Journal of Radiation Industry 13(4) : 389~394(2019)

Technical Paper

ICRP 103 권고 도입에 따른 배출관리기준과 방호비용의 변화 평가

김기훈[1] · 이진오[1] · 서현수[1] · 권 재[1] · 이민영[1] · 김광표[1,*]

[1]경희대학교 원자력공학과

Evaluation of Effluent Concentration Limits and Radiation Protection Cost by Adoption of ICRP 103 Recommendations

Ki Hoon Kim[1], Jin O Lee[1], Hyun Su Seo[1], Jae Kwon[1], Min Young Lee[1] and Kwang Pyo Kim[1,*]

[1]*Department of Nuclear Engineering, Kyung Hee University, 1732 Deokyoung-daero, Giheoung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 17104, Republic of Korea*

Abstract - International Commission on Radiological Protection (ICRP) published Recommendation 103. International Atomic Energy Agency (IAEA) revised General Safety Requirements based on the ICRP 103 recommendation. It is necessary to predict the change of regulations based on the new standards. The objective of this study was to reevaluate effluent concentration limits (ECLs) and resulting radiation protection cost by adoption of ICRP 103 recommendations. Calculation method of effluent concentration limits was slightly varied depending on country. In general, the effluent concentration limits were derived by considering dose limit, dose conversion factor, difference of respiration rate, and activity time of radiation workers and the general public. Two nuclides (^{3}H, ^{14}C) for air effluent and eleven nuclides (^{3}H, ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{59}Fe, ^{99}Mo, ^{95}Nb, ^{124}Sb, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{65}Zn, ^{95}Zr) for water effluent were selected for this study. The reevaluation results showed that ECLs based on the ICRP 103 recommendation compared with the current ECLs were about 30% lower for air effluents and similar or 70% higher for water effluents. However, real emission concentrations in a reference nuclear power plant were lower by a factor of about 40 for air effluents and 2,000 for water effluents, respectively. In conclusion, it was estimated that no significant measures would be required for the radioactive waste management system of nuclear power plants in order to comply with the ECLs based on the ICRP 103 recommendation. Radiation protection cost also would not change much due to the application of effluent concentration limits. This study results can be used to predict the change of regulations and associate radiation protection optimization.

Key words : ICRP 103 recommendation, Effluent concentration limits, Optimization, Protection cost, Dose conversion factor

서 론

원자력 시설에서는 정상운영 시 액체 및 기체 상태의 방사성물질이 발생한다. 그리고 액체 및 기체 상태의 방사성물질은 액체 및 기체 방사성폐기물 처리계통을 통하여 원자력 시설 내에서 적절한 처리과정을 거쳐 통제된 상태에서 배출되고 있다(원안위 2019). 그리고 배출되는 방사성물질로 인한 국민의 방사선학적 위해를 방지하기 위해 방사성물질의 방출량 및 방사선량을 가능한 한 합리적으로 낮게 유

* Corresponding author: Kwang Pyo Kim, Tel. +82-31-201-2560, Fax. +82-31-273-3592, E-mail. kpkim@khu.ac.kr

지되도록 관리하고 있다.

국내법에서는 방사성물질의 배출과 관련하여 운영 중 원자력관계시설 주변 일반인에 대한 선량기준과 배출되는 방사성물질의 농도기준을 제시하고 있다. 이 중 선량기준은 원자력안전위원회 고시 방사선방호 등에 관한 기준 제16조 환경상의 위해방지 기준에서 운영 중 원자력관계시설로 인한 일반인의 선량제약치로 제시되고 있다(원안위 2019). 방사성물질의 농도기준은 동법 제6조 배출관리기준에서 기체 및 액체 유출 방사성물질의 농도 제한치로 제시되고 있다. 배출관리기준은 원자력관계시설에서 배출되는 방사성물질로 인하여 일반인이 연간 선량한도를 초과하여 피폭하지 않도록 유도된 방사능 농도를 의미한다.

국내 배출관리기준은 1977년 국제방사선방호위원회 26 권고를 기반으로 하고 있는 미국의 연방규정에서 명시된 방법론을 바탕으로 하고, 1990년 국제방사선방호위원회 60 권고를 수용하기 위한 후속조치로 수정안이 적용되었다(ICRP 1991; 이 2016; NRC 2019). 이에 따라 2001년 국내에서는 기존에 원자력관계시설에서 배출되는 방사성물질의 관리기준인 최대허용농도(Maximum Permissible Concentration; MPC)를 연간섭취한도(Annual Limit of Intake; ALI), 유도공기중농도(Derived Air Concentration; DAC), 배출관리기준(Effluent Concentration Limit; ECL)으로 대체하였다(김 2001).

국제방사선방호위원회는 2007년 ICRP 103 권고를 발표하였다(ICRP 2007). 그리고 국제원자력기구는 ICRP 103 권고를 바탕으로 2014년 일반안전기준을 개정하였다(IAEA 2014). 국제방사선방호위원회 103 권고에서는 국제방사선방호위원회 60 권고의 방사선가중치, 조직가중치, 기준인체모형 선량평가모의체 등을 변경하였다. 이로 인해 방사성핵종에 따른 선량환산인자의 값이 변경되었다(ICRP 2015; ICRP 2016; ICRP 2017).

국내에서는 배출관리기준 관련 연구가 일부 수행되었다. 황원태 등은 기존 배출관리기준에 한국인의 특성을 반영한 배출관리기준을 도출하였다(Hwang 2018). 김현기는 액상의 비밀봉선원을 사용하는 시설에서 배기설비를 통해 배출되는 방사성물질의 평가절차를 제공하였다(Kim 2014). 손중권 등은 국내 원자력발전소의 방사성유출물 배출현황을 조사 및 분석하였다(손 2012). 김희근 등은 중수로 원자력발전소의 방사성유출물에 대한 배출관리 방식, 유도배출한계의 설정 현황을 검토하였다(김 2010a). 그리고 원자력발전소 종사자와 주변주민의 방사선량에 기여가 큰 방사성핵종에 대해 조사하고, 종사자와 주변주민의 방사선량 평가에 미치는 영향을 분석하였다(김 2010b).

기존 연구는 주로 배출관리기준의 설정현황과 방사성물질의 배출현황에 대해 수행되었다. 향후 국제방사선방호위원회 103 권고의 국내 규제 도입에 따른 규제변화 예측 및 대응에 대한 연구는 미미한 실정이다. 국제방사선방호위원회 권고의 방호체계를 국내 배출관리 관련 규제에 적절하게 도입하기 위해서는 배출관리기준의 재평가가 필요하다. 그리고 국제방사선방호위원회 103 권고에서 강조하고 있는 방사선방호의 최적화를 위해서는 이로 인한 방호비용의 변화를 예측해야 한다. 본 연구에서는 국내외 배출관리기준의 현황을 조사하고, 국제방사선방호위원회 103 권고 도입에 따른 국내의 배출관리기준 및 방호비용 변화를 평가하였다.

국내외 배출관리기준 설정원리

국제방사선방호위원회 103 권고 도입에 따른 국내 배출관리기준의 변화를 평가하기 위하여 국내외 배출관리기준 설정원리를 조사하였다. 국외 배출관리기준의 설정원리는 미국, 일본에 대해 조사하였다.

1. 한국

국내 배기 중의 배출관리기준($Bq \cdot m^{-3}$)은 일반인을 대상으로 설정되었는데, 이는 방사성핵종을 함유한 기체가 환경으로 배출될 경우 원전 인근에 일반인이 이를 흡입하여 피폭할 수 있기 때문이다. 국내 배기 중 배출관리기준 산출 수식을 아래 식 1에 나타내었다.

$$\text{배기 중 배출관리기준} = \frac{DAC_{\text{흡입, 1 μm}}}{20 \times 3 \times 2} = \frac{\left(\frac{\text{선량한도}}{\text{선량환산인자} \times \text{호흡률} \times \text{연간 근무시간}}\right)}{20 \times 3 \times 2} \quad \text{(식 1)}$$

상기 식에서 20은 일반인과 작업자의 선량한도 차이(1/20)를 고려한 값이며, 3은 일반인과 방사선작업종사자의 호흡률 및 활동시간(피폭기간)의 차이(1/3)를 고려한 값이다. 즉 방사선작업종사자는 연간 2,000시간 동안 오염된 공기를 흡입한다고 가정하지만, 일반인은 8,760시간 오염된 공기를 흡입한다고 가정하였으며, 방사선작업종사자의 호흡률($1.2\ m^3 \cdot h^{-1}$)보다 일반인의 호흡률($0.8\ m^3 \cdot h^{-1}$)이 작은 것을 고려하였다. 2는 방사선작업종사자와 일반인의 선량환산인자 차이를 고려한 것이다. 국제원자력기구 기본안전표준 115에서는 일반인에 대한 방사성핵종 섭취 시 예탁유효선량 평가를 위하여 연령군을 6개 그룹으로 구분하였다(IAEA 1996). 구분된 연령군 중 17세 이상 성인그룹의 선량환산인자는 방사선작업종사자와 일반인이 동일하지만, 아동연령(7~12세 구간)에 대한 선량환산인자는 17세 이상 성인그룹에 비하여 대략 2배 정도 높다. 따라서 보수적인 평가를 위하여 배출관리기준값 산출 시 아동그룹과 방사선작

업종사자의 선량환산인자 차이(1/2)를 고려하였다.

배출관리기준을 도출할 때에는 평가대상이 일반인이기 때문에 일반인에 대한 방사능중앙공기역학적직경(Activity median aerodynamic diameter; AMAD)의 기본값으로 1 μm를 적용하며, 국제원자력기구 기본안전표준 115에서 제시하는 해당 입자크기에 대한 선량환산인자를 적용한다(IAEA 1996). 따라서 배기 중의 배출관리기준을 산출하기 위해서는 방사능중앙공기역학적직경 1 μm에 대한 연간섭취한도와 유도공기중농도를 먼저 도출하고, 해당 값으로부터 상기 식을 이용하여 배출관리기준을 도출해야 한다.

배수 중의 배출관리기준($Bq \cdot m^{-3}$)은 배기 중의 배출관리기준과 마찬가지로 피폭대상을 일반인으로 선정하여 평가하였다. 국내 배수 중 배출관리기준 산출 수식을 아래 식 2에 나타내었다.

배수 중 배출관리기준

$$= \frac{ALI_{섭취}}{20 \times 2 \times 0.73} = \frac{\left(\frac{선량한도}{선량환산인자}\right)}{20 \times 2 \times 0.73} \quad (식\ 2)$$

상기 식에서 20은 일반인과 작업자의 선량한도 차이(1/20)이며, 2는 일반인과 작업자의 연령군별 선량환산인자의 차이(1/2)를 고려한 것이다. 0.73은 국제방사선방호위원회 간행물 23에 제시하는 표준인의 연간 물 섭취량($0.73\ m^3$)을 적용한 값이다(ICRP 1977).

2. 미국

미국의 배출관리기준은 미국원자력규제위원회에서 발행한 10 CFR Part 20 appendix B에서 규정하고 있다. 배기 중의 배출관리기준은 국내와 동일하게 일반인에 대하여 고려하고 있다.

$$배기\ 중\ 배출관리기준 = \frac{DAC_{흡입,\ 1\ \mu m}}{50 \times 3 \times 2} = \frac{\left(\frac{선량한도}{선량환산인자 \times 호흡률 \times 연간\ 근무시간}\right)}{50 \times 3 \times 2} \quad (식\ 3)$$

상기 식에서 50은 일반인과 작업자의 선량한도 차이(1/50)이며, 3은 일반인과 방사선작업종사자의 호흡률 및 활동시간의 차이(1/3)를 고려한 값이다. 2는 연령별 선량환산인자의 차이를 고려한 값이다.

배수 중의 배출관리기준의 경우 일반인의 연간 물 섭취량으로 $0.73\ m^3$을 적용하고 있으며 방사선작업종사자와 일반인의 선량한도 차이, 연령의 차이에 따른 선량환산인자의 차이를 고려하여 산출하였다.

배수 중 배출관리기준

$$= \frac{ALI_{섭취}}{50 \times 2 \times 0.73} = \frac{\left(\frac{선량한도}{선량환산인자}\right)}{50 \times 2 \times 0.73} \quad (식\ 4)$$

그리고 하수구로 배출되는 물에 대한 기준을 추가적으로 제시하였다. 이 경우 연간 물 섭취량 $0.73\ m^3$과 연간 사업자에 의해 방출된 하수가 물의 유일한 공급원인 경우를 가정하여 표준인이 모두 섭취하였을 경우 10이라는 인자를 고려하여, 계산된 값을 10으로 나누어 배수 중 배출관리 기준을 도출하였다.

3. 일본

일본에서는 배기 중 및 배수 중 배출관리기준을 규정하여 관리하고 있으며, 배출관리기준 산출 시 연간섭취한도나 유도공기중농도에서 방사선작업종사자와 일반인의 차이가 아닌 일반인의 각 연령층 간의 차이를 고려하여 산출하였다(MEXT 2019). 배기 중 배출관리기준 산출 시 연령 의존성을 고려하여 동일인이 0세부터 70세가 될 때까지 연평균 1 mSv의 방사선량을 기준으로 계산하였다. 방사능중앙공기역학적직경은 국제방사선방호위원회 간행물 66을 참고하여 1 μm을 적용하였다. 일본의 배기 중 배출관리기준 산출 수식을 아래 식 5에 나타내었다.

$$배기\ 중\ 농도한도 = \frac{1\ (mSv \cdot y^{-1}) \times 70\ (y)}{\sum 각\ 연령층별\ 선량환산인자\ (mSv \cdot Bq^{-1}) \times 호흡률\ (cm^3 \cdot y^{-1}) \times 적용기간\ (y)} \quad (식\ 5)$$

해당 식에서는 연령별 방사선감수성을 고려하기 위해 각 연령층별 선량환산인자를 고려하여 적용하였다. 연령층의 시작은 생후 3개월 아이부터이며, 연령층별 호흡률은 국제방사선방호위원회 간행물 71을 참고하였다. 그리고 배수농도의 산출 시에도 연령의존성을 고려하여 0세부터 70세가 될 때까지 지속적인 식수 섭취에 의한 내부피폭 방사선량이 연간 1 mSv가 되는 것으로 가정하여 계산하였다. 일본의 배수 중 배출관리기준 산출 수식을 아래 식 6에 나타내었다.

$$배수\ 중\ 농도한도 = \frac{1\ (mSv \cdot y^{-1}) \times 70\ (y)}{\sum 각\ 연령층별\ 선량환산인자\ (mSv \cdot Bq^{-1}) \times 섭취량\ (cm^3 \cdot y^{-1}) \times 적용기간\ (y)} \quad (식\ 6)$$

한국, 미국, 일본의 배출관리기준 산출 방식을 Table 1에 요약하였다. 한국과 미국은 동일하게 방사선작업종사자의 선량한도를 기준으로 설정된 연간섭취한도, 유도공기중농도, 일반인의 선량한도를 고려하여 유도하였다. 다만 미국

Table 1. Weighting factors to derive effluent concentration limits

Country	Effluent type	Difference of exposure period	Intake of water [m^3]	Difference of dose limit	Difference of dose conversion factor	Dose conversion factor
Korea	Air	3	–	20	2	IAEA
	Water	–	0.73	20	2	BSS 115
U.S.	Air	3	–	50	2	Regulatory
	Water	–	0.73	50	2	Guide 1.109
Japan	Air	–	–	20	–	IAEA
	Water	–	–	20	–	BSS 115

의 경우 국제방사선방호위원회 26 권고를 기반으로 작업자에 대한 선량한도를 50 $mSv \cdot y^{-1}$으로 설정하였으나, 한국의 경우 국제방사선방호위원회 60 권고를 기반으로 선량한도를 20 $mSv \cdot y^{-1}$으로 설정하였다. 선량환산인자는 미국의 경우 1976년 Regulatory Guide 1.109에 명시된 값을 사용하였고, 한국의 경우 1996년 국제원자력기구 기본안전기준 115에 명시된 값을 사용하였다(IAEA 1996).

일본은 한국 및 미국과 다르게 일반인의 각 연령별 선량환산인자를 이용하였다. 향후 국내에서도 국제방사선방호위원회 간행물 101A의 대표인에 대한 방사선량 평가 개념을 배출관리기준에 도입(3개 연령군에 대한 선량환산인자 이용)하여 배출관리기준을 설정한다면 상기 사례를 참고할 수 있을 것이다(ICRP 2006).

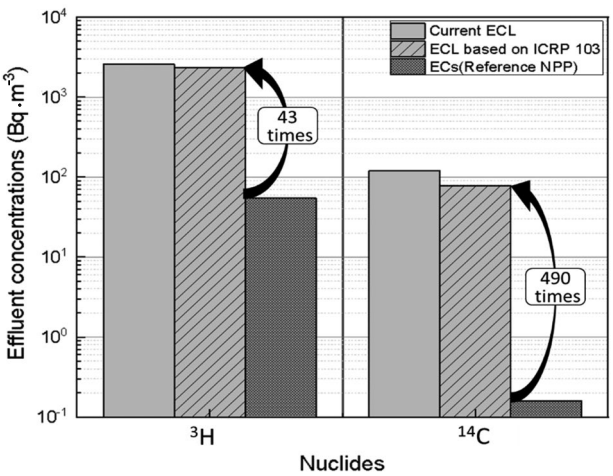

Fig. 1. Comparison of current air ECLs, ECLs based on ICRP 103, and emission concentrations in a reference nuclear power plant.

ICRP 103 권고 도입에 따른 배출관리기준과 방호비용 변화

국제방사선방호위원회에서는 103 권고 이후 이를 기반으로 내부피폭 선량환산인자를 새로 도출하고 있다. 이에 따라 국제방사선방호위원회 간행물 130, 134, 137을 발간하여 내부피폭 선량환산인자를 일부 갱신하였다(ICRP 2015; ICRP 2016; ICRP 2017). 본 연구에서는 국제방사선방호위원회에서 새로 제시한 내부피폭 선량환산인자를 고려하여 배출관리기준 개정안을 도출하였다.

평가대상 핵종은 국내 방사성폐기물 안전관리 시스템을 참고하여 국내 원자력발전소 운영 중 폐기물로 방출되는 방사성핵종 중 검출하한치 이상으로 검출되며, 섭취 및 흡입에 의한 선량 기여도가 높은 핵종으로 선정하였다. 기체 폐기물의 경우 국내 원자력발전소 운영 중 폐기물로 방출되는 방사성핵종 중 검출하한치 이상으로 검출되는 핵종은 총 5개(^{3}H, ^{14}C, ^{41}Ar, ^{133}Xe, ^{135}Xe)이다. 이 중 선량환산인자가 갱신되지 않은 불활성기체를 제외하고 2개 핵종(^{3}H, ^{14}C)에 대해서 배출관리기준을 평가하였다. 액체 폐기물의 경우 검출하한치 이상으로 검출되는 핵종은 총 16개(^{3}H, ^{60}Co, ^{51}Cr, ^{137}Cs, ^{59}Fe, ^{153}Gd, ^{54}Mn, ^{99}Mo, ^{24}Na, ^{95}Nb, ^{122}Sb, ^{124}Sb, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{65}Zn, ^{95}Zr)이다. 이 중 현재 내부피폭 선량환산인자가 갱신된 11개 핵종(^{3}H, ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{59}Fe, ^{99}Mo, ^{95}Nb, ^{124}Sb, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{65}Zn, ^{95}Zr)에 대해서 배출관리기준을 평가하였다(ICRP 2017). 그리고 평가를 통해 도출된 배출관리기준과 참고 원전의 실제 배출량을 비교하였다. 참고 원전으로는 운영 중인 원전에서 배출되는 방사성유출물 중 총 방사능량의 70%를 차지하는 중수로형 원전을 설정하였다(공 2012).

본 연구에서는 국제방사선방호위원회 103 권고를 기반으로 도출된 선량환산인자를 적용하여 배출관리기준을 평가하고, 기존의 원자력안전위원회 고시기준과 비교하였다. Table 2, 3에 배기 중, 배수 중 배출관리기준 산정에 사용된 선량환산인자 값과 국제방사선방호위원회 103 권고를 반영한 배기 및 배수 중 배출관리기준 값을 나타내었다. 국제방사선방호위원회 103 권고 도입에 따라 실제로 배출되는 핵종에 대한 배기 중 배출관리기준은 ^{3}H의 경우 약 33%, ^{14}C의 경우 약 30% 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 평가된 배기 중의 배출관리기준과 실제 원자력발전소 운영 중의 핵종별 배출량을 비교하였을 경우 각 핵종에 대하여 대략 40배 이상의 여유도를 가지는 것으로 나타났다(Fig. 1).

Table 2. Effluents concentration limits in air and emission concentrations in a reference nuclear power plant

Nuclide	Current ECL [Bq·m^{-3}]	DCF based on ICRP 103 [Sv·Bq^{-1}]	ECL based on ICRP 103 [Bq·m^{-3}]	Emission concentrations in a reference NPP [Bq·m^{-3}]
^{3}H	3×10^{3}	2×10^{-11}	2×10^{9}	5×10^{1}
^{14}C	1×10^{2}	9×10^{-10}	7×10^{1}	2×10^{-1}

Table 3. Effluents concentration limits in water and emission concentrations in a reference nuclear power plant

Nuclide	Current ECL [Bq·m^{-3}]	DCF based on ICRP 103 [Sv·Bq^{-1}]	ECL based on ICRP 103 [Bq·m^{-3}]	Emission concentrations in a reference NPP [Bq·m^{-3}]
^{3}H	4×10^{7}	2×10^{-11}	4×10^{7}	2×10^{4}
^{137}Cs	5×10^{4}	1×10^{-8}	5×10^{4}	8×10^{9}
^{60}Co	2×10^{5}	3×10^{-9}	2×10^{5}	8×10^{3}
^{59}Fe	4×10^{5}	2×10^{-9}	4×10^{5}	7×10^{0}
^{99}Mo	9×10^{5}	4×10^{-10}	2×10^{6}	7×10^{0}
^{95}Nb	1×10^{6}	3×10^{-10}	2×10^{6}	3×10^{0}
^{124}Sb	3×10^{5}	1×10^{-9}	6×10^{5}	8×10^{1}
^{89}Sr	3×10^{5}	9×10^{-10}	8×10^{5}	2×10^{1}
^{90}Sr	2×10^{4}	2×10^{-8}	3×10^{4}	2×10^{1}
^{65}Zn	2×10^{5}	4×10^{-9}	2×10^{5}	1×10^{0}
^{95}Zr	8×10^{5}	3×10^{-10}	2×10^{6}	1×10^{1}

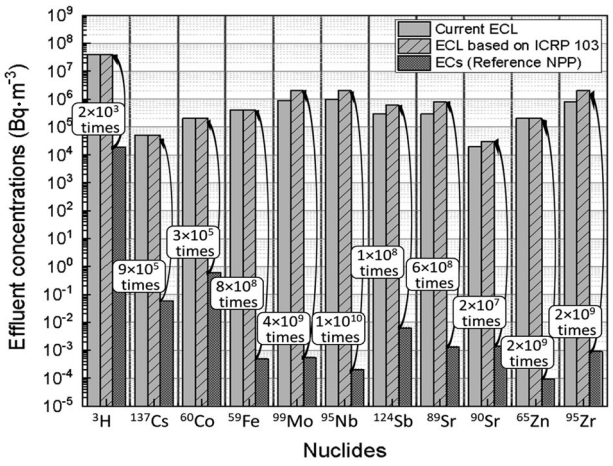

Fig. 2. Comparison of current water ECLs, ECLS based on ICRP 103, and emission concentrations in a reference nuclear power plant.

국제방사선방호위원회 103 권고가 도입되는 경우 원자력발전소에서 배출되는 핵종에 대한 배수 중의 배출관리기준은 기존과 비교하여 유사하거나 최대 2.7배 높게 평가되었다. 하지만 평가된 배수 중의 배출관리기준과 실제 원자력발전소 운영 중의 핵종별 배출량을 비교하였을 경우 각 핵종에 대하여 대략 2,000배 이상의 여유도를 가지는 것으로 나타났다(Fig. 2). 배수 중 배출관리 기준의 경우 기존과 비교하여 일부 높게 평가되기는 하였지만, 실제 배출량에 비해서는 매우 미미한 수준이기 때문에 배수 중의 배출관리기준을 만족하기 위해 국내 원자력발전소의 방사성폐기물 관리 시스템에 추가적인 조치는 필요하지 않을 것으로 판단된다.

결론적으로 국제방사선방호위원회 103 권고를 도입하는 경우 배기 및 배수 배출관리 측면에서 원자력발전소의 추가적인 조치는 미미할 것으로 판단된다. 그리고 추가적인 조치를 취하지 않음에 따라 배출관리기준 도입에 따른 방호비용의 변화 또한 미미할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 국제방사선방호위원회 신권고 도입에 따른 규제변화 예측과 방사선방호 최적화에 활용될 수 있을 것이다.

결 론

본 연구에서는 국내에 국제방사선방호위원회 103 권고 도입에 따른 원자력발전소의 배출관리기준의 변화를 분석하고, 이에 따른 시설의 방호비용을 예측하였다. 이를 위해 국내외 배출관리기준의 현황을 살펴보고 국내에 국제방사선방호위원회 권고 도입에 따른 배출관리기준을 재평가하였다. 그리고 재평가한 배출관리기준을 기반으로 원자력 사용시설 방호비용의 변화를 예측하였다.

국내외 배출관리기준은 선량한도, 선량환산인자, 일반인과 작업자의 호흡률 및 활동시간 차이 등을 고려하여 산정되는 것으로 나타났다. 한국과 미국은 방사선작업종사자의 선량한도를 기준으로 설정된 연간섭취한도와 유도공기중농도에 일반인의 선량한도를 고려하여 배출관리기준을 설정하였다. 일본은 일반인의 각 연령별 선량환산인자를 고려하

여 배출관리기준을 설정하였다.

국제방사선방호위원회 103 권고가 도입되는 경우 원자력발전소에서 배출되는 핵종에 대한 배기 중 배출관리기준은 ^{3}H의 경우 약 33%, ^{14}C의 경우 약 30% 감소하는 것으로 나타났다. 배수 중의 배출관리기준은 11개 핵종(^{3}H, ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{59}Fe, ^{99}Mo, ^{95}Nb, ^{124}Sb, ^{89}Sr, ^{90}Sr, ^{65}Zn, ^{95}Zr)에 대해서 변동이 없거나, 최대 2.7배 높은 것으로 나타났다. 하지만 현재 원자력발전소의 실제 배출농도는 기체의 경우 40배 이상, 액체의 경우 2,000배 이상의 여유도를 가지는 것으로 나타났다.

결론적으로 국제방사선방호위원회 103 권고를 도입하는 경우 배기 및 배수 배출관리 측면에서 원자력발전소의 추가적인 조치는 미미할 것으로 판단된다. 그리고 배출관리기준 도입에 따른 방호비용의 변화 또한 미미할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 국제방사선방호위원회 신권고 도입에 따른 규제변화 예측과 방사선방호 최적화 수행 시에 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구사업의 연구결과입니다 (No. 1805016).

참 고 문 헌

공태영, 최종락, 손중권, 김희근. 2012. 국내 복수호기 원전 운영을 고려한 일반인 선량제약치 설정에 대한 고찰. 방사선방어학회지 **37**(3):129-137.

과학기술부. 1998. 방사선량 등을 정하는 기준. 과학기술부 고시 제98-12호.

김형진, 김희근, 서장수. 2001. 배출관리기준의 개정에 따른 RMS 경보설정치 예비계산. 한국원자력학회 2001년도 춘계학술발표회요약집 334.2.

김희근, 공태영, 정우태, 김석태. 2010a. 원전에서 발생하는 주요 방사성핵종들이 방사선작업종사자와 원전 주변주민의 피폭방사선량 평가에 미치는 영향. 방사선방어학회지 **35**(1):12-20.

김희근, 공태영, 정우태, 김석태. 2010b. 중수로원전 방사성유출물 관리와 유도배출한계 설정방법에 대한 고찰. 방사선방어학회지 **35**(4):172-177.

손중권, 공태영, 최종락, 김희근. 2012. 국내원전의 방사성유출물 배출현황과 특성에 대한 고찰. 방사선방어학회지 **37**(3):138-145.

원자력안전위원회. 2019. 원자력안전법. 법률 제15749호.

원자력안전위원회. 2019. 방사선 방호등에 관한 기준. 원자력안전위원회 고시 제2019-10호.

이관희, 이종국, 이정준, 김성일, 안상면. 2016. 액·기체 방사성물질 배출규제 관련 원자력안전법 개정 후속조치 현황. 2016 한국방사성폐기물학회 춘계학술대회논문요약집 263-264.

한국수력원자력 안전기술처 환경팀. 2018. 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 및 평가 보고서. 한국수력원자력.

Hwang WT, Lee JE, Kwon DH, Kim EH, Han MH. 2018. Re-evaluation of Korean Effluent Concentration Limits and Comparative Analysis. *Journal of Radiation Protection and Research* **43**(3):124-129.

IAEA. 1996. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. IAEA Basic Safety Series 115.

IAEA. 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA General Safety Requirements Part 3.

IAEA. 2018. Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment. IAEA GSG-9.

ICRP. 1974. Report of the Task Group on Reference Man. ICRP Publication 23.

ICRP. 1977. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1(3).

ICRP. 1991. 1990 Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).

ICRP. 2006. Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of the Radiation Protection of the Public. ICRP publication 101 A. Ann. ICRP 36(3).

ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).

ICRP. 2015. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130. Ann. ICRP 44(2).

ICRP. 2016. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45(3/4).

ICRP. 2017. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 36(3/4).

Kim, HK. 2014. Practical Radiation Safety Control: (II) Application of Numerical Guidance for the Discharges of Radioactive Gaseous and Liquid Effluents. *J. Rad. Prot.* **39**(1):61-64.

MEXT. 2019. Regulation on Prevention of Ionizing Radiation Hazards. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. Ministry of Labor Order No. 41.

NRC. 2019. Annual Limits on Intake (ALIs) and Derived Air Concentrations (DACs) of Radionuclides for Occupational Exposure; Effluent Concentrations; Concentrations for Release to Sewerage. 10 CFR part 20, appendix B.

Received: 13 September 2019
Revised: 13 October 2019
Revision accepted: 8 November 2019