

## IAEA와 FDA 방법론을 사용한 원자력 사고시 오염 음식물에 대한 유도개입준위 산정

### Estimate of Derived Intervention Levels for Accidental Contamination of Food Using IAEA and FDA Approaches

황원태, 서경석, 김은한, 최영길, 한문희

한국원자력연구소

#### 요 약

IAEA와 FDA에서 권고하고 있는 방법론을 사용하여 국내 주요 음식물에 대한 유도개입 준위를 산정하여 비교, 논의하였다. 선량에 대한 개입준위와 연령군별 선량환산인자는 ICRP의 신권고 (ICRP-60)에 근거하여 적용하였다. 전반적으로 FDA 방법론에 근거한 유도 개입준위는 IAEA 방법론보다 보수적이었다. 우유를 제외한 대부분의 음식물의 경우 결정 연령군으로  $^{137}\text{Cs}$ 은 성인,  $^{90}\text{Sr}$ 은 15세,  $^{131}\text{I}$ 은 5세로 나타났다.

#### Abstract

Derived intervention levels for accidental contamination of Korean foods using IAEA and FDA approaches were compared and discussed. Intervention level for dose and ingestion dose coefficients based on ICRP-60 were applied. Generally, derived intervention levels based on FDA approach were more conservative than those based on IAEA approach. In most foods except milk, critical age group was adult, 15 yr and 5 yr for  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{131}\text{I}$ , respectively.

#### 1. 서 론

체르노빌 사고는 방사선 방호원칙에 대한 새로운 전기를 마련하였다. 오늘날 국제방사선방호위원회 (ICRP)에서 권고하는 방사선 방호철학은 (1) 자연 방사선이외에 방사선 관련 작업을 수행함으로써 피폭이 야기될 수 있는 행위 (practice)와 (2) 대응행위를 취함으로써 피폭을 줄일 수 있는 행위 (intervention)를 구분하고 있다. 체르노빌 사고, 주거지에서 라돈 등과 같이 방사선원을 통제할 수 없는 상황에서 방사선 피폭은 개입 (intervention)에 의

해 줄일 수 있다. 비상대응 행위의 개입은 항상 얼마간의 불이익이 있으며 해보다 이득이 많을 때 그 대응행위는 정당화 (justified)되며, 대응행위의 형태, 크기, 기간 등은 순이득이 최대가 되도록 최적화 (optimized)되어야 한다[1].

체르노빌 사고후 국제방사선방호위원회 (ICRP), 국제원자력기구 (IAEA), 경제협력개발기구 산하 원자력기구 (NEA/OECD), 미국연방 식품의약청 (FDA) 등과 같은 세계의 여러 방사선방호기구에서는 개입준위 향상을 위한 작업에 착수하였다. 우리나라의 경우 외국의 사례를 근거로 1986년에 원전 방사능 재해대책 지침이 설정[2]되었으나, 그 이후 ICRP-60[1]에 근거한 새로운 방호체제의 국내 법제화에 따른 후속조치는 실행되고 있지 못하고 있다. 특히 외국과 음식물 소비 구조에서 상이한 우리나라의 경우, 오염 음식물에 대한 개입준위의 설정은 매우 미비한 상태이다.

본 연구에서 IAEA[3]와 FAD[4]에서 권고하고 있는 방법론을 사용하여 ICRP-60에 근거한 우리나라의 주요 음식물에 대한 유도개입준위를 산정하여 비교, 논의되었다. 최종 유도개입준위 설정시 중요한 정치적, 사회적 인자는 고려치 않았다.

## 2. 유도개입준위 산정

개입의 정당화 및 최적화는 피폭받은 전 집단에 대한 개인의 평균 피폭선량에 근거한다. 원자력발전소 사고후 음식물섭취에 의한 피폭에 중요하게 영향을 미치는  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ 에 대해 유도개입준위를 산정하였다. 유도개입준위 산정에 있어서 IAEA와 FDA에서 권고하고 있는 방법론은 음식물 약간의 차이가 있다. 특히 IAEA 방법론에서는 몇가지 음식물 군으로 나누어 평가하고 있으나, FDA 방법론에서는 모든 소비 음식물의 총량에 근거하여 평가하고 있다. 두 원자력기구에서는 다음과 같은 선량에 대한 개입준위 (IL, mSv)와 유도개입준위 (DIL, Bq/kg) 간의 관계를 제시하고 있다[3,4].

$$\text{IAEA 방법론 : } DIL_{i,j} = \frac{IL_{i,j}}{I_i DCF_j G_i} \quad (1)$$

$$\text{FDA 방법론 : } DIL_{i,j} = \frac{IL_j}{DCF_j \sum f_i I_i} \quad (2)$$

여기서,

$i$  : 음식물 종류

$j$  : 핵종의 종류

$DIL$  : 음식물에 대한 유도개입준위 (Bq/fresh-kg)

$IL$  : 선량에 대한 개입준위 (mSv)

$I$  : 음식물 연간 소비량 (fresh-kg/yr)

$DCF$  : 선량환산인자 (Sv/Bq)

$f$ : 음식물 섭취 총량 중 오염된 음식물 섭취량의 비율

$G$ : 특정시점  $t_p$  에서 음식물내 농도에 대한 1년 누적농도의 비  
(Bq yr/fresh-kg per Bq/fresh-kg)

$$G_i = \frac{\int_0^{1\text{yr}} C_i(t) dt}{C_i(t_p)} \quad (3)$$

### 1) 선량에 대한 개입준위 (IL)

국내에서 ICRP-60의 범제화에 따라 1998년부터 유효선량 (effective dose)의 개념이 도입되었으며, 본 연구에서 여러 국제원자력기구에서 권고하고 있는 5 mSv의 예탁 유효선량 (committed effective dose)을 선량에 대한 개입준위로 채택하였다. ICRP-60에서는 결정론적 위해 방지를 위한 수정체와 피부를 제외하고, 각 장기에 대한 예탁 등가선량 (committed equivalent dose)에 대한 제한치는 별도로 권고하고 있지 않다. 그 이유는 모든 경우에 대해 각 장기에 대한 유도개입준위는 유효선량에 근거한 유도개입준위보다 크기 때문이다.

### 2) 선량환산인자 (DCF)

표 1에 나타난 바와 같이 ICRP-60에서는 6개의 피폭 연령군 (3개월, 1세, 5세, 10세, 15세, 성인)에 대한 선량환산인자를 제시하고 있다[5].

표 1. 유효선량에 대한 선량환산인자 (Sv/Bq)

연령군 핵종	3개월	1세	5세	10세	15세	성인
$^{137}\text{Cs}$	2.1E-8	1.2E-8	9.7E-9	1.0E-8	1.3E-8	1.4E-8
$^{90}\text{Sr}$	2.3E-7	7.2E-8	4.7E-8	6.0E-8	7.9E-8	2.8E-8
$^{131}\text{I}$	1.8E-7	1.8E-7	1.0E-7	5.2E-8	3.4E-8	2.2E-8

### 3) 음식물 소비량 (I)

전술한 바와 같이 음식물에 대한 유도개입준위 산정시 두 원자력기구에서 접근하는 방법론이 다르다. IAEA 방법론에서는 6개의 음식물 군 (곡류, 채소류, 과일류, 우유, 육류, 음용수)으로 나누고 있으나, FDA 방법론에서는 단반감기 핵종 (예  $^{131}\text{I}$  등)을 제외하고 1년간 소비하는 음식물의 총량에 근거한다. FDA 방법론에서 반감기가 1년보다 훨씬 짧은 경우, 연간 음식물 소비량은 음식물내 초기 방사성물질 농도의 1% 미만이 될 때까지의 시간 (예로  $^{131}\text{I}$ 의 경우 약 60일)에 근거한다. 국내 음식물 소비량자료는 참고문헌 [6]에 근거하였으

며, 자료가 부족한 경우는 내삽 또는 추정하여 얻어진 연령군별 음식물 소비량 자료를 표 2에 나타냈다.

표 2. 연간 음식물 소비량 (fresh-kg/yr)

연령군 음식물	3개월	1세	5세	10세	15세	성인
곡류	0	0	113.79	146.04	178.28	170.68
채소류	0	0	58.2	74.70	91.19	87.30
과일류	0	0	11.03	14.15	17.27	16.54
우유	183.2	183.2	13.04	16.74	20.43	19.56
육류	0	0	15.44	19.83	24.21	23.16
음용수	0	0	90.1	115.63	141.17	135.10
합계	183.2	183.2	301.6	271.44	472.55	452.34

(주) 1세의 우유 소비량은 3개월 유아와 동일하다고 가정

음용수 소비량은 성인의 음용수 소비량에 대한 음용수 제외한 모든 음식물 소비량의 비를 다른 연령군에 적용하여 추정

#### 4) 오염 음식물의 분율 (f)

FDA 방법론에서는 연간 소비 음식물중 30%가 오염 음식물로 가정한다. 일반적으로 오염 음식물의 분율은 10% 이하로 예상되며, 이 값은 자급율이 높은 지역 및 인구집단을 고려하여 적용된다. 그러나 유아 (3개월, 1세)의  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ ,  $^{132}\text{Te}$ ,  $^{239}\text{Np}$ 에 대해 짧은 시간에 걸쳐 소비되는 우유의 전량이 오염된다 ( $f=1$ )고 가정한다.

#### 5) 특정시점에 대한 누적 음식물농도 비 (G)

IAEA 방법론에서는 음식물의 수확 또는 생산 후 핵종의 붕괴에 따른 유도개입준위의 영향은 유도개입준위가 적용되는 특정시점  $t_b$ 에서의 음식물 농도에 대한 1년간의 누적농도의 비를 사용하여 보정한다. 우유와 육류를 제외한 음식물의 경우 단지 방사능 붕괴에 의해 제거된다고 가정하면 다음 식으로 평가될 수 있다.

$$G = \frac{\int_0^{1\text{yr}} C(t) dt}{C(0)} = \frac{\int_0^{1\text{yr}} C(0) e^{-\lambda t} dt}{C(0)} = \frac{1 - e^{-\lambda}}{\lambda} \quad (4)$$

여기서  $t$  는 침적후 시간 (yr)이며,  $\lambda$  는 방사능 붕괴상수 (1/yr)이다. 그러나 연속적으로 생산되는 우유, 육류내 방사성물질의 농도는 가축의 배설 등으로 침적후 시간에 따라 큰 변화를 나타낸다. 이 경우  $G$  값은 침적후 시간에 따른 방사성물질의 농도변화를 해석할 수 있는 섭식경로모델 (food chain model)로부터 예측될 수 있다. 본 연구에서는 한국원자력연구소에서 개발된 동적 섭식경로모델인 DYNACON[7]으로부터  $G$  값을 평가하였는데, 이 때  $t_b$  는 최대 방사성물질의 농도를 나타내는 시점을 나타낸다. 침적시점을 매월 중순을 가정하여 그중  $G$  값에 가장 큰 값, 즉 가장 보수적인 값을 선택한 결과를 표 3에 나타냈다.

표 3. 본 연구에서 적용된 특정시점에 대한 누적 음식물농도 비

음식물 \ 핵종	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{131}\text{I}$
곡류	9.89E-1	9.89E-1	3.16E-2
채소류	9.89E-1	9.89E-1	3.16E-2
과일류	9.89E-1	9.89E-1	3.16E-2
우유	3.55E-1	4.05E-1	7.57E-2
육류	6.51E-1	6.54E-1	1.36E-1
음용수	9.89E-1	9.89E-1	3.16E-2

### 3. 결과 및 고찰

IAEA와 FDA에서 권고하고 있는 방법론을 사용하여 유효선량에 근거한 음식물의 유도개입준위를 산정하였다. 유도개입준위는 ICRP-60에 제시된 연령군에 따라 평가하였으며, 그중 가장 보수적인 (가장 낮은 값)이 선택되었다.

IAEA 방법론에 근거하여 평가된 연령군별 음식물에 대한 유도개입준위를 표 4에 나타냈다. 표에 나타낸 바와 같이 우유를 제외하고 모든 음식물에 대해  $^{137}\text{Cs}$ 의 경우 성인,  $^{90}\text{Sr}$ 의 경우 15세,  $^{131}\text{I}$ 의 경우 5세에 대한 유도개입준위가 가장 낮은 값을 나타냈다. 우유는 모든 핵종에 대해 3개월 유아에 대한 유도개입준위가 가장 낮은 값을 나타냈다.

FDA 방법론에 근거하여 평가된 연령군별 음식물에 대한 유도개입준위를 표 5에 나타냈다. 표에 나타낸 바와 같이  $^{137}\text{Cs}$ 의 경우 성인,  $^{90}\text{Sr}$ 의 경우 3개월 유아에 대한 유도개입준위가 가장 낮은 값을 나타냈다.  $^{131}\text{I}$ 의 경우 우유를 제외한 모든 음식물은 5세, 우유는 유아 (3개월, 1세)에 대해 유도개입준위가 가장 낮은 값을 나타냈다.

연령군별 유도개입준위의 차이는 주로 선량환산인자, 음식물 소비량 등에 기인한다. 전반적으로 동일 음식물, 연령군에 대해  $^{90}\text{Sr}$ 의 유도개입준위가 가장 낮은데 이는 상대적으로 높

은 선량환산인자에 기인한다.  $^{131}\text{I}$ 은 다른 핵종에 비해 반감기가 짧아 유도개입준위는 상대적으로 높은 값을 나타냈다.

전반적으로 FDA 방법론에 근거한 유도개입준위는 IAEA 방법론에 근거한 값보다 보수성(보다 낮은 값)을 나타내고 있는데, 이는 해당 국가의 경제적, 사회적, 문화적 요소 등과 무관하지 않다. FDA 방법론은 미국 국민의 방사선 방호측면에서 설정된 반면, IAEA 방법론은 전 세계 국민을 대상으로 한 것이기 때문이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 IAEA와 FAD에서 권고하고 있는 방법론을 사용하여 우리나라의 주요 음식물에 대한 유도개입준위를 산정하여 비교, 논의하였다. 선량에 대한 개입준위와 연령군별 선량환산인자는 ICRP의 신권고 (ICRP-60)에 근거하여 적용하였다.

전반적으로 FDA 방법론에 근거한 유도개입준위는 IAEA 방법론보다 보수적이었다. 우유를 제외한 대부분의 음식물의 경우 결정 연령군 (critical age group)으로  $^{137}\text{Cs}$ 은 성인,  $^{90}\text{Sr}$ 은 15세 (FDA 방법에서는 유아에 대한 우유의 영향으로 3개월 유아),  $^{131}\text{I}$ 은 5세로 나타났다.

본 연구는 통해 산정된 국내 음식물에 대한 유도개입준위는 정치적, 사회적 요소 등은 반영하지 않았으며, 최종 유도개입준위 설정시에는 이들 요소를 함께 반영하여야 할 것이다. 이러한 연구는 ICRP의 방사선 방호에 대한 신권고에 따른 국내 음식물에 대한 유도개입준위 설정을 위한 근거를 제공할 것으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

- [1] ICRP, "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", ICRP Publication 60 (1991).
- [2] 한국에너지연구소, 원자력안전센터, "원전 방사능 재해대책", KAERI/NSC-215/86 (1986).
- [3] IAEA, "Derived Intervention Levels for Application in Controlling Radiation Doses to the Public in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency", IAEA Safety Series No. 81 (1986).
- [4] M. Rosenstein and D. L. Thompson, "Comparison of Derived Intervention Levels for Accidental Contamination of Food Using Effective Dose Equivalent ( $H_E$ ) and Effective Dose ( $E$ )", Radiation Protection Dosimetry, Vol. 71, No. 1, pp. 47-51 (1997).
- [5] ICRP, "Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides : Part 2 Ingestion Dose Coefficients", ICRP Publication 67 (1994).
- [6] 한국원자력연구소, "섭취 및 호흡에 의한 방사선 내부피폭선량 평가코드 개발", KAERI/RR-998/90 (1990).
- [7] W. T. Hwang, G. S. Cho and M. H. Han, "Development of a Dynamic Food Chain Model DYNACON and Its Application to Korean Agricultural Conditions", Jr. of Nuclear Science and Technology, Vol. 35, No. 6, pp. 454-461 (1998).

표 4. IAEA 방법론에 근거한 음식물에 대한 유도개입준위 (Bq/fresh-kg)

핵종	음식물	3개월	1세	5세	10세	15세	성인
<sup>137</sup> Cs	곡류	-	-	4600	3500	2200	<u>2100</u>
	채소류	-	-	9000	6800	4300	<u>4100</u>
	과일류	-	-	47000	36000	23000	<u>22000</u>
	우유	<u>3700</u>	6400	11000	84000	53000	51000
	육류	-	-	51000	39000	24000	<u>24000</u>
	음용수	-	-	5800	4400	2800	<u>2700</u>
<sup>90</sup> Sr	곡류	-	-	950	580	<u>360</u>	1100
	채소류	-	-	1900	1100	<u>700</u>	2100
	과일류	-	-	9800	6000	<u>3700</u>	11000
	우유	<u>290</u>	940	20000	12000	7700	23000
	육류	-	-	11000	6400	<u>4000</u>	12000
	음용수	-	-	1200	730	<u>450</u>	1300
<sup>131</sup> I	곡류	-	-	<u>14000</u>	21000	26000	42000
	채소류	-	-	<u>27000</u>	41000	51000	82000
	과일류	-	-	<u>140000</u>	220000	270000	430000
	우유	<u>2000</u>	2000	51000	76000	95000	150000
	육류	-	-	<u>24000</u>	36000	45000	72000
	음용수	-	-	<u>18000</u>	26000	33000	53000

(주) 밑줄은 각 음식물에 연령군별 유도개입준위 중 가장 보수적인 값을 나타냄

표 5. FDA 방법론에 근거한 음식물에 대한 유도개입준위 (Bq/fresh-kg)

핵종	음식물	3개월	1세	5세	10세	15세	성인
<sup>137</sup> Cs	모든음식물	4300	7600	5700	6100	2700	<u>2600</u>
<sup>90</sup> Sr	모든음식물	<u>400</u>	1300	1200	1000	450	1300
<sup>131</sup> I	모든 음식물	-	-	<u>3400</u>	7200	6300	10000
	우유	<u>920</u>	920	-	-	-	-

(주1) 밑줄은 각 음식물에 연령군별 유도개입준위 중 가장 보수적인 값을 나타냄

(주2) <sup>131</sup>I의 경우 “모든 음식물”이라 함은 유아 (3개월, 1세)의 우유를 제외함