本格的인 檢討가 必要한 時期

═高level 放射性 廢棄物의 処理문제═

開 發 部

1. 序 言

우리나라의 原子力 關係者는, 2000年까지 40余基의 原子力 發電所를 건설하면 世界에서도 손꼽는 원자력 발전국가가 된다.

그러나 여기에 수반해서 발생하는 방사성 廢棄物(특히 高레벨 폐기물)의 대책에 대해서는 아무도 책임있는 이야기를 하지 않고 있다. 아니, 하지 못하기 때문일지도 모른다. 즉,

① 既使用연료의 再処理를 미국에 위탁하고 있으므로 우리나라에서의 高레벨 방사성 폐기물의 排出이 當面에서는 거의 없다. 이것을 이유로 高레벨 방사성 폐기물의 처리 처분에 관한 연구가 미국, 서독, 프랑스, 영국을 위시해서 스웨덴까지도 활발하게 행해져 있다.

② 再処理 플랜트의 商業運転에 대해서는, 영국에서는 高레벨 방사성 廢液의 저장기술이, 프랑스에서는 硝子固化 기술이 이미 確立되어 있다.

③ 방사성폐기물의 최종 처분계획에 대해서는 스웨덴 등에서는 이미 獨自의 방법을 개발하여 地中 처분에 대해서도 精力的인 연구개발을 行하고 있다.

이와 같은 국제 상황에서 언제까지나 우리나라는 고레벨 폐기물 처리처분은 외국에서 해 주기로 하였으니 하고 이 방면에 대해서 졸고만 있어도 되는 것일까.

이와 같이 高레벨 폐기물의 처리·처분 시설이 없는 원자력 발전소는 마치 化粧室이 없는 맨션과도 같은 것이라고 어떤 사람은 비꼬고 있다. 外國技術 利用에, 習得期間이나 開發技術이 필요로 하지 않다면 그 時点에서 利用 가능한 기술에 의존한 開發利用 体制는 經濟合理性을 만족하게 하는 것이나, 그 前提가 成立하지 않는다고 하면 將來困難이 예상되고, 또한 成立된다면 現在의 국제정세下에서 우리나라의 종합戰略에 欠点이 있는 것으로서 이에 따라 영향이 많아지는 것도 事實일 것이다.

따라서, 以下의 방사성 폐기물 対策을 강화해야 한다는 입장에서 우리나라가 21세기로 향해 高레벨 방사성 폐기물의 처리처분에 대해서 어떠한 戰略을 取해 나가야 하는가에 대해서 생각해 보기로 한다.

2. 高레벨 放射性 廢棄物의 処理·処分에 대한 考察

(1) 基本的 考察

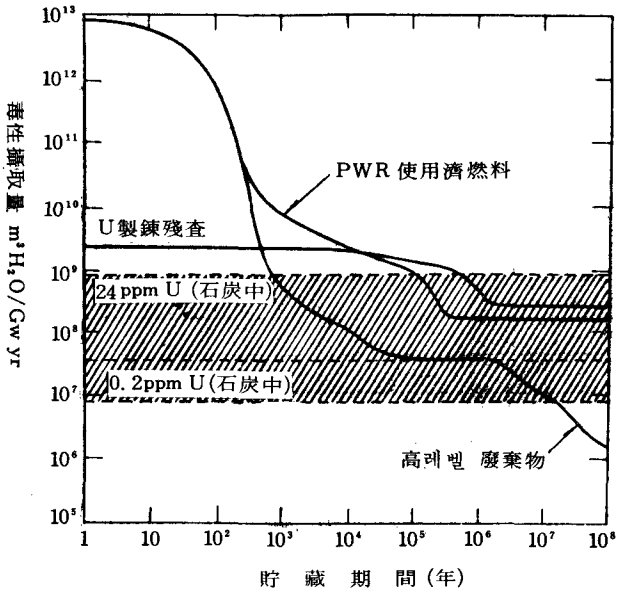
再処理 시설로부터 發生하는 高레벨 放射性폐기물은, 量的으로는 극히 적으나 半減期가 길고 또한 높은 방사능을 가지고 있으므로 환경 오염 방지의 見地에서 半永久的으로 生活圈에서 隔離시켜 안전하게 관리할 필요가 있다.

(2) 危險性에 대한 認識

일반적으로 石炭의 우라늄-238의 含有率을 0.2~24ppm(平均 1ppm)이나 있다고 하므로 같은 1,000 MWe의 PWR型 원자력 발전소와 石炭火力 발전소가 1년간 운전해서 발생한 방사성 물질(즉, 원자력 발전소의 既使用연료와 석탄재(石炭灰) 속에 있는 우라늄과 그 딸核種, 특히 라듐-226)의 毒性을 아래에서 비교해 본다.

그림 1은 이들의 발전소가 1년간 운전해서 발생한 방사성 폐기물(석탄재, 既使用 연료)의 섭취 毒性과 150日(0.41년)의 冷却期間을 거친 既使用연료의 再処理에 의해서 남겨진 高레벨방사성 폐기물의 攝取毒性을 비교한 것으로서 여기서

図 1 高레벨 放射性 廢棄物의 攝取毒性



다음과 같은 것들을 알 수 있다.

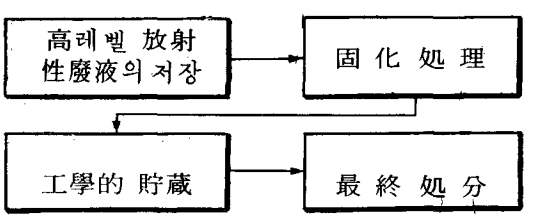
(i) 高레벨 방사성 폐기물의 섭취 毒性은 4년을 거치며 폐기우라늄의 그것보다 낮고, 우라늄 함유율이 24ppm인 석탄의 재(灰)의 그것과 거의 같은 水準이며, 또 數萬年을 겪으면 우라늄 함유율 1ppm의 보통 석탄재의 그것보다 낮아진다.

(ii) 高레벨 방사성 폐기물의 양은 폐기 우라늄이나 석탄재의 그것과 비교해서 훨씬 적으므로 취급은 容易하다.

여기서, 말하고 싶은 것은, 石炭火力 發電과 原子力發電의 優劣을 비교하는 것이 아니고 어느 것이나 방사성 폐기물 관리의 문제는 극히 중요하나 원자력 발전의 방사성 폐기물만을 덮어놓고 무서워하는 것은 不充分하다는 것, 특히 보관하기 쉬운 形으로 変換이 가능한 高레벨 방사성 폐기물인 경우, 이것을 減容해서 地上 保管이던 地中処分이던 隔離만 할 수 있다면 他의 물질(예를 들면 石炭재나 有毒한 鉱滓 등)보다도 인류에 被害를 주는 기회를 훨씬 적게 할 수 있다는 것이다.

(3) 処理施設의 安全性

현재, 생각되고 있는 가장 일반적인 高레벨 방사성 폐기물의 管理 프로세스는 다음과 같은 것이다. 즉,



각 단계마다 高레벨 방사성 물질을 包藏하고 있으나 高레벨 방사성 廢液의 저장에서 工學的저장까지의 프로세스는, 再処理 공장에서 경험하고 있는 것이다. 이 安全確保를 위해서는 多重防護의 思想이 채용되어야 할 것이다.

高레벨 방사성 폐기물 固化体의 地中処分과 같은 최종 처분의 경우, 固化体, 저장소의 工學조치 및 天然의 地質환경을 系統的으로 주의깊게 選定하면 이들의 여러 要素는 방사성 核種이 生物圈으로 방출될 때의 多重베리어(障壁)이 될 수 있다는 判斷이 있다. 이에 따르면 최종처분에도 일종의 多重防護方式의 応用이 可能하다고 할 수 있을 것이다.

超長期에 걸친 処分시설의 risk평가에 대해서 겨우 연구가 시작되었다. 여기에서의 문제는,「数万年以上 장래의 것을 정확히 予測할 수 있는가」라는 의문이다. 이에 대해서 解析者는, 데이터의 精度를 올린다던가 長期的인 地殻의 動特性 모델을 개발해서 여기에 따르려고 하고 있으나, 일반적으로는, 장래로 向한 지식은 점차로 不確実하게 되는 것은 부인할 수 없다. 그런데, 다행히도 毒性쪽도 他의 化學물질과는 달리 해마다 약해지므로 종합적으로는, 현재(0~300년 정도)의 risk의 不確定性과 먼 장래의 risk의 不確定性에는 그다지 差가 생기지 않는다고 지적해 두는 것은 중요한 것이다.

3. 処理技術의 現狀

(1) 固化処理 技術에 대해서

高레벨 방사성 폐기물을 안전하게 처리처분하는데는, 固化処理 기술의 확립이 필요하다. 그 기술로서는 硝子固化 처리법이 主流가 되고 있으며, 프랑스에서는 이미 実証工場을 가지고 있다. 그 외에, 近年 SYNROC라는 새로운 固化 기술법이 제안되고 있다.

(2) 工學的 貯藏技術에 대해서

高레벨 방사성 폐기물 固化体는, 최종 처분되기전에 工學的 저장시설에 보관된다. 工學的 저장의 기술에 대해서는 특히 문제가 없다고 생각된다.

(3) 最終処分 技術에 대해서

(i) 현재, 高레벨 방사성 폐기물의 최종 처분을 실시하고 있는 나라는 없다. 과거 수십년에 걸쳐서 세계 각국이 검토하며 제안된 최종 처분법은 表1에 표시하고 그 현상은 表2에 표시한다. 현재로서는, 陰地의 深地層 처분법(소위 地中처분법)법과 安定된 深海洋底의 地層処分 (소위, 海洋底 処分)과의 兩処分法이 유망하다.

(ii) 高레벨 방사성 폐기물은 固体된 후 어느기

表1 放射性 廃棄物의 最終処分法

	最終処分法※※	実用의 現狀		対象廃棄物	
		実用中	検討中	核種※	放射性레벨
陸地処分	地下浸透	○		FP, CP	低
	陸地保管(工學的貯藏)	○		全部	低, 中, 高
	淺地層地中埋設	○		FP, CP	低, 中
	地中圧入	○		FP, CP	低, 中
	地層処分 岩塩層		○	Act	高
	非岩塩層		○	Act	高
	極氷処分(南極)		○	FP, CP	高
海洋処分	沿岸放流	○		FP, CP	低
	海洋投棄	○		FP, CP	低, 中
	海洋底処分		○	FP, Act	高
宇宙処分	衛星軌道		○	Act	高
	楕円惑星軌道		○	Act	高
	其他(太陽系 脫出등)		○	Act	高

※FP는 核分烈 生性物, Act는 악티노이드를 각각 포함하는 廃棄物.

※※ 核変換에 의한 最終 処分法도 検討되고 있다.

表2 여러外國의 放射性 廢棄物 対策

國名	高 레 벨 対 策
미 국	高레벨 廢液은 發生後 5년 이내에 固化하고 10년 이내에 聯邦보관 시설에 引渡하는 方針. 경비는 發生者가 부담. DOE는 永久 처분법이 확립될 때까지 꺼낼 수 있는 地表저장 시설(RSSF)에 中間저장하기 위한 연구개발을 행하고 있다. 또 뉴멕시코州 南東部의 岩塩層에 永久처분의 파이롯트 시설을 1980년대 操業을 목표로 건설하게끔 評價計劃을 추진中
영 국	스테인레스 鋼製탱크는 高레벨 廢液의 저장에 충분히 견딘다고 생각하고 있으나 1980년대에는 모두 硝子固化시켜 工學的 저장시설에 보관할 계획, 또, 처분방법으로서는 深海底으로의 처분의 가능性을 검토中
서 독	高레벨 廢液은 5년 정도 탱크 저장된 후 固化, 固化프로세스는 아직 최종적으로 결정되지 않았으나 硝子의 비즈로 固化시킨 것을 金屬 matrix에 埋込하는 方式이 유망하다고 주목되고 있다. 岩塩層으로 처분할 계획
프랑스	高레벨 廢液은 CEA가 스텐레스鋼製 탱크에 저장. 장래는 硝子固化시켜 冷却式埋込피트에 보관하게끔 연구개발이 진행중
유 로 케 믹	高레벨 廢液을 假燒法에 의해서 固化한 貴金屬 matrix에 埋込시키는 技術開發을 行하기로 하고 固化物은 최종 처분法이 결정될 때까지 工學的 저장시설에 보관

간 工學的 저장 시설에서 冷却해 두게 된다. 이와 같이 해서 無害가 될 때까지 冷却시켜 가면 되는데, 현재의 생각으로서는 많은 나라가 途中에서 地中이나 海洋底 등에 処分해 버리며 人間의 管理의 時代를 끝내고 싶어하고 있으며, 또 이것이 기술적으로 가능하다고 판단하고 있다.

그런데 언제 地中処分으로 移行하는가에 대해서는 의견이 나누어지는데 국제적으로는 早期地中 処分의 쪽이 賛意를 얻고 있는 것 같다. 高레벨 방사성 폐기물이 원자력의 나쁜 象徵이며 이와 인연을 끊고 싶다는 氣分의 표현이기는 하나, 물론 고지식한 이유로서는 地上保管의 경우 시설을 지키지 아니하면 안되나 이것으로는 견디지 못한다는 것일 것이다.

이에 대해, 地中처분의 경우, 地中시설에서 생각되는 문제가 되는 外亂(예를 들면, 斷層活動, 火山活動, 人間의 地下資源 探索 활동 등)을 생각하면 오히려 人間이 管理할 수 있는 곳에 두는 것이 安全性이 높지 않을까, 만약 固化体内에 있는 貴金屬(예를 들면 프라티나)를 이용하고 싶을 때에 다시 꺼집어 내는데 곤란이 생기지 아니할까, 거기에 적당한 사이트를 선택하는데 어렵지는 아니할까, 등을 이유로 永久 地上管理쪽이 우수하다는 주장도 있다.

4. 우리나라가 取할 수 있는 戰略

本節에서는, 以上의 分析을 발판으로 우리나라의 高레벨 방사성 폐기물 처리처분의 목표를 時間的으로 다음과 같이 設定하고 싶다. 즉,

(i) 短期(현재부터 1990年代까지)
- 固化処理 技術의 確立

(ii) 中期(1990年代부터 2030年代까지)
- 安全한 最終処分法의 確立

(iii) 長期(2030年代 以後)
- 安全한 최종 처분법의 実証

이와 같은 목표를 달성하기 위해서는 우리로서는 다음과 같은 戰略을 취할 수 있다.

戰略A : 固化처리 기술의 확립+陸地의 深地層処分+國際協力

戰略B : 固化処理 기술의 확립+安定된 深海洋底의 地層処分+國際協力

戰略C : 固化처리 기술의 확립+地上保管(즉, 高레벨 방사성 폐기물 固化体의 工學的 저장).

(1) 戰略A에 대해서

(i) 固化処理 技術의 確立

前述한 바와 같이, 固化처리 기술의 확립은 안전한 高레벨 방사성 폐기물의 최종 처분에 있어

서 不可欠한 것으로서 우리나라는 早急하게 그 기술을 確立해야 할 것이다.

(ii) 陸地의 深地層 処分法

이 처분법이 현재로서는 主流가 되고 있다. 우리나라에는 炭塩層이 없으나 花岡岩層은 풍부하며 빠른 시기에 深層화강암体에 하나의 試驗的저장所를 만들고 그 実現가능성을 확인할 것이 우리나라에서 가장 필요한 작업일 것이다. 그러나, 우리나라는 좁은 國土에 밀도가 높은 人口를 가진 나라이므로 앞으로는 陸地의 深地層 처분에서는 立地難이 될 것도 예상된다. 그러므로 육지의 深地層 처분에 最低限 필요한 조건은 무엇인가라는 문제 의식을 항상 강하게 가져서 연구 개발에 임할 것이 필요할 것이다.

(iii) 國際協力

우리나라로서는 地層処分의 파이롯트・플랜트를 만드는데 필요한 데이터 베이스가 아직 없으므로 時急히, 深層花岡岩体를 대상으로 精力的으로 연구하고 있는 미국이나 스웨덴 사이에 연구협력을 생각할 필요가 있다.

(2) 戰略B에 대해서

(i) 固化기술의 확립

戰略A의 경우와 같게 말할 수 있다.

(ii) 安定된 深海洋底의 地層処分法

이 方式을 実現하려면 런던海洋條約의 改訂이 필요한데, OECD諸國, 특히 영국, 프랑스 등의 나라는 自國内에 적당한 地層의 선정이 어렵다고 생각하고 있으므로 특히 관심을 나타내고 있다. 우리나라에서는 立地환경이 이들 나라보다도 더욱 엄하다고 생각도 되므로 重点的으로 검토해야 할 最終処分 方式일 것이다.

(iii) 國際協力

장래에, 地域核 연료再처리 센터 등과 같은 국제협력기구가 실현할 가능성도 있으므로 高레벨 방사성 폐기물을 각국의 合意로서 海洋底에 처분하는 작업이 행해질 가능성도 있다. 이 경우, 共同연구 体制를 어떻게 導入해서 各國의 合意에서 확실하고도 또한 安全하게 深海底下의 地層処分을 진행에 나아가는가 라는 것은 우리나라에서도 앞으로의 연구과제의 하나가 될 것이다.

(3) 戰略C에 대해서

(i) 固化처리 기술의 確立

戰略A의 경우와 같다고 말할 수 있다.

(ii) 地上保管

안전保証이 될 수 있는 工學的 저장시설에 보관되는 高레벨 방사성 폐기물 固化体는, 원래 地上에 보관되는 有毒한 鉱滓보다 훨씬 안전하다. 관리体制에 대해서 연구를 하면 高레벨방사성 폐기물을 안전하게 지상에 보관하는 것이 가능하며 또 여기에는 다음과 같은 메릿트도 생각된다.

(ㄱ) 여유를 가지고 地中処分이나 海洋底 처분 외에 地球外의 처분방식(소위 우주처분)과 核変換에 의한 最終処分 方式과의 연구개발을 할 수 있다.

(ㄴ) 地質구조의 不安定性이나 海洋汚染에 대한 걱정이 없어지고 사이트의 선정도 원자력 발전소의 그것보다는 용이할 것이다.

(ㄷ) 人間의 管理에 의해서 사고의 防止 및 対策이 가능하다.

(ㄹ) 高레벨 방사성 폐기물内에 있는 貴金屬을 이용하고 싶을 때가 있으면 언제든지 끄집어 낼 수가 있다.

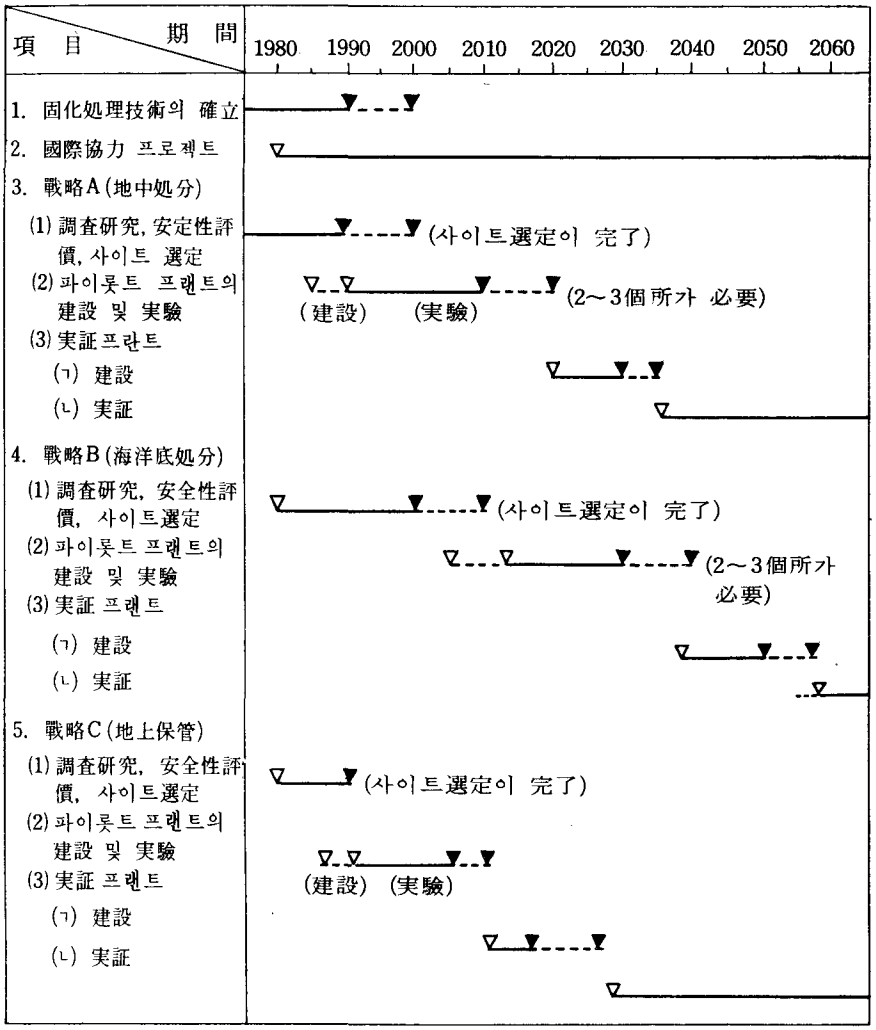
(4) 整 理

数万年 내지 수백만년에 걸쳐, 地中 처분이나 海洋底 처분은 안전한가 어떤가를 実証하기 위한 수단으로서 현재로서는 数値모델에 의한 시뮤레이션 밖에 없다고 생각되나, 한편 이들의 処理시스템이 斷層활동이라든가 火山활동이라든가, 인간의 지하자원 탐색활동 등을 경험하더라도 그 안정성이 보증된다는 것을 물리적으로 실증되지 아니하면 국민이 최종 처분의 실시에 合意될 수 있는지 의문이 없지도 않다.

따라서, 우리나라는 時急히 최종 처분에 대해서의 National Program Plan을 명확히 하여 구체적인 R & D에 착수해야 할 것이다. 그런데, 최종 처분의 안정성에 대해서 국민의 納得을 얻기 위한 필요한 기간이 상당히 걸릴 가능성도 있으므로 이 기간内의 高레벨 방사성 폐기물의 안전한 工學的저장(즉, 戰略 C는 취할 것)이 크게 고려될 余地가 있다고 할 수 있다.

그리고 各 戰略의 이상적인 스케줄을 표 3에 표시한다.

表 3 理想的인 스케줄



▽ 프로젝트의 開始　　▼ 프로젝트의 終了　　----- 不確定의 表示

(5) 戰略遂行을 위한 要点

高레벨 방사성 폐기물의 처리처분은, 多岐에 걸치는 문제의 해결과 起長期에 걸치는 考察을 필요로 하며, 또한 最終的으로는 국민의 合意를 얻어서 達成할 수가 있는 것이므로, 그 연구개발·実証추진을 위한 綜合調整 기능을 가지는 조직을 확립해야 할 것이다.

기술적으로는, 다음과 같은 것을 提言하고 싶다. 즉,

(i) 硝子固化 処理기술을 포함한 高레벨 방사성 폐기물의 고화처리 기술을 개발함과 동시에 그 기술을 早急히 確立해야 할 것이다.

(ii) 固化工場 및 高레벨 방사성 폐기물 고화체의 工學的 저장시설의 안전성 설계기술에 대해서 안전성 연구도 포함해서 검토를 진행시키며 그 기술을 早急히 확립해야 할 것이다.

(iii) 地層処分에 관해서, 動的시스팀 分析을행하며, 陸地의 深地層 処分과 深海底下의 地層処分 双方의 문제領域을 限定시켜야 할 것이다. 그리고서 各 문제영역에 대해서 전문가에 의한 검토를 진행시킴과 동시에 적극적으로 국제 협력을 行하여야 할 것이다.

특히, 海洋底의 処分方式에 대해서는, 太平洋둘레 여러나라들과의 共同연구 프로젝트를 설립하고 각국의 관심을 높임과 동시에 사이트 適地의 選定에 資料로 해야 할 것이다.