

국내 원전주변 주민 방사선 피폭선량 평가 - 입력변수의 영향

조대철* · 이갑복

Evaluation of Residential Radiation Doses from Korean Atomic Power Plants - Effect of Socioenvironmental Inputs

Daechul Cho* and Gab-Bok Lee

요약 ICRP-60 신권고에 맞게 수정된 방사선피폭선량 계산프로그램인 K-DOSE 60을 4개 발전소(고리, 월성, 울진, 영광)에 적용하여 주변주민 최대개인피폭선량을 평가하였다. 핵종, 장기, 경로별로 결정변수값들을 도출한 결과, 경로는 성인의 경우 농작물, 유아의 경우 우유가, 핵종은 ^3H , ^{133}Xe , ^{60}Co (고리 1,2발전소), ^{14}C , ^{41}Ar (월성 1,2발전소)로 나타났으며, 모든 장기에 대한 피폭선량차이가 매우 작았다. “출력 대 입력” 변동에 근거한 민감도 분석결과, 핵종의 화학적 형태가 타 입력변수들보다 10^2 factor만큼 높은 민감도를 보였으며, 전이/농축계수에 의한 민감도는 섭취량이나 방출량의 그것에 비하여 상대적으로 매우 낮았다. PCC를 이용한 상관성 민감도의 경우는 4가지 입력변수 모두 0.97 이상의 높은 상관성을 보였다.

Abstract Annual radiation dose of residential individuals near 4 nuclear power plants in Korea was calculated via K-DOSE 60 based on the updated ICRP-60. The critical exposure variables were chosen as radionuclides, exposed organs and intake pathways. From the calculation results, the critical nuclides were found to be ^3H , ^{133}Xe , ^{60}Co for Kori plants and ^{14}C , ^{41}Ar for Wolsung plants. The most critical pathway was ‘vegetable intake’ for adults and ‘milk intake’ for infants. However, there was no preference in the effective organs. Sensitivity analyses showed that the chemical composition in a nuclide much more influenced upon the radiation dose than any other input parameters such as food intake, radiation discharge, and transfer/concentration coefficients by more than 10^2 factor. The effect of transfer/concentration coefficients on the radiation dose was negligible. All input parameters showed highly estimated correlation with the radiation dose, approximated to 1.0.

Key Words : radiation dose, critical exposure variables, sensitivity analysis, food intake, radiation discharge, transfer/concentration coefficient, chemical composition

1. 서론

1990년 국제방사선방호위원회(ICRP)의 방사선방호 신권고(ICRP-60)[1] 및 이에 따른 IAEA의 기본안전기준(IAEA BSS-96)[2]이 마련된 이래, 국내에서도 1998년 ICRP-60 방사선방호 기준을 법제화하였으며 [3], 1999년 한국원자력안전기술원(KINS)는 고리 4호기 정기 검사시 과기부고시 98-12호에서 제시하고 있는 유효선량 개념을 적용하여 외부피폭에 의한 주민선량을 평가토록 권고하고, 2000년에 원자력시설 주변의 주민선량 평가지침을 제시하였다(과학기술부고시 2001-02호 방사선 방호 등에 관한 규정)[4, 5].

주민피폭선량 검증계산에는 1989년 원자력안전센터

에서 개발한 전산프로그램 GASDOS 및 LIQDOS와 미국원자력규제위원회의 XOQDOQ를 주로 사용하여 왔으나 동 검증프로그램들은 1990년 ICRP-60의 신개념, 즉 유효선량개념 및 새로운 체내피폭선량 평가모델에 근거한 연령별 선량환산계수의 적용 등이 미반영되어, 2000년 한국전력공사는 새로운 평가 프로그램으로 K-DOSE 60을 개발하기에 이르렀다[6]. 더불어 기존의 계산모델의 결과가 주로 보수성 내지는 안전성만을 강조해왔으나 근래에는 그 보수성 또는 안전성의 정량화를 요구하는 목소리가 일반인들로부터 높아져가고 있다. 또한 원자력사업자 입장에서도 일부 기존 계산모델들이 지니고 있는 과도한 보수성은 사업 수행에 큰 부담으로 작용하고 있어 보다 실제적인 계산모델이 필요하게 되었다. 규제기관으로서도 이러한 양쪽의 요구에 부응하기 위한 새로운 선량평가방법이 요구되고 있다.

*순천향대학교 신소재화학공학과
한국전력연구원 원자력실

원자력시설은 정상적으로 가동될 때도 방사성물질이 기체 및 액체상 방사성유출물의 형태로 방출되며[7] 이들은 환경 중에서 이동하는 동안 복합적인 상호작용을 동반하여 최종적으로 주민에게 외부(직접 선량) 및 내부(호흡, 섭취) 피폭 형태로 노출된다. 원전에서 환경중으로 방출되는 방사능 준위는 매우 낮아 원전 주변에서의 인공 방사능 준위는 자연 방사능 준위의 변동범위 내에서 검출되기 때문에 환경매질에서의 방사능 실측값을 이용하여 주민의 피폭선량을 평가하는 것은 매우 어렵다. 따라서, 원전에서의 핵종별 방출량을 이용하여 이론적으로 주민피폭선량을 계산하고 있으며 이 때 적용되는 대부분의 수치가 미국 등 구미국가 중심으로 국내 주민피폭자료로서 부적절하고, 실험자료가 상당량 축적되어 있기는 하나 실험조건 등에 따라 매개변수 수치의 범위가 가변적으로 나타나고 있는 등 입력변수를 결정하는 기준이 미확립되어 있어 통계적 기법-민감도 분석, 불확실성 분석 등-을 통해 최적화하는 연구가 필요하다[8].

본 논문에서는 이러한 연구의 일환으로 국내에서 다각적으로 수집될 수 있는 입력변수 자료들을 사용하여 최대개인피폭선량 값을 평가·비교하여 결정변수·핵종, 경로, 피폭장기-를 선별하고 민감인자를 도출하는 것에 목적을 두었다. 도출된 결정변수와 민감성 인자는 선량 평가의 사전 최적화를 위해 유용하게 이용될 수 있다. 1차적으로 선량의 대부분을 차지하는 기체상 유출 방사능에 대한 연구결과를 중심으로 하였고, 입력변수로서 음식물 섭취량, 방사능 실방출량, 핵종전이 및 농축계수 값, 핵종의 화학적 형태 등이 고려되었으며, 사용된 수치는 공식적 정부통계 즉 방사선 관리연보, 국민영양조사보고서 등에 근거한 것이다.

2. 선량 계산

2.1 기체상 방사성물질의 피폭선량 계산 모델

기체상 방사성유출물에 의한 피폭경로는 Figure 1과 같이 방사능운, 지표면 침적, 호흡에 의한 외부 피폭선량과 농/축산물 섭취에 의한 내부피폭선량으로 구분한다.

2.1.1 농/축산물의 섭취에 의한 피폭선량(Figure 1의 ①)

$$D_{apj}^{Ing} = U_{ap} \sum_i C_{ip} D_{aij}^{Ing} \quad (1)$$

농/축산물의 섭취 피폭경로는 방사성물질에 오염된 농작물(곡식, 과일, 김장채소, 열채류) 섭취 및 오염된 사료로 사육된 축산물(우유, 쇠고기, 돼지고기, 닭고기)의 섭취에 의한 피폭경로로 구분되며 농작물 섭취에 의

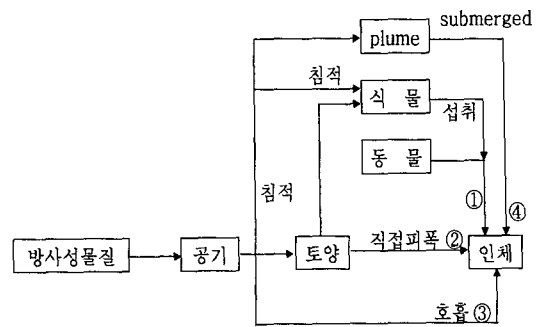


Figure 1. 기체상 방사성물질의 외부 피폭경로

한 피폭선량은 방사성물질이 농작물 표면에 침적되어 남아있는 경우와 오염된 토양내의 방사성물질이 뿌리를 통하여 흡수되는 두가지 경로가 있다.

농작물 표면에 방사성물질이 침적되는 경우, 농작물 내의 방사능 농도는 다음과 같다.

$$C_{ipL} = \frac{C_{si} \gamma_p}{Y_p \lambda_{epi}} [1 - \exp(-\lambda_{epi} T_{ep})] \exp(-\lambda_i T_{hp}) \quad (2)$$

뿌리를 통하여 오염된 토양내의 방사성물질은 흡수함으로써 생기는 농작물내의 방사능 농도는 다음과 같이 표시된다.

$$C_{ipR} = \frac{C_{si} B_{ip}}{P \lambda_i} [1 - \exp(-\lambda_i T_b)] \exp(-\lambda_i T_{hp}) \quad (3)$$

농작물내 방사능 농도는 위 두 식을 합한 값으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{ip} = C_{ipL} + C_{ipR} \quad (4)$$

축산물의 섭취에 의한 피폭선량 중 쇠고기, 우유의 방사능 농도는

$$C_{ip} = F_{ip} Q_p [C_{ip}^s f_p^s + C_{ip}^v \{f_p(1-f_p^s) + (1-f_p)\} \exp(-\lambda_i T_s) \exp(-\lambda_i T_h)] \quad (5)$$

돼지고기 및 닭고기에 대하여는 사람이 먹는 곡물을 먹고 자란다고 가정하여, 방사성핵종의 농도를 다음과 같이 구한다.

$$C_{ip} = F_{ip} Q_p C_{ip}^v \exp(-\lambda_i T_s) \exp(-\lambda_i T_h) \quad (6)$$

돼지 및 닭이 먹는 곡물내에서의 방사성물질의 농도 C_{ip}^v 는 다음과 같이 구한다. 돼지는 사람이 먹고 버린 곡물을 섭취한다고 가정하여 $C_{ip}^v = C_{ipR}$ 로, 닭은 껍질을 까지 않은 곡물을 섭취한다고 가정하여 $C_{ip}^v =$

$C_{ipR} + C_{ipL}$ 로 계산하였다.

2.1.2 지표면에 침적된 방사성물질에 의한 외부 피폭 선량(Figure 1의 ②)

$$D_{gj} = 3.15 \times 10^7 S_F \sum_i C_{si} \frac{1 - \exp(-\lambda_i T_b)}{\lambda_i} D_{gij} \quad (7)$$

2.1.3 호흡에 의한 피폭선량(Figure 1의 ③)

$$D_{aj}^{Ink} = B_a \sum_i C_{ai} D_{aij}^{Ink} \quad (8)$$

2.1.4 방사능운에 의한 피폭선량(Figure 1의 ④)

$$D_{gj} = 3.15 \times 10^7 S_F \sum_i C_{ai} D_{aij} \quad (9)$$

2.2 선량평가 프로그램 및 계산방법

기체상 방사성 유출물에 의한 주민선량은 K-DOSE 60(KEPCO Off-site DOSE calculation program based on ICRP-60 for normal operation of nuclear power plants)를 이용하여 계산하였다. K-DOSE 60은 ICRP-60 방사선 방호체제를 충실히 반영하여 기존 검증 프로그램이 제공하지 못한 동일한 핵종의 여러 화학적 형태 까지 고려하는 종합적 선량평가 코드이며, 크게 기체상 방사성물질에 의한 선량평가(GAS)와 액체 방사성물질에 의한 주민선량평가(LIQ)로 구성되어 있으며, 단위 프로그램은 FORTRAN 77로, 자료입력, 프로그램 실행 및 결과 출력 등 프로그램 실행 전과정을 수행하는 프로그램 통합 운용 및 GUI 지원체제는 Visual C+로 작성되었다[9].

K-DOSE 60 프로그램에 필요한 입력자료는 부지 및 핵종 특성인자, 사회환경인자(인구분포, 농·축·수산물 생산량, 호흡 및 음식물 섭취량, 농·축·수산물 유통경로), 그리고 핵종 거동인자(침적계수, 전이/농축계수) 등이며, 현지조사(1989년 현지조사), 국민영양조사보고서(1995, 1998년 국민영양보고서), 시·군별 통계연보에 수록된 자료 등을 이용하여 수집되었다.

입력자료들은 각 발전소(고리 1·2, 월성 1·2, 영광 1·2, 울진 1·2)별로 적용되어 계산된 피폭선량으로부터 결정변수(결정핵종, 결정장기, 결정경로)의 도출 및 민감도 분석이 이루어졌다. 피폭선량의 민감도분석을 위해서 주요 예상 입력변수들-음식물 섭취량, 방출량, 전이/농축계수, 핵종의 화학적 형태-을 두 가지 경우로 구분하였다. 즉 수집된 각 입력변수들의 최소 및 최대값을 조사하여 피폭선량을 계산하거나, 기준이 되는 입력 변수 값을 1 또는 100%로 하여 각 변수들의 변동에 따른 피폭선량 변동량을 평가하여 민감도를 분석하였다.

2.3 PCC(Partial Correlation Coefficient) 민감도 분석

위에서 행한 각 입력변수 값의 범위는 각각의 입력세트를 형성하며, 각각의 해당 결과를 사용하여 민감도를 분석하였다. 결과에 대한 입력변수의 민감도는 입력변수와 결과의 상관관계를 알아보고 두 개 또는 그 이상의 변수 사이의 수학적 관계를 정의하는 것이다. 이때 상관관계 계수(correlation coefficient)란 두 변수 사이의 상관관계 정도를 나타내는 것으로, 입력 변수가 두 개 이상일 때는 다른 입력 변수의 영향을 제거한 상태에서 한 입력 변수가 모델 결과에 미치는 영향을 고찰할 필요가 있다. 이같이 다른 입력 변수의 영향을 제거한 두 변수 사이의 관계를 Partial Correlation Coefficient (PCC)라 한다[10, 11].

PCC는 -1과 1 사이의 값을 가지며, γ 의 절대값이 1에 가까울수록 입력변수 값의 변화에 대한 결과의 영향이 높다는 것을 의미한다.

$$\gamma = \frac{\sum (X_i - X)(Y_i - Y)}{\sqrt{\sum (X_i - X)^2 \sum (Y_i - Y)^2}} \quad (10)$$

γ : Pearson's product moment correlation coefficient

X: 입력변수값

Y: 입력변수값에 의한 결과값

3. 결과 및 토의

3.1 기체상 방출물의 결정변수 분석

변수의 중요도를 결정하기 위한 계산결과(Figure 2), 주요 핵종은 ^3H , ^{133}Xe , ^{60}Co 로 나타났고(고리 1, 2발전소) 그 주된 이유는 실측 방출량의 과다에 따른 것이다. ^{60}Co 은 방출량은 상대적으로 적으나 선량환산인자의 값이 커서 피폭선량이 높게 나타났다. 원전별 주요 핵종은 월성발전소의 경우, ^{14}C 와 ^{41}Ar 이었고 울진발전소에서는 ^{131}I 의 영향이 크게 나타났다. 한편 89, 95, 98, 2000년 현지조사 및 정부통계를 기초로 한 섭취량 입력 자료 값의 증감은 방출량 변동보다 영향기여도가 훨씬 낮았다. 연간 총 피폭선량은 $10^{-3} \sim 10^1$ mSv/yr 수준으로서 허용기준치인 (5mSv/yr 일반인 기준)을 초과하기도 하였다(월성 1발전소). 각 원전으로부터 받는 성인의 피폭선량은 유아에 비해 14%~68% 높게 나타났으며 청소년 계층은 그 중간에 해당하였다.

주요 피폭경로는 청소년이상 계층에서 농작물의 섭취과정이 가장 결정적이며 호흡이 다음으로 중요한 경로를 차지하였다(Figure 3). 예측된 대로 유아의 주된 피폭경로는 우유와 호흡으로 나타났다. 주요 피폭장기

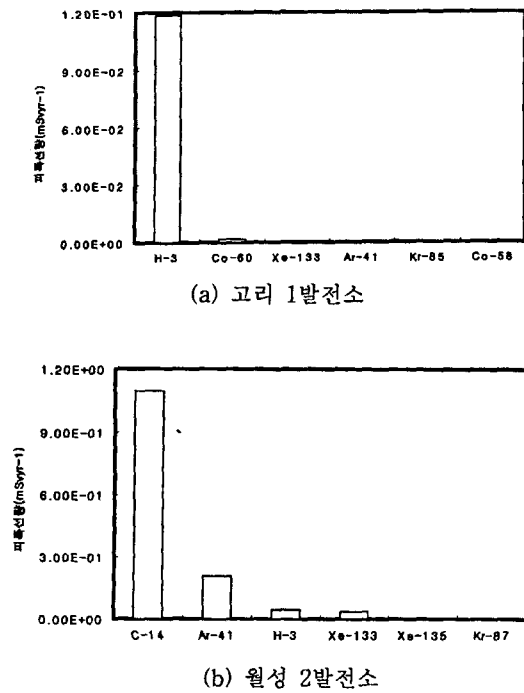


Figure 2. 결정핵종에 따른 피폭량 차이

는 선별이 거의 불가능할 정도로 서로 유사한 피폭치를 보였는데 전반적으로 골표면과 피부의 피폭이 타 장기보다 약간 높았다(Figure 4). 장기간 차이가 뚜렷하지 않은 이유는 근래 도입(KINS)된 환산인자 값의 상호차이가 크지 않기 때문이다[12].

현재 국내 원전들의 가동 중 방사능 유출 형태로 보아 주요경로는 성인이 농작물 섭취, 그리고 유아는 우유를 통한 피폭이 절대적임이 확인되었다. 음식물섭취에 의한 영향이 가장 큰 이유는 식물의 잎 또는 줄기를 통해 가식부를 오염시킬 뿐 아니라 토양의 표면에 침적된 방사성물질이 오랜기간동안 느린 속도로 토양의 심층으로 이동하면서 식물의 뿌리를 통해 오염시키기 때문이다[13]. 또한 전반적으로 해를 거듭함에 따라 안정된 설비운영, 방사선 방어 기술 향상, 꾸준한 작업방법 개선 등으로 피폭량은 감소추세에 있는 것을 볼 수 있었다[14]. 월성발전소에서 ¹⁴C이 많이 배출되고 영광 및 울진발전소의 ¹³¹I 배출이 특기할 만하다. 최근 업데이트된 환산계수에 의거한 본 계산에서는 장기간 피폭량이 서로 유사하여 신체 각 부위의 위험도가 비슷하게 평가되었다.

3.2 기체상 방출물의 민감도 분석

3.2.1 입력변수 변동(Δx)량 대비 출력값 변동(Δy) 비율에 의한 민감도 분석

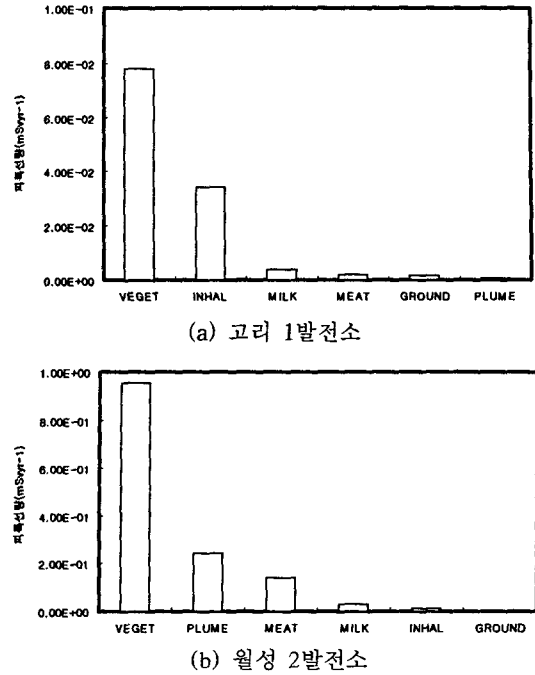


Figure 3. 결정경로 변화에 따른 피폭량 차이

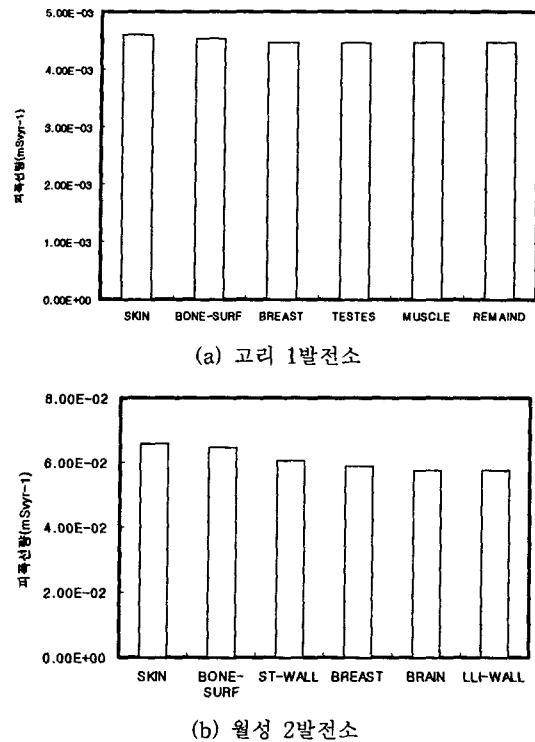


Figure 4. 결정장기에 따른 피폭량 차이

섭취량의 경우, 변화율을 60%~130% 변화시켰을 때 피폭선량은 72%~120%로 변화되었고, 89년~2000년 기간 중 최소 및 최대에 해당하는 섭취량 사용시에는 기준값(100%)에 비해 88%~102%로 변화되었다. 그러나 섭취량 변동에 따른 결정 변수의 순위 변동은 거의 없었다. 단, ^3H , ^{58}Co , ^{90}Sr (고리 1), ^3H (고리 2)이 타 핵종에 비해 선량변화가 큰 편이었다.

입력변수로서 방출량을 택한 경우에는, 변화율을 60%~130% 변화시켰을 때 피폭선량은 60%~130%로 변화되었으며, 89년~2000년 기간 중 최소 및 최대에 해당하는 방출량을 사용했을 경우는 기준값(100%)에 비해 8%~8000%로 변화되었다. ^3H , ^{60}Co , ^{133}Xe (고리 1), ^3H , ^{133}Xe (고리 2)이 타 핵종에 비해 선량변화가 컸으며, 최대에 해당하는 방출량을 사용했을 경우 지표면침적(고리 1), 방사능운(고리 2)의 경로가 가장 컸다.

전이/농축계수를 택한 경우에는, 변화율을 1%~10000% 변화시켰을 때 피폭선량은 95%~580%로 변화되었다. 전이/농축계수의 변동에 따른 결정 변수의 순위 변동은 거의 없었으나 ^3H , ^{58}Co , ^{90}Sr (고리 1), ^3H (고리 2)와 축산물, 우유가 타 핵종과 경로에 비해 선량변화가 컸다.

입력변수로 핵종-삼중수소, 탄소-의 화학적 형태를 변화시킨 경우, 삼중수소의 경우(고리 1,2) 화학적 형태를 기본값인 HTO에서 Particle, OBT로 변화시켰을 때 각각 500, 1200배 피폭선량이 증가했으며, 탄소의 경우(월성 1,2) 형태를 기본값인 CO_2 에서 CO로 변화시켰을 때 피폭선량은 140배 증가했다.

이와 같이 민감도를 분석한 결과 핵종의 화학적 형태에 따른 민감도는 $\Delta y/\Delta x=1200(^3\text{H})$, $\Delta y/\Delta x=140(^{14}\text{C})$ 이었고, 방출량에 따른 민감도는 $\Delta y/\Delta x=1$, 섭취량에 따른 민감도는 $\Delta y/\Delta x=0.7$, 전이/농축계수에 따른 $\Delta y/\Delta x=$

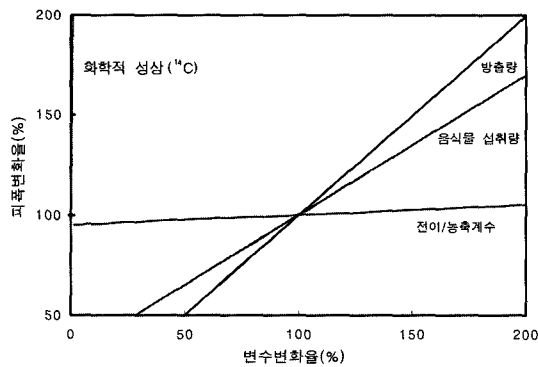


Figure 5. 입력변수량 대비 출력값 변동 비율에 의한 민감도 분석

0.05로 나타났다(Figure 5).

3.2.2 PCC 계산에 근거한 민감도 분석

Table 1은 각 발전소별로 정리된 PCC 계산결과이다. γ_{11} 은 입력변수가 총 섭취량일 때 피폭선량에 대한 상관계수 값이고, γ_{22} 는 입력변수가 총 방출량일 때 피폭선량에 대한 상관계수 값, γ_{33} 와 γ_{44} 는 입력변수가 각각 전이/농축계수 변화, 핵종의 화학적 형태일 때 피폭선량에 대한 상관계수값으로 입력변수의 경우 고리는 앞에서 결정핵종으로 구한 ^3H , 월성은 ^{14}C 를 사용하였다. 의 값이 보통 0.21보다 클 경우 상관관계가 있다고 평가되는데 우리가 사용한 입력변수의 값은 거의 1에 가까운 것으로 보아, 예상한바와 같이 4가지(섭취량, 방출량, 전이/농축계수, 핵종의 화학적 형태) 모두 중요한 변수임을 알 수 있었으며, 중요도는 각 입력변수마다 비슷한 것을 볼 수 있다. 또한 전이/농축계수, 핵종의 화학적 형태의 경우가 섭취량, 방출량의 경우보다 상관계수 값이 약간 더 높은 것을 볼 수 있으며, 특히 월성 1발전소의 경우는 다른 입력변수일 때보다 섭취량일 경우가 중요도가 적게 나오는 것을 볼 수 있었다.

그러나 각 입력변수별로 상관계수 값의 차이가 적어 입력변수간 중요도 순위를 분석하기 어려웠으며, 각각의 입력변수별 중요도는 2.1에서 행한 입력변수량 대비 출력값 변동 비율에 의한 민감도 분석을 사용해야 할 것이다. 따라서 PCC에 의한 민감도 분석은 분석해야 할 입력변수의 종류가 많을 경우 상관계수 값이 높은 입력변수들을 선별할 때 사용하고, PCC 분석에 의해 선별된 입력변수들로 입력변수량 대비 출력값 변동 비율에 의한 민감도 분석을 통하여 중요한 입력변수를 도출한다면 더 효과적일 것이고, 다른 민감도 분석방법들에 의한 경우보다 결과에 대한 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것이며, 비용과 시간도 절약할 수 있을 것으로 판단된다. 다만 입력변수 값의 상당부분이 단순 가정 또는 직관적 판단에 의한 것이므로, 경우에 따라서는 실제와 다소 차이가 있을 것으로 생각되며, 보다 입력변수들의 통계적 특성을 정교하게 구할 필요가 있을 것이다.

핵종의 화학적 형태, 예를 들어 삼중수소의 경우

Table 1. PCC분석에 의한 민감도 분석

	고리 1	고리 2	월성 1	월성 2
γ_{11}	0.996	0.997	0.877	0.959
γ_{22}	0.999	0.992	0.977	0.969
γ_{33}	1.000	1.000	1.000	1.000
γ_{44}	1.000	1.000	1.000	1.000

HTO형태가 OBT나 입자형 방출에 비해 압도적이라고는 하나 OBT와 입자형 방출에 대한 선량환산인자가 HTO에 비해 현재 매우 크게 평가되고 있다. 따라서 방출과정에서 OBT나 입자형 방출이 면밀히 분석되어 그 양이 증가한다면 피폭선량 값은 폭발적 증가를 가져오게 된다. 최대개인피폭선량 평가의 보수성이 배제되면 이와 같이 절대적 민감요인의 하나인 OBT나 입자형 화학적 형태에 대한 선량환산인자의 보수성에 대한 실험적 자료의 보완이 요구된다하겠다. 예상과 달리 높은 민감도를 보일 것으로 생각되었던 전이/농축계수는 뿌리를 통한 방사능의 전이나 사료에서 가축으로의 전이되는 부분이 농작물 표면에 직접 농축되는 방사능 피폭량에 비해 상대적으로 매우 작기 때문에 민감도가 크게 떨어지는 것으로 사료된다.

4. 결 론

ICRP-60에 근거한 선량평가 프로그램인 KDOSE-60을 이용하여 원전주변주민의 최대개인 피폭량에 대한 입력변수의 영향을 분석한 결과, 1) 피폭선량에 대한 영향이 가장 큰 것은 경로의 경우 성인은 농작물, 유아는 우유, 핵종의 경우는 ^3H , ^{133}Xe , ^{60}Co (고리 1,2발전소), ^{14}C , ^{41}Ar (월성 1,2발전소)로 나타났다. 또한 장기의 경우 골표면과 피부 피폭이 1, 2위를 차지하였으나 모든 장기가 매우 미미한 차이를 나타냈다. 2) 출력 대 입력변동에 근거한 민감도 분석결과, 핵종의 화학적 형태가 타 입력변수들보다 10^2 factor 이상의 높은 민감도를 보였으며, 전이/농축계수에 의한 민감도는 식물의 뿌리전이나 사료를 통한 체내 축적이 장기간에 걸쳐 서서히 일어나는 데 기인한다고 생각되며 그 값은 섭취량이나 방출량의 그것에 비하여 10^{-2} factor 만큼 낮았다. 3) PCC를 이용한 상관성 민감도의 경우는 4가지 입력변수 공히 1.0에 가까운 높은 상관성을 보였다.

기호 및 부호

D_{apj}^{Ing} : 농/축산물 섭취에 의한 연령군 a에 대한 피폭선량(Sv/yr)
 U_{ap} : 농/축산물 섭취량(l/yr 또는 kg/yr)
 D_{aij}^{Ing} : 방사성 물질 i의 연령군 a에 대한 섭취선량환산인자(Sv/Bq)
 C_{ip} : 농/축산물 내 방사성물질의 농도(Bq/l, Bq/kg)
 C_{ipL} : 농작물 p에 침적된 방사성 물질 i의 농도(Bq/kg)
 C_{si} : 방사성물질의 지표면 농도(Bq/m² · s)
 γ_p : 침적된 방사성물질이 농작물 p의 표면에 붙어 있을 비율

Y_p : 단위면적당 농작물 p의 생산량(kg-wet weight/m²)
 $\lambda_{epi} = \lambda_{wp} + \lambda_i$
 λ_{wp} : 기상에 의한 농작물 p 표면의 방사성물질 제거상수(s⁻¹)
 λ_i : 물리적 붕괴상수(s⁻¹)
 T_{ep} : 농작물 p의 생장기간(s)
 T_{hp} : 농작물 p의 수확에서 소비까지의 시간(s)
 C_{ipR} : 뿌리를 통해 농작물 p에 침적된 방사성물질 i의 농도(Bq/kg)
 P : 유효 토양 표면 밀도(뿌리깊이, kg-soil/m²)
 B_{ip} : 농작물 p로의 전이계수(Bq/kg-wet weight per Bq/kg-soil)
 T_b : 토양에 방사성물질이 축적된 시간(s)
 C_{ip} : 농작물 p내에 존재하는 방사성물질 i의 농도(Bq/kg)
 C_{ip} : 축산물 p내에 존재하는 방사성물질 i의 농도(Bq/l, Bq/kg)
 F_{ip} : 사료로부터 축산물로의 전이계수(day/kg, day/l)
 Q_p : 가축의 일일 섭취량(kg/day)
 C_{ip}^s : 목초(사료)내 방사능농도(Bq/kg)
 f_p^s : 가축이 목초지에서 생활하는 년분율
 f_p^a : 일일 섭취량 중 가축이 목초지에 있을 때 섭취하는 비율
 C_{ip}^s : 저장사료내 방사능농도(Bq/kg)
 T_s : 저장사료 보관기간(s)
 T_h : 축산물의 생산에서 소비까지의 기간(s)
 T_s : 곡물의 수확에서 소비까지의 시간(s)
 D_{gi} : 지표면 침적에 의한 피폭선량(Sv/yr)
 3.15×10^7 : 시간환산인자(s/yr)
 S_f : 주거용 건물의 차폐인자
 D_{gij} : 방사성물질 i의 선량환산인자(Sv/s per Bq/m²)
 D_{aj}^{Inh} : 호흡에 의한 연령군 a의 피폭선량(Sv/yr)
 B_a : 연령군 a의 연간 호흡량(m³/yr)
 C_{ai} : 방사성물질 i의 공기 중 농도(Bq/m³)
 D_{aij}^{Inh} : 연령군 a의 호흡 선량환산인자(Sv/Bq)
 D_{aj} : 방사능원에 의한 피폭선량(Sv/yr)
 D_{aij} : 방사성물질 i의 선량환산인자(Sv/s per Bq/m³)

참고문헌

- [1] ICRP Publication 60, "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection." 1990.
- [2] IAEA Safety Series 115, "International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources." 1996.

- [3] 과학기술부 장관고시 제 98-12호, “방사선량 등을 정하는 기준,” 1998.
- [4] 한국원자력안전기술원, “주민 피폭선량 평가지침(안),” 1999.
- [5] 과학기술부 장관고시 제 2001-02호, “방사선 방호 등에 관한 규정,” 2001.
- [6] 고리, 월성원전 주변 방사성물질의 해양확산 평가체계 구축(최종 평가용 자료), 한국전력공사 전력연구원, 2000.
- [7] 방사선 안전규제 기술개발-방사능 방재 환경규제 기술 개발, 과학기술부, 2000.
- [8] 원전 주변주민 피폭선량 평가 입력변수 결정방법 표준화 연구-1차년도, 한국전력공사, 2001.
- [9] 고리, 울진원전 주변 국지기상 특성을 고려한 주민선량 평가체계 구축(최종평가용보고서), 한국전력공사 전력연구원, 2001.
- [10] R. L. Iman, W. J. Conover, “Sensitivity Analysis Technique: Self-Teaching Curriculum,” NUREG/CR-2350, SAND 81-1978, Sandia National Laboratories, USNRC, U.S.A., 1982.
- [11] R. L. Iman, M. J. Shortencarier, J. D. Johnson, “A Fortran 77 Program and User’s Guide for the Calculation of Partial Correlation and Standardized Regression Coefficients,” NUREG/CR-4122, SAND 85-1144, Sandia National Laboratories, USNRC, U.S.A., 1985.
- [12] ICRP-60에 따른 주민선량 평가지침 및 프로그램 설명서(안), 한국전력공사, 2000.
- [13] 황원태, 서경석, 김은한, 한문희, 김병우, “원전 중대사고시 피폭경로 및 핵종의 방사선 피폭에 대한 상대적 중요도 해석,” 방사선방어학회지, 19(3), 209-221, 1994.
- [14] 원자력발전소 방사선관리연보, 한국수력원자력주식회사, 2000.