

국내·외 라돈 관련 제도 비교를 통한 산업안전보건법 개선방안

임대성 · 김기연¹ · 조용민² · 서성철^{3*}

한성보건안전기술원, ¹서울과학기술대학교 안전공학과,

²서경대학교 환경보건센터 및 나노화학생명공학과, ³울지대학교 보건환경안전학과

Improvement of the Occupational Safety and Health Act by the Comparison of the Domestic and Foreign Radon-related Policies

Dae Sung Lim · Ki-Youn Kim¹ · Yong Min Cho² · Sung Chul Seo^{3*}

Hansung Health and Safety Technology Co., Ltd.

¹*Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science & Technology*

²*Environmental Health Center and the Department of Nano Chemical and Biological Engineering, Seokyeong University*

³*Department of Environmental Health and Safety, College of Health Industry, Eulji University*

ABSTRACT

Objectives: Concerns have been raised about the possible health effects of radon on both workers and consumers with the spread of social attention to the impact of radon exposure. Thus, an entire raw material handling workshop was investigated, and standards for radon levels in the workplace were newly established at 600 Bq/m³. However, regulations on the management of workers exposed to radon are still insufficiently developed. Therefore, by comparative analysis of overseas and domestic radon-related regulations for workplaces, this study aims to suggest improvement plans of protection regulations under the Occupational Safety and Health Act (OSH Act) for the prevention of health disorders of radon-exposed workers.

Methods: For overseas case studies, we consulted radon-related laws and reports officially published on the websites of the European Union (EU), the United States (U.S.) and the United Kingdom (UK) government agencies. Domestic law studies were conducted mainly on the Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment and the OSH Act.

Results: In Europe, the basic safety standards for protection against risks arising from radon (Council Directive 2013/59/EURATOM of 5 December 2013) was established by the EU. They recommend that the Member States manage radon level in workplaces based on this criterion. In the U.S., the standards for workplaces are controlled by the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) and the Mine Safety and Health Administration (MSHA). Action on radon in the UK is specified in "Radon in the workplace" published by the Health and Safety Executive (HSE).


Conclusions: The Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment mainly refers to the management of workplaces that use or handle raw materials but does not have any provisions in terms of protecting naturally exposed workers. In the OSH Act, it is necessary to define whether radon is included in radiation for that reason that its current regulations have limitations in ensuring the safety workers who may be exposed to naturally occurring radon. The management standards are needed for workplaces that do not directly deal with radon but are likely to be exposed to radon. We propose that this could be specified in the regulations for the prevention of health damage caused by radiation, not in Article 125 of the OSH Act.


Key words: radon, Occupational Safety and Health Act, radon exposure, radon regulation


*Corresponding author: Sung Chul Seo, Tel: 031-740-7143, E-mail: seo@eulji.ac.kr


553 Sanseongdae-ro, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Korea

Received: May 24, 2021, Revised: July 1, 2021, Accepted: August 25, 2021

 Dae Sung Lim <https://orcid.org/0000-0003-4190-0390>

 Ki-Youn Kim <https://orcid.org/0000-0001-6889-8548>

 Yong Min Cho <https://orcid.org/0000-0002-8999-8916>

 Sung Chul Seo <https://orcid.org/0000-0001-8301-6355>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

라돈은 무색, 무미, 무취의 비활성 기체이자 방사성 원소로서 암을 유발할 수 있는 알파선을 방출한다(Yoon, 2007). 기체 형태로 존재하는 특성으로 인하여 호흡기를 통한 노출 위험을 가진다(Jeon et al., 2011).

2018년, 라돈을 방출하는 모나자이트(Monazite)를 사용한 침대 제품 리콜 사태는 라돈에 대한 사회적 우려를 높이게 되었다. 소비자들은 제품을 통해 라돈에 노출되지만 노동자들은 원료를 통해 라돈에 노출될 수 있다. 제품의 원료인 모나자이트에는 우라늄과 토륨 등의 방사성 물질이 함유되어 있으며 폐로 흡입되어 작업자들이 폐암의 원인이 될 수 있다(Lee, 2008).

언론 보도 등을 통한 사회적 우려 확산과 함께, 원료 취급 작업장에 대한 전수조사가 이루어진 바 있으며(Lee, 2018), 작업장 라돈 가이드 개발 등의 활동이 이루어졌다. 또한 고용노동부는 2018년 3월, 사업장의 라돈 노출기준을 600 Bq/m³으로 신설하였다. 그러나 작업자들의 라돈 노출을 평가하고 그에 근거하여 건강장해 예방 대책을 수립할 수 있는 기반 조사연구는 여전히 미흡한 실정이다.

작업자를 대상으로 하는 라돈 노출 평가 연구는 시멘트 제조업체, 지하철 작업자 등을 대상으로 일부 수행된 바 있다. 시멘트 제조업체 7개소를 대상으로 한 라돈 측정 결과, 최소 1.0에서 최대 144.3 Bq/m³에 이르는 라돈 농도가 검출된 것으로 보고되었다(Chung et al., 2015). 한편 지하철 터널 내부와 배수펌프장에서 측정을 한 연구 결과에서, 터널 내부의 (산술)평균농도는 58.9±50.9 Bq/m³, 배수장은 140.4±66.6 Bq/m³으로 조사되었다(Kim et al., 2015). 또한 사업장 건축물 특성에 따른 라돈 농도 비교 결과, 벽의 재질이 석고보드일 때 기하평균이 18.1 Bq/m³이었으며 콘크리트의 경우 14.9 Bq/m³였다(Chung et al., 2015).

라돈의 건강유해성에 대한 연구는 폐암을 중심으로 보고되고 있으며, 지하광부에 대한 코호트 연구와 주택 라돈 피폭에 대한 환자-대조군 연구로부터 라돈 및 자손이 폐암을 초래할 수 있는 증거가 확실하다는 결론에 도달하였다. 일생 흡연자에게서 라돈 노출에 따른 폐암 발생 상대위험도(Relative risk)는 비흡연자에 비하여 약 26배 높은 것으로 전해진다(Darby et al., 2006).

이처럼, 라돈에 대한 직업적 노출과 건강영향에 대한 연구는 일부 작업장에서의 노출평가 연구 및 라돈 노출

에 따른 폐암 발생의 위험성 산정 연구 형태가 주로 전해지며, 국내에서의 작업장 라돈 노출평가 연구는 2010년대 이후 일부 진행되어 결과가 보고되고 있다.

국외에서도 역시 라돈 노출평가 및 건강영향에 대한 연구가 진행된 바 있다. 지하에서 근무하는 광부들에게 라돈 노출이 발생하고 그로 인한 폐암 위험성이 증가하는 것은 이미 많은 역학적 증거들을 가지고 있다(Lee, 2018). 최근에는 광산이 아닌 다른 공간에서의 라돈 노출평가 연구가 진행되고 있으며 원료물질이 사용되지 않는 사무공간 등에서의 보고도 전해지고 있다(Jeon et al., 2011). 이러한 연구결과에 근거하여 일부 국가들에서 작업자에 대한 라돈 관리 정책이 이루어지고 있다. 미국의 산업안전보건법(Occupational Safety and Health Act : OSHA)는 작업장에 대한 라돈의 허용기준으로 미국원자력위원회에서 권고하는 기준을 준수하며 최대값으로 100 pCi/L를 설정하였다. 캐나다와 유럽연합, 호주, 이스라엘 등은 400 Bq/m³를 정해놓고 있으며, 라돈에 대한 노출 한도기준으로 연평균 800 Bq/m³, 작업장 관리를 위한 참고기준 400 Bq/m³ 도입이 제안되었다(Choi, 2017).

한편, 국내에서 라돈(²²²Rn) 또는 그 붕괴물질(지하 등 환기가 잘 안 되는 장소에서 노출된 경우)에 노출되어 발생한 폐암이 2013년 업무상질병 인정기준에 새롭게 채택된 바 있다. 이후 사회적 확산 우려와 함께, 우리나라 고용노동부는 2018년 고시 제2018-24호(2018. 3. 20) “화학물질 및 물리적인자의 노출기준”을 통하여 작업장 라돈 노출기준으로 600 Bq/m³을 제정, 고시하였다.

이처럼 라돈 노출에 따른 건강상의 유해성에도 불구하고 산업안전보건법에서의 라돈 노출 노동자 관리 규정은 미흡한 실정이다. 따라서 이번 연구는 국외 라돈관련 정책들과 국내 생활주변방사선 안전관리법과 산업안전보건법 등의 비교분석을 통해 라돈 노출 근로자 건강장해 예방을 위한 산업안전보건법 상 보호규정의 개선 방안을 제시하고자 하였다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구내용 및 범위

사업장내 라돈 노출과 관련하여 국내 산업안전보건법에 적용 가능한 개선방안을 마련하기 위하여, 국외 제도와 국내 법규를 비교 분석하였다. 국외의 경우 북미권, 유럽권 지역을 중심으로 살펴 보았고, 국내의 경우 라돈

사용과 노출수준을 다루고 있는 생활주변방사선 안전관리법(의도적 라돈노출 : 라돈이 함유된 원재료를 사용함에 따라 노출됨), 산업안전보건법(비의도적 라돈노출 : 자연방사선에 함유된 라돈에 의해 노출됨)을 중심으로 내용을 분석하였다.

2. 연구방법

1) 국외제도 현황 조사

국외 제도 정보는 유럽연합과 미국, 영국 등 각 정부 기관에서 공개하는 웹사이트 및 국내외 공식적으로 발간된 보고서 등을 이용하였으며, 발표 논문 검색의 경우 PubMed, Sciencedirect 등의 주요 국제저널 검색 사이트를 활용하여 radon management, governmental policy 등의 본 연구 주제 관련 검색어 입력을 통해 가능한 최신의 정보를 수집 검토하였다.

2) 국내 관련 법령 비교

현재 우리나라의 라돈 노출관리 중 실내 노출관리는 다중이용시설(실내공기질관리법) 및 학교(학교보건법)에 대해서는 라돈 관리기준이 정립되어 있으나 라돈 혹은 라돈 자핵종을 취급하거나 라돈 노출이 발생하는 사업장 내의 근로자를 위한 법규는 아직 없는 상태이다. 다만, 최근 고용노동부 고시(고용부고시 제2018-24호 '18.3.20.)를 통한 라돈 노출 기준 600 Bq/m³를 제시하고 있지만, 법안에서 측정의무가 있지는 않는 실정이다.

최근 원자력안전위원회에서는 생활주변방사선 안전관리법을 개정(개정 : 2019.01.15, 시행 : 2019.07.16)하였고, 이에 따른 생활주변방사선 안전관리법 시행령(개정 : 2019.07.09, 시행 : 2019.07.16)과 시행규칙

(개정 : 2019.07.16, 시행 : 2019.07.16)을 개정하여 시행 중이다. 생활주변방사선 안전관리법에는 생활주변방사선(지각방사선 포함) 뿐 아니라 원료물질로 사용되는 방사선을 취급하는 취급자에 대한 안전조치 사항이 포함되어 있으며, 라돈이 원재료에 포함되어 있고, 이를 취급하는 자들에 대한 안전조치 내용이 생활주변방사선 안전관리법에 포함되어 있다.

따라서, 생활주변방사선 안전관리법과 산업안전보건법을 비교하여 작업장에서 라돈에 노출되는 근로자를 보호하기 위한 예방조치 사항을 검토하였다.

3) 국내외 제도비교를 통한 개선방안 마련

작업장 라돈 노출과 관련된 국외 제도와 국내 법규의 주요 차이점을 정성적으로 분석하여 산업안전보건법의 개선방안을 마련하고자 하였다.

III. 연구결과

1. 국외 제도

1) 유럽연합

대부분의 유럽연합(EU) 국가 내 정부 또는 관련 부처는 주택에서와 마찬가지로 작업장 내 라돈에 대한 명령 및 권고사항의 준수를 감독뿐만 아니라 법률 및 권고사항을 이행하고 있었으며, 주요 유럽 국가들의 라돈 관리에 대한 특징적인 사항은 (Table 1)과 같다.

유럽 위원회는 근로자의 건강과 일반인에게 일어날 수 있는 전리방사선의 위험에 대응하기 위한 안전 가이드라인(라돈에 대한 지침)을 발행하였다. 전반적으로 이들의 권장사항은 국제방사선방호위원회(International

Table 1. Characteristic points about radon management in major European countries

Country	Characteristic points
Denmark, Finland	The National Radiation Protection Agency carries out oversight responsibilities for the regulation
Sweden	The National Committee for Industrial Safety and Health establishes regulations and local authorities conduct actual supervision of industrial safety and health
Norway	Management of natural radioactivity is supervised and managed by local governments or local governments with responsibility
Switzerland	Supervised implementation by the Swiss National Accident Insurance Organization (SUva)
France, Finland, Germany, Ireland	Establish protocols for radon measurements in the workplace
Belarus, Latvia, Lithuania, Russia, Czech Republic, Switzerland, Slovakia, Slovenia	Radiation protection regulators carry out supervisory responsibilities

Commission on Radiological Protection)가 설정한 지침을 따르고 있다. 유럽연합은 작업장의 라돈가스농도가 조치 준위(Action level)인 500-1,500 Bq/m³의 범위일 것을 권고한다.

반면, 경제적 수준이 낮은 비유럽연합 국가의 경우 유럽 연합국가에 비하여 70% 이상이 강제 기준을 적용하고 있다. 그리고 이들 국가도 유럽연합과 마찬가지로 기준주택 관리기준으로 대부분 200 Bq/m³을 설정하고 있고, 신규주택의 경우 대부분 200 Bq/m³을 설정하고 있다.

작업장 관리기준은 광산(Mines), 지하 작업장(Workplaces located in underground), 일반 산업장, 물 취급 작업장(Industry workplace, waterworks), 사무실(Offices)로 작업장 유형을 4가지로 구분하여 설정하고 있다(Table 2). 그리고 유럽연합 국가 중 라돈에 대한 작업장 관리기준을 설정하고 있지 않은 국가는 스페인, 포르투갈이다.

유럽연합은 라돈의 직업적 노출 관리 규정(EU, 2013)

을 제정하여 회원국들이 이를 근거로 관리할 것을 권고하고 있으며, 전반적인 내용은 다음과 같다.

(1) 작업장 내 라돈(Radon in workplace)

- ① 회원국은 공기중 연간 평균 라돈농도의 참조준위를 300 Bq/m³이상으로 설정하는 경우 그 정보를 위원회에 보고해야 한다.
- ② 회원국은 다음과 같은 작업장 유형에 대해 라돈 측정을 수행할 것을 요구해야 한다.
 - 부속문서 XVIII 제2항에 따른 국가 조치계획에 포함된 매개변수를 고려하여, 제103조 제3항에 따라 식별된 구역 내의 작업장
 - 부속문서 XVIII의 제3항을 고려하여 국가 조치 계획에서 확인된 특정 유형의 작업장
- ③ 라돈 농도(연간 평균치)가 국가 표준 수준을 계속해서 초과하는 작업장 내의 영역에서는 제3장에 명시된 최적화 원칙에 따라 취해진 조치에도 불구하고

Table 2. Radon management standards by workplace type in European Union countries

Country	Mines	Underground workplace	Industry workplace. waterworks	Offices	Exposure assessment method
					(Unit : Bq/m ³)
Belgium	400	400	400	400	Area
Bulgaria	3,600	3,600	3,600	-	-
Czech Republic	1,000	1,000	300	400	Personal and area
Denmark	-	400	400	400	Area
Estonia	-	-	1,000	-	-
Finland	400	400	300	200	Personal and area
Germany	1,000	1,000	1,000	200	Personal and area
Greece	400	400	400	400	Personal and area
Hungary	1,000	1,000	1,000	-	Personal and area
Ireland	400	400	400	400	Personal and area
Italy	500	500	500	500	Area
Latvia	-	400	1,000	200	Personal
Lithuania	1,000	1,000	400	400	-
Norway	1,000	100	200	200	Area
Poland	360	360	160	160	Personal and area
Serbia	1,000	1,000	1,000	400	Personal and area
Slovakia	1,000	1,000	1,000	500	Personal and area
Slovenia	1,000	1,000	1,000	600	Personal and area
Sweden	1,300	400	200	200	Personal and area
Switzerland	3,000	1,000	300	300	Area
Ukraine	750	750	750	200	Personal

하고 회원국은 이 상황이 제25조 (2)항 및 제35조 (2)항에 따라 통보된 사항이 적용된다.

(2) 라돈 관리 방안(Radon action plan)

- ① 회원국은 제100조 제1항을 적용하여 토사, 건축 자재 또는 물 등 모든 라돈 유입원에 대한 주택, 공공 출입이 가능한 건물 및 작업장의 라돈 노출에 따른 장기적 위험을 다루는 국가 조치계획을 수립해야 한다. 조치계획은 부속문서 XVIII에 명시된 문제를 고려하여 정기적으로 업데이트해야 한다.
- ② 회원국은 라돈의 새 건물 유입을 방지하기 위한 적절한 조치를 취해야 한다. 이러한 조치들은 국가 건물 법규에 구체적인 요건을 포함할 수 있다.
- ③ 회원국은 상당한 수의 건물에서 라돈 농도가 회원국의 국가 기준을 초과할 것으로 예상되는 지역을 파악해야 한다.

사업을 수행하거나 행동을 책임지는 사람은 방사선 방호가 최적화 원칙에 따라 최적화되도록 해야 한다. 이 요구사항은 라돈에도 적용 되어야 하며 광산 및 지하철과 같은 다양한 작업장뿐 아니라 수행되는 작업으로 인한 라돈노출과 라돈이 있는 다른 부지에서의 조치에도 적용할 수 있다. 라돈을 함유한 자산 소유자의 책임에 관한 방사선 방호 조례가 있어야 한다.

일부 지역 또는 특정 유형의 작업장에서의 라돈 노출이 중요할 수 있으며 국가 기준치를 초과하는 경우 라돈과 노출을 저감하기 위한 적절한 조치가 취해져야 한다. 지속적으로 라돈농도가 회원국의 국가기준을 초과하면 작업장을 운영해서는 안 된다. 그러나 회원국은 이러한 작업장에 정보가 제공되고 작업자의 피폭이 연간 6 mSv의 유효 선량 또는 시간 가중 라돈농도값을 초과할 위험이 있는 경우는 계획된 피폭 상황 및 선량한도가 적용될 뿐만 아니라 실용적인 방사선 방어에 대한 결정 가능한 요구 사항이 적용되어야 한다.

회원국은 노출 작업의 피폭선량 한도가 승인된 모든 작업에서 일하는 근로자의 연간 총 피폭량(20 mSv/yr)에 적용되도록 보장해야 한다.

2) 미국

미국인 근로자들은 1970년에 제정된 직업안전보건법령의 적용 대상이며, 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration : OSHA) 임무의 한 특정한 부분은 바로 미국 내 사업장에서의 전리방

사선에 대한 불필요한 노출로부터 근로자들을 보호하는 것이다. 그 물질은 방사성 가스인 라돈(²²²Rn)과 관련이 있다. 사실상 OSHA는 1970년대 초기에 설립된 이후로 전리방사선에 대한 규정을 업데이트 해오지는 않고 있다.

미연방규정 OSHA Regulations(Standard-29 CFR)에는 직업상 피폭, 법령 내 전리방사선, 선량분석 주제 및 방법, 제한구역 및 비제한 구역, 방사선 구역 및 고 방사선 구역으로 구분하여 노출 기준을 제시하고 있고, OSHA 규정은 자연 발생적 방사성 물질을 포함하기 때문에 대기 중 방사성 구역의 정의는 ‘공기 중의 자연 발생적 방사성 물질을 포함하는 구역’으로 해석될 수 있으며, 라돈은 실제로 OSHA 규제 사항에 포함된다. OSHA는 작업장에 대한 라돈의 허용기준(PEL)으로 미국 원자력위원회에서 권고하는 기준을 준수하여 최대 농도(MPC)로 100 pCi/L를 설정하고 있다. 또한, 미국 원자력규제위원회(U.S. Nuclear Regulatory Commission: NRC)는 라돈에 대한 연간유도공기중농도(DAC)로 30 pCi/L를 정하고 미국 산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists: ACGIH)에서는 4.0 WLM(Working Level Month)을 규정하고 있다.

미국의 라돈 프로그램은 대부분 자발적이지만, 주정부에 따라 다르고 작업장에 대한 기준은 산업안전보건청(OSHA), 광산안전보건청(MSHA) 및 에너지부에서 관리하고, 환경보호국(EPA)는 일반대중에게 라돈에 관한 정보를 알리거나 주택 등의 라돈대책을 촉진하는 라돈 문제에 대한 전반적인 책임을 갖는다. OSHA의 관리 지침은 다음과 같다.

- ① OSHA의 Rn-222 피폭 제한규정 10 CFR20 제시
- ② 값은 100 pCi/L으로, 주중 7일 연속으로 40시간 동안의 작업시간에 해당
- ③ 1968년 연방 방사선위원회 지침과 1968년 Walsh-Healey 공공계약법에 따른 광산 방사선 기준에 지하 우라늄광산에서 라돈에 대한 피폭제한은 개별 광부가 연간 12 WLM 이상의 피폭을 받지 못하도록 하고 가능한 한 이 값보다 훨씬 낮게 유지 권고
- ④ 우라늄 광산산업이 1971년 1월 1일부터 발효될 예정이었던 WLM표준을 충족시키기 위해 노력해야 한다고 언급
- ⑤ OSHA의 최대 허용 농도인 100 pCi/L는 연간 12 WLM의 노출을 초래

3) 영국

영국의 라돈에 대한 조치사항은 안전보건청(HSE)에서 “Radon in the workplace”에서 명시하고 있다. 라돈의 법적 규제는 영국 산업안전보건법 및 직장 내 건강 및 안전관리 규정(The Health and Safety at Work 1999)에서 건강과 안전 위험에 대한 평가를 요구하고 있다.

직장 내 건강 및 안전관리 규정 제3조에 명시된 위험도 평가에 따라 작업장에서는 라돈의 위험도 평가를 실행해야 한다. 제3조 제1항에서 5명 이상의 근로자를 고용한 모든 사업주는 평가에서 중요한 발견이 있거나, 위험에 노출이 예상되는 근로자가 있는 경우 평가를 하도록 명시하고 있다(HSE, 1999).

또한 제3조 제5항에서 물리적, 생물학적 및 화학적 물질에 대한 노출의 성질, 기간에 대하여 평가하도록 하고 있어서 영국의 모든 사업주는 작업장에서 잠재적인 라돈의 위험도를 평가해야 한다. 영국의 라돈 지도는 사업주가 작업장 위험을 평가하기 위하여 활용할 수 있다.

1974년도에 제정된 산업안전보건법 (The Health and Safety at Work Act 1974)에 따라 사업주는 합리적으로 실행 가능한 범위 내에서 근로자 및 작업 환경에 접근할 수 있는 다른 사람들의 건강과 안전을 보장해야 한다. 작업규정에서의 건강과 안전 관리는 건강과 안전 위험에 대한 평가를 요구하며, 다음과 같은 경우 라돈을 포함해야 한다(HSE, 1974).

① 노출 기준

제3조 제1항 b에서 짧은 반감기를 가진 라돈(²²²Rn)의 자손 핵종의 8시간 평균농도가 $6.24 \times 10^7 \text{ J/m}^3$ 를 초과하지 않는 것을 제외하고, 24시간 평균 농도가 400 Bq/m^3 인 장소에서는 어떤 작업이든 수행할 수 없으며, 400 Bq/m^3 이상인 곳에서 법적 효력이 발생하며 사업주는 노출을 제한하기 위한 조치를 취해야 한다.

② 처벌

400 Bq/m^3 이상인 곳에 작업하는 근로자에 대하여 사업주가 적절한 조치를 취하지 않았거나 적절한 조치를 취한 것을 증명할 수 없으면, Health and Safety (Offences) Act 2008에 적용을 받아 제재(Penalty; fine)를 받게 된다. 영국 산업안전보건법 제33조에서는 위반 행위에 대해 명시하고 있으며, 각 항목에 따라 제재가 달라진다. 이는 관련 법률을 위반하게 되어 12개월을 초과하지 않는 징역형 또는 20,000파운드 이하의 벌금에 처해지게 된다.

③ 위험도 평가

5명 이상의 근로자를 고용하는 경우, 위험도 평가에서 중요한 발견이 있거나, 특히 위험에 노출될 것으로 예상되는 근로자가 있는 경우 위험성평가를 하도록 명시되었으며, 물리적, 생물학적 및 화학적 물질에 대한 노출의 성질, 기간에 대해 지상 및 지하 작업장으로 평가하고 개선방안을 제시한다.

④ 작업장에서의 라돈 측정

작업장에서의 라돈 측정은 위험 평가 프로세스의 일부를 형성하고 라돈 노출이 개선 또는 다른 수단을 통해 통제되어야 하는지 여부에 대한 결정을 알린다. 가정에서 라돈 측정에 사용할 수 있는 측정도구는 종종 실내 작업장에 적합하다. 대부분의 직업용 라돈 측정은 3개월 동안 설치된 수동 모니터로 이루어진다. 적절하고 충분한 측정을 위해 적절한 수의 모니터를 결정하는데 있어서 사용자를 돕기 위한 설명서가 출판되었다. 기준 레벨을 초과 한 경우, 라돈 농도가 가장 높은 방을 결정하고 완화 작업 설계를 지원하고 규정을 준수하기 위해 초기 테스트 후 작업장에서 추가 측정이 종종 요구된다.

⑤ 작업장에서의 라돈 노출 통제

광산과 동굴에서 라돈 수준은 일반적으로 적절한 환기를 통해 라돈 농도를 줄일 수 있다. 일부 작업장에서는 라돈 노출량을 접근 기간과 빈도를 높은 라돈 지역으로 제한하는 등 현지 체류를 관리함으로써 통제할 수 있다. 고농도 라돈이 실제로 감소되기 어려운 소수의 작업장에서는 개인 라돈 선량 측정기를 사용하여 개별적으로 평가한 라돈 노출량 기록을 보존하여야 한다.

4. 국내 라돈 관련 법규

1) 생활주변방사선 안전관리법

생활주변방사선 안전관리법(약칭: 생활방사선법, 2019.07.16. 시행)과 이에 따른 생활주변방사선 안전관리법 시행령(개정 : 2019.07.09. 시행 : 2019.07.16.)과 시행규칙(개정 : 2019.07.16. 시행 : 2019.07.16.)에서 규정하고 있는 라돈 노출로 인한 근로자 보호 규정은 (Table 3)와 같다(NSSC, 2019).

라돈 노출근로자의 건강보호를 위해서 생활방사선법에서 새로 개정되어 시행되는 내용 중 중요한 변화는 원료물질에 라돈을 포함시켰다는 것이다. 이로써 원료 물질을 사용하거나 그로 인한 공정부산물에 노출되는 근로자는 법에서 규정하고 있는 안전조치사항을 따라야 한다. 또한 취급자 및 등록제조업자는 원료물질 또는 공

Table 3. Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment (relative radon)

Article	Title	Contents
2	Definition	2. The term “source material” means a material that contains a natural radionuclide, such as Uranium 235, Uranium 238, Thorium 232, Radon 220, Radon 222 ...
8	Preparation, and Distribution of Safety Manual	(1) The Nuclear Safety and Security Commission shall prepare a safety manual required for safety control of radiation in the natural environment and shall distribute it to persons responsible for handling and registered manufacturers defined in Article 9 1. The method and procedure for treatment, disposal, or recycling of by-product from processing under Article 13 (2); 2. Matters to be observed in handling and managing source material or by-product from processing under Article 14;
14	Matters to Be Observed in Handling and Managing Source Material or By-product from Processing	(1) A person responsible for handling and a registered manufacturer shall observe the following provisions in handling and managing source material or by-product from processing in order to protect workers' health and environment: 2. Installing facilities for preventing source material or by-product from processing from being scattered into the air or take other necessary measures therefor; 3. Measuring and controlling the activity concentration or level of radiation at a place in which source material or by-product from processing are handled; 4. Investigating and analyzing the level of annual exposure of workers, who handle and manage source material or by-product from processing, to radiation in the natural environment; 5. Providing medical examinations for workers who handle or manage source material or by-product, as prescribed by Presidential Decree. (2) A person responsible for handling and a registered manufacturer shall take safety measures prescribed by Presidential Decree in order to protect workers' health and improve their working environment according to the investigation and analysis conducted pursuant to paragraph (1) 4 and the results of medical examinations performed pursuant to paragraph (1) 5.

정부산물을 취급·관리하는 장소 및 종사자에 대해서 방사선량을 측정하고 건강진단을 받게 되어 있고, 건강진단 결과는 원자력안전위원회에 보고하게 되어 있다.

또한, 원자력안전위원회는 생활주변방사선(지각방사선 포함) 뿐만 아니라 원료물질, 공정부산물에 대해서도 5년마다 종합계획을 수립해야 하며, 원료물질 또는 공정부산물의 취급·관리시 준수사항과 지각방사선(라돈 포함)에 피폭할 우려가 있는 사람의 안전조치사항에 대해서 취급자 및 등록 제조업자에게 필요한 안전지침을 배포해야 한다.

라돈을 원료물질로 취급하는 자는 라돈 노출에 대한 안전조치를 취해야 하며, 안전조치는 원료물질이 흘날리는 것을 방지해야 한다. 또한, 피폭되는 양을 조사·분석해야 하며, 건강진단을 받아야 한다. 이러한 안전조치가 잘 지켜지는지 원자력안전위원회는 주기적으로 검사하도록 되어 있다. 건강진단의 경우, 산업안전보건법에 시행하고 있는 배치전건강진단과 특수건강진단을 시

행하는 경우 이를 인정해 주고 있다.

언급한 바와 같이, 생활방사선법에서는 주로 원재료를 사용하거나 취급하는 사업장에 대해서는 여러 가지 안전조치사항을 새로 마련하여 관리하고 있으나, 자연적으로 노출되는 근로자를 보호하기 위한 법규의 내용으로는 부족한 점이 많다. 하지만, 라돈을 원재료 및 가공제품으로 하는 근로자들을 위한 법규개정이 되었다는 점에서 고무적이라 할 수 있다.

2) 산업안전보건법

산업안전보건법은 모든 근로자에 대한 안전과 보건 증진을 위한 법으로서 각 사업장에서 필요한 안전보건 조치 사항에 대하여 규정하고 있다. 산업안전보건법은 전부 개정되어 2019년 1월 15일 공포(시행 : 2020.01.16.) 되었다. 산업안전보건법에서 규정하고 있는 라돈과 관련된 사항은 (Table 4)과 같다(MoEL, 2020).

산업안전보건법에서는 방사선에 의한 건강장해 예방

Table 4. Occupational Safety and Health Act (relative radon)

Article	Title	Contents
36	Risk Assessment	(1) A business owner shall detect harmful or dangerous factors caused by buildings, machinery and apparatus, equipment, raw materials, gas, steam, dust, etc., or those resulting from specific work behaviors or duties, and shall determine the degree of danger thereof, and according to the result of the determination, shall take necessary measures pursuant to this Act and orders issued under this Act; he/she shall also take additional measures, where necessary for preventing danger to or impairing employees' health.
39	Health Measures	(1) A business owner shall take measures necessary for the prevention of the following health problems while operating their business: 2. Health disorders caused by radiation, harmful rays, high temperatures, low temperatures, ultrasonic waves, noises, vibrations, abnormal atmospheric pressure, etc.; (2) Measures for health to be taken by a business owner under paragraph (1) shall be prescribed by Ordinance of the Ministry of Employment and Labor.
130	Special Health Examination	(1) The employer shall conduct a health examination (hereinafter referred to as "special health examination") for the health management of any of the following workers: 1. Workers engaged in affairs exposed to harmful factors prescribed by the Ordinance of the Ministry of Employment and Labor (hereinafter referred to as "task subject to special health examination") 2. A person who is determined to be an employee with occupational diseases or is not engaged in special health diagnosis subject to the relevant judgment as a result of conducting a medical examination under subparagraphs 1, (3) and 131;

을 위한 조치를 해야 한다고 규정하고 있다. 이에 따른 건강진단(시행규칙) 및 건강장해 예방 조치(안전보건 규칙)를 시행해야 한다. 위험성평가는 사업장 내의 모든 위험요인을 찾아내어 관리를 해야 함으로 방사선이 포함되어 관리되어야 한다.

하지만, 현재 산업안전보건법에서 다루고 있는 방사선이 라돈을 포함하느냐에 대한 논의는 필요하다. 만일 산업안전보건법, 시행규칙, 안전보건규칙에서 규정하고 있는 방사선에 라돈이 포함된다면 위험성평가는 물론이고 건강진단부터 시행되어야 한다. 특수건강진단 대상 물질에 방사선이 포함되어 있고, 이는 안전보건규칙 정의에 있는 방사선으로 정의하고 있다. 하지만 방사선에 대한 건강진단 항목을 보면 이는 라돈 노출로 인한 폐질환을 예방하기 위한 검사 항목으로는 적합하지 않다. 결국, 건강진단 항목의 방사선은 라돈을 포함하여 기준을 만든 것은 아니라는 것이다. 따라서 안전보건 규칙 정의에 있는 방사선에 라돈이 포함되느냐에 대한 논의는 필요하다.

현재 산업안전보건법에서의 방사선은 자연적으로 존재하는 방사선이나 방사성의 가스상 물질을 관리하기 위한 법률은 아닌 것으로 여겨지는 것이 일반적이다. 특히, 안전보건규칙에 있는 방사선에 의한 건강장해 예방

은 주로 방사선 업무, 방사성 물질 취급 작업, 방사선 발생 장치 등에 대한 것으로 라돈과 같이 자연적으로 존재하는 방사선에 노출될 수 있는 근로자를 보호하는데 한계가 있다. 물론 라돈을 직접 취급하는 작업에 대해서는 방사성물질 취급 작업으로 안전보건규칙이 해당될 수 있다.

3) 라돈 관련 법규 검토 결과

라돈과 관련된 생활주변방사선 안전관리법과 산업안전보건법을 비교 검토한 결과, 라돈을 직접 취급하거나 원재료에 포함되어 노출되는 근로자는 원자력안전위원회의 생활주변방사선 안전관리법으로 보호될 것으로 보인다. 생활주변방사선 안전관리법에서 라돈을 원재료로 하는 작업장에 대한 안전조치, 측정, 건강진단 등을 시행하게 되어 있고, 이를 원자력안전위원회에서 주기적으로 검사하게 되어 있기 때문이다.

원자력안전위원회에서는 생활주변방사선 안전관리에 대한 종합계획을 수립하게 되어있고, 지각방사선(라돈 포함)도 여기에 포함되어 있어 관리될 것으로 예상되나 라돈을 직접 취급하지 않으나 자연적으로 존재하는 라돈에 간접적으로 노출되는 근로자에 대해서도 안전관리 계획이 수립되어야 한다. 하지만, 자연적으로 발생하는

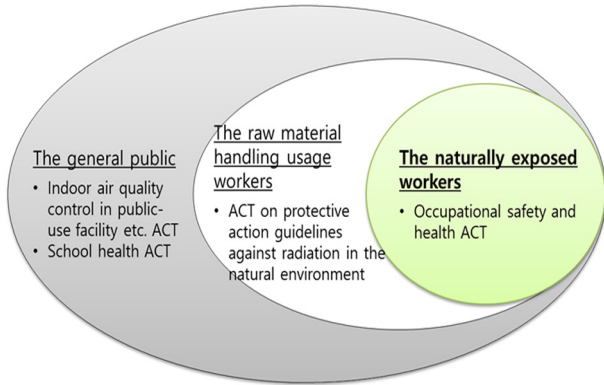


Figure 1. The legal framework for exposure to radon

라돈에 노출되는 근로자에 대해서는 구체적인 안전관리 방안이 마련되어 있지 않아, 이는 산업안전보건법을 통하여 관리를 하는 것이 필요해 보인다. 대략적인 범규 보호 모식도는 (Figure 1)와 같다.

IV. 결 론

작업장 라돈 노출과 관련된 국외 제도와 국내 관련법 규를 비교 검토한 결과, 원재료에 함유된 라돈이 아닌 천연방사선으로서 작업장에서 근로자에게 노출되는 라돈으로 인한 건강장해 예방 조치 사항들은 국내의 산업안전보건법에서 정의되거나 예방조치 사항들은 다소 미흡한 것으로 나타났다(Table 5).

현재 산업안전보건법은 2019년 1월 15일 전부개정 공포되어 2020년 1월 16일 시행되었으며, 현재 산업안전보건법 하위법령에서는 라돈에 관한 내용이 들어가지 않다. 따라서 라돈에 대한 근로자에 건강장해 예방을 위한 규정을 시행규칙 및 안전보건 규칙에 포함시켜 관리할 것을 제안하고자 한다.

주요 개정내용으로는 원료 취급 사업장이 아닌 이유로 생활주변방사선 안전관리법의 범위에서 제외됨에도

Table 5. Comparison of domestic and foreign policies related to radon exposure at workplaces

Classification	EU	The United States	The United Kingdom	Domestic(Republic of Korea)	
		OSHA	HSE	Nuclear Safety Commission	Ministry of Employment and Labor
Regulation	DIRECTIVE 2013/59/EURATOM	29 CFR 1910.1096	Radon in the workplace, The Health and Safety at Work 1999	Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the Natural Environment	Occupational Safety and Health Act
Exposure Criteria	300 Bq/m ³	100 pCi/L	400 Bq/m ³	1.0 Bq/g (Raw Material) 20 mSv/Yr (Exposure Amount)	600 Bq/m ³
Coverage	Specific types of workplace identified in the national plan (mining, subway, etc.)	workplace of ionizing radiation exposure	workplace of ionizing radiation exposure	If radon is handled directly or the raw material contains radon;	-
Activities	Exposure reduction measures in case of exceeding the standard	Presents exposure criteria divided into occupational exposures, ionizing radiation in statutes, subject and method of dose analysis, restricted and non-restricted areas, radiation zones, and high radiation zones;	Penalty in excess of the standard (in prison or fines of up to £20,000)	Safety precaution, measurements, medical examinations	Unknown subject to law (in Rules for Occupational Safety and Health Standards)

라돈에 노출될 우려가 있는 근로자들에 대해 정기적으로 특수건강진단 및 배치 전 건강진단을 받을 수 있도록 하고, 사업주는 정기적인 라돈 농도 측정을 통하여 라돈 노출에 대한 작업장 관리를 강화하고, 라돈 노출 작업장에 경고표지 등을 부착하여 근로자의 알권리를 보장하며, 보호구 착용 및 유해성 주지를 통해 근로자 건강장해를 예방하도록 하는 것이다.

작업환경측정의 경우, 라돈을 직접 취급하는 자는 생활주변방사선 안전관리법에 의해서 취급자는 피폭량을 측정해야 하고, 이를 원자력안전위원회에서 정기적으로 검사하게 되어 있어, 산업안전보건법 제125조의 작업환경측정 항목으로 포함시키는 것은 중복규제에 해당할 수 있다. 현재 산업안전보건법 시행규칙 [별표21] 작업환경측정 대상 유해인자에는 방사선과 관련된 물리적 인자에 대한 측정 대상물질은 없다. 이는 방사선 관련된 유해인자는 원자력안전위원회에서 관리를 일원화하고 있기 때문이다.

그러나 라돈을 직접 취급하지 않지만, 라돈에 노출 가능성이 있는 비의도적 라돈 노출작업장의 경우 정기적인 라돈 농도의 측정을 통한 작업장 관리는 필요하며, 이는 산업안전보건법 제125조 작업환경측정 제도가 아닌 산업안전보건기준에 관한 규칙의 방사선으로 인한 건강장해 예방 내의 규정으로서 사업주가 라돈 노출 작업장의 라돈 농도 수준을 파악하고 라돈 농도에 따른 정기적인 측정을 실시하며 이를 통하여 근로자의 라돈 노출을 최소화 할 수 있도록 관련 규정을 개정하는 것이 필요하다.

또한, 라돈 노출 작업장에서 라돈에 노출될 우려가 있는 작업장의 경우, 작업과 휴식의 배분 및 근로조건 개선을 통한 건강보호를 받을 수 있도록 시행령을 개정하는 것이 필요하다.

건강진단의 경우, 생활주변방사선 안전관리법에서 라돈 취급자의 건강진단을 산업안전보건법 상의 배치 전 건강진단과 특수건강진단을 시행하는 경우 이를 인정 해주고 있어, 이에 맞추어 라돈을 특수건강진단 대상 유해인자에 포함시킬 것이 필요하며, 라돈과 라돈 노출 작업장을 새롭게 정의하여 산업안전보건기준에 관한 규칙의 방사선으로 인한 건강장해 예방 부분을 개정할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 2019년 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 학술용역 지원 사업에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi EH, Kim SG, Chung MH, Son HS, Son SK. Study on Measures for Occupational Exposure Standard and Management Guidelines on Radon. Korea Institute for Industrial Safety and Health, 2017
- Chung EK, Jang JK, Kim KB, Park HD, Son SW. A study for occupational exposure and OELs of radon. Korea Institute for Industrial Safety and Health, 2015
- Chung EK, Kwon JW, Kim KB, Kim JK. A study for occupational exposure and assessment method of radon. Korea Institute for Industrial Safety and Health, 2014
- Darby S, Hill D, Deo H, Auvinen A, Barros-Dios JM, et al. Residential radon and lung cancer—detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 2006;32(1):1–84
- European Union. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013. available from : <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:EN:PDF>
- Health and Safety Executive. Health and Safety at Work etc. Act 1974. 1974 c. 37. available from : <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1974/37/contents>
- Health and Safety Executive. The Management of Health and Safety at Work Regulations 1999. No 3242. available from : <https://www.legislation.gov.uk/uksi/1999/3242/contents/made>
- Jeon JS, Lee JY, Eom SW, Chae YZ. The Variation Characteristics of Indoor Radon Concentration from Buildings with Different Environment, Seoul. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 2011
- Kim KY, Cho MS, Kim TY. A Study on the Actual Condition of Indoor Air Quality Management and the Strengthening of Regulations - Focusing on Radon. Korea Institute for Industrial Safety and Health, 2015
- Lee SM. A Legal Problem and an Improvement Plan of NORM(Naturally Occurring Radiocative Materials) Management System Seen Through a Case of a Radon Detection Bed. *Environmental Law and Policy*, 2018
- Ministry of Employment and Labor. Occupational Safety and Health Act. Act No. 147326, 26, May, 2020
- Nuclear Safety and Security Commission. Act on Protective Action Guidelines against Radiation in the

Natural Environment. Act No 16299, 15. Jan, 2019
Occupational Safety and Health Administration.
Occupational Safety and Health Standards 29 CFR
1910.1096 available from : [https://www.osha.gov/
laws-regs/regulations/standardnumber/1910/191
0.1096](https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.1096)
Yoon TH, Seung-Yean Cho, Han-Soo Kim, Kyoung-Won

Na, Do-Hyeon Kim . The Interrelation Between
Radon and ETS in Indoor Environmental. Korean
Society for Atmospheric Environment, 2007

<저자정보>

임대성(공학박사), 김기연(교수), 조용민(교수), 서성철(교수)