Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 20, No. 1, pp. 85-92, 2026
https://doi.org/10.23042/radin.2026.20.1.85

Original article

유의물질의 조치 시 규제해제를 위한 국내외 처분기준 조사 및 분석

민승호[1] · 이정우[1] · 최정훈[1] · 김광표[1,*]

[1]경희대학교 원자력공학과

Domestic and International Disposal Criteria Analysis for Clearance during Measures of Suspected Substances

Seung Ho Min[1], Jung Woo Lee[1], Jung Hun Choi[1], and Kwang Pyo Kim[1,*]

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

ABSTRACT To take action on materials containing naturally occurring radionuclides or suspected substances, it is necessary to satisfy the criteria for disposal specified by regulatory authorities. However, the Korean Act on Protective Action Guidelines Against Radiation in the Natural Environment does not provide clearance criteria applicable to naturally occurring radionuclides and Suspected Substances. Therefore, it is necessary to evaluate the potential radiological impacts that may arise from these materials and then derive radionuclide-specific acceptance criteria. To this end, clearance acceptance criteria applied by international organizations such as the ICRP and the IAEA, as well as those applied in the United States, Canada, and Korea, were investigated. The ICRP and the IAEA, considering risk and nominal risk coefficients, proposed 10 μSv y^{-1} as a dose criterion that can be referenced for clearance. In addition, as activity concentration criteria for naturally occurring radionuclides, they presented 10 Bq g^{-1} for ^{40}K and 1 Bq g^{-1} for other radionuclides. In the United States, clearance criteria based on the surface contamination levels of radioactive waste were presented, and satisfying an acceptance criterion of 1 mSv y^{-1} was recommended. In Canada, management criteria applicable to workplaces handling Naturally Occurring Radioactive Material, rather than formal clearance criteria, are applied, with a dose criterion of 0.3 mSv y^{-1}. In Korea, authorized self-disposal acceptance criteria applicable to radioactive waste exist under the Nuclear Safety Act; however, these criteria are not intended for materials containing naturally occurring radionuclides or Suspected Substances. Thereafter, the clearance acceptance criteria surveyed for international organizations and individual countries in this study can be utilized in an equation for deriving allowable activity concentrations for the clearance of Suspected Substances. This equation derives radionuclide-specific allowable concentrations for clearance as the value obtained by dividing the annual dose limit by the annual exposure dose as a function of radionuclide-specific concentration. The results of this study are expected to be used as baseline data for deriving acceptance criteria for clearance when taking action on NORM and Suspected Substances.

Key words: Suspected Substances, NORM, Measures, Clearance, Criteria for Disposal

1. 서 론

국내 공항만과 재활용고철을 판매 및 재활용하는 자에 대하여 고철류 및 금속성 화물에 포함된 방사성물질을 상시로 감시하고 관리하기 위한 고정형 방사선감시기(Radiation Portal Monitoring; RPM)가 설치되어 있다[1,2]. 이러한 감시기는 원자력안전위원회가 정하여 고시하는 방사능농도를 초과하거나 초과할 것으로 의심되는 물질인 유의물질의 검출 목적으로 운영되고 있다[1-2]. 이때, 유의물질은 천연방사성핵종 함유물질(Naturally Occurring Radioactive Material; NORM)로 구성될 수 있으며, NORM은 ^{235}U, ^{238}U, ^{232}Th 계열 핵종과 같은 천연방사성핵종이나 ^{40}K 핵종을 함유한 물질을 의미한다[3]. 현재 국내에서는 유의

ISSN 1976-2402 http://www.ksri.kr/

Copyright© 2026 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 23 February 2026 Revised 18 March 2026 Accepted 25 March 2026

물질에 대하여 원자력안전법의 규제가 아닌 생활주변방사선 안전관리법에 따라 규제되고 있으며, 이러한 유의물질을 규제하고 관리하기 위해서는 해당 물질의 규제대상 포함 여부를 판단해야 한다[4].

임근수 등은 원자력발전소의 해체 시 발생되는 콘크리트 폐기물의 자체처분 상황을 가정하여 작업자와 일반인에 대한 방사선학적 영향을 평가하였다[5]. 이를 위해, 자체처분된 콘크리트 폐기물을 활용하여 매립, 건설폐기물 재활용 공장, 도로공사 등을 수행하는 과정에서 작업자와 일반인의 피폭시나리오를 설정하였다. 이후, 평가 결과를 국내 자체처분 허용선량과 비교하여 검증하였다. 송종순 등은 방사성폐기물의 자체처분과 재활용을 위한 국내외 처분현황 및 규제요건을 분석하였다[6]. 이후, 국내 실제 원자력발전소의 해체 상황을 가정하고 금속방사성폐기물의 재활용 시 작업자에 대한 방사선학적 위해도를 평가하였다. 해당 연구는 원전 해체 시 발생하는 폐기물을 대상으로 평가를 수행한 후 데이터베이스를 구축하는데 목적을 두었다. 최영환 등은 원전연료 가공시설에서 핵연료물질 사용으로 인해 오염된 콘크리트 폐기물의 자체처분 기준을 설정하기 위한 방사능오염도를 평가하는 연구를 수행하였다[7]. 이를 위해, 콘크리트 폐기물의 자체처분 기준을 유도하기 위한 피폭시나리오별 피폭선량 평가를 수행하였다. 이후, 해당 연구에서 도출한 우라늄의 농축도별 처분제한 농도기준과 NUREG-1640 문헌에서 설정된 처분제한 농도기준을 비교 및 검증하였다.

앞선 사례들은 방사성폐기물의 규제해제를 위한 방사선학적 영향 평가 시 인공선원에 적용되는 규제요건을 이용하여 작업자와 일반인에 대한 영향을 평가하였으며, 방사성폐기물에 적용되는 규제해제 기준을 활용하여 검증을 수행하였다. 이와 달리, NORM 및 유의물질에 대한 규제해제 시 방사선학적 영향 평가를 수행하는 경우에는 천연방사성핵종이 선원항으로 설정될 수 있다. 따라서, NORM과 유의물질의 경우 인공방사성핵종과 달리 천연방사성핵종의 붕괴 계열을 고려해야 한다[8]. 현재 원자력안전위원회는 감시기 운영자에 대해 유의물질 검출 시 보고할 의무를 부여하고 있으며, 운영자로부터 조치 계획을 접수 받은 뒤 안전하게 처리하도록 규정하고 있다. 이때, 유의물질 내 천연방사성핵종의 경우 생활주변방사선 안전관리법 제13조 및 동법 시행령 제5조를 준용하여, 재활용하지 못하도록 매립 등의 방법을 권고한다. 또한, 감시기 운영자는 방사능농도 분석 또는 방사능농도의 적합성을 확인할 수 있는 자료를 원자력안전위원회에 제출하여 규제해제 여부를 판단 받는다[9]. 그러나, 현재 생활주변방사선 안전관리법에서는 유의물질의 정의 및 검출 기준이 제시되어 있으나, 명확한 규제해제 기준은 부재한 상황이다[10].

매립 처분의 과도한 비용과 매립장 여부에 의존한 처분 불확실성 등의 한계가 존재하며, 이에 대안으로 재활용 또한 조치 방법으로 고려될 가능성이 존재한다[11]. 따라서, 유의물질의 조치 시 매립 및 재활용 방법 모두 고려될 수 있으며, 명확한 기준을 통한 유의물질의 조치에 대한 규제 준위 기준의 개발이 필요하다. 이를 위하여, 본 연구에서는 유의물질의 조치 시 규제해제를 위한 국내외 처분기준을 조사 및 분석하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서 유의물질의 조치 시 규제해제를 위한 국내외 처분기준 조사 및 분석을 수행하기 위해 국제기구와 국가별 규제해제 기준을 조사하였다. 이를 위하여, 국제기구의 경우 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection; ICRP)와 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency; IAEA), 국가별 규제해제 기준의 경우 미국, 캐나다, 국내에서 적용되고 있는 규제해제 기준을 조사하였다.

2.1. 국제기구의 규제해제 기준

2.1.1. ICRP의 규제해제 기준

ICRP 간행물 82에서는 일반인의 장기적인 방사선피폭을 관리하기 위한 방법 및 규제면제, 규제해제 개념을 제시하였다[12]. 우선 방사선피폭의 원인을 자연기원과 인공기원 피폭원으로 구분하였으며, 통제 가능성에 따라 활동(Practice)과 개입(Intervention)으로 구분하였다. ICRP는 행위의 규제면제 또는 규제해제를 위한 조건으로 다음과 같이 3가지를 제시하였다. (1) 면제되는 행위 또는 선원으로 인해 개인에게 발생하는 방사선 위험은 규제상 우려할 수준이 없을 정도로 충분히 낮아야 한다, (2) 면제되는 행위 또는 선원의 집단 방사선학적 영향은 해당 상황에서 규제 통제를 할 필요가 없을 정도로 충분히 낮아야 한다, (3) 면제되는 행위 및 선원은 본질적으로 안전해야 하며, 앞선 기준을 충족하지 못하게 되는 시나리오가 발생할 가능성이 유의미하게 존재해서는 안된다. 따라서, 장기적인 피폭의 맥락에서 개인 및 집단 모두 해당선원으로 인한 추가적인 연간 피폭선량이 사소한 수준이라면 규제면제 및 규제해제가 가능하다고 제시하였다. 따라서, 본 연구에서는 해당 간행물에서 제시하는 규제면제 및 규제해제 기준의 도출 방법과 그 수준을 조사하였다.

Fig. 1에 규제의 배제(Exclusion), 면제(Exemption), 해제(Clearance)의 체계가 설정되는 방식을 도식화하여 나타내었다. ICRP는 간행물 104를 통해 방사선방호의 정당화 원칙과 최적화 원칙의 적용을 통한 방사선방호 관리 범위를 정의하는 접근을 국가당국에 권고하였다[13]. 피폭원의 관리가 어렵거나 규제 적용이 부당한 상황에서는 방사선방호에 있어 예외적으로 규제를 배제, 면제, 해제할 수 있다고 명시한다. 해당 간행물에서는 규제 배제, 면제, 해제의 판단 기준을 제시하며, 특정 규제 요건의 준수보다 면제가 적절할 경우를 상황에 따라 결정할 수 있도록 제시하였다. 또한, ICRP는 규제 대상의 설정 시 피폭원의 농도기준이나 선량기준과 같은 정량적 기준이 단편적으로 설정될 수 없으며, 규

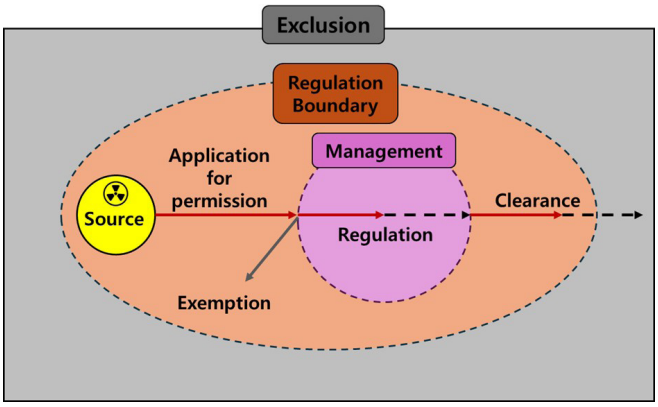

Fig. 1. Regulation Exclusion and Clearance flow.

제의 정당성과 방사선방호의 최적화를 함께 고려하는 것이 적절하다고 강조하였다. 해당 권고의 핵심 원칙은 개인 피폭선량의 제한 하에서 통제 조치의 정당성과 방사선방호의 최적화를 확보하는 것이다. 또한, 해당 권고에는 인공 및 천연방사성핵종의 규제해제 시 적용되는 방사능농도 기준을 제시하고 있으며, 본 연구에서는 천연방사성핵종의 방사능농도를 대상으로 규제해제 기준을 조사하였다.

2.1.2. IAEA의 규제해제 기준

GSR Part 3 “Radiation Protection and Safety of Radiation Source: International Basic Safety Standard”에서는 방사선방호와 피폭자의 안전 확보를 위해 설정된 국제적인 기준을 제시하였다. GSR Part 3는 ICRP 간행물 103의 방사선방호 원칙을 기반으로 제정된 문헌이다. 해당 문헌은 IAEA BSS No.115 문헌을 대체하는 최신 기본 안전기준으로, 방사선 작업의 정당화, 방사선 방호의 최적화, 개인 선량한도 준수를 핵심적인 원칙으로 제시하였다[14]. 해당 문헌에서는 피폭을 유발하는 방사선 작업을 수행하기 위해서 규제당국과 규제기관에 신고(Notification)와 인허가(Authorization)를 받아야 한다고 규정한다. 그러나, 피폭 상황에서 특정 조건을 만족할 경우에는 규제면제 또는 규제해제를 허용하고 있다. 규제면제 또는 규제해제는 방사선 작업이 정당하지만 해당 작업이나 선원에 기인한 피폭 수준이 매우 낮고, 이로 인한 위험의 준위가 낮을 때 적용 가능하다고 명시하였다. 또한, 해당 문헌에서는 인공방사성핵종 및 NORM에 적용 가능한 일반적인 규제해제 기준을 제시하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 NORM을 대상으로 한 규제해제 기준 조사를 수행하였다.

2.2. 국가별 규제해제 기준

2.2.1. 미국의 규제해제 기준

미국은 Regulatory Guide 1.86 (R.G-1.86)을 통해 방사성오염물질의 규제해제 기준을 제시하였다[15]. 해당 문헌은 원자로의 운영허가가 종료됨에 따라 해체가 수행될 때의 규제 요건을 제시한다. R.G-1.86에 의하면, 원자로에서 발생한 체적오염 고체폐기물은 설정된 검출하한치 조건 하에서 도출된 방사능이 자연방사능 수준을 초과하지 않을 때 규제해제가 가능하다고 명시하였다. 이와 달리, 비원자로시설에서 발생한 고체폐기물은 보다 복잡한 규제해제 절차가 요구된다. 해당 폐기물이 처분되거나 재활용되었을 때 예상되는 피폭선량을 평가한 후, 해당 결과를 바탕으로 미국의 규제기관(Nuclear Regulatory Commission; NRC)의 사전 승인을 받아야 규제해제가 가능하다. 이를 바탕으로, 미국에서 방사성오염물질에 적용되고 있는 규제해제 허용 기준을 조사하였다.

2.2.2. 캐나다의 규제해제 기준

캐나다는 Health Canada를 통해 천연방사성핵종에 대한 방사선방호 방안을 제시하였다. 해당 지침의 목표는 경제적 및 사회적 요인을 고려하여 선량이 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지되도록 하는 것이다[16]. 해당 문헌에서는 방사성폐기물의 규제해제 기준을 제시하지는 않으나, NORM 관리 기준을 제시하였다. 천연방사성핵종에 의한 방사선피폭 가능성이 있는 사업장은 안전절차에 대한 자문을 주(Province)정부와 규제기관에 요청해 왔다. 이러한 관행은 캐나다 전역에서 방사선 안전 기준의 해석과 규제 적용에 있어 공백과 중복을 초래하였다. 이에 해당 문헌은 천연방사성핵종이 적절히 통제되도록 하고, 기준을 통일하며, 규제 공백과 중복을 줄이기 위한 방안을 제시하였다. 이를 바탕으로, NORM 관리 시 개입의 수준에 따라 참고할 수 있는 선량기준을 조사하였다.

2.2.3. 국내의 규제해제 기준

국내 법령에서는 방사성폐기물의 규제해제를 자체처분이라는 용어로 통용하고 있다. 국내에서 방사성폐기물의 규제면제와 규제해제 등의 기준을 제시하는 관계 법령은 원자력안전법 제2조, 제70조, 동법 시행령 107조 등이 존재한다. 또한, 관련 고시로는 원자력안전위원회고시 방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정이 존재한다. 원자력안전법 시행령 제107조에는 방사성폐기물 자체처분의 절차와 방법에 대해 규정하였다. 제1항에는 ‘법 제71조에 따른 원자력관계사업자는 법 제70조제3항에 따라 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 방사성폐기물로서 법 제70조제2항에 따른 방사성폐기물 외의 방사성폐기물임을 위원회로부터 확인을 받은 방사성폐기물을 소각, 매립 또는 재활용 등의 방법으로 처분할 수 있다’라고 규정하였다. 원자력안전위원회고시 제2023-7호(방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정)에는 보다 정량적인 자체처분에 대한 기준을 제시하였다. 해당 고시 제6조에 따르면 방사성폐기물이 자체처분 허용농도 기준 미만이거나 자체처분 허용선량 기준을 초과하지 않는다면 자체처분을 허용할 수 있다고 하였다. 이에 따라, 방사성폐기물의 자체처분을 위한 허용농도를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 1에 국제기구 및 국내외 규제해제 기준을 조사 후 정리하여 나타내었다. 본 연구에서는 ICRP, IAEA와 미국, 캐나다, 국내에서 제시하거나 적용 중인 규제해제 기준을 조사하였다. 추가로, 조사 결과에 대하여 규제해제 및 NORM 관리 기준을 선량기준과 농도기준으로 분류하였다. 선량기준의 경우 개인 피폭선량에 대해 연간 10 μSv-1 mSv의 범위로 도출되었으며, 농도기준의 경우 K-40와 천연방사성핵종에 대해 10, 1 Bq g^{-1} 등 상이하게 도출되었다.

3.1. 국제기구의 규제해제 기준

3.1.1. ICRP

ICRP는 간행물 82를 통해 방사성폐기물의 규제해제 시 개인에 대해 연간 10 μSv를 제시하였다. 이러한 선량기준은 사소하게 고려되는 준위의 위험과 자연방사선으로 인한 위험을 기반으로 도출된 것으로 나타났다. ICRP는 무시 가능한 연간 위험도인 10^{-7}-10^{-6} risk y^{-1}를 제시한다. 또한, ICRP 간행물 60을 통해 방사선에 의해 유발되는 치사암, 유전적 영향과 선량간의 발생확률 계수를 5×10^{-2} risk Sv^{-1}로 제시한다[17]. 이를 위험도인자로 적용할 경우 규제해제 시 선량기준은 연간 10 μSv 미만으로 감소한다. 또한, 자연방사선으로 인한 연간 피폭선량의 변동은 자연방사선으로 인한 피폭선량의 평균인 2.4 mSv y^{-1}의 수 퍼센트로 고려한다. 이러한 두 가지 고려사항을 반영한 결과, 해당 기준은 선량한도인 1 mSv y^{-1}의 수백분의 일 수준으로 도출되었다. 따라서, ICRP는 특정 조건 하에 선원으로 인한 연간 피폭선량이 10 μSv 미만일 경우 해당 선원은 규제면제 대상이 될 수 있다고 제시하였다. 또한, ICRP는 간행물 104를 통해 참고 가능한 핵종별 규제면제 방사능농도 준위를 제시하였다. 규제면제 준위는 ^{40}K에 대하여 10 Bq g^{-1}과 그 외 핵종에 대하여 1 Bq g^{-1}으로 나타났으며, ICRP는 해당 기준을 만족하는 선원에 의한 개인의 피폭선량은 10 μSv y^{-1} 또는 1 mSv y^{-1}를 초과하지 않을 것으로 판단하였다. 이러한 두 가지 규제해제에 대한 선량기준은 피폭시나리오의 발생 가능성에 따라 구분된다. ICRP는 규제해제 시 실제적 시나리오에 대하여 10 μSv y^{-1}, 가능성이 낮은 시나리오에 대하여 1 mSv y^{-1} 기준을 적용한다[13]. 다만, 각 국가의 실제 입법적 권한을 통한 규제 필요성 및 범위를 결정함에 따라 규제 범위 및 접근 방식이 달라질 수 있음을 명시하였다.

3.1.2. IAEA

Table 2에는 IAEA GSR Part 3에서 제시한 천연방사성핵종 함유 물질의 규제해제 관련 기준을 정리하였다. 천연방사성핵종을 포함한 유의물질의 규제해제 판단에는 우선적으로 해당 문헌 Schedule I의 Table I.3에 제시된 방사능 농도 기준을 적용할 수 있다. 이에 따르면, ^{40}K는 10 Bq g^{-1}, 우라늄 붕괴계열 및 토륨 붕괴계열의 각 핵종은 1 Bq g^{-1} 이하일 때 규제해제 기준을 만족한다. 해당 농도 기준은 자연 상태 토양에 존재하는 천연방사성핵종 농

Table 1. Summary of International Organization and Domestic Regulatory Clearance Standards

Category	Clearance criteria		
	Dose criteria		Concentration criteria
ICRP	Individual Dose: 10 μSv y^{-1}		K-40: 10 Bq g^{-1} Other nuclides: 1 Bq g^{-1}
IAEA	Individual Dose: 10 μSv y^{-1} Collective Dose: 1 man-Sv		K-40: 10 Bq g^{-1} Uranium, Thorium series: 1 Bq g^{-1}
USA	Individual Dose: 1 mSv y^{-1}		U-238 etc.[a]: 5,000 dpm α 100 cm^{-2} Ra-226 etc.[b]: 100 dpm 100 cm^{-2} Th-232 etc.[c]: 1,000 dpm 100 cm^{-2} Others[d]: 5,000 dpm β-γ 100 cm^{-2}
Canada	Investigation	0.3 mSv y^{-1}	-*
	NORM Management	0.3 mSv y^{-1} ≤	
	Dose Management	1 mSv y^{-1}	
	Radiation Protection Management	5 mSv y^{-1}	
Korea	Individual Dose: 10 μSv y^{-1} Collective Dose: 1 man-Sv		-*

*No concentration criteria exist for some radionuclide
[a]U-natural, U-235, U decay products
[b]Transuranium, Ra-228, Th-230, Th-228, Pa-231, Ac-227, I-125, I-129
[c]Th-natural. Sr-90, Ra-223, Ra-224, U-232, I-126, I-131, I-133
[d]Beta-gamma emitter (except for Sr-90), All unlisted radionuclides

Table 2. GSR-Part 3 Clearance criteria for NORM

Nuclides	Radioactivity concentration (Bq g^{-1})
K-40	10
Uranium decay series and Thorium decay series	1

Table 3. R.G-1.86 Clearance criteria for NORM

Nuclides	Average	Maximum	Removable
U-natural, U-235, U-238, U decay products	5,000 dpm α 100 cm^{-2}	15,000 dpm α 100 cm^{-2}	1,000 dpm α 100 cm^{-2}
Transuranium, Ra-226, Ra-228, Th-230, Th-228, Pa-231, Ac-227, I-125, I-129	100 dpm 100 cm^{-2}	300 dpm 100 cm^{-2}	200 dpm 100 cm^{-2}
Th-natural. Th-232, Sr-90, Ra-223, Ra-224, U-232, I-126, I-131, I-133	1,000 dpm 100 cm^{-2}	15,000 dpm 100 cm^{-2}	200 dpm 100 cm^{-2}
Beta-gamma emitters (except for Sr-90), No concentration criteria exist for some radionuclide	5,000 dpm β-γ 100 cm^{-2}	15,000 dpm β-γ 100 cm^{-2}	1,000 dpm β-γ 100 cm^{-2}

도의 세계적 분포와 규제 가능성 여부를 반영하여 설정된 값이다.

또한, GSR Part 3의 부록에는 천연방사성핵종의 규제해제에 대한 일반적인 기준을 제시하였다. 해당 문헌에 따르면, 규제해제 시 개인 유효선량이 연간 10 μSv 미만, 집단선량이 1 man-Sv 미만인 경우 규제해제가 가능하다. 이러한 개인의 유효선량 기준에 대한 근거는 IAEA Safety Series 89에 제시되어 있다[18]. 해당 문헌에서는 일반인의 사소한 위해도는 10^{-6} - 10^{-5} risk y^{-1}이며, 위해계수는 10^{-2} risk Sv^{-1}라고 설정한다. 이후, 사소한 위해도의 하한인 10^{-6} risk y^{-1}와 위해계수를 곱한 뒤, 다중 선원에 의한 중복현상을 보정하기 위해 0.1을 곱한 결과인 연간 10 μSv를 규제해제 선량기준으로 도출하였다. 따라서, IAEA에서 제시한 농도 기준과 개인 유효선량 기준은 서로 경쟁하는 독립 기준이 아닌, 개인 유효선량 기준이 상위 개념이며 방사능 농도 기준은 이를 실무적으로 적용하기 위한 운용 기준임을 제시하였다.

3.2. 국가별 규제해제 기준

3.2.1. 미국

Table 3에 R.G-1.86에서 제시한 방사성폐기물의 표면오염도를 기반으로 한 규제해제 기준을 나타내었다. 폐기물 내의 방사성핵종별 표면오염도를 기반으로 한 규제해제 기준은 평균, 최대, 제거성에 따라 도출되었다. U-natural 등은 1,000 - 15,000 dpm α 100 cm^{-2}, Transuranium 등은 100 - 300 dpm 100 cm^{-2}, Th-natural 등은 200 - 15,000 dpm 100 cm^{-2}, Beta-gamma emitters 등은 5,000 - 15,000 dpm β-γ 100 cm^{-2}의 기준으로 나타났다. 방사성오염물질을 처분 또는 재활용하고자 할 경우, 해당 폐기물의 표면오염도가 기준 미만임을 입증해야 할 필요성이 존재한다. NRC는 해당 요건이 충족할 경우 사안별로 검토하여 규제해제를 승인하는 것으로 나타났다. 또한, 폐기물을 처분하거나 재활용할 때 예상되는 피폭선량을 평가하는 과정이 요구된다. 이에 따라, 피폭선량 평가 결과 처분과 재활용으로 인한 일반인의 피폭선량이 10 CFR 20에서 명시한 일반인 선량한도인 1 mSv y^{-1}를 초과하지 않음을 입증해야 하는 것으로 조사되었다.

3.2.2. 캐나다

Table 4와 5에 캐나다원자력안전위원회(Canadian Nuclear Safety Commission; CNSC)에서 제시한 NORM 관리에 대한 선량한도를 나타내었다. Health Canada의 경우에는 특정 물질을 규제에서 제외하는 규제해제 기준이 아닌, NORM 취급 작업장 내 방사선 방호 체계의 수준을 결정하는 NORM 관리기준을 제시하고 있다. NORM에 의한 영향집단을 직무상 피폭된 작업자와 우연히 피폭된 작업자 및 일반인으로 구분하여 연간 선량한도인 20 mSv y^{-1}와 1 mSv y^{-1}를 통해 NORM 관리를 수행하는 것으로 조사되었다. 또한, NORM 작업장에 적용되는 피폭선량 기준으로는 0.3 - 5 mSv y^{-1}로 나타났다. Health Canada는 NORM의 검출, 분류, 취급, 관리를 위한 원칙과 절차를 제시하였다. 해당 지침은 규제당국, 영향을 받는 산업과 특정 작업장이 보다 상세한 NORM 관리 관행과 지침을 개발하기 위한 틀을 제공하며, 기본 원칙은 NORM에 피폭되는 사람들은 CNSC의 규제 대상 방사성물질에 피폭되는 사람들에게 적용되는 것과 동일한 방사선 피폭 기준을 적용해야 한다는 것이다. 또한, 해당 지침은 NORM으로 인한 방사선피폭을 효과적으로 관리하기 위한 차등적 기준과 방사선방호 체계를 포함한다. 우연히 피폭된 작업자는 업무 시 NORM에 의한 피폭이 예상되지 않았던 작업자이며, 일반인과 같은 기준으로 방사선피폭 관리를 받도록 권고하였다.

3.2.3. 국내

Table 6에 국내 원자력안전법에서 제시하는 규제해제 기준을

Table 4. CNSC dose criteria for NORM management

Affected group	Annual effective dose limit (mSv)	5 years Cumulative dose limit (mSv)
Occupationally exposed worker	20	100
Accidentally exposed workers and the public	1	5

Table 5. CNSC Graded exposure limits for NORM workplaces

DWL (Derived Working Limit)	Object	Criteria (mSv y^{-1})
Investigation	Public and Worker	0.3
NORM Management	Public and Worker	0.3
Dose Management	Worker	1
Radiation Protection Management	Worker	5

Table 6. Korea clearance levels for radionuclides

Nuclides	Radioactivity concentration (Bq g^{-1})
I-129	0.01
Na-22, Sc-46, Mn-54, Co-56, Co-60, Zn-65, Nb-94, Ru-106, Ag-110m, Sb-125, Cs-134, Cs-137, Eu-152, Eu-154, Ta-182, Bi-207, Th-229, U-232, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248, Cf-249, Cf-251, Es-254	0.1
C-14, Na-24, Cl-36, Sc-48, V-48, Mn-52, Fe-59, Co-57, Co-58, Se-75, Br-82, Sr-85, Sr-90, Zr-95, Nb-95, Tc-96, Tc-99, Ru-103, Ag-105, Cd-109, Sn-113, Sb-124, Te-123m, Te-132, Cs-136, Ba-140, La-140, Ce-139, Eu-155, Tb-160, Hf-181, Os-185, Ir-190, Ir-192, Tl-204, Bi-206, U-233, U-234, U-235, U-238, Np-237, Pu-236, Cm-243, Cm-244, Cf-248, Cf-250, Cf-252, Cf-254	1
Be-7, F-18, Cl-38, K-43, Ca-47, Mn-51, Mn-52m, Mn-56, Fe-52, Co-55, Co-62m, Ni-65, Zn-69m, Ga-72, As-74, As-76, Sr-91, Sr-92, Zr-93, Zr-97, Nb-93m, Nb-97, Nb-98, Mo-90, Mo-93, Mo-99, Mo-101, Tc-97, Ru-97, Ru-105, Cd-115, In-111, In-114m, Sn-125, Sb-122, Te-127m, Te-129m, Te-131m, Te-133, Te-133m, Te-134, I-126, I-130, I-131, I-132, I-133, I-134, I-135, Cs-129, Cs-132, Cs-138, Ba-131, Ce-143, Ce-144, Gd-153, W-181, W-187, Pt-191, Au-198, Hg-203, Tl-200, Tl-202, Pb-203, Po-203, Po-205, Po-207, Ra-225, Pa-230, Pa-233, U-230b, U-236, Np-240, Pu-241, Cm-242, Es-254m	10
H-3, S-35, K-42, Ca-45, Sc-47, Cr-51, Mn-53, Co-61, Ni-59, Ni-63, Cu-64, Rb-86, Sr-85m, Sr-87m, Y-91, Y-91m, Y-92, Y-93, Tc-97m, Tc-99m, Rh-105, Pd-109, Ag-111, Cd-115m, In-113m, In-115m, Te-129, Te-131, I-123, I-125, Cs-135, Ce-141, Pr-142, Nd-147, Nd-149, Sm-153, Eu-152m, Gd-159, Dy-166, Ho-166, Er-171, Tm-170, Yb-175, Lu-177, Re-188, Os-191, Os-193, Ir-194, Pt-197m, Au-199, Hg-197, Hg-197m, Tl-201, Ra-227, U-231, U-237, U-239, U-240, Np-239, Pu-234, Pu-235, Pu-237, Bk-249, Cf-253, Es-253, Fm-255	100
Si-31, P-32, P-33, Fe-55, Co-60m, Zn-69, As-73, As-77, Sr-89, Y-90, Tc-96m, Pd-103, Te-125m, Te-127, Cs-131, Cs-134m, Pr-143, Pm-147, Pm-149, Sm-151, Dy-165, Er-169, Tm-171, W-185, Re-186, Os-191m, Pt-193m, Pt-197, At-211, Th-226, Pu-243, Am-242, Cf-246	1,000
Co-58m, Ge-71, Rh-103m, Fm-254	10,000

나타내었다. 국내의 경우, 원자력안전위원회고시 제2023-7호 제2조제3항을 통해 방사성폐기물의 정량적인 자체처분 기준을 제시하였다. 방사성폐기물을 자체처분 하였을 시, 이에 따라 예상되는 연간 피폭선량이 10 μSv 미만이고 연간 집단선량이 1 man-Sv 미만임을 만족하도록 권고한다. 동 고시 별표1에는 IAEA의 기준과 동일한 방사성핵종별 자체처분 허용농도 기준을 제공한다. 별표1에서 제시하지 않은 핵종의 경우, 자체처분 제한치를 만족하는 방사능농도를 신고자가 직접 도출하여 규제기관의 승인을 받아야 함을 명시하였다. 그러나, 유의물질은 해당 규제해제 기준의 적용대상에 벗어나 있기 때문에 규제의 적용성과 합리성 등 추가적으로 고려해야 할 사항이 존재할 것으로 판단된다.

3.3. 규제해제 처분기준과 허용농도

Fig. 2에 IAEA의 General Safety Guide 16에서 제시한 유의물질 규제해제를 위한 허용 방사능농도 도출방법을 나타냈다. 해당 도출방법은 방사성물질의 재활용 시 적용할 수 있는 규제해제

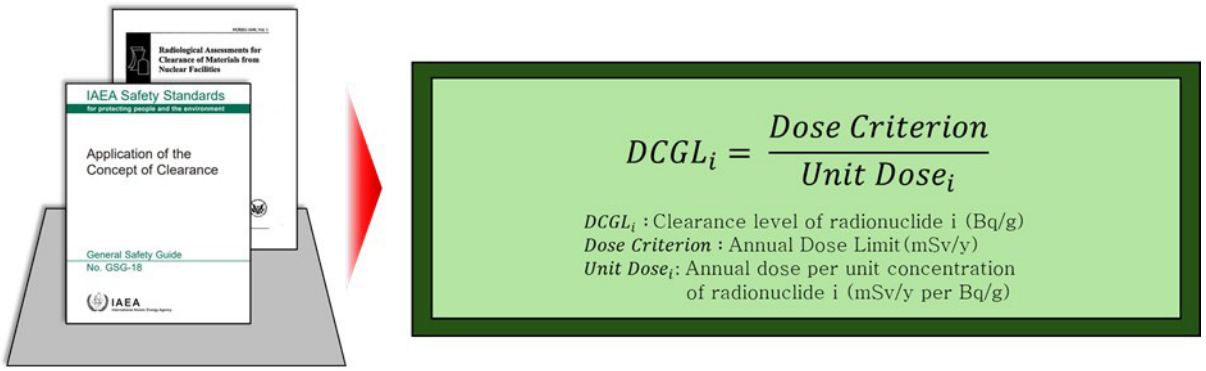

Fig. 2. DCGL Derivation Method.

기준을 개발하기 위해 활용할 수 있으나, 유의물질의 경우에는 조치를 통해 예상되는 피폭시나리오에 따른 연간 선량기준이 요구된다. 해당 방법론에 적용되는 연간 선량기준이 높아질수록, 규제해제 시 충족해야 하는 핵종별 허용농도 역시 비례하여 증가할 것으로 예상된다. 다만, 현재 국내 유의물질은 생활주변방사선 안전관리법에 따라 관리 및 규제가 수행되고 있다. 따라서, 유의물질의 조치 시 원자력안전법에서 제시하는 방사성폐기물의 자체처분 허용기준을 동일하게 적용하기에는 규제대상 측면에서 어려움이 존재할 수 있다. 또한, 유럽위원회(European Commission; EC)는 RP-122 문헌을 통하여 일반 방사성폐기물과 NORM 폐기물의 규제해제 시 방사성핵종 계열 내 모핵종과 자핵종의 반감기를 이용하여 일반적인 방사성폐기물과 NORM 폐기물의 특징을 비교하였다[19,20]. 일반적인 방사성폐기물의 경우 규제해제 시 자핵종을 개별 핵종 중심으로 다루되 상황에 따라 모핵종에 포함하여 평가하도록 한다. 그러나, NORM 폐기물의 경우 일반적으로 모핵종과 자핵종의 방사평형을 가정하여 방사선학적 영향을 평가하도록 한다. 이는 자핵종의 반감기 및 생성을 고려하여 NORM 폐기물에 대한 평가를 수행함을 목적으로 한다. 이에 따라, 유의물질 내 함유된 천연방사성핵종의 특징을 고려한 규제해제 허용기준 도출이 필요하다. 유의물질의 조치를 위한 규제해제 기준을 합리적으로 도출하기 위해서는 모든 선량기준에 대해 피폭선량 평가를 우선적으로 수행해야 한다. 이후, 해당 평가 결과에 따른 피폭선량 값을 활용하여 각 선량기준에 따른 핵종별 허용농도를 도출 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 유의물질 조치 시 규제해제를 위한 국내외 처분기준 조사 및 분석을 수행하기 위해, 국제기구와 국가별 제시되어 있는 규제해제 기준을 조사 및 분석하였다. 이때, 유의물질의 규제해제 기준은 선량기준과 방사능농도 기준으로 분류하여 조사를 수행하였다.

먼저, ICRP, IAEA의 규제해제 선량기준 조사결과는 다음과 같이 나타났다. ICRP와 IAEA 모두 선원으로부터의 연간 피폭선량이 10 μSv를 초과하지 않도록 하는 기준이 존재하였다. 이때, ICRP는 암을 유발하는 위험도 10^{-7}-10^{-6} risk y^{-1}와 위험도 계수 5×10^{-2} risk Sv^{-1}를 활용하여 10 μSv 선량기준을 제시하였다. 이와 유사하게, IAEA는 일반인의 사소한 위해도인 10^{-6}-10^{-5} risk y^{-1}와 위해계수 10^{-2} risk Sv^{-1}를 활용한 후 0.1을 보정하여 연간 10 μSv 선량기준을 제시하였다. 방사능농도 기준의 경우에는 ICRP와 IAEA에서는 ^{40}K와 그 외 핵종에 대해 10 Bq g^{-1}과 1 Bq g^{-1} 등 방사능농도 기준을 제시하였다.

다음으로, 미국, 캐나다, 국내의 규제해제 선량기준 조사결과는 다음과 같이 나타났다. 미국은 선원으로부터의 연간 피폭선량이 1 mSv y^{-1}를 초과하지 않도록 하는 기준이 존재한다. 캐나다의 경우에는 NORM 작업장에 적용되는 관리 기준으로 0.3 mSv y^{-1}를 제시하였다. 국내의 경우에는 인공방사성핵종에 적용되는 선량기준으로 10 μSv y^{-1}를 제시하였다. 방사능농도 기준에 대하여 미국과 한국의 경우에는 핵종별로 상이하게 도출되었으며, 캐나다의 경우 별도의 기준은 조사되지 않았다.

향후, 유의물질의 조치 시 천연방사성핵종에도 적용가능한 규제해제 허용기준 도출이 필요하다. 이때, IAEA General Safety Guide 16에서 제시하는 규제해제를 위한 허용 방사능농도 도출식은 연간 선량기준을 요구하며, 본 연구의 결과들을 활용하여 기준별 방사능농도를 도출할 수 있으며, 선량기준이 높아질수록 허용기준 또한 비례하여 증가할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 국제기구, 미국, 캐나다, 국내를 대상으로 유의물질 내 천연방사성핵종의 규제해제 기준을 비교 및 분석하였다. 향후 유의물질의 규제해제 기준 마련 시 유럽 등 추가적인 조사 및 분석이 요구될 수 있다. 본 연구에서 다루지 않은 유럽의 경우, EC에서 RP문헌을 통해 권고하는 사항과 Euratom 기본안전기준 및 회원국별 이행기준을 함께 검토할 필요가 있다. 유럽은 EC의 권고를 활용하여 공통 안전기준을 두되 회원국의 판단에 따라 강화된 기준을 적용할 수 있도록 제시하고 있어, 별도의 규제해제 기준 분석 방법이 요구될 수 있기 때문이다. 향후, 규제해제 기준 비교 및 분석의 범위를 유럽으로 확장하여 국내 유의물질 내 천연방사성핵종의 규

제해제를 위한 처분기준 참고자료로서의 완성도를 확보할 계획이다. 본 연구의 결과는 유의물질의 규제해제를 위한 허용 방사능농도 도출의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Nuclear Safety and Security Commission (NSSC). 2024. Article 19 of Act On Protective Action Guidelines Against Radiation In The Natural Environment.
2. NSSC. 2024. Article 20 of Act On Protective Action Guidelines Against Radiation In The Natural Environment.
3. IAEA. 2020. Management of Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in Industry.
4. Korea Institute of Nuclear Safety (KINS). 2022. Investigation and Analysis of Actual State of Safety Management for Radiation in the Natural Environment.
5. Kun-Su L, Jae Hak C, Joo Ho H. 2018. Screening Assessment of Radiological Effect From Clearance of Decommissioning Concrete Waste Based Upon Recycling Framework of Construction Waste in Korea. *JNFCWT* **16**(4):441-454. https://doi.org/10.7733/jnfcwt.2018.16.4.441.
6. Jong Soon S, Dong Min K, Sang Heon L. 2016. A Study on the Application of Standards for Clearance of Metal Waste Generated During the Decommissioning of NPP by Using the RESRAD-RECYCLE. *JNFCWT* **14**(4):305-320. https://doi.org/10.7733/jnfcwt.2016.14.4.305.
7. Yong-Hwan C, Jae-Hun K, Dong-Gyu L, Young-Hwan H, Mi-Hyun L, Sang-Bum H. 2020. Safety Evaluation of Clearance of Radioactive Metal Waste After Decommissioning of NPP. *JNFCWT* **18**(2):291-303. https://doi.org/10.7733/jnfcwt.2020.18.2(E).291.
8. Jae Kook L, Jung Hwan J, Kwang Pyo K. 2024. Assessment of the Impact of Changes in ICRP Internal Dose Coefficients on Occupational and Public Doses from Inhalation and Ingestion of Naturally Occurring Radionuclides under Secular Equilibrium Conditions. KARP Proceedings of the 2024 Fall Conference: 87-88.
9. NSSC. 2025. Safety Guidelines for the Management of Radiation in the Natural Environment.
10. NSSC. 2024. Article 2 of Act On Protective Action Guidelines Against Radiation In The Natural Environment.
11. KINS. 2025. Development of Site Characteristic Parameter for NORM Waste Treatment and Disposal by Region and Establishment of Technology Base for Radiation Impact on Recycling of Radioactive Contaminated Metals: 275-375.
12. ICRP. 1999. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82.
13. ICRP. 2007. Scope of Radiological Protection Control Measures. ICRP Publication 104.
14. IAEA. 2014. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency; IAEA No. GSR part 3.
15. Atomic Energy Commission (AEC). 1974. Termination of Operating Licenses for Nuclear Reactors; Regulatory Guide 1.86.
16. Health Canada. 2014. Canadian Guidelines for the Management of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM).
17. ICRP. 1990. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60.
18. IAEA. 1988. Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control. IAEA Safety Series No. 89.
19. European Commission (EC). 2001. Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption. Part I: Guidance on General Clearance Levels for Practices. Radiation Protection 122.
20. EC. 2002. Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption. Part II: Application of the Concepts of Exemption and Clearance to Natural Radiation Sources. Radiation Protection 122.