

原子力發電과 放射性廢棄物 管理

Nuclear Power Plant and Radwaste Management

金 容 翊

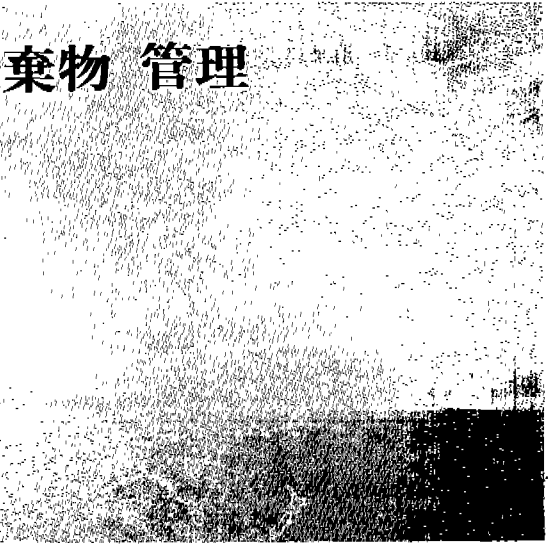
韓國에너지研究所 化學工程研究室長

1. 序言

工業立國이란 깃발아래 近代先進國으로 성장하고 있는 우리나라는 수차례의 石油價 波動으로 인하여 動力에너지에 과급된 영향은 지대하였으며 發電單價面에서 유리한 原子力發電에 비중을 두게 되었다. 이에 따라 原子力發電 長期計劃을 수립, 1978년 商用原子力發電所로서 古里1號機가 우리나라 에서는 처음으로 原子力發電을 시작하였으며, 이어 1982年 月城3號機가 稼動되었고 지난 9月9日 古里2號機가 竣工됨으로써 바야흐로 原子力發電時代에 접어들었다고 할 수 있겠다. 현재에도 6機의 原子力發電所가 건설중에 있으며 앞으로 2,000년까지 20余機가 建設될 전망이다. 따라서 發電設備에 있어 原子力이 차지하는 비중이 81년의 6%에서 91년에는 41.5%, 2000년에는 약60%로 증가될 것이다.

그러나 人口가 조밀하고 國土面積이 협소한 環境 與件 F에서 大容量의 原子力發電所가 建設됨에 따라 多量의 放射性廢棄物 발생은 필연적이다. 이 放射性廢棄物로 인한 環境의 放射能 汚染과 人體에 대한 放射線 障害를 극소화하기 위해 우선 中·低 準位 放射性廢棄物의 管理에 대한 안전하고 효율적인 綜合對策의 確立이 시급한 실정이다.

따라서 韓國에너지研究所에서 1982년에 수행한



“放射性廢棄物處理 處分에 관한 研究”의 結果를 토대로 放射性廢棄物 發生에서 부터 그 處理의 最適 方法과 半永久的으로 處分하는 問題, 이를 管理하는 安全基準 그리고 技術開發方向 및 所要人力等에 관해서 언급하고자 한다. 아울러 原子力發電所에서 排出되는 放射性廢棄物을 중심으로 國內外 現況을 分析하여 問題點을 도출 우리實情에 맞는 解決方案을 모색하며 현재 科技處 原子力委員會의 심의를 거쳐 年內에 政策으로 確定할 예정이다.

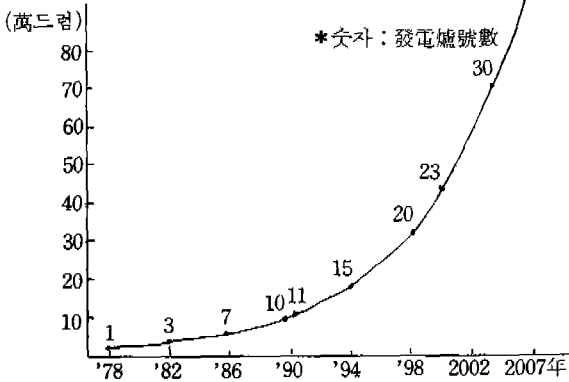
2. 放射性廢棄物의 發生量

우리나라에서 稼動中인 原子力發電所 古里1號機의 실제 放射性廢棄物 發生量과 外國의 原子力發電所에서 發生되고 있는 放射性廢棄物의 量을 참조하여 우리나라의 原子力 長期發電計劃에 의거 2007年 古里1號機가 閉鎖될때까지의 廢棄物의 累積發生量은 표1과 같으며, 90년대에 8만8천드럼, 2000년에는 450만드럼, 2007년까지는 약 90만드럼이 발생될 것으로 예상된다.

3. 放射性廢棄物의 最適處理方法

原子力發電所의 正常稼動에 따라 발생되는 放射

〈丑-1〉廢棄物 發生累積 推定量



算出根據: ① 美國ONWI-20PWR (2,468드립 / GWe)
 ② INFCE WG/7 HWR (2,071 ")
 ③ 原子力發電所建設 長期計劃에 根據 (23機)

〈丑-2〉氣體 廢棄物 處理系統

發生源 Case別	2	3	4	5	6
1次系統	재건합기 - 강제일교 (7일)→HEPA 필터→(Roof Vent)	Case 2와 동일 (탄45킬리감)	Case 3와 동일	Case 2와 동일 (탄60킬리감)	재건합기 - Dynamic Adsorption
Aux. Bldg. Ventilation	필터→HEPA→필터 필터→(Plant vent.)	Case 2와 동일	左同	左同	左同
Purge	에비필터→HEPA 필터→(Plant vent)	"	"	"	"
Internal Clean-up	에비필터 → HEPA 필터→Charcoal → HEPA필터 → (Plant vent)	"	"	"	"
S / G	"	"	Vent.	"	"
Blowdown tank	"	"	Condenser	"	"
Condenser Air Ejector	"	"	Charcoal→ HEPA필터	"	"

〈丑-3〉氣體 廢棄物 處理系統別 個人被曝線量比較

出力 部分別 Case別	900MWe		1,200 MWe	
	全 身	甲 狀 腺	全 身	甲 狀 腺
1	成人51.3	幼兒 228.2	成人 122.4	幼兒 281.3
2	小兒11.4	" 116.3	小兒 24.4	" 137.4
3	" 11.3	" 15.3	" 2.9	" 14.3
4	" 1.3	" 6.4	" 2.9	" 3.8
5	" 1.2	" 3.4	" 2.7	" 3.7
6	" 1.3	" 2.5	" 2.9	" 3.7

單位: m rem/Yr

性 氣體·液体·固体廢棄物에 대해 각 處理裝置를

〈丑-4〉液体廢棄物 處理系統

Case別 發生源	1	2	3	4	5	6
Shim-bled Clean	필터→ 증발기→ 제염기→ 필터→ 放出	Case 1과 동일 (다 제염 된터→ 放出)	Case 2와 동일	동일 (Clean 除外)	동일	동일
Dirty	필터→ 放出	Case 1과 동일	필터→ 제염기→ 필터→ 放出	(Clean 인용) 필터→ 증발기→ 제염기→ 필터 (90% 제염화)	Case 4와 동일 (Clean 除外)	동일
Steam Generator Blowdown	필터→ 放出	필터→ 제염기→ 放出	필터→ 증발기→ 放出	Case 1과 동일	필터→ 제염기→ 필터→ 放出	Case 3과 동일
Laundry Waste	필터→ 放出	Case 1과 동일	동일	동일	동일	동일

적절히 配列하여 組合한 각각의 處理系統을 GALE, GASPAN 및 LADTAP 電算코드를 이용, 個人 및 大衆被曝線量を 계산하여 각 系統별로 安全性과 經濟性을 分析함으로써 最適技術을 설정하였다.

가. 處理系統의 安全性

1) 氣體廢棄物의 處理

原子力發電所의 1次 및 2次冷却系統과 格納容器, 補助建物, 터번建物, 既使用 核燃料貯藏槽등에서 排出되는 放射性 氣體廢棄物에 대한 각각의 處理系統은 表 2와 같으며, 각 處理系統별로 GALE 電算코드를 이용하여 環境放出량을 계산하고 GASPAN 電算코드에 의해 全身과 甲狀腺의 個人被曝線量を 계산하였다(表 3). 이 값들의 安全性을 미국의 10CFR50 App. I에 규정된 個人被曝線量 設計 H 値와 비교하면 處理 系統 4, 5, 6의 경우가 安全함을 알 수 있다.

2) 液体廢棄物의 處理

淸淨廢液, 混濁廢液, 洗濯廢液, 蒸氣發生器블로우다운廢液 등의 液体廢棄物에 대한 각 處理系統은 表 4와 같으며, 環境放出量과 個人被曝線量を 계산한 결과(表 5), 10CFR50 App I의 設計 H 値와 비교해 볼 때 處理系統 3, 4, 5, 6의 경우가 만족하고 있음을 알 수 있다.

나. 處理系統의 經濟性

氣體 및 液体廢棄物에 대해 각 處理系統별로 環境으로 방출되는 放射性 物質로부터 發電所 중심 50

● 原子力放射性的 廢棄物處理은 ①

〈丑-5〉 液体廢棄物 處理系統別 個人被曝線量比較

出力 Case別	900 MWe		1,200MWe	
	全 身	甲 狀 腺	全 身	甲 狀 腺
1	成人4.37	小兒 174	成人6.15	小兒200.0
2	" 1.62	" 145	" 1.88	" 471
3	" 0.70	" 1.77	" 0.83	" 1.91
4	" 0.31	" 7.71	" 0.36	" 8.86
5	" 6.03	" 3.0	" 0.03	" 3.11
6	" 0.03	" 1.28	" 0.03	" 1.33

(單位 : m rem/yr)

mile이내의 주민이 받는 大衆被曝線量を 계산하고, 處理系統별로 年 施設使用費를 추산하여 10CFR 50 App I에서 放射線障碍度を 貨幣單位로 환산한 1 man-rem당 \$1,000를 기준으로 하여 經濟性을 分析하였다.

1) 氣體廢棄物 處理

각 處理系統별로 계산된 年 施設運營費에 따른 大衆被曝線量を 나타낸 曲線과 放射線防護費를 합한 曲線은 그림 1과 같으며 處理費用이 最小값을 나타내는, 大衆被曝線量を 75man-rem으로 유도할 수 있는 施設(處理系統 4) 즉, 最小 45일 이상 貯藏할 수 있는 氣體減衰탱크의 활용과 蒸發器 불로우다운 및 凝縮器의 排氣體는 活性炭 및 HEPA 필터를 통해 처리하는 것이 放射線防護는 물론 經濟性에서 最適인 것으로 結論된다.

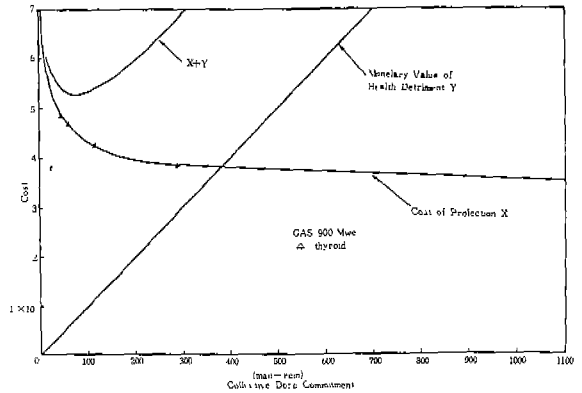
2) 液体廢棄物 處理

氣體廢棄物의 경우와 동일한 방법으로 계산한 결과 그림 2에서 보는 바와 같이 全身에서는 80man-rem(處理系統 2), 甲狀腺은 125man-rem으로 유도할 수 있는 施設(處理系統 3), 즉 蒸發器와 脫塩器를 적절히 활용하는 것이 最適이다.

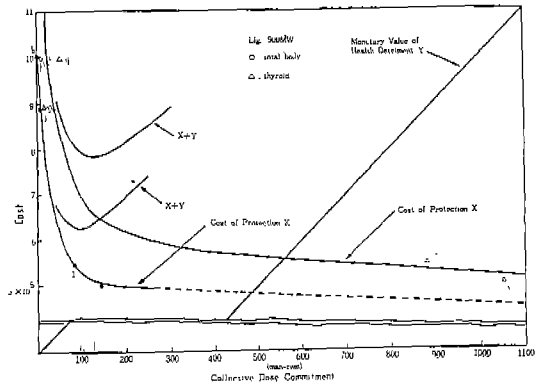
3) 固体廢棄物 處理

固化 廢棄物을 處理하는 방법에 따른 經濟性은 표 6에서 보는 바와 같이 기존 處理法인 壓縮 및 시멘트固化法에 切斷 또는 結晶化法을 도입 함으로써 經濟的으로 處理할 수 있다.

그러나 處分單價가 높아질 경우 燒却爐를 활용하



〈그림-1〉 放射性防護의 最適化(氣體 900MWe)



〈그림-2〉 放射性防護의 最適化(液体 900MWe)

므로서 安定性和 最終處分量의 減小을 기대할 수 있을 것이다.

4. 放射性廢棄物의 最適處分方法

固化體를 最終處分하는 방법으로는 陸地處分과 海洋處分으로 大別할 수 있다(표 7). 陸地處分의 代表的인 방법으로는 地中埋沒, 構造物內保管, 岩層處分 등이 있는데 處分後의 安全性面에서 個人被曝線量(표 8)은 地中埋沒이 가장 낮으며 모든 방법이 ICRP의 勸告值를 초과하지 않으므로 어느 방법을 채택하여도 무방하다.

經濟的 側面에서는 地中埋沒에 비해 構造物內保管이 약 1.7배 높으며 事故危險度도 약 2배 높다.

〈표-6〉 固体廢棄物의 處理方法別 經濟性 檢討

電氣出力: 4 X 900MW

處理方法	壓縮	切斷	燒却	燒却	壓縮	結晶化	切斷	燒却
	시멘트	시멘트	시멘트	/가스 시멘트	아스팔트	시멘트	아스팔트	아스팔트
材料費	224.60	173.01	137.51	32.31	149.86	160.06	98.37	75.30
固化費	62.94	62.94	70.64	16.28	7.58	24.74	7.58	12.20
施設 運轉費	38.52	49.90	687.28	658.20	532.65	105.29	544.03	676.29
減價 費	1.38	2.62	186.38	631.23	276.75	78.09	277.99	461.76
處分費	355.44	261.64	188.36	43.40	221.28	263.40	127.48	54.20
運送費	105.54	96.66	86.99	51.27	82.71	57.5	72.15	64.16
小計	788	645	1,357	1,433	1,271	669	1,126	1,544
相關比	1.0	0.82	1.72	1.82	1.51	0.87	1.43	1.96

* 드럼 (200ℓ) 당 40,000원
 ** 24Ton Trailer : 320,000원 / 150km

〈표-7〉 放射性廢棄物 處分技術 現況

處分方法	內容	事實施設	備考
地中埋沒 (Trench)	單純Trench	Clay Trench 利用	日·美·英 ·敷地選定の 어려움
	改良 "	(一般Trench) 粘土층 補強	日·英 ·環境隔離效果 良好
	콘크리트 "	(一般Trench) 콘크리트 층補強	日·英 ·環境隔離效果 良好 ·建設費 過多
構造物處分 (Eng. Structure Disposal)	콘크리트構造物內 埋藏	日·日·英· 美獨	·臨時 貯藏用
空洞處分 (Mine or Cavity Disposal)	廢礦 또는 自然空洞利用	스웨덴	·坑道 補充 要 ·地下水 處理困難
岩鹽層處分 (Salmine Disposal)	岩鹽層에 貯藏	西德·英國	·岩鹽層 內에 不在
粘土層處分 (Clay Formation)	粘土層 利用	헝가리· 스위스	·開發 容易· 汚染 利用
硬岩層處分 (Hardrock Disposal)	硬岩層 利用	스웨덴	·掘鑿費 過多 ·高單位廢棄物 適用
頁岩層處分 (Hydraulic Fracturing)	頁岩層에 廢棄物과 시멘트를 混合 高壓으로 注入	日	·頁岩層 內에 不在
島嶼處分 (Isolated-Island Disposal)	島嶼利用·地中埋沒	空門	·施設費 過多 ·海上 運送問題

○ 海洋處分

處分方法	內容	事實施設	備考
海洋投棄 (Sea Dumping)	海洋에 直接 投棄	日·日·英· 미련란드· 헝가리·스위스	·實施 中斷, 第五條條 OECD/NEA 監視下 ·實施 中
海底地層處分 (Sea-Bed Disposal)	海底地層利用	日	·技術開發 段階 ·適用 困難

· Model 3 設置된 處分方法

〈표-8〉 Cesium - 137에 의한 地下水濃度 및 被曝線量

距離 m	處分法	地中埋沒		콘크리트 埋藏物		結果處分
		純	改良	地下	地下	
100	地下水濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{ml}$)	5.26	1.64×10^{-4}	5.93×10^{-4}	1.22×10^{-3}	-
	被曝率 (m rem/yr)	2.12×10^{-2}	6.61×10^{-12}	2.393	4.92×10^{-11}	3×10^{-11}
450	地下水濃度 ($\mu\text{Ci}/\text{ml}$)	5.51×10^{-11}	1.72×10^{-11}	6.22×10^{-12}	1.28×10^{-11}	-
	被曝率 (m rem/yr)	2.22×10^{-10}	6.93×10^{-11}	2.51×10^{-11}	5.16×10^{-12}	-

- 固体廢棄物 90萬드럼을 1년에 한 場所에 處分한다고 假定
 - 總放射能 20萬Ci 중 C^{137} 이 8萬7千Ci 含有한다고 假定
 - 處分數地의 環境條件中 帶水層이 깊이 6m, 幅1m로 存在한다.

이상의 결과로 보아 處分方法으로는 地中埋沒 方法을 채택하는 것이 最適인 것으로 結論된다.

한편, 우리나라의 地質圖에 의하면 粘土層이 널리 존재하므로 地中埋沒에 적합한 立地選定이 가능할 것으로 豫상되나 충분한 타당성 조사가 뒤 따라야 할 것이다. 그리고 地下空洞 또는 廢礦利用에 대한 가능성 검토도 필요하다.

海洋處分은 世界的으로 현재 中斷상태이지만 研究調査는 계속되고 있다.

5. 最終處分場 開設

放射性 廢棄物(固化體) 處分場의 경우 2007년까지 발생될 약 90만드럼의 廢棄物을 地中埋沒로 處分할 때 所要敷地는 20여만평으로 推산되며, 處分場開設은 제 1 단계로서 處分敷地의 立地選定 및 妥當性 調査로부터 제 2 단계인 敷地確定, 제 3 단계인 設計 建設까지 最小 3년이 소요되며 試驗處分 및 安全性 평가를 거쳐 正常處分을 실시하여야 한다.

處分場 開設費用은 약 80억원이 소요되며 년간 運營費는 약 10억이 소요될 것으로 推상된다.

실제 處分費는 드럼당 4만원선이 되나 事後環境 監視 및 앞으로 대두될 高準位廢棄物 管理를 위한 基金造成을 고려하여야 하며 10만원선으로 설정할 때 發電單價에 미치는 영향은 0.27%에 지나지 않는다. 참고로 外國의 處分單價는 표 9와 같다.

處分場 管理에 있어서는 대부분의 나라에서는 政府傘下에 電力會社가 아닌 제 3자의 廢棄物 管理專

● 原子力放射性的 廢棄物處理는 ①

〈표-9〉 固体廢棄物 處分方法에 따른 經濟性 比較

處分方法		(가) 國內處分單價算出	(나) 外國에서의 處分單價	(다) 文獻上의 處分單價
地中埋沒	單純	16	45	20
	改良	44	—	21
콘크리트構造物	地下	244	242	128
	地上	105	196	119
硬岩層 處分		423	253	—

(가) 固体廢棄物 萬드림을 處分할 수 있는 施設에 대한 建設費用에서 換算 實際

(나) Chem-Nuclear System, Inc. 에서 提供한 單價

(다) 文獻에 提示된 單價 (P. J. Macbeth, NUREG/CR-0680, 19 1979)

〈표-10〉 段階別 推進計劃

구분	段階別	1 段階					2 段階					3 段階				
		'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	
目 標	○中·低單位 廢棄物管 理의 政策樹立 및 基 礎確立	[Progress]					[Progress]					[Progress]				
	○中·低單位 廢棄物 處 理場分場建設	[Progress]					[Progress]					[Progress]				
	○中·低單位 廢棄物配 理處分 技術開發	[Progress]					[Progress]					[Progress]				
· 安全基準 確立	· 處理·處分 技 術確立	[Progress]					[Progress]					[Progress]				
	· 管理체制確立	[Progress]					[Progress]					[Progress]				
	· 最終處分 建設	[Progress]					[Progress]					[Progress]				
	· 最終處分 選定	[Progress]					[Progress]					[Progress]				
	· 專門人力養成	[Progress]					[Progress]					[Progress]				
	· 國際協力	[Progress]					[Progress]					[Progress]				

擔機構를 設립하여 安全性에 眼點을 두어 運營하고 있다. 이와같은 실정에 비추어 敷地選定에서 試驗處分까지는 韓國電力公社가 주관하며 1987년에 專擔機構를 設립·運營하는 것이 바람직하다.

6. 放射性廢棄物의 技術基準

현재 우리나라에는 原子力法과 施行令은 있으나 각종 技術基準은 設定되어 있지 않은 실정이므로 廢棄物管理의 효율성과 특히 安全性 확보를 위한

구체적인 技術基準이 필요하다. 또한 국가마다 사 회적 배경 및 법체제 등이 상이하므로 우리 실정에 맞는 基準을 設定하여야 하며 이에 따라 82년에 放 射性廢棄物 處理施設의 設計·建設基準과 處分敷地 選定 基準案이 작성 완료되었으며 앞으로 廢棄物의 包裝, 輸送, 處分場의 設計·建設, 處分場의 事後 監視 및 環境影響評價 基準 등이 連차적으로 設定 되어야 할 것이다.

7. 技術開發方向 및 內容

廢棄物의 減容處理에 관한 연구가 지역적 특성이 요구되는 處分敷地選定, 安全性 評價, 包裝 및 輸 送容器, 事後監視 등을 위한 技術開發이 시급하며, 蒸發器, 脫塩器, 필터系統 등의 處理施設과 시멘트 固化施設등도 조속히 國產化 되어야 할 것이다.

이들 技術을 開發하기 위한 所要人力은 專門家, 技術者 및 技能人을 포함하여 고정인력이 200여명, 流動인력이 270여명으로 약 500명의 인력이 所需될 것으로 예상되며 處分場 開設時에 집중적으로 需 要하며 그 이후에는 高單位 廢棄物 管理에 대비하여야 할 것이다. 참고로 3 단계 長期推進計劃은 표10 과 같으며 조속히 政策으로 確立되어 착수되어야 할 것이다.

8. 結 言

이상에서 언급한 바와같이 放射性廢棄物 管理業 務는 環境汚染 및 放射線障害를 最小화하기 위해 國家的인 次元에서 수행되어야 할 것이며 關聯團體 및 研究所들간의 상호협력하에 효율적으로 圓滑히 추진되어야 할 것이다.