

## Derivation of Intervention levels for Protection of the Public in a Radiological Emergency in Korea

Jong Tai Lee, Goan Yup Lee, Byung Oui Khang,  
Ki-Hoon Oh\*, Chang-Kyu Kim\*

Korea Atomic Energy Research Institute, \*Korea Institute of Nuclear Safety

### 주민보호조치를 위한 국내 방사선비상 개입준위 산출

이종태 · 이관엽 · 강병위 · 오기훈\* · 김창규\*

한국원자력연구소, 한국원자력안전기술원

(2001년 2월 5일 접수, 2001년 12월10일 채택)

**Abstract** - Intervention levels for protection of the public in a radiological emergency are theoretically derived by the cost-benefit approach with the concept of justification and optimization. Intervention levels on the sheltering, evacuation, temporary relocation and permanent resettlement for protection of the public are estimated with the cost to protective countermeasures and the value from dose averted which are the site specific parameters. As a result, it is confirmed that IAEA guidelines for intervention levels are applicable to the radiological emergency in Korea. Optimum ranges of 5 - 10 mSv/2days for sheltering, 25 - 130 mSv/week for evacuation, 15 - 90 mSv/month for temporary relocation and 600 - 3,500 mSv/lifetime for permanent resettlement for intervention levels are also provided. The result can be applied as useful data to update intervention levels under the theoretical background in Korea.

**Key words** : Radiological emergency, Intervention level, Sheltering, Evacuation, Temporary relocation, Permanent resettlement

**요약** - 정당성 및 최적화 개념이 도입된 비용-이득 접근법에 근거하여 우리나라의 방사선비상시 주민보호조치를 위한 개입준위 설정방법을 이론적으로 유도하였다. 부지특성 자료인 각종 보호조치에 소요되는 비용과 선량회피로 얻어지는 금전적 값을 이용하여 옥내대피, 소개, 일시이주 및 영구정착에 대한 방사선 개입준위를 계산하였다. 그 결과 IAEA가 권고한 개입준위가 우리나라에서도 적용 가능함을 확인하였다. 아울러 의사결정에 참고할 수 있도록 최적화된 개입준위의 범위를 옥내대피 5 - 10 mSv/2일, 소개 25 - 130 mSv/주, 일시이주 15 - 90 mSv/월 및 영구정착 600 - 3,500 mSv/평생 과 같이 제안하였다. 이 결과는 우리나라의 방사선 개입준위 기준에 대한 근거를 마련하고 기준치를 개선할 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

중심단어 : 방사선 비상, 개입준위, 옥내대피, 소개, 일시이주, 영구정착

### 서 론

미국의 TMI 원전사고 및 구 소련의 체르노빌 원전사고와 관련하여 주민보호조치를 위한 체계적이고 실질적인 비상대응이 요구됨에 따라, IAEA[1] 및 ICRP[2]는 방사선 개입에 대한 기본

원칙을 정립하였다. 그 원칙은 대체로 다음과 같이 정리할 수 있다. 심각한 급성영향을 방지하기 위해 가능한 모든 노력을 기울여야 하며, 보호조치의 도입이 손해보다는 이득을 더 얻어야 하고, 개입의 수준과 기간은 보호조치가 최대의 순수이득이 얻어지도록 해야 한다. 즉, 주민의 피폭선량

이 급성영향의 발단선량(500 mSv)이하로 유지되도록 모든 노력을 경주해야 하고, 손해보다는 이득이 더 크다는 정당성이 있어야 하고, 개입이 도입된다면 최대의 순수 이득이 되도록 최적화가 이루어져야 한다.

방사선 사고가 발생하는 경우 단기간에 신속한 주민보호조치를 수행하기 위해서는 기준이 되는 방사선 개입준위의 설정이 요구된다. 이 개입준위는 아직 일어나지 않은 사고에 대비하여 설정하는 것이고 또한 여러 사고와 서로 다른 지리적 특성을 반영하여 설정하기는 어렵기 때문에 일반화된 포괄적인 준위가 필요하다. 이를 일반개입준위(general intervention level)라고 한다. 일반개입준위는 보통 회피 가능한 선량 값(mSv)으로 표현되며 여러 가지 보호조치중 옥내대피, 소개, 일시이주, 영구정착 등의 선량기준에 적용되고 있다.

옥내대피는 방사선 피폭을 줄이기 위해 영향받은 지역에서 일을 하는 작업자 또는 통행자로 하여금 옥내에 대기토록 하는 보호조치를 말하며, 소개는 영향받은 지역에서 주민을 안전한 지역의 수용시설로 이동시키는 보호조치를 말한다. 대부분의 경우 주민들은 소개 후 가능한 한 짧은 기간 내에 집으로 돌아가는 것이 허용되어야 한다. 그 기간은 약 수 일간을 예상할 수 있다. 집을 떠나 있는 기간이 짧기 때문에 그들은 학교나 공공시설에서 최소한의 주거가 주어진다. 소개가 일주일 이상 계속될 것이 예상된다면 그들은 일시적으로 더욱 실질적인 주거지로 이주하여 장기간 주거에 대비해야 한다. 이를 일시이주라 한다. 일시이주는 일정기간이 지나면 귀가한다는 기대를 가질 수 있으나 수개월 간 계속될 수 있다. 그러나 영향받은 지역이 주거환경에 적합치 않다고 판단되면 별도의 장소를 마련하여 영구히 정착할 수 있는 방안이 고려되어야 한다. 이를 영구정착이라 한다.

현재 우리나라는 옥내대피 및 소개에 대한 개입준위가 방사능 재난대책에 적용되고 있다[3,4]. 전신선량 10 - 50 mSv에서 유아, 아동, 임산부의 옥내대피, 50 - 100 mSv에서 성인 옥내대피, 그리고 100 mSv이상에서 모든 주민 소개로 되어 있는데 설정근거가 모호하며 계층별 소개개념을 도입하고 있다. 또한 옥내대피 및 소개에 대한 기간이 명시되어 있지 못해 적용방법에 대한 어려움이 예상된다.

IAEA의 보고서[1]에 의하면 주민이 옥내대피와 관련하여 견딜 수 있는 기간을 약 2일 정도로 보

고 있다. 이 기간이 지나면 사람들은 참지 못하고 소요가 발생할 수 있다는 것이다. 소개에서는 7일 간이 권고되어 있다. 즉, 소개기간이 7일 이상으로 예상된다면 일시이주를 고려해야 한다는 것이다. 그리고 학교나 공공기관을 본래의 기능을 하도록 회복시켜야 한다는 것이다. 따라서 이를 기본개념으로 옥내대피는 2일, 소개는 7일, 일시이주는 수개월 등으로 구분하고 이에 근거한 개입준위에 대한 기준을 따를 것을 권고하고 있다.

이 논문은 국내에서 적용되고 있는 개입준위의 개선을 위해 개입준위의 설정을 위한 이론적 근거와 보호조치가 정당성을 확보하며 최적화되는 계산방법을 제시하였다. 또한 국내 특성자료와 IAEA 및 ICRP 지침[1,2]을 이용하여 옥내대피, 소개, 일시이주 및 영구정착에 대한 개입준위의 계산을 시도하였다.

## 이론적 배경

개입에 따르는 손해에는 개입으로 유발되는 금전적 손실, 사회적 손실, 걱정 및 불안, 신체적 위험 등이 포함된다. 이에 반하여 이득에는 회피되는 방사선량과 심리적 안도라고 할 수 있다. 이들이 소요되는 비용과 이득의 향으로 표현되는 수식 즉, 비용-이득 접근법(cost-benefit approach)은 다음과 같이 기술할 수 있다.

즉, 순수이득을 B라 하면

$$B = (Y_0 - Y) + B_c - R - X - A_i - A_s \quad (1)$$

$$= (\Delta Y + B_c) - (R + X + A_i + A_s)$$

여기서

B = 보호조치와 관련한 순수이득

$Y_0$  = 보호조치가 없을 때 방사선량 피해의 금전적 손실(급성 영향 및 만성 영향)

Y = 보호조치가 취해질 때 잔여 방사선량 피해의 금전적 손실

$B_c$  = 보호대책으로부터의 심리적 안도감

R = 어떤 보호대책 자체의 신체적 위험

X = 보호대책수행에 필요한 자원 및 노력 비용

$A_i$  = 보호대책에 의해 유발되는 개인의 걱정 및 혼란

$A_s$  = 보호대책에 의해 유발되는 사회적 혼란

모든 이들 항은 영향받는 많은 사람들과 보호

조치가 수행되는 시간의 함수로 여겨지며, 관련되는 항의 불확실성에 대한 변화의 함수로 여겨진다.

순수이득이 양의 값을 갖기 위해서는 수많은 조치과정이 필요하게 되며 이들 조치과정은 정당성이 확보되어야 한다. 그리고 정당성이 확보되면서 순수이득을 최대화 하기 위한 조치과정은 최적화이다.

식(1)의 각 항은 같은 값의 단위로 표현되어야 수식의 전개가 가능하다. 일반적으로 비용-이득 접근법에서 그 단위는 금전적 값으로 표현되고 있다.

한편, 식의 여러 항에 대한 정량화는 그리 간단하지는 않다. 다행히 국가들 간에 여러 항에 대한 절대 비용이 서로 크게 다르나 이 비용들의 상대적 비율은 지정학적 위치에 덜 민감하다. 그러므로 특정 항목에 대한 금전단위는 상대적으로 덜 중요하다고 할 수 있다. 모든 항은 국가 간 1인당 국민소득의 차이를 허용하여 1인당 국민소득의 항으로 평가될 수 있는 것으로 가정한다.

### 건강 손해를 회피하기 위한 비용

보호조치를 수행하는데 필요한 자원의 가치는 금전적 가격으로 시장가격에 기초하여 합리적으로 할당될 수 있다. 그러나 생명손실에 대해 금전적 값을 정하는 것은 특히 어렵다. 즉, 개인이 그들의 생활을 포기하는 것을 금전적인 대가로 권유할 수는 없기 때문이다.

방사선 건강 손해를 회피하는데 할당되는 대표적인 자원의 개략적 평가는 간단한 "인간자본 접근법(human capital approach)"을 사용해서 수행될 수 있다. 이 방법은 IAEA SS109에 의해 권고되어 있는 방법이다[1]. IAEA SS109에 의하면 다음의 4가지 가정을 도입하여 1 Sv의 집단선량으로 초래되는 생명기대에 대한 손실 영향을 반영하고 있다.

- (1) 방사선에 의한 치명적 암과 관련한 건강한 생명의 평균 손실은 13년 정도이다(B).
- (2) 치명적 암에 대한 통상의 확률계수는  $5.0 \times 10^{-2} \text{man} - \text{Sv}^{-1}$ 이다 ( $P_1$ ).
- (3) 치명적이지 않은 암들의 손체계수는  $1.0 \times 10^{-2} \text{man} - \text{Sv}^{-1}$ 이다 ( $P_2$ ).
- (4) 모든 세대에 심각한 유전적 손상을 유발하는 손체계수는  $1.3 \times 10^{-2} \text{man} - \text{Sv}^{-1}$ 이다 ( $P_3$ ).

이들 가정에 기초하여, 1 man-Sv와 관련한 생명기대의 통계적 손실은 다음과 같이 평가될 수 있다.

즉, 생명기대 손실 A는

$$\begin{aligned} A &= B \times (P_1 + P_2 + P_3) \\ &= 13\text{년} \times (5.0 \times 10^{-2} \text{man} - \text{Sv}^{-1} \\ &\quad + 1.0 \times 10^{-2} \text{man} - \text{Sv}^{-1} \\ &\quad + 1.3 \times 10^{-2} \text{man} - \text{Sv}^{-1}) \\ &= \text{약 } 1\text{년 } \text{man} - \text{Sv}^{-1} \end{aligned} \quad (2)$$

순수하게 경제적인 기초 하에 년 간 통계적 생명손실과 관련한 최소 값은 1인당 국민 소득(GNP)이라 할 수 있다. 우리나라의 경우, 1인당 국민소득은 1999년을 기준으로 \$8,581 년<sup>-1</sup>이다 [5]. 따라서, 단위 집단선량당 회피에 소요되는 비용을  $\alpha$ 라 하면

$$\begin{aligned} \alpha &= A \times \text{GNP} = \text{GNP } \text{man} - \text{Sv}^{-1} \\ &= 1\text{년 } \text{man} - \text{Sv}^{-1} \times \$8,581 \text{년}^{-1} \\ &= \$8,581 \text{man} - \text{Sv}^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

가 절약된다.

그러나 여러 가지 반대의견도 개진되었다[6]. 첫째로,  $\alpha$  값에는 고통, 슬픔 및 조산아와 관련된 고통이 고려되지 않았다는 것이다. 둘째로, 사람들은 더 높은 위험들에 대한 혐오 때문에, 그리고 사회는 보통 더 높은 위험들에서 사람들을 보호하기 위해 더 많은 자원을 할당하기를 바란다 는 것이다. 셋째로, 바람직한 결과는 신속히 처리하고 바람직하지 않은 결과는 뒤로 미루는 고유의 사회적 시간선호경향 때문에, 피폭과 그에 의한 영향의 발생사이에 지연을 고려하도록 감소 인자가 적용되어야 한다고 주장한다. 그리고 그 감소인자는 연간 0에서 10% 범위에 있다는 것이다. 방사선 피폭과 암의 발생사이의 대표적인 지연은 20년 정도이다. 상호 방해하는 방식으로 이들 3개의 인자는 "지불의지(willingness to pay)" 방법에 의해 직접 평가되고 있다. 그리고 그 값은 상당한 범위를 갖는다[7,8]고 알려져 있다. 민감도 분석을 통해 이들 인자들의 영향은 상당히 자세하게 평가되었다. 현재까지의 여러 논문들에서, 단위 선량당 위하는 두 배 정도의 불확실성을 갖고 있음이 정량적으로 평가되었다고 기술[1]하고 있다. 따라서,  $\alpha$ 의 값은 다음과 같이 수정하여 적용할 것을 IAEA SS109는 제안하고 있다.

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{GNP man} - \text{Sv}^{-1} \pm 200\% \\ &= \$8,581 \text{ man} - \text{Sv}^{-1} \pm 200\% \\ &= \$4,291 \text{ man} - \text{Sv}^{-1} \\ &\text{to } \$17,162 \text{ man} - \text{Sv}^{-1} \end{aligned} \quad (4)$$

우리나라는 개발도상국으로 경제성장률이 선진국에 비해 높은 편이다. 매년 5 - 7%의 높은 경제성장률을 갖고 성장하고 있어 이  $\alpha$  값도 변수로 작용한다고 생각해야 한다. 5년 후에 예상되는 개인 당 국민소득이 \$15,000 이라면  $\alpha$  값은 man-Sv당 \$7,500에서 \$30,000사이가 될 것이다.

식(4)에서  $\alpha$  값의 범위에는 적용국가의 GNP와 방사선량과 무관한 R,  $A_i$ ,  $A_s$ ,  $B_c$ 가 고려되어 있음을 상기하고 최적화를 위한 개입준위를 평가한다.

### 정당성 및 최적화에 기초한 개입준위 평가 방법

식(1)에서, 개입은 B의 값이 양이면 정당화되고, 최적화는 B가 최대가 될 때 이루어진다. 회피선량 피해와 등가의 비용이 회피집단선량에 비례한다고 생각할 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta Y &= Y_0 - Y \\ &= \alpha \cdot \Delta S \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $\alpha$ 는 단위 집단선량당 회피하는데 소요되는 비용, 그리고  $\Delta S$ 는 회피할 수 있는 집단선량이다. 한편, 보호대책 X의 비용은 개입준위 I와는 대체로 무관한 부분과 이 개입준위에 의존하는 어떤 부분으로 구분될 수 있다.

$$X = X_0 + X(I) \quad (6)$$

만일 개입이 고려되어야 한다면, 적절한 개입준위는 순수이득이 최대가 되는 관점에서 최적화되어야 한다. 개입에 대한 최적화된 준위는 다음 식을 만족한다.

$$d(\Delta Y - X)/dI = 0 \quad (7)$$

이미 언급했듯이, 순수이득 B가 양이면 보호조치는 정당화된다. 시간의 함수로서 사람들을 집에서 이동시키는 데에 대한 순수이득은 다음과 같

이 표현된다.

$$\begin{aligned} B(t) &= \Delta Y(t) - X(t) \\ &= \alpha \cdot \Delta S - X(t) \end{aligned} \quad (8)$$

X는 N명의 사람을 집에서 이동시키는데 소요되는 비용이다.

$$X(t) = (X_0 + at)N \quad (9)$$

$X_0$ 는 개인당의 초기 비용이며 a는 소개에 따르는 숙박 등 단위시간당 개인당 소요되는 비용이다. 그러면, 순수 이득은 다음과 같다.

$$B(t) = \alpha \cdot \Delta S - (X_0 + at)N \quad (10)$$

사람을 이동하는 것은  $B > 0$  일 때 정당화된다. 즉 식 (10)에서

$$\begin{aligned} \alpha \cdot \Delta S - (X_0 + at)N &> 0 \\ \Delta E(t) = \Delta S/N &> (X_0 + at)/\alpha \end{aligned} \quad (11)$$

최적화 되는 복귀시간은 시간당 개인당 회피선량  $\Delta E(t)$ 가 단위시간당 계속되는 소요 비용과 같을 때이다. 이 때에 단위 시간당 순수이득은 0이 된다.

$$\begin{aligned} dB(t)/dt &= \alpha \cdot d\Delta S/dt - aN \\ &= \alpha \cdot N \cdot d\Delta E(t)/dt - aN = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

식(11) 및 식(12)에서 시간당 개인당 회피선량은

$$\begin{aligned} d\Delta E(t)/dt &= (d\Delta S/dt)/N \\ &= a/\alpha \end{aligned} \quad (13)$$

이식은 개입준위로 표현된 식이다.  $d\Delta E(t)/dt$ 은 개인이 회피할 수 있는 선량률이다. 이를 개입준위 IL(intervention level)이라 놓으면 식(13)은 아래와 같이 정리된다.

$$IL = a/\alpha \quad (14)$$

여기서

- a = 보호조치에 따르는 단위시간당 개인당 소요되는 비용 (\$ man - day<sup>-1</sup>)
- $\alpha$  = 집단선량당 회피에 소요되는 비용

$$\begin{aligned}
 & (\$ \text{ man} - \text{Sv}^{-1}) \\
 & = \text{GNP man} - \text{Sv}^{-1} \pm 200\%
 \end{aligned}$$

**보호조치에 소요되는 비용**

**옥내대피**

옥내대피에 따르는 이득은 방출된 방사선원에 의한 외부피폭 및 내부피폭을 줄일 수 있다는 것이다. 옥내대피에 따르는 손실비용은 개인이 옥내에 옥내대피 함으로써 발생하는 수입손실(또는 생산성 손실)이다. 이 비용을  $a_{lo}$ 이라 하면,

$$a_{shel} = a_{lo} \tag{15}$$

따라서, 옥내대피에 대한 개입준위  $IL_{shel}$  은 다음과 같다.

$$IL_{shel} = \frac{a_{shel}}{\alpha} \tag{16}$$

**소개**

소개는 수용시설이 수일간까지의 기간에 적합 하리라고 기대되는 구호소(지역 학교, 공동사회 센터 등)로 사람들을 이동시키는 것을 의미한다. 수 일간이면 사람들을 복귀하도록 허가할지 또는 일시 숙소로 이동하도록 조치를 취할지의 결정을 하기 위해 충분한 기간이다.

소개기간에 생기는 총 경제적 비용은 3개의 주된 비용항목의 합으로 표현될 수 있다. 즉, 수송비( $a_{tr}$ ), 개인의 수입 손실비( $a_{lo}$ ) 및 숙박비( $a_{ac}$ )이다. 소개에 대한 비용을  $a_{evac}$  라 하면

$$a_{evac} = a_{tr} + a_{lo} + a_{ac} \tag{17}$$

따라서, 소개에 대한 개입준위  $IL_{evac}$  은 다음과 같다.

$$IL_{evac} = \frac{a_{evac}}{\alpha} \tag{18}$$

**일시이주**

소개기간이 1주일 이상이 예상된다면 일정한 지역으로 일시이주를 고려해야 한다. 이 때의 총 이주비용은 3개의 주된 비용부분의 합으로 결정

될 수 있다. 즉, 개인의 수입 손실비( $a_{lo}$ ), 숙박비( $a_{ac}$ ) 및 개인 자산손실/유지 비용( $a_{ma}$ ) 등이다. 여기에 초기이동 비용과 최종 복귀비용( $a_{tr}$ )을 합해야 할 것이다. 일시이주에 소요되는 비용을  $a_{rl}$  이라 하면

$$a_{rl} = a_{lo} + a_{ac} + a_{ma} + a_{tr} \tag{19}$$

따라서, 일시이주에 대한 개입준위  $IL_{rl}$  은 다음과 같다.

$$IL_{rl} = \frac{a_{rl}}{\alpha} \tag{20}$$

**영구정착**

영구정착의 비용은 주로 사람과 그들의 소유물을 이송하는데 드는 비용( $a_{tr}$ ), 숙박시설을 건설하고 가구를 구비하는데 드는 비용( $a_{fur}$ )이다. 단 기간에는 수입의 손실이 짧은 기간 동안 약간 있겠으나 다른 비용들에 비해 작은 량이라 할 수 있다. 또한, 장기간에 걸친 수입손실은 기대할 수 없다고 하겠다. 영구정착에 대한 소요비용을  $a_{res}$  라 하면

$$a_{res} = a_{tr} + a_{fur}$$

따라서, 영구정착에 대한 개입준위  $IL_{res}$  은 다음과 같다.

$$IL_{res} = \frac{a_{res}}{\alpha} \tag{21}$$

**국내 특성 자료**

식(14)에서 개인당 소요되는 비용과 집단선량당 회피에 소요되는 비용이 결정되면 각 보호조치에 대한 개입준위를 계산할 수 있다.

**옥내대피**

옥내대피는 1-2일까지 계속될 수 있다. 그 이후가 되면 사람들은 참지 못할 우려가 있다. 또한 옥내대피시에 소요되는 비용  $a_{shel}$  은 1인당 국민소득과 관련되어 있다. 따라서 옥내대피에 대한 금전적 가격은 다음과 같이 가정한다.

- 옥내대피기간은 최대 2일 간이다.
- 국내 1인당 국민소득은 \$8,581(1999년도 기준)이다
- 옥내대피에 소요되는 수입손실 비용(1인당 국민소득/365일)은 \$24 이다.

### 소개

소개에 대한 개입준위 계산을 위한 가정은 다음과 같다.

- 소개기간은 7일간이다.
- 소개시 소요되는 수송비 및 소개이후의 복귀비는 개인당 \$10 이내 이다.
- 소개에 소요되는 수입손실 비용은 \$24이다.
- 숙박비 및 음식료는 하루에 약 \$30이다.

지방자치단체의 원전방사능 재난대책계획[9]의 소개에 따르는 이재민 구호는 개인당 주식 570 g, 부식비 820원, 연료비 810원을 공급하며, 이밖에 기초 생필품으로 개인당 모포 1매, 의류 4점, 취사도구, 세면도구, 기타(된장, 고추장, 소금 등)등을 공급한다. 또한 이들 물품의 수송계획도 포함되어 있다. 따라서 하루에 소요되는 개인당 비용 ( $a_{evac}$ )은 대략 \$60 - \$80 정도라고 예상된다.

### 일시이주

일시이주에 대한 가정은 다음과 같다.

- 초기수송 및 최종 복귀비용은 \$10 이내이다.
- 이주에 소요되는 수입손실 비용은 약 \$100-\$350/월이다.
- 이주에 소요되는 숙박비용은 약 \$50 - \$100 달러/월이다.
- 개인의 자산손실 또는 자산 유지비용은 월간 약 수십 달러이다.
- 이주에 대한 기간은 1개월 단위로 한다.

현재 국내에는 일시이주에 대한 개념이 정립되어 있지 못하며, 소요비용을 추정하기란 쉽지 않다. 그러나 일시이주는 1개월 또는 수개월을 생각해야 한다. 이때 개인은 일시적 혼란이 진정되면 일을 할 수 있다고 판단되므로 전 기간에 걸쳐 수입손실이 발생한다고는 볼 수 없다. 따라서 첫 월에는 최대 15일 이상 수입손실이 발생하지 않는다고 가정한 것이다.

개인당 평균비용( $a_H$ )은 위의 가정을 포함해서 첫 달에는 약 \$200 - \$400  $man - month^{-1}$ , 그리고 계속되는 달의 소요비용은 이의 반값인 \$100 - \$200  $man - month^{-1}$ 로 가정한다.

### 영구정착

영구정착의 비용은 주로 사람과 그들의 소유물을 이송하는데 드는 비용, 숙박시설을 건설하고 가구를 구비하는데 들어가는 비용이다. 단기간 동안에 약간의 수입의 손실이 발생할 수는 있겠으나 다른 비용들에 비해 작은 량이라 할 수 있다. 그리고 장기간에 걸친 수입손실은 기대할 수 없다고 하겠다. IAEA[1]는 1인당 국민소득 \$20,000의 선진국의 경우 재 정착에 소요되는 비용을 개인당 약 \$10,000 - \$30,000로 제시하고 있다. 우리나라에서 재 정착을 위해 소요되는 비용( $a_{res}$ )은 개인당 대략 \$10,000 - \$15,000로 가정한다. 4인 가족을 기준으로 할 때 약 4,500만원 - 6,700만원을 예상할 수 있다.

### 계산결과 및 논의

식(16)과 국내특성자료를 이용하여 옥내대피에 대한 개입준위를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} IL_{shel} &= \frac{a_{shel}}{a} \\ &= (\$24man - day^{-1}) / (\$4,291 \\ &\quad \text{to } \$17,162man - Sv^{-1}) \\ &= 1.4 \text{ to } 5.6mSv \text{ day}^{-1} \end{aligned}$$

즉, 회피선량이 위의 범위에 있으면 옥내대피는 정당화되고 최적화 된다고 할 수 있다. 옥내대피기간을 2일로 가정하면, 범위는 3.0 - 11 mSv의 회피선량을 얻을 수 있다. 1인당 국민소득이 \$20,000 정도인 선진국의 경우,  $IL_{shel}$  은 1.5 - 6

$mSv \text{ day}^{-1}$ 가 되며 2일간의 옥내대피기간에서 그 범위는 3 - 12 mSv가 된다. 이를 근거로 IAEA는 옥내대피에 대한 일반 개입준위( $IL_{shel}$ )를 10 mSv로 선정하여 권고하고 있다. ICRP의 최적범위는 0.5 - 50 mSv이고 50 mSv 이하면 항상 정당성이 확보된다고 기술하고 있다. 국제기준과 계산결과를 비교하여 우리나라에서 정당성 및 최적화를 만족시키는 값도 10 mSv이라 할 수 있다. 만약 옥내대피가 1일 또는 몇 시간으로 기대된다면 더 낮은 선량을 설정할 수 있다.

같은 방법으로 소개, 일시이주 및 영구정착에 대한 개입준위를 계산하면 표 1과 같다. 소개를 최대 1주일간으로 예정한다면, 개입준위는 25 - 131  $mSv \text{ week}^{-1}$ 가 된다. 국민소득 \$20,000의 국가에서 소개에 소요되는 비용을 \$100 - \$125라 가정할 때 개입준위는 20 - 80  $mSv \text{ week}^{-1}$ 가

된다. IAEA는 소개에 대한 개입준위(  $IL_{evac}$  )로 이들 값의 중간 값인 50 mSv를 선정하여 권고하고 있다. 따라서 우리나라는 중간개념을 적용하여 80 mSv를 선정해도 정당성 및 최적화가 확보된다. ICRP는 50 - 500 mSv week<sup>-1</sup>를 최적 범위로 하고 건강영향이 발생할 수 있는 발단치 500 mSv 이내에서는 정당성이 확보된다고 기술하고 있다. 따라서 국제 기준을 적용하여 50 mSv를 선정해도 정당성 및 최적화는 확보되나 더 낮은 회피 선량을 기대한다는 의미가 강조된다. 만일 소개가 2 - 3일로 기대된다면, 더 낮은 회피선량을 선정해도 정당화될 수 있다.

표 1에서, 일시이주 첫 월에 개입준위가 정당화되고 최적화되는 범위는 약 12 - 93 mSv월<sup>-1</sup>이다. 선진국을 대상으로 IAEA가 계산한 결과는 10 - 90 mSv월<sup>-1</sup>로서 일시이주에 대한 경향이 유사함을 알 수 있다. IAEA는 일시이주에 대한 개입준위로 30 mSv첫월<sup>-1</sup>을 권고하고 계속되는 달에는 10 mSv월<sup>-1</sup>을 권고하고 있다. 우리

나라는 중간 값을 선정하는 경우 약 50 mSv첫월<sup>-1</sup>이 된다. 30 mSv첫월<sup>-1</sup>을 적용하는 경우에도 정당성 및 최적화가 확보되며 더 낮은 회피선량을 강조하게 된다. 그러나 100 mSv첫월<sup>-1</sup>이상을 적용하면 정당성을 확보하기가 어렵다는 것을 알 수 있다.

복귀에 대한 최적 시간은 뒤따르는 달의 회피선량이 식 (20)에서 회피선량이 주어진  $IL_{ri}$  아래로 떨어질 때이다.

표1에서, 복귀에 대한 개입준위가 정당화되고 최적화되는 범위는 5 - 47 mSv월<sup>-1</sup>이다. 이 값의 중간 값을 선택하면 약 30 mSv월<sup>-1</sup>이 됨을 알 수 있다. 그러나 IAEA 권고치 10 mSv월<sup>-1</sup>을 적용해도 정당성 및 최적화는 확보되며 더 낮은 회피선량을 강조하게 된다. ICRP의 최적화 범위는 5 - 15 mSv월<sup>-1</sup>로서 IAEA 권고치와 유사하여 10 mSv월<sup>-1</sup>은 국제기준에도 부합된다.

영구정착에 대한 개입준위가 정당화되고 최적

Table 1. Calculated results for intervention levels with the site specific parameters

Protection	Calculated results	IAEA SS-109	ICRP-63
Sheltering	3.0 - 11 mSv in 2days	3.0 - 12 mSv in 2days (10 mSv in 2days) <sup>1)</sup>	0.5 - 50 mSv <sup>2)</sup> (50 mSv) <sup>3)</sup>
Evacuation	25 - 131 mSv in 7days	20 - 80 mSv in 7days (50 mSv in 7days)	50 - 500 mSv (500 mSv)
Temporary relocation	12 - 93 mSv in first month 5 - 47 mSv in subsequent month	10 - 90 mSv in first month (30 mSv in first month) 5 - 50 mSv in subsequent month (10 mSv in subsequent month)	5 - 15 mSv per month
Permanent resettlement	583 - 3,500 mSv	250 - 3,000 mSv (1 Sv in lifetime)	1 Sv

- note : 1) IAEA recommendation  
 2) Range of optimized values  
 3) Almost always justified

화되는 범위는 약 583 - 3,500 mSv로 평가되었다. 선진국에 대한 IAEA의 계산결과는 250 - 3,000 mSv이며 1 Sv lifetime<sup>-1</sup>을 영구정착의 권고치로 제안하였다. 우리나라도 이 값을 적용하면 정당성 및 최적화가 확보된다. 이 값은 표 1에서 보듯이 ICRP의 기준과도 일치한다. 영구정착에 대한 개입준위는 또한 일시 이주로부터의 복귀준위에 속박되어 있다. 즉, 일시이주에서 복귀하기 위해 계속되는 달의 선량이 IL<sub>ri</sub>보다 적어야 하고, 잔여 선량은 IL<sub>res</sub>이하가 되어야 한다.

따라서 이론적 배경 하에 정량적으로 분석한 국내 방사선 비상시의 개입준위를 정리하면 표 2와 같다.

표 2에서 개입준위 기준치는 IAEA 권고치를 수용하였으며 최적범위는 실제 방사선 비상 대응

결 론

정당성 및 최적화 개념이 도입된 비용-이득 접근법에 근거하여 우리나라의 방사선비상시 주민 보호조치를 위한 개입준위 설정방법을 이론적으로 유도하였다. 주민보호조치에 소요되는 비용과 주민보호조치에 의한 선행회피로 얻어지는 금전적 값을 국내 특성자료를 토대로 분석하여 방사선 개입준위를 계산하였다. 또한 계산 결과를 IAEA 및 ICRP의 국제 기준과 비교하고 합리적인 접근방법을 이용하여 국내에서 적용 가능한 방사선 개입준위를 제안하였다. 아울러 의사결정에 참고할 수 있도록 최적화된 개입준위의 범위도 제안하였다. 제안된 방사선 개입준위의 기준치 및 최적범위는 표 2와 같다.

국내 특성자료로 이용된 옥내대피, 소개, 일시

Table 2. Intervention levels in radiological emergencies in Korea

Protection	Intervention levels
Sheltering	10 mSv in 2days <sup>1)</sup>
	(5 - 10 mSv in 2days) <sup>2)</sup>
Evacuation	50 mSv in 7days
	(25 - 130 mSv in 7days)
Temporary relocation	30 mSv in first month
	(15 - 90 mSv in first month)
	10 mSv in subsequent month (10 - 45 mSv in subsequent month)
Permanent resettlement	1 Sv in lifetime
	(600 - 3,500 mSv in lifetime))

note : 1) Criteria of intervention level

2) Range of optimized values

시의 적용성을 고려하여 계산된 결과를 정수화하는 과정에서 약간 조정되었다. 이 범위는 의사결정권자가 의사결정에 앞서 부지 특성 및 주변 환경여건에 따라(중환자의 소개 또는 공공기관의 특수목적 종사자 등) 기준치를 적용하기가 어려울 때 정당성을 확보할 수 있는 범위로서 개입에 대한 유연성을 제공하는 자료로 활용될 수 있을 것이다.

이주 및 영구정착에 대한 가정사항은 실제 방사선 비상시 이에 대한 타당성을 검토하는 과정이 의사결정과정에서 요구된다. 특히 일시이주와 영구정착은 부지내 환경 조건 및 국내 사회적 및 정치적 여건에 따라 변할 수 있다는 것을 의사결정권자는 의식하고 있어야 할 것이다.

IAEA의 권고치와 비교해서 최적 범위가 크게 다르지 않기 때문에 앞으로 우리나라의 1인당 국민소득이 \$20,000이 될 때까지도 제안된 방사선



개입준위의 값은 유효할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업 중 한국원자력안전기술원의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. International Atomic Energy Agency, 1994, "Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency", Safety Series No. 109, IAEA, Viena(1994).
2. International Commission on Radiological Protection, 1993, "Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency", ICRP Publication 63, Pergamon Press(1993).
3. 내무부, "민방위 기본계획(1997-2001) : 방사능 재난대책계획"(1997).
4. 내무부, "민방위 집행계획 : 방사능 재해대책 계획"(1997).
5. 통계청, " '99년 16개 시도별 지역내 총생산" (2000. 12).
6. W. Merkhofer, "Decision Science and Social Risk Management", D. Reidel Publishing Company, Dordrecht(1987).
7. S.M. Haywood, C.A.Robinson, C.Heedy, "COCO-1: Model for Assessing the Cost of Offsite Consequences of Accidental Releases of Radioactivity Protection", Publication No. 60, Pergamon Press(1991).
8. D.F. Russell, G.Bentam, R. Haynes, "The Economic Valuation of Statiscal Life", Research Report No 5, Enviromental Risk Unit., University of East Algeria(1988).
9. "2000년도 원전방사능 재난대책계획", 부산광역시, 기장군, 영광군(2000).