

原子力發電所의 周邊管理

— 環境모니터링과 緊急時對應 —

宮永 一郎 <電力中央研究所 研究顧問>

1. 概 要

原子力の 平和的 利用을 위해서는 大衆의 건강보호와 安全性 確保가 가장 重要하고 基本的인 問題이다.

原子力發電所의 運轉으로 인한 放射性物質의 放出을 最小化하기 위하여 모든 노력을 다하여 오고 있으며, 一般大衆의 進신포복선량의 制限值을 放射線防禦에 관한 法에서 年間 500mrem으로 규정하고 있다. 국제방사선방호위원회(ICRP)의 ALARA原則에 따라 1975년도에 日本原子力委員會에서 指針을 發表하였으며, 輕水型原子爐의 稼動時 氣體와 液體 放射性廢棄物의 放出基準을 年間 5mrem이내로 制限하였다.

放出物의 放射能 濃도를 낮추기 위한 효율적인 裝備設置와 아울러 核燃料性能과 部品材質 및 1次冷却材 水質 등의 改善 結果, 放射能 放出이 현저하게 줄어들었으며 一般大衆에 대한 放射線 피폭이 基準值인 年間 5mrem에 비해 극히 낮다.

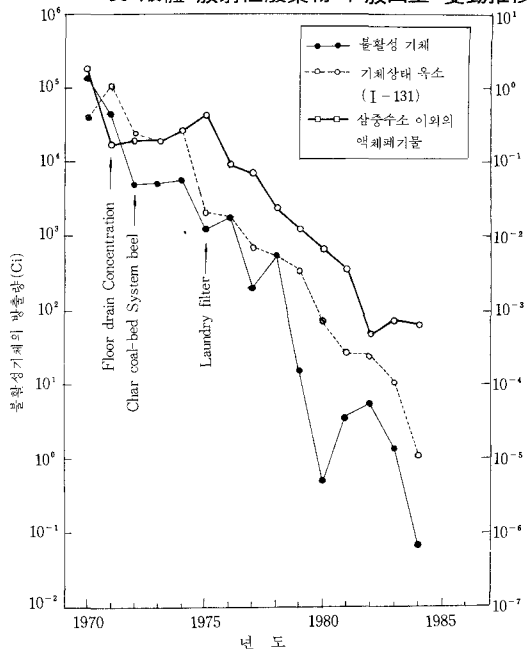
그림 1은 1970年 日本에서 처음 상용 가동된 경수형원자로인 Turuga 1號機에서 放射能廢棄物의 放出이 감소되고 있음을 보여주고 있다.

2. 環境監視系統

環境監視는 여러가지 試料의 放射線 및 放射能을 測定하고, 一般大衆의 피폭선량을 評價하며, 大衆의 보건과 安全性을 立證하는 것이다.

環境監視系統은 주로 發電所外部의 放射線測定網과 여러가지 試料 채취망 및 그 測定으로 구성된다. 放射線 監視의 일환으로 發電所 경계를 따라 放射線連續監視器를 設置한다. 이 設備는 1957年 日本 原子力研究所(JAERI)의 J-RR-1 設置 초기에 처음으로 운영되었으며, 現在는 原子力發電所 認許可基準의 하나로 채택되어졌다. 이 系統은 原子力發電所로 부터 放出되는 極低準位 氣體廢棄物을 감지할 수 있을

〈그림 1〉 Turuga 1號機(BWR, 375MW)의 氣體 및 液體 放射性廢棄物의 放出量 變動推移



정도의 매우 敏感하고 信賴性있는 測定系統으로 開發되었다.

原子力發電所가 所在하고 있는 地方政府는 독립적으로 原子力發電所 周邊에 監視設備를 設置 運營하고 있으며, 이 設置로 부터 나오는 모든 자료는 지방정부의 中央監視센터와 규제 기관의 지방분소에서 받아들일 수 있다. 各 原子力發電所마다 환경시료, 채취장소 및 週期가 定해져 있으며, 科學技術廳에 의해 I-131, Cs-131, Sr-90, Co-60, Ce-144와 같은 특수한 核種의 測定節次가 作成되었다. 환경시료의 放射能 測定은 原子力發電所와 지방정부에서 遂行하고 있으며, 동일시료의 교차점검이 고려되고 있다. 모든 자료는 지방정부의 委員會에서 評價되고, 分期마다 發表된다.

아직까지 原子力發電所에서 放出된 放射性廢棄物로 인한 一般大衆의 피폭선량은 운전목표치인 年間 5mrem보다 아주 낮게 유지되고 있다.

3. 非常計劃의 檢討

原子力發電所의 假想事故에 대처하기 위한 所外 非常計劃은 災害對策基本法에 규정되어 있으며, 이 法에는 태풍, 홍수와 지진 등의 自然災害와 대규모 火災나 폭발과 같은 人工災害對策이 포함되어 있다. 이 法에 의하면 各 지방정부의 長이 災害를 減少시키거나 막기 위한 非常活動을 遂行하고 住民을 보호하여야 할 責任을 갖고 있다.

政府의 관련부처는 지방정부가 實行하는 제반 防禦活動을 위하여 적절한 자문과 지원해야 할 責任을 가지고 있다. 따라서 아직까지 非常計劃은 自然災害와 그밖의 災害에 대한 過去의 경험에 의해 一般의으로 구성되었으며, 原子力發電所 事故의 특수한 양상이 고려되어 있지는 않았다.

1979年의 TMI-2事故 以後 중앙재해방어통제

위원회(Central Disaster Prevention Control Council)는 신속하게 非常對應制度의 再檢討와 개정을 하였으며, 동시에 原子力安全 委員會는 原子力發電所 事故에 대한 非常對應의 技術的 측면을 조사하여 지방정부의 原子力發電所 所外 非常對應計劃에 대한 指針을 發表하였는데, 非常計劃에서 非常監視系統이 가장 중요한 기술적인 문제중의 하나였다.

4. 非常對應系統 및 通信

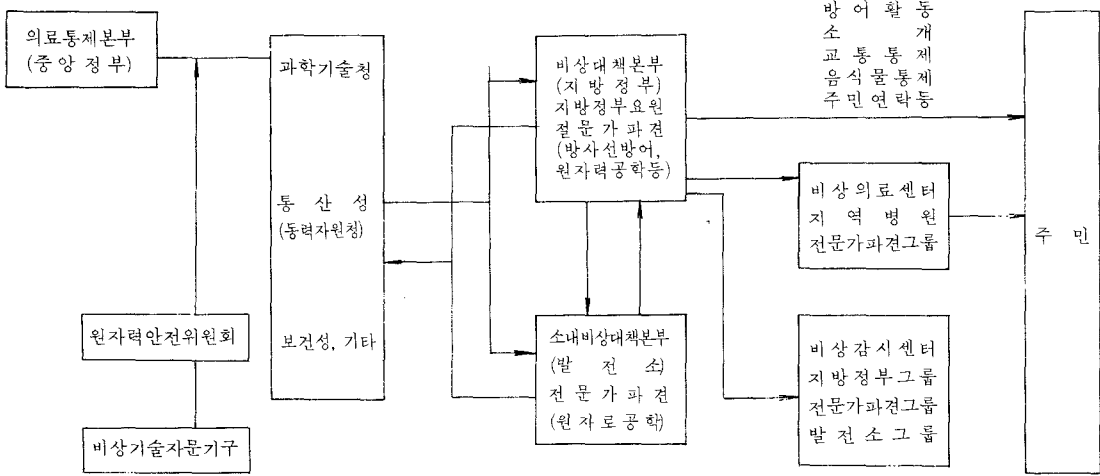
原子力設備에서 事故가 發生하거나 所外에 영향을 미칠 우려가 있을때 非常對策이 迅速하고 適切하게 遂行되는 것이 매우 重要하다. 이러한 目的을 달성하기 위해서는 正確한 정보를 수집하고 指示나 勸告를 하기 위한 非常對應組織과 通信網이 제대로 구성되어 있어야 한다. 지금까지의 非常對應組織은 그림 2와 같이 구성되어 있다.

원자력안전위원회는 지방정부내 비상대책본부의 방어대책을 지원하여야 하는 안전규제기구에 技術的 諮問과 指導를 하기 위한 비상기술자문기구(Emergency Technical Advisory Body)를 구성하도록 規定하였다. 비상기술자문기구는 原子力安全委員會의 委員과 原子爐技術, 保健物理, 放射線 醫學分野 등의 專門家로 組織되어 있다. 또한 지방정부의 非常對策本部에 專門家 과견과 裝備輸送節次를 確定하였다. 사람과 裝備의 輸送 責任은 空軍자위대에 있다.

非常에 對備한 原子力發電所와 지방정부와 규제기관사이에 非常通信網이 設置되어 있으며 과학기술청과 통산성, 지방정부와 各 發電所간에 直通非常電話와 팩시밀리가 設置되어 있다.

안전규제기구는 非常對策本부의 設置 必要性을 판단하여야 하며 관련부처에 通報하여야 하고 모든 정보가 안전규제기구에 의해서 發表될 것이다. 의료 및 구조를 위해서 지역병원의 의사, 간호원 및 소방대원으로 의료 및 구조팀이

〈그림 2〉 原子力發電所 非常對應組織



구성된다. 또한 일본방사선의학종합연구소의 專門家를 지방정부의 非常對策本部로 파견하게 된다.

5. 非常環境監視

지방정부의 非常對策本部가 設置되면, 곧이어 非常監視센터가 設置된다. 감시차량을 利用하는 여러 監視팀은 지방정부요원과 發電所 직원 및 지정된 기관으로부터 파견된 專門家로 구성된다.

事故初期段階에서 必要한 對策을 성공적으로 遂行하기 위해서는 事故 發電所의 상황과 放射能의 누출에 대한 情報가 아주 重要하다. 放射性物質의 누출량에 대한 情報를 획득하기 위해서 TMI事故 以後 原子力發電所의 排出口 放射線測定範圍와 環境放射能監視設備의 線量測定範圍를 폭넓게 확대하여 왔다.

原子力安全委員會가 廣域測定範圍를 定하였는데, 例로 加壓輕水爐(PWR)의 배기구에 있는 氣體監視器는 放射性不活性氣體를 $1 \times 10^2 \mu \text{Ci/cm}$ 까지 測定하여야 하고, 固定用 環境監視器는 1R/h까지 測定하도록 하였다.

非常時 環境監視의 目的은

(a) 공기중의 放射能濃度와 피폭선량을 準位를 迅速하게 測定하고 住民에 對한 급성위험을 판단하며 事故初期段階에서 放射線 피폭을 防止하거나 減少시킬 수 있는 방어활동을 決定하고,

(b) 事故復舊段階에서 住民에 對한 放射能의 영향정도와 住民 피폭선량을 評價하기 위하여 環境에서의 放射線 및 放射能을 세부적으로 測定하기 위함이다.

目的 (a)를 위한 非常監視를 1段階監視라 하며, 1段階監視는 放射性物質의 放出後 迅速하게 遂行하여야 한다. 原子力發電所 境界에서나 發電所 周邊에서의 공기중 放射線準位나 放射能濃度를 連續적으로 測定할 수 있도록 固定用 監視設備가 고루 設置되어 있으며, 追加測定을 위해 휴대용 연속감시기가 준비되어 있다. 事故狀況에서 여러가지 계측장비를 갖춘 감시차량이 使用된다. 오늘날은 空氣에 의한 公중탐사기술의 이용이 可能하게 되었다. 初期段階에서는 精確도보다는 迅速性이 더욱 重要하다.

環境監視로 부터 얻어진 資料는 기상조건과 事故發生 原子力發電所로 부터의 放射性物質放出에 대한 情報를 고려한 住民에 對한 피폭선

량 예측에 사용된다. 예상피폭선량의 迅速한 예측을 위해서 電算코드시스템인 SPEEDI(System of Prediction of Emergency Environmental Dose Information)가 開發되었으며, 日本內 14개 全 原電 敷地에 利用 可能하게 될 것이다.

SPEEDI의 운용은 방사선안전기술 센터에서 하게될 것이며, SPEEDI를 지방정부에서 出力할 수 있는 작업은 금년중 시작하게 될 것이며, 數年內 完決될 것으로 예상된다. 이 시스템은 放出地點을 중심으로 200×200km내의 被曝線量 分布를 예측할 수 있다.

目的 (b)를 위해서는 보다 자세하고 광범위한 環境監視가 수행되어야 하며, 이를 2段階監視라 한다. 放射能의 測定을 위해 음식물, 공기, 토양, 빗물 등의 시료를 채취분석한다. 現在나 미래의 住民에 대한 영향은 放射能試料의 分析資料에 의해 評價되며 주민피폭선량이나 개인피폭선량은 環境監視結果에 의해 예측된다.

6. 其他 非常計劃의 技術的인 面

6.1 非常時 措置 指針

1965年 放射線審議會는 주민소개에 대한 非常時 基準線量으로 전신체외피폭선량 25rem과 방사선옥소 흡입으로 인한 감상선체내피폭선량 150rem을 勸告하였다.

基準線量과 ALARA原則을 基準으로 하여 非常時 防禦活動指針이 發表되었으며, 調整된 線量準位는 表1과 같다. 非常時 防禦措置로서 예상피폭선량의 準位와 放射線審議會에서 정한 防禦措置 指針의 線量基準의 비교에 따라 옥내대피, 주민소개 및 안정옥소 투약이 실시될 것이다.

事故發生時 原子力發電所로 부터 放出된 放射性不活性氣體에 대한 일본식 건물의 放射線 차폐인자는 조립식 가옥인 경우 0.9이고, 목조 건물에서는 0.7이며, 철근콘크리트는 0.4이다. 주민소개가 가장 효과적이지만 어려우므로, 사전에 대피로, 수송, 대피소를 포함한 計劃을 완

〈表 1〉 住民防禦指針

	예상피폭선량(rem)		방어 대책	
	전신외부 피폭	감상선 피폭	대 책	대상
I	1 ~ 5	10 ~ 50	옥내대피*	유 아 아 동 임산부
II	5 ~ 10	50 ~ 100	콘크리트 건물내로 옥내대피*하거나 소개 옥내대피*	유 아 아동동 임산부 성 인
III	10이상	100이상	콘크리트건물내로 옥내대피*하거나 소개	모든 사람

* 창문을 닫아 기밀성을 유지한다.

〈表 2〉 攝取制限基準

대 상	I-131 방사능농도 (실측치)
음료수	3×10³ PCi/l
채 소	2×10² PCi/g
우 유	6×10³ PCi/l

벽하게 수립해야 하고 기타 必要한 事項이 준비되어야 하며 住民에게 철저하게 알려주어야 한다. 안정옥소제의 투약은 適當한 狀況에 따른 追加措置로서 고려되어야 한다.

表2에는 음식물의 制限基準을 나타 내었다. 이 表는 I-131의 섭취에 의한 基準으로서 I-131의 濃度는 각 대상별로 0.5rem과 同一하고 연속섭취시는 1.5rem에 해당된다.

6.2 非常計劃區域

嚴格한 安全基準에 의한 設計와 건설 및 운전으로 原子力發電所의 事故는 극히 희박하다. 그러나 非常計劃 및 對策을 위해서 예정된 防禦活動을 하는 區域을 計劃하고 設定하여야 한다. 이러한 目的을 위해서 非常計劃區域으로 發電所 반경 8~10km의 範圍를 定하였는데, 이 範圍는 어떠한 특수한 事故를 假定하지 않고 가장 安定된 氣象條件인 F에서 放出地點으로 부터의 거리에 따른 확산형태에 의한 피폭선량의 減少에 근거를 두고 있다.

非常計劃區域의 外部에서는 設計基準 假想事故에서 放射性不活性氣體 放出으로 인한 예상피폭선량이 최저기준선량인 전신피폭선량 1rem보다 작을 것으로 예상된다. 아 물론 세부적인 非常計劃이 수립되고, 非常對策이 立證된 區域을 定하는 것이 중요하다.

어떠한 경우에는 非常計劃區域보다 넓은 地域에 영향을 미칠 것이나, 비상계획구역에서의 잘 준비된 비상대책은 이러한 狀況에 대처하는데 응용이 가능하게 될 것이다. 非常計劃區域은 原子力發電所로 부터의 거리 뿐만 아니라 人口分布나 地域경계와 같은 부지별 특성에 따라 設定되어야 한다.

6.3 住民通報系統

피해지역의 住民에게 通報하는 직접적인 方法은 사이렌이나 地域社會의 유선 및 무선통신 系統을 利用하는 것이다. 일본방송공사(NHK)와 민영방송국은 事故에 대한 情報를 住民에게 알리는 責任을 진다.

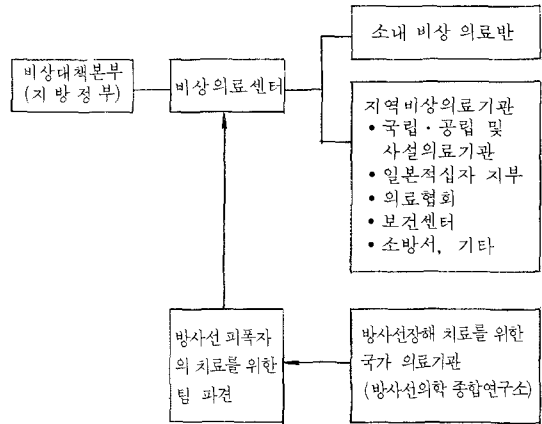
非常時 迅速하고 正確하게 대응하기 위해서는 事故規模에 알맞는 문장의 선택을 통해 사고상황 및 指示나 情報를 住民에게 보도할 수 있도록 수개종류의 문장을 사전에 준비하는 것이 바람직하다. 또한 一般住民에 대해 原子力發電所, 放射線 및 放射能과 非常對策의 一般知識을 教育할 必要性이 있다.

6.4 의료지원 및 진료

原子力發電所로 부터 大量의 放射性物質이 放出되는 경우 그림 3에서 보는 바와 같이 지방정부의 非常對策本部 산하에 곧바로 비상의료센터가 설치된다. 비상의료센터는 事故의 영향을 받는 地域에서 의료활동을 하게 되는데 비상의료지원조직은 지역병원, 기타의료기관과 일본방사선의학종합연구소에서 파견된 專門家로 구성된다.

原子力非常에서 放射線障害와 질병은 다음의 3가지 그룹으로 구분되어 진다.

〈그림 3〉 비상의료조직



○그룹 1 : 직접적인 방사선 피폭이나 방사능 오염과 관련없는 일반상해 및 질병.

○그룹 2 : 급성방사성질병에는 도달하지 않는 정도의 방사선 피폭이나 전신 또는 신체표면에 약간의 방사능 오염.

○그룹 3 : 임상학적 관찰이나 의료진료가 요구되는 정도의 방사선 피폭이나 방사능 오염.

소내비상의료반은 소내의 방사선피폭자를 위한 비상조치(응급조치, 제염 등)를 취하고, 必要한 경우 방사선피폭환자를 지역의료기관으로 후송한다. 또한 保健物理專門家は 환자의 세밀한 檢査를 위해 격리하는데 協力한다. 심각한 방사선 피폭을 받았거나, 오염된 환자는 제염과 방사성질병의 치료를 위해 일본방사선의학종합연구소로 보내어진다.

6.5 教育 및 練習과 訓練

경찰이나 소방대원, 保健이나 一般行政과 같은 지역기관의 담당요원을 위한 教育은 일본원자력연구소(JAERI)와 일본방사선의학종합연구소(NIRS)에서 수행하고 있다.

日本原子力研究所에는 放射線, 原子爐와 放射線測定 및 監視의 기초교육과정과 放射線計測과 치료전처리기술에 관한 보다 수준높은 知識과 경험을 요하는 2개의 서로 다른 教育課程이 있다.

〈表 3〉 非常防禦對策教育課程

교육과정	교육 기관	주 기 (회/년)	기간 (일)
고급과정(A)	일본원자력연구소	1	약10
고급과정(B)	"	1	약10
기초과정	"	약11	2
비상의료조치 과정	일본방사선의학종합 연구소	2	6

1979年以後 日本原子力研究所의 2개 高級課程을 수료한 수강자는 총389명이고, 기초 과정을 수료한 수강자는 총3,579명이다. 또다른 教育課程으로서 日本放射線醫學綜合研究所에서 實施하는 비상의료에 관련된 課程이 있다. 各 教育課程別 教育빈도와 기간은 表3에 기술되어 있다.

練習 및 訓練은 非常對策이 적절한지와 각 분야가 진전되었는지 確認하고 立證하기 위하여 實施한다. 練習 및 訓練은 다음의 순서에 따라 段階別로 수행하는 것이 바람직하다.

- (1) 비상통신훈련.
- (2) 비상환경감시훈련
- (3) (1)과 (2)에 住民에 대한 通報訓練을 포함.
- (4) 비상대책활동을 포함한 事故시나리오에 따른 全體訓練.

表4에 9개 縣에서 지금까지 實施된 非常練習 및 訓練을 기술하였다.

7. 研究開發

(1) 公중방사선탐사시스템의 開發

非常狀況에서 넓은 地域의 放射線 準位를 測定하기 위해서 헬리콥터를 利用한 항공방사능 탐사와 평가시스템(ARSAS)이 開發되어 왔다. 이 시스템은 서로 다른 방사선 준위를 측정할 수 있도록 3가지 형태의 NaI(Tl) 섬광계측기가 裝置되어 있으며, 自然放射線準位부터 1 R/h以上까지 넓은 範圍의 氣體廢棄物의 放射線量을 測定할 수 있다.

(2) 電算코드 SPEEDI 開發

〈表 4〉 日本에서의 非常練習/訓練

장 소	일 시	발전소명	훈련 항목
Miyagi	1983. 10. 17	Onagawa-1	통신
	1984. 10. 23	Onagawa-1	통신 및 환경감시
	1985. 10. 29	Onagawa-1	통신 및 환경감시
Fukushima	1983. 11. 30	Fukushima I-4	전체(주로 발전소 인근)
	1985. 11. 29	Fukushima II-1	통신 및 환경감시
Ibaraki	1981. 11. 05	JAPCO Tokai-2	전체
	1985. 10. 31	JAPCO Tokai-2	통신 및 환경감시
Niigata	1984. 10. 30	Kashiwazaki-Kariha-1	전체
Shizuoka	1984. 11. 22	Hamaoka-2	전체
Fukui	1982. 12. 02	Mihama-3	통신
Shimane	1982. 04. 24	Shimane-1	통신, 환경감시와 본부요원 소집
	1980. 08. 08	Genkai	통신
Saga	1981. 07. 30	Genkai	통신 및 환경감시
	1981. 11. 22	Genkai	통신 및 환경감시
	1983. 11. 22	Genkai	통신 및 환경감시
	1983. 11. 25	Genkai-1	통신 및 환경감시
	1984. 11. 13	Genkai-1	통신, 환경감시 및 주민통보
	1985. 11. 19	Genkai-1	통신 및 환경감시
	1983. 08. 22	Sendai-1	통신 및 환경감시
Kagoshima	1984. 06. 05	Sendai-1	전체
	1985. 10. 30	Sendai-1	통신 및 환경감시

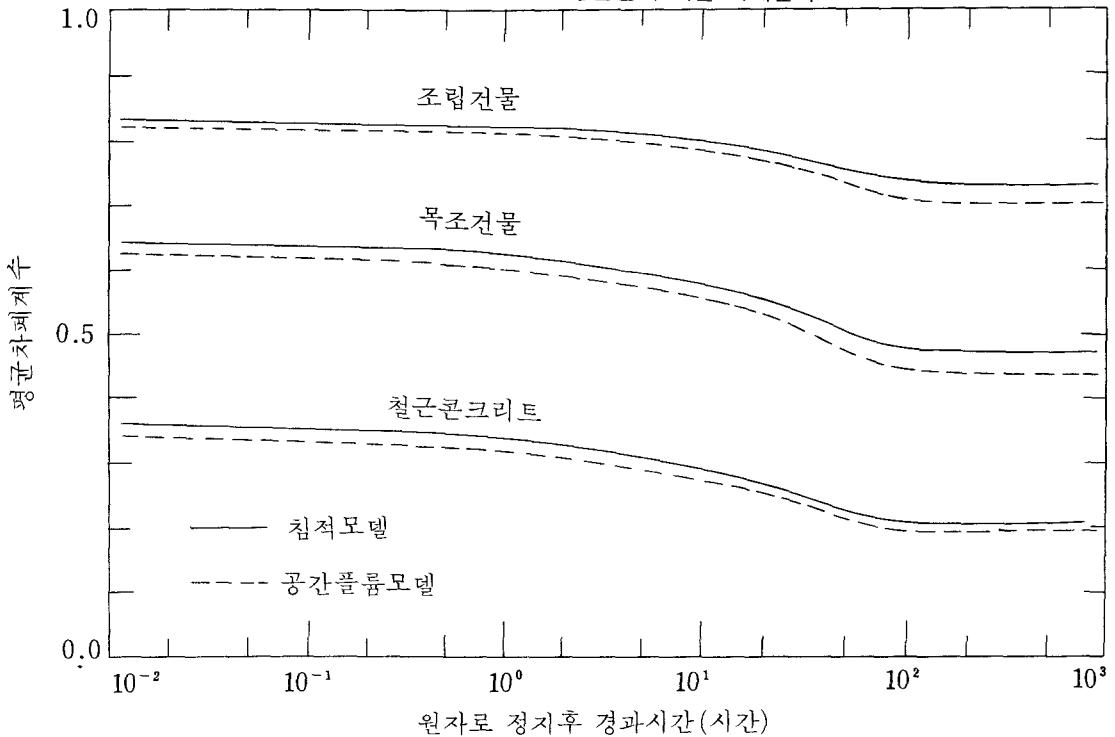
事故時 放射性物質로 부터 環境放射能과 피폭선량을 實時間으로 예측하기 위하여 電算코드시스템인 SPEEDI를 開發하여 왔다. SPE-EDI의 設計에는 다음 段階의 基本要件이 고려되어 졌다.

SPEEDI는 복잡한 지형에서의 수송 및 확산을 모형화하고 융통성있는 資料종합보관시스템(Data Pool System)을 가지고 있으며 단위별 코드구조를 가지고 있고 천연색 그래픽과 복사기능이 있다.

SPEEDI는 다음과 같은 코드로 구성되어 있다.

- 통계적 바람예측모델(WEADUS)
- 3차원 실제바람모델(WIND4)
- random-walk方法을 채택한 수송 및 확산모델(PRWDA)

(그림 4) 혼합불활성기체 방출원에 대한 차폐인자



• 피폭선량과 감상선선량 계산모델(CIDE) 이 시스템은 체르노빌原電 事故 以後 2,000 × 2,000km까지의 넓은 範圍에 利用할 수 있도록 확대할 예정이다.

(3) 放射線과 放射性氣體로 부터의 옥내대피 효과

옥내대피는 原子力發電所의 放射線非常時에서 주민의 방사선피폭을 감소하기 위한 실질적인 방어활동이다. 계산코드인 VENTG는 가옥에서의 자연환기율과 내부피폭감소인자를 評價하기 위하여 開發되어 졌다. 이 코드의 信賴度를 檢證하기 위하여 3가지 형태의 가옥종류별로 공기 변화율을 조사하였고, VENTG의 모형화 에 의해 계산된 값과 비교하였는데, 계산값은 3개의 인자로 측정된 값과 일치하였다. 야외에서와 가옥에서의 피폭선량 比로 나타내는 차폐율은 조립식 가옥인 경우 0.9이고, 목조건물은 0.7, 철근콘크리트는 0.4이며, 이들 값은 그림 4 와

같다.

8. 結 論

原子力産業은 어떠한 現代技術産業보다도 安全性에서 뛰어난 기록을 유지하고 있다. 원자력 발전소가 嚴格한 設計概念, 철저한 건설 및 運轉을 하고 있기 때문에 심각한 사고가 발생할 확률은 극히 희박하다. 그럼에도 불구하고 T-MI-2와 체르노빌-4 原子力發電所 事故가 發生하였다.

事故를 방지하기 위해서 최선의 노력을 다하여야 하지만 끝까지 住民을 보호하기 위해서는 비록 원전사고가 발생할 확률이 극히 작더라도 假想事故에 對備한 非常計劃과 對策을 樹立하고 事故時 非常計劃을 迅速하게 實行에 옮길 수 있는 能力을 갖추는 것이 중요하다.

이러한 것이 인류의 복지를 위해 原子力의 利用을 增進시키는 길이다.