



低Level放射性廢棄物處分(Ⅲ)

- 美國의 現況 -

1. 序 言

미국에서의 低레벨 放射性廢棄物(LLW)에는 원자력 발전소, 의료 및 민간 연구 기관, 그리고 회사나 공장 등에서 발생하는 商業廢棄物과 軍이나 聯邦政府의 연구 개발 등으로 발생하는 defence waste로 대별되며, 이들 폐기물은 한때 실시된 海洋投棄處分을 제외하면 陸地處分에 의존하고 있다.

미국에는 6곳의 민간 처분장이 있는데 그중 3 site가 운전중이며, 현재 발생되는 모든 상업 폐기물을 처분하고 있다. 圖 1에는 처분 사이트의 위치와 LLW發生量이 많은 州를 나타내었다. 이 그림에서 폐기물 발생지와 처분 사이트와는 언바란스가 있다는 것을 알 수 있다. 또 장래로 보면 處分容量의 부족을 가져오게 될 것이다. 이것이 하나의 요인이 되어 1980년에 LLW 政策法(Public Law No. 96-573)이 제정되었다. 이 법률은 몇 개의 주가 地域的州間協定(Compact)을 체결하여 그들 주에서 발생하는 폐기물의 協定州內에 처분사이트를 1986년까지 새로 개발할 것을 요구하고 있다. 圖 1은 compact의 상황도 가르키고 있다.

처분 사이트의 許認可를 위해 規則改訂作業이 행하여져 NRC는 새로운 規則 10 CFR 61을 1983년에 발효시켰다.

이 보고는 ①陸地處分의 概況, ②처분 사이트의 한 예로서 반월 사이트의 概要, ③LLW

政策法의 내용과 성립까지의 經緯, ④10 CFR 61의 개요, ⑤高性能容器(HIC)의 개요에 대해서 기술하고 있다.

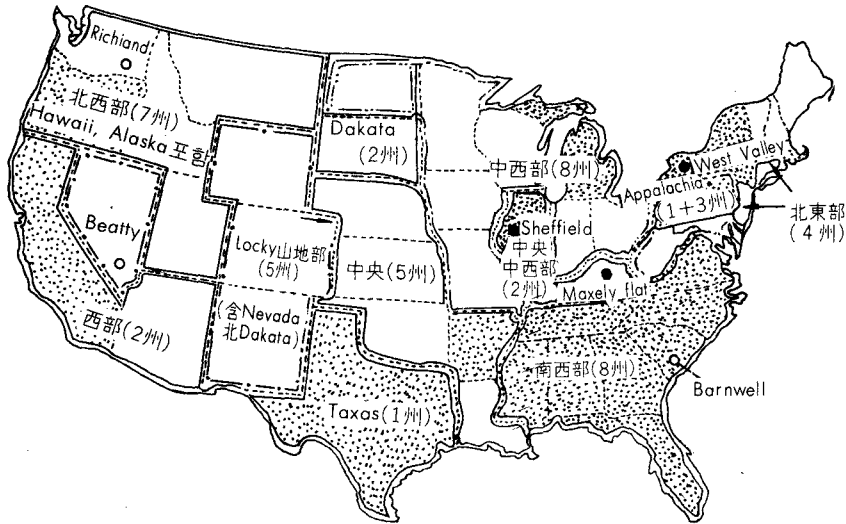
2. LLW 陸地處分 사이트와 運轉狀況

미국에서의 상업 폐기물의 육지 처분은 1962년에 개시되었다. 처분 사이트는 한때 네바다주 비이티, 켄터키주 막시프라쉬, 뉴욕주 웨스트 베리, 와싱턴주 리치랜드, 일리노이주 세윌드 및 사우스캐롤라이나주 반월의 6곳이었는데 현재는 비이티, 리치랜드 및 반월만이 조업중에 있다(圖 1 참조). 처분 사이트의 개요를 表 1에 표시한다.

陸地處分方式은 모두 trench에 의한 淺層地中處分(Shallow land burial)으로 라이선스 조건이나 운전 조건은 거의 같으며 다음과 같다. 트렌치는 길이 30~300미터, 폭 6~12미터, 깊이 6미터의 칫수로 평행으로 서로 6m 정도 떨어져 있다. 트렌치는 LLW를 充填後 1~3미터의 覆土를 하며, 다시 배수를 좋게 하기 위해 盛土를 하며 浸食防止를 위해 植栽가 행해지고 marker라 불리는 表示板이 설치된다. 마크에는 트렌치 境界, 처분한 LLW의 種類와 量, 放射能量, 埋設했던 날이 永久記錄된다.

트렌치 에리어와 부지 경계의 사이에는 緩衝地帶(buffer zone)가 설치, 부지 경계에는 fence가 있다. monitoring에 대해서는 사이트에 따라

〈圖 1〉 低레벨 廢棄物의 發生率이 많은 州, 1980年 政策法에 따른 各州의 各州의 地域的 州間協定(Compact)狀況(進行中도 포함)



凡例 廢棄物發生量이 많은 州(20州)
 □ 連合한 州
 □ 一協定濟
 □ (未加盟 10州)
 ○ 民間處分場(操業中)
 ● 民間處分場(閉鎖)

〈表 1〉 民間處分site의 狀況

site名(所在地)	處分開始(現況)	運轉者(土地所有者)(넓이)	處分量	施設條件			備考
				立地條件	trench size(例)	覆土等	
비 이 터 (네바다州)	1962年(運轉中)	U. S. Ecology (州) (32ha)	92,000m ³ 368,000Ci (廢棄物) (1981年末)	砂 漠 沖積層土 砂 礫	260m(L) 12~15m(W) 8m(D)	覆土: 2m 盛土: 0.6m	수층에 관한 trouble로 서 일시 閉鎖가 있었다
막시프란즈 (켄터키州)	1963年(1977年 閉鎖)	U. S. Ecology (州) (120ha)	135,000m ³ 240,000Ci	頁 岩 細粒砂岩 砂 岩	60~150m(L) 24m(W) 6~8m(D)	覆土: 1m이상 盛土: 0.6m	覆土의 透水性이 크므로 이로 인해 빗물이 trench 에 침입, 지하수중에서 核種이 검출되었다
웨스트버레이 (뉴욕州)	1963年(1975年 閉鎖)	Nuclear Fuel Services (州) (10ha)	67,000m ³ 740,000Ci	—	180~120m(L) 10m(W) 6~8m(D)	覆土: 2.4m 1.2m 盛土: 0.6未滿	雨水가 trench에 침입하여 물이 表層까지 달했다. 그 물 속에서 核種이 검출되었다
리치랜드 (와싱턴州)	1965年(運轉中)	U. S. Ecology (聯邦政府→州) (40ha)	102,000m ³ 950,000Ci (廢棄物) (1981年末)	—	90m(L) 8m(W) 6, 10, 5m(D)	覆土: 2m 盛土: 1m	—
셰 필드 (일리노이州)	1967年(1978年 閉鎖)	U. S. Ecology (州) (75ha)	90,000m ³ 60,000Ci	永河性的 礫	150m(L) 15~18m(W) 6~8m(D)	覆土: 1m이상	trench둘레에 배수구를 설치하여 水管理 초기의 허가량에 달했다
반 웰 (사우스캐롤라이나州)	1971年(運轉中)	Cem-Nuclear (州) (120ha)	396,700m ³ 3,285,000Ci (廢棄物) (1982年末)	砂質粘土 잘 또 다진 粘土質砂, 細砂로 된 海岸퇴積物層에 있다	60~300m(L) 15~30m(W) 4.5~6m(D)	覆土: 0.9+0.6m 盛土: 0.15~0.45m	배수로를 설치하고 있다 透水層을 不透水層으로 變하게 했다

다르나 사이트 내외에서의 地下水, 地表水, 空氣, 土, 野菜속의 방사능량 및 경계 등에서의 방사선량이 측정되고 있다. LLW의 수용, 종업원의 被曝線量, 처분작업의 상황이 기록으로서 남는다.

閉鎖後의 사이트는 長期管理(Extended care)된다. 관리 내용은 환경 모니터링에 의해 방사능 밀폐가 안전하게 행해져 있는가 하는 확인과 盛土(Trench cap)의 健全性維持이다. 장기 관리의 비용은 처분 요금 일부를 적립시킨 管理基金에 의해 충당되며 연방정부 또는 주정부가 폐쇄후의 책임자가 된다.

1962~3년, 3개소의 사이트를 개설했을 때는 사이트의 설계·운전에 관한 경험이 극히 적어, 트렌치의 周邊土壤中에 放射性核種이 이행되는 예가 하나 있었으나, 사이트의 立地나 설계에 큰 문제가 있다고는 판단되지 않았던 것 같다.

사이트의 운전상의 문제는 수송에 있었던 것 같다. 1979년 수송상의 트라블에서 워싱턴주 및 네바다 주정부는 한포오드와 비이티사이트를 폐쇄하였다. 또 사우스 캐롤라이나 주정부도 독자적인 廢棄物輸送規則에 따르는 것에 동의할 때까지 반웰 사이트에서 받아들이는 양을 제한했다.

개설된 6개소중 트렌치에 물이 고여 보수작업이 불충분했다(막시 흐랏쯔), 核種이 土中移行했다(웨스트 버레이), 허가된 처분용량에 달했다.(세힐드)는 등의 이유로 3개소가 폐쇄되고 있는 현재의 3사이트에 대해서는 NRC가 동의한 Agreement State Program에 의해 각 주정부가 같은 라이선스 기준으로 개정해서 조업하고 있다. 라이선스 조항은 다음과 같다.

- 사이트는 所定量의 廢棄物, 線源物質과 리치랜드 사이트를 제외하고는 特別核物質을 처리·처분할 수 있다.

- 最大處分可能廢棄物은 라이선스에 표시한다.

- 폐기물속의 TRU는 10nci/g를 넘지 않을 것
- 폐기물이 smear sampling法에 의해 檢出可能한 정도로 오염된 것이면 용기내에 packaging해야 한다.

- 보드紙 또는 纖維板製容器는 사용해서는 안된다.

- 液體廢棄物은 사이트가 了承한 재료로서 固定化해야 한다.

- 폐기물 수송에는 積荷目錄 또는 동등의 文書를 첨부할 것

- 保健物理, 環境 모니터, 폐기물과 그 취급에 관한 문서를 보관해야만 한다. 이 문서는 같은 양식의 것이 사용된다.

- 州 또는 제3자에 의해 輸送檢査가 수송규칙의 적합여부를 확인하기 위해 행해진다.

3. Barnwell處分 site의 概要

현재 운전중의 민간 처분장의 한 예로서 반웰 처분 사이트를 소개한다.

반웰 사이트는 사우스 캐롤라이나주 반웰읍의 서쪽 8km에 있으며 넓이 약 120만m²이다. DOE 사바나 리버플랜트와 인접하고 있으며, 사이트에서 약 5km되는 곳에 運河가 있고 사이트의 排水는 이 운하에서 행한다

이 운하는 약 100km 하류에서 사바나강과 합류한다. 지형은 평지이고 吸水性의 모래가 지표를 덮고 있다.

사이트의 地質·地下水條件에 대해서는 4~10미터 두께의 砂質粘土와 치밀하게 다져진 粘土로 이루어진 Hawthorne層 위에 평평하나 잘 다져지지 못한 粘土質砂, 細砂등의 海岸堆積層이 덮고 있다. 地下水位는 Hawthorne층 속에 있으며 지표로부터 9~18미터의 위치에 있다. 地下水流速은 약 2m/년이다. 사이트의 기상은 溫暖·多濕, 年間降水量은 725~1,825mm/년(평균 1,175mm/년)이다.

트렌치에는 slit trench와 通常 trench가 있다. 슬

릿트 트렌치에는 2종류가 있는데, 단면은 0.9m (폭)×6m(깊이)이고, 길이는 75미터와 150미터이다. 表面線量率이 큰 폐기물의 처분에 사용되며 작업원의 被曝線量低減을 위해 사용되고 있다. 통상 트렌치의 대표적 치수는 30미터(폭)×6미터(깊이)×300미터(길이)이며, 그외 15미터(폭)×4.5미터(깊이)×60미터(길이)까지 여러 가지이다.

트렌치는 粘土層속에 설치된다(圖2 참조). 둘레의 지층으로부터 트렌치내로의 水移動은 렌즈 모양의 모래층이 있으면 粘土와 바꾸거나 또는 잘 다져진 점토층이 형성되어 감소된다. 트렌치 내의 물은 제거될 수 있는 구조로 한다. 즉, 下部床部の 粘土面은 트렌치의 긴쪽 방향의 端部에 설치한 French drain 방향으로 傾斜되어져 있으며, 이 위에 60~90cm의 모래층을 설치하여 트렌치 床面을 평탄하게 하고 있다. 프렌치 드레인에도 약 0.3%의 勾配가 붙어져 있다. 트렌치속의 물은 프렌치 드레인속으로 흘러들어간다. 다음에 프렌치 드레인에 약 150m 간격으로 만든 集水 sump로 모아 세운 관으로 배출시킨다.

폐기물은 트렌치 바닥의 높은쪽 끝에서 매설해 간다. 空隙을 최소로 하기 위해 폐기물 치수를 표준화 하는 것이 바람직하다고 조업자는 생각하고 있다. 트렌치 둘레에는 둔덕이 설치되어 있으며 작업중 물의 흘러들어 가지않게 하고 있다. 폐기물을 다 파묻으면 모래로 backfill하고

빗물과 폐기물이 접촉하지 않도록 한다. 다음에 트렌치는 최소 90cm의 土層을 설치하고 다시 최소 60cm의 다진 粘土層으로 커버한다. 그 위에 두께 15~45cm의 盛土를 하여 植栽한다. 완성한 트렌치에는 花崗岩製의 marker가 4곳의 코너너 가장자리에 붙여진다.

트렌지는 建設中, 廢棄物埋設中, 그리고 安定化 後에 CNSI(반월의 操業者)와 洲檢査官에 의해 검사된다. 안정화 후 盛土沈下가있으면 다시 견고하게 다진다. 수많은 모니터링이 실시되고 있는 것은 앞에서 언급한 바와 같이, 美國地質研究所의 평가에 의하면 핵종의 土中移行은 초기에 매설한 곳에서 3미터 이내로 되어 있다. 반월은 1992년에 폐쇄될 예정이다. 비용은 1m² 당 50만원(처분비)+약 8.5만원(施設解體費 등)+세금이다(1983년 기준).

4. 1980年の 低레벨 放射性廢棄物政策法

이 法律(LLW ACT: PL-96-573)은 현재 조업중인 3사이트로서는 장래를 감당할 수가 없으며, 앞으로 10년간만 잡아보아도 수 사이트가 더 필요하게 될 것이므로 즉 陸地處分容量不足에 대처하기 위해 제정된 것이다. 이 법률에서는

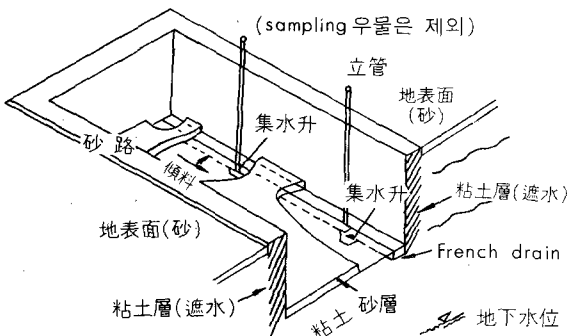
- 各州는 그 주내에서 발생한 LLW의 처분 사이트를 주의 内外에서 확보한다.
- 各州는 주의 聯合體를 만들어 안전하고도 효율적으로 처분한다. 이 州間의 협정을 地域的 州間協定(Compact)이라 부른다.

-協定이 효력을 발휘하기 위해서는 의회의 승인이 필요하며 협정은 5년마다 재검토한다.

1986년 1월1일 이후 LLW處分은 이 법률에 의해 그 지역내에서만 처분해야 한다고 되어 있으나, 이 법률 및 10 CFR 61에 따른 신설 사이트는 아직 없으며 이 법률에 의해 실제로 처분이 행해지는 것은 1993년경이 될 것 같다.

州間協定의 주 비율은 圖1에서와같은 작업이 추진되고 있으며 몇 개의 block으로 이미 협정이

〈圖2〉 Barnwell의 通常 trench



성립되어 있다.

5. 放射性廢棄物陸地處分の許認可要件

10 CFR 61 'Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste' (1983년 1월발효)에는 LLW의 淺地層 육지처분의 라이선스 발행을 위한 免許手續實行目標 및 技術的要求 등이 정해져 있다. 주되는 내용은 아래와 같다.

(1) 淺地層處分施設の 定義

淺地層이란 지표면으로부터 30m까지를 말한다. 施設이란 처분을 위해 필요한 토지, 건물을 말한다. 처분 사이트는 트렌치와 같은 '처분유니트'와 그 주변의 放射能移動의 緩衝區域'으로 구성된다.

(2) 廢棄物의 分類

含有核種과 성질에 따라 클래스 A, B, C로 분류한다. 처분 사이트의 所要條件도 클래스에 따라 다르다. 含有核種에 의한 분류에는 長壽命核種에 의해서 정해지는 분류(表2)와 短壽命核種에 의해서 정해지는 분류(表3)가 있다. 長, 短 어느 핵종만을 포함한 경우의 크라스 분류를 表4에 표시한다. 핵종이 混在할 경우는 分數和의 法則에 따른다. 長, 短核種이 혼재하는 경우, 表2의 0.1배를 넘으면 表3의 분류에 따른다. 또 表2의 0.1 이상 1 미만일 때는 表3의 3欄을 넘지 않음을 조건으로 클래스C로 한다.

〈表2〉長壽命核種에 의한 分類

核 種	濃 度
¹⁴ C	8(Ci/m ³)
¹⁴ C(放射化金屬中)	80(Ci/m ³)
⁵⁹ Ni(放射化金屬中)	220(Ci/m ³)
⁹⁴ Nb(放射化金屬中)	0.2(Ci/m ³)
⁹⁹ Tc	3(Ci/m ³)
¹²⁹ I	0.06(Ci/m ³)
TRU(半減期>5年)	100(nCi/g)
²⁴¹ Pu	3500(nCi/g)
²⁴² Cm	20000(nCi/g)

(3) 廢棄物의 性質

모든 폐기물에 대해 요구되는 성질은 다음과 같다.

- ① 두꺼운 종이, 纖維板製箱은 사용해선 안됨.
- ② 液體廢棄物은 固化하거나 또는 충분한 흡수제를 充填한다. 고체 폐기물에서는 소량의 非腐食性물을 포함해도 좋으나 그 양은 1%(容積) 이하일 것.
- ③ 爆發性·發火性이 아니다. 毒性가스를 포함하지 않는다.
- ④ 危險物質, 生物物質, 病原物質 등은 위험성을 가능한한 감소시킨다.

다시 클래스 B, C廢棄體에는 ① 폐기물은 처분 후에 구조적으로 안정성을 가지도록 처분 용기 또는 처분 구조물속에 설치할 것, ② 함유하는 액체는 非腐食性的의 것으로 그 양은 용기를 사용할 경우 1% 이하, 固化體에서는 0.5% 이하

〈表3〉短壽命核種에 의한 分類

核 種	欄 1	欄 2	欄 3
半減期<5年	700	없음	없음
³ H	40	없음	없음
⁶⁰ Co	700	없음	없음
⁶³ Ni	3.5	70	700
⁶³ Ni(放射化金屬中)	35	700	7000
⁹⁰ Sr	0.04	150	7000
¹³⁷ Cs	1	44	4600

〈表4〉廢棄物分類

	表2의 長壽命核種만을 포함하는 경우의 濃度	表3의 短壽命核種만을 포함하는 경우의 濃度
Class A	表2의 值의 0.1배를 넘지 않는다	表3의 欄1을 넘지 않는다
Class B	定義 없음	表3의 欄1은 넘으나 欄3은 넘지 않는다
Class C	表2의 值 0.1배는 넘으나 表2의 值에 달하지 않는다	表3의 欄2는 넘으나 欄3은 넘지 않는다
淺層處分不適	表2의 值를 넘는다	表3의 欄을 넘는다

(註) 表2, 表3에 표시한 것 모두를 포함하지 않는 것은 Class A로 함.

가 더해진다.

(4) 實行目標

육지처분 시설의 立地, 設計, 操業, 閉鎖 및 閉鎖後의 관리는 인간에 대한 피폭이 아래에 표시하는 한도내에 있는 것을 합리적으로 보증하는 것.

① 放出放射能에 따르는 公衆個人的年間被曝線量은 全身에서 25밀리렘, 甲狀腺 75밀리렘 및 그 외의 器官에서 25밀리렘을 넘지 않을 것. 또 가능한한 낮게 하도록 노력할 것. 이것은 적절한 評價model과 input data에 의한 解析에 의해 평가한다.

② 偶發的侵入으로부터의 개인을 防護할 수 있는 것일 것.

③ 육지처분시설에서의 조업은 放射線防護基準에 따를 것.

④ 처분 시설은 처분 사이트가 폐쇄 후에도 장기에 걸쳐 인정하도록 입지, 설계, 폐쇄 등을 행하여야 할 것이다.

육지처분 시설의 입지는 이들을 만족시키도록 행해야 할 것이다.

6. 高健全性容器 (High Integrity Container)

高健全性容器(HIC)는 10 CFR 61의 클래스 C 폐기물의 처분용기에 적합하는 개념으로서 내놓은 것이다. 이 용기를 사용한 廢棄體는 5-(3)의 물과의 접촉을 가능한한 피해야 한다. 처분 용기에는 장기에 걸친 構造的 安定性을 기대하고 있으며 technicalpossion paper에 의하면 그 요구는 다음과 같다.

① HIC는 最低限 300년간은 構造的으로 안정하도록 설계할 것.

② 용기의 재질은 300년 이상의 耐久性을 보장받도록 腐食 및 化學的테스트에 의해 증명될 것. 또 미생물에 의한 劣化도 받지 않을 것.

HIC는 매설시의 土壓에 견딜 것. 흙의 밀도

〈表 5〉 HIC容器

開發者	名稱	內 容
Chem-Nuclear System	Polyethylene HIC	主材料는 架橋 Polyethylene, size는 직경 1~2m 높이 1.4~2.7m, 무게 2~8t
	FRP HIC	主材料는 FRP, 직경 0.6m 높이 1m 樹脂 sludge用
	Polyethylene HIC Overpack	主材料는 架橋 polyethylene, 직경 0.8m 높이 1.4~2.1m, 200l drum이 2本 들어가는 것도 있다. 樹脂, sludge 封入可
CHICHIBU Cement	PIC容器	200l drum 등의 內側에 약 2cm의 樹脂 含浸 concrete를 lining한 것. 內容積 약 170l
Nuclear Packaging	Emblaroy	宇宙時代合金 ferrallium 255製의 鋼製容器
	HIWDC	主材料 철근 concrete, 圓外筒은 鋼板으로 lining한 후 repxy丹裝, 內側에 polyethylene liner를 가짐. 직경 1.6m 높이 2.1m Cs ¹³⁷ 이면 1230Ci, Si ⁹⁰ 이면 70Ci入, TMI의 樹脂. sludge 처분에 사용
Westing House	SUREPAK	6각형의 철근 concrete體, 200l drum 14本 收容되며 隙-에는 concrete를 注入하여 一體化

는 약 2t/m³로 한다. 또 수송·처리·처분의 각 공정에서 가해지는 荷重, 熱에 견딜 것.

④ polymer材의 強度에는 creep test결과를 고려해서 결정할 것.

⑤ 용기의 재질은 10⁸ Rad의 照射에 대해서도 그 성능에 아무런 변화가 없을 것.

⑥ HIC는 Type A의 容器要件을 만족시킬 것. 매달아올리는 장치의 設計荷重은 3g.

⑦ 용기는 밀폐할 수 있는 것으로 용기의 내구성을 손상시키지 않고 封入廢棄物의 檢査를 할 수 있을 것, 內壓이 생길 경우에는 필요에 따라 空氣孔을 설치할 것.

⑧ 原型容器에 의한 시험을 행한다. 또 품질 보증을 위해 作業順序書를 준비한다.

HIC는 클래스 C뿐만 아니라 클래스 B에서도 사용된다. 현재까지 몇종의 것이 개발되었으며 表 5에서와 같다. HIC에는 분류되지 않으나 SUREPAC시스템이라 부르는 대형 콘크리트 용기를 사용한 시스템도 개발되어 있다.