

<解 說>

原子力發電所 正常稼動時 隣近住民 被曝線量 計算 解説

李 相 薰 · 成 樂 俊 · 朴 元 鍾

韓國 原子力 研究所

今年부터 우리나라에서는 最初로 古里 原子力 發電所 第1號機가 商業發電을 稼動 함으로서 原子力 産業 時代로 그 첫발을 내딛게 되었고 계속 古里 2號機 및 月城 1號機가 建設中에 있고 政府에서는 尙차 2000年 代에 40여기의 原子力 發電所 建設構想을 發表하였다. 따라서 原子力 發電所의 安全性 확보를 철저히 함과 동시에 發電所 주변의 住居民 및 公衆에 대한 放射線 防禦문제를 考慮하지 않을 수 없게 되었다.

原子力 産業이 가장 발달한 美國의 경우 原子力 發電所에서 排出되는 放射性 核種의 量을 엄격히 規制하고 있고 이에따른 環境汚染 문제가 심각하게 대두되고 있다.

美國 原子力 發電所에서 發生하는 液體 및 氣體 放射性物質 放出規制는 U. S. N. R. C(美國 原子力 規制 委員會) 規制法 10CFR Part 20. Section 20. 106에서 非制限 地域에 대한 放出 放射性 物質의 濃度를 規定하고 있고 10CFR 50 Appendix I에 輕水爐 發電所의 放射性物質 放出에 대하여 ALARA(As low as is Reasonable Achievable) 基準에 맞게 設計上 및 制限運轉 條件에 대한 數量的인 指針을 定해 놓았다.

그러므로 U. S. N. R. C에서 는 發電所 建設前 設計上 放射性物質 放出量, 個人 및 公衆에 미치는 放射線 被曝線量을 Appendix I 基準에 의거 安全性 評價를 한다 다음 建設許可를 해주고 있다. 따라서 U. S. N. R. C에서 는 電氣事業者가 이런 政策을 원활히 遂行하기 爲하여 一般의인 計算모델과 이에 관한 여러가지 環境因子 들을 說明한 細部指針들을 만들었다.

被曝線量을 計算하는 指針은 Regulatory Guide 1. 109에 수록되어 있으며 液體 및 氣體 放射性物質 放出 による 個人 및 大衆被曝線量 計算모델을 具體的으로 提示해 놓고 있다.

또한 이렇게 만들어진 細部指針들은 계속적인 研究 及 評價를 通하여 실제경우에 적합하도록 恒時 수정보

완되고 있다.

Regulatory Guide 1. 109에는 4개의 부류으로 나누어 져 있다.

Appendix A는 放射性 液體 放出로 인한 人體의 被曝線量 計算方法, Appendix B는 放射性 稀有氣體의 大氣放出로 인한 被曝線量 計算方法, Appendix C는 放射性 Iodine 氣體의 大氣放出로 인한 被曝線量 計算, Appendix D에는 大衆 被曝線量 計算假定과 그 方法을 說明 해놓고 있다.

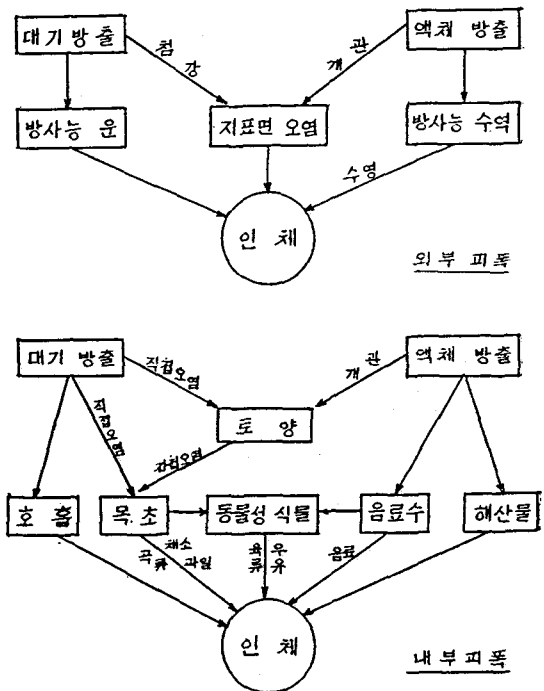


그림 1. 인체의 방사능 피폭 경로

個人이 放射性 物質에 照射되는 經路는 外部被曝과 内部被曝으로 크게 나누어지고 그 經路를 圖表로 나타내면 그림 1과 같다.

또 放射性 物質의 核種別 放出型態에 따른 주요 經路와 人體器管의 決定臟器를 表 1에 요약 하였다. 그러므로 각 器管에 미치는 線量을 計算하여 그 결과를 發電所 設計상 線量限度로 定해 놓고 安全設計를 實施하고 있다.

U.S. NRC에서 設計상 個人에 미치는 放射線 被曝 線量 限度를 Appendix 1에 의하면 아래 表 2와 같이 정하고 있다.

그러면 Regulatory Guide 1.109에 提示된 放射線 被曝線量 計算을 放出型態에 따라 放出 液體와 氣體로부터 人體가 받는 線量으로 區分하여 說明하기로 한다.

發電所에서 나오는 液體와 氣體의 年間放出量은 Source Term 이라고 부르며 이것은 線量計算에 앞서 우선적으로 計算하여야 한다.

Source Term 計算은 發電所 各 系統을 망라하여 理論的인 假定과 發電所 運轉 經驗 結果를 根據로 하여 Reg. Guide 1.112에 따라 計算한다. 그런데 이 Source Term 計算은 매우 복잡한 計算過程을 거치게 되므로 이러한 過程을 電算化시켜 놓고 있다.

U.S. NRC에서는 Source Term 計算을 標準化시켜 놓은 Computer Code "GALE" 을 만들어 NUREG-0017에 수록되어 있고 현재 미국내 發電所의 評價에 거의 필수적으로 利用되고 있다. 당 研究所에서도 GALE Code를 古里 1 號機 Source Term 計算에 이용하여 發電所 評價를 한 바 있다.

이렇게 計算된 標準的인 Source Term을 放出液體는 Reg. Guide 1.113에 따라, 放出氣體는 Reg. Guide 1.111에 따라 인근 지역으로 분산되는 정도를 各地域에 따른 거리별로 計算하게 되고 이 計算된 값이 線量計算에 實際로 쓰여지게 된다.

표 1. 방출 방사성 핵종별 주요 방사능 조사 경로

방사성 핵종	방출 형태	주요 조사 경로	결정장기
방사성 Iodine	기체	지표면 침강→외부조사	전신
		호흡	갑상선
		목초→젖소→우유 농작물	"
	액체	음료수 해산물 섭취	"
트리튬	기체	호흡 방사능을	전신 피부

	액체	음료수 음식물 섭취	전신 "
희유기체	기체	외부조사	전신및피부
Cesium	기체	지표면 침강→외부조사	전신
		목초→젖소→우유	"
		목초→육류	"
	호흡	"	
액체	침전물→외부조사	"	
	음료수	"	
	어류	"	
철이금속 (Fe, Co, Ni, Zn, Mn)	액체	음료수 해산물 섭취	위장 "
지정조사 (원자로)		외부조사	전신

표 2. 설계상 개인 피폭 선량 한도(U.S. NRC)

방출 형태	선량한도	비고
1. 액체 방출		
모든 경로에 의한 전신피폭	3 mrem/yr	최대 피폭 지정
모든 경로에 의한 장기피폭	10 mrem/yr	"
2. 기체 방출		
Gamma 선량	10 mrad/yr	최대 피폭 지정
Beta 선량	20 mrad/yr	"
개인 전신 피폭	5 mrem/yr	"
개인 피부 피폭	15 mrem/yr	"
3. Iodine 및 Particulate 의 대기 방출		
모든 경로에 의한 장기피폭(臟器)	15 mrem/yr	최대 피폭 지정

1. 放出 液體로 부터 人體 被曝線量 計算

液體形態로 分散된 放射性 核種으로부터 人體가 被曝될 수 있는 可能的인 經路로는 魚類, 김, 미역, 甲殼類 등 海産物 攝取로 인한 内部被曝과 海邊에 침전된 放射性 核種으로 인한 外部照射, 海水浴 및 海上에서의 外部被曝으로 나눌 수 있다. 液體 經路를 통한 被曝線量 計算의 基本式은 아래 式 (1)과 같다.

$$R_{aifj} = C_{ip} U_{af} D_{aifj} \quad (1)$$

여기서 어떤 곳에서의 濃度 C_{ip} 는 排水路를 나온 放射性 液體의 放出量 Q_i 와 混合比 M_p 및 再濃縮因子 B_{ip} 와 기타 다른 인자로 부터 구할수 있다.

표 3. 개인당 연간 섭취량 및 조사기간(U. S. NRC)

경로	소아	청소년	어른	단위
과일 및 곡류	520	630	520	kg/yr
채소류	26	42	64	kg/yr
우유	330	400	310	l/yr
육류	41	65	110	kg/yr
어류	6.9	16	21	kg/yr
해조류	1.7	3.8	5	kg/yr
음료수	510	510	730	l/yr
해수욕	14	67	12	hr/yr
수상작업	29	52	52	hr/yr
호흡	3700	8000	8000	m ³ /yr

둘째항 U_{ap} 는 섭취량 혹은 照射時間으로 나타낼 수 있고 미국의 경우 U. S. NRC에서 勸告한 값을 많이 사용하고 있으며 그 값은 表 3에 있다.

線量因子 D_{aipj} 는 内部照射의 경우 ICRP에서 提示한 方法에 따라 定하였고 外部照射는 汚染된 媒體가 무한부피(Infinite Volume)이라고 가정 하였다.

1) 海産物 攝取

海産物에 있는 放射性 核種 濃度は 水中 放射能 濃도와 관련되고 이 두 농도 사이의 平衡比率을 生體縮積因子(Bio accumulation factor)로 부른다.

海産物 攝取에 대한 内部 被曝線量 計算式은 式 (2)와 같다.

$$R_{apj} = 1100 \frac{U_{ap} M_p}{F} \sum_i Q_i' B_{ip} D_{aipj} \exp(-\lambda_i t_p) \quad (2)$$

核種의 海産物 經過時間 t_p 는 海産物로 들어가는 시간으로 24시간을 잡으며 이 동안의 자연붕괴를 고려해 주고 있다.

2) 海邊에 沈澱된 放射性 核種으로부터 照射

海邊 沈澱物로부터 個人 被曝線量 計算은 沈澱된 狀態, 流動 및 沈澱 放射性 物質의 濃度等 複雜하다. 海邊에 沈澱된 放射能 濃度를 다음식으로 부터 얻을 수 있다.

$$C_{iw} = K_c \frac{C_{iw}[1 - \exp(-\lambda_i t)]}{\lambda_i} \quad (3)$$

水中에서 沈澱되는 流動係數 K_c 는 Columbia 江과 Tillamook 만에서 오랜동안 실제로 측정된 값을 이용한다.

실제 計算式에서는 깊이 2.5cm 이하에 있는 放射性 核種에 의한 被曝效果는 무시하고 實質表面汚染 S_i^* 로

계산한다. 그러므로 海邊 沈澱物로부터의 被曝線量 計算은 아래와 같다.

$$R_{apj} = 11000 \frac{U_{ap} M_p W}{F} \sum_i Q_i' T_i D_{aipj} (\exp(-\lambda_i t) [1 - \exp(\lambda_i t)]) \quad (4)$$

여기서 W 는 海邊 寬이 因子(shore-width factor)로 照射의 geometry를 말하며 실험적인 data에서 값을 구한다.

3) 海上(海水浴)에서의 外部被曝

水中의 放射能 濃도와 水泳 및 海水浴으로 因한 海上에서 滯留時間에 의해 全身 및 皮膚被曝線量이 左右된다. 外部 被曝 計算式은 式 (5)와 같다.

$$R_{pj} = 1119 \frac{U_p M_p}{F K_p} \sum_j Q_j' D_{ipj} \exp(-\lambda_i t) \quad (5)$$

여기서 K_p 값은 水泳에 대해서 1, 海上作業에 대해서 2를 적용한다.

古里 1號機의 경우 放射性 Iodine이 海産物 攝取 經路를 通하여 甲狀腺에 주는 線量이 비교적 높은 값을 나타낸다. 미국과 환경이 다른 우리나라 실정에 맞는 여러 資料들이 不足한 관계로 推定에 어려움이 되 따르다. 特別 海産物의 경우 김, 미역 등은 韓國人의 주요 嗜好食品으로 攝取하고 있다. 김, 미역 등은 Iodine을 選別的으로 많이 포함하고 있으므로 이에 관한 調査研究가 要求되고 있다.

2. 放出 氣體로부터 人體 被曝線量 計算

發電所에서 放出되는 氣體는 風速, 風向, 大氣安定度 등에 의해 隣近地域으로 均一하게 分散된다는 假定 아래 計算하게 된다.

放出氣體의 大氣分散은 Regulatory Guide 1.111에 計算모델이 있고 흔히 Gaussian plume model인 straight line airflow 方法을 많이 사용하여 大氣中 濃度를 計算한다. 그 計算式은 아래 式 (6)과 같다.

$$\left(\frac{x}{Q'}\right)_D = 2.032 \Sigma n (NX \bar{U} \Sigma(X))^{-1} \quad (6)$$

윗식은 ground level의 放出일 경우인 때 古里 1號機에 적용할 수 있다.

大氣中 濃度는 16方位에 따라 放出地點에서 50mile (80km) 거리까지 計算한다.

大氣中으로 分散된 氣體 放射性 物質로부터 被曝 가능한 經路는 放射能雲으로부터 外部照射, 大氣呼吸으로 인한 内部被曝, 地表面 沈澱에 의한 外部被曝, 食品等を 經由한 内部被曝으로 나눌 수 있다.

1) 放射性 稀有氣體 放出로 인한 外部被曝

古里 1號機의 경우 放出點이 地面과 같다고(Ground level) 假定하였다. 이것은 放出地點이 隣接 構造物 높이 의 두배보다 작거나 垂直 排出速度가 風速의 다섯배 보다 작을때 적용한다.

a) Gamma 및 Beta 線量率

放出地點으로부터 위치 (r, θ)에서 核種 i의 地上濃度는 다음식으로 計算할 수 있다.

χ_i(r, θ) = 3.17 × 10⁴ Q_i' [χ/Q']^D(r, θ) (7)

그러므로 放射能雲으로부터 받는 年間 gamma 및 Beta 線量率은 아래식과 같다.

D^r(r, θ) = 3.17 × 10⁴ ∑_i Q_i' [χ/Q']^D(r, θ) D^F_i (8)

D^β(r, θ) = 3.17 × 10⁴ ∑_i Q_i' [χ/Q']^D(r, θ) D^F_i^β (9)

실제 個人이 받는 피폭선량은 皮膚 및 全身이 받는 線量으로 評價한다.

b) 全身 被曝線量

全身 被曝線量은 身體의 5cm 길이에서 받는 外部照射를 말한다.

D^r_∞(r, θ) = 1.11 × S_F ∑_i χ_i(r, θ) D^F_B_i (10)

여기서 線量因子 D^F_B_i는 皮膚組織 5g/cm²에 依한 減衰를 고려한 값이다.

減衰因子 S_F는 建築構造物에 의한 遮蔽效果로 감소 되는 계수이다.

c) 皮膚 被曝線量

皮膚 被曝線量은 皮膚組織 7mg/cm²의 길이에서 皮膚가 받는 外部照射를 計算한 값이고 그 식은 아래와 같다.

D_∞^S(r, θ) = 1.11 S_F ∑_i χ_i(r, θ) D^F_i + ∑_i χ_i(r, θ) D^F_S_i (11)

皮膚 被曝線量은 gamma 와 beta 線에 의한 被曝을 合한 값이 된다.

2) 地表面 沈降으로 인한 外部被曝

位置 (r, θ)에서의 沈降比는 Regulatory Guide 1.111에 提示된 方法에 따라 定한다. 그러므로 放出地點에서부터 위치 (r, θ)에서 核種 i의 地表面에 沈降된 濃度는 아래식 (12)와 같다.

C_i^S(r, θ) = (1.1 × 10⁸ δ(r, θ) Q_i' / λ_i) [1 - exp(-λ_it)] (12)

地表面 沈降으로 人體가 받는 全身 및 皮膚 被曝線量은

D_i^S(r, θ) = 8760 S_F ∑_i C_i^S(r, θ) D^F_G_i (13)

이식에서는 稀有氣體와 半減期가 짧은 子核種은 포함하지 않는다.

3) 呼吸에 의한 内部被曝

大氣中の 放射能 濃度는 식 (7)에 의해 計算하고 表 2에 있는 年間 呼吸量을 이용하여 被曝線量을 計算한다.

D^A_{ja}(r, θ) = R_a ∑_i χ_i(r, θ) D^F_A_{ja} (14)

古里 1號機의 경우 呼吸에 의한 甲狀腺 被曝이 가장 큰 값을 나타낸다.

4) 食品을 經由한 内部被曝

食品을 經由한 内部被曝을 農作物, 肉類, 牛乳攝取 등으로 나눌수 있고 美國의 경우는 牛乳를 많이 攝取하므로 특히 이 分野에 많은 관심을 집중시키고 있다.

먼저 植物中の 放射能 濃度는 植物잎에 沈降된 것과 土壤에 沈降된 것을 植物의 代謝作用으로 함유되는 경우가 있다. 放射能雲으로부터 沈降되는 率은 다음과 같이 計算한다.

d'_i(r, θ) = 1.1 × 10⁸ δ_i(r, θ) Q'_i (15)

여기서 δ_i(r, θ)는 Regulatory Guide 1.111로부터 구할 수 있다.

放射性 Iodine은 발전소 운전경험 결과 대략 잎식의 半으로 나타내므로 1/2을 곱해준다. 植物中の 一般의인 放射能 濃度는 다음식으로 求한다.

C^V_i(r, θ) = d'_i(r, θ) (R[1 - exp(-λ_Et_e)] / Y_Vλ_Ei) + (B_iv[1 - exp(-λ_it_b)] / ρλ_i) exp(-λ_it_b) (16)

Carbon-14은 酸化物 形態(CO, CO₂)로 放出된다고 假定하여 植物中の 天然 炭素物質에 대한 비율이 植物 주위 大氣中の 炭素에 대한 비율과 같다고 보면 다음 식으로 計算한다.

C^V₁₄(r, θ) = 3.17 × 10⁷ Q'₁₄ [χ/Q'] (r, θ) (0.11/0.16) (17)

Tritium의 植物中 濃度는 植物주위 大氣中の 濃度로부터 다음과 같이 計算된다.

C^V_T(r, θ) = 3.17 × 10⁷ Q'_T [χ/Q'] (r, θ) (0.75)(0.5/H) (18)

식 (16)에서 粒子狀態의 경우 沈降된 放射能이 植物 表皮의 遮斷으로 인한 遲延因子(retention factor: R)은 0.2로 잡는다.

a) 農作物 攝取로 인한 内部被曝

穀類, 菜蔬, 果實類를 직접 섭취할 경우 다음과 같은 가정을 고려하여 직접 계산할 수 있다.

Y_V(농작물 생산량) 2.0kg/m²

- t_e (방사능에 조사되는 시간) 60일
- 즉, 농작물의 성장기간
- t_h (수확후 경과기간) 1일(신선한 농작물)
- 60. (저장한 농작물)
- t_b (토양 조사 시간) 15년(발전소 수명의 중간)
- b) 牛乳攝取를 통한 内部被曝

牛乳中の 放射能 濃度は 家畜이 먹는 飼料中の 汚染 정도에 좌우된다.

牛乳中の 放射能 濃度は 다음과 같이 계산된다.

$$C_i^m(\gamma, \theta) = F_m C_i^v(\gamma, \theta) Q_F \exp(-\lambda t_f) \quad (19)$$

飼料에서 牛乳로 핵종이 이동되는 평균시간(t_f)는 2일로 가정한다.

牛乳를 生産하는 家畜이 牧草地에서 生活하는 期間(f_p)는 半年으로 잡고 가축의 牧草 飼料中の 放射能 濃度は 牧草地에서 바로 먹는것을 함께 포함하여 計算하면 아래와 같다.

$$C_i^v(\gamma, \theta) = f_p f_s C_i^F(\gamma, \theta) + (1-f_p) C_i^S(\gamma, \theta) + f_p(1-f_s) C_i^S(\gamma, \theta) \quad (20)$$

計算에 쓰이는 資料는 糞소의 경우 아래 값을 이용한다.

- Q_F (가축 1일 사료량) 50kg/day
- t_k (가축 사료의 저장기간) 0일(목초)
- 90일(저장된 사료)
- t_s (곡류 조사기간 : 사료용) 30일
- Y_V (곡류 생산량 : 사료용) 0.75kg/m²(목초)
- 2.0kg/m²(저장된 사료)

c) 肉類攝取를 통한 内部被曝

牛乳에서와 마찬가지로 肉類中の 放射能 濃度は

$$C_i^F(\gamma, \theta) = F_j C_i^v(\gamma, \theta) Q_F \exp(-\lambda t_i) \quad (20)$$

肉牛는 糞소에서 가정한 牧草地에서 生活期間과 같이 잡아준다.

이상 세가지 경로에 對하여 각 個人의 섭취량(표 2)에 따라 個人이 받는 内部被曝을 評價할 수 있다.

그러므로 農作物, 牛乳, 肉類등의 攝取로 인한 内部被曝은 아래 式과 같이된다.

$$D_{ja}^p(\gamma, \theta) = \sum_i DF I_{ija} [U_a^V f_g C_i^V(\gamma, \theta) + U_a^m C_i^m(\gamma, \theta) + U_a^F C_i^F(\gamma, \theta) + U_a^L f_l C_i^L(\gamma, \theta)] \quad (21)$$

3. 大衆 被曝線量 計算

U.S. 10CFR 50 Appendix I의 Section II의 D항에 의거하여 50 mile 이내의 大衆에 對하여 全身 및 甲状腺에 대한 大衆被曝線量を 評價하게 되어있다.

어떤 지역에 대한 大衆集積線량은 다음과 같이 計算된다.

$$D_j^P = 0.001 \sum_d P_d \sum_a D_{jda} f_{da} \quad (22)$$

大衆被曝線量 計算은 單位地域內的 放射能 濃도가 一定하다고 假定하여 計算하고 그 地域內的 年령별 人口분포, 農作物 수확량과 流通營造 등을 考査하여야 한다.

以上으로 個人 및 大衆被曝線量 計算을 各 經路別로 提示해놓고 있다.

發電所에서 50mile 以內까지 評價하여 그 結果가 基準値를 超過하지 않아야 한다. 이런 作業을 수행하기 위하여 美國에서는 各 計算方法에 따라 여러가지의 컴퓨터 code가 개발되어 있고 많이 쓰여지는 것으로선 HERMES, AIREM, INREM 등이 있고 주로 방출기체에 對하여 많이 다루고 있으며 가능한 實際 經路에 對하여 많이 다루고 있으며 가능한 實際 經路에 對하여 많이 다루고 있으며 가능한 實際 經路에 對하여 많이 다루고 있다. 또한 각 發電所가 位置한 地域의 特殊性을 考査하여 적합한 計算 模型을 開發하여 評價하고 있다.

이제 우리나라도 原子力 發電所 商業稼働과 함께 美國의 食生活 慣習과 다른 韓國에 맞는 線量 計算을 위해 여러가지 經路에 따른 居民인자를 調查研究하여 發電所住居民에 대한 線量 評價를 하여야 할것이다.

— 기 호 해 설 —

- a 年令別 그룹
- i 放射性 核種
- j 各 個人의 臟器
- p 被曝되는 經路
- B_{iv} 土壤에서 農作物 代謝로 인한 濃縮因子 $\frac{PC_i/kg}{PC_i/kg \cdot soil}$
- B_{ip} 生體 縮積因子
- C_{ip} 經路 p의 매체중 핵종 i의 농도 PC_i/kg
- C_{is} 침전물 중 핵종 i의 농도 PC_i/kg
- C_{iw} 침전물 주위 수중의 핵종 i 농도 PC_i/liter
- $C_i^F(\gamma, \theta)$ 지점(γ, θ)에서 肉類中 핵종 i의 농도 PC_i/kg

$C_i^G(\gamma, \theta)$	"	地表面의 핵종 i 농도	PC_i/m^2
$C_i^L(\gamma, \theta)$	"	채소류 중 "	PC_i/kg
$C_i^m(\gamma, \theta)$	"	우유 중 "	$PC_i/liter$
$C_i^P(\gamma, \theta)$	"	목초 중 "	PC_i/kg
$C_i^S(\gamma, \theta)$	"	저장사료중의 "	PC_i/kg
$C_i^V(\gamma, \theta)$	"	농작물 중 "	PC_i/kg
$C_i^{VT}(\gamma, \theta)$	"	농작물 중 Tritium 농도	PC_i/kg
$C_i^{V14}(\gamma, \theta)$	"	농작물 중 Carbon-14 농도	PC_i/kg
D_{aitj}			
D_{pj}		장기 j 의 연간 대중 집적선량	
D_{jda}		지역 d 의 연령그룹 a 에서 개인 장기 j 에 대한 연간평균 피폭선량	
DF_i^B		핵종 i 의 Beta 선량인자	$\frac{mrad/yr}{PC_i/m^2}$
DF_i^r		" Gamma "	
DEA_{ija}		년령그룹 a 의 장기 j 가 호흡으로 인하여 핵종 i 로부터 받는 선량인자	$mrem/PC_i$
DFB_i		피부감쇠 ($5g/cm^2$)를 포함한 전신 선량인자	$mrem\cdot m^3/pu\cdot yr$
DFG_{ij}		지표면 침강에서 장기 j 가 받는 선량인자	$mrem\cdot m^2/PC_i\cdot hr$
DFI_{ija}		년령그룹 a 의 장기 j 가 핵종 i 로부터 받는 선량인자	$mrem/PC_i$
DFS_i		피부 외면의 감쇠를 고려한 피부의 Beta 선량인자	$mrem\cdot m^2/PC_i/yr$
$D^B(\gamma, \theta)$		지점 (γ, θ) 에서의 연간 Beta 조사량	$mrad/yr$
$D^r(\gamma, \theta)$		" Gamma "	$mrad/yr$
$D^G_j(\gamma, \theta)$		침강된 것으로부터 장기 j 가 받는 전신 및 피부 피폭선량	$mrem/hr$
$DA_{ja}^A(\gamma, \theta)$		호흡에 의한 년령그룹별 장기 j 의 피폭선량	$mrem/hr$
$D_{ja}^D(\gamma, \theta)$		음식물섭취에 의한 " "	$mrem/hr$
$D_{\infty}^S(\gamma, \theta)$		년간 피부 피폭선량	$mrem\cdot yr$
$D_{\infty}^T(\gamma, \theta)$		년간 전신 피폭선량	$mrem/yr$
$d_i'(\gamma, \theta)$		핵종 i 의 지표면 침강량	
F		액체 방출속도	f^3/sec
f_{da}		지역 d 의 인구중 년령그룹별 비율	
f_g		농작물 중 과일, 곡류, 섭취 비율	
f_l		농작물 중 채소류 섭취 비율	
f_m		가축의 섭취물 중 핵종 i 가 우유에 나타나는 평균비	
f_p		가축이 목초지에 생 활하는 기간	
f_s		가축을 목초지에서 키울때 목초 사료의 비율	
H		대기 절대습도	g/m^3
K_c		물에서 침전되는 유동계수	$liter/kg$
M_p		피폭되는 지점에서의 혼합비율	
N		측정 기상자료의 총시간	hr
n		측정 기상자료(풍향, 풍속, 대기일 정도)	hr
P		토양의 표면 밀도(15cm 깊이)	kg/m^2
P_d		지역 d 의 인구	
Q_F		가축 1일 사료 섭취량	kg/day
Q_i'		핵종 i 의 연간 방출량	C_i/yr
R		침강된 방사능이 농작물에 남아 있게 되는 비율	
R_a		년령 그룹별 연간 호흡량	m^3/yr
R_{aijs}		경로 p 를 통하여 방사성 핵종 i 로부터 년령그룹 a 장기 j 가 받는 연간 피폭선량	$mrem/yr$

S_F	각종 구조물의 차폐로 인한 선량 감쇠인자 (0.7)
S^*_i	실질 표면 오염 PC_i/m^2
T_i	핵종 i 의 반감기 day
t	해안 침전물이 오염액에 노출되는 기간(발전소 수명의 반) 15yr
t_b	토양 조사 기간(발전소 수명의 반) 15yr
t_c	농작물의 성장기간 hr
t_h	수확하여 소비되는 동안의 경과시간 hr
t_p	핵종이 조사되는 곳까지 도달하는 시간 hr
\bar{U}	방출점에서의 풍속 m/sec
U_a^F	년령그룹 a 의 옥류 섭취량
U_a^L	" 채소류 "
U_a^m	" 우유 "
U_a^V	" 곡류 "
$U_{a,p}$	년령그룹 a 에 대한 경로 p 에서의 노출시간 및 섭취량 hr/yr, 혹은 kg/yr
W	해변 넓이 인자
Y_V	농작물의 수확량 kg/m^2
$\delta_i(\gamma, \theta)$	지점 (γ, θ) 에서 방출 핵종 i 의 년평균 침강율
λ_i	핵종 i 의 붕괴상수 hr^{-1}
λ_{Ei}	농작물에서 핵종 i 가 감소되는 실질 비례상수 $\lambda_{Ei} = \lambda_i + \lambda_w$
λ_w	농작물 표면에서 분해작용으로 방사능이 제거되는 율
$X_i(\gamma, \theta)$	지점 (γ, θ) 에서의 대기중 방사능 농도 PC_i/m^3
$[X/Q]_D$	방위 D 거리 X 에서 방출기체의 대기분산인자 sec/m^3
$\sum_z(X)$	거리 X 에서 방사능운의 수직분산(부피보정) m

참 고 문 헌

- 1) WASH-125: "Numerical Guides for Design Objectives and Limiting Conditions to Meet the Criterion 'As Low As Practicable'" U.S. AEC, 1973.
- 2) Soldat, J.K. "Draft Regulatory Guides for Implementation—Attachment to Concluding Statement" Docket No. RM-50-2, U.S. AEC. 1974.
- 3) ANSI. N237—1976 "American National Standard Source Term Specification"
- 4) NUREG—0017 "Calculation of Releases of Radioactive Materials in Gaseous and Liquid Effluents from Pressurized Water Reactors (PWR-GALECODE)" U.S. NRC, April, 1976.
- 5) Regulatory Guide 1.111 "Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Releases from Light-Water-Cooled Reactors" U.S. NRC, March, 1976.
- 6) Regulatory Guide 1.112 "Calculation of Releases

- of Radioactive Materials in Gaseous and Liquid Effluents from Light-Water-Cooled Power Reactors "U.S. NRC, April, 1976.
- 7) Regulatory Guide 1.113 "Estimating Aquatic Dispersion of Effluents from Accidental and Routine Reactor Releases for the Purpose of Implementing Appendix I" U.S. NRC, May, 1976.
- 8) Regulatory Guide 1.109 "Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR 50, Appendix I" U.S. NRC, May, 1976
- 9) 李相蕪, 成樂俊, 朴元鍾 "고리 원자력 발전소 1호기 인근주민 피폭선량 계산" KNE, April, 1978
- 10) F.O. Hoffman, C.W. Miller, D.L. Shaeffer, C.T. Garten Jr. "Computer Codes for the Assessment of Radionuclides Released to the Environment" Nucl. Safety, Vol. 18, No. 3, May, 1977.