Journal of Radiation Industry 15 (4) : 259 ~ 266 (2021) https://doi.org/10.23042/radin.2021.15.4.259

대표인 개념 도입에 따른 습관자료 변경 시 국내 원자력발전소 주변 일반인 선량 변화 분석

서현수[1] · 진용호[1] · 이세종[1] · 이병민[1] · 김광표[1,*]

[1]경희대학교 원자력공학과

Analysis of the Radiation Dose Change of the General Public Living around Korean Nuclear Power Plants by Changing Habit Data Based on Representative Person Concept

Hyun Su Seo[1], Yong Ho Jin[1], Se Jong Lee[1], Byung Min Lee[1] and Kwang Pyo Kim[1,*]

[1]*Department of Nuclear Engineering, Kyung Hee University, Yongin 17104, Republic of Korea*

Abstract - The International Commission on Radiological Protection (ICRP) published ICRP Publication 103 and recommends using the representative person concept as an individuals to assess radiation dose. In order to apply the representative person concept to the Korean regulatory system, it is necessary to analyze the change in radiation dose of the general public when changing the habit data applying the representative person concept. In this study, the results of dose assessment were compared when applying habit data of the current regulatory system and when applying habit data based on representative person concept. The age group was selected for adults. Exposure pathways were selected as gaseous and liquid effluents pathways. Dose assessment methodology applied to the KINS regulatory guide 2.2. In the case of habit data, ingestion rate and marine leisure activity time were considered. In order to analyze the radiation dose change according to the change in ingestion rate, the radiation dose assessment was performed by applying the 95th percentile value to the two main food groups for the ingestion dose and the average value to the other food groups. In order to analyze the radiation dose change according to the change in marine leisure activity time, the radiation dose assessment was performed by applying the 95th percentile value to the two main marine leisure activity groups for the marine leisure activity dose and the average value to the other marine leisure activity groups. The dominant food groups in ingestion dose were derived from grain and fruit. As a result of performing a dose assessment applying a 95th percentile value of ingestion rate to all food groups, the radiation dose of residents was calculated as 7.80×10^{-2} mSv · y^{-1}. Also, the radiation dose applying the 95th percentile ingestion rate for grain and fruit and the average value for other food groups, the radiation dose of residents was calculated as 6.48×10^{-2} mSv · y^{-1}. The dominant marine leisure activity groups in marine leisure activity dose were derived from boating and shoreline activity. As a result of performing a dose assessment applying the 95th percentile value in marine leisure activity time to all marine leisure activity groups, the radiation dose of residents was calculated as 7.80×10^{-2} mSv · y^{-1}. Also, radiation dose assessment applying the 95th

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

percentile marine leisure activity time for boating and shoreline activity and the average value for swimming, the dose of residents was calculated as 7.80×10^{-2} mSv·y^{-1}. As a result of analyzing the change in radiation dose according to the change in habit data, it is expected that the resident dose will be reduced compared to the radiation dose applied with the method of habit data under the current regulatory system. The results of this study will be used as a basis for introducing the representative person concept presented in ICRP Publication 103 in Korean regulatory system.

Key words : ICRP Publication 103, Representative person, Habit data, Public dose assessment, Optimization of radiation protection

서 론

원자력이용시설 정상운영 시 원자력이용시설 주변에 거주하는 주민은 환경으로 배출된 방사성물질로 인하여 방사선 피폭을 받을 개연성이 있다. 따라서 원자력이용시설 운영을 위해서는 운영 시 배출된 방사성유출물에 의한 주민 방사선량 평가를 수행하여 그 수준이 유의하지 않음을 확인하여야 한다(원자력안전위원회 2019). 국내에서는 원자력이용시설 정상운영 시 주민의 방사선학적 위해를 줄이기 위한 선량기준을 제시하고 있다.

국제방사선방호위원회에서는 일반인의 선량평가를 위하여 대표인의 개념을 제시하였다(ICRP 2006; ICRP 2007). 대표인의 정의는 높이 피폭받는 사람의 대표이며 결정집단의 평균 구성원에 해당하는 개인이다. 대표인 개념을 적용한 주민 선량평가의 목적은 보수성을 유지하면서도 합리적인 선량평가를 수행하는 것이다. 이를 위하여 습관자료에 대해 극단적 백분위 적용을 지양할 것을 권고하였다. 따라서 국제방사선방호위원회에서는 방사선량에 지배적인 습관자료의 경우 95백분위 값을 적용하되 이외의 습관자료는 보다 낮은 값을 적용할 것을 권고하였다.

영국 국립방사선방호위원회에서는 결정집단 선량평가 시 선량기여가 높은 두개의 습관자료에 대하여 97.5백분위 값을 사용할 것을 권고하였다(NRPB 2003). 영국 환경부에서는 대표인의 개념을 적용한 일반인 선량평가 지침을 제시하였다(EA 2012). HITACH 원자력 에너지 사는 대표인 개념을 적용하여 영국의 ABWR 노형에서 배출되는 유출물로 인한 주민 선량평가를 수행하였다(Hitachi-GE Nulcear Energy 2017). 영국 환경수산업과학센터(CEFAS; Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science)에서는 원전 주변 주민의 습관을 기반으로 대표인 선량평가를 수행하였다(CEFAS 2018). 캐나다의 경우 대표인 선량평가를 위한 습관자료로 90백분위 값을 사용할 것을 권고하였다(CSA 2008). 캐나다 온타리오발전회사(OPG; Ontario Power Generation)에서는 원전 주변 주민의 실제 거주지역을 기반으로 결정집단을 선정하여 대표인 선량평가를 수행하였다. 프랑스 EDF사에서는 영국에 Sizewell C 원자력발전소를 건설하기 위하여 환경영향평가를 수행하였으며, 이때 97.5백분위 습관자료를 사용하여 대표인 선량평가를 수행하였다. Jannik 등은 대표인 개념을 적용하여 사바나 강에 위치한 원자력 시설 유출물에 의한 주민 선량평가를 수행하였다(Jannik *et al*. 2019). 한국수력원자력 중앙연구원에서는 주민 선량평가를 위하여 국내외 습관자료 사용현황에 대하여 조사하였다(이와 정 2008). 한국원자력안전기술원에서는 대표인의 개념을 적용한 확률론적 선량평가 방법을 통하여 정상운영 시 원자력발전소 주변 주민의 외부피폭 선량을 평가하였다(유 등 2015).

국외에서는 국제방사선방호위원회 103 권고에서 제시한 대표인 개념을 기반으로 합리적인 습관자료를 고려한 일반인 선량평가를 다수 수행하였다. 하지만 현재 국내 규제체계에서는 모든 습관자료에 대하여 95백분위 값을 사용하여 선량평가가 수행되고 있다. 국내 원자력이용시설 주변 주민 방사선량 평가 체계에 대표인 개념을 도입할 경우 습관자료 적용 방법 등 선량평가 방법이 변경될 것으로 예상된다. 그리고 국내에서는 국제방사선방호위원회에서 권고한 대표인 개념을 규제체계에 반영할 것으로 예상된다. 따라서 국제방사선방호위원회 103 권고에서 제시한 대표인 개념을 국내 규제체계에 반영하기 위해서는 현재 국내에서 수행하고 있는 습관자료와 대표인 개념 도입 시 습관자료 적용에 따른 선량평가 방법론을 비교할 필요가 있다. 그리고 이를 기반으로 대표인 개념 도입 시 습관자료 변경에 따른 주민 선량 변화를 분석해야 한다.

본 연구에서는 대표인 개념 도입 시 습관자료 변경에 따른 원자력발전소 주변 주민의 선량 변화를 분석하였다. 이를 위하여 국내에서 수행하고 있는 습관자료와 대표인 개념 도입 시 습관자료 적용에 따른 선량평가 결과를 비교하였다. 습관자료는 섭취량과 해양활동시간으로 설정하였으며 선량평가 방법론은 한국원자력안전기술원 규제지침 2.2를 사용하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 APR-1400 원전을 가정하여 일반인에 대

한 선량평가를 수행하였다. 이를 위하여 APR-1400 DCD (DCD; Design Control Document)에 제시되어 있는 원자력 발전소 정상운영 시 발생하는 선원항을 사용하였다(NRC 2018). 피폭시나리오, 피폭경로의 경우 한국원자력안전기술원 규제지침 2.2에 제시되어 있는 자료를 사용하였다. 선량평가 인자의 경우 참고문헌을 활용하였다(한국원자력안전기술원 2011; 한국원자력안전기술원 2016). 그리고 선량평가 시 한국원자력안전기술원 규제지침 2.2에 제시된 선량평가 방법론을 사용하여 대표인 개념 도입에 따른 습관자료 변경 시 원자력발전소 주변 일반인의 선량 변화를 분석하였다(한국원자력안전기술원 2016).

1. 피폭시나리오 및 피폭경로 설정

한국원자력안전기술원에서는 규제지침 2.2에 피폭시나리오 설정에 대한 지침을 제시하였다. 한국원자력안전기술원 규제지침 2.2에서는 원자력이용시설 유출물에 의한 일반인 선량평가 시 고려해야하는 피폭 연령군으로 총 6개 1) 3개월 유아, 2) 1세, 3) 5세, 4) 10세, 5) 15세, 6) 성인을 제시하고 있다. 본 연구에서는 습관자료 변경에 따른 선량 변화 분석을 수행하기 위하여 섭취량과 해양활동시간이 가장 많은 성인을 피폭시나리오로 설정하였다.

피폭경로의 경우 크게 기체상 유출물에 의한 피폭경로, 액체상 유출물에 의한 피폭경로를 고려하였다. 본 연구에서 고려한 기체상 유출물에 의한 피폭경로는 네 가지로 1) 방사성운에 의한 외부피폭, 2) 토양침적에 의한 외부피폭 3) 호흡에 의한 내부피폭, 4) 농·축산물 섭취에 의한 내부피폭이다. 농·축산물에는 총 여덟 가지 식품군으로 구성되어 있다. 액체상 유출물에 의한 피폭경로는 두 가지로 1) 해양활동에 의한 외부피폭, 2) 수산물 섭취에 의한 내부피폭이다. 해양활동은 세 가지 활동 1) 해변활동, 2) 수영활동, 3) 수상활동으로 구성되어 있다. 해변활동은 해변에서 휴양을 즐기는 등 활동을 의미한다. 수영활동은 바다에서 수영하는 활동을 의미한다. 수상활동이란 배를 타는 등의 여가활동을 의미한다. 그리고 수산물은 네 가지로 구성되어 있다. 원자력발전소에서 발생하는 액체상 유출물은 모두 바다로 유출되기 때문에 액체상 유출물에 의한 피폭경로로 음용수 섭취에 의한 내부피폭, 오염된 물을 이용하여 경작된 농·축산물 섭취에 의한 내부피폭은 고려하지 않았다.

2. 선량평가 인자 설정

Table 1에 선량평가 시 필요한 식품군별 섭취량, 해양활동시간을 나타내었다. 유출물에 의한 일반인 선량평가를 위해서는 선량평가 방법론에 선량평가 인자를 적용해야 한다. 선량평가 시 필요한 인자는 유출물의 종류에 따라 구분되어 있다. 기체 유출물에 의한 선량평가 시 농·축산물 섭취량, 대기확산인자, 호흡량, 부지특성인자 등이 필요하다. 액체 유출물에 의한 선량평가 시 수산물 섭취량, 해양활동시간(해변활동시간, 수영활동시간, 수상활동시간) 등이 필요하다. 본 연구에서는 기체, 액체 유출물에 의한 선량평가 시 한국원자력안전기술원에서 제시한 값을 사용하였다(한국원자력안전기술원 2011; 한국원자력안전기술원 2016). 선량환산인자의 경우 외부피폭 선량환산인자와 내부피폭 선량환산인자로 구분되어 있다. 본 연구에서는 외부피폭 선량환산인자로 미국 환경청에서 제시한 FGR-15 보고서에서 제시한 값을 사용하였다(EPA 2019). 내부피폭 선량환산인자로는 국제방사선방호위원회 간행물 72에서 권고한 값을 사용하였다(ICRP 1995).

Table 1. 95-percentile, average habit data used in this study

Habit data		95th percentile value	Average value
Ingestion rate ($g \cdot day^{-1}$)	Grain	655	357
	Fruits	452	88
	Kimchi	373	146
	Leafy vegetables	785	223
	Beef	107	21
	Milk	301	59
	Pork	200	37
	Poultry	109	15
	Fish	200	44
	Shellfish	58	10
	Mollusks	55	9
	Algae	60	10
Marine leisure activity ($hr \cdot y^{-1}$)	Boating	1,572	256
	Shoreline activity	2,240	389
	Swimming	174	47

3. 습관자료 변경에 따른 선량 변화 분석

본 연구에서는 습관자료 변경에 따른 선량 변화 분석을 수행하기 위하여 성인의 섭취량, 해양활동시간 변경에 따른 방사선량을 평가하였다. 습관자료 변경을 위하여 국제방사선방호위원회, 영국, 캐나다에서 제시한 대표인 도입에 따른 습관자료 변경 방법을 조사하였다. Table 2에 국제방사선방호위원회, 영국, 캐나다의 습관자료 설정 방법을 나타내었다.

국제방사선방호위원회에서는 대표인 개념 도입 시 지나친 보수성을 방지하기 위해 습관자료에 대해 극단적 백분위 적용을 지양할 것을 권고하였다. 극단적 백분위 적용 시 일반인에 대한 선량을 비현실적으로 과대평가하게 되며, 원자력이용시설의 설계에 부당한 부담을 줄 개연성이 있다. 따라서 국제방사선방호위원회에서는 방사선량에 지배적인 습

Table 2. Methodology of using habit data applying representative person concept

Classification	ICRP	UK	Canada
Habit data	• 95 percentile values used for dominant exposure pathways • Lower values applied for other pathways	• 97.5 percentile values used for two dominant exposure pathways • Average values applied for other pathways	• 90 percentile values used for dominant exposure pathways • Average values applied for other pathways

관자료의 경우 95백분위 값을 적용하되 이외의 습관자료는 보다 낮은 값을 적용할 것을 권고하였다(ICRP 2006; ICRP 2007).

영국에서는 Top-Two rule과 같은 방법론을 통해 선량평가를 수행하고 있다. Top-Two rule이란 선량에 기여도가 높은 2개의 식품군에 대해 97.5백분위 섭취량을 이용하고, 나머지 식품군 섭취량에 평균값을 적용하는 방법론이다(NRPB 2003).

캐나다의 경우 대표인 개념을 적용한 선량평가 시 지나친 보수성을 방지하기 위하여 습관자료에 대해 극단적 백분위 적용을 지양하였다. 따라서 지배적인 습관자료의 경우 90백분위 값을 적용하고 이외의 습관자료는 평균값을 사용하였다(CSA 2008).

본 연구에서는 습관자료 변경에 따른 주민 선량 변화를 분석하기 위하여 섭취량과 해양활동시간 변경에 따른 선량 변화를 분석하였다. 섭취량 변경에 따른 주민 선량 변화를 분석하기 위하여 현행 규제체계에서 사용하는 섭취량과 대표인 개념 도입에 따른 섭취량을 적용한 선량평가를 수행하고 그 결과를 비교하였다. 현행 규제체계에서는 모든 식품군의 섭취량에 대하여 95백분위 값을 사용하고 있다. 따라서 모든 식품군의 섭취량에 대하여 95백분위 값을 적용하여 선량평가를 수행하였다. 그리고 대표인 개념 도입에 따른 섭취량은 국제방사선방호위원회, 영국, 캐나다에서 제시한 사항을 기반으로 방사선량에 지배적인 식품군 두 가지에 대하여 95백분위 값, 이외 식품군의 섭취량은 평균값을 사용하여 선량평가를 수행하였다.

해양활동시간 변경에 따른 선량 변화를 분석하기 위하여 현행 규제체계에서 사용하는 해양활동시간과 대표인 개념 도입에 따른 해양활동시간을 적용한 선량평가를 수행하고 그 결과를 비교하였다. 현행 규제체계에서는 모든 해양활동시간에 대하여 95백분위 값을 사용하고 있다. 따라서 모든 해양활동시간에 대하여 95백분위 값을 적용하여 선량평가를 수행하였다. 그리고 대표인 개념 도입에 따른 해양활동시간은 국제방사선방호위원회, 영국, 캐나다에서 제시한 사항을 기반으로 방사선량에 지배적인 해양활동시간 두 가지에 대하여 95백분위 값, 이외 해양활동시간에 대하여 평균값을 사용하여 선량평가를 수행하였다.

결 과

본 연구에서는 대표인 개념 도입에 따른 습관자료 변경 시 원자력발전소 주변 일반인 선량 변화를 분석하였다. 선량 변화 분석에 앞서 피폭시나리오, 피폭경로, 선량평가 인자 등을 설정하였다. 피폭시나리오의 경우 습관자료 변경에 따른 선량 변화를 분석하기 위하여 섭취량과 해양활동시간이 제일 높은 성인을 설정하였다. 피폭경로의 경우 기체상 유출물에 의한 피폭경로로 1) 방사성운에 의한 외부피폭, 2) 토양침적에 의한 외부피폭, 3) 호흡에 의한 내부피폭, 4) 농·축산물 섭취에 의한 내부피폭을 설정하였다. 그리고 액체상 유출물에 의한 피폭경로는 1) 해변활동에 의한 외부피폭, 2) 수영에 의한 외부피폭, 3) 수상활동에 의한 외부피폭, 4) 수산물 섭취에 의한 내부피폭을 설정하였다. 선량평가 인자의 경우 한국원자력안전기술원에서 제시한 인자를 사용하였다. 최종적으로 앞서 설정한 피폭시나리오, 피폭경로 선량평가 인자 등을 기반으로 대표인 개념 도입에 따른 습관자료 변경 시 원자력발전소 주변 일반인 선량 변화를 분석하였다.

1. 섭취량 변경에 따른 선량평가 결과

본 연구에서는 앞서 설정한 피폭시나리오, 피폭경로, 선량평가 인자를 기반으로 섭취량 변경에 따른 주민 선량 변화를 분석하였다. 섭취량 변경에 따른 주민 선량 변화를 분석하기 위하여 현행 규제체계에서 사용하는 섭취량과 대표인 개념 도입에 따른 섭취량을 적용한 선량평가를 수행하고 그 결과를 비교하였다. 현행 규제체계에서는 모든 식품군의 섭취량에 대하여 95백분위 값을 사용하고 있다. 따라서 모든 식품군의 섭취량에 대하여 95백분위 값을 적용하여 선량평가를 수행하였다. 그리고 대표인 개념 도입에 따른 선량을 평가하기 위해서 방사선량에 지배적인 식품군 두 가지에 대하여 95백분위 섭취량, 이외 식품군의 섭취량은 평균값을 사용하였다. 이때 식품군별 섭취량 이외의 선량평가 인자는 모두 동일하게 설정하였다.

Fig. 1에 본 연구에서 고려한 모든 식품군에 대하여 95백분위 섭취량을 적용한 선량평가 결과를 나타내었다. 대표인 개념 도입에 따른 섭취량 변경 시 선량 변화를 분석하기 위해서는 섭취 선량에 지배적인 식품군 두 가지를 식별해

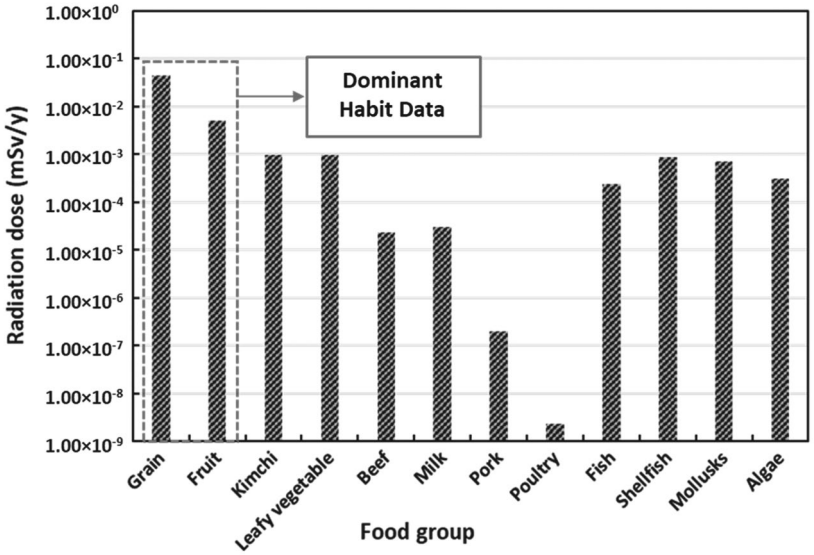

Fig. 1. Radiation dose by food group when the 95-percentile value was applied.

Table 3. Radiation dose change according to ingestion rate change

Exposure pathway		Existing habit data ($mSv \cdot y^{-1}$)	Representative person habit data ($mSv \cdot y^{-1}$)	Radiation dose change rate
Gaseous effluent	Submersion	5.16×10^{-3}	5.16×10^{-3}	–
	Ground	2.70×10^{-3}	2.70×10^{-3}	–
	Inhalation	3.03×10^{-3}	3.03×10^{-3}	–
	Ingestion	5.47×10^{-2}	5.12×10^{-3}	−6.4%
Liquid effluent	Marin leisure activity	6.04×10^{-4}	6.04×10^{-4}	–
	Ingestion	1.19×10^{-2}	2.07×10^{-3}	−82.6%
	Total	7.80×10^{-2}	6.48×10^{-2}	−16.9%

야 한다. 따라서 본 연구에서는 모든 식품군에 대하여 95백분위 섭취량을 적용하여 섭취에 의한 선량평가를 수행하였다. 각 식품군에 의한 선량평가 결과 곡류와 과일에 의한 선량이 $4.41 \times 10^{-2}\ mSv \cdot y^{-1}$, $5.08 \times 10^{-3}\ mSv \cdot y^{-1}$로 가장 높게 도출되었다. 따라서 곡류와 과일 섭취량에 대하여 95백분위 값, 이외의 식품군에 대한 섭취량은 평균값을 적용하여 선량평가를 수행하였다.

Table 3에 섭취량 변경에 따른 주민 총 선량을 나타내었다. 평가 결과 모든 식품군에 대하여 95백분위 섭취량을 적용한 주민의 선량은 $7.80 \times 10^{-2}\ mSv \cdot y^{-1}$로 나타났다. 피폭경로별 선량은 방사성운에 의한 선량이 $5.16 \times 10^{-3}\ mSv \cdot y^{-1}$, 토양침적에 의한 선량이 $2.70 \times 10^{-3}\ mSv \cdot y^{-1}$, 호흡에 의한 선량이 $3.03 \times 10^{-3}\ mSv \cdot y^{-1}$, 농·축산물 섭취에 의한 선량이 $5.47 \times 10^{-2}\ mSv \cdot y^{-1}$, 해양활동으로 인한 선량이 $6.04 \times 10^{-4}\ mSv \cdot y^{-1}$, 수산물 섭취에 의한 선량이 $1.19 \times 10^{-2}\ mSv \cdot y^{-1}$로 나타났다. 곡류, 과일에 대하여 95백분위 섭취량, 이외 식품군에 대하여 평균 섭취량을 적용한 총 방사선량은 $6.48 \times 10^{-2}\ mSv \cdot y^{-1}$로 나타났다.

2. 해양활동시간 변경에 따른 선량평가 결과

해양활동시간 변경에 따른 선량 변화를 분석하기 위하여 현행 규제체계에서 사용하는 해양활동시간과 대표인 개념 도입에 따른 해양활동시간을 적용한 선량평가를 수행하고 그 결과를 비교하였다. 현행 규제체계에서는 모든 해양활동시간에 대하여 95백분위 값을 사용하고 있다. 따라서 모든 해양활동시간에 대하여 95백분위 값을 적용하여 선량평가를 수행하였다. 그리고 대표인 개념 도입에 따른 선량을 평가하기 위하여 방사선량에 지배적인 해양활동시간 두 가지에 대하여 95백분위 값, 이외 해양활동시간에 대하여 평균값을 사용하여 선량평가를 수행하였다. 이때 해양활동시간 이외의 선량평가 인자는 모두 동일하게 설정하였다.

Fig. 2에 본 연구에서 고려한 해양활동시간에 대하여 95백분위 값을 적용한 선량평가 결과를 나타내었다. 대표인 개념을 도입에 따른 해양활동시간 변경 시 선량 변화를 분석하기 위해서는 선량에 지배적인 해양활동 두 가지를 식별해야 한다. 따라서 본 연구에서는 모든 해양활동시간에 대하여 95백분위 값을 적용하여 해양활동에 의한 외부피폭 선량평가를 수행하였다. 해양활동시간에 의한 선량평가 결과 해변활동과 수상활동에 의한 선량이 6.02×10^{-4} $mSv\cdot y^{-1}$, 1.23×10^{-6} $mSv\cdot y^{-1}$로 가장 높게 도출되었다. 따라서 해변활동시간, 수상활동시간에 대하여 95백분위 값, 수영활동시간은 평균값을 적용하여 선량평가를 수행하였다.

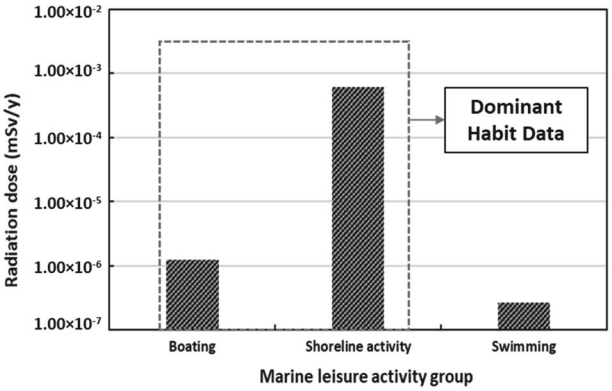

Fig. 2. Radiation dose by marine leisure activity group when the 95-percentile value was applied.

Table 4에 해양활동시간 변경에 따른 주민 총 선량을 그래프로 나타내었다. 평가 결과 모든 해양활동시간에 대하여 95백분위 값을 적용한 주민의 선량은 7.80×10^{-2} $mSv\cdot y^{-1}$로 나타났다. 피폭경로별 선량은 방사성운에 의한 선량이 5.16×10^{-3} $mSv\cdot y^{-1}$, 토양침적에 의한 선량이 2.70×10^{-3} $mSv\cdot y^{-1}$, 호흡에 의한 선량이 3.03×10^{-3} $mSv\cdot y^{-1}$, 농·축산물 섭취에 의한 선량이 5.47×10^{-2} $mSv\cdot y^{-1}$, 해양활동으로 인한 선량이 6.04×10^{-4} $mSv\cdot y^{-1}$,

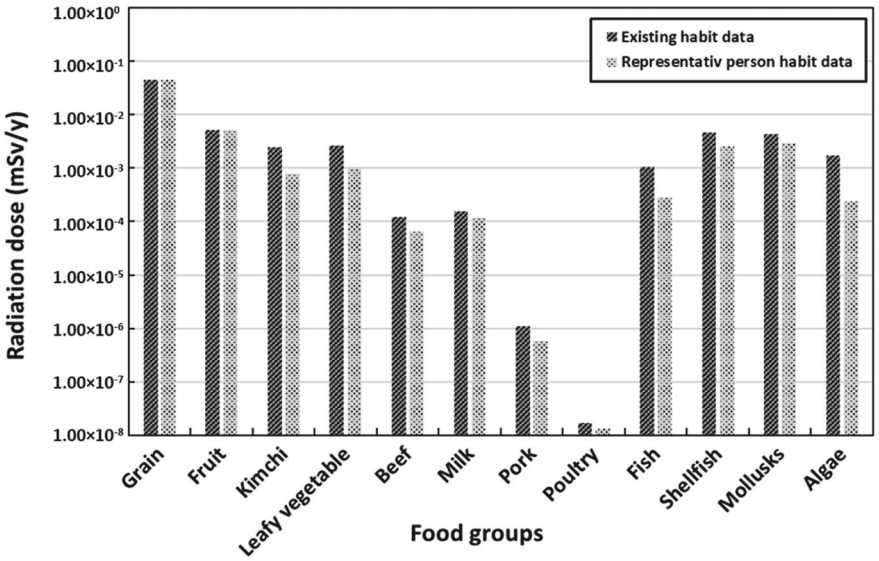

Fig. 3. Radiation dose change according to ingestion rate of agricultural, livestock and fisheries products change.

Table 4. Radiation dose change according to marine leisure activity time change

Exposure pathway		Existing habit data ($mSv\cdot y^{-1}$)	Representative person habit data ($mSv\cdot y^{-1}$)	Radiation dose change rate
Gaseous effluent	Submersion	5.16×10^{-3}	5.16×10^{-3}	–
	Ground	2.70×10^{-3}	2.70×10^{-3}	–
	Inhalation	3.03×10^{-3}	3.03×10^{-3}	–
	Ingestion	5.47×10^{-2}	5.47×10^{-3}	–
Liquid effluent	Marin leisure activity	6.04×10^{-4}	6.04×10^{-4}	–
	Ingestion	1.19×10^{-2}	1.19×10^{-2}	–
	Total	7.80×10^{-2}	7.80×10^{-2}	–

수산물 섭취에 의한 선량이 1.19×10^{-2} mSv·y^{-1}로 나타났다.

고 찰

1. 섭취량 변경에 따른 선량 변화 분석

곡류, 과일에 대하여 95백분위 섭취량, 이외 식품군에 대하여 평균 섭취량을 적용한 선량은 모든 식품군에 대하여 95백분위 섭취량을 적용한 주민의 총 선량보다 약 17% 감소하였다. 이는 농·축산물, 수산물 섭취 이외의 피폭경로에 의한 선량은 동일하지만 곡류, 과일을 제외한 식품군의 섭취량이 감소하여 농·축산물, 수산물 섭취 선량이 감소하였기 때문이다. Fig. 2에 농·축산물, 수산물 섭취량 변화에 의한 식품군별 선량 변화를 나타내었다. 곡류, 과일에 의한 섭취량이 동일하여 곡류, 과일 섭취에 의한 선량은 동일하지만 이외 식품군의 섭취량이 95백분위에서 평균값으로 감소하여 농·축산물, 수산물 섭취에 의한 선량이 약 20% 감소한 것으로 나타났다.

2. 해양활동시간 변경에 따른 선량 변화 분석

해변활동시간, 수상활동시간에 대하여 95백분위 값, 수영활동시간에 대하여 평균 값을 적용한 총 선량은 7.80×10^{-2} mSv·y^{-1}로 나타났다. 해변활동시간, 수상활동시간에 대하여 95백분위 값, 수영활동시간에 대하여 평균값을 적용한 선량은 모든 해양활동시간에 대하여 95백분위 값을 적용한 주민의 선량과 차이가 발생하지 않았다. 이는 해양활동에 의한 선량이 전체 선량에 약 0.8%에 해당하여 해양활동시간 변경에 따른 선량 차이는 발생하지 않았다. 그리고 수영활동시간 변경에 따른 해양활동 선량 차이는 발생하지 않았다. 이는 수영활동에 의한 선량이 해양활동에 의한 선량에 약 0.05%에 해당하여 수영활동시간이 95백분위에서 평균값으로 감소하여도 해양활동 선량 차이는 발생하지 않았다.

결 론

본 연구에서는 대표인 개념 도입에 따른 습관자료 변경 시 원자력발전소 주변 일반인 선량 변화를 분석하였다. 이를 위하여 첫 번째로 피폭시나리오와 피폭경로를 설정하였다. 피폭시나리오로는 섭취량과 해양활동시간이 가장 높은 성인을 설정하였으며 피폭경로로는 기체상, 액체상 유출물에 의한 피폭경로를 설정하였다. 두 번째로 선량평가 인자로는 섭취량, 해양활동시간 등 국내 참고문헌에서 제시하는 값을 사용하였다. 세 번째로 한국원자력안전기술원 규제지침에 제시되어 있는 선량평가 방법론을 기반으로 습관자료 변경 시 원자력발전소 주변 일반인 선량 변화를 분석하였다.

습관자료 중 섭취량 변경 시 선량 변화 분석을 수행하였다. 대표인 개념 도입에 따른 섭취량 변경 시 선량 변화 분석을 위하여 섭취 선량에 지배적인 식품군 두 가지를 식별하였다. 이때 곡류와 과일이 섭취 선량에 지배적인 식품군으로 나타났다. 섭취량 변경에 따른 선량평가 결과 모든 식품군에 대하여 95백분위 섭취량을 적용한 주민의 선량은 7.80×10^{-2} mSv·y^{-1}로 나타났다. 곡류, 과일에 대하여 95백분위 섭취량, 이외 식품군에 대하여 평균 섭취량을 적용한 섭취 선량은 6.48×10^{-2} mSv·y^{-1}로 나타났다. 곡류, 과일에 대하여 95백분위 섭취량, 이외 식품군에 대하여 평균 섭취량을 적용한 선량은 모든 식품군에 대하여 95백분위 섭취량을 적용한 주민의 총 선량보다 약 17% 감소하였다. 이는 농·축산물, 수산물 섭취 이외의 피폭경로에 의한 선량은 동일하지만 곡류, 과일을 제외한 식품군의 섭취량이 감소하여 농·축산물, 수산물 섭취 선량이 감소하였기 때문이다.

습관자료 중 해양활동시간 변경 시 선량 변화 분석을 수행하였다. 대표인 개념 도입에 따른 해양활동시간 변경 시 선량 변화 분석을 위하여 해양활동에 의한 선량에 지배적인 해양활동 두 가지를 식별하였다. 이때 해변활동과 수상활동이 해양활동 선량에 지배적인 해양활동으로 나타났다. 해양활동시간 변경에 따른 선량평가 결과 모든 해양활동시간에 대하여 95백분위 값을 적용한 주민의 선량은 7.80×10^{-2} mSv·y^{-1}로 나타났다. 해변활동시간, 수상활동시간에 대하여 95백분위 값, 수영활동시간에 대하여 평균값을 적용한 선량은 7.80×10^{-2} mSv·y^{-1}로 나타났다. 해변활동시간, 수상활동시간에 대하여 95백분위 섭취량, 수영활동시간에 대하여 평균값을 적용한 선량은 모든 해양활동시간에 대하여 95백분위 값을 적용한 주민의 선량과 차이가 발생하지 않았다. 이는 해양활동에 의한 선량이 전체 선량에 약 0.8%에 해당하여 해양활동시간 변경에 따른 선량 차이는 발생하지 않았다.

습관자료 변경에 따른 주민 선량 변화 분석 결과, 섭취량 변경에 의한 선량은 감소하였지만 해양활동시간 변경에 따른 선량 차이는 발생하지 않았다. 대표인 개념 도입에 따른 습관자료 변경 시 주민 선량은 현행 선량평가 결과에 비해 줄어들 것으로 예상된다. 본 연구의 결과는 국내에 국제방사선방호위원회 103 권고에서 제시한 대표인의 개념을 규제체계에 도입하기 위한 기반자료로 활용될 것이다.

사 사

본 연구는 원자력안전위원회의 재원으로 한국원자력안전

재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구사업의 연구결과입니다(No. 1805016).

참 고 문 헌

유형준, 노시완, 이재기, 권정완, 김홍석. 2015. 원전주변 대표인의 외부피폭선량에 대한 확률론적 평가. 2015년도 대한방사선방어학회 춘계 학술발표회 논문요약집, pp. 172-173.

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

이갑복, 정양근. 2008. 국내 원자력발전소 주변 주민의 방사선량 평가를 위한 음식물 섭취율 설정 연구. 방사선방어학회지. **33**(4):183-196.

한국원자력안전기술원. 2011. 주민피폭선량평가(INDAC) 체계 개선 방향 연구. KINS/RR-808.

한국원자력안전기술원. 2016. 주민피폭선량평가. KINS/RG-N02.02.

CEFAS. 2018. Radioactivity in Food and the Environment 2017. RIFE-23. ISSN 1365-6414.

CSA. 2008. Guidelines for Calculating Derived Release Limits for Radioactive Material in Airborne and Liquid Effluents for Normal Operations of Nuclear Facilities. Canadian Standards Association, Standard N288.1-08. Toronto, Canada.

EA. 2012. Principles for the Assessment of Prospective Public Doses Arising from Authorised Discharges of Radioactive Waste to the Environment, Radioactive Substances Regulation under the Radioactive Substances Act (RSA-93) or under the Environmental Permitting Regulations (EPR-10), Environment Agency, Nuclear Regulatory Group, Cumbria, UK.

EDF energy. 2020. Sizewell C Project Radioactive Substances Regulation (RSR) Permit Application Appendix D Support Document D1 - Human Radiological Impact Assessment.

EPA. 2019. External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil. EPA-402/R19/002.

Hitachi-GE Nuclear Energy Ltd. 2017. UK ABWR Generic Design Assessment. GA91-9901-0028-00001, HE-GD-0005, Rev. G.

ICRP. 1995. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. ICRP Publication 72. Ann. ICRP 26(1).

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).

Jannik GT, Stagich BH and Dixon KL. 2019. Radiological Impact of 2018 Operations at the Savannah River Site. SRNL-STI-2019-00321, Revision 1.

NRC. 1976. Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR Part 50, Appendix I.

NRC. 2018. APR1400 Design Control Document Tier 2.

NRPB. 2003. Generalised Habit Data for Radiological Assessments, NRPB-W41, NRPB, Chilton.

OPG. 2017. 2017 Results of Environmental Monitoring Programs.

Received: 25 November 2021
Revised: 13 December 2021
Revision accepted: 13 December 2021