

# 국내 원전에서 <sup>131</sup>I 내부 흡입에 따른 섭취량 산정과 내부피폭 방사선량 평가 경험 및 개선방향에 대한 연구

김희근, 공태영  
한전 전력연구원

2009년 5월 15일 접수 / 2009년 7월 13일 1차수정 / 2009년 7월 20일 채택

국내 원전의 계획예방정비기간 중에 원자로계통의 개방 과정에서 원자로건물내 공기 중으로 누설된 <sup>131</sup>I의 체내 흡입으로 원전종사자의 내부피폭이 발생하였다. 이에 따라 원전에서 보유하고 있는 전신계측기(Whole body counter)를 이용하여 내부방사능을 측정하였다. 이들 측정값을 근거로 국제방사선방호위원회(ICRP)의 내부피폭 선량평가 지침을 적용하여 섭취량을 산정하고, 내부피폭 방사선량을 평가하였다. <sup>131</sup>I은 체내에서 섭취와 배설이 빠르고감상선으로 재축적이 일어나기 때문에 섭취 후 측정시점에 따라 섭취량이 차이를 보였다. 또한 ICRP 간행물에서 <sup>131</sup>I의 전신에 대한 섭취잔류분율 자료를 제공하고 있지 않아 감상선 섭취잔류분율 자료를 이용함으로써 섭취량 평가에서 오차를 나타내었다. 이에 따라 수계산 과정으로 섭취량을 산정하고 예탁유효선량을 평가하였다. 한편 전신에 대한 섭취잔류분율을 새로 계산하였으며, 이 결과를 검증하였다. 또한 국제적으로 이용되고 있는 내부피폭 선량평가 전산코드를 이용하여 섭취량 산정과 내부피폭 선량평가 평가결과에 대한 비교 계산이 병행하여 이루어졌다.

중심어: <sup>131</sup>I, 내부피폭, 전신계측기, 섭취량, 예탁유효선량, 섭취잔류분율

## 1. 서론

요오드는 휘발성이 크며 화학적 흡수 특성으로 인해 신체 내로 유입된 후 폐에서 전신으로 흡수와 배설이 빠르게 이루어진다. 섭취초기에 전신에 분포하고 있던 요오드의 대부분은 혈액을 따라 순환하다가 뇨(Urine)를 통해 배설되나, 일부는 감상선으로 재축적된 후 신체로부터 다시 제거가 일어나는 특성이 있다. 이처럼 요오드는 신체대사가 복잡하고 빠르게 일어나는 특성 때문에 내부방사능 측정과 내부피폭 선량평가가 복잡한 핵종으로 인식되고 있다. 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection: ICRP)와 미국원자력규제위원회(U. S. Nuclear Regulatory Commission: USNRC) 등의 내부피폭 선량평가 지침에서는 요오드 섭취 후 일정한 시간 경과 후 내부피폭 방사능을 측정하고, 이를 근거로 내부피폭선량을 평가하도록 규정하고 있다[1,2].

2002년 올진 3호기의 계획예방정비기간 중에 원자로계통의 개방 작업과정에서 원자로건물 내 공기 중으로 방사성물질이 누설되었다. 이때 원자로건물 내에 설치된 방사선감시기의 경보가 울림에 따라 작업종사자들이 방사선작업을 중단하고 철수하였다. 이 과정에서 원자로건물에 출입하였던 다수의 방사선작업종사자가 <sup>131</sup>I의 체내 흡입(Inhalation)에 의한 내부피

폭이 발생하였다. 또한 이들 방사선작업종사자는 원자로건물 출입종료 후에 수행하는 포털 모니터(Portal monitor) 또는 휴대용오염감시기를 이용한 신체 오염검사과정에서 방사능오염 경보가 울림에 따라 피부오염 검사와 전신계측을 실시하였다. 그 결과, 다수 종사자의 체내에 <sup>131</sup>I이 침적된 것으로 확인되었다[3,5]. 한편 올진 3호기는 제 4주기 운전기간 동안 연료손상에 따라 계통 내에서 기체방사능 핵종의 농도가 증가된 상태로 유지된 것도 내부피폭발생의 한 원인이 되었다[4,5].

체내에 요오드가 침적된 원전종사자에 대한 전신계측(Whole body counting) 과정에서 전신계측기(Whole Body Counter: WBC)의 측정모드에 따라 내부방사능 측정값이 차이를 보였다. 또한 요오드의 방사능 측정값이 전신계측을 수행한 측정시점 별로 크게 변함에 따라, 이를 근거로 산출한 섭취량이 차이를 나타냈다. 특히 ICRP 보고서에서 요오드 핵종의 WBC 전신 측정모드에 해당되는 섭취잔류분율(Intake Retention Fraction: IRF)을 제공하고 있지 않아 섭취량(Intake) 산정과정에서 어려움을 겪었으며, 그 결과 예탁유효선량(Committed Effective Dose: CED) 평가에서도 차이를 보였다.

본 논문은 국내 원전의 계획예방정비기간 중에 <sup>131</sup>I 내부피폭이 발생함에 따라 내부보유 방사능을 측정된 결과를 근거로 섭취량을 산정하고 CED를 평가한 경험을 기술하고 있다. 이 과정에서 ICRP의 내부피폭 선량평가 지침을 적용한 수계산에 의해 섭취량을 산정하고 CED를 평가하여 적절성을 다시 확인하였다. 또한 WBC의 전신 측정모드와 일치하도록 전신에 대한 IRF를 새로이 계산하였으며, 내부피폭 선량

책임저자: 김희근, hkkim@kepri.re.kr, 한전전력연구원  
대전시 유성구 문지동 103-16

평가 전산코드를 이용한 비교 계산 등도 병행하여 수행하였다. 아울러 <sup>131</sup>I 섭취량과 CED 평가 경험을 토대로 간략한 개선방안을 제시하였다.

## 2. 내부방사능 전신계측

국내 원전에서는 내부피폭 방사능을 감시하기 위해 전신계측과 뇨시료에 대한 방사능계측(Urine bioassay)을 실시하고 있다. 이러한 전신계측과 뇨시료 중의 방사능계측은 방사선작업종사자로 등록하는 최초에 실시하고, 정기적으로 1년에 한번 모든 종사자에 대해 실시하고 있다<sup>6</sup>. 또한 계획예방정비를 시작하기 전과 종료한 후 전체 종사자를 대상으로 전신계측을 실시하며, 주요 방사선작업의 완료 후에도 전신계측을 실시하고 있다. 이외에 중수로 원전에서는 방사선작업 종료 후에 종사자의 뇨시료를 채집하여 삼중수소 방사능을 측정하고 이에 따른 내부피폭 선량을 평가하여 보고하고 있다<sup>6</sup>. 국내 원전에서 보유하고 있는 전신계측기는 NaI 검출기가 탑재된 전신계측장비로서 7.6×12.7×40.6 cm 크기의 대형 NaI 섬광검출기 두개를 내장하고 있으며, 직립 선형측정구조(Stand type linear geometry)를 채택하고 있다. 본 계측기는 300 keV에서 1.8 MeV의 광자에서 발생하는 방사선을 효과적으로 검출할 수 있으며, 짧은 계측시간으로 신속하게 핵종을 찾아내는 특징이 있다. 이외 원전 부지별로 고성능 반도체 검출기(HPGe detector)를 갖춘 침대형 선형 측정구조(Bed type linear geometry)의 전신계측기를 추가적으로 확보하여 운영하고 있다<sup>7,8</sup>.

2002년 국내 원전의 원자로건물 공기 중으로 누설된 <sup>131</sup>I의 체내 흡입으로 인한 원전종사자의 내부피폭이 발생함에 따라 이들 방사선작업종사자에 대해 최초에는 WBC 전신 측정모드를 선택하여 전신계측을 실시하였다. 그런데, 방사선작업 종료 즉시 전신계측을 실시함에 따라 일부 종사자는 반복적인 전신계측의 과정에서 체내 보유 핵종은 동일하나 체내 보유 방사능이 다르게 나타나기도 하였다. 또한 일부 종사자는 안면 세척과 샤워 후 전신계측을 실시한 결과 방사능이 검출되지 않아 단순 체외오염으로 판명되었고, 일부 종사자는 바로 다음날 다시 전신계측을 실시한 결과 전혀 방사능이 검출되지 않는 경우도 나타났대<sup>9</sup>. 이러한 내부방사능 측정의 편차와 불확실성을 고려하여 <sup>131</sup>I 섭취 약 2~3일 경과 후 전신계측을 다시 실시하였다. 이러한 재측정 과정에서는 WBC 측정모드로 갑상선 측정모드와 전신 측정모드 2가지를 이용하였으나, 섭취량은 전신 측정모드를 이용한 방사능 측정값을 기준으로 산정하였다. 올진 3호기의 요오드 누설과 발생 경위, 전신계측기의 성능과 일반적인 전신계측 절차, <sup>131</sup>I 내부피폭 발생에 따른 전신계측에 대한 상세한 내용은 대한방사선방어학회 논문 "전신계측기를 이용한 원전종사자의 <sup>131</sup>I 내부방사능 측정 경험 및 개선방향에 대한 연구"에서 자세히 다루고 있다.

## 3. 섭취량 산정과 예탁유효선량 평가

섭취량 산정에서 먼저 고려해야 할 사항은 섭취경로(흡입,

음식물섭취 또는 상처 등)를 파악하는 일이다. 원전의 방사선 작업과정에서 발생하는 내부피폭은 거의 대부분이 흡입경로에 의해 발생하고 있다. 내부피폭 선량평가를 위해 체내에 침적되는 방사성물질의 화학적 흡수형태를 결정해야 한다. 국제방사선방호위원회의 ICRP-78에서는 F(Fast), M(Moderate), S(Slow), Vapour로 분류하며, ICRP-54에서는 D(Days), W(Weeks), Y(Years)로 분류하고 있다<sup>1,9</sup>. 내부피폭이 발생한 시점이 ICRP-60을 완전 적용하는 2003년 이전으로 ICRP-54를 적용하여 섭취량을 산정하고, CED를 평가하였고 이를 기준으로 보고하였다. 이외 추가적으로 ICRP-78을 적용한 계산도 병행하였는데, 이 경우 요오드의 화학적 형태로서 F type과 증기(Vapour) 형태를 동시에 고려하였다. 이러한 이유는 <sup>131</sup>I은 결합연료의 발생으로 핵연료에서 빠져나와 계통 내 물속에 용해되어 있다가 산성 환경이 형성되면 주로 증기(Vapour)의 형태로 방출될 수 있다는 가능성을 고려한 것이다. 특히 요오드의 화학적 형태로 증기를 고려한 배경에는 일본 방사선종합연구소(National Institute of Radiological Science: NIRS)의 요오드에 대한 화학형 자료와 이곳 전문가와의 서신교환 등을 참고하였다<sup>10,11</sup>. 이외 원전 계획예방정비기간 중에 방출되는 요오드의 화학형 추정을 위해 사고 선량평가에 적용되는 USNRC의 보고서 등을 참고하였다<sup>12</sup>.

다음에는 <sup>131</sup>I 방사성 입자의 방사능중앙값 공기역학적경(Activity Median Aerodynamic Diameter: AMAD)을 고려하여야 한다. 그런데 입자의 크기(AMAD)는 실제 측정된 자료가 있는 경우 이를 사용하지만, 본 평가에서는 <sup>131</sup>I의 AMAD 측정 자료가 없어 ICRP 기본값을 사용하였다. ICRP-78에서는 5 μm, ICRP-54에서는 1 μm를 기본값 AMAD로 제시하고 있다. 또한 섭취형태로서 급성섭취 또는 만성섭취를 결정하여야 하는데, 일반적으로 원전에서 계획예방정비기간 일회성 방사선작업으로 인한 피폭은 급성피폭으로 간주되고 있다.

섭취량 산정에서 또 다른 중요한 인자는 흡입에서 내부방사능 측정까지의 경과시간(일 단위)을 결정하는 일이다. <sup>131</sup>I 섭취에서 전신계측까지의 경과시간은 원자로건물 출입기록부에 기재된 출입시간과 WBC 실제 측정시간의 차이를 이용하여 결정하였다. 또한 경과시간에 상응하는 IRF를 ICRP 보고서나 내부피폭 선량평가 코드를 이용하여 결정하였다. 이러한 각 핵종별 IRF 자료는 ICRP-78 또는 ICRP-54 보고서 등에 자세히 기술되어 있다<sup>1,9</sup>.

일반적으로 요오드는 휘발성이 크며, 신체 내로 유입되어 폐를 거쳐 전신으로 빠르게 흡수되고 혈액을 따라 신체를 순환하다가 뇨를 통해 약 70%가 빠르게 배설된다. 그러나 배설되지 않고 신체 내부에 남아 있는 요오드는 혈액을 따라 갑상선에 모이는 특성이 있다. 이런 이유 때문에 ICRP에서는 요오드의 내부방사능을 갑상선에서 측정하고, 여기에 상응하는 갑상선 IRF를 이용하여 섭취량과 CED를 평가하도록 권고하고 있다. ICRP-54와 ICRP-78에 제시된 요오드의 인체대사모델을 그림 1, 2에 나타내었다<sup>1,9</sup>. 이들 ICRP 보고서에 따르면 요오드의 IRF는 섭취 후 1~2일까지 매우 빠르게 증가하여 평형에 도달하는 특성을 보이는 것으로 나타나고 있다<sup>1,9,13,14</sup>. 이는 <sup>131</sup>I의 경우 체내 흡입 후 방사성물질이 신체 내에서 평형에 도달한 일정시간 경과 후에 전신계측을 해야만 신뢰성 있는 정확한 측정값을 얻을 수 있음을 나타내고 있다. 이외에

USNRC 내부피폭 선량평가 감시지침에는 <sup>131</sup>I은 최소 6시간 경과 후 전신계측을 해야 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다고 권고하고 있다[2]. 표 1에 ICRP-54와 ICRP-78에서 제시하고 있는 주요 화학형의 섭취 후 시간대별 갑상선의 IRF를 나타내었다.

전신계측기로 측정된 방사능은 원자로 건물의 출입이나 방사선작업 과정에서 종사자의 체내로 유입된 방사성물질이 방사능붕괴와 배설이 이루어진 후 현재 종사자의 체내에 남아 있는 보유량(Contents: M)이다. 따라서 최초 체내로 유입된 섭취량(Intake: I)은 섭취 후 방사능붕괴와 신체 외부로 배설 등을 적절히 고려하여 산출되어야 한다. 방사성물질의 섭취 후

시간(Time after intake) 경과에 따라 종사자의 체내에 현재 남아있는 방사성물질의 방사능 비율을 섭취잔류분율(IRF)이라 하는데, 섭취량은 측정량(M)을 섭취잔류분율(IRF)로 나누어 산정한다. 이를 식(1)에 나타내었다. 한편 예탁유효선량(CED)은 섭취량에 선량환산계수(Dose Conversion Factor: DCF)를 곱하여 평가된다[1,9,15]. 이를 식(2)에 나타내었다. IRF와 DCF는 ICRP-54와 ICRP-78 등의 내부피폭 선량평가 보고서와 IAEA 기본안전기준 등에 자세히 제시되어 있다[16,17]. 국내 원전에서 적용중인 내부방사능 측정, 섭취량 산정과 예탁유효선량 평가에 대한 개략 과정을 그림 3에 나타내었다[3].

$$\text{섭취량 (I)} = \frac{\text{신체보유량 (M)}}{\text{섭취잔류분율 (IRF)}} \quad (1)$$

$$\text{예탁유효선량 (CED)} = \text{섭취량 (I)} \times \text{선량환산계수 (DCF)} \quad (2)$$

다음은 <sup>131</sup>I 내부피폭 발생에 따른 방사선작업종사자의 전신계측 결과를 이용한 섭취량과 예탁유효선량의 계산 예를 제시하였다. 2002년 11월 28일 내부피폭이 발생되었고, 12월 5일 WBC로 측정된 방사선작업종사자의 <sup>131</sup>I 체내 보유량은 982 Bq로 나타났대[3]. 이 작업종사자의 피폭경로는 흡입에 의해 일어났으며, 급성섭취 형태였다. 섭취량 산정을 위해 ICRP-54를 적용하였는데, 기본적 입자크기는 1 μm이며, 화학형은 D type으로 하였다. 또한 섭취 7일 후 갑상선 IRF는 1.1×10<sup>-1</sup>이며 DCF는 8.8×10<sup>9</sup> SvBq<sup>-1</sup>이다. 따라서 식(1)과 (2)를 이용하

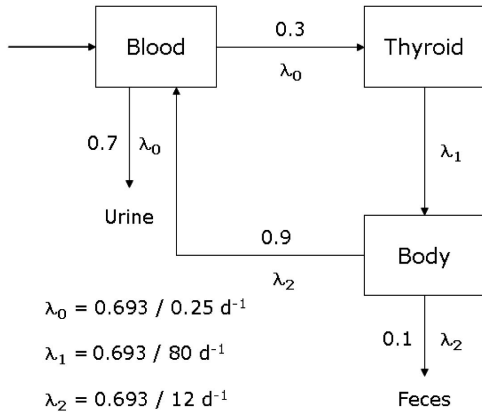


Fig. 1. Biokinetic model for iodine metabolism (ICRP-54).

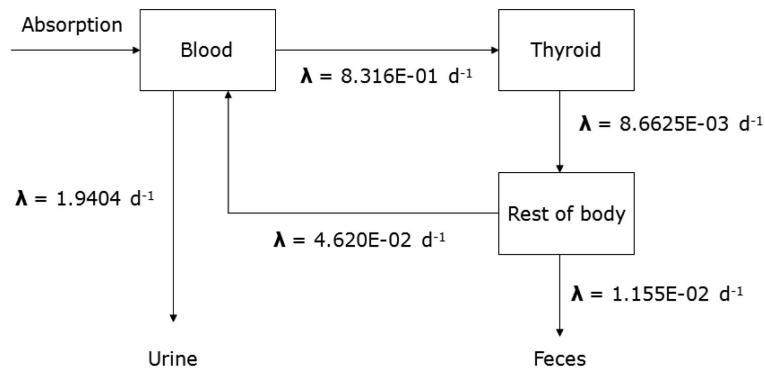


Fig. 2. Biokinetic model for iodine metabolism (ICRP-78).

Table 1. Comparison of Thyroid IRF Values of <sup>131</sup>I for Inhalation (Special Monitoring).

Time after Intake (Day)	IRF(F) (ICRP-54)	IRF(F) (ICRP-78)	Elemental(SR-1) (ICRP-78)
1	1.4 × 10 <sup>-1</sup>	1.2 × 10 <sup>-1</sup>	2.3 × 10 <sup>-1</sup>
2	1.6 × 10 <sup>-1</sup>	1.2 × 10 <sup>-1</sup>	2.2 × 10 <sup>-1</sup>
3	1.5 × 10 <sup>-1</sup>	1.1 × 10 <sup>-1</sup>	2.0 × 10 <sup>-1</sup>
4	1.4 × 10 <sup>-1</sup>	9.9 × 10 <sup>-2</sup>	1.9 × 10 <sup>-1</sup>
5	1.3 × 10 <sup>-1</sup>	9.0 × 10 <sup>-2</sup>	1.7 × 10 <sup>-1</sup>
6	1.2 × 10 <sup>-1</sup>	8.2 × 10 <sup>-2</sup>	1.5 × 10 <sup>-1</sup>
7	1.1 × 10 <sup>-1</sup>	7.4 × 10 <sup>-2</sup>	1.4 × 10 <sup>-1</sup>

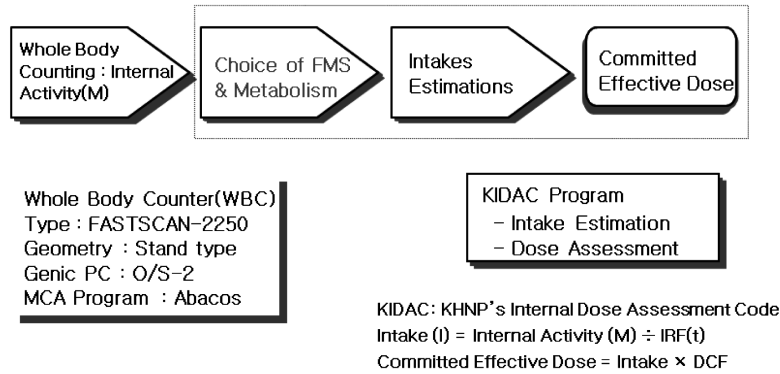


Fig. 3. Systematic diagram for intake estimation and CED calculation.

여 섭취량과 예탁유효선량을 계산하면 각각 8,927 Bq, 0.079 mSv로 계산되었다. 이를 식(3)과 (4)에 나타내었다. 한편 ICRP-78을 적용한 평가를 부가적으로 수행하였다. 이 경우, 입자크기는 5 μm, 화학형은 F type, 섭취 7일 후 감상선 IRF는  $7.4 \times 10^{-2}$ 이며 DCF는  $1.1 \times 10^{-8}$  SvBq<sup>-1</sup>을 적용하였다. 따라서 섭취량은 13,270 Bq, CED는 0.146 mSv로 계산되었다. 이를 식(5)와 (6)에 나타내었다. 한편 화학형으로 ICRP-78에서 언급한 증기(Vapour) 형태를 추가적으로 고려하였다. 이 경우 섭취 7일후 IRF는  $1.4 \times 10^{-1}$ 이며 DCF는  $2.0 \times 10^{-8}$  SvBq<sup>-1</sup>이다. 따라서 섭취량은 7,014 Bq, CED는 0.14 mSv로 계산되었다. 이를 식 (7)과 (8)에 나타내었다.

$$\text{섭취량 (ICRP-54 적용)} = \frac{982 \text{ Bq}}{1.1 \times 10^{-1}} = 8,927 \text{ Bq} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{예탁유효선량 (ICRP-54 적용)} \\ &= 8,927 \text{ Bq} \times \frac{8.8 \times 10^{-9} \text{ Sv}}{\text{Bq}} \times \frac{10^3 \text{ mSv}}{\text{Sv}} \\ &= 0.079 \text{ mSv} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{섭취량 (ICRP-78 적용)} \\ &= \frac{982 \text{ Bq}}{7.4 \times 10^{-2}} = 13,270 \text{ Bq} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{예탁유효선량 (ICRP-78 적용)} \\ &= 13,270 \text{ Bq} \times \frac{1.1 \times 10^{-8} \text{ Sv}}{\text{Bq}} \times \frac{10^3 \text{ mSv}}{\text{Sv}} \\ &= 0.146 \text{ mSv} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{섭취량 (ICRP-78 적용, Vapor type)} \\ &= \frac{982 \text{ Bq}}{1.4 \times 10^{-1}} = 7,014 \text{ Bq} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{예탁유효선량 (ICRP-78 적용, Vapor type)} \\ &= 7,014 \text{ Bq} \times \frac{2.0 \times 10^{-8} \text{ Sv}}{\text{Bq}} \times \frac{10^3 \text{ mSv}}{\text{Sv}} \\ &= 0.14 \text{ mSv} \end{aligned} \quad (8)$$

이렇게 요오드의 화학형으로 F type(5μm)과 증기(Vapour) 형태의 두 가지를 고려하였다. F type 5 μm은 ICRP-78에서 제시한 기본값이며, 증기 형태는 원전 일차계통의 개방 과정에서 발생가능성이 높아 이를 고려하였다. 일반적으로 요오드의 화학형을 단언하기는 어려우나, 원전의 일차계통 개방과정이나 계통수에서 증발하는 <sup>131</sup>I의 경우 증기 형태의 발생이 우세한 것으로 알려져 있다[3,10,12].

한편 2002년 국내 원전에서 발생한 <sup>131</sup>I의 내부피폭 섭취량 산정과 예탁유효선량 평가는 국내 원자력법령에서 ICRP-60의 선량평가 적용시점을 2003년부터 적용하도록 규정하고 있어, 2002년 말 발생한 내부피폭에 대해 ICRP-30 내부피폭 평가모델과 ICRP-54 내부피폭 감시지침에 근거하여 평가하고 보고하였다[18,19]. 그럼에도 불구하고 내부피폭 발생 시점이 ICRP-60 적용을 앞두고 있는 2002년 11월 말로서, 병행하여 ICRP-66 내부피폭 선량평가 모델과 ICRP-78 내부피폭 감시지침을 적용하여 섭취량을 산정하고 예탁유효선량을 평가하였다. 표 2에 섭취량 산정과 예탁유효선량 평가 결과를 요약하였다.

#### 4. 비교 계산 및 검증

섭취량 산정과 CED 평가는 2002년 당시 확보 가능한 여러 종류의 내부피폭 선량평가 전산코드를 이용하여 비교하였다. 먼저 국내 원전에서 전신계측기의 도입과 함께 구매하여 사용 중인 CINDY 코드를 기본적으로 이용하였다[20]. 이 코드는 ICRP-30과 ICRP-54에 기술적 근거를 두고 있는 미국에서 개발된 코드이다. 이외 비교평가를 위해 ICRP-66과 ICRP-78에 근거를 두고 국내에서 개발한 KIDAC 코드, 영국 NRPB(National Radiological Protection Board)에서 개발한 LUDEP 코드를 이용하였으며, 참고로 일본 방사선종합연구소에서 개발한 MONDAL 코드 등을 이용하였다[13,14,20-22]. 이러한 내부피폭 평가결과의 검증을 위해 ICRP 내부피폭 선량평가 지침을 적용한 수계산 과정에 근거하여 섭취량을 산정하고 CED를 계산하였다[13,9]. 이들 대표적인 종사자 10인의 섭취량 산정과 CED 평가 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3에서 CINDY 코드와 LUDEP 및 KIDAC 코드의 CED가 약 2배 정도의 차이를 보였다. 이러한 이유는 섭취 후 IRF가 ICRP-54에 비해 ICRP-78에서 더 급격히 감소한데 있다. 이에 따라 섭취량이 더 높게 평가되고, CED가 여기에 비례하여 나타나게 된다. 이외에도 DCF가 ICRP-54에 비해 ICRP-78에서 25% 증가된데 따라

**Table 2.** Summary of Intake Estimation and Committed Effective Dose Calculation for 7 Days after Intake of <sup>131</sup>I.

Classification	Specifications	Calculations
Intake route	Inhalation, Ingestion, Skin and Wound	Inhalation
Chemical Form	ICRP-78: F, M, S ICRP-54: D, W, Y	F, D (Report)
Activity Median Aerodynamic Diameter (AMAD: μm)	ICRP-78: 5 μm ICRP-54: 1 μm	1 μm
Intake Mode	Single(Acute), Chronic	Single(Acute)
Time after Intake(Days)	(Intake - WBC) time	7 Days
Intake Retention Fractions (IRF)	ICRP-78(F type): $7.4 \times 10^{-2}$ ICRP-54(D type): $1.1 \times 10^{-1}$	$1.1 \times 10^{-1}$
Intake(Bq)	ICRP-78: 13,270 Bq ICRP-54: 8,927 Bq	8,927 Bq
Dose Conversion Factor (Sv/Bq)	ICRP-78: $8.8 \times 10^{-9}$ Sv/Bq ICRP-54: $1.1 \times 10^{-8}$ Sv/Bq	$1.1 \times 10^{-8}$ Sv/Bq
Committed Effective Dose (mSv)	ICRP-78: 0.146 mSv ICRP-54: 0.079 mSv	0.079 mSv

**Table 3.** Intake Estimation and CED Calculation by Inhalation of <sup>131</sup>I.

No.	Whole Body Counting & Intake Estimations						Intake estimations & CED Calculations					
	Initial Count (Bq)	Time after Intake (Days)	Intake Estimates (LUDEP)	Re-count (Bq)	Time after Intake (Days)	Intake Estimates (LUDEP)	CED (Initial Count)			CED (Recount)		
							CINDY	LUDEP	KIDAC	CINDY	LUDEP	KIDAC
1	7,092	1.47	$5.25 \times 10^4$	2,149	12.62	$4.47 \times 10^4$	0.26	0.55	0.64	0.29	0.47	0.52
2	10,420	0.50	$9.29 \times 10^4$	2,670	10.39	$4.51 \times 10^4$	0.22	0.97	1.17	0.28	0.47	0.49
3	2,667	0.22	$4.00 \times 10^4$	2,515	12.22	$5.04 \times 10^4$	0.04	0.42	0.56	0.28	0.53	0.55
4	12,330	0.39	$1.25 \times 10^5$	4,563	12.46	$9.36 \times 10^4$	0.24	1.31	1.65	0.62	0.98	1.09
5	8,244	1.21	$6.06 \times 10^4$	2,458	12.27	$4.95 \times 10^4$	0.28	0.63	0.74	0.31	0.52	0.54
6	4,819	0.23	$6.98 \times 10^4$	2,177	11.43	$4.05 \times 10^4$	0.08	0.73	0.87	0.25	0.42	0.44
7	5,775	1.2	$4.25 \times 10^4$	2,408	12.30	$4.87 \times 10^4$	0.24	0.45	1.04	0.30	0.51	0.53
8	13,170	0.57	$1.11 \times 10^5$	2,490	11.86	$4.83 \times 10^4$	0.30	1.16	1.38	0.31	0.51	0.55
9	5,556	0.31	$6.45 \times 10^4$	5,786	12.60	$1.20 \times 10^5$	0.10	0.68	0.81	0.74	1.26	1.27
10	1,548	0.41	$1.52 \times 10^4$	984	9.38	$1.51 \times 10^4$	0.03	0.16	0.19	0.11	0.16	0.17

CED가 비례하여 증가된 것으로 나타났다. 이런 비교평가과정을 통해 이들 내부피폭선량평가 전산코드를 이용한 섭취량 및 CED 평가, 수 계산에 의한 섭취량 및 CED 평가, 공기중농도 산정방법에 의한 섭취량 평가 등이 일정한 범위 내에서 일치함을 확인하였다(10,22,23). 한편 이러한 내용은 올진 3호기 내부피폭에 따른 후속조치로 원전사업자가 작성하여 규제기관에 제출된 내부피폭 방사선량평가에 관한 기술기반 보고서에 반영되었다(24).

2002년 당시 섭취량 산정과 예탁유효선량의 평가과정에서 어려웠던 점은 전신 계측과정에서 WBC 전신측정 모드를 적용하였는데, 전신측정모드에 대한 IRF가 ICRP 보고서에는 제시되어 있지 않은데 있었다. 이러한 점은 당시 적용되고 있는 내부피폭 선량평가 전산코드에서 확인되었다. LUDEP, MONDAL 및

KIDAC 코드 등이 갑상선 IRF를 이용하여 섭취량을 산정하고 CED를 평가하는 구조로 설계되어 있었다. 이에 따라 방사선작업 종료와 함께 즉시 전신계측을 실시하는 경우, 즉 방사성물질 섭취 후 몇 시간 안에 WBC의 전신 측정모드를 이용한 방사능 측정 값과 갑상선 IRF를 이용하여 계산한 섭취량과 CED가 보수적으로 평가되었다. 따라서 이러한 문제점을 파악하고 ICRP 보고서에 제시되어 있지 않은 <sup>131</sup>I 섭취에 따른 전신 IRF를 해외 전문가와 공동으로 계산하였다(10,23,25). 여기에서는 <sup>131</sup>I의 화학형 F에 대해 AMAD는 1 μm 과 5 μm의 IRF와 증기(Vapour) 형태에 대한 IRF를 계산하였다. 특히 국내 원전의 전신계측 절차와 연계한 <sup>131</sup>I의 섭취에서 전신계측까지의 짧은 시간을 고려하여 섭취 후 24시간 이전 신체 주요조직의 IRF 산출에 초점을 두었다. 이러한 IRF

**Table 4.** The Whole Body IRF : <sup>131</sup>I Inhalation Type F and 1 μm.

Days	Hours	Fraction (Bq per Bq intake)							
		ET1	ET2	Thyroid	Stomach	Small Intestine	Upper Large Intestine	Lower Large Intestine	Whole Body
0.1	2.4	1.48 × 10 <sup>-1</sup>	2.13 × 10 <sup>-8</sup>	2.05 × 10 <sup>-2</sup>	1.08 × 10 <sup>-2</sup>	4.51 × 10 <sup>-4</sup>	8.37 × 10 <sup>-4</sup>	9.58 × 10 <sup>-5</sup>	1.81 × 10 <sup>-1</sup>
0.2	4.8	1.33 × 10 <sup>-1</sup>	6.46 × 10 <sup>-13</sup>	3.98 × 10 <sup>-2</sup>	9.74 × 10 <sup>-4</sup>	4.06 × 10 <sup>-5</sup>	7.83 × 10 <sup>-4</sup>	2.27 × 10 <sup>-4</sup>	1.75 × 10 <sup>-1</sup>
0.3	7.2	1.19 × 10 <sup>-1</sup>	2.30 × 10 <sup>-17</sup>	5.43 × 10 <sup>-2</sup>	8.76 × 10 <sup>-5</sup>	3.65 × 10 <sup>-6</sup>	6.57 × 10 <sup>-4</sup>	3.26 × 10 <sup>-4</sup>	1.75 × 10 <sup>-1</sup>
0.4	9.6	1.07 × 10 <sup>-1</sup>	8.90 × 10 <sup>-22</sup>	6.50 × 10 <sup>-2</sup>	7.88 × 10 <sup>-6</sup>	3.28 × 10 <sup>-7</sup>	5.45 × 10 <sup>-4</sup>	3.95 × 10 <sup>-4</sup>	1.73 × 10 <sup>-1</sup>
0.5	12.0	9.60 × 10 <sup>-2</sup>	3.60 × 10 <sup>-26</sup>	7.28 × 10 <sup>-2</sup>	7.08 × 10 <sup>-7</sup>	2.95 × 10 <sup>-8</sup>	4.51 × 10 <sup>-4</sup>	4.39 × 10 <sup>-4</sup>	1.70 × 10 <sup>-1</sup>
0.6	14.4	8.61 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	7.84 × 10 <sup>-2</sup>	6.37 × 10 <sup>-8</sup>	2.65 × 10 <sup>-9</sup>	3.74 × 10 <sup>-4</sup>	4.64 × 10 <sup>-4</sup>	1.65 × 10 <sup>-1</sup>
0.7	16.8	7.72 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	8.24 × 10 <sup>-2</sup>	5.73 × 10 <sup>-9</sup>	2.39 × 10 <sup>-10</sup>	3.10 × 10 <sup>-4</sup>	4.74 × 10 <sup>-4</sup>	1.60 × 10 <sup>-1</sup>
0.8	19.2	6.93 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	8.52 × 10 <sup>-2</sup>	5.15 × 10 <sup>-10</sup>	2.15 × 10 <sup>-11</sup>	2.57 × 10 <sup>-4</sup>	4.73 × 10 <sup>-4</sup>	1.55 × 10 <sup>-1</sup>
0.9	21.6	6.22 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	8.71 × 10 <sup>-2</sup>	4.64 × 10 <sup>-11</sup>	1.93 × 10 <sup>-12</sup>	2.13 × 10 <sup>-4</sup>	4.65 × 10 <sup>-4</sup>	1.50 × 10 <sup>-1</sup>
1	24.0	5.58 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	8.83 × 10 <sup>-2</sup>	4.17 × 10 <sup>-12</sup>	1.74 × 10 <sup>-13</sup>	1.77 × 10 <sup>-4</sup>	4.50 × 10 <sup>-4</sup>	1.45 × 10 <sup>-1</sup>
2	48.0	1.88 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	8.57 × 10 <sup>-2</sup>	1.44 × 10 <sup>-22</sup>	6.02 × 10 <sup>-24</sup>	3.18 × 10 <sup>-5</sup>	2.29 × 10 <sup>-4</sup>	1.05 × 10 <sup>-1</sup>
3	72.0	6.35 × 10 <sup>-3</sup>	0.00	7.83 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.26 × 10 <sup>-5</sup>	9.64 × 10 <sup>-5</sup>	8.47 × 10 <sup>-2</sup>
4	96.0	2.14 × 10 <sup>-3</sup>	0.00	7.12 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.19 × 10 <sup>-5</sup>	4.54 × 10 <sup>-5</sup>	7.34 × 10 <sup>-2</sup>
5	120.0	7.23 × 10 <sup>-4</sup>	0.00	6.48 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.34 × 10 <sup>-5</sup>	2.93 × 10 <sup>-5</sup>	6.56 × 10 <sup>-2</sup>
6	144.0	2.44 × 10 <sup>-4</sup>	0.00	5.90 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.47 × 10 <sup>-5</sup>	2.55 × 10 <sup>-5</sup>	5.93 × 10 <sup>-2</sup>
7	168.0	8.24 × 10 <sup>-5</sup>	0.00	5.37 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.57 × 10 <sup>-5</sup>	2.54 × 10 <sup>-5</sup>	5.38 × 10 <sup>-2</sup>
8	192.0	2.78 × 10 <sup>-5</sup>	0.00	4.88 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.62 × 10 <sup>-5</sup>	2.62 × 10 <sup>-5</sup>	4.89 × 10 <sup>-2</sup>
9	216.0	9.38 × 10 <sup>-6</sup>	0.00	4.45 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.65 × 10 <sup>-5</sup>	2.68 × 10 <sup>-5</sup>	4.45 × 10 <sup>-2</sup>
10	240.0	3.17 × 10 <sup>-6</sup>	0.00	4.05 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.65 × 10 <sup>-5</sup>	2.72 × 10 <sup>-5</sup>	4.05 × 10 <sup>-2</sup>

**Table 5.** The Whole Body IRF : <sup>131</sup>I Inhalation Type F and 5 μm.

Days	Hours	Fraction (Bq per Bq intake)							
		ET1	ET2	Thyroid	Stomach	Small Intestine	Upper Large Intestine	Lower Large Intestine	Whole Body
0.1	2.4	3.04 × 10 <sup>-1</sup>	3.47 × 10 <sup>-8</sup>	2.74 × 10 <sup>-2</sup>	2.05 × 10 <sup>-2</sup>	8.52 × 10 <sup>-4</sup>	1.58 × 10 <sup>-3</sup>	1.81 × 10 <sup>-4</sup>	3.54 × 10 <sup>-1</sup>
0.2	4.8	2.72 × 10 <sup>-1</sup>	9.46 × 10 <sup>-13</sup>	5.42 × 10 <sup>-2</sup>	1.84 × 10 <sup>-3</sup>	7.67 × 10 <sup>-5</sup>	1.48 × 10 <sup>-3</sup>	4.29 × 10 <sup>-4</sup>	3.30 × 10 <sup>-1</sup>
0.3	7.2	2.44 × 10 <sup>-1</sup>	3.20 × 10 <sup>-17</sup>	7.45 × 10 <sup>-2</sup>	1.65 × 10 <sup>-4</sup>	6.89 × 10 <sup>-6</sup>	1.24 × 10 <sup>-3</sup>	6.17 × 10 <sup>-4</sup>	3.21 × 10 <sup>-1</sup>
0.4	9.6	2.19 × 10 <sup>-1</sup>	1.23 × 10 <sup>-21</sup>	8.95 × 10 <sup>-2</sup>	1.49 × 10 <sup>-5</sup>	6.20 × 10 <sup>-7</sup>	1.03 × 10 <sup>-3</sup>	7.46 × 10 <sup>-4</sup>	3.11 × 10 <sup>-1</sup>
0.5	12.0	1.97 × 10 <sup>-1</sup>	5.05 × 10 <sup>-26</sup>	1.00 × 10 <sup>-1</sup>	1.34 × 10 <sup>-6</sup>	5.58 × 10 <sup>-8</sup>	8.53 × 10 <sup>-4</sup>	8.29 × 10 <sup>-4</sup>	2.99 × 10 <sup>-1</sup>
0.6	14.4	1.76 × 10 <sup>-1</sup>	2.14 × 10 <sup>-30</sup>	1.08 × 10 <sup>-1</sup>	1.20 × 10 <sup>-7</sup>	5.02 × 10 <sup>-9</sup>	7.06 × 10 <sup>-4</sup>	8.76 × 10 <sup>-4</sup>	2.86 × 10 <sup>-1</sup>
0.7	16.8	1.58 × 10 <sup>-1</sup>	0.00	1.14 × 10 <sup>-1</sup>	1.08 × 10 <sup>-8</sup>	4.51 × 10 <sup>-10</sup>	5.85 × 10 <sup>-4</sup>	8.95 × 10 <sup>-4</sup>	2.74 × 10 <sup>-1</sup>
0.8	19.2	1.42 × 10 <sup>-1</sup>	0.00	1.18 × 10 <sup>-1</sup>	9.74 × 10 <sup>-10</sup>	4.06 × 10 <sup>-11</sup>	4.85 × 10 <sup>-4</sup>	8.94 × 10 <sup>-4</sup>	2.61 × 10 <sup>-1</sup>
0.9	21.6	1.27 × 10 <sup>-1</sup>	0.00	1.21 × 10 <sup>-1</sup>	8.76 × 10 <sup>-11</sup>	3.65 × 10 <sup>-12</sup>	4.02 × 10 <sup>-4</sup>	8.77 × 10 <sup>-4</sup>	2.49 × 10 <sup>-1</sup>
1	24.0	1.14 × 10 <sup>-1</sup>	0.00	1.22 × 10 <sup>-1</sup>	7.88 × 10 <sup>-12</sup>	3.28 × 10 <sup>-13</sup>	3.34 × 10 <sup>-4</sup>	8.50 × 10 <sup>-4</sup>	2.38 × 10 <sup>-1</sup>
2	48.0	3.86 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	1.19 × 10 <sup>-1</sup>	2.73 × 10 <sup>-22</sup>	1.14 × 10 <sup>-23</sup>	5.74 × 10 <sup>-5</sup>	4.31 × 10 <sup>-4</sup>	1.58 × 10 <sup>-1</sup>
3	72.0	1.30 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	1.08 × 10 <sup>-1</sup>	0.00	0.00	1.95 × 10 <sup>-5</sup>	1.77 × 10 <sup>-4</sup>	1.22 × 10 <sup>-1</sup>
4	96.0	4.39 × 10 <sup>-3</sup>	0.00	9.87 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.68 × 10 <sup>-5</sup>	7.86 × 10 <sup>-5</sup>	1.03 × 10 <sup>-1</sup>
5	120.0	1.48 × 10 <sup>-3</sup>	0.00	8.98 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	1.86 × 10 <sup>-5</sup>	4.60 × 10 <sup>-5</sup>	9.14 × 10 <sup>-2</sup>
6	144.0	5.00 × 10 <sup>-4</sup>	0.00	8.17 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	2.04 × 10 <sup>-5</sup>	3.72 × 10 <sup>-5</sup>	8.23 × 10 <sup>-2</sup>
7	168.0	1.69 × 10 <sup>-4</sup>	0.00	7.44 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	2.17 × 10 <sup>-5</sup>	3.58 × 10 <sup>-5</sup>	7.46 × 10 <sup>-2</sup>
8	192.0	5.70 × 10 <sup>-5</sup>	0.00	6.77 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	2.25 × 10 <sup>-5</sup>	3.65 × 10 <sup>-5</sup>	6.78 × 10 <sup>-2</sup>
9	216.0	1.92 × 10 <sup>-5</sup>	0.00	6.16 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	2.28 × 10 <sup>-5</sup>	3.73 × 10 <sup>-5</sup>	6.17 × 10 <sup>-2</sup>
10	240.0	6.49 × 10 <sup>-6</sup>	0.00	5.61 × 10 <sup>-2</sup>	0.00	0.00	2.28 × 10 <sup>-5</sup>	3.77 × 10 <sup>-5</sup>	5.62 × 10 <sup>-2</sup>

**Table 6.** The Whole Body IRF : <sup>131</sup>I Inhalation Vapor and Elemental.

Days	Hours	Fraction (Bq/Bq intake)							
		ET1	ET2	Thyroid	Stomach	Small Intestine	Upper Large Intestine	Lower Large Intestine	Whole Body
0.1	2.4	$8.97 \times 10^{-2}$	$4.67 \times 10^{-7}$	$5.46 \times 10^{-2}$	$2.19 \times 10^{-2}$	$9.12 \times 10^{-4}$	$1.67 \times 10^{-3}$	$1.90 \times 10^{-4}$	$1.69 \times 10^{-1}$
0.2	4.8	$8.05 \times 10^{-2}$	$8.07 \times 10^{-12}$	$1.04 \times 10^{-1}$	$1.97 \times 10^{-3}$	$8.21 \times 10^{-5}$	$1.56 \times 10^{-3}$	$4.52 \times 10^{-4}$	$1.89 \times 10^{-1}$
0.3	7.2	$7.22 \times 10^{-2}$	$1.49 \times 10^{-16}$	$1.42 \times 10^{-1}$	$1.77 \times 10^{-4}$	$7.38 \times 10^{-6}$	$1.31 \times 10^{-3}$	$6.50 \times 10^{-4}$	$2.16 \times 10^{-1}$
0.4	9.6	$6.48 \times 10^{-2}$	$3.18 \times 10^{-21}$	$1.69 \times 10^{-1}$	$1.59 \times 10^{-5}$	$6.64 \times 10^{-7}$	$1.09 \times 10^{-3}$	$7.87 \times 10^{-4}$	$2.36 \times 10^{-1}$
0.5	12.0	$5.81 \times 10^{-2}$	$8.47 \times 10^{-26}$	$1.90 \times 10^{-1}$	$1.43 \times 10^{-6}$	$5.97 \times 10^{-8}$	$9.01 \times 10^{-4}$	$8.75 \times 10^{-4}$	$2.49 \times 10^{-1}$
0.6	14.4	$5.21 \times 10^{-2}$	$2.84 \times 10^{-30}$	$2.04 \times 10^{-1}$	$1.29 \times 10^{-7}$	$5.37 \times 10^{-9}$	$7.47 \times 10^{-4}$	$9.25 \times 10^{-4}$	$2.58 \times 10^{-1}$
0.7	16.8	$4.68 \times 10^{-2}$	$1.12 \times 10^{-34}$	$2.14 \times 10^{-1}$	$1.16 \times 10^{-8}$	$4.83 \times 10^{-10}$	$6.19 \times 10^{-4}$	$9.45 \times 10^{-4}$	$2.63 \times 10^{-1}$
0.8	19.2	$4.19 \times 10^{-2}$	$4.76 \times 10^{-39}$	$2.22 \times 10^{-1}$	$1.04 \times 10^{-9}$	$4.34 \times 10^{-11}$	$5.14 \times 10^{-4}$	$9.44 \times 10^{-4}$	$2.65 \times 10^{-1}$
0.9	21.6	$3.76 \times 10^{-2}$	$2.09 \times 10^{-43}$	$2.26 \times 10^{-1}$	$9.38 \times 10^{-11}$	$3.91 \times 10^{-12}$	$4.27 \times 10^{-4}$	$9.27 \times 10^{-4}$	$2.65 \times 10^{-1}$
1	24.0	$3.37 \times 10^{-2}$	$9.36 \times 10^{-48}$	$2.29 \times 10^{-1}$	$8.43 \times 10^{-12}$	$3.51 \times 10^{-13}$	$3.55 \times 10^{-4}$	$8.98 \times 10^{-4}$	$2.64 \times 10^{-1}$
2	48.0	$1.14 \times 10^{-2}$	$8.41 \times 10^{-51}$	$2.23 \times 10^{-1}$	$2.92 \times 10^{-22}$	$1.22 \times 10^{-23}$	$6.65 \times 10^{-5}$	$4.60 \times 10^{-4}$	$2.35 \times 10^{-1}$
3	72.0	$3.84 \times 10^{-3}$	$7.70 \times 10^{-51}$	$2.03 \times 10^{-1}$	$1.01 \times 10^{-32}$	$4.21 \times 10^{-34}$	$3.03 \times 10^{-5}$	$1.98 \times 10^{-4}$	$2.07 \times 10^{-1}$
4	96.0	$1.30 \times 10^{-3}$	$7.06 \times 10^{-51}$	$1.85 \times 10^{-1}$	$3.50 \times 10^{-43}$	$1.46 \times 10^{-44}$	$3.05 \times 10^{-5}$	$9.94 \times 10^{-5}$	$1.86 \times 10^{-1}$
5	120.0	$4.38 \times 10^{-4}$	$6.47 \times 10^{-51}$	$1.68 \times 10^{-1}$	$3.15 \times 10^{-53}$	$1.28 \times 10^{-54}$	$3.47 \times 10^{-5}$	$6.97 \times 10^{-5}$	$1.69 \times 10^{-1}$
6	144.0	$1.48 \times 10^{-4}$	$5.93 \times 10^{-51}$	$1.53 \times 10^{-1}$	$1.72 \times 10^{-53}$	$6.89 \times 10^{-55}$	$3.83 \times 10^{-5}$	$6.41 \times 10^{-5}$	$1.53 \times 10^{-1}$
7	168.0	$4.99 \times 10^{-5}$	$5.43 \times 10^{-51}$	$1.39 \times 10^{-1}$	$1.54 \times 10^{-53}$	$6.15 \times 10^{-55}$	$4.07 \times 10^{-5}$	$6.53 \times 10^{-5}$	$1.40 \times 10^{-1}$
8	192.0	$1.68 \times 10^{-5}$	$4.98 \times 10^{-51}$	$1.27 \times 10^{-1}$	$1.37 \times 10^{-53}$	$5.49 \times 10^{-55}$	$4.22 \times 10^{-5}$	$6.78 \times 10^{-5}$	$1.27 \times 10^{-1}$
9	216.0	$5.68 \times 10^{-6}$	$4.56 \times 10^{-51}$	$1.15 \times 10^{-1}$	$1.23 \times 10^{-53}$	$4.91 \times 10^{-55}$	$4.28 \times 10^{-5}$	$6.96 \times 10^{-5}$	$1.16 \times 10^{-1}$
10	240.0	$1.92 \times 10^{-6}$	$4.18 \times 10^{-51}$	$1.05 \times 10^{-1}$	$1.10 \times 10^{-53}$	$4.38 \times 10^{-55}$	$4.28 \times 10^{-5}$	$7.05 \times 10^{-5}$	$1.05 \times 10^{-1}$

계산과정을 통해 원전에서 내부방사능 피폭의 전신계측과정에서 이용되는 전신 측정모드와 전신 IRF를 일치시킴으로써 내부 피폭 선량평가에서 불확실성을 감소시켜 신뢰도를 향상하였다. <sup>131</sup>I 체내 흡입에 따른 Type F의 1 $\mu$ m, 5 $\mu$ m, Vapour(Elemental)에 대한 전신 IRF 계산 결과를 표 4~ 표 6에 나타내었다.

국내 원전에서 <sup>131</sup>I의 내부흡입에 따른 전신계측은 WBC의 전신측정모드를 이용하였고, 섭취량 산정은 갑상선 IRF를 이용하였다. 이러한 점은 섭취 후 전신계측까지 시간이 대략 2일 이내로 짧을 경우 WBC 측정모드와 IRF가 일치하지 않아 예탁유효선량 평가에서 오차를 유발하는 원인이 되었다. 그러나 섭취 후 전신계측까지 시간이 수일 경과한 경우 갑상선 IRF와 전신 IRF가 거의 동일해지기 때문에, 비록 갑상선 IRF를 이용하더라도 섭취량 산정에서 차이가 크지 않음을 확인하였다. 따라서 국내 원전의 <sup>131</sup>I 섭취에 따른 수일 경과 후 전신계측을 재측정을 수행한 과정과 이에 따른 선량평가 결과가 타당하였다고 판단된다. 이런 내용은 표 1, 표 5, 표 6의 갑상선 IRF와 전신 IRF의 비교에서 확인할 수 있다.

<sup>131</sup>I 내부피폭 경험을 통해 내부피폭 방사능 측정시점과 WBC 측정모드에 따른 전신계측의 불확실성, 종사자의 내부 또는 외부오염에 따른 전신계측 값의 변동, 인체대사모델에 따른 섭취량 산정과 선량평가 오차의 발생 등으로 내부피폭 감시의 과정에서 많은 어려움을 겪었다. 특히 일부 종사자는 연속적인 전신계측 결과 <sup>131</sup>I의 제거가 ICRP 보고서에서 제시한 IRF 이상으로 빠르게 이루어지는 특성을 보였다. 이러한 점은 동양

인이 서양인에 비해 상대적으로 많은 양의 해산물을 섭취하는 식생활습관이라는 의견도 제기되었다[11]. 이에 따라 한국인의 요오드 인체대사모델의 개발의 필요성이 제기되기도 하였다.

## 5. 결론

2002년 발생한 국내 원전의 <sup>131</sup>I 내부피폭 발생초기에는 방사선작업종사자의 <sup>131</sup>I의 체내 오염에 따른 인체대사모델과 WBC 측정모드를 적절히 고려하지 못해 전신계측 과정에서 일부 혼선이 있었다. 그러나 국제기준의 인체대사모델 등을 적용하여 <sup>131</sup>I의 섭취량 산정하였고, 예탁유효선량을 평가하였으며, 이러한 평가결과를 다각도로 비교하고 검증하였다. 특히 이 과정에서 ICRP 보고서에서 제시하고 있는 갑상선 IRF를 전신 IRF로 잘못 적용하여 섭취량과 예탁유효선량이 과도하게 보수적으로 평가됨을 확인하고, 전신 IRF를 새로이 계산하였고, 이를 내부피폭 선량평가 실무에 반영하였다.

이러한 평가경험을 바탕으로 원전에서 내부방사능 측정과정의 전신 측정모드와 인체대사모델의 IRF를 일치시킴으로서, 발생된 문제점을 해결하고 내부피폭 방사능 측정과 선량평가를 개선하는 계기를 마련하였다. 또한 원전종사자의 전신계측과 내부피폭 선량평가 기술수준을 한 단계 업그레이드하는 동기가 되었다. 더 나아가 국내 원전에서 ICRP 60의 방사선보호 지침을 실질적으로 반영하는 실질적인 계기를 마련하였다고 판단된다.

추가적으로 국내원전에서 <sup>131</sup>I 내부흡입에 따른 섭취량 산정과 내부피폭 방사선량 평가 경험을 바탕으로 원전 내부피폭 방사선량에 대한 기여가 높은 방사성핵종에 대한 전신계측 방법의 업그레이드가 필요하다고 판단된다. 또한 연속적인 전신계측에 근거한 섭취량 산정과 예탁유효선량 평가과정을 개선할 필요가 있다고 판단된다. 특히 보다 신뢰성있는 내부피폭 선량평가를 위해 원전에서 주로 발생하는 방사성핵종에 대한 화학형의 규명과 입자크기에 대한 기술개발 등이 필요하다고 판단된다.

### 감사의 글

본 논문은 한국수력원자력(주)의 기술지원 사업에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. International Commission on Radiological Protection. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers Replacement of ICRP Publication 54, ICRP Publication 78. Pergamon Press. 1997.
2. United States Nuclear Regulatory Commission. Regulatory Guide 8.20; Application of Bioassay for I-125 and I-131, US NRC. 1979.
3. 김희근. 요오드-131 흡입에 따른 내부피폭 선량평가 방법의 고찰, 2003 KINS 방사선안전평가 심포지엄, 교육문화회관. 2003.
4. 한국수력원자력(주) 원자력교육원. 제21기 방사선(안전, 방재) 관리자. 2005.
5. 한국원자력안전기술원. 원자력안전전문위 원회 원자로계통분과 보고자료; 올진 3호기 냉각재 고방사능 경보관련 현황보고. 2002.12.4. <http://www.kins.re.kr>.
6. 한국수력원자력(주). 원자력발전소 표준기술행정절차서, 내부피폭 방사선량 측정 및 평가, 표준기행 방사선-06. 2003.
7. Canberra. Operation Manual for Model 2250 FASTSCAN: High-throughput Whole Body Counter. 2002.
8. Canberra. Abacos Plus Body Burden System Operation, SU-425-4. 2003.
9. International Commission on Radiological Protection. Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers:

Design and Interpretation, ICRP Publication 54. 1987.

10. 한진전력연구원. 일본 방사선총합 연구소(NIRS) 소속 방사선량 평가 전문가 초청결과 보고서, TM.02NE07.P2003.062, 2003.
11. Ishigure N. Graphic Database on Predicted Monitoring Data for Intakes of Radionuclide. NIRS Website. <http://www.nirs.go.jp/>. 2003.
12. United States Nuclear Regulatory Commission. NUREG-1465; Accident Source Terms for Light Water Nuclear Power Plants, US NRC, 1995.
13. James T, Birchall A. User Manual for IMBA Experts USDOE-Edition, ACJ Associates, Ver. 2.0.22, 2002.
14. National Radiological Protection Board. Lung Dosimetry Evaluation Program (LUDEP). 2000.
15. International Atomic Energy Agency. Assessment of Occupational Exposure Due to Intake of Radionuclides, Safety Guide No. RS-G-1.2. 1999.
16. International Atomic Energy Agency. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA Safety Series No. 115, Vienna, 1996.
17. International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Pergamon Press, 1991.
18. 교육과학기술부. 과학기술부 고시 제2008-31호, 방사선방호 등에 관한 기준. 2003.
19. 교육과학기술부. 과학기술부 고시 제2008-51호, 내부피폭 방사선량의 측정 및 산출에 관한 규정. 2002.
20. Pacific Northwest National Laboratory. Code for Internal Dosimetry (CINDY version 1.3). 1992.
21. National Institute of Radiological Science. MONDAL Computer Code for Internal Dosimetry. 2003.
22. 한진전력연구원. 내부피폭 선량평가 방법 및 계산코드 검증 결과 보고서, TM.02NE07.P2003.153, 2003.
23. 한진전력연구원. 내부피폭 선량평가 코드(KIDAC) 섭취량 구분 및 화학형 개정보고서, TM.02NE07.P2003.168, 2003.
24. 한국수력원자력(주). 내부피폭 방사선량평가에 관한 기술기반보고서(경수로 원전). 2003.
25. 한진전력연구원. 내부피폭 선량평가 및 방사선피폭저감 기술개발 관련 세미나 결과보고서, TC.02.NE07.W2003.158, 2003.

## The Experience on Intake Estimation and Internal Dose Assessment by Inhalation of Iodine-131 at Korean Nuclear Power Plants

Hee Geun Kim and Tae Young Kong  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - During the maintenance period at Korean nuclear power plants, internal exposure of radiation workers occurred by the inhalation of <sup>131</sup>I released to the reactor building when primary system opened. The internal radioactivity of radiation workers contaminated by <sup>131</sup>I was measured using a whole body counter. Intake estimation and the calculation of committed effective dose were also conducted conforming to the guidance of internal dose assessments from publications of International Commission on Radiological Protection. Because the uptake and excretion of <sup>131</sup>I in a body occur quickly and <sup>131</sup>I is accumulated in the thyroid gland, the estimated intakes showed differences depending on the counting time after intake. In addition, since ICRP publications do not provide the intake retention fraction (IRF) for whole body of <sup>131</sup>I, the IRF for thyroid was substitutionally used to calculate the intake and subsequently this caused more error in intake estimation. Thus, intake estimation and the calculation of committed effective dose were conducted by manual calculation. In this study, the IRF for whole body was also calculated newly and was verified. During this process, the estimated intake and committed effective dose were reviewed and compared using several computer codes for internal dosimetry.

**Keywords** : <sup>131</sup>I, Internal Exposure, Whole Body Counter, Intake, Committed Effective Dose, Intake Retention Fraction