

Application of Multi-Attribute Utility Analysis for the Decision Support of Countermeasures in Early Phase of a Nuclear Emergency

Won Tae Hwang · Eun Han Kim · Kyung Suk Suh ·
Hyo Joon Jeong · Moon Hee Han and Chang Woo Lee
Korea Atomic Energy Research Institute

원자력 사고시 초기 비상대응 결정지원을 위한 다속성 효용 분석법의 적용

황원태 · 김은한 · 서경석 · 정효준 · 한문희 · 이창우

한국원자력연구소

(2003년 11월 6일 접수, 2004년 2월 10일 채택)

Abstract - A multi-attribute utility analysis was investigated as a tool for the decision support of countermeasures in early phase of a nuclear accident. The utility function of attributes was assumed to be the second order polynomial expressions, and the weighting constant of attributes was determined using a swing weighting method. Because the main objective of this study focuses on the applicability of a multi-attribute utility analysis as a tool for the decision support of countermeasures in early phase of a nuclear accident, less quantifiable attributes were not included due to lack of information. In postulated accidental scenarios for the application of the designed methodology, the variation of the numerical values of total utility for the considered actions, e.g. sheltering, evacuation and no action, was investigated according to the variation of attributes. As a result, it was shown that the numerical values of total utility for the actions are distinctly different depending on the exposure dose and monetary value of dose. As increasing in both attributes, the rank of the numerical values of total utility increased for evacuation, which is more extreme action than for sheltering, while that of no action decreased. As expected probability of high dose is higher, the break-even values for the monetary value of dose, which are the monetary value of dose when the ranking of actions is changed, were lower. In addition, as aversion psychology for dose is higher, the break-even values for dose were lower.

Key words : multi-attribute utility analysis, countermeasure in early phase, decision-support, total utility

요약 - 원자력 시설의 사고시 환경으로 방출된 방사성물질로부터 초기 주민의 피해 최소화를 위한 대응행위 결정지원 방안으로 다속성 효용분석법이 고찰되었다. 속성의 효용함수는 비선형 2차 함수로 가정하였으며, 속성의 가중계수는 swing weighting 방법을 사용하여 결정하였다. 본 연구는 원자력시설의 사고시 초기 대응행위 결정지원을 위한 다속성 효용분석법의 적용성에 한정하며, 스트레스 등과 같은 비정량적 속성은 아직까지 자료의 부족으로 포함하지 않았다. 가상 사고 시나리오를 구성하여 무대응, 대피, 소개에 대해 속성 값의 변화에 따라 행위에 대한 총 효용 값을 고찰하였다. 적용한 결과, 피폭선량과 선량의 금전가의 변화에 따라 행위의 총 효용 값은 뚜렷이 다르게 나타났다. 피폭선량과 선량의 금전가의 증가에 따라 대피보다 사회적 영향 등 여러 측면에서 보다 극단적인 대응행위인 소개의 총 효용 값의 순위는 뚜렷이 증가한 반면, 무대응의 순위는 감소하였다. 선량의 기대 확률도 대응행위 결정지원에 있어서 중요한 변수로 나

타났는데, 상대적으로 고선량의 기대 확률이 높을수록 행위의 우선 순위가 바뀌는 교차점에서 선량의 금전가는 보다 낮게 나타났다. 또한 선량에 대한 회피심리가 강하게 적용할수록 행위의 우선 순위가 바뀌는 선량의 교차점은 보다 낮게 나타났다.

중심어 : 다속성 효용분석법, 초기 대응행위, 결정지원, 총 효용

서 론

원자력시설의 사고시 환경으로 누출된 방사성 물질에 의한 주민의 피폭영향 뿐 아니라 경제적, 사회적 영향 등을 최소화하기 위해서는 다양한 피폭경로에 대해 적절한 방법을 사용하여 합당한 대응행위가 제 시간에 취해져야 한다. 국제 방사선방호위원회 (ICRP Publication 55[1])에서는 이러한 대응행위 결정지원을 위한 유용한 기술적 방법론을 제시하고 있다. 이들 방법 중에서 국민의 복지에 대한 경제적 논리에 근거한 비용-편익 분석법 (cost-benefit analysis)은 행위의 경제적 이득과 손실에 대한 비교 분석에 있어서 가장 오랫동안 널리 활용되고 있다[1]. 원자력시설 사고의 경우 대응행위 결정에 있어서 행위의 수행에 따른 경제적 비용 등과 같은 정량화 가능 요소 (이하 정량적 요소) 뿐 아니라 사회적, 심리적 혼란 등과 같은 정량화하기 쉽지 않은 요소 (이하 비정량적 요소)가 중요하게 작용한다. 특히 사고 초기단계에서는 정량적 요소보다 비정량적 요소가 보다 중요할 수 있다. 따라서 모든 결정지원 관련 요소를 금전적 가치 (이하 금전가)로 정량화해야 하는 비용-편익 분석법을 사용한 사고 초기 단계 대응행위 결정지원의 유용성은 제한적일 수밖에 없다. 이러한 문제에 대한 대안으로 다속성 효용분석법 (multi-attribute utility analysis)은 정량적 요소와 비정량적 요소가 상존하는 보다 복잡한 상황에 유용한 결정지원 방법으로 알려져 있다[2]. 이 방법은 피폭선량, 행위의 수행에 따른 금전적 비용, 스트레스 등과 같은 대응행위 관련 요소에 대한 선택된 행위들의 이행도 (performance) 또는 선호도 (preference)를 금전가와 같은 공통된 객관적 가치 (objective value)로 환산하여 평가하기보다는 서로간에 대해 주관적 가치 (subjective value)로 평가하기 때문에 비정량적 요소의 반영뿐 아니라 대응행위 결정권자의 주관적 의도를 보다 쉽게 반영할 수 있다. 또한 대응행위 관련 요소는 많은 불확실성을 내포하고 있으며, 다속성 효용분석법은 이러한 불확실성 반영에 있어서 비용-편익 분석법에 비해 적용이 용이하다. 이러한 여러 가지 이유로 원자력시설의

사고시 대피, 소개 등과 같은 초기 대응행위의 결정지원에 있어서 다속성 효용 분석법은 효과적인 의사결정 보조수단이 될 수 있다.

본 연구에서 원자력시설의 사고시 환경으로 누출된 방사성물질에 의한 주민의 초기 대응행위 결정지원 방안으로 다속성 효용분석법이 고찰되었다. 현 단계에서는 초기 대응행위 결정지원 방법으로써 다속성 효용 분석법의 적용성 또는 적용에 따른 유용성에 그 목적이 있다. 따라서 스트레스, 사회적 혼란 등과 같은 비정량적 요소는 현재까지 자료의 부족으로 고려 대상에서 제외하였다. 고안된 방법론에 대해 가상 사고 시나리오를 구성하여 대응행위 관련 인자의 변화에 따른 행위의 선호도 변화를 고찰하였다.

재료 및 방법

대응행위 결정지원 방법론

대응행위 결정에는 많은 요소가 관련되며, 이들 요소에는 정량적 요소와 비정량적 요소가 상존한다. 다속성 효용분석법은 대응행위를 수행함에 따른 금전적 비용 등과 같은 정량적 요소 뿐 아니라 사회적 혼란과 스트레스 등과 같은 비정량적 요소를 적절한 방법을 사용하여 보다 용이하게 수학적 모델로 표현할 수 있어 대응행위 결정지원 방법으로 많이 활용되고 있다[2]. 결정문제의 언어적 표현을 수학적 모델로 변형하기 위해서는 결정과 관련된 요소를 개별적으로 취급할 수 있고 그것을 논리적으로 재결합할 수 있는 작은 요소들로 세분화하여야 한다. 분석을 위한 첫 단계로 실행 가능한 모든 행위, 예로 초기 대응행위로 대피와 소개, 그리고 무대응 (no action) 등이 고려될 수 있다. 다음 단계로 각 행위의 특성을 나타내는 대응행위 관련인자, 즉 속성 (attributes)을 정의한다.

$$a = (a_1, a_2, \dots, a_k) \quad (1)$$

여기서 a_i 는 행위 a 에 대한 i 번째 속성을

나타낸다. 각 속성에 대해 대응행위 결정권자가 가장 선호하는 값을 1, 가장 선호하지 않는 값을 0으로 둔다. 속성에 대한 사이 값은 속성 값의 크기에 대한 대응행위 결정권자의 상대적 선호도를 반영하는 효용함수 (utility function) u 에 의해 얻어지며, 이는 대응행위 결정권자의 선호도에 따라 선형적 또는 비선형적 함수로 나타낼 수 있다. 다음으로 속성간의 상대적 중요도를 나타내는 가중계수 (weighting constant 또는 scaling constant) $k(a_i)$ 를 결정한다. 마지막으로 행위에 대한 총 효용 (total utility) $U(a)$ 은 다음 식으로부터 평가된다[1,2].

$$U(a) = \sum_{i=1}^n k(a_i) u(a_i) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n k(a_i) = 1 \quad (3)$$

대응행위 결정과 관련된 속성 값은 넓은 범위의 불확실성을 나타낸다. 예로 원자력시설의 사고로 예측되는 개인선량 또는 집단선량은 개인 또는 집단의 생활습성 뿐 아니라 해당 지역의 사회적, 환경적 특성 등에 따라 다양하게 나타날 수 있다. 이러한 속성의 불확실성을 고려한 행위의 기대되는 총 효용은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U(a) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(a_{ij}) k(a_i) u(a_{ij}) \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m p(a_{ij}) = 1 \quad (5)$$

여기서 $p(a_{ij})$ 는 속성 i 에 대한 속성 값 j 의 기대 확률을 나타낸다. 엄밀히 말하여 식 (4) 는 기대 총 효용 (expected total utility)을 말하며, 여기서는 편의상 총 효용으로 표현한다. 총 효용 값의 크기는 행위에 대한 대응행위 결정권자의 선호도 순위 (ranking)를 나타낸다. 행위에 대해 평가된 총 효용 값은 대응행위 결정권자의 선호도에 대한 순위를 판단하기 위한 상대적 값이며, 절대적 값이 아니다.

효용함수와 가중계수 결정

다속성 효용분석법에 의한 대응행위 결정지원의 신뢰성은 무엇보다 속성에 대한 효용함수와 속성간 가중계수를 어떠한 방법으로 합리적으로 표현 또는 평가할 수 있는가에 달려 있다. 속성에 대한 효용함수는 속성 값에 대한 대응행위 결정

권자의 상대적 선호도에 따라 다양한 형태의 함수로 나타낼 수 있는데, 이는 비록 같은 속성 값의 변화를 갖는다 하더라도 속성 값의 크기에 따라 대응행위 결정권자의 선호도 변화, 즉 효용함수 값의 변화는 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 예로 500 man-Sv에서 400 man-Sv로 집단선량의 감소에 대한 대응행위 결정권자의 선호도와 100 man-Sv에서 0 man-Sv로 감소에 대한 선호도와 차이가 날 수 있다. 마찬가지로 1,000 US \$에서 500 US \$로 대응행위 수행에 따른 금전적 비용의 감소에 대한 대응행위 결정권자의 선호도는 500 US \$에서 0 US \$로 금전적 비용 감소에 대한 선호도와 차이가 날 수 있다. 이는 비록 속성 값의 감소에 대한 절대적 변화는 같아도 하더라도 감소율의 변화에 있어서 차이를 나타내는 심리적 측면을 반영한다고 말할 수 있다. 본 연구에서 속성 값의 증가에 따라 선호하지 않는 속성 (예로 피폭선량, 금전비용 등)에 대해 속성의 최소값을 1로 두고, 속성의 최대값을 0으로 두며, 속성 값의 범위에 대한 중간 값은 0.4로 가정하는 2차 함수 (오목한 형태)로 가정한다. 반대로 본 연구에서는 고려하지 않았지만 속성 값의 증가에 따라 선호하는 속성 (예로 스트레스, 정신적 안도감 등)에 대해서는 속성의 최소값을 0으로 두고, 속성의 최대값을 1을 두며, 속성의 범위에 대한 중간 값은 0.6으로 가정하여 내삽한 2차 함수 (볼록한 형태)로 가정할 수 있다. 속성에 대한 효용함수는 반드시 연속함수로 나타낼 필요가 없으며, 대응행위 결정권자의 주관적 판단에 따라 불연속함수로 나타낼 수 있다. 이러한 특성은 비정성적 속성을 정량화하는데 유용한데, 예로 선택된 여러 행위 중에서 스트레스 영향이 가장 적은 행위와 많은 행위를 각각 1과 0으로 두고, 다른 행위는 상대적 영향의 크기에 따라 효용함수의 값을 줄 수 있다.

속성간 상대적 중요도를 나타내는 가중계수는 크게 direct rating 방법과 trade-off value 방법에 의해 정량화할 수 있다[3]. 전자는 후자에 비해 비정량적 속성의 고려를 포함하여 적용에 있어서 상대적으로 간단하고 용이하다. 고려되는 속성에 대해 대응행위 결정권자는 주관적 판단으로 중요도에 대한 상대적 순위를 부여하고, 이들로부터 다음과 같이 가중계수를 추산한다[4].

$$k(a_i) = \frac{1/r(a_i)}{\sum_{j=1}^n 1/r(a_j)} \quad (6)$$

여기서 $r(a_i)$ 는 속성 i 에 대한 중요도 순위이다. 속성간의 중요도에 있어서 큰 차이를 나타낼 경우 대응행위 결정권자의 주관적 판단에 따라 임의의 순위 차이를 둘 수 있다. Trade-off value 방법은 비용-편익 분석법에서 사용되는 선량의 금전가 α 값과 유사한 개념으로 다음 두 가지 방법에 의해 가중계수를 정량화 할 수 있다. 한 방법으로 가중계수는 단순히 속성 값의 범위 R (효용함수 0과 1에 해당하는 속성 값의 범위)에 비례한다고 가정한다[1].

$$\frac{k(a_x)}{R(a_x)} = \frac{k(a_y)}{\beta R(a_y)} \quad (7)$$

여기서 β 는 두 속성 a_x 와 a_y 간의 trade-off value이다. 만일 속성 a_x 를 대응행위 수행에 따른 금전적 비용, 속성 a_y 를 집단선량이라면 β 값은 비용-편익 분석법에 사용되는 α 값에 해당한다. 식 (7)과 식 (3)의 관계로부터 속성에 대한 가중계수를 추산할 수 있다. 다른 한 방법으로는 swing weighting 방법[3]으로, 이 방법에 의한 가중계수는 단순히 속성 값의 범위 뿐 아니라 대응행위 결정권자에 있어서 본질적 중요도 (예로 대응행위 결정권자에 있어서 방사선에 의한 피폭영향은 대응행위 수행에 따른 금전적 비용보다 중요하다고 느낄 수 있으며, 또한 속성 값의 범위에 따라 달리 느낄 수 있다)를 반영한다. 대응행위 결정권자에게 비교를 위해 가상적 두 쌍의 행위가 주어지고 연속해서 가상적 두 쌍의 행위가 서로 크게 다르지 않을 때, 즉 효용 값이 거의 같다고 판단될 때까지 계속된다. 최종적으로 선택된 두 쌍의 행위, 즉 행위 A (a_x', a_y')와 행위 B (a_x'', a_y'')가 대응행위 결정지원을 위한 선호도에 있어서 동일하다고 가정하면 다음과 같은 관계를 얻는다.

$$\begin{aligned} k(a_x) u(a_x') + k(a_y) u(a_y') &= \\ k(a_x) u(a_x'') + k(a_y) u(a_y'') & \end{aligned} \quad (8)$$

만일 행위에 대해 두 가지 이상의 다른 여러 속성을 포함하는 경우, 두 속성을 제외한 다른 모든 속성은 두 행위에 대해 같은 효용 값을 갖는다고 가정한다. 이러한 과정이 다른 행위의 쌍에 대해 연속하여 반복하여 수행된다면 보다 신뢰성 있는 가중계수를 얻을 수 있다. 본 연구에서는

swing weighting 방법을 사용하여 고려되는 속성 (집단선량, 금전적 비용)에 대한 가중계수를 결정하였는데, 일반적으로 고선량에 대한 상대적 높은 관심과 적용의 편리를 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다. 먼저 다음 두 쌍의 행위가 대응행위 결정권자의 선호도에 있어서 동일하다고 가정한다.

행위 A : 집단선량 (man-Sv) s_{\max} , 금전적 비용 (US \$) c_{\min}

행위 B : 집단선량 (man-Sv) s^* , 금전적 비용 (US \$) c^*

여기서, s^* 는 대응행위 수행에 따른 금전적 비용 c^* 를 지불하였을 때 행위 A 와 같은 효용 값을 갖는 집단선량이다. 대응행위 결정권자가 s_{\max} 에서 s^* 로 집단선량을 줄이기 위해 기꺼이 α (US \$/man-Sv)의 금전적 비용을 지불할 용의가 있다고 가정하면 $s^* = s_{\max} - \frac{c^*}{\alpha}$ 가 된다. 정의에 따라 $u(c_{\min}) = 1$, $u(s_{\max}) = 0$, $u(c^*) = 0$ 가 되고 식 (8)에 따라 $k(c) = k(s) u(s^*)$ 의 관계를 갖는다. 집단선량 s^* 에 대한 효용함수의 값 $u(s^*)$ 은 효용함수로부터 얻을 수 있고, 식 (3)과의 관계로부터 고려되는 두 속성에 대한 가중계수를 정량적으로 나타낼 수 있다.

결과 및 고찰

원자력 시설의 사고시 환경으로 방출된 방사성 물질로부터 초기 주민의 피해 최소화를 위한 대응행위 결정지원 방안으로 다속성 효용분석법이 고찰되었다. 가상 사고시나리오를 구성하여 대피와 소개 그리고 무대응에 대한 적용 결과를 비교, 고찰하였다. 대피에 따른 금전적 손실은 주로 생산성의 감소이며, 소개의 경우는 생산성 감소 이외에 오염지역에서 벗어나기 위한 수송비용과 소개지역에서 잠정 거주비용 등이 주요 금전적 손실로 예상된다. 여러 국제원자력관련기구에서는 대피 및 소개를 위한 회피선량 (avertable dose) 범위를 각각 5~50 mSv와 50~500 mSv로 권고하고 있다[5,6]. 비록 이들 권고치는 대응행위 수행에 따른 회피선량에 근거하지만 적용의 편리성

으로 많은 경우 아무런 대응행위를 취하지 않았을 때 예상되는 피폭선량 (projected dose 또는 potential dose)에 근거한 대응행위 권고치로도 사용된다. 본 연구에서 대피와 소개를 위해 각각 50 US \$/person와 500 US \$/person의 금전적 비용이 소요된다고 가정하였다. 이는 대피와 소개를 위한 권고 범위의 하한치인 5 mSv와 50 mSv에 대해 인적자본 접근법 (human capital approach) [6]에 근거한 국내 피폭선량 금전가 α 값을 대략적으로 10,000 US \$/man-Sv로 적용하였을 때 추산되는 금전적 비용에 해당한다. 대피자와 소개자의 총 인구수는 동일하게 1,000명, 대피와 소개에 따른 피폭 저감인자 (아무런 대응행위를 취하지 않았을 때 받게 되는 선량에 대한 대응행위 수행에 따라 받게 되는 선량의 비)는 각각 0.4와 0.1을 적용하였다. 피폭선량에 대한 예측결과는 넓은 범위의 불확실성을 나타내며, 아무런 대응행위를 취하지 않았을 때 최적 평가치 (best estimates of predicted dose)를 기준으로 최적 평가치의 1/10 (과소 평가치), 최적 평가치, 최적 평가치의 10배 (과대 평가치)에 대한 기대 확률을 각각 30%, 60%, 10%로 가정하였다. 집단선량은 간단히 개인선량에 피폭받는 집단의 인구수를 곱하여 추산하였다.

그림 1은 아무런 대응행위를 취하지 않았을 때 개인선량의 최적 평가치에 따른 선량과 대응행위 수행에 따른 금전적 비용에 대한 가중계수의 변화를 보여준다. 선량의 증가에 따라 선량에 대한 가중계수는 상대적으로 증가하는 반면, 금전적 비용에 대한 가중계수는 감소하였다. 이러한 결과는 상대적으로 고선량에서 선량의 중요도가 금전적 비용보다 대응행위 결정에 있어서 보다 중요하게 작용한다는 사실을 나타낸다.

그림 2는 아무런 대응행위를 취하지 않았을 때 개인선량의 최적 평가치를 10 mSv를 가정하였을 때 선량의 금전가에 따른 행위의 총 효용 값을 보여준다. 5,000 US \$/man-Sv 이하의 선량의 금전가에 대해서는 무대응, 대피, 소개의 순으로 총 효용 값이 높으며, 10,000 US \$/man-Sv 이상에서는 대피가 무대응보다 총 효용 값이 높았다. 즉 총 효용 값에 대한 무대응과 대피의 순위가 바뀌는 교차점에서의 선량의 금전가는 대략 7,000 US \$/man-Sv로 나타났다. 총 효용 값에 대한 소개와 대피의 순위가 바뀌는 교차점에서의 선량의 금전가는 대략 50,000 US \$/man-Sv에서 나타났다. 이러한 사실은 사회가 방사선 피폭을 줄이기 위한 금전적 지불 의지가 높을수록 보다 극단적

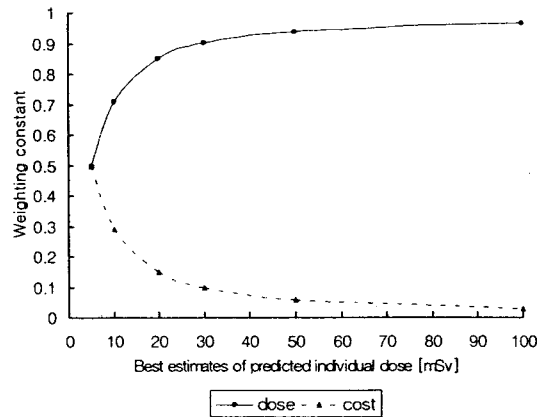


Fig. 1. Weighting constant of the attributes as a function of best estimates of predicted individual dose.

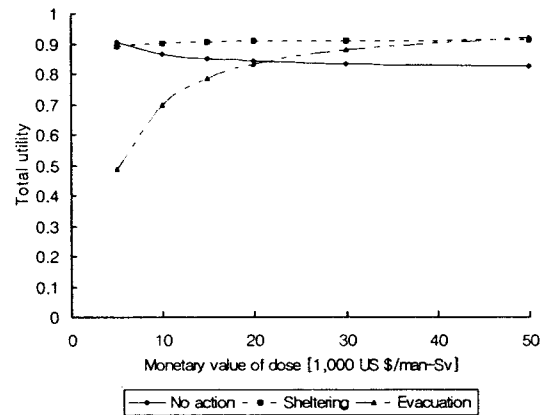


Fig. 2. Total utility of the actions as a function of monetary value of dose.

인 대응행위를 선호한다는 것을 의미한다.

그림 3은 선량의 금전가를 10,000 US \$/man-Sv에 대해 아무런 대응행위를 취하지 않았을 때 개인선량의 최적 평가치에 따른 행위의 총 효용 값의 변화를 보여준다. 상대적으로 저선량인 5 mSv 이하에서는 무대응, 대피, 소개의 순으로 총 효용 값이 높았다. 상대적 중간선량인 10 mSv ~ 50 mSv에서는 대피의 총 효용 값이 가장 높게 나타났으며, 그 이상의 상대적 고선량에서는 소개, 대피, 무대응의 순으로 총 효용 값이 높았다. 따라서 고선량일수록 소개는 대피에 비해 보다 유용한 대응행위가 될 수 있다는 사실을 쉽게 알 수 있다. 상기 가정에 대해 비용-편익 분석법으로부터 대피와 소개에 대한 선량의 최적 개입준위

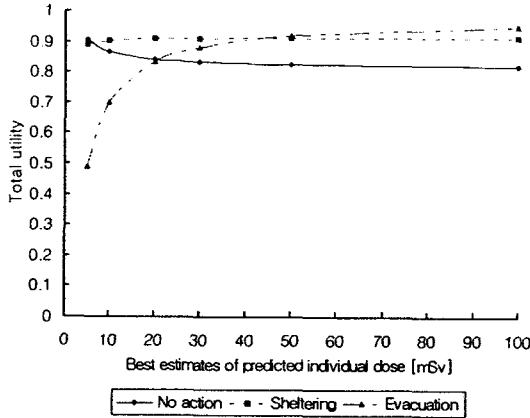


Fig. 3. Total utility as a function of best estimates of predicted individual dose.

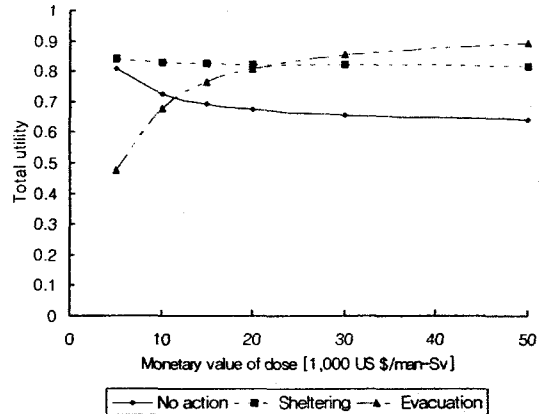


Fig. 5. Total utility as a function of monetary value of dose when different expected probabilities in dose are applied to Fig. 2.

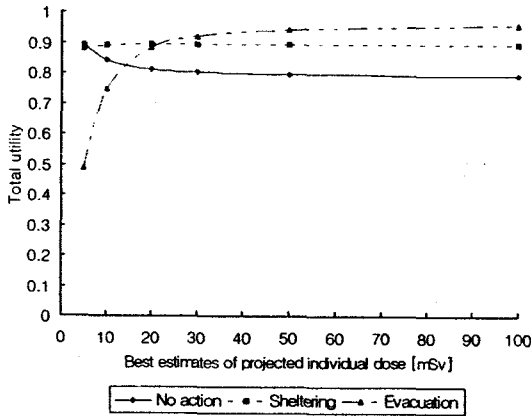


Fig. 4. Total utility of the action as a function of best estimates of predicted individual dose when a different utility function of dose is applied to Fig. 3.

($IL_{opt} = \frac{c}{\alpha}$, c : 행위 수행에 따른 금전적 비용[6])는 각각 5 mSv와 50 mSv이다. 따라서 그림 3은 비용-편익 분석법으로부터 얻어진 결과와 매우 유사한 결과를 나타낸다.

그림 4는 그림 3과 동일한 조건에서 집단선량에 대한 효용함수를 달리 주었을 때 행위에 대한 총 효용 값의 변화를 보여준다. 선량에 대한 효용함수는 집단선량의 기대 범위에서 중간 선량값에 해당하는 효용함수 값이 0.3을 갖는 2차 함수로 가정하였다. 이것은 그림 3에서 주어진 경우보다 선량에 대한 대응행위 결정권자의 회피심리가 보다 강한 경우를 나타낸다. 상대적으로 저선량인 5

mSv 이하에서는 그림 3의 결과와 마찬가지로 무대응, 대피, 소개의 순으로 총 효용 값이 높았다. 그러나 대피와 소개에 대한 총 효용 값의 순위가 바뀌는 지점에서의 선량은 대략 20 mSv로, 그림 3의 결과보다 상대적으로 낮은 선량에서 소개의 총 효용 값이 가장 높게 나타났다. 이러한 사실은 상기한 바와 같이 대응행위 결정권자의 선량에 대한 보다 높은 회피심리를 반영한다고 할 수 있다.

그림 5는 그림 2과 동일한 조건에서 아무런 대응행위를 취하지 않았을 때 예측되는 개인선량의 발생확률만을 달리 주었을 때, 선량의 금전가에 따른 행위의 총 효용 값의 변화를 보여준다. 개인선량에 대한 과소 평가치, 최적 평가치, 과대 평가치에 대한 기대확률은 각각 10%, 60%, 30%를 가정하였다. 대응행위에 대한 금전적 지불의지가 20,000 US \$/man-Sv 이하에서는 대피, 그 이상에서는 소개의 총 효용 값이 가장 높게 나타났다. 따라서 그림 2의 결과와 비교하여 개인선량의 과대 평가치에 대한 기대확률이 높을수록 행위의 우선 순위가 바뀌는 교차점에서 선량의 금전가는 보다 낮게 나타났다.

결론

원자력 시설의 사고시 환경으로 방출된 방사성 물질에 의한 초기 주민의 피해 최소화를 위한 대응행위 결정지원 방안으로 다속성 효용 분석법이 고찰되었다. 가상 사고 시나리오를 구성하여 무대응, 대피, 소개에 대해 속성의 변화에 따른 행위

에 대한 총 효용 값의 변화를 고찰하였다.

적용한 결과, 피폭선량과 선량의 금전가의 변화에 따라 행위의 총 효용 값은 뚜렷이 다르게 나타났다. 피폭선량과 선량의 금전가의 증가에 따라 대피보다 사회적 영향 등 여러 측면에서 보다 극단적인 대응행위인 소개의 총 효용 값은 증가한 반면, 무대응은 감소하였다. 선량의 기대 확률도 대응행위 결정지원에 있어서 중요한 변수로 나타났는데, 상대적으로 고선량의 기대 확률이 높을수록 행위의 우선 순위가 바뀌는 교차점에서 선량의 금전가는 보다 낮게 나타났다. 또한 선량에 대한 회피심리가 강하게 적용할수록 행위의 우선 순위가 바뀌는 선량의 교차점은 보다 낮게 나타났다.

본 연구에서 적용된 방법론 및 결과에서 알 수 있듯이 다속성 효용 분석법은 대응행위 결정권자의 주관적 의지의 반영, 비정량적 속성의 고려 등의 다양한 측면에서 비용-편익 분석법에 비해 적용에 있어서 보다 유연하다는 사실을 알 수 있다. 현 단계에서는 원자력시설의 사고시 초기 대응행위 결정지원을 위한 다속성 효용 분석법의 적용 가능성을 고찰하였으며, 향후 비정량적 속성에 대한 수학적 모델링 등에 대한 연구가 수행된다면 다속성 효용 분석법은 원자력 사고시 초기 대응행위 결정지원에 매우 유용한 수단이 될 것으로 판단한다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 시행하는 원자력연구 개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. International Commission on Radiological Protection, *Optimization and Decision-Making in Radiological Protection*, ICRP Publication 55(1989)
2. P. H. Jensen et. al, *Methodology for Justification and Optimization of Protective Measures Including a Case Study*, RISO National Laboratory, RISO-R-641(EN), Denmark(1992)
3. W. L. Ole, *Intervention Principles and Levels in the Event of a Nuclear Accident*, RISO National Laboratory, TemaNord 1995:507, The Nordic Council of Ministers,

Denmark(1994)

4. Xia Yihua, et. al., "A Decision-Support System for Off-Site Nuclear Emergencies", *Health Physics* 74(3), 387-392(1998)
5. International Commission on Radiological Protection, *Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents : Principles for Planning*, ICRP Publication 40, Revised(1992)
6. International Atomic Energy Agency, *Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency*, IAEA Safety Series No. 109(1994)