

美國 高準位廢棄物 處分計劃

— 法制화에 앞서 暫定技術基準 作成 —

美國에서는 현재 高레벨放射性廢棄物의 처분을 위해, 이에 관한 법규, 기준의 작성이 체계적으로 행해지고 있다. 이 高레벨방사성폐기물의 처분에 있어서 기본이 되는 것은 1982년에 미국 상하원을 통과한 原子力廢棄物政策法(Nuclear Waste Policy Act of 1982)으로서(同法은 1981年1月7日 發効), 이것을 기초로 하여 환경기준은 環境保護廳(EPA)이 작성하고, 處分の 구체적인 실시기준의 작성은 原子力規制委員會(NRC)가 담당하고 있다. NRC에서는 구체적인 처분장의 설계기준을 10 CFR Part 60에서 규정하고 있다.

한편, 미국에너지성(DOE)은 NWTS 프로그램(National Waste Terminal Storage Program : 國家廢棄物最終貯藏 프로그램)을 발표하여 處分을 실시, 지원하는 입장에서 法制화에 앞서 暫定基準의 작성을 하고 있다. NWTS 프로그램은 公衆 및 작업자의 건강과 안전의 보장, 환경의 보전을 목적으로 하여 高레벨방사성폐기물을 처분하기 위한 시설의 計劃, 建設에서 廢棄物搬入, 施設閉鎖에 이르기까지의 全期間을 통해서 적용할 수 있는 기준을 작성하는 것이다.

이 方針은 DOE/NWTS 시리즈(NWTS Program Criteria for Mined Geologic Disposal of Nuclear Waste)로서 다음의 네가지의 보고서에 정리되어 있다.

○DOE/NWTS-33 (1) : Program Objectives, Functional Requirements, and Systems Performance Criteria(1982年 3月).

○DOE/NWTS - 33 (2) : Site Performance Criteria(1981年 2月).

○DOE/NWTS - 33 (3) : Repository Performance and Development Criteria, Public Draft(1982年 7月).

○DOE/NWTS - 33 (4) : Waste Package Performance Criteria, Public Draft.

이들 지침은 법적인 효력은 가지고 있지 않으나, EPA와 NRC의 기준에 앞선 구체적인 기술지침이 되어 있다.

한편, 實際處分に 있어서는 그 認許可申請에 앞서서 處分사이트의 特性評價를 原子力廢棄物政策法과 10 CFR Part60에서 요구하고 있다. 그 중요한 것 중의 하나로 In-situ testing(原位置試驗)을 들고 있다. NRC는 1984년 9월 In-situ試驗의 기술적 내용에 대해서 Draft Generic Technical Position on In Situ Testing during Site Characterization for High-Level Nuclear Waste Repositories(1984年 9月)의 보고서를 제출하여, 處分사이트의 선정과 특성 평가를 위한 地下處分位置에서의 具體的實施概要를 기술하고 있다. 다음은 이들 보고서를 바탕으로 해서 美國에서의 處分計劃, 處分시스템, 處分場의 기술기준 및 in-situ試驗에 대한 紹介

〈表 1〉
處分計
劃

	美國에서의 處分實施日程	〈參考〉	日本에서의 地層處分技術開發日程
1982年	○原子力廢棄物政策法制定	(1984年)	○原子力委員會, 放射性廢棄物對策 專門部會 中間報告
1985年	○「最初の 處分場」을 위한 候補사 이트의 提案과 特性評價(DOE)		
1989年	○「두번째 處分場」을 위한 候補사 이트提案과 特性評價(DOE)		
1989年	○「最初の 處分場」建設許可申請에 대한 決定(NRC)		
1992年	○「두번째 處分場」建設許可申請 에 대한 決定(NRC)	(1995年)	○有効한 地層의 選定
1998年	○處分開始(DOE)	(2000年)	○處分豫定사이트와 選定 ○模擬固化體에 의한 處分技術의 實 證
		(2000年 以後)	○實固化體處分

이다.

〈表 2〉 1984年末, DOE가 提案한 處分場의
候補사이트

處 分 計 劃

表 1 에 原子力廢棄物政策法에 규정되어 있는
처분의 실시 일정을 나타냈다. 1984년말 DOE
는 表 2 의 6州 9個사이트에 관한 「環境影響評
價(案)」을 발표하였다.

이들 9個사이트중 Yucca Mountain(Neva-
da州), Hanford(Washington州) 및 Deaf Smith
(Texas州) 등 3個사이트를 가장 적합한 사이
트라고 하고, 그 다음 Richton(Mississippi州)
과 Davis Canyon(Utah州)을 바람직한 사이트
라고 하였다. 3個사이트가 정식으로 대통령에
게 제안되면, 그 特性評價가 1986년부터 시작
되어 완료하는데 4~5년이 소요된다고 하고 있
다.

DOE의 조사에 따르면 Nevada州의 Yucca
Mountain이 코스트, 건설, 조업의 용이성에서

州 名	사이트名	岩石種類
Washington州	Hanford	玄武岩
Nevada州	Yucca Mountain	凝灰岩
Texas州	Deaf Smith County	岩塩床
	Swisher County	〃
Utah州	Davis Canyon	岩塩床
	Lavender Canyon	〃
Mississippi州	Richton	岩塩 돔
	Cypress Creek	〃
Louisiana州	Vacherie	岩塩 돔

가장 바람직하며, Washington州의 Hanford가
放射能安全, 環境으로의 影響, 輸送이라는 면에
서 다음으로 좋은 사이트라고 하나, 이들 3個
사이트의 순위가 확정된 것은 아니다.

그리고 미국에서 處分の 규제는 NRC가 하
고, 그 처분장의 건설은 DOE가 실시하는 등
고래벨폐기물의 처분은 聯邦政府가 책임을 지

는 체제로 되어 있다.

참고로 1984년8월 일본의 「原子力委員會放射廢棄物對策專門部會」의 중간보고에 제시된 일본의 高레벨방사성폐기물의 地層處分技術開發計劃을 表 1에 併記했다.

處分시스템의 構成

地層處分の 시스템은 사이트, 처분장 및 폐기물 패키지 등 세가지의 系로 되어 있다. 放射性核種의 格納과 隔離는 가장 바람직하다고 선정된 사이트의 지하 수백미터 처분장에 폐기물 패키지를 定置함으로써 행해진다.

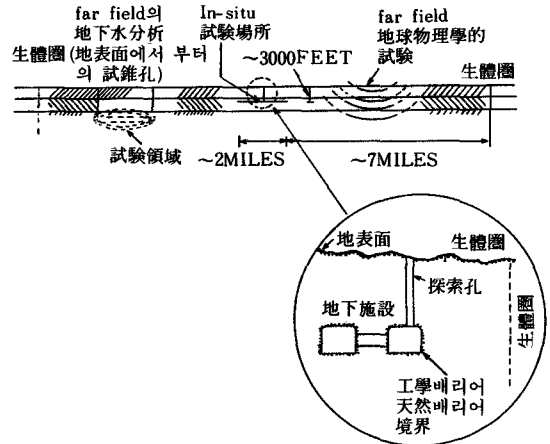
處分시스템 處分場은 工學배리어를 포함해서 모든 인공구조물로 정의된다. 처분장이란 폐기물이 定置하는 장소의 地表面이나 지하의 시설을 의미하며, 장기간에 걸쳐 폐기물을 격납하고 격리하는 기능을 가진다. 또 그 시설은 폐기물 패키지를 받아들이고 檢査, 定置準備, 定置할 수 있는 기능을 가진다. 이와 같은 처분장은 다음의 방법으로 長期格納, 隔離能力을 보장한다.

(1) 廢棄物の 定置와 꺼냄, 試錐孔·立坑의 掘鑿 등이 천연 및 인공시스템의 格納, 隔離能力에 주는 영향을 억제할 것.

(2) 密閉材나 백필材와 같은 工學배리어系의 사용에 의해 處分시스템의 自然格納, 隔離能力의 減衰를 억제할 것.

또 NRC는 工學배리어系를 固化패키지와 지하시설로 정의하고 있다. 전체의 處分시스템은 處分場에서 부터 生體圈으로 영향을 미치는 방사성핵종의 방출과 移行에 대해 여러가지 형태의 배리어로 억제하고 있다. 그림 1에 處分場과 生體圈에 영향을 미치는 환경사이의 관계를 概念的으로 표시했다. 한편 處分시스템의 年代的인 관리를 고려할때, 다음 세가지의 期間으로 나누어서 생각하면 평가하는데 좋다고 하

〈그림 1〉 필드試驗의 模式圖



고 있다.

(1) 使用期間(Operational period)

處分場的 閉閉가 행해지고, 폐기물 패키지가 定置된다든가, 再回收할 수 있는 기간.

(2) 熱影響을 미치는 期間(Thermal period)

處分場이 폐쇄된 후 방사능레벨 및 열의 발생이 核分裂生成物(FP)의 붕괴에 의해 지배적인 기간.

(3) 熱影響後의 期間(Post-thermal period)

短半減期의 放射性核種(주로 FP)의 붕괴후에 오는 시기로서 악티노이드核種의 붕괴나 그 딸핵종에 의한 放射線障害(radiological hazard)가 지배적인 기간.

處分場의 技術基準

處分場的 技術기준에 대해 건설에서 부터 처분장 폐쇄까지의 각 단계로 나누면 다음과 같다.

(1) 設計段階

處分場은 地震, 颱風, 洪水 등의 자연현상에 대한 耐久性 뿐만아니라 廢棄物搬入時의 작업원 및 장기간에 걸친 公衆의 被曝線量을 되도록 최소한으로 하도록 방사선안전에 대해서도 충분히 배려된 설계가 행해져야 한다. 廢棄物

을 長期間格納, 隔離하기 위해서는 (a)廢棄物, (b) 密閉材(시일링材), (c) 母岩, (d) 近傍의 帶水層의 熱的影響에 대해서도 고려할 필요가 있다. 또한 火災, 爆發의 위험성을 없애기 위해서 人工構造物의 재료는 不燃材나, 難燃材의 사용이 바람직하다.

處分場內에서 사용하는 機器類에 대해서도 保守, 補修를 고려한 설계가 필요하며, 昇降裝置는 폐기물의 반입용, 작업원이나 자재의 운반용, 緊急避難용으로 나누는 것이 기대되며, 폐기물반입용은 汚染의 확대가 어려운 구조로 할 필요가 있다. 또 폐기물 패키지 자체의 밀봉 성능은 EPA가 정하는 環境基準 등을 고려해서 300~1,000년간 확보되어야 한다. 이것은 글래스固化體自身 뿐만 아니라 겔포장을 포함한 人工배리어의 성능도 규정하고 있다고 생각되며, 처분의 安全評價上 重要な 因子로 생각된다.

그리고 美國의 基準에는 臨界에 대한 記述이 있는데, 이것은 高레벨폐기물의 범주에 사용후 핵연료를 포함해서 취급하고 있기 때문이라고 생각되며, 日本에서는 高레벨글래스고화체처분에 있어서 이 항목은 큰 뜻을 갖고 있지 않다.

(2) 建設段階

掘鑿時의 먼지·미스트 등에서 작업원을 보호하고 또 안전작업상 일정 한도내의 작업온도를 유지하는 등 작업환경의 보전을 확보해야 하며 또한 바위의 破裂, 落岩, 火災, 洪水 등이 발생하였을때의 緊急時對策도 필요하다.

(3) 運轉段階

廢棄物의 반입에 앞서 필요에 따라 캐니스터의 表面線量率, 表面汚染密度 혹은 건전성 확인 등의 검사를 행함과 함께 필요할때는 겔포장 등을 하는 것도 고려된다. 또 운전기간중 처분시설의 시스템 성능을 확인하기 위한 모니터링도 필요하게 된다.

그리고 保障措置나 計量管理에 대해서는 처분장 폐쇄후 環境보존의 입장에서 FP 및 TRU

핵종을 포함해서 處分사이트 전체를 대상으로 한 새로운 개념(토탈인벤티리관리 등)의 구축이 필요하게 될 것이다.

(4) 閉鎖段階

處分시스템의 성능을 長期모니터링함으로써 公衆의 건강과 안전을 보장하는 것은 반드시 현실적인 것은 아니다. 그것은 처분장에 남겨진 기기의 신뢰성이 문제이다. 모니터링시스템 자체를 檢證하는 유일한 방법은 處分施設에 再入室하여 몇개의 폐기물 패키지를 꺼내서 확인하는 것이다. 그러나 이에겐 막대한 코스트가 필요하며 또한 폐기물의 취급이 작업원 방사선 피폭의 증대를 가져올 뿐만아니라, 사고발생이나 그 잠재적 증가와도 연관된다. 그외에 우물 또는 지표면 서베이와 같이 地上에서의 모니터링기술에 의해서도 對處可能하다.

In-situ 試驗

1. In-situ試驗의 目的

In-situ試驗은 探索孔의 掘鑿, 地下에서 側坑道の 掘鑿과 보링 및 처분사이트의 적합성을 결정하기 위해 필요한 깊이 위치에서의 시험이다. 原子力廢棄物政策法 및 10 CFR Part 60에 규정하고 있는 것처럼 處分사이트의 특성평가를 위한 in-situ試驗의 목적은 두가지가 있는데 (1) 廢棄物이 處分사이트에 適應可能한가 여부를 평가하기 위한 데이터를 얻는 것, (2) 處分場을 설계하고 그 성능평가를 하는데 필요한 原位置에 對해서 特性値를 얻는 것이다. 구체적으로는 (1) 母岩의 관찰과 그 성질(地下水壓, 透水壓, 應力, 溫度分布, 熱傳導度, 非連續帶分布, 地質構造 등)의 평가, (2) 處分場建設과 廢棄物定置에 따른 母岩 및 人工構造物이 처분성능에 주는 영향을 평가하는 것이다.

이 시험의 기간은 필요로 하는 隔離期間(美國에서는 1만년간)에 비해 단기의 한정된 기간



에서 행해지며 試驗場所도 한정되는데, 이 시험의 실시에 의해 母岩의 장기격리성능, 즉 母岩의 적합성을 개략적으로 입수할 수 있다고 생각된다. 그리고 앞으로는 安全解析모델에 의한 예측도 고려된다.

2. In-situ試驗의 概要

현재 제안되고 있는 In-situ試驗에는 最低限의 地質學的(geological), 水理學的(hydrological), 地球化學的(geochemical), 地質力學的(geomechanical)試驗 및 熱的-地質力學的-水理學的-地球化學的인 複合試驗을 들고 있다.

1) 地質學的 및 地球物理學的 試驗

○探索孔이나 地下의 掘鑿에서 바위의 試驗과 그 地質圖의 작성

○探索孔에서 水平, 垂直, 傾斜孔의 掘鑿이나 시험용 시료를 얻기 위한 굴착

○探索孔이나 地下掘鑿에서 얻어진 시료의 岩石學的 試驗

○地質上의 分布(連續帶, 非連續帶 등)를 결정하기 위한 地下에서의 地球物理學的의 試驗(抵抗測定, 雷波探知 등)이나 試錐孔에서 부터의 地球物理學的의 試驗(音波, 歪測定, 垂直地震에 의한 震動프로필, 試錐孔에서의 重力과 磁氣, 剪斷波의 관찰 등)

2) 水理學的의 試驗

○探索孔이나 地下掘鑿孔에서의 지하수 流入 포텐셜의 다음과 같은 항목 평가

a. In-situ試驗施設이나 探索孔에 근접한 곳에서의 불규칙적인 높은 水力抵抗帶의 존재를 檢知하기 위해 探索孔이나 地下試驗施設에서 부터의 긴 파일로트孔의 掘鑿

b. 坑道에 따른 破碎帶와 地下水流入帶의 표시와 그에 대응하는 계산한 流速의 相關

c. 더 필요하다면 地下水流入帶의 포텐셜을 구하기 위한 시험

○地下作業場에 근접하는 바위의 生成壓이나 地質力學上의 변화의 모니터링 및 原位置에서

의 水理學的, 地質力學的의 試驗이나 이에 따른 건설작업 등에 의해 誘因되는 변화의 평가

○母岩의 水理學上 파라미터(水力抵抗, 空隙率, 細孔水壓과 그 飽和量 등)의 결정

○龜裂內水流(fracture flow)나 擴散등에 의한 放射性核種의 移行을 평가하는 시험

3) 地質力學的의 試驗

○母岩의 性質(強度, 變形性)이나 그 파괴를 예측하는 시험

○地表面의 試錐孔에서 부터 추정된 應力과 의 비교에서 지하 開孔部 주위의 應力 분포를 適確하게 예측하기 위해 原位置에서의 應力測定

○處分場의 건설, 폐기물 패키지의 定置 및 꺼내는 實證

4) 地球化學的의 試驗

○母岩의 劣化와 移行特性을 조사하기 위한 시험

○溫度, 압력 등 물리적 파라미터의 측정

○核이 되는 바위의 화학분석과 모암 및 그 주위 岩層의 元素組成

○地下水의 化學分析

○鑛物相, 形態, 分布, 構造 등을 알기 위한 鑛物學的 및 岩石學的分析

○實驗室試驗을 위한 遲延因子나 스케일인자를 구하기 위한 트레이서시험

5) 熱的의 試驗

○處分場스케일에서 溫度效果를 모델링하여 캐니스터 스케일의 舉動을 모의에 의해서 구하기 위한 熱負荷試驗

6) 複合試驗

○熱的-水理學的-地質力學的-地球化學的의 相互作用을 模擬하기 위해 고려되는 니어필드시험

以上에서 기술한 여러가지 시험을 제안함으로서 NRC에서는 10 FCR Part 60의 요구를 만족하기 위한 In-situ試驗 프로그램으로서 어떤 시험을 하여야 하는가에 대해 DOE에 조언을 주고 있다.