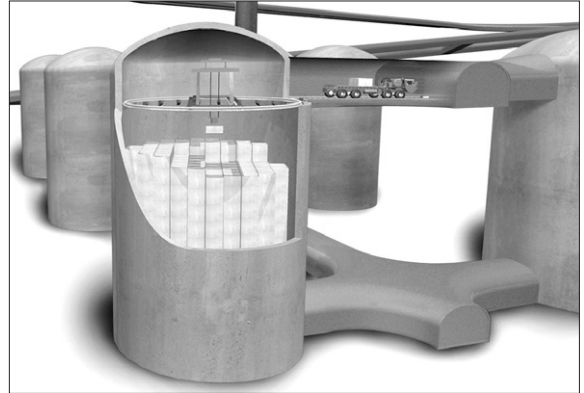


그림 12. 방사성폐기물 하역 개념도

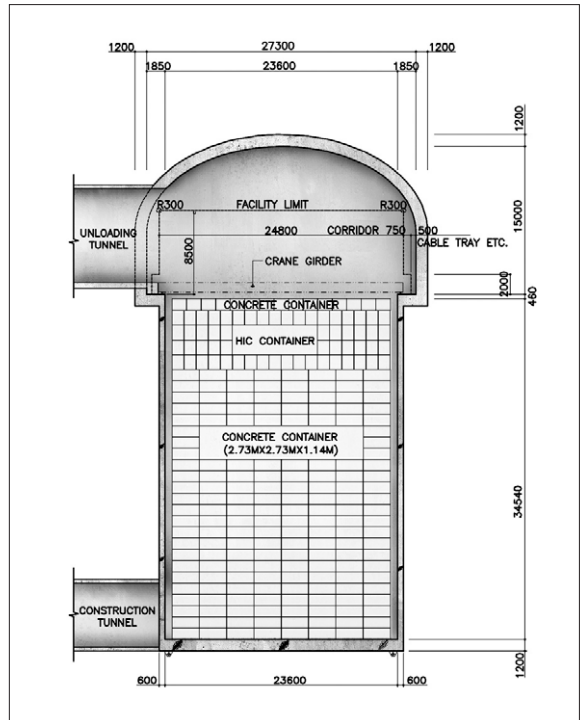


그림 13. 사일로 단면

지질학적 특성을 고려한 암반의 안정성과 효율적인 폐기물 처리 공간을 근거로 결정하였으며, 사일로의 상부는 암반의 안정성 증대와 크레인 운용 공간 확보를 고려하여 반구형 돔의 형태로 결정하였다. 사일로는 굴착 후

숏크리트, 록볼트, 콘크리트 라이닝으로 지보되며, 콘크리트 라이닝은 처분시설 폐쇄 후 방사성핵종의 이동을 제한하는 공학적 방벽의 역할도 담당한다. 각 사일로에는 16,670 드럼을 처분할 수 있다.

콘크리트 라이닝에 사용되는 콘크리트에는 기존의 연구결과를 반영하여 장기적인 내구성 향상 및 낮은 투수성 확보를 위하여 플라이애쉬를 혼화재료로 사용하였다. 콘크리트의 최소설계압축강도는 32MPa, 물-시멘트 비는 0.45로 정하였다.

5. 폐쇄 설계

운영이 종료된 처분시설은 뒤채움과 밀봉으로 폐쇄한다. 폐쇄를 위한 뒤채움과 밀봉은 자연방벽과 더불어 방사성폐기물의 영구처분에 대한 장기적인 안전성을 확보하기 위한 공학적 방벽으로서 다중방벽시스템을 구성하여 처분시설의 방사성 안전성을 확보한다. 처분시설 폐쇄설계의 기본요건들은 다음과 같다.

- 처분시설의 안전성은 밀봉 및 뒤채움재료 성능에 있어 결함 또는 기반암 조건의 변화에 의하여 중대한 저해를 받지 않아야 한다.
- 뒤채움 및 밀봉 재료들은 주변의 처분조건에 장기간 성능을 발휘할 수 있어야 한다.
- 뒤채움 및 밀봉 재료들은 충분히 신뢰할 수 있는 설계기술 또는 장기적 안정성에 대한 실험이나 신뢰도가 높게 입증된 증거에 기초하여 선정되어야 한다.
- 뒤채움 및 밀봉구조물은 다음과 같은 방법으로 방사성핵종의 지하수로 이동을 지연시켜야 한다.
 - 1) 지하수 흐름속도 지연
 - 2) 방사성핵종의 흡착능력 증진
 - 3) 방사성핵종 확산의 제한

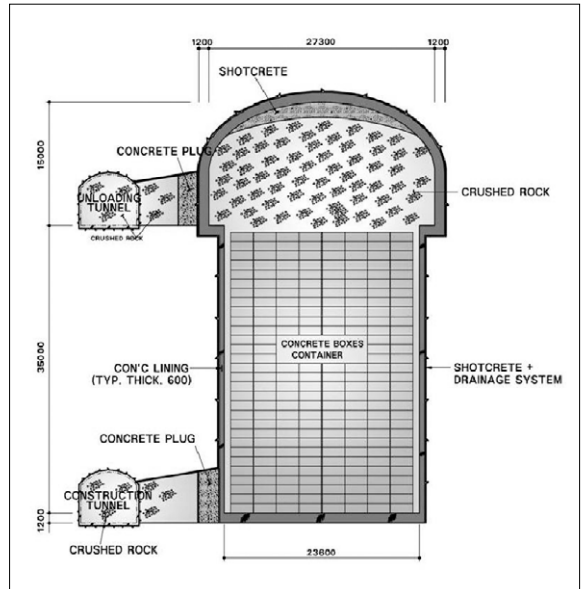


그림 14. 사일로 폐쇄단면

- 밀봉구조물은 처분시설 폐쇄 후 장기간 사람이나 동/식물의 접근으로부터 격리되도록 설계되어야 한다.
- 뒤채움과 밀봉구조물은 처분시설의 구조 안정성을 증진시킬 수 있어야 한다.
- 밀봉구조물들은 동굴을 통한 지하수의 유동을 제한하여야 하며, 동굴구조물 간에 수리적 단축통로가 형성되지 않도록 동굴에 교차하는 투수성 지질 구조체를 격리시킬 수 있어야 한다.

뒤채움 작업은 사일로 내의 빈공간에 대한 뒤채움작업으로 시작된다. 쇄석은 동굴 굴착 중 발생하는 양호한 화강암을 이용한다. 동굴처분시설의 빈공간에 대한 쇄석 뒤채움은 처분시설 주위 기반암의 움직임에 대해 완충역할을 할 수 있고 구조물 붕괴 위험을 감소시킬 수 있다. 또한, 쇄석은 비표면적이 커서 많은 방사성핵종의 이동 지연에 효과적이다. 사일로의 폐쇄개념도는 그림 14와 같다.

6. 결 론

우리나라에 건설될 예정인 중·저준위방사성폐기물 처분시설의 안전성은 다중방벽에 의하여 확보되도록 설계를 하였다. 처분시설의 공학적 방벽은 폐기물고화체, 폐기물 처분용기, 뒤채움재료, 그리고 콘크리트 라이닝으로 구성된다. 공학적 방벽은 독립적인 방벽을 할 수 있는 자연방벽 즉 기반암에 의한 방벽기능을 보완하도록 하여 방사성폐기물을 자연 환경으로부터 영구히 격리시킬 수 있도록 하였다.

처분시설의 보다 높은 안전성 확보를 위하여 처분부지 특성, 폐기물 특성, 공학적 방벽재료의 특성 등에 대한 지속적인 연구 및 개발을 계속할 예정이며, 이를 통하여 입수되는 자료들을 활용하여 처분시설 설계를 지속적으로 보완할 예정이다.

참고문헌

1. 한국전력기술주식회사(2006), 시설물배치 기준설정 보고서, 0-037-C463-001, pp 41 - 55
2. 한국전력기술주식회사(2006), 대안설계 보고서, 0-030-C462-001, pp 2-1 - 2-80