

放射性廢棄物에 관한 各國의 規制基準現況

放射性廢棄物은 原子力發電에 의한 것이 그 대부분을 차지하며 의학, 공업이용 등에서 발생 되는 것이 여기에 추가된다. 발생된 廢棄物은 固化·稀釈 등의 처리를 한후 필요에 따라 수송, 저장, 보관을 거쳐서 최종적으로 處分된다. 이 일련의 과정에 따라 그 安全性을 확보하기 위해서 여러가지의 規則, 基準이 설정되어 있으며 몇 가지는 앞으로 더 策定되어야 할 필요가 있다.

1. 美 國

미국에서의 방사성폐기물관리는 주로 環境保護廳(Environmental Protection Agency, EPA), 原子力規制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC), 에너지省(Department of Energy, DOE)에 의해 이루어지고 있다.

1983년 1월 使用後 核燃料를 포함한 高레벨 放射性廢棄物對策의 計劃을 제시한 廢棄物政策法이 成立되었으며, 이에 따르면 DOE는 최대 70,000MTHM(약 2,300GWey분) 규모의 최초 처분장 개발을 추진하여 1998년 1월말까지 高레벨 放射性廢棄物과 使用後 核燃料의 處分을 개시하도록 되어 있으며 이에 대해 NRC는 1989년 1월1일까지 永久處分場設置許可申請에 대한 최종 결정을 내리도록 되어 있다.

또 이에 앞서 試驗·評價施設(Test and Evaluation Facility, TEF)을 설치하여 이 사이트에서의 시험을 法發効後 88個月 以内(1990年前半)에 시작하도록 되어 있으며 永久處分과는 별도로 監視附回收可能貯藏施設(Monitored Retrieval Storage, MRS)의 계획도 포함되어 있어 1985년 6월1일까지 DOE가 그 계획서를 議

會에 제출토록 되어 있다.

또한 DOE는 永久處分場, TEF 및 MRS의 설치를 위해서 새로 설정된 核燃料廢棄物基金을 관리한다.

電力會社들은 原子力發電 1KWH當 1mill을 부담하여 基金에 넣는다. 이 부담액은 매년 재검토된다.

NRC는 高레벨廢棄物의 地層處分에 대한 規制案을 1981년 10CFR Part 60(Part 60 to Title 10 of the Code of Federal Regulations)에서 Proposed Rule로 公表하였다. 여기에는 地層處分의 사이트選定, 設計, 實施 및 package의 設計와 性能에 關한 기준을 제안하고 있다.

즉 工學barrier의 耐久性, 工學barrier를 포함한 固化體의 放射性核種保持能力(漏洩率), 地層에 대한 性能, 다시 꺼낼 수 있는 가능성에 대해 구체적인 數値를 제시하고 있다. 이들 각 barrier에 대한 구체적 수치의 기초가 된 것은 EPA로부터 제시된 高레벨放射性廢棄物 및 TRU 廢棄物 處分에 대한 環境방호기준, 40CFR-191이다. NRC는 이 環境방호기준을 준수하기 위해 地層處分場의 性能기준을 어떻게 규정할 것인가를 검토하고 있다. 즉,

1) 統一의인 종합평가에 따르는 기준만을 정한다(미국에서는 40CFR-191이 여기에 해당된다)

2) 전체시스템중 主要한 要素에 최소한의 성능요구를 규정한다

3) 處分시스템의 重要한 工學特性 모든 要素에 세밀한 성능기준을 규정한다

이중 3)은 設計의 自由度를 너무 제한시키게 되므로 技術開發의 現상황에 適當하지 않다고

판단되어 현재의 제안은 거의 2)에 따른 것이다.

미국을 제외한 많은 나라에서는 오히려 1)의 방식으로 對處하려 한다. 이는 심사하여야 할 施設의 數가 적을 경우에는 종합적인 기준을 만족시키고 있는 것을 개별적으로 심사하는 편이 효율적일 수도 있기 때문이라고 생각된다.

EPA가 策定한 40CFR-191은 1982년 12월 proposed rule로 公開되었다. 이 기준의 규제대상은 使用後核燃料, 高레벨放射性廢棄物 및 T-RU廢棄物로서 高레벨放射性廢棄物과 TRU廢棄物에 대해 각각 다음과 같이 정의하였다.

TRU폐기물은 반감기 20년이상인 放射體의 超우라늄元素를 100nCi/g이상 포함한 폐기물로 정의하였는데 이 數値는 그 이상 농도의 방사성 폐기물이 충분히 隔離되지 않고 존재하면 어떠한 조건하에서는 연간 500mrem을 넘는 피폭을 야기시킬 가능성이 있기 때문이다.

高레벨放射性廢棄物은 각 방사성원소의 濃度로 정의하고 있다.

이 放射能레벨은 低레벨放射性廢棄物의 처분 기준, 10CFR 61에서 얇은 地中에로의 처분이 가능한 폐기물의 上限으로 정의되고 있는 방사능농도와 동등하다. 密閉에 대한 요구로는 10000년동안에 1/100이상의 發生頻度를 갖는 「쉽게 발생이 예상되는 漏洩」과 1/10000~1/100 사이의 발생빈도를 갖는 「대단히 발생하기 어려운 漏洩」에 대해 각각 表 1에 나타난 値와 이 값의 10배의 値를 각각 10000년동안에 접근가능한 환경에로의 累積漏洩限度로 표시하고 있다.

10000년동안에 1/10000이하의 발생빈도를 갖는 漏洩事象에 대해서는 누설한도를 설정하고 있지 않다. 또 이 누설한도는 1000MTHM分の 高레벨廢棄物 또는 10°Ci의 α방사능을 갖는 T-RU폐기물의 처분시설에 대해 적용되는 것으로 처분장의 규모가 커지면 이에 비례해서 누설한도도 크게 설정하는 규정으로 되어 있다. 즉, 이 漏洩限度는 個人線量限度에 따라서 定해진 것이라기 보다는 오히려 集團에 미치는 영향에 따른 「合理的으로 達成할 수 있는 防禦(ALARA)의 정도」를 결정한 결과로 표시된 管理目標値로 볼

표 1 40CFR-191에 표시된 密閉性에 대해 요구되는 漏洩限度

核 種	漏 洩 限 度 (Ci/1000MTHM)
Am-241	10
Am-243	4
C-14	200
Cs-135	2000
Cs-137	500
Np-237	20
Pu-238	400
Pu-239	100
Pu-240	100
Pu-242	100
Ra-226	3
Sr-90	80
Tc-99	10000
Sn-126	80
기타 α 核種	10
α核種以外の 核種	500

수 있다.

低레벨放射性廢棄物의 육지처분을 위한 認許可要件: 10CFR 61이 1982년 최종법안(Final Rule)으로 NRC에 의해 公表되었다. 이것은 1981년에 公表되어 코멘트를 받은 후 다시 검토를 하여 제출된 것이다. 陸地處分 低레벨放射性廢棄物은 Class A, Class B 및 Class C로 분류된다.

분류는 종래의 것과 같으나 長壽命 核種과 비교적 短壽命核種의 두가지로 나누어 분류를 합리적으로 행할 수 있도록 변경되었다(表 2,3 參照).

Class A인 폐기물은 처분장에서 다른 unit와 충분히 隔離하여 처분하며 100년동안 制度上的의 콘트롤을 한다. Class B와 Class C인 폐기물의 형태와 容器는 300년이상 안전되게 그 物性을 유지하며 識別할 수 있는 것이라야 한다. Class C인 폐기물은 다시 콘크리트 커버를 사용하는 등 사람의 侵入에 대한 barrier를 철저히

하여야 한다. 이 barrier의 有効性은 500년동안 계속되어야 한다고 하고 있다.

표 2 10CFR 61에서의 低레벨放射性廢棄物의 分類(1) -長壽命核種-

核 種	放射能濃度 (Ci/m ³)
C-14	8
放射化된 金屬中の C-14	80
放射化된 金屬中の Ni-59	220
放射化된 金屬中の Nb-94	0.2
Te-99	3
I-129	0.06
半減期 5年以上의 α核種	(100)
Pu-241	(3, 500)
Cm-242	(20, 000)

()内 數値의 單位는 nCi/g.이 表 1/10以下 濃度의 廢棄物이 Class A, 그 이상으로 表의 數值範圍까지의 廢棄物이 Class C.

표 3 10CFR 61에서의 低레벨放射性廢棄物의 分類(2) -比較的短壽命核種-

核 種	放射能濃度 (Ci/m ³)		
	第1欄	第2欄	第3欄
半減期 5年以下의 全核種 合計	700	() ¹	() ¹
H-3	40	() ¹	() ¹
Co-60	700	() ¹	() ¹
Ni-63	3.5	70	700
放射化된 金屬中の Ni-63	35	700	7000
Sr-90	0.04	150	7000
Cs-137	1	44	4600

()¹ Class B 또는 Class C 廢棄物에 대한 制限値는 없다. 第1欄 數値를 넘지않는 廢棄物 Class A, 第1欄은 넘으나 第2欄을 넘지않는 것을 Class B, 第2欄의 數値와 第3欄의 數値사이의 것은 Class C 廢棄物.

2. 英國

영국에서 방사성폐기물대책의 기본대책이 되고 있는 것은 1959년에 발표된 「放射性廢棄物의

管理」(Cwnd 884)(原子炉發生廢棄物이 對象)이다. 그 후 王立環境汚染委員會의 指摘(Cwnd 66 18)을 받아 1977년에 「原子力과 環境」(Cwnd68 20)이 발표되어 재처리폐기물의 처리처분 방침이 명백해졌다.

이에 의하면 방사성폐기물 처리처분에 대해서는 環境省(Department of the Environment, DOE)이 所管, 감독할 것, 원자력사이트로부터의 방사능 방출에 대해서는 環境省과 農業水産食糧省(MAFF)이 認許可를 담당토록 되어있다.

또, 이 報告에 의해 環境相의 자문기관으로 방사성폐기물관리자문위원회(Radioactive Waste Management Advisory Committee)가 설립되어 1979년부터 Cwnd 884의 전면적 재검토를 행하여 원자력이용의 증대, 국제협력관계의 변화, ICRP의 권고(특히 Pub.26)의 적용 및 公衆의 폐기물문제에 대한 사고방식의 변화 등에 對應하기 위해 정책의 변경이 검토되고 있다.

영국에서의 방사성폐기물처분 방침을 表 4에 나타내었다. 처분의 방식으로서는 陸上 5個所, 海洋 2個所를 고려하고 있다. 제 3란의 數値는 System分析을 하기 위해 각각의 처분시설에 대해 임시로 割當된 比放射能의 制限豫測値를 나타내고 있다.

표 4 英國에서의 放射性廢棄物處分法

處分法	處分概念	放射能濃度の假定	開始時機
陸地-1	얕은 地中處分場	α, 20mCi/m ³ β γ 60mCi/m ³	實施中
-2	20~30m깊이의 工學的 trench型 處分場	α 3Ci/m ³ β γ; 制限없음	1980年代 後半
-3	約 100m 깊이의 鑛山 또는 開設된 카비티型 處分場	α 50Ci/m ³ β γ; 制限없음	1990年
-4	約 300m 깊이에 開設된 處分場	α, β γ; 制限없음 發熱性이 낮은 것	1991年
-5	300m 以上 깊이에 開設된 發熱性廢棄物을 위한 處分場	α, β γ; 制限없음 高레벨廢棄物	2010年 以後
海洋-1	從來型 package를 사용한 海洋投棄	α, 1Ci/ton β γ 100Ci/ton	實施中
-2	深海洋底에로의埋設	α, β γ; 制限없음 高레벨廢棄物	2010年 以後

앞으로의 검토결과에 따라서는 육지-4에 표시된 地下 300m 정도의 처분방식은 이체계로부터 제외될 가능성도 있는 것으로 지적되고 있다.

현재 처분이 실시되고 있는 것은 이들 중에서 얕은 地中處分과 해양투기 두가지 뿐이다. 원칙적으로는 放射性物質法(Radioactive substance Act)에 따라 각 처분시설에서 각각의 核種의 漏洩率에 따른 安全性을 評價하여 case by case 로 처분을 認可하게 되어 있다.

해양投棄에 대해서는 1949년 北大西洋에서의 투기를 비롯하여 그 경험과 실적을 기초로 해서 경제협력개발기구원자력기관(OECD/NEA)과 共同投棄를 1967년부터 행하고 있다. 또 1975년 「廢棄物과 기타의 投棄에 의한 해양오염방지에 관한 조약」(런던조약)이 發効되고부터는 共同投棄作業을 계속하기 위해 多數國間協議監視制度에 加入해서(1977년) 이 制度下에서 해양투기를 계속하고 있다. 처분의 실시는 英國原子力公社(UKAEA)가 담당한다.

3. 프랑스

프랑스에서는 방사성폐기물에 관한 기본방침을 규정하는 基本的法律은 제정되어 있지 않다. 구체적인 개개의 분야마다 法律, 政令, 省令 등이 있으며 이것들이 有機的으로 서로 관련되어 규제를 행하고 있다.

1973년 政令改正에 의해 使用後核燃料 再處理工場 및 限度以上の 방사성폐기물 저장, 폐기 또는 이용을 목적으로 하는 설비는 原子炉와 같이 원자력기본설비(Installation Nucleair de Base)로 규정되어 그 설치에는 정부의 허가가 필요하게 되었다.

처분의 실시를 행하는 기관으로 1979년 原子力廳(CEA)내에 放射性廢棄物國家管理廳(Agence National pour la Gestion des Dechets Radioactifs, ANDRA)이 설치되어 La Manche에 있는 폐기물처리센터의 관리를 담당하고 있다. ANDRA는 동시에 固化處理事業者에 대해서는 그 사업의 認可 權限을 가지고 있다.

廢棄物固化体の 仕様에 대한 基準策定을 위해 CEA내에 BECC(Bureau d'Evaluation et de Controle des Confinements)가 설치되었다(1978년). 여기서 정해진 기술기준에 의해서 ANDRA는 폐기물의 組成, 固化處理方法에 대한 허가를 신청자에 부여한다.

원자력시설의 건설과 운전을 규제하고 있는 것은 原子力施設安全擔當局(SCSIN)이다. 폐기물처리시설의 건설허가시에는 ANDRA의 기술적검토 결과에 따라 허가를 판단하고 있다.

4. 西 獨

방사성폐기물관리에 대해서는 1976년에 개정된 原子力法이 基本法規가 된다. 처분장의 설치에 대해서는 설치되는 州의 州政府가 認可의 책임을 가지고 있으며 聯邦政府의 內務省(Bundesministerium der Innern, BMI)이 방사선방어, 원자력안전에 관한 책임을 가지고 州政府의 認可可수속을 감독, 권고하는 권한을 가지고 있다. BMI는 전문가로 구성된 二위원회(원자로안전위원회(RSK), 방사선방어위원회(SSK))의 권고를 받는다.

방사성폐기물의 저장, 처분의 실시에 대해서는 각 州의 정부가 그 州內에서 발생된 방사성폐기물의 중간저장까지 책임을 맡고 있으며 연방정부가 長期管理(장기저장과 처분)의 책임을 갖도록 되어 있다. 실제로는 장기관리에 관한 연방정부의 임무는 聯邦物理工學研究所(PTB)에 위탁되고 있다.

또 서독에서는 使用後核燃料의 직접처분도 검토되고 있다. 이것은 1979년의 정부결정에 따라 聯邦研究技術省(BMFT)이 R&D를 행하고 있는 것으로 1984년까지 재처리에 따르는 폐기물관리방식과의 비교를 끝내고 1985년에 정부가 최종적인 판단을 내리게 되어 있다.

5. 스위스

1978년에 개정된 原子力法에 의해 연방정부의

에너지법이 규제를 담당하고 있다. 방사성폐기물처리처분의 認許可는 原子力施設安全部(AS-K)와 원자력시설안전위원회(KSA)의 자문을 받아 연방정부의 總理部에서 한다.

스위스에서는 1985년까지 방사성폐기물 처리처분의 実行이 확실해지고 decommissioning의 규제가 명확해지지 않는 限 원자력발전소의 新設 및 既存 發電所의 운전허가 更新이 되지 않게 되어있다. 방사성폐기물의 처리 및 저장의 안전평가에 있어서는 ASK에 의해 가이드라인(R-14)이 제안되고 있으며 처리공정, package 및 幅間저장시설에 대한 안전평가항목이 규정되어 있다.

최종처분시스템의 안전성에 관한 線量目標値는 ASK에 의해 가이드라인(R-21)이 제안되고 있으며 폐기물의 방사능농도와는 관계없이 연간 10mrem으로 되어 있다. 이것은 원자로의 운전에 따른 周邊의 公衆에 대한 통상시의 방사선방어기준 20mrem/y에 對應하는 것인데 폐기물처분에 의한 방사선의 영향이 범위가 넓다는 것, 長期間이 된다는 것 등을 고려에 넣어서 더 엄격하게 설정되어 있다.

1979년 10월 방사성폐기물처분장건설을 위해 예비조사를 허가하는 法令이 정해졌다. 1980년에는 방사성폐기물저장전국조합(NAGRA)이 이 허가를 받아 스위스北部の 花崗岩層에서 試錐를 하고 있다.

6. 스웨덴

1977년에 制定된 「原子炉에로의 燃料裝填에 대한 특별허가에 관한 法」에 의해 高레벨방사성 폐기물 또는 사용후 핵연료의 최종저장이 절대로 안전하게 행하여진다는 것을 立証하기 전까지는 원자로에 새로운 연료를 裝填하여서는 안 된다고 결정되었다. 이 요구를 충족시키기 위해서 스웨덴燃料供給公社(SKBF)에 핵연료안전성 Project(KBS)가 설치되어 高레벨廢棄物固化体 및 사용후 핵연료의 처분에 대한 안전을 평가하여 KBS-I, KBS-II라는 두가지의 보고

서를 작성해서 안전성을 立証하였다.

1981년 6월에는 「사용후 핵연료 등에 대한 장래의 비용부담에 관한 法律」이 公布되어 방사성 폐기물처리처분에 필요한 비용의 분담이 법적으로 명확히 되었다.

7. 國際機構

(1) 海洋投棄에 관한 基準

1972년에 채택된 런던條約에 포함된 「방사성 폐기물에 관한 定義 및 권고」의 검토가 국제원자력기구(IAEA)에 위탁되어 1975년에 잠정적인 「정의 및 권고」가 내려졌고 1978년에는 그 개정이 이루어졌다. 이것이 많은 나라에서 채택되고 있는 해양투기에 관한 國內法의 기초가 되고 있다.

또 경제협력개발기구원자력기관(OECD/NEA)은 런던조약 이전부터 행하고 있던 공동투기작업을 조약의 主旨에 따라 원활하게 실시하기 위해 多國家間協議監視制度를 발족시켰으며 以後의 해양투기는 이 제도하에서 행해지고 있다.

1983년 2월 런던에서 열린 런던조약가맹국회의에서 해양투기의 일시정지가 可決됨으로써 앞으로의 폐기물처분기준의 策定에 큰 영향을 미칠 것으로 주목되고 있다.

(2) 放射性廢棄物處分에서 放射線影響의 長期的防禦目標 設定

국제방사선방어위원회(International Commission on Radiation Protection, ICRP)는 1977년에 Pub.26을 발행하여 새로운 방사선방어에 대한 기본원칙을 권고했다.

이 권고에는 최근의 의학·생물학 지식을 기초로 한 방사선방어를 위한 새로운 개념을 내용으로 하여 방사선이용의 모든 분야에서 그 도입이 早急化되고 있다. 폐기물처분기준의 책정에 있어서도 有用한 사고방식으로 각국에서의 검토는 물론 IAEA 및 OECD/NEA에서도 적극적으로 그 적용이 도모되고 있다. 이들의 검토는 아직 案의 단계에 있으며 方針의 결정까지는 상당한 어려움이 있을 것으로 생각된다.

個人線量限度에 관한 것으로는

- ① 발생 확률은 적으나 발생되었을 때 그 영향이 큰 事象에 대한 사고방식의 정리
- ② 폐기물처분에 따른 被曝에 割當되는 個人線量限度 또는 個人리스크限度 (Dose upperbound 또는 risk upperbound)

集團線量에 따른 방어의 最適化 실시에 관한 것으로는

- ① 不確實性이 높은 먼 장래의 방사선영향과 현재 및 가까운 장래의 영향에 대한 방어비용

分配에 대한 배려

- ② 集團線量評価에 있어서 積分期間 및 累積되는 개인피폭선량의 最低레벨 設定
 - ③ 방사선피폭에 관계되는 全損害 (total detriments) 평가시에서 집단의 건강에 관한 손해와 개인피폭선량률에 따른 社會心理學的因子 등의 밸런스를 취하는 방법 등이 논의되고 있다.
- 방사성폐기물처분의 실시는 지금까지 인류가 경험하지 못한 長期間의 영향을 평가하여 그 安全性을 충분히 인식하고 난 후에 행할 필요가 있으며 국제적인 협력과 合意가 不可缺하다.

◇

전자현미경으로 원자배열 관찰

런던부근의 에섹스(Essex) 대학에 최근 도입된 신형의 220킬로볼트 전자현미경이 거의 모든 물질을 구성하는 기본요소이며 불과 4백만분의 1mm 정도의 간격을 두고 늘어선 원자의 배열 상태를 효율적으로 관찰하는데 위력을 발휘하고 있다.

에섹스대학의 기금과 영국과학기술연구위원회가 제공한 4만파운드를 포함한 영국정부의 자금, 총 15만파운드로 구입된 이 전자현미경은 초미립자의 화학조성을 분석하고 결정학을 연구하는 데도 활용될 수 있다. 이 전자현미경은 에섹스대학의 데이비드 바버교수의 전자현미경팀이 계획하고 있는 반도체 및 전자산업, 에어러졸과학의 신재료 개발연구, 지구과학자들의 관심을 모으고 있는 암석 및 운석연구에 효과적으로 활용될 것이다.

실제로 바버교수는 1969년 멕시코에 낙하한 운석의 조사에 이 전자현미경이 큰 도움을 주었다고 밝혔다. 「Allende」라고 불리는 이 운석(운석은 일반적으로 낙하된 지역의 이름을 따서 명명된다)은 그 특성이 발견됨으로써 세계적으로 운석연구가의 큰 관심을 모았다.

「Allende」운석속에서 추출된 물질은 현재 가장 활발히 연구가 추진되고 있는 外界물질이다. 모든

운석은 초기의 태양계를 구성한 물질의 흔적으로, 현재의 고도로 발달된 기술로 인해 운석에 대한 연구는 45억년보다 훨씬 이전에 고열의 먼지와 가스의 거대한 구름에서 태양과 행성이 형성된 환경을 시사해 주고 있다. 「Allende」운석에서 과학자들은 고온의 성운에서 최초로 고화된 물질이 소량으로 함유된 사실을 발견했다. 이 함유물속의 광물과 미량 화학적 성질을 규명하기 위해 이론적 계산에 대해 고화 물질의 실질적인 원자배열의 보다 정밀한 조사결과 원자배열은 생성당시 존재한 것으로 추측되는 압력 및 온도분포에 의존한 것으로 나타났다.

「Allende」운석 함유물에 대한 연구는 이 함유물의 형성조건이 약 1만분의 1 기압과 1,600℃로 거의 확실하게 고정되는 것으로 밝혀졌다. 이 함유물은 규모가 너무 작고 화학적성질이 가변적이기 때문에 전자현미경조사 및 미량화학적 분석은 매우 중요한 일이다. 또 다양한 원자를 포유하고 있는 미세한 운석함유물은 광물의 냉각과정을 평가할 수 있게 해준다.

「Allende」운석에 대한 에섹스대학의 연구는 최초로 운석의 고온 함유물의 중요성을 발견한 미국 시카고대학 연구팀과 공동 프로젝트로 추진됐다.