JOURNAL OF RADIATION INDUSTRY

Original article

16(3) : 221-229 (2022)
https://doi.org/10.23042/radin.2022.16.3.221

선량제약치 도입을 위한 원자력발전소 주변 주민의 방사선량 분포 도출

진용호[1], 김지우[1], 이병민[1], 라현준[1], 김광표[1,*]

[1]경희대학교 원자력공학과

Derivation of Radiation Dose Distribution to the General Public Around Nuclear Power Plants to Adopt Dose Constraint Concept

Yong Ho Jin[1], Ji Woo Kim[1], Byung Min Lee[1], Hyun Jun Na[1] and Kwang Pyo Kim[1,*]

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

Abstract During normal operation of nuclear power plant, liquid and gaseous effluents are emissioned. The International Commission of Radiation Protection (ICRP) suggested setting dose constraints as quantitative criteria to optimize radiation dose of public. In addition, the International Atomic Energy Agency (IAEA) suggests that dose constraints would be derived from Representative Person dose distribution. Currently, research for adaption of ICRP 103 recommendation in Korea is ongoing, and the concept of dose constraints is expected to be introduced in Korea in the future. Therefore, the object of this study is to derive the dose distribution of general public around nuclear power plants prior to setting dose constraints. To achieve this goal, dose distribution was derived through 5 steps, setting source term, setting exposure pathways and scenarios, setting factor for dose assessment, selecting critical group candidates, assessing critical group dose and deriving dose distribution. As the first step, source term was set based on gaseous and liquid effluents emitted from each nuclear power plant for 10 years from 2012 to 2021. As the second step, exposure pathways were selected based on KINS regulatory guide 2.2. Exposure scenarios were classified as 1-year-old residents, 10-year-old residents, fishery residents, agricultural residents, commuter, and homemaker, based on occupational characteristics around nuclear power plants. As the third step, factors for dose assessment were selected, which including atmospheric dispersion factor, deposition factor, and habit data. Atmospheric dispersion factor was assessed based on actual residential location and crop cultivation area using XOQDOQ. In addition, the intake data was set based on 2018 Korea National Health and Nutrition Survey. As a fourth step, critical group candidates were selected based on the actual residence point. Finally, as a fifth step, radiation dose of general were assessed, and the dose distribution of the general public around the nuclear power plant was derived. The dose of general public was derived from 4.34×10^{-3}~6.65×10^{-2} mSv yr^{-1}. Dose of general public around sites A, B, C, and D were 4.34×10^{-3}~2.73×10^{-2} mSv yr^{-1}, 6.15×10^{-3}~6.65×10^{-2} mSv yr^{-1}, 5.27×10^{-3}~1.50×10^{-2} mSv yr^{-1}, 1.70×10^{-2}~4.34×10^{-2} mSv yr^{-1}, respectively. For a particular site, the dose distribution has 2 peaks, which is judged to be the effect of ^{14}C released in a particular year. And among the average doses of sites A, B, C, and D, site D was the highest, which is judged to be due to the highest atmospheric diffusion factor of site D. The dose distribution derived in this study would be the basis data for setting domestic dose constraints in the future.

Key words: Dose constraint, ICRP 103 recommendation, Representative person, Dose distribution, Public dose assessment

http://www.ksri.kr/

Copyright © 2022 by
Korean Society of Radiation Industry

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

Received 25 August 2022 **Revised** 17 September 2022 **Accepted** 20 September 2022

1. 서 론

원자력발전소 정상운영 시 기체상, 액체상 유출물이 발생하여 원자력발전소 주변 일반인의 피폭이 발생한다. 이러한 피폭의 최적화를 위해 국제방사선방호위원회는 선량제약치를 설정하여 방사선 방호최적화의 정량적인 기준으로 활용할 것을 권고하였다. 그리고 국제원자력기구 등에서는 선량제약치 설정 시 대표인의 선량분포 등을 활용하여 도출할 것을 제시하고 있다.

국제방사선방호위원회는 계획피폭상황에서 방사선 방호 최적화를 위한 정량적 기준으로 선량제약치를 제시하였다. 선량제약치 설정 시 1 mSv yr^{-1} 이하로 설정하되 0.3 mSv yr^{-1}를 초과하지 않는 값이 적합함을 제시하고 있다[1]. 국제원자력기구에서는 운영 중 선량분포의 상위값을 선량제약치로 설정할 것을 제시하였다[2]. 이러한 선량제약치는 결정집단의 평균선량으로 설정되어야 한다[3]. 이때 결정집단의 평균적 구성원은 국제방사선방호위원회에서 발간된 ICRP 101 간행물에서 정의한 대표인이다[4]. 즉, 선량제약치를 설정하기 위해서는 결정집단의 평균선량인 대표인 선량 분포를 도출해야 한다. 이때 선량분포를 도출할 때 운영이력을 파악하기 위해 과거 방출이력을 바탕으로 선량평가를 수행하여야 한다.

국외 및 국내에서는 선량제약치 설정에 대한 다양한 연구가 진행되었다. 캐나다원자력안전위원회(Canadian Nuclear Safety Commission; CNSC)는 선량분포를 통해 선량제약치를 시범 제시하였다[5]. 원자력발전소 주변 주민에 대한 10년간 선량평가 후 선량분포의 상한값인 0.048 mSv yr^{-1}에 여유도를 주어 0.05 mSv yr^{-1}를 선량제약치로 시범제시하였다. 영국의 건강보호청(Health Protection Agency; HPA)은 Risk를 바탕으로 신규 원자력폐기물 처분시설의 선량제약치를 도출하였다. HPA는 1.0×10^{-5} risk yr^{-1}의 위험도에 해당하는 선량인 0.15 mSv yr^{-1}를 선량제약치로 설정하였다[6]. 국내에서는 공태영 등이 국내 복수호기 원전 운영 환경을 고려한 일반인 선량제약치를 제시하였다[7]. 신규원전 건설로 인한 부지 내 다수의 원전이 존재함에 따라, 여유도를 고려하여 0.6 mSv yr^{-1}를 부지에 대한 선량제약치로 제시하였다.

대한민국의 경우 현재 국제방사선방호위원회 103 권고를 도입하려는 연구가 진행중이며, 추후 대한민국의 규제체계에 국제방사선방호위원회 103 권고가 도입될 것으로 예상된다. 이에 따라 대한민국의 환경에 적합한 선량제약치의 도입이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 국내 원자력이용시설에 대한 일반인 선량제약치 도출에 대한 연구는 부족한 상황이며, 원자력이용시설 중 대표적인 시설인 원자력발전소에 대해 실제 운영이력을 고려한 일반인 선량제약치의 도출 사례 또한 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 선량제약치 도출에 앞서 원자력발전소 주변 주민의 선량평가를 통해 일반인의 선량분포를 도출하였다. 이를 위해 선원항 설정, 피폭경로 및 피폭시나리오 설정, 선량평가 인자 설정, 원자력발전소 주변 결정집단 설정을 수행하였다. 그리고 최종적으로 선량평가 결과를 바탕으로 원자력발전소 운영으로 인한 주변 주민의 방사선량 분포를 도출하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 선원항 설정

선량제약치는 원자력이용시설 운영 시 일반인 방사선 방호 최적화를 위한 정량적인 제약치이다. 따라서 선량제약치를 도출하기 위해, 원자력이용시설 운영으로 인한 일반인의 선량분포를 도출해야 한다. 원자력발전소 운영으로 인한 일반인 선량분포를 도출하기 위해서는 실제 원자력발전소 정상운영 시 방출된 방사성유출물 정보를 선원항으로 설정할 수 있다.

대한민국의 부지당 원자력발전소는 최소 6개 호기에서 최대 10개 호기가 운영될 것으로 예상된다. 이에 일반인은 한 부지에 존재하는 다수의 호기에 의해 피폭한다. 따라서 본 연구에서는 단일 원자력발전소가 아닌 다수의 원자력발전소가 존재하는 원자력발전소 부지를 선원항으로 설정하였다.

2.2. 피폭경로 및 피폭시나리오 설정

원자력발전소 정상운영 시 기체, 액체상 유출물이 발생한다. 발생된 기체, 액체상 유출물은 환경으로 방출되어 원자력발전소 주변 일반인이 피폭될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 한국원자력안전기술원 규제지침 2.2에서 제시한 피폭경로를 활용하였다[8]. 한국원자력안전기술원 규제지침에서는 기체상, 액체상 유출물에 의한 내부, 외부 피폭경로를 제시하고 있다.

국제방사선방호위원회는 생리학적 변수, 생활습관, 거주정보 등을 고려하여 피폭시나리오를 설정할 것을 제시하였다. 그리고 이러한 피폭시나리오에 근거하여 선량평가를 수행할 것을 권고하였다[4]. 원자력발전소 부지 주변 주민의 선량은 연령군과 직업군에 따라 상이할 것으로 예상된다. 따라서 원자력발전소 부지 주변 주민의 연령군과 직업군을 바탕으로 피폭시나리오를 설정하였다. 그리고 피폭시나리오를 선량평가에 반영하기 위해 피폭시나리오별 선량평가 시 가정사항을 도출하였다.

2.3. 선량평가 인자 설정

원자력발전소 주변 일반인의 선량 평가를 위해 대기확산인자와 습관자료 중 음식물섭취량을 도출하였다. 대기확산인자의 경우 미국원자력규제위원회 Regulatory Guide 1.111 방법론을 바탕으로 평가하였다[9]. 그리고 원자력발전소 정상운영 시, 방사성핵종이 농산물에 침적될 수 있다. 방사성핵종이 침적된 농산물을 섭취하면 피폭이 발생한다. 따라서 농산물 생산지역은 부지 주변 농경지를 기반으로, 방사성물질로 인한 오염이 예상되는 지역에 대해 설정해야 한다. 그리고 해당 지역에 대한 대기확산인자를 도출하여 섭취 선량평가 시 활용해야 한다.

국제방사선방호위원회 101 간행물에서는 대표인 선량평가 시, 습관자료는 피폭하는 집단에 근거하되 합리적이고 지속가능하며 균질하여야 함을 제시하였다. 이에 따라 동일 간행물에서 모든 피폭경로에 대해 95백분위를 적용하는 것보다는 지배적인 경로에 대해 95백분위를, 이외 피폭경로에 대해서는 낮은 값을 사용하는 것이 합리적이고 지속가능하다고 제시하였다[4]. J.Bryom 등 또한 국제방사선방호위원회의 권고와 유사하게 선량이 가장 높은 섭취경로 2개에 대해 97.5 백분위를 활용하고, 나머지 섭취경로에 대해 평균 섭취량을 적용하여 선량평가를 수행하면 합리적인 선량을 도출할 수 있음을 제시하였다[10]. 따라서 본 연구에서는 국제방사선방호위원회의 권고와 선행 연구 사례를 기반으로 주요 피폭경로 2가지에 대해 95백분위 습관자료를 사용하고, 이외 피폭경로에 대해 낮은 백분위 값을 사용하여 선량평가를 수행하였다.

2.4. 원자력발전소 주변 결정집단 선정

국제방사선방호위원회는 대표인을 결정집단의 평균적 구성원으로 제시한 바 있다. 따라서 대표인의 선량평가를 위해 결정집단의 설정이 선행되어야 한다. 이때 결정집단의 선정은 피폭대상의 공간적 분포를 고려하여 설정되어야 한다[4]. 따라서 원자력발전소 주변 16방위에 대해 실제 주민이 거주하는 지점의 위치를 고려하여 결정집단 후보군을 설정하였다. 해당 지점에서의 선량평가를 통해 결정집단 후보군의 선량을 도출하였다.

2.5. 결정집단 선량 평가 및 일반인 선량분포 도출

본 연구에서는 원자력발전소 주변 일반인의 선량분포를 도출하기 위해 선량평가를 수행하였다. 선량평가는 원자력발전소에서 방출되는 유출물의 특성을 고려하여 한국원자력안전기술원 규제지침 2.2 방법론을 바탕으로 수행하였다[8]. 선량평가는 A, B, C, D 부지 주변 주민을 대상으로 수행하였다. 선량평가 결과를 바탕으로 A, B, C, D 부지 주변 주민의 선량분포를 도출하였다.

3. 결 과

본 연구에서는 앞서 설정한 선량분포 도출 방법론으로 선량분포를 도출하였다. 이를 위해 원자력발전소 주변 결정집단을 선정하고, 결정집단 평균선량을 도출한 후, 결정집단 평균선량을 바탕으로 선량분포를 도출하였다.

3.1. 선원항 설정

본 연구에서는 선원을 각 원자력발전소 부지로 선정하였다. 따라서 대한민국에 존재하는 원자력발전소의 부지를 고려하여 A, B, C, D 부지를 각각 선원항으로 설정하였다. 원자력발전소의 경우 핵연료주기는 18개월이며, 총 3번의 핵연료 주기를 거치고 핵연료가 교체된다. 따라서 핵연료를 모두 교체하기 위해서 총 54개월이 필요하며 이는 계획예방정비 기간을 고려할 경우 약 5년에 해당하는 기간이다. 따라서 5년 이상의 방출량 정보를 선원항으로 설정하는 것이 타당하다고 판단된다. 하지만 5년간 방출량을 선원항으로 설정할 시 특정핵연료의 제작 특성에 의해 선원항의 대표성이 제한될 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위하여 두 번의 핵연료가 연소하는 10년을 선원항으로 고려한다면 선원항의 대표성이 높아질 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 2012년부터 2021년까지, 10년간 각 원자력발전소 부지 내 각 호기에서 방출된 기

Table 1. Exposure pathways considered in this study

Effluent type	Exposure pathways	Specific exposure pathways	
Gaseous effluent	External exposure	Submersion of air Groundshine	
	Internal exposure	Inhalation	
		Ingestion	Agricultural products Livestock products
Liquid effluent	External exposure	Submersion of water (Swimming) Boating Beachshine	
	Internal exposure	Ingestion	Fish Shellfish Mollusks Algae

체, 액체유출물의 핵종별 배출량을 조사하였다[11-20]. 그리고 이를 바탕으로 선원항을 설정하였다.

3.2. 피폭경로 및 피폭시나리오 설정 결과

Table 1에 본 연구에서 고려한 피폭경로를 나타내었다. 원자력발전소 정상운영 시 피폭할 수 있는 피폭경로 중 기체상 유출물에 의한 외부피폭 경로로 방사성운 잠김에 의한 외부피폭, 오염된 토양에 의한 외부피폭을 설정하였다. 그리고 내부피폭 경로로 호흡에 의한 내부피폭, 섭취에 의한 내부피폭을 설정하였다. 섭취에 의한 피폭은 총 곡류, 김치류, 엽채류, 근채류, 과일류, 소고기류, 돼지고기류, 닭고기류, 우유류로 총 9개 섭취 경로를 고려하였다.

액체상 유출물에 의한 외부피폭 경로는 해변 축적물에 의한 외부피폭, 수영에 의한 외부피폭, 수상활동에 의한 외부피폭을 설정하였다. 그리고 내부피폭 경로로 수산물 섭취에 의한 내부피폭을 설정하였다. 수산물 섭취에 의한 피폭은 어류, 갑각류, 연체류, 해조류로 총 4개 섭취 경로를 고려하였다. 이때 액체상 유출물에 의한 피폭 경로 중 음용수 섭취에 의한 피폭경로와 오염된 물을 이용해 경작된 농축산물 섭취에 의한 피폭경로는 고려하지 않았다. 이는 국내 원자력발전소가 모두 해안가에 위치하여 해당 피폭경로를 통해 피폭하지 않을 것으로 판단되어 제외하였다.

Table 2에 본 연구에서 도출한 피폭시나리오를 요약하여 나타내었다. 피폭시나리오는 크게 2가지 기준인 연령군과 직업군을 바탕으로 설정하였다[4]. 피폭시나리오를 구분하는 첫 번째 기준인 연령군은 국제방사선방호위원회 103 권고에서 제시한 대표인 개념을 준수하여 1세, 10세, 성인 3개 연령군을 사용하였다[1]. 1세 연령군은 0~5세에 해당하는 연령을 포함하며, 10세 연령군은 6~15세, 성인 연령군은 16세 이상 연령을 포함한다.

Table 2. Exposure scenario and assumption for dose assessment

Age classification	Occupational classification
Adult	Fishery resident Agricultural resident Commuter Homemaker
10-year-old child	10-year-old
1-year-old infant	1-year-old

두 번째 기준인 직업군은 1세, 10세 연령군의 경우 직업을 가질 개연성이 적다고 판단하였기에 성인 연령군에 한정하여 설정하였다. 직업군의 경우 원자력발전소 주변 직업특성을 반영하여 설정하였다[21-26]. 직업군은 어업종사자, 농업종사자, 교외작업종사자, 주부 4가지로 설정하였다. 각 직업군에 따라 습관자료나 거주특성 등이 상이할 것으로 판단된다. 어업종사자의 경우 해양활동 시간이 타 피폭시나리오와 비교하여 높아 어업종사자의 특성에 적합한 해양활동 시간을 적용하였다. 그리고 농업종사

Table 3. Ingestion data considered in this study

Type	Intakes data (g day^{-1})					
	1-Y infant		10-Y child		Adult	
	Average	95th percentile	Average	95th percentile	Average	95th percentile
Grain	154	327	202	438	246	537
Kimchi	26	91	62	181	118	324
Leafy	45	168	69	229	147	423
Root	49	151	73	218	105	333
Fruit	158	413	169	495	231	691
Beef	26	80	43	175	57	203
Pork	41	151	85	271	106	384
Poultry	47	135	79	282	86	282
Milks	243	582	276	572	231	520
Fish	19	59	27	93	53	188
Shellfish	8	39	19	91	31	123
Mollusks	16	77	24	92	38	134
Algae	4	11	5	15	8	26

Table 4. Maritime activity data considered in this study

Type	Maritime activity data (h yr^{-1})											
	1-Y infant		10-Y child		Fishery resident		Agricultural resident		Commuter		Homemaker	
	Average	95th percentile	Average	95th percentile	Average	95th percentile	Average	95th percentile	Average	95th percentile	Average	95th percentile
Shoreline activity	39	120	84	275	1,042	4,440	221	402	221	402	221	402
Swimming	64	220	63	200	88	495	42	160	42	160	42	160
Boating	13	20	20	72	813	2,058	47	203	47	203	47	203

자의 경우 건물 내부가 아닌 외부에서 활동하는 시간이 많아 건물에 의한 차폐효과를 고려하지 않았다. 세 번째로 교외작업종사자의 경우, 원자력발전소 주변에서 타지로 통근을 하므로, 연간 2000시간에 해당하는 거주 시간의 분율을 제외하여 선량평가를 적용하였다. 마지막으로 주부의 경우, 원자력발전소 주변에 거주하며 실내에 활동하는 시간이 많고, 직업을 갖지 않는 개인으로 설정하였다. 따라서 이를 종합하여 피폭시나리오는 1세 거주자, 10세 거주자, 어업종사자, 농업종사자, 교외작업종사자, 주부 총 6가지로 분류하였다.

3.3. 선량평가 인자 설정

본 연구에서는 원자력발전소 주변 일반인의 방사선량 평가를 위해 각 부지별 특성에 맞는 대기확산인자를 도출하였다. 대기확산인자의 경우 NRC Regulatory Guide 1.111 방법론을 바탕으로한 XOQDOQ 전산코드를 사용하였다[26]. XOQDOQ 전산코드를 통해 원자력발전소 주변 주민이 거주하는 지점과, 농축산물 생산지역에서 대기확산인자를 평가하였다.

각 부지별 농산물 생산지역은 A, B, C, D 부지 각각 15, 11, 13, 14 곳에 대해 선정하였다. 원자력발전소 주변에는 다수의 농산물 생산지역이 있으며, 원자력발전소 주변 주민은 해당 위치에서 재배하는 농축산물을 섭취하여 피폭한다. 본 연구에서는 보수성을 위해 다수의 농산물 생산지역 중 대기확산인자와 침적인자가 가장 높은 지점을 농축산물 생산지역으로 설정하였다.

원자력발전소 주변 일반인의 선량 평가를 위해 각 시나리오별 섭취량과 해양활동시간을 설정하였다. Table 3에 본 연구에서 설정한 섭취량 자료를 나타내었다. 섭취량은 2018 국민건강영양조사 결과값을 바탕으로 도출하였다[27]. 13개의 섭취경로 중 주요 섭취경로인 곡류와 과일의 섭취량에 대해 95백분위 섭취량을 활용하고, 이외 활동에 대해 평균 섭취량을 적용하여 방사선량을 평가하였다[28].

Table 4에 본 연구에서 선정한 해양활동 자료를 나타내었다. 해양활동시간은 한국원자력안전기술원에서 제시하고 있는 값을 사용하였다[29]. 해양활동은 세 가지 피폭경로 중 주요 피폭경로인 해변활동시간과 수상활동시간에 대해 95백분위 활동시간을 활용하고, 이외 활동인 수영활동시간에 대해 평균 활동시간을 적용하여 방사선량을 평가하였다[28].

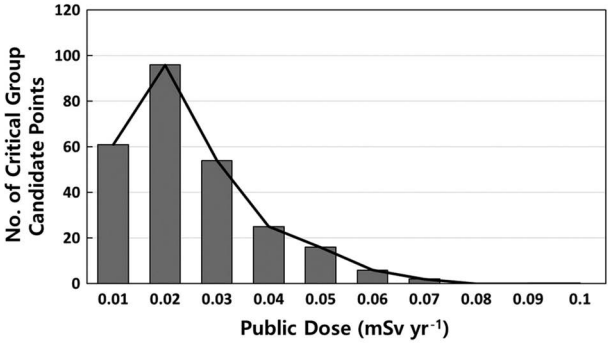

Fig. 1. Public dose distribution around nuclear power plants (Integrated).

3.4. 원자력발전소 주변 결정집단 선정 결과

각 부지별 결정집단은 원자력발전소 주변 16 방위 중, 각 방위별 최단거리에 위치한 거주지점을 선정하였다. 국내 원자력발전소는 모두 해안가에 위치하고 있다. 따라서 실제 사람이 거주할 수 없는 해안방위의 경우 제외하였다. 그리고 특정 방위에 대해 산 등의 지형지물의 존재로 근거리에 거주지역이 존재하지 않는 경우 해당 방위를 제외하였다. 선정결과 A, B, C, D 부지에 대해 각각 5, 8, 4, 9곳을 선정하였다.

3.5. 결정집단 선량 평가 및 일반인 선량분포 도출

Figs. 1, 2에 A, B, C, D 4개 부지를 통합한 일반인 선량분포와, 4개 부지에 대한 선량분포를 나타내었다. 그리고 Table 5에 각 부지별 선량분포의 중간값, 평균값, 최소값 및 최대값을 나타내었다. 10년간 원자력발전소 주변 일반인 선량평가 결과 선량범위는 A, B, C, D 4개 부지를 통합한 일반인 선량분포는 4.34×10^{-3}~6.65×10^{-2} mSv yr^{-1}로, 평균값은 2.00×10^{-2} mSv yr^{-1}, 중간값은 1.62×10^{-2} mSv yr^{-1}로 나타났다. 그리고 A 부지의 선

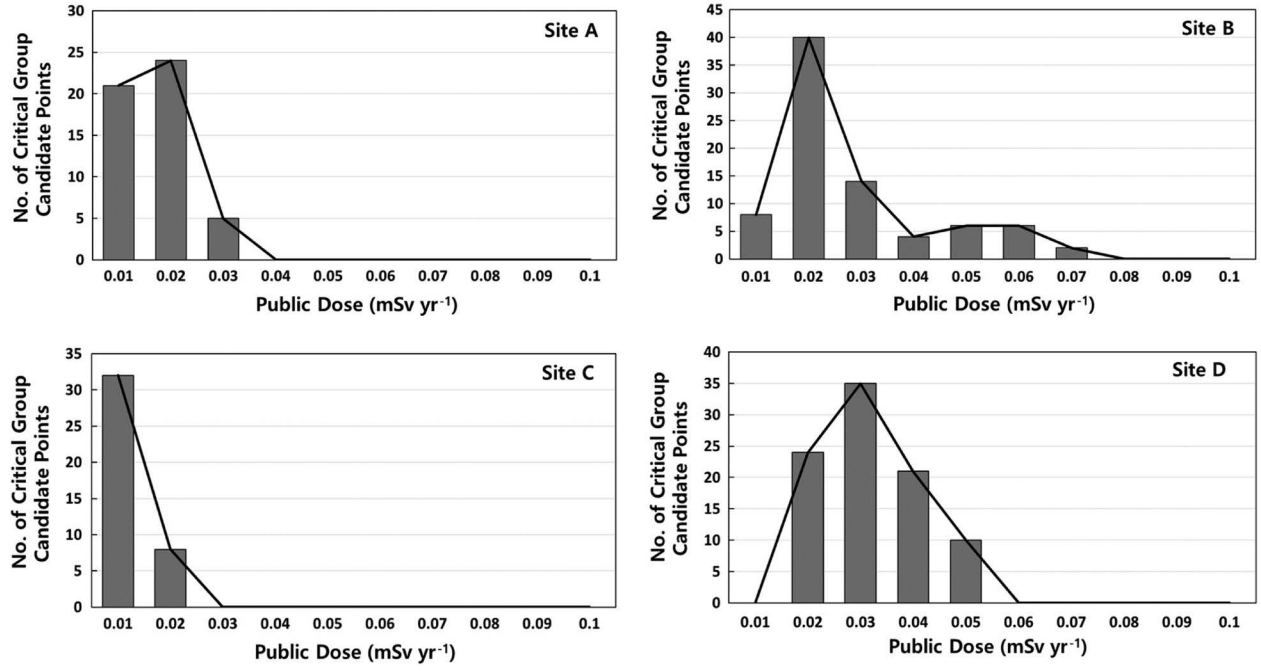

Fig. 2. Public dose distribution by site.

Table 5. Radiation dose of site A, B, C, D and integrated

Value	Annual radiation dose (mSv yr^{-1})				
	Integrated	A	B	C	D
Mean	2.00×10^{-2}	1.21×10^{-2}	2.26×10^{-2}	8.91×10^{-3}	2.71×10^{-2}
Median	1.62×10^{-2}	1.12×10^{-2}	1.46×10^{-2}	8.03×10^{-3}	2.59×10^{-2}
Min.	4.34×10^{-3}	4.34×10^{-3}	6.15×10^{-3}	5.27×10^{-3}	1.70×10^{-2}
Max.	6.65×10^{-2}	2.73×10^{-2}	6.65×10^{-2}	1.50×10^{-2}	4.34×10^{-2}

Table 6. ^{14}C emission rate of site B

Year	^{14}C emission rate (TBq yr^{-1})	Public dose (mSv yr^{-1})
2012	2.80×10^{-1}	8.29×10^{-3}
2013	6.02×10^{-1}	1.37×10^{-2}
2014	1.58×10^{0}	3.32×10^{-2}
2015	7.41×10^{-1}	1.46×10^{-2}
2016	7.33×10^{-1}	1.36×10^{-2}
2017	7.33×10^{-1}	1.53×10^{-2}
2018	8.71×10^{-1}	1.78×10^{-2}
2019	1.20×10^{0}	2.77×10^{-2}
2020	2.24×10^{0}	4.78×10^{-2}
2021	3.38×10^{0}	6.65×10^{-2}
Average	1.24×10^{0}	2.58×10^{-2}

량분포는 4.34×10^{-3}~2.73×10^{-2} mSv yr^{-1}로, 평균값은 1.21×10^{-2} mSv yr^{-1}, 중간값은 1.12×10^{-2} mSv yr^{-1}로 나타났다. B 부지의 선량분포는 6.15×10^{-3}~6.65×10^{-2} mSv yr^{-1}로, 평균값은 2.26×10^{-2} mSv yr^{-1}, 중간값은 1.46×10^{-2} mSv yr^{-1}로 나타났다. C 부지의 선량분포는 5.27×10^{-3}~1.50×10^{-2} mSv yr^{-1}로, 평균값은 8.91×10^{-3} mSv yr^{-1}, 중간값은 8.03×10^{-3} mSv yr^{-1}로 나타났다. D 부지의 선량분포는 1.70×10^{-2}~4.34×10^{-2} mSv yr^{-1}로, 평균값은 2.71×10^{-2} mSv yr^{-1}, 중간값은 2.59×10^{-2} mSv yr^{-1}로 나타났다.

4. 고 찰

A, B, C, D 4개 부지 중, C 부지를 제외한 3개 부지의 선량분포는 중간값 부근에서 1개의 피크를 가지는 형태의 곡선이 나타난다. 그러나 B 부지는 1개의 피크를 가지지 않고, 2개의 피크를 가지는 형태의 곡선이 나타났다. 이는 B 부지에 특정 년도에 방출된 ^{14}C의 영향으로 판단된다. 일반적으로 원자력발전소 운영으로 인한 일반인의 선량평가 시 ^{14}C는 일반인의 피폭에 최대 약 90% 수준으로, 방사선학적 영향이 가장 높은 핵종이다[11-20]. Table 6에 B 부지에서 10년간 방출된 ^{14}C 방출량과 그 선량을 나타내었다. 2020년과 2021년도에 ^{14}C의 총 방출량은 각각 2.24 TBq, 3.38 TBq로 나타났다. B 부지에서10년간 ^{14}C의 연간 평균 방출량은 1.24 TBq이므로, 2020년과 2021년도는 연간 평균 방출량의 1.81배, 2.73배에 해당하는 ^{14}C를 방출하였다. 따라서 2020년과 2021년의 일반인 방사선량이 다른 차년도에 비해 높게 도출되었으며, 다른 부지에 비해 높은 선량을 피폭하는 결정집단 후보군이 증가했다. 이로 인해 2개의 피크를 지닌 곡선이 나타났다.

부지 A, B, C, D의 평균선량은 각각 1.21×10^{-2}, 2.26×10^{-2}, 8.91×10^{-3}, 2.71×10^{-2} mSv yr^{-1}로 도출되었다. 이때 D 부지의 경우 4개 부지 중 가장 높은 방사선량을 보이는데, 이는 대기확산인자로 인한 것으로 판단된다. 선량평가 시 부지별로 상이한 인자는 방사성물질 방출량과 대기확산인자가 있다. 방사성물질 방출량의 경우 부지별로 유사한 값을 갖는다. 그러나 D 부지의 실제 거주지역에 대한 대기확산인자는 약 4×10^{-6} s m^{-3} 수준이나, A, B, C 부지의 실제 거주지역에 대한 대기확산인자는 약 5×10^{-7}~3×10^{-6} s m^{-3} 수준이다. 따라서 D 부지의 실제 거주지역에 대한 대기확산인자는 타 부지에 비해 최대 약 8배 높게 평가된다. 그리고 D 부지의 농산물 재배지역에 대한 방사성붕괴와 침적을 고려한 대기확산인자는 약 5×10^{-6} s m^{-3} 수준이나, A, B, C 부지의 농산물 재배지역에 대한 대기확산인자는 약 1×10^{-6}~5×10^{-6} s m^{-3} 수준이다. 따라서 D 부지의 농산물 재배지역에 대한 대기확산인자는 타 부지에 비해 최대 약 6배 높게 평가된다. 따라서 D 부지의 방사선량은 타 부지에 비해 높게 평가되었다.

선량제약치 설정 시, 일반인의 선량분포에 방사선방호

분야에서 자주 사용되는 백분위를 적용하여 도출할 수 있다. 본 연구에서 도출한 A, B, C, D 부지를 통합한 선량분포와, 각 부지의 선량분포의 최댓값 모두 0.1 mSv yr^{-1} 이하의 값으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 도출한 선량분포에 특정 백분위를 적용하여 선량제약치 도출하여도 선량제약치는 0.1 mSv yr^{-1} 이하의 값으로 나타날 것으로 판단된다. 국제방사선방호위원회는 선량제약치 설정 시 0.3 mSv yr^{-1} 이하의 값에서 설정하는 것이 적절함을 제시하고 있다[1]. 그러나 국제원자력기구 및 국외에서는 선량제약치 설정 시 하한값으로 0.1 mSv yr^{-1}를 제시한 바 있다[30,31]. 그리고 국제원자력기구 등은 선량제약치 설정 시 이해당사자들의 의견을 수렴할 것을 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서 도출한 선량분포를 바탕으로 선량제약치를 도출할 시 사업자와 규제기관, 방사선방호 전문가의 의견수렴 과정이 필수적일 것으로 판단된다[32].

5. 결 론

본 연구에서는 선량제약치 국내 도입을 위해 원자력발전소 주변 주민의 방사선량 분포를 도출하였다. 이를 위해 원자력발전소 운영으로 인한 유출물 정보를 선원항으로 설정하였다. 두 번째로 선원항 정보를 바탕으로 피폭경로와 피폭시나리오를 설정하였다. 세 번째로 선량평가 시 사용할 인자를 도출하였다. 네 번째로 원자력발전소 주변 거주특성을 반영하여 결정집단을 선정하였다. 마지막으로 다섯 번째로 원자력발전소 주변 거주특성을 반영하여 원자력발전소 주변 일반인 선량분포를 도출하였다. 각 결정집단의 선량평가 A, B, C, D 4개 부지를 통합한 일반인 선량분포는 4.34×10^{-3}~6.65×10^{-2} mSv yr^{-1}로 도출되었다. A, B, C, D 부지의 선량분포는 각각 4.34×10^{-3}~2.73×10^{-2} mSv yr^{-1}, 6.15×10^{-3}~6.65×10^{-2} mSv yr^{-1}, 5.27×10^{-3}~1.50×10^{-2} mSv yr^{-1}, 1.70×10^{-2}~4.34×10^{-2} mSv yr^{-1}로 나타났다. 각 부지별 선량분포 중 특정 부지는 2개의 피크를 보인다. 이는 특정 년도에 방출된 ^{14}C의 영향으로 판단된다. 그리고 특정부지에서 평균 선량이 높게 평가되는데, 이는 해당 부지의 높은 대기확산인자로 인한 것으로 판단된다. 국제방사선방호위원회 103 권고가 국내에 도입될 경우 선량제약치 설정이 필수적이다. 향후 본 연구에서 도출한 원자력발전소 주변 주민의 방사선량 분포를 통해 선량제약치를 설정하기 위해서는 설정값의 적절성에 대한 이해당사자들의 의견 수렴 과정이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

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

참고문헌

1. ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
2. IAEA. 2002. Optimization of Radiation Protection in the Control of Occupational Exposure. Safety Report Series No. 21.
3. IAEA. 1999. Critical group and biosphere in the context of radioactive waste disposal. TECDOC-1077.
4. 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).
5. CNSC. 2012. Process for Establishing Release Limits and Action Levels at Nuclear Facilities. DIS-12-02.
6. HPA. 2009. Radiological Protection Objectives for the Land-based Disposal of Solid Radioactive Wastes; Advice from the Health Protection Agency.
7. Kong TY, Choi JR, Son JK, Kim HG. 2012. A Preliminary Establishment of Dose Constraints for the Member of Public Taking into Account Multi-unit Nuclear Power Plants in Korea. Journal of Radiation Protection and Research. Korean Association for Radiation Protection. *J. Radiat. Prot.* **37**(3):129-137. https://doi.org/10.14407/jrp.2012.37.3.129.
8. KINS. 2016. Assessment of Residents Exposure Dose. KINS/GR-N02.02.
9. NRC. 1977. Methods for Estimating Atmospheric Transport and Dispersion of Gaseous Effluents in Routine Release from Light-Water-Cooled Reactors. Reg.guide 1.111.
10. Byrom J, Robinson C, Simmonds JR, Waiters B and Taylor RR. 1995. Food consumption rates for use in generalised radiological dose assessments. *J. Radiol. Prot.* **15**(4):335-341. 10.1088/0952-4746/15/4/005.
11. KHNP. 2012. The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Power Plant.

12. KHNP. 2013. The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Power Plant.
13. KHNP. 2014. The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Power Plant.
14. KHNP. 2015. The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Power Plant.
15. KHNP. 2016. The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Power Plant.
16. KHNP. 2017. The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Power Plant.
17. KHNP. 2018. The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Power Plant.
18. KHNP. 2019. The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Power Plant.
19. KHNP. 2020. The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Power Plant.
20. KHNP. 2021. The Annual Report on the Environmental Radiological Surveillance and Assessment around the Nuclear Power Plant.
21. Gijang-Gun. 2020. Gijang-County statistical Yearbook.
22. Ulju-Gun. 2020. Ulju-Gun statistical Yearbook.
23. Gyeong Ju-si. 2020. Statistical Yearbook of Gyeongju.
24. Yeong Gwang-Gun. 2020. 2020 YeongGwang Statistical Yearbook.
25. Uljin-Gun. 2020. Uljin-Gun statistical Yearbook.
26. NRC. 1982. User Guide for XOQDOQ: Evaluating Routine Effluent Releases at Commercial Nuclear Power Stations, NUREG/CR-2919.
27. KDCA. Korea National Health & Nutrition Examination survey. https://knhanes.kdca.go.kr/knhanes/sub03/sub03_02_05.do.
28. Seo HS, Jin YH, Lee SJ, Lee BM and Kim PK. 2021. 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. *J. Radiat. Ind.* **15**(4):259-266. https://doi.org/10.23042/radin.2021.15.4.2.
29. KINS. 2011. Study for an improvement of INDAC (Integrated Dose Assessment Code Package). Technical Report, KINS/RR-808.
30. IAEA. 2018. Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment. GSG-9.
31. Hattori T. 2008. Lower Bound of Dose Constraints in Radiological Protection of the Public Taking into Consideration Dose Criteria for Exemption. *J. Nucl. Sci. Technol.* **45**(sup. 5):736-739. https://doi.org/10.1080/00223131.2008.10875960.
32. IAEA. 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3.