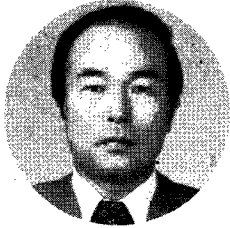


原子力發電所의 環境影響 評價

Environmental Impact Assessment on Nuclear Power Plant



李 鉦 浩

〈韓國에너지研究所 環境安全研究室長〉

1. 序 論

原子力發電所로부터 배출되어지는 放射性物質은 火力發電所와 一般 化學工場의 汚染物質과는 달리 다중방호 개념에 따라 면밀한 監視下에 제어되도록 設計되고 운전된다. 國際放射線防護委員會의 1次線量制限値의 약 1%에 해당되는 設計目標値로 주변주민의 被曝線量을 관리하기 위해 放射性核種에 따라 最大許容濃度의 1/100~1/30로 排出토록 하고 있다.^(1,2)

이러한 排出段階에서의 1次的 監視와 아울러 周邊環境의 2次的 監視를 병행시킴으로써 對照監視 뿐만 아니라 放射線·能의 蓄積傾向까지 파악하여 주변주민과 生態系의 安全性을 항상 分析토록 한다.

發電所의 建設許可 申請段階에서 요구되는 環境影響評價書엔 發電所 稼動前의 環境放射線·能을 미리 제시하게 되어 있으며, 運營許可段階에 제출하게 될 最終安全性分析報告書엔 環境放射線·能監視에 대한 기술사양서를 明記토록 하여 放射線·能의 變化를 파악하게 하고 있다.

이와 같이 철저한 環境監視計劃은 被曝線量管理와 環境放射線·能管理라는 두가지 형태의 개념으로 대별하여 이루어진다. 被曝線量管理는 發電所 주변의 특수사회환경을 모두 고려한

被曝經路에 따라 피폭해석모델을 設定하고, 그 모델에 의해 年中 個人最大被曝線量 및 半徑 80 Km內 集團線量을 計算하며, 이를 선량제한치와 比較하여 原電稼動에 따른 주변주민의 安全性을 評價하는 것이다. 環境放射線·能管理는 設定된 試料採取 地點에서 環境매체내 放射線·能을 分析함으로써 기술사양서의 보고의무치나 核種別 제한치와 比較케 하는 것이다.^(3,4)

그 이외의 非放射性物質의 액체방출에 따른 環境影響評價로서는 취수구에서 微生物의 成長에 따른 열전달 감소를 방지키 위해 투입되는 염소와 단백질, 탄수화물 등과의 化學反應에 따른 海洋生態系의 影響과 온배수의 效果 등이 있다.

2. 放射性物質의 處理系統과 排出量

原子力發電所의 正常稼動으로 부터 環境으로 排出되는 放射性物質은 氣體와 液體狀態로 大別되며, 특히 冷却水를 海水로 사용하는 國內 發電所의 경우 氣體放射性物質이 미치는 影響이 注目을 받게 된다. 氣體放射性物質은 氣體廢棄物處理系統을 거치면서 여러 단계의 監視制御를 받는다.

PWR의 경우 原子爐 冷却材에서 나오는 核分裂가스가 들어있는 VCT, 1次冷却材內 中性子を 吸收키 위해 添加시킨 보론의 증발기, 廢

液收集탱크 등에서 放射性不活性氣體·粒子 및 요오드를 압축기로 연속제거하여 탄소강으로 이루어진 氣體減衰탱크(GDT)로 보낸다. GDT에서 반감기가 짧은 核種을 45일 이내 모두 自然崩壞시키고 가스를 採取하여 핵분열생성물의 농도와 放射能을 分析한 후 補助建物 排氣口를 통해 내보내게 된다.

대부분의 放射性氣體廢棄物은 이와 같은 계통을 거치지만 原子爐 冷却材가 벨브, 펌프의 Shaft Seal에서 부터 일부 누출되어 各 建物内에 증발된 狀態의 氣體廢棄物로 잔존하기도 한다. 격납용기의 활성탄정화계통을 거친 후 少量의 放射性物質이 약 55m의 지표고의 배기구에서 배출된다. 보조건물 배기구의 처리방식도 이

와 같다.

한편, 2次冷却材의 유일한 放射能源은 증기 발생기에서 부터 오는 1次冷却材의 누출이며, 2次系統인 증기발생기 블로우다운 탱크에서의 배기가스와 터빈건물, 복수기의 폐가스, 터빈 Gland Seal에서의 배기가스 등에 존재하는 放射性氣體廢棄物의 量은 소량이어서 大氣 및 터빈건물 배기구 등으로 바로 배출케 된다.

이와 같은 처리계통의 각종 변수를 고려하여 原子力發電所에서 부터 正常稼動中 環境으로 排出되는 放射能物質을 계산한 이론적 平均값을 Source Term이라 하며, 실제 古里 1號機의 경우 배출된 核種別 放出量 자료는 表 1 과 같다.

〈表 1〉 Gaseous Radioactive Effluents from Kori Unit # 1

	1979	1980	1981	1982 (1st half)	cf.
Ar 41			1.965×10^{-2}		noble gas
Xe 133	1.912×10	1.189×10^2	2.086×10^2	1.704×10^3	
Xe 135	5.986×10^{-2}	2.138×10^{-1}	1.264×10^{-1}	4.060×10^{-1}	
Xe 133M			2.834×10^{-1}	8.870	
Xe 135M			5.443×10^{-3}	7.670×10^{-2}	
Kr 85	1.240×10^{-1}				
Kr 87					
Co 58		2.406			particle
Co 60	1.099×10^{-4}	2.012	1.216×10^{-3}	3.310×10^{-2}	
Mn 54		3.665×10^{-1}			
Cr 51		2.125×10^{-1}			
Fe 59		2.548×10^{-2}			
Zr 95		1.175×10^{-1}			
Nb 95		1.837×10^{-1}			
Cs 134		2.849×10^{-1}			
Cs 137		2.318×10^{-1}			
Tc 99M					
Ru 88	8.880×10^{-5}				
Ru 103					
I 131	4.271×10^{-2}	3.475×10^{-1}	4.457×10^{-3}	2.180×10^{-3}	iodine
I 133			5.300×10^{-6}	5.950×10^{-5}	
H 3				1.160×10^{-1}	tritium

〈表 2〉 Maximum Individual Doses from the Gaseous Radioactive Effluents of Kori Unit 1

	Gaseous effluents (Ci/yr)	Dose for adult (mrem/yr)			Annual beta air dose (mrad/yr)	Annual gamma air dose (mrad/yr)
		T. Body	Thyroid	Skin		
1977	35×10^{-6}	1.49×10^{-5}	1.45×10^{-5}	1.7×10^{-5}	0.	0.
1978	13×10^{-6}	3.09×10^{-3}	3.03×10^{-3}	3.56×10^{-3}	0.	0.
1979	19	0.033	5.929	0.029	1.01×10^{-3}	2.02×10^{-3}
1980	126	20.14	16.65	18.11	1.09×10^{-2}	3.67×10^{-3}
1981	209	0.01	0.13	0.02	1.90×10^{-2}	6.42×10^{-3}
1982	1,733	0.10	0.11	0.21	2.88×10^{-1}	9.69×10^{-2}
10CFR 50, Appendix I	-	5	15	15	20	10
ICRP Recommendation	11,800	500	3,000	3,000	-	-
FSAR	-	3.04	16.27	-	-	-

〈表 3〉 Gross Wind Rose in the Kori Site, 1982 Unit; % of Total Observation

NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	CALM
8.1	7.4	4.6	3.1	2.0	2.5	2.6	5.2	8.4	11.0	6.7	7.1	6.9	4.9	7.6	11.9	0.1

3. 被曝線量 解析

原子力發電所에서 부터 배출되는 放射性物質에 의해서 주변 주민이 받는 被曝線量の 解析은 잠정적 事故發生의 경우와 正常稼動의 경우로 大別하며, 事故 경우에 대해서는 확률론적 해석 방식과 實時間 解析方式으로 나뉘어진다. 一般의 正常稼動時 1年間 排出된 放射性物質의 平均농도로부터 주변 주민이 받는 被曝은 設定된 被曝經路에 따라 個人最大被曝과 集團被曝으로 나누어 해석하게 된다.

發電所에서 부터 주변 주민의 被曝部位에 이르는 各各의 環境 소단위 사이에 放射性物質이 평형으로 유지된다는 가정하에 被曝解析모델을 樹立하고 各各의 연령군과 核種別로 被曝線量을 計算한 값을 表 2에 제시했다. 이 값은 表 1의 古里 1號機에 대한 실제 放射性物質 排出量으로부터 받은 成人의 個人最大被曝線量으로 國內 原子力法規에 設定된 500mrem/yr (전신선량)를 훨씬 하회하고 있는 값들이다. 이를 다시 ICRP 권고치나 10CFR50에 設定된 設計目標値와 비교하여 表 2에 수록하였다.

個人最大被曝線量を 解析하는 데 있어서는 不確實性이 가장 높은 大氣擴散을 면밀히 검토하

는 것이 주요한 變數로 등장한다. 原子力發電所敷地에 설치된 氣象塔에서 매 15分마다 1年동안 風向, 風速, 大氣安定度を 측정하여 이들을 주어진 大氣擴散모델에 의해 大氣擴散因子를 計算하고 통계처리하여 風配圖를 도출해 낸다. 1982年 한해 동안의 氣象資料에 의해 구한 16방위별 바람의 빈도를 表 3에 提示하였다. 여기에서 주의할 점은 住民이 居住하는 地域에 대해서 가장 큰 빈도를 갖는 風向을 찾고, 이 풍향에 있어 敷地境界線상의 보수적 大氣擴散因子値를 計算해야 하는 점이다.

大氣內 放射性物質의 舉動에 미치는 기상현상 중 역전층 형성, Fumigation 발생, 海風에 의한 循環, 乾·濕沈積의 精確한 糾明 등이 요구되나 일년이란 長期의 解析에 있어서는 正規分布式을 사용함으로써 일어나는 誤差는 그리 크지 않은 것으로 발표되고 있다.⁽⁶⁾

산악지형에 있어서는 正規分布式에 사용되는 Pasquill-Gifford 곡선은 상당한 오차를 가져오는 것이 사실이나, 이들의 오차가 큰 方向으로 나타나기 때문에 保守性的의 觀點을 強化시켜 주는 장점이 있기도 하다.

大氣擴散 이외에 被曝解析모델에서 커다란 변

수로 등장하는 것은 攝取에 의한 被曝經路中 먹이連鎖(Food chain)이다. 먹이연쇄를 해석하기 위해서는 먼저 陸上生態系와 水生生態系로 대별한다. 陸上生態系에 있어서는 大氣와 地表面 사이의 放射性物質의 전달, 토양내 放射性核種의 축적, 食用性 곡류와 動物의 사료에의 核種의 移動에 대한 정확한 전달계수들을 樹立하는 것이 重要하다. 水生生態系에 있어서도 陸上生態系와 같이 物理化學的 過程, 核種의 吸入(Uptake)에 관한 지역특성치의 확립이 필요하다.⁷⁾ 그러나 이들 농축인자 등에 관한 國內 固有值가 거의 없어 대부분 주어진 Default Value 들을 사용하였다.⁸⁾

그의 海洋에서의 液體放射性物質의 海域擴散 모델의 樹立, 標準 韓國人의 設定과 線量轉換 因子의 設定 등이 被曝解析에 민감한 인자들로 작용한다.

4. 環境放射線·能 및 温排水 評價

放射性物質의 排出源 監視와 被曝監視에 이어 原電 周邊의 環境放射線·能을 分析함으로써 環境影響을 評價하게 된다. 이는 環境매체에 따라 連續監視와 分期別 監視 등으로 나뉘어지며, 이에 대한 調查指針이 1985年 告示로 發表된 바 있다.⁹⁾

空氣, 陸上, 食品類와 같은 試料의 採取는 주로 最大大氣擴散值를 가지는 지역, 半徑 16 Km內 인구밀집지역, 半徑 16~32Km내 최소빈도의 風向에 해당되는 比較地點 등으로 나누어 주어진 주기에 따라 시행하고, 海水의 경우는 取水口, 난류가 일어나지 않는 排水口 등에서 試料를 採取하게 되어 있다. 이는 原電에서부터 排出된 放射性物質이 周邊環境에 어떻게 存在하는가를 주어진 分析方式¹⁰⁾에 따라 면밀히 파악함으로써 環境放射線의 變化와 放射能 蓄積 傾向을 監視하는 데 목적이 있다. 이런 監視 結果, 資料는 發電所의 잠정적 事故 發生時 대조

자료로 사용될 수 있을 뿐 아니라 放射性物質의 生態系內 먹이연쇄를 通한 人體로의 흡수과정을 고찰할 수 있도록 해준다.

古里지역의 空間集積放射線量은 1980年이 29.4 $\mu R/hr$ 로 全國 平均値보다는 다소 높았으나, 1981년부터 全國 平均値와 거의 一致하고 있다. 環境放射線量率은 1980年 이후 平均値가 약 16 $\mu R/hr$ 로 全國 測定値와 一致하고 있다.

古里 인근 海水의 前베타放射能은 1970~1977年까지의 稼動前 測定値가 29.6 ~ 745.2×10^{-3} pCi/ml로 변동폭이 심하였다. 1980年 경우 發電所 排水口의 前베타放射能 및 Sr-90, Cs-137 그리고 地下水, 강수중의 트리튬 등의 測定値도 계절적 변동이 심하나, 稼動前과 比較할 때 뚜렷한 差異를 보이지 않고 있다(表 4 참고).

이러한 環境放射線·能 測定値는 그 값이 극미량이어서 고도의 측정기술과 통계적 解析方式이 要求된다. 또한 環境放射線·能의 變化에 기여하는 것이 原子力發電所 排出量만은 아니고 핵실험·우주선 등이 복합적으로 作用하게 된다. 또한 排出時間과 採取時間의 상이에 따른 採取方式의 선택도 重要한 요인으로 등장될 수 있다. 즉 Grab, Composite, Integrated 방식 등이 그것이다. 더욱 중요한 것은 排出된 放射性物質이 大氣 및 海水로 擴散되어 갈때 미치는 氣象條件과 海洋條件에 따라 測定値와는 의미 차이가 다를 수도 있다는 점이다.

한편, 古里海域의 温排水 擴散域은 대체로

(表 4) Gross β Activities of Marine Samples Collected in the Coastal Area Around Kori and Wolsung Nuclear Power Plant

(unit : pCi/g-dry)³

Samples	Kori	Wolsung
Seaweed	15.37	15.20
Fish	10.10	10.64
invertebrate	3.92	5.29
Sea sediment	20.47	18.46
Sea water	439.69	397.83

*unit : pCi/l

落潮流의 경우 南南東 方向으로, 漲潮流의 경우 南南西 方向으로 Thermal Plume을 형성하며, 周邊溫度보다 1°C 이상 되는 범위는 600~1,500m에 이르고 있다.⁽¹¹⁾

冷却水가 復水器를 거치는 과정에 다양한 작은 미생물들이 복수기 내벽에 점액질을 형성하여 열전달 기능을 저하시키므로 이를 防止하기 위해 투입하는 Sodium Hypochlorite에 의한 잔존 염소량 및 化學反應에 의해 生成된 아민류의 유기화합물복합체에 의한 海水汚染등이 있다.⁽¹²⁾

5. 火力發電所와의 比較

原子力發電所에서 排出되는 放射性物質과 火力發電所에서 排出되는 放射性物質 및 NO_x, SO_x 및 벤조파이렌에 의한 環境影響을 比較 검토하기란 상당히 어려운 문제이다. 그럼에도 불구하고 化石燃料의 부족과 이의 연소에 의한 環境汚染이 심화되면서 發電單價와 아울러 이들 兩大 發電의 經濟性 分析 및 環境影響의 比較로서 長期에너지需給政策을 수립코자 하는 경향이 커지고 있다.

이들 比較에서는 첫째, 火力발전소에서 나오는 벤조파이렌이란 發癌物質에 의한 癌死亡率과 原子力 발전에 따르는 放射性物質로 부터의 癌死亡率을 比較하는 것이다. BEIR(Biological

Effects of Ionizing Radiation)委員會는 平生 1 rem/yr로 연속적인 被曝을 받을 경우 1rem/yr 당 死亡者數는 150/10⁶으로 계산했다. 그런데 사람이 받는 대부분의 被曝線量은 우주선, 토양의 감마선, 신체조직과 뼈내 K-40, 자연방사능원인 Ra-226, Po-210 등으로 부터 오며, 이 값은 地域에 따라 다르지만 약 100mrem/yr이다. 그외 의학적 진단에 쓰이는 X선 및 방사선 치료에 의한 선량이 20~100mrem이며 낙진, TV수상기, 항공여행 등에서 받는 피폭도 조금 있다. 이들에 비해 원자력발전소에서 設計目標值로 가동하는 5mrem/yr는 상당히 적은 값으로 이에 의한 癌死亡者는 1/16⁶이어서 火力발전의 142/10⁶에 비해 무시할 정도이다(表 5 참조).

둘째 比較는 火力발전에서 생성되는 Coal Ash나 Fly Ash내 함유된 Ra-226, Ra-228, Th-228 및 Th-232의 방사능과 원자력발전소에서 배출되는 방사성물질로 부터 피폭선량들을 계산하여 比較하는 방식이다. 그 일례로 表 6을 보면 석탄발전에 따른 피폭선량이 PWR의 경우보다 약 30배에 이르는 것으로 나타나고 있다.⁽¹³⁾

세째는 원자력발전에서는 생성되지 않는 NO_x, SO_x 등의 산성물질에 의한 영향과 분진에 의한 호흡기 질환 등을 특정 알고리즘에 의해 평가하는 것이다.

(表 5) Summary of Estimated Cancer Deaths per Million from Discharges from Nuclear Power Stations and Coal Fired Stations: Benzo(a)pyrene and General Air Pollutants

Nature of exposure	Type of risk considered	Total deaths per million from risk considered in Column 2	Contribution from exposure as per Column 1	Percentage of total deaths from exposure
1	2	3	4	5
Dose of 5 mrem from nuclear effluents	Cancer including leukaemia	1500 ^a	1	0.06
Benzo(a)pyrene in city air	Lung cancer (increment per ng/m ³)	867 ^b	48	5.5
Effluents from coal fired stations	Lung cancer (increment per tonne of coal per person)	750 ^b	142	19.0
General air pollutants	Lung cancer	1050 ^b	425	41.9

^a Estimated average cancer deaths per million per year.

^b Estimated lung cancer deaths per million per year in the population considered.

(表 6) Comparison of Modern Nuclear Plants with a Modern Coal-Fired Plant

	Coal Plant*	PWR**	BWR***
Size	1,000MWe	462MWe	200MWe
Stack	800ft	200ft	300ft
Effective stack	1,500ft	0ft	300ft
Fly-ash	4.5×10^9 gm/yr	-	-
Ra-Th	47.9mCi/yr	-	-
Noble gases	-	3.7Ci/yr	240,000Ci/yr
Liquid discharge	-	-	-
Fission products	-	3.8Ci/yr	6.0Ci/yr
Tritium	-	1,735Ci/yr	2.9Ci/yr
Dispersion (Type)	2.1×10^{-8} sec/m ³	2.5×10^{-5} sec/m ³	-
Wind speed	8 m/sec	8 m/sec	6 ~ 8 m/sec
Critical organ	Bone	Total body	Total body
Dose limit	333rem/hr	57rem/hr	57rem/hr
Dose rate (hr-MWe bases)	35.2×10^{-6} rem	1.2×10^{-6} rem	8.7×10^{-2} rem

* Coal plant data based on 9% ash content, 97.5% fly ash removal and radioactivity levels in Widows Creek Coal.

** PWR data for the Connecticut Yankee plant are based on 1968 discharge data.

*** BWR data for Dresden- I : dose rates were linearly adjusted from field measurements to discharge data.

이러한 비교 결과 화력발전보다는 원자력발전이 청결에너지로서의 보다 많은 장점을 지니고 있다.

6. 結 論

原子力發電所の稼働에서 부터 排出되는 放射性 및 非放射性 物質에 의해 周邊住民과 生態系가 받는 環境影響의 評價方式과 法制度를 검토한 후, 現在 稼働中인 原電에 대한 結果들을 해설하였다.

한편, 화력발전에 따르는 環境汚染을 비교함으로써 원자력발전이 가지는 청결에너지로서의 장점을 제시하였다.

종합적이고 다원적인 環境영향평가를 요구하고 있는 국내 원자력발전소의 가동으로 부터 크게 문제화되고 있는 사항들은 없으나, 각 호기별 環境감시계획의 일원화와 보다 면밀한 조사·분석 등이 뒤따라야 될 것으로 고찰된다.

〈參 考 文 獻〉

1. H. Cember, Introduction to health physics, p235, Pergamon Press, 1983

2. B. W. Kim, B. K. Kim, J. H. Lee, J. Kor. Nuclear. Soc., 17(4), 1985
3. 原子力安全問題研究會, 原子力發電の安全性, 95, 岩波書店
4. IAEA, Effects of ionizing radiation on aquatic organisms and ecosystems, Tech. Rep. No. 172, p6, 1976
5. U. S. NRC, 10CFR20, Standards for protection against radiation, 1984
6. R. L. Drake, Mathematical models for atmospheric pollutants, EPRI/EA-1131, 1979
7. J. H. Till and H. R. Meyer, Radiological assessment, NUREG/CR-3332, 1983
8. U. S. NRC, Regulatory Guide 1. 109, 1977
9. 과학기술처, 원자력발전소 주변환경조사 지침 (고시 제85-5), 1985
10. U. S. EPA, 40CFR 41, Monitoring and analytical requirements, 1984
11. 李鉦浩 外 21人, 環境監視方法의 標準化 研究, KAERI/RR423/83, 1984
12. M. H. Lietzke, A kinetic model for predicting the composition of chlorinated water discharged from power plant cooling systems, ORNL/NUREG-13, 1977
13. J. E. Martin, E. D. Harward and D. T. Oakley, Comparison of radioactivity from fossil fuel and nuclear power plants, PAM-1998, 1969