Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 20, No. 1, pp. 29-38, 2026
https://doi.org/10.23042/radin.2026.20.1.29

Original article

원자력발전소 작업종사자 금전계수 산출 방법론 수립을 위한 국내외 관련 연구 및 방법론 고찰

라현준[1] · 김정인[1,*]

[1]한국수력원자력㈜ 방사선보건원

Review of International Related Research and Methodologies for Establishing a Monetary Value Development Methodology for NPP Workers

Hyun Jun Na[1] and Jeong In Kim[1,*]

[1]Radiation Health Institute, Korea Hydro & Nuclear Power, 38 Seosomun-ro Jung-gu Seoul 04505, Republic of Korea

ABSTRACT The monetary value is a key parameter in optimization of radiation protection, serving as a tool to convert the benefits of radiation protective measures into monetary terms within cost-benefit analysis frameworks. Because the monetary value is influenced by factors such as loss of life expectancy, income level, and price indices, its derivation should reflect both established methodologies and the specific socio-economic and operational conditions of nuclear power plants in Korea. This study reviewed nine representative international cases on the derivation of monetary values, including those conducted by organizations such as the IAEA and the NRC. In addition, the practical application status was examined through an analysis of ISOE reports based on surveys of nuclear power plant operators and regulatory authorities. The reviewed methodologies were broadly classified into the HC approach and the WTP/WTA approaches. From a modeling perspective, studies were further categorized according to whether they adopted the age-dependent exponential function model proposed in CEPN. While several CEPN-based research applied an exponential coefficient structure, others, including those by KINS and KHNP-RHI, employed a stepwise approach assigning fixed monetary values to predefined dose intervals. In these cases, HC or WTP methods were used to determine the baseline monetary value (α_0). As of 2017, only approximately 17% of regulatory authorities formally applied or recommended monetary values in radiation protection optimization, whereas about 80% of surveyed nuclear power plant units were found to use them in practice. Operators adopted either a single value or dose-dependent ranges, with substantial variation among organizations. Internationally, WTP/WTA-based approaches are generally regarded as more appropriate than HC-based methods. These findings provide a foundation for developing a methodology tailored to the Korean nuclear power plant operating environment.

Key words: Optimiztion of radiation protection, Monetary value, Human Capital, Willingness to Pay, Willingness to Accept

1. 서 론

국제방사선방호위원회(ICRP, International Commission on Radiological Protection)에서는 방사선방호를 위하여 세 가지 기본원칙인 정당화, 최적화, 선량한도를 제시하였다[9]. 이 중 최적화 원칙은 방사선 피폭 발생 가능성, 피폭자 수 및 개인선량 크기는 경제적, 사회적 인자를 고려해 합리적으로 달성할 수 있는 범위에서 낮게 유지되어야 한다는 원칙이다. 방사선방호 최적화는 다양한 방호방안의 효과를 정량적으로 비교 및 평가하고, 방사선량 감축의 합리성을 판단하는 의사결정을 통해 달성된다. 합리적 의사결정을 위해 비용편익분석 등의 다양한 의사결정 지원기법이 수립되었다. 비용편익분석은 방호비용과 다른 편익들을 비용으로 환산하여 합계비용이 최소가 되는 방안을 선정하는 접근법이다. 비용편익분석에서는 방호방안의 이익을 비용과 비교가능하도록

ISSN 1976-2402 **http://www.ksri.kr/**

Copyright© 2026 by Korean Society of Radiation Industry

***Corresponding author:** Jeong In Kim
Tel: +82-2-6106-4631, E-mail: kim.jeongin@khnp.co.kr

Received 15 December 2025 **Revised** 11 March 2026 **Accepted** 11 March 2026

금전적 가치로 환산하는 지표인 금전계수가 필요하다.

금전계수는 방사선방호 최적화 보조수단으로 다양한 국가의 규제기관 및 원자력발전소 사업자들 사이에서 사용되고 있다. 국제적으로는 미국원자력규제위원회(NRC, Nuclear Regulatory Commission) 등의 규제기관과 프랑스 전력공사(EDF, Électricité de France) 등의 사업자가 정책/사업 결정의 전략적 근거로 폭넓게 사용해왔다. 산출 접근법으로는 인간의 경제가치 근거법(HC, Human Capital), 투자의지 근거법(WTP, Willingness to Pay), 보상의지 근거법(WTA, Willingness to Accept), 법정 배상 근거법 등이 있다[8]. HC 접근은 한 개인이 방사선 피폭으로 인한 기대수명 손실분의 미래의 잠재적인 생산을 고려하여 금전가치를 산정하는 접근법이다. WTP 접근은 방사선 피폭의 위험을 경감하기 위해 얼마나 많은 재화를 투자할 수 있는가에 대해 여론조사를 통해 평가하는 접근법이다. WTA 접근은 WTP와 유사하지만 위험 또는 손실을 수용하기 위해 요구되는 보상금을 평가하는 접근법이다. 법정 배상 근거법은 직업상 죽음에 대해 법정에서 판정하는 배상금을 바탕으로 평가하는 접근법이다. 이러한 접근법은 금전계수의 산정 논리를 규정하는 방법론에 해당하며, 실제 운용단계에서는 방사선량 수준을 반영하는 적용 모형이 함께 고려될 수 있다. 이에 따라 금전계수 운용단계에서 피폭자 혹은 집단의 방사선량 수준에 따라 금전가치를 체계적으로 증액하는 가중모형이 CEPN을 통해 제시되었다[2,17,21]. 이는 방사선량 증가에 따른 사회적 위험 인식과 방호비용의 비선형적 증가를 반영하기 위한 함수형 구조로, 고선량 영역에서 보다 보수적인 방호 의사결정을 유도하기 위함이다. α_0는 기본 금전계수이며 d는 방사선량 준위, d_0는 그 이하에서는 기본 금전계수 값이 적용되는 기준 방사선량, a는 방사선량에 대한 위험 방사선회피계수이다.

$$\alpha = \alpha_0 \times \left(\frac{d}{d_0}\right)^a$$

상기 다양한 접근법 및 모형에서 확인할 수 있듯이, 금전계수는 기대수명 손실, 소득, 기준연도, 물가, 환율, 방사선 피폭에 대한 자발성/공포 수준 등에 따라 값의 수준과 범위가 다양하게 나타날 수 있다. 국내의 경우 한국수력원자력 등의 기관에서 금전계수를 산출한 바 있지만 다양한 인자에 영향을 받는 금전계수 특성상 최신 국내외 환경을 반영하여 금전계수를 산출할 필요가 있다. 그리고 이를 위한 금전계수 산출 방법론 개발이 선행되어야 한다. 이를 위해서는 국내외 선행 연구사례를 체계적으로 분석하여 실무에서의 적용성을 제고할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 국내 원자력발전소 작업환경에 맞는 금전계수 산출을 위해 국내·외 금전계수 산출 연구 사례 및 사용 현황을 조사·분석하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 국내·외 금전계수 산출 연구 사례를 조사, 분석하였다. 조사 대상 연구로는 IAEA, NRC, CEPN-FUCAM, Sahlgrenska Academy, Veszprém 대학교, CIRP, JAEA, KINS, KHNP-RHI에서 수행한 금전계수 산출 연구를 선정하였다. 그리고 해당 연구들에 대해 산출대상, 산출 방법론, 금전계수 산출 값 등에 대해 분석하였다. 그리고 ISOE에서 주기적으로 원자력발전소 사업자 및 규제기관에 설문하여 조사한 금전계수 사용 현황에 대해서도 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 금전계수 산출 연구사례 조사

3.1.1. 국제원자력기구(IAEA)

IAEA (International Atomic Energy Agency)에서는 HC 접근법을 사용하여 일반인에 대해 금전계수를 산출 및 제시하였다[5]. IAEA에서는 1 man·Sv 피폭 시 평균 수명 손실 및 그로 인한 경제적 손해를 계산하여 금전계수를 산출하였다. 해당 연구에서는 1 man·Sv 피폭 시 평균 수명 손실에 국민 1인당 국민총생산(GNP)를 곱하고 비치사성 암에 대한 단위 집단선량당 추가 의료비용을 고려하는 방법론을 제시하였다. 1 man·Sv에 대한 평균수명 손실은 위험도와 예상 수명 손실분을 곱하여 0.43 yr man·Sv^{-1}로 산출하였다. 해당 과정에서 피폭에 의한 치사성 암에 의한 평균 수명감소는 15 yr, 심각한 유전장해 효과에 의한 평균 수명 감소는 30 yr, 치사성 암의 위험도는 1.25×10^2 man·Sv^{-1}, 피폭된 사람의 후손에게 나타나는 유전장해의 위험도는 0.8×10^2 man·Sv^{-1}로 가정하였다. IAEA에서는 해당 방법론을 바탕으로 국가별 0.260-12.7 $ man·mSv^{-1}을 제시하였으며 방사선피폭의 객관적 손해 비용 최솟값으로 3 $ man·mSv^{-1}를 제시하였다.

3.1.2. 미국원자력규제위원회(NRC)

미국의 NRC에서는 1995년 WTP를 사용하여 일반인에 대해 금전계수를 산출하였다[26]. NRC에서는 WTP를 사용하여 통계적 생명가치(VSL, Value of Statistical Life)를 산출하고 해당 수치에 명목위험계수를 곱하여 금전계수를 산출하였다. VSL은 개인이 특정 위험을 피하기 위하여 사회구성원들이 함께 지불하고자 하는 용의가 있는 금액에 해당한다. NRC에서는 WTP를 사용하여 VSL을 선정한 선행 연구들을 분석하여 VSL값으로 3,000,000 $을 선정하였다. 그리고 ICRP 60 문헌에서 제시하는 명목위험계수 7.3×10^{-2} Sv^{-1}을 고려하여 금전계수를 200 $

man · mSv^{-1} (2,000 $ Person · rem^{-1})으로 산출하였다[8]. 그리고 2022년 WTP를 사용하여 일반인에 대해 금전계수를 재산출하였다[27]. VSL은 WTP를 사용하여 VSL값을 확립한 미국 환경보호청(EPA, Environmental Protection Agency), 미국 운수부(DOT, Department of Transportation)의 값을 벤치마킹하여 평균값인 9,000,000 $을 차용하였다. 명목위험계수는 ICRP 103 문헌에서 제시한 5.7×10^{-2} Sv^{-1}을 고려하여 금전계수를 2014년 기준 520 $ man · mSv^{-1} (5,200 $ Person · rem^{-1})으로 산출하였다[10]. 그리고 민감도가 낮고 높은 환경에서 각각 260 $ man · mSv^{-1} (2,600 $ Person · rem^{-1}), 780 $ man · mSv^{-1} (7,800 $ Person · rem^{-1})을 별도로 산출하였다. 계산한 수치에서 유효숫자 2자리만을 표기하여 표준화된 표기 규칙 또한 제시하였다.

3.1.3. 프랑스 원자력 및 평가센터(CEPN) 및 벨기에 FUCAM

프랑스 CEPN (Centre d'étude sur l'Evaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire)과 벨기에 FUCAM (Facultés Universitaires Catholiques de Mons)에서는 1999년 HC, WTP 접근법을 사용하여 일반인 및 작업종사자에 대해 금전계수를 산출하였다[20]. CEPN-FUCAM에서는 HC, WTP를 사용하여 기본 금전계수 α_0를 산정하고 가중치를 곱하여 금전계수를 산출하였다. HC 접근법에서는 방사선피폭으로 인한 추정 수명손실 16 yr, 1년당 GDP 135 KF, 명목위험계수 7.3×10^{-2} Sv^{-1}를 곱하여 α_0를 160 KF man · Sv^{-1}로 산출하였다. WTP 접근법에서는 작업종사자 설문으로 도출된 VSL인 3 MF와 명목위험계수 7.3×10^{-2} Sv^{-1}를 곱하여 α_0를 220 KF man · Sv^{-1}로 산출하였다. 가중치는 일반인과 작업종사자의 방사선 피폭에 대한 보상의사인 WTP의 비율을 기대효용(EU, Expected Utility) 및 듀얼이론(DT, Dual Theory) 모형을 바탕으로 산정하였다. 작업종사자가 방사선 피폭으로 인해 입는 손실에 대한 보상률을 50%로 가정할 때 일반인/작업종사자 WTP 비가 약 2-2.9배로 나타났다. 그리고 작업종사자 보상률을 75%로 가정할 때 일반인/작업종사자 WTP 비가 약 4-6.6배로 나타났다. 이를 반영해 가중치를 3 · 5 · 6으로 계산하였고 금전계수는 0.5-1.3 MF man · Sv^{-1}범위로 산출하였다.

3.1.4. 스웨덴 Sahlgrenska Academy

스웨덴 Sahlgrenska Academy에서는 2024년 WTP/WTA를 사용하여 의료방사선 작업종사자에 대해 금전계수를 산출하였다[3]. Sahlgrenska Academy에서는 VSL에 ICRP 103 문헌에서 성인(18-64세)에 대하여 제시하는 명목위험계수 4.2×10^{-2} Sv^{-1}를 곱하고, 세금 징수로 인한 경제적 비용인 EBT (Excess Burden of Taxes) 1.3으로 나누어 금전계수를 산출하였다. 해당 연구에서는 VSL 도출을 위하여 의료방사선 작업종사자에 대하여 설문조사를 실시하였다. 설문지는 16개 항목으로 구성되었으며 파일럿 테스트 후 스웨덴 베스트라예탈란드(Västra Götaland) 주의 의료방사선 종사자 4,680명을 대상으로 이메일 설문조사를 수행했다. 설문조사의 응답자는 718명으로 응답률은 15%이었다. 가정 내 라돈위험 감소에 대한 WTP, 업무 중 X-ray 피폭방사선량 증가에 대한 WTA 보상에 대한 설문을 하였으며 개별응답의 지불액을 위험감소로 나누어 VSL을 각각 계산하였다. 그리고 각각 VSL의 중간값으로 50,000,000 $, 금전계수는 2,100 $ person · mSv^{-1} (EBT를 고려한 경우 1,600 $ person · mSv^{-1})으로 산출하였다.

3.1.5. 헝가리 Veszprém 대학교

헝가리 Veszprém 대학교 연구진은 2001-2003년에 WTP 접근법을 사용하여 일반인 및 작업종사자에 대해 금전계수를 산출하였다[18,19,25]. 연구진은 CEPN의 산출 모형을 사용하여 기준값인 α_0에 방사선회피계수 a를 고려하는 함수형 모형을 채택하였다. WTP 접근법을 이용하여 직접설문을 통해 VSL을 도출하였다. 일반인에 대해서는 우라늄 광산 인근, Paks 원자력발전소 인근, Paks 원자력발전소에서 40-60 km 거리의 지역 2곳, 총 4개 지역의 주민 118명을 대상으로 방사선 피폭에 대한 위험 감소 1×10^{-4}, 2×10^{-4}, 5×10^{-4}, 10×10^{-4}에 대한 지불의사를 조사하였다[25]. 사용 가능한 응답은 약 72%였으며 VSL = WTP / ΔP를 이용하여 VSL을 계산하였다. VSL에 ICRP 60의 일반인에 대한 명목위험계수 7.3×10^{-2} Sv^{-1}를 곱하여 α_0를 약 12,000 € person · Sv^{-1} (중앙, 95% 범위 860-280,000 € man · Sv^{-1})로 산출하였다. 방사선회피계수 a는 집단선량의 총량은 같게 유지하되 개인선량 분포만 다른 두 대안에 대해 선호를 묻는 설문문항을 통해서 일반인에 대해 2.5로 산출했다. d_0는 0.5 mSv, 2 mSv를 가정하여 민감도 평가를 수행하였다. 별도의 d_0을 제시하지는 않고 상황에 맞게 적절한 d_0를 선택해야 함을 제시하였다. 민감도평가에 사용된 0.5 mSv는 일반인을 대상으로한 저선량의 환경에서 사용할 것을, 2 mSv는 상대적으로 높은 방사선량을 다루는 상황에서 사용할 것을 예시로 나타내었다. 작업종사자에 대해서는 동일한 절차를 통해 WTP 접근법을 통해 VSL을 도출하였다[18]. 연구진은 Paks 원자력발전소 작업종사자 36명, 방사선방호 연구자 16명, 방사선방호 관리자 19명, 총 71명을 대상으로 설문을 진행하여 VSL을 계산하였다. VSL에 작업종사자 명목위험계수 5.6×10^{-2} Sv^{-1}를 곱하여 1999년 기준 α_0를 약 6,200 $ man · Sv^{-1}로 산출하였다. 방사선회피계수 a는 1.86으로 산정하여 고선량 구간일 수록 피폭선량 절감에 더 높은 가치를 부여하도록 하였다[19]. d_0는 1 mSv로 가정하였다.

KF는 thousand French francs, MF는 million French francs를 의미하며, 본 연구는 1999년 프랑스 프랑(FRF)을 기준으로 산정된 값을 인용하였음

3.1.6. 중국방사선방호연구원(CIRP)

중국의 CIRP (China Institute for Radiation Protection)에서는 2019년 HC, 보상액 기반, WTP/WTA 접근법을 사용하여 작업종사자에 대해 금전계수를 산출하였다[15]. CIRP에서는 CEPN의 산출 모형을 사용하여 기준값인 α_0에 방사선회피계수 a를 고려하는 함수형 모형을 채택하였다. 해당 방법론의 식을 아래와 같이 나타내었다. 방사선회피계수 a는 선행연구를 고려하여 방사선량 수준별로 1 (0-1 mSv), 1.2 (1-5 mSv), 1.6 (5-15 mSv), 1.75 (15-50 mSv) 값을 사용하였다[1]. α_0는 1) HC 기반, 2) 보상액 기반, 3) WTP/WTA 기반으로 구하였다. 해당 방법에 대한 식을 아래와 같이 나타내었다. HC기반으로는 IAEA SRS No.21의 방법론을 적용하여 1인당 GDP, 방사선으로 줄일 수 있는 평균 생애손실 16 yr, 명목위험계수 5.6×10^{-2} Sv^{-1}을 고려하여 7,700 \$ man · Sv^{-1}으로 산출하였다[6]. 보상액 기반 접근법에서는 중국의 사망 1건의 보상보험금을 고려하여 α_0를 10,800 \$ man · Sv^{-1}으로 산출하였다. WTP/WTA 기반 접근법에서는 중국 내 노동시장 추정으로 기산출되었던 VSL 38,544,000 RMB에 평균 생애손실 16 yr, 명목위험계수 5.6×10^{-2} Sv^{-1}를 곱하고 기대 수명으로 나누어 WTA 기반 α_0 94,600 \$ man · Sv^{-1} (458,000 RMB person · Sv^{-1}), WTP 13,600 \$ man · Sv^{-1} (66,000 RMB person · Sv^{-1}) (WTP=WTA/7 적용)을 산출하였다(2012년 기준)[16]. 그러나 연구진은 HC 기반 산출값은 방사선의 건강영향에 따른 비용을 충분히 반영하지 못해 과소추정되는 하한값이며, 국제적으로 제시되는 금전계수 수준과 비교했을 때 상대적으로 낮은 값으로 판단하였다[7]. 이에 따라 HC 기반 산출값인 7,700 \$ man · Sv^{-1}는 금전계수 산출값에서 제외되었으며, 최종적으로 CIRP에서는 세 가지 방법을 종합하여 α_0를 14,000-95,000 \$ man · Sv^{-1}로 제시하였다.

3.1.7. 일본원자력기구(JAEA)

일본의 JAEA (Japan Atomic Energy Agency)에서는 2013년에 HC, WTP접근법과 CEPN 모형을 사용하여 일반인 및 작업종사자를 대상으로 금전계수를 산출하였다[24]. JAEA에서는 CEPN의 산출 모형을 사용하여 기준값인 α_0에 방사선회피계수 a를 고려하는 함수형 모형을 채택하였다. 기준 방사선량 d_0, 방사선회피계수 a는 일반인에 대하여 d_0=0.2 mSv, a=2-3. 작업종사자에 대하여 d_0=1 mSv, a=1.2-2로 제시하였다. α_0는 HC, WTP 접근법을 사용하여 산출하였다. HC 접근법에서는 IAEA의 연구사례를 바탕으로 일반인, 작업종사자에 대하여 각각 5.88 M¥ person · Sv^{-1}, 4.67 M¥ person · Sv^{-1}를 산출하였다. WTP 접근법에서는 과거 일본의 연구사례의 VSL 값을 검토하여 중간값 3.86억 ¥에 명목위험계수를 곱하여 일반인 2,040만 ¥ person · Sv^{-1}, 작업종사자 1,830 ¥ person · Sv^{-1}를 산출하였다. 명목위험계수는 EPA 접근법을 바탕(일본의 인구, 연령구조 반영)으로 일반인에 대하여 산출된 0.053 Sv^{-1}, 0.0475 Sv^{-1}를 적용하였다[4].

3.1.8. 한국원자력안전기술원(KINS)

한국의 KINS (Korea Institute of Nuclear Safety)에서는 2009년 HC 접근법을 사용하여 작업종사자에 대해 금전계수를 산출하였다[23]. KINS에서는 CEPN 산출 모형을 기반으로 하되 연속지수형이 아닌 단계함수형태를 채택하였다. 한국의 작업종사자 방사선량 분포를 분석하여 0-1, 1-5, 5-10, 10 mSv 이상의 4개의 구간으로 구분하였다. 각각의 구간에 대하여 선행 연구를 참조해 방사선회피계수 a를 1, 1.4, 1.5, 1.7로 설정하였다. 방사선 피폭으로 인한 평균수명손실 18.6 yr (국민의 평균 수명 78.6-60세), 명목위험계수 5.6×10^{-2} Sv^{-1}, 2005년 기준 한국 국민의 실질 GDP 16,449 \$를 곱하여 1 mSv 이하에서의 금전계수로 17.04 \$ man · mSv^{-1}를 구하였다. 그리고 CEPN 산출 모형과 방사선회피계수를 이용하여 금전계수 79.32 (1-5 mSv), 350.01 (5-10 mSv), 1,701.62 \$ man · mSv^{-1} (10 mSv 이상)으로 산출하였다. 일반적인 방사선 관련 작업, 원자력발전소 계획정비 작업은 1-5 mSv, 값을, 원자력발전소종사자의 계획정비 작업중 증기발생기 튜빙과 관련된 작업은 10 mSv 이상을 사용할 것을 제시하였다. 비파괴 관련 작업은 일반적으로는 1-5 mSv, 난이도와 위험도에 따라 5-10 mSv를 사용할 것을 제시하였다. 그리고 명목 GDP를 사용한 값으로는 19.03, 88.61, 390.96, 1,900.71 \$ man · mSv^{-1}를 제시하였다. 명목 GDP는 인플레이션을 반여하기 때문에 약 10% 높은 값으로 나타났다. 해당 연구에서는 명목 GDP를 이용한 계산은 최적의 방사선방호를 왜곡함을 언급하였다.

3.1.9. 한국수력원자력 방사선보건원(KHNP-RHI)

한국의 KHNP-RHI (Korea Hydro & Nuclear Power-Radiation Health Institute)에서는 2012년에 HC를 사용하여 원자력발전소 작업종사자를 대상으로 금전가를 산출하였다[1,28-30]. 연구진은 CEPN 산출 모형을 기반으로 하되 연속지수형이 아닌 단계함수형태를 채택하였다. 방사선 피폭으로 인한 평균수명손실 19.4 yr (국민의 평균 수명 79.4-60세), ICRP 103 명목위험계수 4.2×10^{-2} Sv^{-1}, 전기직종 평균연봉 56,000 \$를 곱하여 α_0로 45.6 \$ mSv^{-1}를 구하였다. 방사선회피계수 a를 산출하기 위해 한국의 원자력발전소 사업소 10개(고리 1 · 2, 영광 1 · 2, · 3, 울진 1 · 2, · 3, 월성 1 · 2)의 작업종사자 2,157명에 대하여 설문조사를 실시하였다. 작업 시 1, 3, 8, 15, 20 mSv 이상의 방사선량 일시적 또는 장기적인 피폭경험의 유무에 따라 느끼는 심정, 방사선 방호 조치 및 법적 선량한도 보호조치 없이 또는 보호조치 후 일상적으로 방사선에 노출될 경우 선량률로 인해 느끼게 될 심정 등을 조사하고 이를 이용하여 방사선회피계수 a를 구하였다. 방사선회피계수 a는 방사선량 구간별로 1.26 (0-1 mSv), 1.38 (1-5 mSv), 1.52 (5-10 mSv), 1.65 (10-20 mSv), 1.74 (20 mSv 초과)로 나타났다. 기준선량 d_0는 일반인에 대한 선량한도인 1 mSv yr^{-1}을 적용하였으며 이에 따른 금전가는 46 \$ (0-1 mSv), 210 \$ (1-5 mSv),

Table 1. Comparison of international research on calculating the monetary value

Coutry/Utility	Target	Year	Method	Specific Method	Monetary values of the collective dose (in $\$_{2025}$ man · mSv)
IAEA	Public	1985	HC	0.43 yr man · Sv^{-1} × GNP yr^{-1} + C	0.260-12.7 \$ man · mSv^{-1} (Min 3 \$ man · mSv^{-1})
USA/NRC	Public	1995	WTP	VSL × RC	200 \$ man · mSv^{-1}
		2022	WTP	VSL × RC	520 \$ man · mSv^{-1}(260-780)
France-Belgium/ CEPN-FUCAM	Public/ Workers	1999	HC WTP	Public: α_0 (16 yr × GDP × RC) × weight (3,5,6) Workers: α_0 (VSL × RC) × weight (3,5,6)	89.5-232.7 \$ man · mSv^{-1}
Sweden/ Sahlgrenska Academy	Workers	2024	WTP/WTA	VSL × RC/EBT	2,100 \$ man · mSv^{-1}
Hungary/ Veszprém University	Public Workers	2001	WTP	α_0 = VSL × RC[a]	Public α_0: 14 \$ man · mSv^{-1} Workers α_0: 6.2 \$ man · mSv^{-1}
China/CIRP	Workers	2019	HC Compensation amount based WTP/WTA	α_0 = 16 yr × GDP × RC[a] Considering compensation insurance for one death[a] α_0 = VSL ×16 yr × RC / Life expectancy[a]	α_0: 14-95 \$ man · mSv^{-1}
Japan/JAEA	Public/ Workers	2013	HC WTP	0.43 yr man-Sv^{-1} × GNP yr^{-1} + C[a] VSL × RC	Public α_0: 37.7 \$ man · mSv^{-1}, Workers α_0: 30\$ man · mSv^{-1} Public: 130.9 \$ man · mSv^{-1}, Workers 117.4 \$ man · mSv^{-1}
Korea/KINS	Workers	2009	HC	α_0 = 18.6 yr × GDP × RC[b]	17.04 \$ man · mSv^{-1} (0-1 mSv) 79.32 \$ man · mSv^{-1} (1-5 mSv) 350.01 \$ man · mSv^{-1} (5-10 mSv) 1,701.62 \$ man · mSv^{-1} (10 mSv and ≤)
Korea/KHNP-RHI	Workers	2010	HC	α_0 = 19.4 yr × Average annual salary for electrical workers × RC	46 \$ (0-1 mSv) 210 \$ (1-5 mSv) 1,075 \$ (5-10 mSv) 3,977 \$ (10-20 mSv) 8,370 \$ (20 mSv <)

[a]Based on $\alpha(d)=\alpha_0(d/d_0)^a$
[b]Step function form based on $\alpha(d)=\alpha_0(d/d_0)^a$

1,075 \$ (5-10 mSv), 3,977 \$ (10-20 mSv), 8,370 \$ (20 mSv 초과)으로 나타났다. 원자력발전소 작업종사자중 원자력발전소 내 정비작업을 가장 기피하는 응답자에 대하여 금전계수를 별도로 산정한 결과는 46 \$ (0-1 mSv), 231 \$ (1-5 mSv), 1,308 \$ (5-10 mSv), 4,719 \$ (10-20 mSv), 9,808 \$ (20 mSv 초과)로 나타났다.

3.2. 금전계수 산출 연구사례 분석

Table 1에 본 연구에서 조사한 금전계수 산출 연구사례를 정리하여 나타내었다. 해당 Table에 연구기관별 연구대상, 기준년도, 산출 접근법, 산출 모형, 금전계수 산출 값을 정리하였다. 금전계수 산출 값은 연구사례별로 기준년도와 사용화폐가 상이하였기 때문에 2025년 기준 환율을 이용하여 단위를 통일하였으며 물가상승률은 고려하지 않았다. 산출 접근법으로는 크게 HC, WTP/WTA로 구분할 수 있었고 법정 배상 근거법을 사용한 연구사례 또한 중국의 CIRP에서 확인할 수 있었다. 산출방법은 크게 CEPN 산출 모형 기반의 연속지수형 함수 모형을 사용하는지의 여부에 따라 구분할 수 있었다. CEPN 산출 모형을 사용하는 경우 HC, WTP 등의 접근법을 사용하여 기본 금전계수 α_0를 산정하고 방사선량에 따라서 지수적으로 금전계수가 상승하는 모형을 제시하였다. KINS, KHNP-RHI에서는 CEPN 산출 모형을 사용하였지만 단계함수형태를 채택함으로써 방사선량 구간별로 특정 금전계수, 금전가를 제시하였다. CEPN 함수 모형을 차용하지 않은 연구기관 중에서는 NRC, Sahlgrenska Academy에서는 WTP 접근법을 사용하여 단일값을 제시하였다. CEPN-FUCAM에서는 HC, WTP를 사용하고 경우의 수마다 가중치를 두고 범위값을 두어 상황별로 적절한 금전계수 값을 선택할 수 있게 하였다. CIRP,

Table 2. Comparison of international research on calculating the VSL

Coutry/Utility	Target	Year	Method	Data source	VSL (Original text)	VSL (in $\$_{2025}$)
NRC	Public	1995	WTP literature review	Review of numerous WTP studies, including those related to industrial safety and transportation, and selection of median values.	3,000,000 $	3,000,000 $
		2022	Federal Agency benchmarking	Officially citing the policy VSL of EPA (8.7 M$) and DOT (9.3 M$) (2014), adopting a simple average of 9.0 M$	9,000,000 $	9,000,000 $
CEPN-FUCAM	Public/ Workers	1999	CVM survey	Obtaining individual WTP and Δp from a CVM survey of nuclear workers (including multiple scenarios and compensation rate assumptions) VSL=WTP/Δp	3,000,000 F	536,903 $
Sahlgrenska Academy	Workers	2024	CVM survey	Conducted an email survey of medical radiation workers (4,680 surveys, 718 responses). Calculated individual VSLs for household radon and occupational X-ray exposure, and adopted the median VSL=WTP/Δp, WTA/Δp	50,000,000 $	50,000,000 $
Veszprém University	Public/ Workers	2001	CVM survey	Conduct a direct survey of public and workers (WTP, risk reduction. etc.) to calculate individual VSL and then present the median value	164,000 € (Public)[a] 110,650 $ (Worker)[a]	177,120 $ (Public)[a] 110,650 $ (Worker)[a]
CIRP	Workers	2019	Chinese prior research review	The VSL literature value based on Chinese labor market estimates and surveys The WTA pathway uses the literature value for compensatory willingness to pay	38,544,000 RMB (WTA) 5,506,300 RMB (WTA)	5,400,000 $ (WTA) 770,000 $ (WTA)
JAEA	Public Workers	2013	8 japanese prior research review	Compiled a database of 8 japanese WTP studies, calculating a median	389,000,000 ¥	2,496,469 $

[a]The value was not explicitly reported in the original study and was estimated in this study.

JAEA에서는 CEPN 산출 모형을 사용했지만 기본 금전계수 α_0를 산정하는 과정에서 다양한 접근법을 사용해 다양한 α_0를 산정하였고, JAEA에서는 일반인과 작업종사자에 따라 구분하여 α_0를 산정하였다.

제시된 금전계수 값은 연구사례마다 상당한 차이를 보인다. 이러한 차이는 주로 적용된 산출 접근법, 사용된 입력 변수, 그리고 각 국가의 경제적·사회적 조건 등의 차이에 의해 발생하는 것으로 볼 수 있다. 우선 금전계수 산정에 사용된 접근법에 따라 결과값의 규모가 달라질 수 있다. HC 접근법은 방사선 피폭으로 인해 발생하는 기대수명 손실을 미래 생산손실의 관점에서 평가하는 방식이다. 해당 접근법은 일반적으로 1인당 GDP(혹은 GNP), 평균임금에 기대수명 손실과 명목위험계수를 곱하고 필요한 경우 비치사성 암에 대한 의료비용을 고려하였다. 따라서 HC 접근법에서는 경제활동에 따른 생산가치가 주요 평가 대상이 되며, 소득 수준이 높은 국가일수록 금전계수가 상대적으로 크게 나타나는 경향이 있다. 반면 WTP/WTA 접근법은 위험 감소에 대해 개인 또는 사회가 지불할 의사가 있는 금액을 기반으로 금전가치를 평가한다. 해당 접근법은 일반적으로 VSL을 구해 명목위험계수를 곱했고 경우에 따라 EBT, 기대수명 등으로 나누었다. WTP/WTA 접근법은 생산손실 뿐만 아니라 위험 회피 성향, 삶의 질, 불안 감소 등 비시장적 가치까지 반영하기 때문에 일반적으로 HC 접근법보다 더 큰 금전계수를 산출하는 경향이 있다. 그리고 금전계수 산정에 사용된 명목위험계수 등의 주요 입력 변수의 차이 역시 결과 값의 차이를 유발하는 중요한 요인이다. 연구마다 금전계수를 단일값, 방사선량 구간별 값, 함수형태로 제시하는 등 형식이 상이하여 직접적인 정량 비교에는 한계가 있다.

Table 2에 연구사례별 VSL 산정 접근법을 분석하여 나타내었다. 해당 Table에 VSL 산정 방식, VSL 값등을 나타내었다. 해당 값의 원문값과 2025년도 환율을 반영하여 단위를 통일하였으며 연도에 따른 물가상승률은 고려하지 않았다. VSL은 크게 두가지 방식을 통해 선정하였다. 선정방식은 설문조사를 통해 조사대상이 방사선피폭을 줄이기 위해 지불 혹은 보상받고 싶은 금액을 조사하여 산출 혹은 유사 연구사례 조사를 통해서 산출한 것으로 나타났다. 설문조사를 이용한 연구사례로는 CEPN-FUCAM, Veszprém 대학교가 조사되었다. 두 연구 모두 조건부가치측정(CVM, Contigent Valuation Method) 설문으로 산출한 WTP를

Table 3. Comparison of international research on calculating the aversion factor, baseline dose, alpha base value

Coutry/Utility	Target	Year	Model	Aversion factor	Baseline dose (d_0)	Alpha base value of the collective dose (in $\$_{2025}$ man · mSv^{-1})
Veszprém University	Public Workers	2001	Continuous exponential	Public: 2.5 (±0.56) Workers: 1.86	0.5 or 2 mSv	Public: 14 \$ man · mSv^{-1} Workers 6.2 \$ man · mSv^{-1}
China/CIRP	Workers	2019	Continuous exponential	1 (0-1 mSv) 1.2 (1-5 mSv) 1.6 (5-15 mSv) 1.75 (15-50 mSv)	-[a]	14-95 \$ man · mSv^{-1}
Japan/JAEA	Public/Workers	2013	Continuous exponential	Public: 2 or 3 Workers: 1.2 or 2	Public: 0.2 mSv Workers:1 mSv	Public: 37.7 \$ man · mSv^{-1} Workers: 30 \$ man · mSv^{-1}
Korea/KINS	Workers	2009	Step function	1 (0-1 mSv) 1.4 (1-5 mSv) 1.5 (5-10 mSv) 1.7 (10 mSv and above)	-[a]	-[a]
Korea/ KHNP-RHI	Workers	2010	Step function	1.26 (0-1 mSv) 1.38 (1-5 mSv) 1.52 (5-10 mSv) 1.65 (10-20 mSv) 1.74 (20 mSv <)	1 mSv	45.6 \$ mSv^{-1}

[a]It is recommended to set it according to the situation without specifying it clearly.

위험감소율로 나누어 VSL을 얻은 뒤, 이를 명목위험계수와 결합하여 α_0를 산정하였다. 스웨덴 Sahlgrenska Academy에서는 설문조사를 통해 라돈 WTP와 업무 중 X-ray 피폭에 의한 WTA를 동시에 수집해 개별 응답별 VSL을 산출하고, 중앙값을 선택했다. NRC, CIRP, JAEA에서는 기존의 WTP 연구, 자국의 VSL 문헌값 등을 정리, 분석하여 인용하였다. VSL 값은 약 536,000-9,000,000 \$으로 나타났고 일부 연구에서는 VSL 값을 직접적으로 나타내지 않았기 때문에 일부 추정하여 Table 2에 제시하였다. 제시된 VSL 값은 연구사례마다 상당한 차이를 보인다. 이러한 차이는 주로 VSL 산정 방법론과 사용된 자료의 특성에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 설문 기반 접근법의 경우 응답자의 위험 인식과 위험 회피 성향이 반영되기 때문에 유사 연구사례 조사를 통해 산정한 VSL 값보다 더 큰 값이 산출될 수 있다. 그리고 연구가 수행된 기준 연도와 국가별 경제적 수준 역시 VSL에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 VSL 값의 차이는 적용된 산출 방법론, 사용된 자료의 특성, 그리고 연구 수행 시기의 차이가 복합적으로 반영된 결과로 해석할 수 있다.

Table 3에 CEPN 산출 모형을 이용하여 금전계수를 산출한 연구들의 방사선회피계수, d_0, α_0를 정리하여 나타내었다. 방사선회피계수 a를 산정한 방법으로는 크게 설문조사를 통해 산출하거나 선행연구 분석을 통해 선정한 방식으로 구분할 수 있다. Veszprém 대학교에서는 작업종사자와 일반인에 대하여 설문조사를 하여 각각에 대해 별도의 a값을 산출하였다. KHNP-RHI에서는 설문조사를 통해 작업종사자에 대해 방사선 피폭 시 심정등을 조사해 a값을 산출하였다. CIRP에서는 별도의 a값을 선정하지는 않았으며 상황별로 0-50 범위 내에서 선정해야 함을 제시하였다. JAEA에서는 선행 연구를 바탕으로 일반인, 작업종사자에 따라 a값을 별도로 선정하였다. d_0에 대해 KINS, KHNP-RHI에서는 일반인 선량한도인 1 mSv를 사용하였지만 Veszprém 대학교, CIRP에서는 상황별로 선택적으로 선정할 것을 권고하였다. JAEA에서는 선행연구 사례를 참고하여 일반인과 작업종사자에 대해 별도의 값을 제시하였다. α_0는 연구사례마다 상이하였으며 사용된 산출 접근법(HC, WTP/WTA 등), 사용된 입력 변수, 그리고 각 국가의 경제적·사회적 조건, 산출 시기 등의 차이에 의한 것으로 해석할 수 있다.

3.3. 금전계수 사용 현황 분석

Table 4에 CEPN 및 ISOE 네트워크 설문에서 조사한 2017년 기준 국제적인 원자력발전소 사업자 및 규제기관의 금전계수 사용 및 채택 현황을 나타내었다[22]. ISOE European Technical Centre에서는 1997년부터 주기적으로 각국의 원자력발전소 사업자와 규제기관으로부터 설문을 실시해 응답값을 분석하였다[11-14]. 가장 최근 조사인 2017년 조사에서는 총 21개국이 회신하였고, 규제기관 18개(설문한 26 기관 중), 사업자 14개(설문한 44 기관 중)에서 회신하였다. 그리고 ISOE 아시아센터로부터 일본의 10개 사업자 데이터를, ISOE 북미센터로부터 원자력발전소 70기 데이터를 제공받았다. 조사에 응답한 규제기관 중 실제 금전계수를 사용하거나 권고하는 기관은 영국 ONR (Office for Nuclear

Table 4. Reference monetary values by utilities

Country	Utility or NPP	Reference monetayr values of the man.sivert (in $\$_{2025}$ man · mSv^{-1})
Belgium	Engie-Electrabel	No
Finland	Loviisa NPP	No
France	Électricité de France	Set of values based on the individual annual exposure of the workers (last update: 2002) [1-10] mSv/y: 763 $ man · mSv^{-1} [10-16] mSv/y: 1,526 $ man · mSv^{-1} [16-20] mSv/y: 2,113 $ man · mSv^{-1}
Japan	Chubu Electric Power Co. Chugoku Electric Power Co. Hokkaido Electric Power Co. Hokuriku Electric Power Co. Japan Atomic Power Co. Kansai Electric Power Co. Kyushu Electric Power Co. Shikoku Electric Power Co. Tokyo Electric Power Co. (apply to Fukushima NPP only)	No No No No No No No No Set of values (adopted in 2015) based on the average individual exposure for the task under consideration ~1 mSv: 52 $ man · mSv^{-1} [1-5] mSv: 522 $ man · mSv^{-1} [5-10] mSv: 1,045 $ man · mSv^{-1} [10-20] mSv: 5,224 $ man · mSv^{-1} >20 mSv: 10,447 $ man · mSv^{-1}
	Tohoku Electric Power Co.	No
Republic of Korea	KHNP	No
Romania	Cernavoda NPP	Single value: 669 $/man.mSv (last update: 2010)
Slovenia	Krssko NPP	Set of values based on the collective exposure of the population concerned by the task If <50 man · mSv: 1,174 $ man · mSv^{-1} If >50 man · mSv: 3,052 $ man · mSv^{-1} (2013 values)
Spain	Cofrentes NPP	Single value: 5,869 $ man · mSv^{-1} (last update: 2012)
Sweden	Forsmark NPP Ringhals NPP	Single value: 1,291 $ man · mSv^{-1} Single value: 1,412 $ man · mSv^{-1} (last update: 2015)
Switzerland	Leibstadt NPP	Set of values based on the individual annual exposure of the workers concerned by the investment [1-10] mSv: single value equal to 320 $ man · mSv^{-1} [10-20] mSv: alpha value is increasing linearly up to 3,205 $ man · mSv^{-1} (at 20 mSv)
United Kingdom	Sizewell B NPP From 43 NPPs	No Single value for the plant and ranging from 524 $ man · mSv^{-1} to 4,402 $ man · mSv^{-1}
United States of America	Cook NPP Exelon utility Palo Verde NPP	Single value: 2,364 $/man.mSv Mixed system: single value for the plant, based on the INPO radiation protection ranking - NPP in the 1st quartile: 2,089 $ man · mSv^{-1} - 2nd quartile: 4,179 $ man · mSv^{-1} - 3rd quartile: 6,268 $ man · mSv^{-1} - 4th quartile: 8,358 $ man · mSv^{-1} Single value: 3,215 $ man · mSv^{-1} (last update: 2011)

Regulation), 슬로바키아 UVZSR (Public Health Authority of the Slovak Republic), 체코 SUJB (State Office for Nuclear Safety) 등 17%에 해당하는 것으로 나타났다. 대다수의 국가에서는 방사선방호 최적화의 1차 책임을 사업자에 둔다고 응답하였으며 사업자의 금전계수 값을 인지하거나 참조하는 수준인 것으로 나타났다. 영국 ONR은 구체적인 금전계수 값을 제시하지는 않고 ICRP, HSE 권고를 바탕으로 자체 도출을 권고하였으며 UVZSR · SUJB는 개인선량 수준과 상황에 따라 범위값을 운용한다고 응답했다. 조사에 응답한 원자력발전소 220기 중 약 176기(약 80%)가 금전계수를 실제 운용하는 것으로 파악되었다. 주

된 사용자는 방사선방호부서이며 경우에 따라 설비관리, 화학부서, 경영진 등이 있는 것으로 언급되었다. 사용빈도는 대체로 연 1-10회 정도 수준이며 실제 사용 사례로는 대규모 설비개선 여부 판단(6회), 설비 제염 실시 및 규모 결정(3회), 영구 차폐/비계의 설치 및 철거(2회), 전력 감축(2회), 방사선방호 시설 건설(1회), 중기적 개선 사항 순위 결정(1회) 등이 주요 사용 사례로 나타났다. 벨기에, 핀란드, 한국 등에서는 공식적으로 금전계수를 도입하지 않았다. 주요 이유로는 의사결정 과정에 들어가지 않음, 규제기관의 도입압력 미존재, 경우별로 상이하여 단일 금전계수 도입하기에 지나치게 단순함 등이 있는 것으로 나타났다.

단일값은 기관별로 10배 이상 차이나는 것으로 나타났다. 범위값은 방사선량이 높을수록 금전계수가 커지되, 제시하는 방식이 상이하였다. 일반적으로 2-3개, 최대 5개 구간으로 한정되었다. 이전 ISOE의 조사 결과 추이를 비교하였을 때 규제기관에서는 큰 변화가 없고 최적화의 주체는 사업자로 보는 경향이 유지된 것으로 나타났다. 일부 미국의 원자력발전소 8기가 금전계수 사용을 중단한 경우도 있는가 하면, 후쿠시마 제1발전소는 금전계수 개념을 도입하였다. 그리고 스페인 Confrentes 원자력발전소는 기존의 범위값에서 단일값으로 조정하였다. 금전계수 산출 접근법은 1990년대에는 IAEA 권고 등의 영향으로 HC가 널리 사용되었지만 생산손실만 고려한다는 한계로 인해 WTP 산출 접근법이 일반적으로 선호되는 접근법으로 나타났다.

4. 결 론

금전계수는 방사선방호 최적화 수단 중 하나로서 비용편익분석 과정에서 방호방안의 편익을 비교할 수 있도록 금전적 가치로 환산하는 보조수단이다. 금전계수는 기대수명 손실, 소득, 물가 등에 다양한 인자에 대해 영향을 받는다. 따라서 실무에서 적절하게 사용할 수 있는 금전계수를 산출하기 위해서는 국내외 선행 연구사례의 산출 방법론을 분석하여 현재 국내 원자력발전소 작업환경 및 여러 요소들을 고려할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 국내외 금전계수 산출 연구사례를 분석하였고 국제적인 금전계수 사용현황 또한 분석하였다. 금전계수 산출 연구사례로는 IAEA, NRC 등의 9개의 연구사례를 분석하였다. 그리고 금전계수 사용현황으로는 ISOE에서 주기적으로 원자력발전소 사업자 및 규제자에 대해 조사하여 발간한 ISOE 문헌을 분석하였다.

연구사례별 산출 접근법으로는 크게 HC, WTP/WTA로 구분할 수 있었다. 그리고 산출 모형로는 크게 CEPN 산출 모형 기반의 연속지수형 함수 모형 사용 여부로 분류할 수 있었다. CEPN 기반의 연구사례 중에서도 KINS, KHNP-RHI 연구에서는 방사선량 구간별로 금전계수, 금전가를 제시하였다. CEPN 기반의 연구사례에서는 기본 금전계수 α_0를 산정하는데 HC, WTP 등의 접근법을 활용하였다. HC 접근법을 활용한 경우 방사선피폭 수명손실 분의 금전적 가치를 고려하였고 금전적 가치 산정에 있어서 국민 1인당 GDP, GNP 혹은 유사업종의 평균 연봉을 가정하였다. 일부 연구의 경우 암 치료에 대한 의료비용을 추가적으로 더하였다. WTP 접근법을 사용한 경우 VSL을 구해 명목위험계수를 곱하여 금전계수를 산출하였다. VSL 산출은 설문조사를 사용하거나 선행 연구사례를 분석하여 평균 혹은 중위값을 사용하였다. 설문조사를 사용한 경우 CVM 설문을 통해 WTP를 구하고 이를 위험감소율로 나누어 VSL을 얻었다.

금전계수 사용현황으로는 2017년 기준 조사된 규제기관 중에서 실제로 사용하거나 권고하는 기관이 17% 수준인 것으로 나타났다. 대다수의 국가에서 규제기관이 방사선방호 최적화 규제에 있어서 금전계수를 사용하지는 않고 사업자의 값을 인지하거나 참조하는 수준인 것으로 나타났다. 조사된 원자력발전소 220기 중 80% 수준인 176기에서 금전계수를 실제로 운용하는 것으로 나타났다. 주로 방사선방호 부서에서 사용하며 연간 1-10회 정도의 빈도로 사용하는 것으로 나타났다. 단일값은 기관별로 10배 이상 차이가 나는 등 상이하였다. 범위값은 방사선량과 금전계수가 비례해서 커지되, 일반적으로 방사선량 구간을 2-3개로 구별하였다. 산출 접근법에 있어서는 HC 접근법보다 WTP 접근법 활용이 더 타당한 것으로 여겨지는 추세이다.

금전계수 산출에 있어서 단일값, 범위값 여부 선택, 접근법 선택 등의 다양한 선택지가 존재하고 국내 환경에 맞추어 합리적인 방법론을 선택해야 한다. 범위값을 선택하고 CEPN 산출 모형을 기본으로 하되 방사선량 구간별로 대표값을 계산하는 것이 실무적으로 적용하기 수월할 것으로 판단된다. 그리고 기본 금전계수 α_0 산출에 있어 WTP를 이용하는 것이 국제적인 추세이지만 CIRP 등의 연구와 같이 상황에 따라 HC, WTP를 포함한 다양한 값을 산출하고 선택 혹은 중위값을 제시하는 것도 고려할 수 있다. 본 연구의 결과는 향후 국내 원자력발전소 환경에 적합한 금전계수 산정 시 활용될 수 있다.

사 사

본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(No. RS-2022-KP002860).

참고문헌

1. Byoung I Lee, Dong H Suh, So I Kim, Mi S Jeong and Young K Lim. 2012. The Monetary Value of the Man-Sv for Korean Npp Radiation Workers Assessed by the Radiation Aversion Factor. *Radiat Prot Dosimetry* **15**(4):516-519. https://doi.org/10.1093/rpd/ncr433.
2. Clark M, Fleishman A and Webb G. 1981. Optimisation of Radiological Protection of the Public (A Provisional Framework of the Application of Cost-benefit Analysis to Normal Operation). NRPB R-120.
3. Engström Andreas, Isaksson Mats, Javid Reza, Larsson Per-Anders, Lundh Charlotta and Båth Magnusl. 2024. An Estimation

of the Monetary Value of the Person-Sievert Useful forOccupational Radiological Protection within the Healthcare System of Sweden. *Health Physics* **127**(5):569-580. https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001848.
4. EPA. 1994. Estimating Radiogenic Cancer Risks, United Environmental Protection Agency. EPA 402-R-93-076.
5. IAEA. 1985. Assinging a Value to Transboundary Radiation Exposure. IAEA Safety Series 67.
6. IAEA. 2002. Optimization of Radiation Protection in the Control of Occupational Exposure. IAEA Safety Series 21.
7. ICRP. 1983. Cost-Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection. ICRP Publication 37. Ann. ICRP 10 (2-3).
8. ICRP. 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).
9. ICRP. 2005. The Optimisation of Radiological Protection: Broadening the Process. ICRP Publication 101B. Ann. ICRP 36 (3).
10. ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
11. ISOE. 1998. The use of the man-sievert monetary value in 1997. ISOE ETC Information Sheet 18.
12. ISOE. 2003. Man-sievert monetary value survey, 2002 update. ISOE ETC Information Sheet 34.
13. ISOE. 2012. Man-sievert monetary value survey, 2009 update. ISOE ETC Information Sheet 55.
14. ISOE. 2018. Survey on the Values and Uses of the Monetary Value of the Man.sievert (IN 2017). ISOE ETC Information Sheet 61.
15. Jia Linsheng, Yang Yapeng, Feng Zongyang, Xu Xiaoxiao and Zhang Jiangang. 2019. The latest estimation for the parameter α value of radiation protection optimization in China. *Progress in Nuclear Science and Technology*. **6**:175-180. https://doi.org/10.15669/pnst.6.175.
16. John K, Horowitz, Kenneth.E McConnell. 2002. A review of WTA/WTP studies, *Journal of Environmetal Economics and Management*. **44**(3):426-447. https://doi.org/10.1006/jeem.2001.1215.
17. Lochard J., Lefaure C, Schieber C and Schneider T. 1996. A model for the determination of monetary values of the man-sievert. *J Radiol Prot*. **16**(3):201-204. https://doi.org/10.1088/0952-4746/16/3/006.
18. K Eged, B Kanyar, Z Kis, T Tatay, A Ivady and G Volent. 2001. Determination and Use of the Monetary Values of the Averted Person-Sievert for Use in Radiation Protection Decisions in Hungary. *Health Physics* **80**(2):137-41. https://doi.org/10.1097/00004032-200102000-00004.
19. K Eged, B Kanyar, Z Kis and T Tatal. 2002. Assessment of the Aversion Coefficient in Nuclear Safety in Hungary, *Health Physics*, **82**(6):825-830. https://doi.org/10.1097/00004032-200206000-00010.
20. L Eeckhoudt, C Schieber, T Schneider and P Godfroid. 1999. Monetary Value of the Man Sievert for Public Exposure versus Worker Exposure. REPORT N° 262.
21. Lefaure C, Lochard J, Schneider T and Schieber C. 1993. Propositions pour un système de valeurs monétaires de référence de l'homme-sievert. CEPN-R-193.
22. S Andresz, T Jobert and C Schidber. 2020. The values and the uses of the reference monetary value of the man.sievert. Results of an international survey. *Radioprotection*, **55**(3):207-214. https://doi.org/10.1051/radiopro/2020058.
23. Seng H Na, Sun G Kim. 2009. A step function model to evaluate the real monetary value of man-sievert with real GDP. *Applide Radiation and Isotopes*, **67**(7-8):1307-1310. https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2009.02.028.
24. Shogo Takahara, Takaaki Kato and Toshimitsu Homma. 2013. Monetary Values of Unit Collective Dose in Optimization of Radiation Protection. *Jpn J Health Phys* **48**(4):180-192. https://doi.org/10.5453/jhps.48.180.
25. T Katona, K Eged, B Kanyar, Z Kis and A Nenyei. 2003. The Monetary Value of the Averted Dose for Public Exposure.
26. U.S.NRC. 1995. Reassessment of NRC's Dollar Per Person-Rem Conversion Factor Policy. NUREG 1530.
27. U.S.NRC. 2022. Reassessment of NRC's Dollar Per Person-Rem Conversion Factor Policy. NUREG 1530 Rev. 1.
28. Dong H Suh, So I Kim and Mi S Jeong. 2010. Monetary Value Assessment of Radiation Exposure Dose Using Radiation Risk Avoidance Factors. Abstracts of the 2010 Autumn Conference. *The Korean Association for Radiation Protection*. 174-175.
29. Dong H Suh, So I Kim and Mi S Jeong. 2010. Assessment of Radiation Avoidance for Nuclear Power Plant Radiation Workers. Abstracts of the 2010 Autumn Conference. *The Korean Association for Radiation Protection*. 416-417.
30. Dong H Suh, So I Kim, Byoung I Lee and Young K Lim. 2011. Estimation of Monetary Value of Radiation Exposure Dose According to Radiation Avoidance Factors. Abstracts of the 2011 Spring Conference. *The Korean Association for Radiation Protection*. 156-157.