“2000 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

국내 중저준위 방사성폐기물 천층처분시설 개념설계

A Conceptual Design on Near-Surface Disposal Facility of Low- & Intermediate- Level Radioactive Waste

최규섭, 황태원, 김헌, 이찬구

한국전력공사 원자력환경기술원
대전광역시 유성구 덕진동 P.O. Box 149

요 약

본 논문에서는 국내 중·저준위 방사성폐기물처분을 위한 천층처분시설의 개념설계를 수행하였다. 처분시설은 크게 처분구조물, 배수계통, 취급계통 및 운영후 폐쇄항목등으로 분류하여 각 계통별로 적용가능한 방안들에 대한 특성분석을 수행하였으며, 분석 결과를 토대로 처분고 단면설계, 계통설계, 처분고 배치계획 및 폐쇄계획을 수립하였다. 처분시설의 규모는 1998년 원자력위원회에서 결정된 내용을 토대로 총 80만드럼(200리터 드럼기준)과 1차 10만드럼 용량을 고려하였다. 설계기본자료 도출을 위하여 폐기물 발생특성 및 추이를 토대로 처분을 위한 폐기물분류 작업을 수행하였으며, 이 결과로부터 1차 처분단계에서는 매년 1만 드럼을 처분하고, 처분대상 용기로는 200리터드럼, 재포장드럼, 콘크리트용기를 선정하였다. 본 개념설계 결과로부터 도출된 처분고 단면은 20mx20m이고, 높이는 폐기물 용기 종류에 따라 세가지 형태로 운영하는 것으로 선정하였으며, 처분고 배치는 2열 배치방식으로 5년 단위로 처분고를 증설하는 것으로 하였다. 또한 처분고로부터 누출되는 침투수는 일반 강수와 구분하여 수집관리하는 개념으로 관망을 구성하였으며, 이들의 효율적인 관리를 위하여 처분고 하부에 지하점검로를 설치하는 방안을 선정하였다. 폐기물 정치작업은 크레인에 의한 원격취급을 기본으로 선정하였으며, 사각 콘크리트용기의 경우에는 지게차에 의한 취급을 선정하였다. 단위처분고는 폐기물 적재후 내부 뒷채움물질을 충전하여 모노리스화시킨후 동일부지내의 처분고 운영작업이 종료된 이후에는 다층복토의 개념을 적용하여 폐쇄작업을 수행하는 개념을 선정하였다.

Abstract

In this study, a conceptual design on LLW & ILW near-surface disposal facility has been performed by alternative studies of available methods related to design of disposal vault, drainage system and waste handling system, plot plan, closure plan and so on. Based on 1998 KAEC guidelines, total disposal capacity is 800,000 drums with an initial capacity 100,000 drums. From the preconceptual review of current waste characteristics, the waste container types to be selected with first priority for the initial disposal are 200 liter drums, repacking

drums and concrete drums. From the result of conceptual design on the disposal facility, it have been concluded that disposal vault has been devided into 3 types with different heights of the same cross section of 20mx20m, which are arranged in a double line and that infiltration water from the vault are managed separately from the other in underground gallery under the vault, and that all waste is emplaced by the remote handling system of a crane except the concrete 4-pack by the contact handling system of a forklift truck, and that the unit vault will be filled into the backfilling material, and that site closure will be carried out by the multi layer system after finishing the operation of the disposal facility.

1. 서 론

처분방식은 폐기물의 특성과 처분부지의 지형 및 지질조건과 처분부지주변의 각종 환경적인 여건을 종합적으로 고려하여 결정할 사항이다. 국내의 경우 현재 처분부지가 확보되지 않은 상태이지만 국외 현황을 종합할 때 대체적으로 동굴처분방식과 천층처분방식이 적용가능하다. 동굴처분방식에 대해서는 1993년도에 개념설계[1)]가 완료되었으나, 천층처분방식에 대해서는 현재까지 개념정립이 완료되지 않은 상황이다. 따라서 본 논문에서는 국내 천층처분시설 설계 일환으로 처분고(disposal vault), 배수계통, 취급계통 등 각종 계통에 대한 설계대안을 분석하였고, 이를 토대로 처분고 단면 및 배치설계, 각종 계통설계 및 폐쇄설계를 수행하였다. 천층처분방식의 경우에도 여러 설계개념이 적용가능하지만 국내의 지형, 인문·사회적 여건, 관련 기술기준을 근거로 처분고 바닥판의 위치가 지표면 상부에 위치하는 AGV(Above Ground Vault)형식과 유사한 인공방벽식 천층처분개념을 고려하였다. 처분시설의 규모는 1998년 원자력위원회의 의결에 따라 결정된 내용을 바탕으로 총규모 80만 드럼(200리터 기준)과 1차 처분규모 10만드럼을 선정하였으며, 추후 10만드럼 단위로 증설하는 방안을 선정하였다. 1차 처분대상폐기물은 원전현황을 고려하여 200리터 드럼, 재포장드럼, 콘크리트용기를 선정하였으며, 처분 및 운반 효율성을 고려하여 년간 1만드럼씩 10년간 처분하는 것으로 선정하였다.

2. 설계기본사항

2.1 1차 처분대상 폐기물특성

현재 원자력발전소 폐기물 임시저장고에 저장중인 기발생된 폐기물특성과 추후에 발생예정인 폐기물특성을 고려하여 처분을 위한 폐기물 특성 분석을 수행하였으며, 이 결과로부터 도출된 1차 처분대상폐기물의 용기형태, 처분량, 구성비, 제원 등은 표 1과 같다.

2.2 폐기물운반

폐기물운반방식과 운반용기는 처분부지의 위치와 폐기물 발생지로부터 처분시설까지의 경로, 폐기물의 특성을 종합적으로 고려하여 결정할 사항이나, 1차처분대상폐기물의 규모와 특성을 고려할 때 초기에는 도로운반방식을 고려하고 추후 사용후핵연료의 수송시점에서는 해상수송을 추가 반영하는 것을 고려하였다. 도로운반을 위한 폐기물 운반차량은 6m길이의 샷시 트레일러를 고려하였으며, 운반용기는 포장된 폐기물의 표면선량율에 따라 표 2와 같은 세종류를 사용하는 것으로 선정하였다.

3. 처분고 단면설계

3.1 처분고 형태분석

처분고의 적합한 형태를 결정하기 위하여 우선적으로 처분고내 내부격벽 설치여부, 처분고와 처분고 사이의 연결 또는 분리여부 등을 검토하였다. 처분고 내부에 격벽을 설치할 것인지에 대한 분석은 국외현황, 슬래브 소요두께, 추가 물량 및 건설비용, 정치효율성, 구조안정성, 운영용이성 측면을 비교분석함으로써 수행하였다. 구조안정성측면은 처분고 상부슬래브의 처짐측면을 위주로 검토하였으며, 운영측면은 폐기물하역위치, 정치작업측면을 위주로 검토하였다. 처분고내부의 격벽 설치여부에 대한 분석결과, 처분고 단면내부에 격벽을 설치할 경우 처분고의 구조 안정성은 확보되지만, 운영측면과 건설비측면에서 불리한 경향을 보여주었다. 처분고 상부슬래브의 지점형식을 Beam Type으로 선정할 경우에는 처분고 내부에 격벽을 두지 않아도 상부슬래브의 처짐측면에서 안정성이 확보될 것으로 예상되기 때문에 처분고 내부에는 격벽을 두지 않는 방안을 선정하였다.

단위 처분고별 간격을 둘 것인지에 대한 처분고의 분리식 및 연결식 형태분석에서는 일반적인 토양특성을 참조하여 처분고의 침하측면을 검토하였다. 이를 위해서 처분고의 허용침하량을 도출하였으며, 도출된 처분고의 허용 각뒤틀림은 균열이 발생되지 않는 기준으로 1/500, 처분고의 총 침하량은 배수시설에 대한 안전과 매트기초를 고려한 150mm, 처분고의 허용 기울음은 크레인 레일의 안전성을 고려하여 0.003ℓ을 선정하였다. 처분고의 재하중량, 복토자중 등을 고려하여 기초의 극한지지력과 침하량을 산정한 후 허용치의 만족여부를 검토한 결과 처분고 침하의 안정성은 토양조건에 따라 많은 차이를 보여줌을 알 수 있었다. 현재 처분부지의 토양조건을 파악할 수 없기 때문에 보수적인 조건을 적용할 경우에도 침하측면에서 안정성을 확보할 수 있도록 모든 단위 처분고는 분리식으로 건설하는 방안을 선정하였다.

폐기물 정치를 위한 운반용기 하역위치는 처분고와 취급계통 설계시 주요 인자로, 하역위치결정을 위하여 처분고의 외부 또는 내부하역에 대한 특성을 분석하였다. 분석시 원자력발전소의 임시저장고 설계하중을 참조하여 취급구조물의 축력, 좌굴안정성, 내부응력 등을 검토하였으며, 처분고의 구조안정성, 운영용이성, 시공경제성 측면을 비교하였다. 두 방안에 대한 분석결과 외부하역의 경우가 내부하역보다 유리함을 보여주었다. 따라서, 운반차량의 하역은 외부하역으로 결정하였다.

3.2 처분고 단면계획

3.2.1 처분고 높이

처분고의 합리적인 높이산정을 위해서 구조안정성측면에서 최대허용높이를 산정한 후에 허용범위내에서 최적의 높이를 산정하였다. 처분고 허용높이는 크게 두가지 관점에서 검토되었다. 하나는 좌굴로 인한 벽체의 좌굴안정성측면을 고려하였으며, 벽체토압측면과 폐기물적재로 인한 횡하중증가분에 대한 처분고벽체의 구조안정성측면에서 허용높이를 검토하였다. 설계하중은 철근콘크리트의 자중과 복토중량을 고려하였으며, 보수적인 결과값의 산정을 위해서 사인장철근, 스터럽 등의 효과는 무시하고 압축 및 인장철근의 영향만을 고려하였다. 두가지 측면을 정량적으로 검토한 결과 처분고의 높이는 대략 7m 9m이내의 범위로 선정하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다. 다음 단계에서는 처분고 내 폐기물 적재완료후 작업자가 덮개시공을 하기 위해 차폐측면에서 필요한 콘크리트 두께를 계산한 결과 200ℓ강재드럼용기 처분고와 재포장드럼 처분고는 각각 26cm(선량율 46.6mR/hr), 13cm(선량율 48.8mR/hr)로 계산되었다. 따라서, 철근조립을 위한 상부슬래브의 차폐콘크리트두께는 각각 30cm와 20cm두께를 고려하였고, 콘크리트용기처분고의 경우에는 프랑스 L'Aube 처분시설과 동일한 10cm를 고려하였다. 이상의 항목들과 폐기물용기의 적재높이를 고려할 때 처분고는 강재드럼의 경우 6단 또는 7단적재가 바람직한 것으로 분석되었으며,

소요면적, 복토물량, 정치효율측면을 비교검토한 결과 7단적재가 유리함을 보여주었다. 따라서 처분고 외부 높이는 7단 적재를 기준으로하여 200ℓ드럼용 처분고의 경우 8.1m, 초고압 재포장용 처분고의 경우 8.5m, 콘크리트용 처분고의 경우 8.7m이다.

3.2.2 처분고의 폭 및 길이

처분고의 허용 폭과 허용 길이산정을 위해서 콘크리트시방서에서 규정된 이방향슬래브의 허용처짐규정[2]을 적용하였다. 처짐방지를 위한 슬래브 최소두께 산정식으로부터 최소두께를 산정하였으며, 이를 근거로 허용가능한 처분고의 폭과 길이를 도출하였다. 분석결과 도출된 처분고의 허용폭은 15m 25m범위이며, 이 범위내에서 폐기물 정치방식에 따른 정치효율, 소요면적, 구조안정성 측면에 대한 분석결과 폐기물정치방식은 삼각종치방식을 선정하였다. 최종적으로 처분고 단면크기를 변화시킴에 따라 소요되는 처분고 갯수, 소요면적, 처분용량, 년간 처분고 운영갯수를 종합적으로 비교분석한 결과, 처분고의 폭과 길이는 20m x 20m가 합리적인 것으로 분석되었다.

3.2.3 처분고 구조부재개념

처분고 바닥판은 폐기물 정치 안정성을 제공하고, 처분고 내부로 침투된 침투수를 유도배수하며, 상부재하 하중을 기초부분에 전달하는 기능을 가진다. 이러한 기능의 만족여부를 확인하기 위해서 콘크리트 바닥판에 대한 역학적인 측면과 재료적인 측면을 검토하였다. 역학적인 측면에서 바닥판에 재하되는 폐기물중량과 기타 하중성분에 대한 바닥판 응력과 변형량을 검토한 결과 일반콘크리트를 사용하여도 구조안정성이 확보됨을 확인하였다. 또한 바닥판재료의 차수안정성을 검토한 결과 바닥판은 저투수성 콘크리트로 배수경사를 두고, 그 위에 다공성콘크리트를 설치하는 개념을 최종적으로 선정하였다. 저투수성콘크리트는 처분고내의 침출수가 계획된 배수로를 통하여 배수되도록 유도하고, 다공성콘크리트는 폐기물의 정치안정성을 위한 수평성을 제공한다. 배수방식은 처분고 중앙으로 침투수가 집수,배수되는 중앙배수식을 선정하였으며, 미국의 RCRA권고사항[3]과 배수효율을 참조하여 배수경사는 대략 2.0 3.0%로 선정하였다. 또한 처분고 상부슬래브의 강수배수방식으로 일면배수방식, 양면배수방식, 방사상 배수방식에 대한 장단점을 비교분석하였으며, 분석결과로부터 종방향 중앙선을 중심으로 양분시킨 양방향 배수방식으로 선정하였고 처분고 덮개의 배수경사는 2 3%의 경사로 선정하였다.

3.2.4 처분고 단면제원

앞에서 분석된 내용을 토대로 계산된 1차 처분시설의 처분고 단면 및 제원은 표 3과 같고, 강재드럼용 처분고와 콘크리트용기용 처분고의 단면개념도는 그림 1과 그림 2에 나타낸 바와 같다.

3.3 처분고 내부뒷채움

처분고 내부 뒷채움재료는 폐기물용기와 처분고내의 빈 공간을 메우는 물질로, 처분고의 구조방벽성능을 향상시키고, 폐기물과 유입수의 접촉을 최소화시키는 기능을 가진다. 국외처분시설현황을 근거로 뒷채움 후보재료들에 대한 경제성, 시공성, 적용성분석 등을 통해서 재료, 뒷채움시기, 시공장비, 시공기간 등을 선정하였으며, 그 결과는 표 4와 같다.

4. 처분시설배치

4.1 1차 처분시설의 처분고 배치

1차 처분시설의 배치를 위해 우선적으로 처분고별 간격, 초기건설규모, 증설주기를 도출하였고, 도출된 내용을 토대로 배치방안에 대한 몇가지 방안분석을 수행하였다. 처분고 간격산정을 위해서 처분고 침하로 인한 영향, 폐기물취급측면, 수송차량 회차공간, 소요면적, 유지보수 및 증설시

공측면 등을 종합적으로 분석하였으며, 분석내용을 토대로 처분고간 종간격은 2m, 처분고 간 횡간격은 10m, 크레인 이동공간은 Movable Building의 이동길이와 안전여유를 고려하여 약 30m, 처분시설 외곽공간은 복토의 사면안정을 고려한 처분고 외곽의 여유공간으로, 복토경사를 2:1로 고려하여 처분고 끝단으로부터의 복토 사면안정에 필요한 여유폭은 약 36m를 선정하였다.

또한 1차 처분시설에 대하여 초기에 10만드럼분을 일시에 건설하는 방안, 10만드럼분을 5만드럼분씩 2회로 나누어 건설하는 방안, 10만드럼분을 2만드럼씩 5회로 나누어 건설하는 방안, 10만드럼분을 1만드럼씩 10회로 나누어 매년 건설하는 방안에 대한 각 방안별 경제성측면, 시공성측면, 증설시공시 문제점, 운영성측면을 비교·검토하였다. 검토결과 1차 처분시설의 초기건설규모와 증설주기는 각각 5년 주기로 건설하는 것이 바람직한 것으로 평가되었다.

이러한 조건하에서 1차 처분시설의 모든 처분고를 2열로 배치하는 방안, 3열로 배치하는 방안, 4열로 배치하는 방안에 대해서 최소 부지면적, 운영 및 시공 용이성, 폐쇄 및 증설 용이성, 취급장비 활용성, 보조시설, 지원시설, 기타시설의 공동 이용성 등을 종합적으로 분석하여 1차 처분시설 배치는 2열 배치안으로 선정하였다.

4.2 전체 처분시설의 배치개념

전체 처분시설규모인 총용량 80만 드럼분에 대한 배치 개념을 설정하기 위해 현재까지 발생된 폐기물의 특성과 추후 예상되는 폐기물 특성을 검토하였다. 검토결과 운영폐기물 40만드럼을 처분하기 위해서는 초고압 재포장폐기물용 처분고가 대략 40개, 200ℓ드럼용 처분고가 대략 32개, HIC용기용 처분고가 대략 5개, 콘크리트용기 처분고가 대략 3개가 필요한 것으로 분석되었다. 처분고 증설개념은 전체 처분고의 소요갯수와 폐기물의 예상발생시점 등을 종합적으로 고려하여 1차 처분대상폐기물의 소요 처분고는 200ℓ드럼용 7개, 콘크리트용기용 3개, 초고압 재포장드럼용 10개 즉 총 20개의 처분고를 운영하는 것으로 선정하였다. 반면에 2차 및 3차 처분시설에 필요한 처분고 갯수는 1차 처분대상폐기물의 잔여분 물량과 추후 예상 발생량 등을 분석하여 200ℓ드럼용 10개, 초고압 재포장드럼용 10개를 각각 운영하는 것으로 선정하였고, 운영 폐기물에 대한 최종 4차 처분시설에 필요한 처분고는 200ℓ드럼용 5개, HIC용기용 5개, 초고압 재포장드럼용 5개를 운영하는 것으로 선정하였다.

전체처분시설의 효율적인 배치방안 선정을 위해서 4가지 배치방안 즉 한구역에 80만드럼 모두를 일괄처분, 40만드럼씩 2개 구역으로 분할처분, 20만 드럼씩 4개 구역으로 분할처분, 10만드럼씩 8개의 지역으로 분할처분하는 방안들에 대한 특성을 검토하였다. 각 방안들에 대하여 방안별 소요면적, 부지 폐쇄시 소요 체적, 분할 배치방법과 일괄 배치방법의 일반적인 특성비교 등을 분석하였으며, 분석결과로부터 전체 처분시설배치는 운영폐기물 40만드럼과 해체폐기물 40만드럼을 각각 별도의 두 구역에 분리하여 처분하는 개념을 선정하였다. 최종적으로 선정된 전체처분시설의 배치개념도는 그림 3에 나타낸 바와 같다.

5. 배수계통 개념설계

5.1 배수방안분석

효율적인 배수계통 설계를 위해 크게 다섯가지 방안에 대한 분석을 수행하였다. 즉, 지하점검로 설치필요성, 지하점검로의 위치, 지하점검로내 공기조화 방법, 처분고내 침투수 배수방안, 처분고 운영전 처분고내로 유입된 강수의 배수방안을 분석하였다.

지하점검로 설치필요성 여부에 대한 분석에서는 점검로이외의 대안으로 처분고 외벽에 방수 및

배수층을 설치하는 방안, 처분고 바닥에 특수 배수층 및 침투수 수집관을 설치하여 침투수만을 별도로 수집,관리하는 방안 그리고 처분고 하부 점검로는 설치하지 않고 처분고의 한 군을 기준으로 주점검로만 설치하여 운영하는 방안에 대한 장단점분석을 수행하였다. 분석결과 처분고별 침투수 관리를 원칙으로 처분고 하부 점검로를 설치하는 개념이 바람직한 것으로 판단되었다.

지하점검로의 위치선정을 위해서 처분고 두 열사이에 점검로를 설치하는 방안과 각 열별 처분고의 하부에 점검로를 설치하는 방안에 대한 경제성, 운영성, 안정성분석을 수행하였으며, 분석결과로부터 지하점검로위치는 처분부지의 지질특성에 대한 상세정보가 미비한 현 시점에서는 각 처분고 중심하부에 지하점검로를 설치하는 방안 선정이 적합한 것으로 판단되었다.

지하점검로내 공기조화의 목적과 기능, 처분고내 발생가능한 기체의 특성, 부유방사능 발생여부 등을 종합적으로 검토한 결과 지하점검로내로 방사성기체가 유입될 가능성이 없고, 단지 폐기물 및 폐기물 용기의 부식에 의한 수소, 메탄 및 이산화탄소 기체가 유입될 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 이들 기체는 점검로내 침투수 집수관을 통해 배기될 수 있기 때문에 환기를 위한 구역구분 및 부압에 의한 공기조화보다는 신선한 공기만을 공급하는 것으로 선정하였다.

처분고내 침투수 배수방안 분석결과로부터 처분고내부로 유입된 유입수는 중력배수개념에 따라 처분고바닥판으로 집수하며, 처분고바닥판은 "V"자형의 구배를 주어 침투수가 처분고 중앙으로 배수되도록 하는 개념을 선정하였다. 아울러 처분고 운영전 처분고내로 유입되는 강수의 배수방안으로는 저투수성 콘크리트 상부면의 배수경사를 따라 지하 점검로내 별도의 배수관을 통해 배수하도록 하는 개념을 선정하였다. 배수된 강수는 오염여부를 검토할 필요성이 없기 때문에 부지내의 일반 배수계통과 연계하여 배수하는 방안을 선정하였다.

5.2 배수계통규모

배수관의 필요한 직경 산정을 위해 임의부지의 년평균 강수량, 월별 강수량, 최다강수량 및 처분고 증설계획 등을 토대로 관수로의 유량공식과 Manning공식을 적용하였다. 분석결과들을 참조하여 운영전 처분고의 강수배수를 위해 필요한 배수관의 직경은 안전율(15%)을 고려하여 주 점검로의 배수관 직경은 약 30cm, 처분고 중앙하부 점검로의 배수관 직경은 22cm로 선정하였다. 침투수 배수관의 경우 배수관의 막힘현상 방지와 단위 처분고의 최종덮개 유실시 보수기간 및 월별 최다 강수량 등을 고려하여 배수관 직경은 8.5cm로 선정하였다.

처분고내에서 배수된 침투수는 최종적으로 집수.저장한 후 감시와 분석을 통해 처리여부 및 방류를 결정하여야 하며, 이를 위해 저장탱크가 설치되어야 한다. 침투수 저장탱크용량은 침투수 발생예상량, 처분고 폐쇄후 덮개 유실에 의한 강수의 유입예상량 및 유지보수기간 등을 종합적으로 고려하여 100톤 용량의 저장탱크를 2개 설치하여 운영하는 것으로 선정하였다. 탱크규모와 형태는 지하 점유공간(특히 높이) 및 펌프수위를 고려하여, 내부제원을 5m(가로)x5m(세로)x4m(높이)로 선정하였고, 내부 lining 및 방수처리된 콘크리트 재질을 사용하는 것으로 선정하였다.

점검로는 운영자가 지속적으로 출입하여 감시하고, 시료 채취조에 모여진 시료를 채취하며, 필요시 내부 보수작업 등이 수행된다. 점검로 내부의 배관, 벽체고정 여유공간, 시료 채취조, 전원케이블의 하우징, 작업자 공간, 조명시설공간 등을 고려하여 점검로 내부단면은 2m(폭)x2m(높이)로 선정하였다. 점검로의 길이는 시설 배치계획을 토대로 10만드럼 규모의 경우 516m, 40만드럼 규모의 경우 2,064m이다. 처분고 하부 점검로 내부에는 PVC 재질의 내경 8.5cm의 침투수 배관, 내경 22cm의 강수배관, 10리터 용량의 시료 채취조가 설치되며, 각종 배관은 설치 작업시 기울기 조정이 가능하도록 하여 벽체에 부착한다.

이상의 배수계통 개념을 토대로 전체 처분시설의 배수 개념도는 그림 4에 나타내었다.

6. 취급계통 개념설계

6.1 취급방안분석

폐기물을 처분고내에 안전하게 적재하기 위한 취급계통 개념설계를 위해 여러 대안, 즉 취급을 위해 Movable Building의 설치 필요성 여부, 취급설비분석, 취급설비 운전방식, 취급공정 라인수에 대한 방안분석을 수행하였다. Movable Building의 대안분석에서는 처분고별 덮개를 설치하는 방안, Gantry Crane이외의 크레인을 이용하는 방안, 처분고 벽에 천장크레인과 가드 레일을 설치 운영하는 방안등에 대한 장단점을 분석하였으며, 각 방안에 대한 분석결과 운영중 강수에 대한 대비 및 안전한 적재를 위해 Movable Building을 사용하는 방안이 타당한 것으로 분석되었다.

취급설비분석에서는 취급대상 용기의 종류 및 특성, 년간 취급용량 및 작업주기, 처분조건(기후,온도,습도등)에서의 적합성, 관련설비 개발 및 이용현황, 처분고 뒷채움시 이용가능성, 용기회수 필요성, 정상운전 및 보수유지중 개인 피폭선량, 계통 운영 및 사고로 인한 환경에 미치는 영향, 설비의 신뢰성 및 산업 안전성, 사고 확률 및 사고 종류, 유지보수 시간 및 비용, 설치비 및 운영비 등을 분석하였으며, 분석결과 주 취급설비는 크레인으로 하고 단 크레인 취급이 곤란한 사각콘크리트 용기만 지게차를 이용하여 취급하는 개념으로 선정하였다.

취급설비 운전방식의 경우 사각 콘크리트 용기는 그 량이 매우 제한적이고 추후 발생하지 않는 용기임을 감안하여 수동방식으로 선정하였다. 기타 용기의 경우 크레인 취급을 원칙으로 크게 수동운전방식, 완전자동운전방식, 반자동운전방식으로 구분하여 건설비용 측면, 유지보수측면, 취급측면, 사고안전성측면 등을 분석하였으며, 분석결과 크레인 운전은 취급폐기물 용기종류가 다양하고 단일종의 용기로 표준화하기 어려운 현 여건에 적합한 반자동식으로 선정하였다. 처분시설 취급기준 용량은 년간 인수용량을 기준으로 균등하게 처분할 경우 일 36드럼, 주 171드럼, 월 707드럼으로 분석되었다. 운반주기를 기준으로 처분할 경우에는 취급량은 일 55드럼, 월 1061드럼이다.

취급물량과 처분 분류기준, 처분고의 종류 및 처분시설운영계획을 토대로 운영용이성측면과 투자비측면을 고려하여 취급 공정 라인수를 분석한 결과, 200리터 및 재포장 드럼 처분고의 경우에는 각각 별도의 취급공정라인을 설치하고, 콘크리트 용기 처분고의 경우에는 일정량의 물량이 확보된 후 처분하는 방안이 합리적인 것으로 분석되었다. 또한, 2개의 취급공정 라인수를 토대로 처분시설의 작업주기를 분석한 결과, 작업물량, 작업인원 및 작업속도를 고려하여 200리터 및 재포장 드럼 처분고의 작업주기는 각각 2일 주기로 운영하는 것으로 선정하였다.

6.2 계통설명

폐기물 취급계통은 취급대상 용기 4종, 운반용기 3종, 200리터 드럼 취급크레인 1대, 재포장 드럼 취급크레인 1대 (원형 콘크리트용기 취급공용) 및 사각 콘크리트용기 취급지게차 1대로 구성된다. 취급대상 용기는 200리터드럼, 재포장드럼, 원형콘크리트용기 및 사각콘크리트용기로 구성한다. 운반용기는 운반용기I, II, III으로 구성하며, 운반용기I은 단위드럼 표면선량율이 0.2mSv/h이하, 운반용기II는 표면선량율이 0.2 2mSv/h, 운반용기III은 표면선량율이 2 10mSv/h인 폐기물운반에 각각 사용된다. 지게차는 사각콘크리트 용기를 취급하며, 취급단수는 2단이고, 처분고내의 최저단부터 우선적으로 정치한다. 지게차는 정격하중 7.5톤, 최대인상높이 3.015m, 앞경사각 6°, 운전석은 납유리로 차폐한 지게차 1대를 사용한다. 크레인은 운반용기 덮개 개폐 및 처분대상물의 정치작업 등에 이용하며, 취급용량은 10톤 2대를 사용하고, 주행속도는 20m/분 이하, 횡행속도는 10m/분 이하, 권양속도는 10m/분 이하이며, carbon steel재질로, 반자동, PLC, swing방지기능이 포함되며, limit switch가 부착된다. gripper는 200리터 드럼, 재포장드럼, 원형콘크리트용기(C1,C2,C3), 원형콘크리트용기(C4)의 각각에 대하여 취급 gripper를 1종씩 두며, 운반용기 덮개 개폐용을 겸용하여 사용한다. 강제드럼 취급용은 공압에 의한 취급을 병행하고, 확인을 위한 각종

sensor를 부착한다. Movable Building의 높이는 처분고높이, 필요인양높이, 용기높이, grappler순높이, 인양장비높이, girder와 인양장비 이격거리, girder높이, 트롤리 및 트롤리 빔, 트롤리 보수공간, 지붕공간을 고려하여 17.6m로 선정하였다. Movable Building의 폭은 처분고 폭, 처분고와의 좌우측 이격거리, H-beam소요공간, 차량과 처분고와의 이격거리, 차량 점유폭, 크레인 작업여유공간, 보수 및 운영자 통로, 유틸리티 설치공간을 고려하여 32.0m로 선정하였다. Movable Building의 전체길이는 처분고의 길이, 처분고와 movable building 이격거리, 사다리 설치공간을 고려하여 24.0m로 선정하였다. Movable Building에 의한 폐기물 취급개념도는 그림 5에 나타낸 바와 같다.

7. 폐쇄설계

7.1 폐쇄의 구성

천층처분시설의 폐쇄는 단위처분고 폐쇄와 부지폐쇄로 구성한다. 단위처분고폐쇄는 1년 단위로 수행하며, 처분고덮개의 철근조립 및 가공을 위한 콘크리트 상부슬래브설치, 처분고덮개의 철근배근 및 조립, 콘크리트 타설, 마감시공, 결함 및 파손부분의 보수, 방청 및 방수작업의 순서로 수행한다. 부지폐쇄는 처분부지내 모든 처분고의 운영작업종료이후에 수행하며, 운영 및 취급장비 철거 및 해체, 처분고 주변 결함 및 파손부분의 보수, 방청 및 방수작업, 처분고 주요시설점검 및 보수, 처분고 측면 뒷채움 시공, 처분고 상부면 다층 복토 시공 등의 순서로 수행한다. 처분시설의 부지폐쇄는 국외처분시설현황[4]과 관련법규[5,6]를 근거로 다층복토 개념을 적용하였으며 다층복토층은표면토, 배수층, 방벽층으로 구성하였다.

7.2 다층복토층의 개념설정

7.2.1 표면토

표면토는 방출수(Runoff)처리, 증발량(Evapotranpiration)의 최대화, 침식의 최소화, 식물, 동물, 인간의 침입 최소화 기능을 가진다. 이러한 기능을 만족할 수 있도록 표면토는 크게 상부층(Topsoil)과 하부층으로 구성하였고 하부층은 다시 충전층과 보호층으로 구성하였다. 보호층은 동식물의 침입을 막는 역할을 하고, 충전층은 건조시 식수뿌리에 수분을 공급하는 역할을 한다. 표면토의 후보재료로 원토와 자갈 또는 쇄석의 혼합재료와 인조합성재료들에 대한 장기건전성측면, 재료의 설계수명기간, 경제성측면 등을 분석한 결과를 참조하여 상부층은 처분시설의 장기적인 안전성, 재료의 경제성, 시공성 측면을 고려하여 원토를 사용하고, 충전층은 원토와 자갈의 혼합재료를 사용하며, 보호층은 자갈과 쇄석의 혼합재료를 사용하는 방안을 선정하였다. 표면토 상부면과 처분시설 바닥면은 사면으로 연결되며, 사면경사는 원지반 경사를 고려하여 2:1경사로 선정하였고, 사면경사시점은 처분고 측벽 상부로부터 6m지점이다. 표면토 상부면에는 침식방지를 위해서 식수를 두며, 표면토 상부면과 처분고 바닥면을 연결하는 사면부분의 침식방지를 위해서는 부지정지작업과정에서 발생한 암반쇄석을 사용한다. 표면토 상부층 두께는 국내토양 표면층의 동결주기, 습윤/건조사이클, 미국의 천층처분시설에 대한 경험적인 연구결과[3]를 참조하여 국내산악지역의 기후조건 등을 고려하여 200cm로 선정하였고, 보호층과 충전층은 각각 50cm두께로 선정하였다.

7.2.2 배수층

배수층의 기능을 만족할 수 있도록 배수층은 물의 수두조절을 위한 수직배수층과 배수층에 유입된 물이 처분고 주변 방벽층에 유입되는 것을 제한시키는 차수층으로 구성한다. 국외사례검토 결과와 후보재료들에 대한 재료비, 구조안정성측면, 배수 및 차수 측면등을 비교 분석한 결과로부터 배수층과 차수층은 2중 차수 및 배수개념을 적용하였으며, 하부 배수층은 50cm의 모래층과 아

스팔트층으로 구성하였고, 상부 배수층은 50cm의 모래층과 인조합성지반 방수 재료층으로 구성하였다. 상부 차수층은 표면토 상부면과 동일하게 대략 3.5%의 경사를 가지며, 하부 차수층은 3.0%의 경사를 가진다.

7.2.3 방벽층

방벽층은 배수층과 처분고사이에 설치되는 층으로써, 이 층에 도달한 유입수가 처분고로 침입하는 것을 최소화하고, 계획된 배수로를 통하여 원활한 배수가 될 수 있도록 유도하는 기능을 가진다. 이러한 기능을 만족할 수 있도록 방벽층은 처분고 상부면에 위치한 복토 방벽층과 처분고 측면뒷채움으로 구성한다. 방벽층 후보재료로 벤토나이트 혼합재, 불투수성 단일점토, 점토와 모래의 혼합재, 점토와 제올라이트와 같은 활성탄의 혼합재, 점토와 원토 또는 굴착 모암의 폐석 혼합재를 사용하는 방안에 대해서 각 재료들의 특성분석 및 재료비, 시공성, 국내산출현황, 소요물량 등을 비교분석하였으며, 분석결과를 토대로 방벽층 재료는 모래 또는 원토의 벤토나이트 혼합재료를 사용하는 방안으로 선정하였다. 이 혼합토는 벤토나이트 함량에 따라 활성도 및 다짐특성, 소요재료비 등이 달라지기 때문에 국내생산재료에 대한 혼합재의 실험적인 연구결과[7]를 참조하여, 처분고에 인접한 방벽층은 벤토나이트 20%, 모래 또는 원토 80%를 혼합한 재료를 사용하고, 처분고로부터 원거리영역은 모래 또는 원토를 사용하는 것으로 선정하였다. 복토방벽층 두께는 방벽층으로의 유입수량, 방벽층의 재료 및 투수성, 처분고 상부의 방사선량 등을 종합적으로 고려하여 판단될 사항이지만 처분고별 높이차이와, 시공측면을 고려할 때 대략 2.1m 2.7m두께를 갖는다.

7.3 폐쇄개념도

다층복토층의 폐쇄개념상세도와 40만드럼분 전체처분시설의 부지 폐쇄개념도는 각각 그림 6과 그림 7에 나타낸 바와 같다.

8. 결론

본 논문에서는 국내 방사성폐기물 천층처분시설에 대한 개념설계를 수행하였다. 이를 위해서 처분구조물과 배수계통, 취급계통 등 계통별로 적용가능한 방안들에 대하여 대안분석을 수행하였으며, 분석된 결과를 토대로 구조물과 계통의 규모를 도출하였고, 처분고 배치계획과 폐쇄계획을 수행하였다. 본 개념설계로부터 도출된 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 단위 처분고의 단면은 20m x 20m이며, 높이는 200리터드럼용 처분고의 경우 8.1m, 재포장드럼용 처분고의 경우 8.5m, 콘크리트용기처분고의 경우 8.7m이다.
2) 1차 처분대상폐기물의 처분고는 총 20개로써 년간 2개의 처분고를 별도로 운영한다.
3) 처분고의 초기 건설규모와 증설주기는 5년분이며, 2열식으로 배치운영한다.
4) 강재드럼용기 처분고는 각 단의 폐기물정치작업후 콘크리트 그라우팅작업을 수행하고, 콘크리트용기처분고는 2단의 폐기물정치작업이후 모래와 자갈혼합재를 사용하여 내부뒷채움한다.
5) 처분고바닥판은 저투수성콘크리트층과 다공성콘크리트층을 설치하며, 침출수의 원활한 배수를 위해서 2 3%의 중앙집중식 배수경사를 둔다.
6) 처분고내 폐기물 정치작업은 Movable Building내부에 설치된 크레인의 원격조작에 의하여 수행하되, 사각 콘크리트용기의 경우에는 지게차를 이용한다.
7) 처분고로부터 방출되는 침출수는 일반강수와 별도로 집수관리하도록 관망을 구성한다.
8) 처분고중앙하부에는 내경 2m x 2m의 처분고하부점검로를 두며, 점검로에는 직경 8.5cm의 침투수배관과 직경 22cm의 강수배관, 각종 전력케이블을 설치한다. 처분고하부점검로는 주점검로

와 연결되며, 주점검로입구에는 100ton용량의 침투수 저장탱크와 공기조화 설비 등을 설치한다

9) 단위처분고 운영작업이 종료되면, 콘크리트상부슬래브를 타설하여 처분고는 Monorith화 한다.

10) 동일부지내 모든 처분고운영작업이 종료되면, 다층복토의 개념을 적용하여 부지폐쇄작업을 수행한다. 다층복토는 표면토, 배수층, 방벽층으로 구성한다.

본 개념설계결과는 국내 중저준위 방사성폐기물처분을 위한 천층처분시설에 활용될 수 있다. 그러나 본 개념설계는 부지의 특성을 배제한 상황에서 수행되었기 때문에 처분부지가 확보되면, 처분부지의 지형과 지질특성에 적합하도록 일부 개념을 변경·수정하여야 할 것이다. 또한 신기술 개발과 더불어 폐기물특성이 달라지거나, 방벽재료의 개발이 선행될 경우에는 이를 고려한 설계개념이 추가반영되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 한국원자력연구소 부설 원자력환경관리센타, "저준위폐기물 영구처분시설건설을 위한 기본설계요건분석," KAERI-NEMAC/PR-32,1993
2. 건설부, "콘크리트표준시방서" 1992
3. P.D. Meyer, M.L. Rockhold, W.E. Nicholas, G.W. Gee, "Hydrologic Evaluation Methodology for Estimating Water Movement through the Unsaturated Zone at Commercial Low Level Radioactive Waste Disposal Sites," NUREG/CR-6346 PNL/10843, 1996
4. IAEA, "Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facilities," Proceedings of a Symposium, Vienna, p.601, 1996.
5. 한국원자력안전기술원, "방사성폐기물관련 기술기준설정을 위한 연구," KINS/GR-118, pp.21 73, 1996.
6. IAEA Safety Series No. 111-G-3.2, IAEA Safety Standards(Draft) - Design, Construction, Operation, and Closure of Near Surface Repository, 1996.
7. 과학기술처, "부지특성 및 구조물의 안전성평가연구 - 점토질혼합재의 역학적 특성연구,: KAERI-NEMAC/RR 61/92, pp. 3.1 3.104, 1992.

표 1. 1차 처분대상폐기물의 특성

분류	용기형태	처분량 (드럼)	구성비 (%)	제원 (m)	용기체적 (전체)(m^3)	체적비 (%)	무게
1군	원형콘크리트	400	0.5	Φ1400 x h1300	2.001(800)	2.6	5.0ton
		1,480	1.7	Φ1100 x h1300	1.235(1,779)	5.7	3.5ton
	사각콘크리트	820	1.0	1460x1460x1180	2.515(2,063)	6.6	5.0ton
2군	200리터드럼	41,400	48.8	Φ617x h887	0.265(10,980)	35.2	105 400kg
3군	재포장드럼	40,600	48.0	Φ713x h960	0.383(15,562)	49.9	250kg
총량		84,700	100.0		(31,184)	100.0	

표 2. 1차 처분대상폐기물의 운반용기

분류	포장물의 표면선량율	기준	운반용기제원 (w)x(ℓ)x(h) (m)	차폐두께 (철기준)	총 용기수량(1차)	폐기물적재 (행x열x단)
I	0.2mSv/h이하	별도차폐 필요없음	2.4mx6.0mx2.6m	-	46,900	3x8x2
II	0.2 2mSv/h	접촉취급가능	2.52mx2.76mx2.2m	6cm	28,100	3x3x2
III	2 10mSv/h	원격취급요함	2.12mx4.1mx1.3m	10cm	9,700	2x5x1

표 3. 1차 처분시설의 소요 처분고 단면 및 처분제원

구 분		강재 드럼		콘크리트 용기		
		200ℓ 드럼	초고압재포장	사각	울진 C4	울진 C1 C3
처분고 높이		8.1m	8.5m	8.7m (혼합적재)		
처분고	폐기물용기배치	26줄x30열	23줄x27열	12줄x12열	12열x14줄	15열x18줄
	단위처분고용량	5,460드럼	4,347드럼	288Pack	혼합적재	
	소요갯수	7개	10개	3개		
	1차처분량	38,220드럼	43,470드럼	820Pack	400개	1,440개

표 4. 처분고내 뒷채움 시공개요

결정사항		200ℓ 드럼용	초고압재포장용	콘크리트용
처분고제원(외경)		20mx20mx8.1m	20mx20mx8.5m	20mx20mx8.7m
적재단수		7단	7단	사각 2단+원형 4단
뒷채움재료		무근콘크리트	무근콘크리트	모래+자갈 혼합재
뒷채움시기		각 단 적재후	각 단 적재후	2단 적재후
뒷채움재료운반		레미콘	레미콘	8ton재하덤프트럭
뒷채움시공장비		콘크리트펌프카, 면고르기장비	콘크리트펌프카, 면고르기장비	컨베이어장비(외부)/ Crane,Bucket(내부)/ 면고르기장비
뒷채움물량	각단	149.5m^3	144.6m^3	63.8m^3(사각)/ 133.1m^3(원형)
	최종단	221.7m^3	180.7m^3	303.1m^3(2단 적재물량)
뒷채움 시공기간	각 단	3일(양생기간포함)	3일(양생기간포함)	2일(설비설치/ 회수)
	처분고당	21일(덮게시공전)	21일(덮게시공전)	14일(덮게시공전)

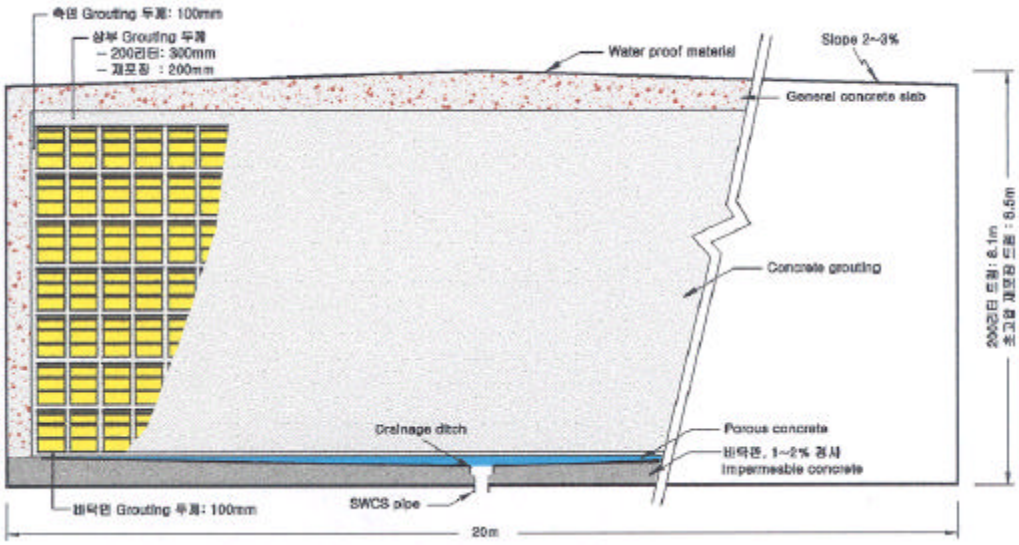

그림 1 강재드럼용 처분고의 단면개념도

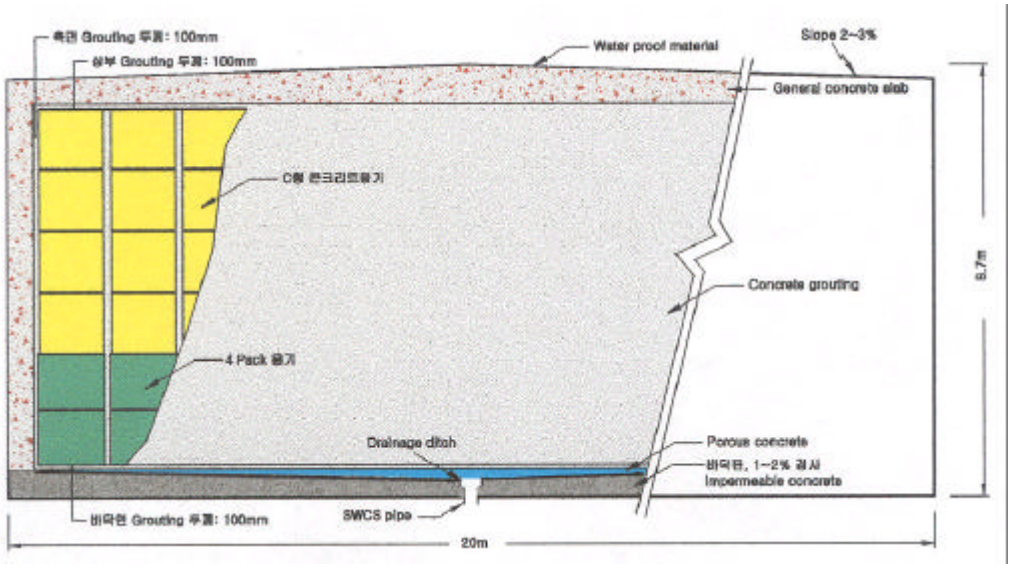

그림 2 콘크리트용기용 처분고의 단면개념도

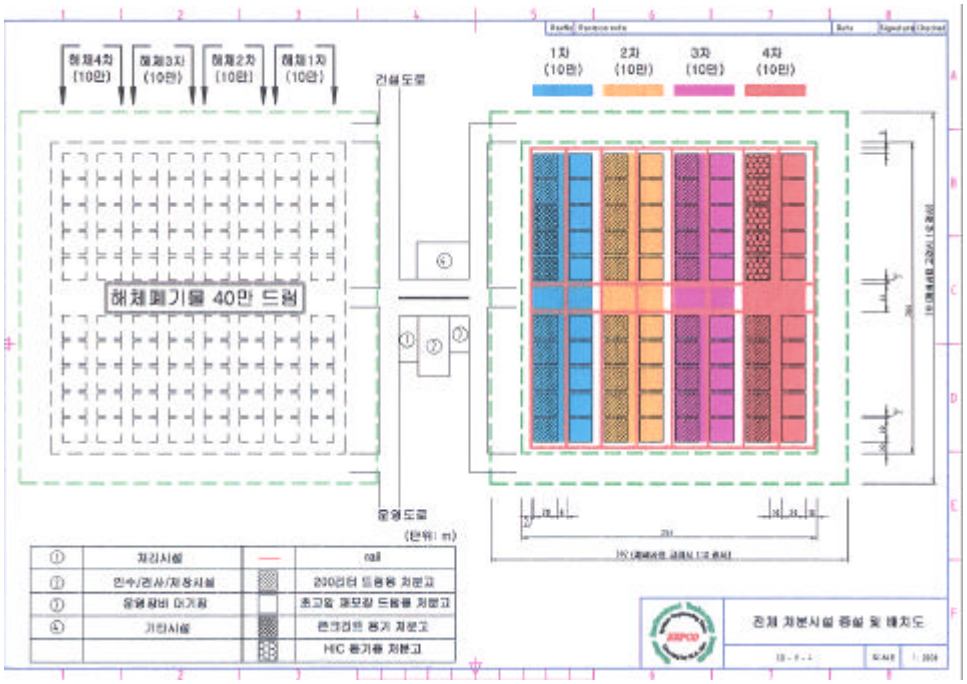

그림 3 전체 처분시설의 배치개념도

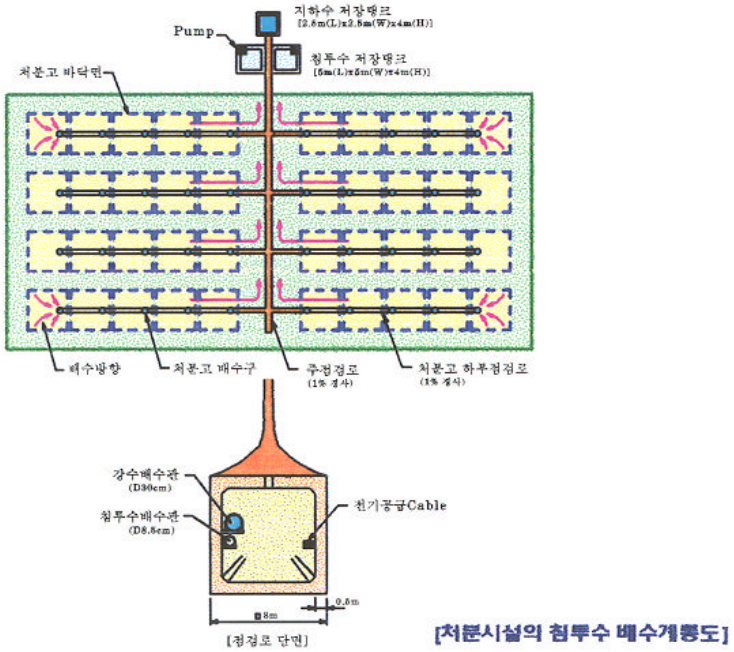

그림 4 처분시설의 침투수배수 개념도

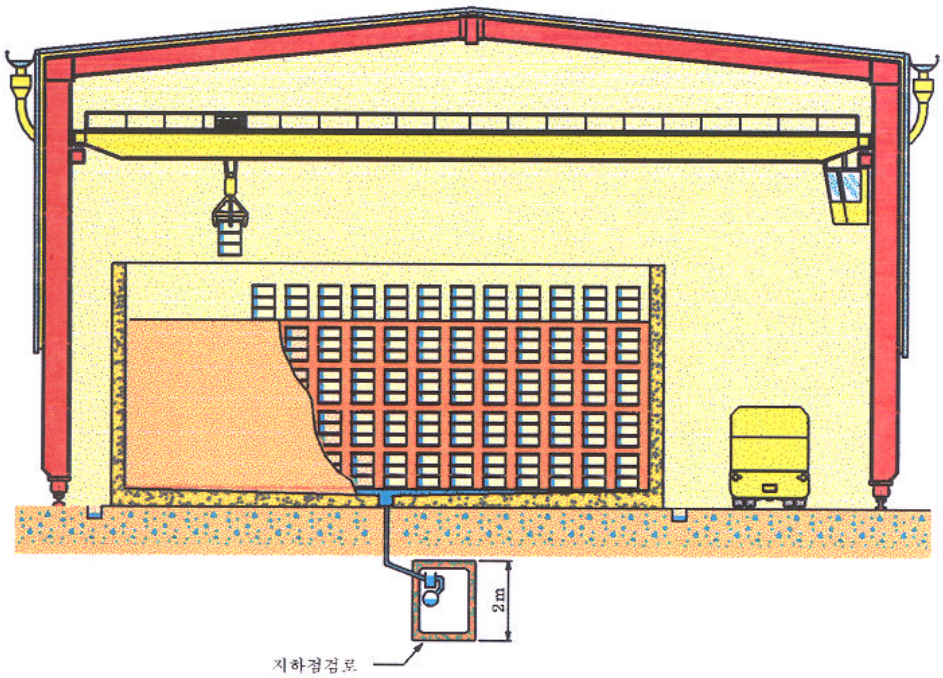

그림 5 처분고내 폐기물취급개념도

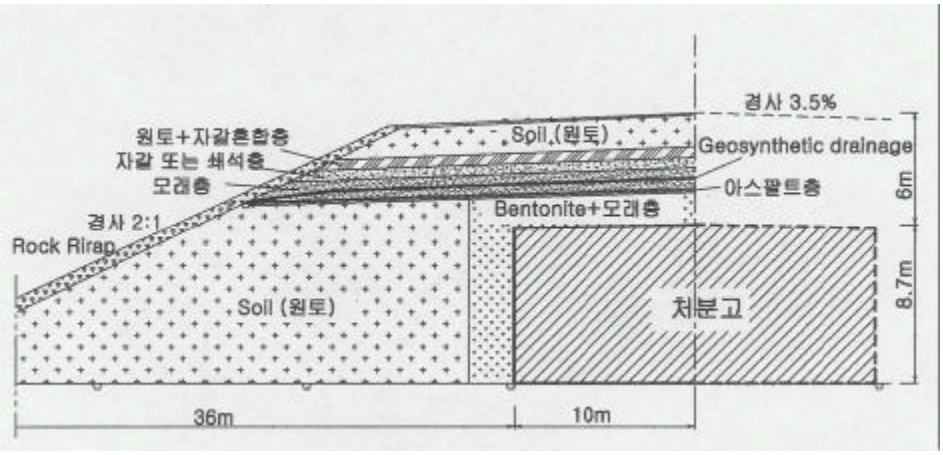

그림 6 다층복토층의 폐쇄개념도

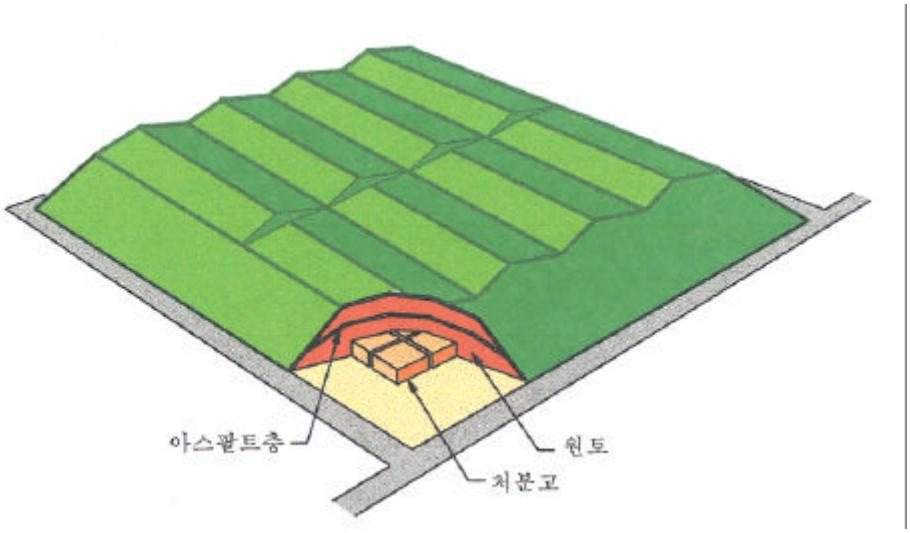

그림 7 40만 드럼 처분시설의 부지폐쇄개념도