JOURNAL OF RADIATION INDUSTRY

Original article

17(1) : 61-67 (2023)
https://doi.org/10.23042/radin.2023.17.1.61

직무피폭의 선량제약치에 관한 연구: 분야별 전문가 의견 중심으로

박 일[1], 박찬희[1], 정규환[2], 박찬호[1], 김용건[1], 박태진[1,*]

[1](사)한국방사선진흥협회, [2]한국원자력안전기술원

A Study on the Dose Constraints for Occupational Exposure: Focusing on Expert Opinions by Field of Ridiation Industry

Il Park[1], Chan Hee Park[1], Kyu Hwan Jung[2], Chan Ho Park[1], Yong Geon Kim[1] and Tae Jin Park[1,*]

[1]Korean Association for Radiation Application, 77 Seongsuil-ro, Seongdong-gu, Seoul 04790, Republic of Korea
[2]Korea Institute of Nuclear Safety, 62 Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34142. Republic of Korea

Abstract A Study on the Introduction of Dose Constraints for Occupational Exposures: Focusing on Experts' Opinions by Field of Radiation Industry. The International Commission on Radiological Protection suggests Justification, Optimization, and Dose Limits as the three principles of radiological protection, among which, as a means of protection optimization, ICRP 103 recommends to set dose constraints. In this study, opinions are collected from experts in each category of radiation industries for stakeholder participation to qualify dose constraints. A guidance and questionnaire for analyzing the dose constraints have been developed for their collection, and opinions were collected from radiation protection experts in selected categories. 20 out of 22 experts, consisted with 91%, have assessed the dose constraints setting is necessary, and 2 experts, consisted with 9%, assessed it is unnecessary. The average of dose constraint presented by experts for RI production institutions is to be the highest level of 15.3 mSv, and light-water reactors (14.6 mSv), non-destructive inspection (14.4 mSv), heavy-water reactor and medical institutes (13.9 mSv) is to be above the overall average dose constraint. In case of public institutions, the average dose constraint is to be 8.6 mSv, and research institutions (8.8 mSv), educational institutions (9.6 mSv), waste disposal sites (9.7 mSv), and general industries (10.6 mSv) are resulted to below the overall average dose constraint. As for the means of setting dose constraints, 8 experts out of 22 suggested setting dose constraints for each specific industry or task. And, 5 experts especially suggest setting dose constraints for the specific groups with relatively high exposure, such as workers with above the record levels. As a countermeasure for workers who exceed the dose constraints, 15 experts out of 22 expressed that the cause analyses for them and preparation for a plan of reducing them are necessary.

Key words: ICRP, Optimization, Occupational exposure, Dose constraints, Opinions

1. 서 론

국제방사선방호위원회에서는 방사선방호의 3가지 원칙으로 정당화, 최적화, 선량한도를 제시하고 있으며, 그중 방호최적화 수단으로 ICRP 103 권고에서는 선량제약치 설정을 권고하였다[1,2]. 선량제약치란 단일 선원으로부터 개인선량에 대한 전망적이고 선원중심적인 제한된 값으로서, 해당 선원에 대해 방호최적화 과정을 걸친 예상선량의

http://www.ksri.kr/
Copyright © 2023 by
Korean Society of Radiation Industry
*Corresponding author. Tae Jin Park
Tel. +82-02-3490-7130 Fax. +82-2-445-1014 E-mail. tjpark@ri.or.kr
Received 11 January 2023 Revised 26 January 2023 Accepted 8 March 2023

상한값으로 정의된다[3]. 직무피폭에 대한 선량제약치는 최적화 과정에서 고려되는 방사선방호 방안들의 범위를 산정하기 위해 사용된다.

이에 따라 국제기구인 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development; OECD) 산하 원자력기구(Nuclear Energy Agency; NEA)에서는 국가별 선량제약치 설정 현황 등에 관한 조사를 수행하였다[4]. 각국의 원자력발전소에서는 선량제약치 또는 선량제약치 유사 용어 등을 적용하여 운영하고 있지만, 선량제약치 설정에 대한 근거는 제시되지 않았다. 또한 E. Kunarsih는 인도네시아 종사자들의 연간 피폭선량 정보를 기반으로 선량제약치를 설정한 사례를 발표하였다[5].

국내에서도 방사선작업종사자에 대한 선량제약치 설정 관련 연구가 다수 수행되었다. 김용민 등(2011)은 ICRP 신권고에 따른 직무피폭의 선량제약치에 대한 국내 적용 방안을 제시하였으며[6], 공태영 등(2021)은 선량분포를 이용하여 원전 분야의 방사선작업종사자에 대한 선량제약치(안)을 제안하였다[7]. 또한 정운관 등(2018)은 핵의학 종사자들의 피폭방사선량 분포에 대한 75백분위 및 95백분위를 이용하여 선량제약치를 제안하였다[8].

이처럼 ICRP 권고에 따라 국가별 또는 기관별 그리고 다수 연구자들에 의해 선량제약치에 대한 개념 연구, 실제 적용 및 운영 등이 이루어지고 있다. 하지만 ICRP 및 IAEA 등 국제기구 등에서는 선량제약치 설정 시 정량적 평가, 정성적 평가뿐만 아니라 사회적·경제적 측면 등 다양한 최적화 방안을 고려하도록 제시하고 있으며, 뿐만 아니라 이해당사자 간 참여도 주요 선량제약치 설정 방법으로 권고하고 있다[2]. 따라서 선량제약치 도입 및 설정을 위해서는 다양한 이해당사자 간의 논의가 필요하다.

본 연구에서는 선량제약치 설정에 대한 이해당사자 간 참여를 위하여 방사선방호 분야에 재직 중인 전문가들을 대상으로 의견을 수렴하였다. 의견수렴을 위하여 선량제약치에 대한 안내 자료 및 문항을 개발하였으며, 선정한 분야별 방사선방호 관련 전문가를 대상으로 의견을 수렴하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 선량제약치 의견수렴을 위한 전문가 선정

본 연구에서는 선량제약치에 대한 의견을 수렴하기 위해 국내 분야별 전문가를 선정하였다. 전문가 선정은 원자력발전소, 폐기물처분장, 핵주기시설, 비파괴검사, RI 생산기관, 의료기관 등 10개 분야를 대상으로 방사선방호에 대한 연구자 및 방사선 안전 업무 경력자 등을 토대로 선정하였다. 총 22명에 대한 전문가의 의견을 수렴하였으며, 전문가들의 평균 경력은 19년으로 나타났다. 선정한 분야별 전문가는 Table 1에 나타내었다.

2.2. 의견수렴을 위한 사전 정보 제공

본 연구에서는 국내 방사선작업종사자 선량제약치에 관한 분야별 전문가의 의견을 수렴하기 위하여 선량제약치 관련 다양한 정보를 제공하였다. 제공된 정보는 선량제약치의 정의 및 적용범위, 국·내외 선량제약치 설정 사례, 국내 방사선작업종사자 피폭방사선량 현황, 선량분포 기반의 95백분위 값이며, 제시된 내용은 항목별로 간략히 서술하였다.

2.2.1. 선량제약치의 정의 및 설정 방법

ICRP에서 제시하는 선량제약치는 단일 선원에 의한 개인선량에 대한 전망적이고, 선원중심적인 제한으로서 해당 선원에 대한 방호최적화에서 예상선량의 상한값으로 정의된다. 또한 ICRP에서는 계획된 선원의 도입 및 운영과 관련된 계획피폭 시 종사자 및 일반인 선량제약치를 설

Table 1. Number of experts selected by field of radiation industries

Field	Number of person	Field	Number of person
Power plant	3	General industry	2
Waste disposal site	2	RI production facility	2
Nuclear fule cycle facility	2	Research institute	1
Non-destructive test	2	Public institutions	2
Educational institution	3	Medical institution	3

정하도록 권고하고 있다. 선량제약치 설정 시 20 mSv 이하로 설정하도록 권고하고 있으며, 정량적/정성적, 경제적, 사회적 인자 등 다양한 인자를 기반으로 이해당사자 간 협의하에 설정하도록 권고하고 있다.

2.2.2. 국·내외 선량제약치 설정 사례

Table 2에는 본 연구에서 조사하여 전문가에게 제공한 국내외 선량제약치 설정 사례를 나타내었다. 제시된 선량제약치는 모두 원자력발전소에서 설정된 선량제약치이며, 대부분 연간 20 mSv의 50~90%인 10~18 mSv 범위에서 선량제약치를 설정하는 것으로 나타났다.

2.2.3. 국내 방사선작업종사자의 피폭방사선량 현황

선량제약치에 대한 의견수렴을 위하여, 본 연구에서는 국내 분야별 방사선작업종사자의 2020년도 평균 피폭방사선량 정보를 제공하였다. 피폭방사선량 정보는 분야별 모든 종사자에 대한 평균선량과 기록준위 이상인 종사자들에 대한 평균 선량정보를 제공하였다[9]. 기록준위란 종사자 등의 피폭방사선량을 관리하기 위한 최저측정준위를 의미하며, 상기 자료에서는 연간 피폭선량이 0.1 mSv 초과 종사자에 대한 선량정보를 이용하여 평균 피폭선량을 제시하였다. Table 3에 국내 방사선작업종사자의 분야별 평균선량을 나타내었다.

2.2.4. 국내 10년간 분야별 방사선작업종사자 선량분포의 95백분위 값

본 연구에서는 국내 분야별 방사선작업종사자의 선량제약치 예시를 제시하기 위하여 10년간 분야별 선량분포를 기반으로 95백분위 값을 제시하였다. ICRP에서는 선량제약치 설정을 위하여 선량분포를 이용하도록 권고하고 있으며, 선량분포에 대한 95백분위 선량기준은 ICRP에서 대표인을 선정하기 위해 이용되는 기준이다.

2.3. 의견수렴을 위한 문항 설정

본 연구에서는 국내 방사선작업종사자의 선량제약치에 대한 의견수렴을 위하여 4개 문항을 개발하였다. 4개 문항은 아래에 나타내었으며, 모든 문항은 전문가의 다양한 의견수렴을 위하여 서술형 응답을 요청하였다.

문항 1. 국내 방사선작업종사자의 선량제약치 설정 필요 여부
문항 2. 적절한 분야별 방사선작업종사자의 선량제약치 기준
문항 3. 방사선작업종사자 선량제약치 설정 방법
문항 4. 선량제약치 초과 종사자에 대한 조치 방안

Table 2. Examples of setting dose constraints for nuclear power facilities by country

Country	Operator	Individual dose constraints or dose-constraint-likeinstruments
Korea	KHNP (Light water reactor)	– 1st level: 16 mSv y^{-1} – 2nd level: 18 mSv y^{-1}
	KHNP (Heavy water reactor)	– 1st level: 14 mSv y^{-1} – 2nd level: 16 mSv y^{-1}
UK	Sizewell B NPP	– CDRL (Company Dose Restriction Level): 10 mSv y^{-1}
France	EDF	– Pre-warning level: 16 mSv – Warning level: 18 mSv
Spain	Confrentes NPP	– Investigation: 10 mSv y^{-1} – Intervention: 18 mSv y^{-1} or 90 mSv/5y
Sweden	Formark NPP	– Planned annual dose shall not exceed 10 mSv – No actual individual annual dose shall exceed 15 mSv
	Oskarshamn NPP	– Dose/day: Planning value = 3 mSv (Check Point: 2.5 mSv) – Dose/month: Planning value = 10 mSv (Check Point: 8 mSv) – Dose/month: Planning value = 20 mSv (Check Point: 18 mSv)
Japan	Tokyo Electric Power Company	– The screening level: 80 mSv/5y and 18 mSv y^{-1} – 4 mSv/3 months (women)

Table 3. Number of persons and average exposure dose for all workers and workers above record level

Field	All workers		Employees above the record level	
	Number	Mean exposure dose (mSv)	Number	Mean exposure dose (mSv)
RI production facility	1,892	0.28	290	1.79
Power plant	16,852	0.52	4,917	1.77
Non-destructive test	5,214	0.59	2,286	1.34
Medical institution	6,448	0.38	1,947	1.27
Sales agency	1,500	0.14	567	0.80
Sales and user institution	639	0.09	77	0.75
Research institute	2,511	0.05	193	0.61
Public institutions	1,324	0.18	441	0.53
Educational institution	3,995	0.02	236	0.36
General industry	6,308	0.02	347	0.32
Military institution	332	0.04	27	0.25

Table 4. Dose constraints by field using the 95th percentile and 10-year dose data

Field	95th percentile (mSv)
Non-destructive test	8.2
Medical institution	3.2
Light water reactor	2.6
Heavy water reactor	2.3
Nuclear fuel cycle facility	3.1
RI production facility	7.0
General industry	0.55
Research institute	0.15
Public institutions	3.2
Waste disposal site	0.31
Educational institution	0.16

3. 결 과

3.1. 국내 종사자 선량제약치 설정 필요에 대한 의견수렴

국내 방사선작업종사자에 대한 선량제약치의 설정 필요성에 대해 전문가들의 의견수렴을 한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 선량제약치 설정이 필요하다고 판단한 전문가는 20명으로 전체의 91%를 차지하였으며, 불필요하다고 판단한 전문가는 2명으로 9%를 차지하였다.

종사자에 대한 선량제약치 설정이 필요하다고 제시한 전문가들은 대부분 방호최적화를 위해 ICRP에서 권고한 선량제약치는 종사자의 합리적 선량저감을 위해 도움이 된다는 의견을 제시하였다. 그 외 의견으로는 의료분야의 진단참조준위 설정의 긍정적인 사례를 기반으로 종사자 선량제약치 설정이 필요하다는 의견이 있었으며, 선량한도보다 낮은 선량제약치를 설정함으로써 종사자 스스로 방호에 대한 중요성을 인지할 수 있을 것이라는 의견을 제시하였다.

반면 종사자에 대한 선량제약치 설정이 불필요하다고 판단한 전문가는 현재 법적으로 규정된 선량한도(100 mSv/5년) 및 기관별 자체 설정한 선량제약치는 이미 선량제약치 상한값(20 mSv)과 같거나 그 이하로 운영 중이므로, 선량제약치의 실효성은 낮을 것이라는 의견을 제시하였다.

3.2. 분야별 적정 선량제약치(안)에 대한 의견수렴

전문가들에 의해 제시된 분야별 선량제약치는 대부분 단일값으로 제시되었다. 하지만 몇몇의 경우 선량범위로 선량제약치를 제시하거나, 연간 선량기준이 아닌 월별 선량기준으로 제시된 의견도 포함되었다. 본 연구에서는 평균 선량제약치 도출을 위하여 20 mSv 이하로 제시된 의견은 최대값인 20 mSv를 이용하여 평균을 도출하였으며, 월별 선량제약치로 제시된 값은 1년에 대한 선량으로 변경 후 평균 선량제약치를 계산하였다.

Fig. 1에는 전문가들이 제시한 분야별 평균 선량제약치를 나타내었다. 평균 선량제약치는 분야에 따라 8.6~15.3 mSv의 범위를 나타내었으며, 분야와 무관한 전체 평균 선

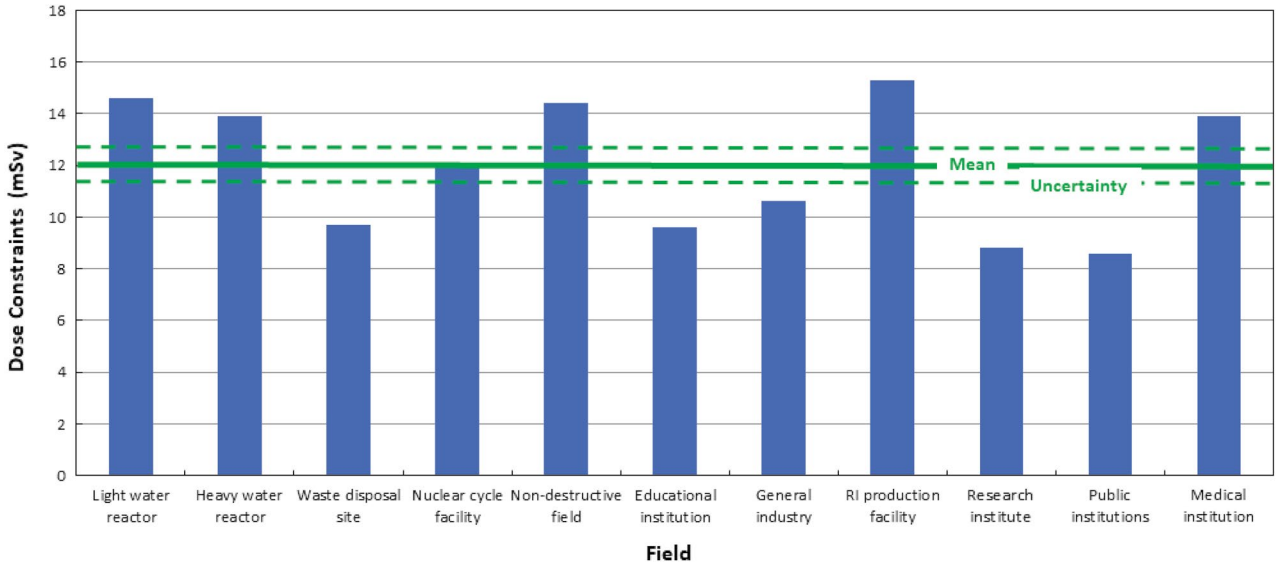

Fig. 1. Dose constraints for each field suggested by expert (draft).

량제약치 및 불확도는 11.9±0.77 mSv (8.6~15.3 mSv)로 나타났다.

RI 생산기관에 대해 제시된 평균 선량제약치는 15.3 mSv로 가장 높게 나타났으며, 그 외 전체 평균보다 높은 선량제약치를 나타낸 분야는 경수로 (14.6 mSv), 비파괴 (14.4 mSv), 중수로 및 의료기관 (13.9 mSv)으로 나타났다. 공공기관의 경우, 평균 선량제약치는 8.6 mSv로 나타났으며, 그 외 전체 평균 선량제약치보다 낮은 분야는 연구기관 (8.8 mSv), 교육기관 (9.6 mSv), 폐기물처분장 (9.7 mSv), 일반산업체 (10.6 mSv)로 나타났다.

선량제약치(안) 제시와 관련한 전문가들의 의견으로는 TLD 판독주기에 따른 월별/분기별 선량제약치 설정 필요, 20 mSv 이하 범위에서 사업자의 자율적 선량제약치 설정 필요, 종사자 선량이 상대적으로 낮은 폐기물처분장, 교육기관, 일반산업체, 연구기관, 공공기관의 경우 선량제약치 미설정 필요, 선량제약치 적용의 쉬운 권고이행을 위하여 피폭선량 수준에 따른 3개 분야 그룹별 선량제약치 필요 등의 의견을 제시하였다. 그리고 최저 선량제약치 기준은 연간 자연방사선 수준인 5 mSv로 설정이 필요하다는 의견이 있었으며, 사회적/경제적 인자를 반영하여 16 mSv (20 mSv의 80%)를 분야에 상관없이 일괄적으로 설정하자는 의견도 제안되었다.

3.3. 선량제약치 설정 방법에 대한 의견수렴

전문가들이 제안한 방사선작업종사자 선량제약치 설정 방법에 대한 다양한 주관적 의견을 정량적으로 나타내기 위하여, 의견에 따라 7개 항목으로 분류하였다. Fig. 2에 전문가들이 제안한 선량제약치 설정 방법에 대한 의견수렴 결과를 나타내었다. 22명 중 8명의 전문가는 세부 업종 또는 세부 작업별 선량제약치 설정이 필요하다는 의견을 제시하였으며, 5명의 전문가는 기록준위 이상 종사자 등 상대적으로 피폭이 높은 그룹에 대해 선량제약치를 설정해야 한다고 제시하였다. 4명의 전문가는 사업자가 자율적으로 설정해야 한다고 제시하였으며, 2명의 전문가는 설정에 대한 의견을 제시하지 않았다. 그 외 일반인 선량한도 또는 자연피폭방사선량 기준 기반 설정, 국외사례 기반 설정, 과거 피폭선량 정보기반 설정의 의견이 제시되었다.

3.4. 선량제약치 초과 종사자의 조치 방법에 대한 의견

전문가들이 제안한 선량제약치 초과 종사자의 조치 방법에 대한 다양한 주관적 의견을 정량적으로 나타내기 위하여, 의견에 따라 5개 항목으로 분류하였다. Fig. 3에 전문가들이 제안한 선량제약치 초과 종사자의 조치 방법을 나타내었다. 22명 중 15명의 전문가가 선량제약치 초과에 대한 원인분석 및 저감화 방안 마련이 필요하다는 의견을 제시하였으며, 해당 항목은 연간 선량한도를 넘어서지 않도록 종사자의 선량관리 필요, 초과 종사자에 대한 보건상 조치 및 교육 필요 등의 의견을 포함하고 있다. 그 외 사업자 자율대응, 사업주 처벌 필요, 조치 불필요, 기타의 항목에 따라 각각 3명, 2명, 1명, 1명이 의견을 제시하였다. 사업주

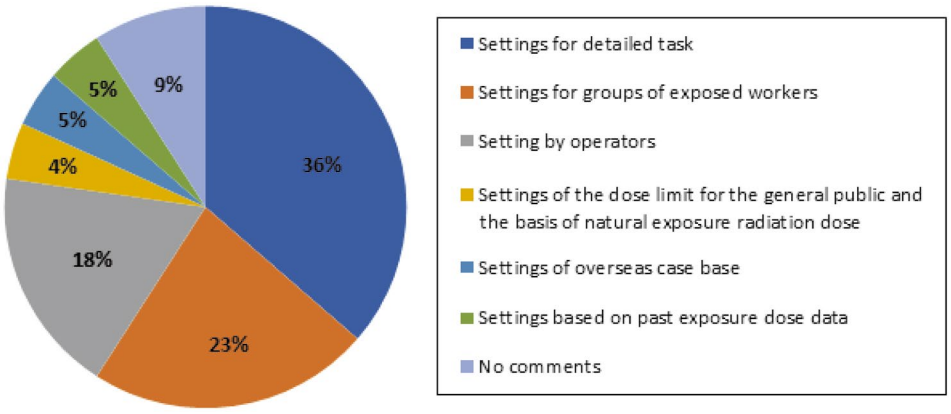

Fig. 2. Result of a survey for the process determining dose constraint.

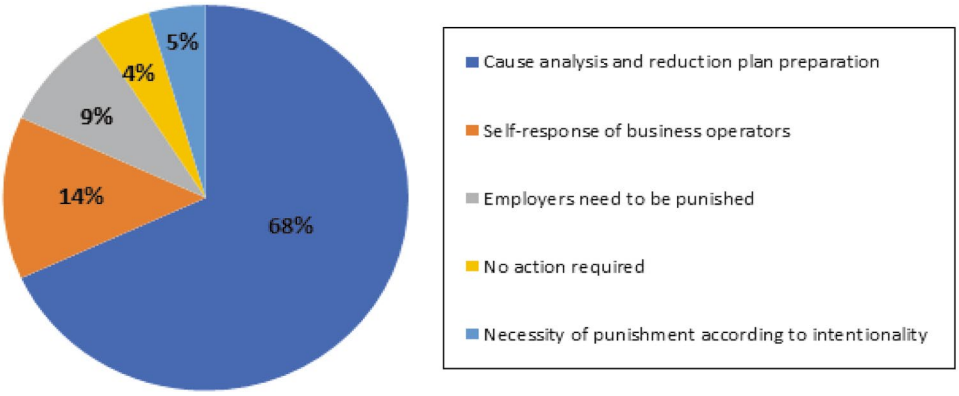

Fig. 3. Opinions on managing workers who exceed the dose constraints.

의 처벌 필요 의견의 경우, 산업안전 및 중대재해처벌법 등에 따라 작업환경에 대한 사업주 처벌이 필요하다는 의견이 포함되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내 방사선작업종사자에 대한 선량제약치 설정을 위하여 분야별 전문가들을 대상으로 의견수렴을 하였다. 이를 위해 각 분야의 전문가를 선정하였으며, 선량제약치에 대한 정보 및 문항을 제공함으로써 의견수렴을 수행하였다.

전문가는 방사선방호에 대한 연구자 및 방사선안전업무 경력자를 토대로 선정하였다. 또한 전문가들에게 선량제약치 정의 및 설정 방법, 국·내외 선량제약치 설정 사례, 국내 방사선작업종사자 피폭방사선량 현황, 선량분포 기반의 95백분위 값을 제공함으로써 선량제약치에 대한 필요여부, 적정 선량제약치(안), 설정 방법, 선량제약치 초과 종사자 조치 방안에 대한 의견을 수렴하였다.

종사자의 선량제약치에 대한 의견수렴 결과 전문가의 91%가 선량제약치 설정이 필요하다고 의견을 제시하였으며, 대부분 종사자의 합리적 선량저감을 위해 필요하다고 의견을 제시하였다. 선량제약치가 불필요하다고 제시한 전문가는 9%로 나타났으며, 선량제약치의 실효성이 낮을 것이라는 의견을 제시하였다. 그리고 전문가들이 제시한 적정 선량제약치(안) 및 불확도는 11.9 ± 0.77 mSv (8.6~15.3 mSv)로 나타났으며, RI 생산기관, 경수로, 중수로, 의료기관에 대한 선량제약치(안) 타 분야에 비해 높게 제시되었다. 선량제약치 설정 방법에 대한 의견으로는 세부 업종/작업에 대해 선량제약치 설정, 실제 피폭 종사자 그룹에 대한 설정, 사업자 자율 설정 등의 의견이 제시되었다. 선량제약치 초과 종사자 조치에 대한 전문가 의견으로

대부분 원인 분석 및 저감화 방안 마련이 필요하다는 의견을 제시하였다.

선량제약치는 ICRP에서 제시하는 방호최적화를 위한 유용한 수단이며, 정성적·정량적 측면에서 사회적·경제적 수준을 모두 고려하여 설정되어야 한다. 하지만 선량제약치를 설정함에 있어 너무 무리한 수준의 선량제약치는 실패할 가능성이 높으며, 반대로 너무 완화된 기준으로 설정할 경우 선량제약치의 실효성이 낮아질 것이다. 기본적으로 직무피폭에 의한 방사선작업종사자의 선량제약치는 사업자가 설정하도록 권고하고 있으나, 이해당사자 간의 합의 또한 필요하다[6]. 본 연구에서 도출된 분야별 전문가의 의견수렴 결과를 바탕으로 선량제약치의 국내 도입은 긍정적으로 판단된다. 하지만 선량제약치 설정을 위한 적용 대상, 선량제약치 설정, 초과 시 조치 방법 등에 대해서는 지속적인 연구 및 논의가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구 결과는 ICRP 103에 따른 국내 선량제약치의 도입 그리고 국내 방사선 방호최적화 수준 향상 등을 위한 기반자료로서 활용될 수 있을 것이다.

사 사

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

참고문헌

1. ICRP. 1990. Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).
2. ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
3. IAEA. 1996. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series 115, STI/PUB/996. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
4. OECD/NEA. 2011. Dose constraints - Dose constraints in optimisation of Occupational Radiation Protection and implementation of the Dose constraint concept into Radiation Protection regulations and its use in operators' practices. CRPPH/R(2011)1.
5. Kunarsih E. 2020. Strengthening the Radiation Protection and Safety Optimization for Worker of Health Facilityes in INDONESIA trough Implementation of Dose Constraint at Operationsal Stage. International Conference on Radiation safety.
6. Kim Y-M and Cho K-W. 2011. A Study on the Implementation of Dose Constraints in Occupational Dose According to ICRP 103 Recommendations in Korea. *J. Radiat. Prot.* **36**(3):127-133.
7. Kong TY, Kim SY, Jung Y, Kim JM and Cho M. 2021. Administrative dose control for occupationally-exposed workers in Korean nuclear power plants. *Nucl. Eng. Technol.* **53**:351-356. https://doi.org/10.1016/j.net.2020.06.023
8. Chung W-K, Yang N-H, Dong K-R and Choi J. 2019. Proposed Dose Constraints in the Duties of Radiation Workers at the Department of Nuclear Medicine. *Radiat. Prot. Dosim.* **187**(4): 535-539. https://doi.org/10.1093/rpd/ncz249
9. KoFONS. 2022. 2020 Report on Occupational Radiation Exposures in Korea. KoFONS/RR-001.