JOURNAL OF RADIATION INDUSTRY

Original article

16(1) : 23-30 (2022)
https://doi.org/10.23042/radin.2022.16.1.23

국내 원자력발전소 방사성유출물 배출 감시기준 고찰

공태영[1,*], 최우석[1], 김성준[1], 손진호[1], 이은지[2], 송창주[1], 김화평[1], 김시영[3], 조문형[3], 김희근[4]

[1]조선대학교 원자력공학과, [2]포항가속기연구소 방사선안전실, [3]한국수력원자력 중앙연구원, [4]위덕대학교 에너지전기공학부

Monitoring Criteria for Radioactive Effluents Discharged from Nuclear Power Plants in Korea

Tae Young Kong[1,*], Wo Suk Choi[1], Seong Jun Kim[1], Jin Ho Son[1], Eun Ji Lee[2], Chang Ju Song[1], Hwa Pyoung Kim[1], Si Young Kim[3], Moonhyung Cho[3] and Hee Geun Kim[4]

[1]Department of Nuclear Engineering, Chosun University, 309 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 61452, Republic of Korea
[2]Department of Radiation Protection, Pohang Accelerator Laboratory, Pohang University of Science and Technology, 80 Jigok-ro 127 beon-gil, Nam-gu, Pohang 37673, Republic of Korea
[3]Central Research Institute, Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd., 70, Yuseong-daero 1312 Beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon 34101, Republic of Korea
[4]Division of Energy & Electrical Engineering, Uiduk University, 261, Donghaedaero, Gangdong, Gyeongju, Gyeongbuk 38004, Republic of Korea

Abstract Radioactive effluents are gaseous and liquid radioactive materials discharged from nuclear facilities to the environment. Radioactive effluents discharged from Korean nuclear power plants are monitored by three criteria: the annual radiation dose to members of the public due to radioactive effluents, the concentration of radioactive effluents, and the total amount of radioactivity for radioactive effluents. In terms of radiation dose to members of the public living around Korean nuclear power plants, the Nuclear Safety and Security Commission Notice No. 2019-10 stipulates environmental hazards prevention provisions. In Korean nuclear power plants, these dose standards essentially play the role of dose constraints for the public. Nuclear power plants control radioactive effluents discharged to the environment not to exceed these dose standards. The emission control limit is applied to control radioactive effluents in terms of the concentration of radioactive materials. The emission control limit is the derived radionuclide concentrations which, if inhaled or ingested continuously over a year by a member of the public, would give an individual an effective dose to the annual dose limit (1 mSv y^{-1}). Korean pressurized heavy water reactors apply the total amount of radioactive effluents as a monitoring criterion. The derived release limit is the derived radioactivity that would cause a public member to have an effective dose equal to the annual dose limit by discharging radioactive effluents to the environment. In 2017, the Nuclear Safety and Security Commission Notice No. 2017-4 was also announced to provide guidelines for a discharge plan, including the total amount of radioactivity for liquid and gas radioactive effluents discharged by the routine operation of nuclear power plants. Korean nuclear power plants comply with all the regulations of radioactive effluents, including radiation dose, radioactive concentration, and radioactivity, to achieve radiation protection for members of the public.

Key words: Nuclear power plant, Radioactive effluent, Dose standards, Effluent control limits, Total amount of radioactivity

http://www.ksri.kr/

Copyright © 2022 by
Korean Society of Radiation Industry

***Corresponding author.** Tae Young Kong
Tel. +82-62-230-7158 E-mail. tykong@chosun.ac.kr

Received 14 January 2022 **Revised** 16 February 2022 **Accepted** 11 March 2022

1. 서 론

방사성유출물이란 원자력시설에서 환경으로 배출되는 기체 및 액체상의 방사성물질로 정의된다. 원자력시설 가동으로 인한 주변주민의 방사선피폭 선량평가는 환경으로 배출된 방사성유출물을 기반으로 이루어지기 때문에 원자력시설 주변주민의 방사선방호를 위해 방사성유출물을 감시하고 관리하는 것이 중요하다[1]. 국내에서는 원자력시설에서 환경으로 배출되는 방사성유출물을 감시하기 위해 원자력안전법 제91조에서 원자력관계사업자에게 "방사성물질의 방출량 및 피폭방사선량을 가능한 합리적으로 낮게 유지하기 위하여 필요한 조치"를 취하도록 명시하고 있다[2]. 그러나 원자력안전법에서 명시한 방사성유출물의 배출량을 달성 가능한 합리적으로 낮게 유지하기 위한 조치는 방사선방호를 구현하기 위한 ALARA (As Low As Reasonably Achievable) 개념으로 정성적인 측면이 강조되어 있다. 이를 원자력시설에 적용하기 위해서는 구체적인 수치가 제공되어야 하며 이에 대한 정량적인 기준이 필요하다. 따라서 국내 원자력관계 법령에서는 방사성유출물의 실질적인 배출감시를 위해 다양성 측면에서 세 가지 감시기준을 제공하고 있다. 이러한 세 가지 감시기준은 방사선량, 방사능 농도, 방사능 총량이며 국내 원자력시설에서 배출되는 방사성유출물은 이러한 세 가지 기준을 모두 만족하여야 한다. 본 논문은 대표적인 원자력시설인 원자력발전소의 주변환경에 대한 방사선방호를 달성하기 위해 방사성유출물 감시기준으로 적용되고 있는 국내의 정량적 기준을 조사하여 기술하였으며 실제 이러한 기준들이 원자력발전소에서 어떻게 적용되고 있는지를 소개하고 있다.

2. 방사성유출물 감시기준

2.1. 방사선량

모든 방사선방호 활동의 궁극적 목표는 사회적, 경제적 인자를 고려하여 방사선피폭을 합리적으로 달성 가능한 낮게 유지하는 데 있다. 따라서 원자력발전소의 방사성유출물을 관리하고 감시하는 노력의 결과도 궁극적으로 방사선량을 통해 최종 확인 점검되어야 한다. 즉, 방사성유출물 감시의 첫 번째 기준은 일반인에 대한 방사선량이다. 원자력안전위원회 고시 제2019-10호 제16조 환경상의 위해방지 조항은 원자력발전소 설계 시 적용해야 할 기체 및 액체 방사성유출물에 의한 제한구역 경계에서의 연간 선량을 제시하고 있다[3]. 이러한 연간 선량은 원자력발전소 호기별로 적용되며 유효선량으로 기체는 0.05 mSv y^{-1}를 액체는 0.03 mSv y^{-1}를 기준으로 정하고 있다. 이는 일반인 연간 선량한도(1 mSv)에 각각 5%와 3%에 해당되는 수치로 원자력발전소 설계 시보다 엄격한 방사선방호 기준이 적용되고 있음을 보여주고 있다. 한편, 국내의 경우 동일부지 내 다수호기의 원자력발전소가 운영되는 점을 고려하여 원자력발전소 부지 제한구역 경계에서의 연간 선량 기준도 규정하고 있다[3]. 부지 제한구역 경계에서의 유효선량 기준은 0.25 mSv y^{-1}이며 이는 일반인 선량한도에 25%에 해당되는 값이다. 국내에서는 이러한 부지 제한구역 경계에서의 선량기준이 실질적인 일반인 선량제약치(Dose constraint) 개념으로 사용되어 왔으며 원자력발전소는 주변환경으로 배출되는 방사성유출물에 의한 주변주민의 선량이 이러한 선량기준 이하가 되도록 지속적인 관리와 감시를 수행하고 있다[4-6]. Table 1에 환경상의 위해방지 조항과 관련된 국내 관련법령을 비교분석하여 나타내었다[2,3,7].

2.2. 방사능 농도

국내 경수로 원자력발전소에서는 방사성유출물에 의한 주변주민이 받는 선량이 일반인 선량한도 이하가 되도록 배출관리기준(Effluent Control Limit: ECL)을 적용하고 있다. 배출관리기준은 방사능 농도 값으로 이러한 농도를 지닌 방사성물질이 환경으로 1년 동안 배출되면 일반인의 연간 선량이 1 mSv에 이르게 되는 수치이다[3,8,9]. 일반적으로 원자력발전소에서 배출되는 방사성유출물은 다양한 피폭경로(Exposure pathway)를 거쳐서 일반인에게 피폭을 주게 되며 이러한 경로를 고려하여 정상운전 중의 일반인 선량을 산정하고 있다[10]. 그러나 배출관리기준은 방사성물질의 환경배출 시 갑작스러운 농도 변화를 감시하는데 주요 목적이 있기 때문에 환경에서의 복잡한 피폭경로를 고려하기보다는 원자력발전소 종사자의 단순화된 피폭경로(흡입 및 섭취)를 고려하여 산정된다[11]. 즉, 이러한 배출관리기준은 환경으로 배출되는 방사성유출물의 방사능 농도 측면에서 감시되는 기준이며 원자력안전위원회 고시 제2019-10호 제6조 배출관리기준에 규정되어 있다[3]. 배출관리기준을 적용함에 있어 배기중 또는 배수중 방사성핵종의 허용농도는 1주간의 평균치로 하

Table 1. Korean Regulations of Radiactive Effluent Control

Regulation	Article
Nuclear Safety Act	Article 11 (Criteria for Permits) 3. The applicant shall meet criteria prescribed by Presidential Decree to protect public health and the environment from disasters caused by radioactive materials, etc. generated by the construction of nuclear power reactors and relevant facilities shall be satisfied. Article 12 (Standard Design Approval) (5) 2. Criteria prescribed by Presidential Decree to protect people's health and the environment from disasters caused by radioactive materials, etc. generated by the construction and operation of the nuclear power reactor and relevant facilities shall be satisfied. Article 21 (Criteria for Licenses) (1) 3. The applicant shall comply with the criteria prescribed by Presidential Decree to protect public health and the environment from radioactive material-related risks, etc. generated by the operation of a nuclear power reactor and relevant facilities. Article 46 (Criteria for License) 3. The applicant shall meet criteria prescribed by Presidential Decree to protect public health and the environment from dangers caused by radioactive materials, etc. generated by the use or possession of nuclear fuel materials.
Enforcement Decree of Nuclear Safety Act	Article 174 (Prevention of Hazards to Environment) 1. The concentration of radioactive materials discharged from the facilities in a liquid and the gaseous state shall comply with the criteria the Commission determines. 2. Other criteria the Commission determines to prevent any radioactive hazards shall be satisfied.
Nuclear Safety and Security Commission Notice No. 2019-10, Standards for Radiation Protection, etc.	Article 16 (Prevention of Hazards to Environment) (1) The criteria determined by the Commission as provided for in Subparagraph 1 of Article 174 of the Decree shall be the radioactive concentration of columns 5 and 8 for relevant radionuclides in column 1 of Table 3 as the radioactive concentration of gaseous and liquid radioactive material at the boundary of exclusion area. (2) Other criteria as determined by the Commission for the prevention of any radiation hazards as provided for in Subparagraph 2 of Article 174 of the Decree shall be as follows: 1. Standards applied to the design of facilities concerned. a. Annual dose by gaseous radioactive effluents at the boundary of exclusion area. 1) air absorbed dose by gamma-ray: 0.1 mGy 2) air absorbed dose by beta ray: 0.2 mGy 3) effective dose by external radiation exposure: 0.05 mSv 4) skin equivalent dose by external radiation exposure: 0.15 mSv 5) human organ equivalent dose by particle radioactive substances, ^{3}H, ^{14}C and radioiodine: 0.15 mSv b. Annual dose by liquid radioactive effluents at the boundary of exclusion area. 1) effective dose: 0.03 mSv 2) human organ equivalent dose: 0.1 mSv 2. Standards applied to the operation of multi-nuclear reactor facilities at one site. a. Annual dose at the boundary of exclusion area. 1) effective dose: 0.25 mSv 2) thyroid equivalent dose: 0.75 mSv

고, 부득이한 경우에는 3개월간의 평균치로 갈음할 수 있다. 그러나, 국내 원자력발전소는 환경으로 배출된 방사성유출물에 의한 주변주민의 영향을 최소화하고 즉각적인 조치를 위해 실질적으로 실시간 방사능 농도 감시를 시행하고 있다[11].

배출관리기준은 방사성유출물의 환경 배출경로에 따라 배기중과 배수중 배출관리기준으로 분류된다[3]. 배기중 배출관리기준은 흡입경로 관점에서 작업자의 유도공기중 농도(Derived Air Concentration: DAC)에 작업자와 일반인의 선량한도 차이(20배), 일반인과 작업자의 호흡율 및 활동시간의 차이(3배), 연령군별 선량환산계수의 차이(2배)를 고려하여 계산되었다[3]. 여기서 유도공기중농도란 방사선작업종사자가 1년 동안 방사성물질을 흡입할 경우 방사능 섭취량이 연간섭취한도(Annual Limit on Intake: ALI)에 이르게 되는 공기 중의 농도이다[4]. 연간섭취한도는 방사선작업종사자가 1년 동안 방사성물질을 섭취할

경우 피폭방사선량이 선량한도에 이르게 되는 방사능의 양이다[4]. 한편, 일반인과 작업자의 호흡율 및 활동시간의 차이는 아래의 계산을 근거로 산정되었다[3].

$$\frac{\text{작업자 호흡율}(1.2\,m^3\,h^{-1})\times\text{연간 작업시간}(2000\,h\,y^{-1})}{\text{일반인 호흡율}(0.75\,m^3\,h^{-1})\times\text{연간 활동시간}(24\,h\,d^{-1}\times 365\,d\,y^{-1})}\cong\frac{1}{3} \quad (1)$$

선량환산계수의 차이는 17세 이상의 성인에 대한 선량환산계수와 각각의 연령군(1～2세, 2～7세, 7～12세, 12～17세)별 선량환산계수 비의 평균을 전체 핵종으로 다시 평균한 값이다. 작업자의 유도공기중농도 계산 시 보수적 평가를 위해 방사능중앙공기역학직경(Activity Mean Aerodynamic Diameter: AMAD)을 5 μm 대신 1 μm를 고려하여 핵종별 선량환산계수가 적용되었으며 수치는 국제원자력기구의 Safety Series 115에서 권고하는 값이 활용되었다[3,12]. 한편, 방사성물질의 입자 크기 선정과 관련하여 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection: ICRP)는 ICRP Publication 66을 통해 입자 흡입에 의한 선량평가 시 일반환경에서는 1 μm AMAD, 작업환경에서는 5 μm AMAD를 각각 적용할 것을 권고하고 있다[13].

배수중 배출관리기준의 경우 섭취경로를 고려하여 작업자의 연간섭취한도를 ICRP Publication 23의 표준인 물 섭취율(0.73 $m^3\ y^{-1}$)로 나누고, 일반인과 작업자의 선량한도 차이(20배), 일반인과 작업자의 활동 시간 차이(2000 h y^{-1} ÷ 8760 h y^{-1} = 0.228)를 가중하여 산정하였다[3]. 여기서 사용된 ICRP Publication 23의 표준인은 연령이 20～30세, 체중은 70 kg, 신장은 170 cm, 거주 지역의 평균온도는 10～20°C, 서부 유럽 또는 북아메리카의 습성을 갖고 있는 백인이다[14].

불활성기체의 경우 외부피폭만을 고려하기 때문에 배출관리기준은 작업자의 유도공기중농도에 일반인과 작업자의 선량한도의 차이(20배), 일반인과 작업자의 활동시간의 차이(0.228)를 가중하여 도출되었다. 또한, 수증기 형태의 삼중수소(HTO)는 흡입뿐만 아니라 피부로 직접 흡수되어 방사선피폭을 야기할 수 있으므로 배출관리기준 산정 시 호흡기 흡입 및 피부흡수 경로가 모두 고려되었다. 피부흡수에 의한 삼중수소 흡수율은 공기흡입에 의한 삼중수소 흡수율의 절반으로 공기흡입에 의한 배기중 배출관리기준을 1.5로 나누어 산출한다.

라돈은 딸핵종을 배제한 경우와 딸핵종을 포함한 경우로 구분하여 배출관리기준을 설정하게 된다. 우선, 딸핵종을 제외한 경우 ICRP Publication 32에 제시된 ^{222}Rn 및 ^{220}Rn의 선량환산계수와 작업자의 선량한도를 이용하여 연간섭취한도와 유도공기중농도를 설정하게 되며 여기에 작업자와 일반인의 선량한도 차이, 활동 시간 차이, 호흡율을 고려하여 배기중 배출관리기준을 계산한다[15]. 라돈은 방사성 기체로 배수중 배출관리기준은 적용하지 않는다. 딸핵종을 포함한 경우에는 ICRP Publication 65 및 국제원자력기구의 Safety Series 115에 근거하여 ^{222}Rn의 딸핵종은 4 작업수준월(Working Level Month: WLM), ^{220}Rn의 딸핵종은 12 작업수준월을 일차한도로 고려한다[12,16]. 여기서, 작업수준(Working Level: WL)은 공기 1 m^3에 1.3×10^8 MeV의 잠재 알파에너지를 내는 임의 조합의 단수명 라돈자손 농도로서 1 WL은 2.08×10^{-5} J m^{-3}이다[17]. 따라서, 1 작업수준월(WLM)은 1 작업수준(WL) 농도의 공기를 한 달 동안 호흡한 누적 노출량으로 평가된다.

종류 미상의 방사성동위원소 핵종들이 혼합되어 있는 경우 혼합물에 포함되어 있을 것으로 예상되는 방사성동위원소들의 배출관리기준 중 가장 보수적인 값을 적용하거나 또는 원자력안전위원회 고시 제2019-10호 방사선방호 등에 관한 기준 별표 4에 제시된 값을 적용하도록 한다[3]. 본 고시 별표 4에는 종류 미상의 방사성동위원소를 분류하여 연간섭취한도(흡입)로 50, 500, 5000, 50000, 500000 Bq를 적용하고 유도공기중농도로 0.02, 0.2, 2, 20, 200 Bq m^{-3}을 적용하도록 제시하고 있다. 이에 따라 종류 미상의 방사성동위원소는 범주별로 5.0×10^{-4}, 5.0×10^{-3}, 5.0×10^{-2} Bq m^{-3} 배기중 배출관리기준을 적용하고 배수중 배출관리기준은 5.0×10^{4} Bq m^{-3}을 적용하게 된다.

2.3. 방사능 총량

2.3.1. 유도배출한계

국내 중수로 원자력발전소에서는 방사성유출물의 방사능 농도 대신 총 방사능량을 감시 기준으로 적용하고 있다[9]. 이러한 배출관리기준의 예외적 적용은 원자력안전위원회 고시 제2019-10호 방사선방호 등에 관한 기준의 별표 3 및 4의 주석 2항에 명시되어 있다[3]. 본 고시에 따르면 “특정시설에서의 방사성동위원소의 물리적 및 화학적 특성을 고려하여 특정시설에서만 적용될 수 있는 유도

한도를 설정하여 운영할 수 있다. 이 경우에는 사전에 원자력안전위원회의 승인을 받아야 한다"라고 기술되어 있다. 따라서 현재 국내 중수로 원자력발전소는 캐나다 원자력발전소(CANDU)의 설계 특성을 반영하여 방사성유출물 감시기준으로 배출관리기준이 아닌 유도배출한계(Derived Release Limit: DRL)를 적용하고 있다[9,18]. 유도배출한계는 이러한 방사능 값으로 방사성물질을 환경으로 1년 동안 배출할 경우 주변주민의 연간선량이 1 mSv에 이르게 되는 유도된 수치이다[18]. 특히, 유도배출한계는 기체 방사성유출물의 경우 대기확산인자를 액체 유출물의 경우 해양희석인자를 적용하여 산출한다. 이는 중수로 원자력발전소에서 배출된 방사성유출물이 일반인에게 흡입 또는 섭취되는 피폭경로를 추가적으로 고려한 것으로 다음의 수식을 통해 기체와 액체 유도배출한계를 산정한다[19].

기체 유도배출한계($Bq\ y^{-1}$)

$$= \frac{\text{기체 배출관리기준}(Bq\ m^{-3})}{\text{대기확산인자}(s\ m^{-3})} \times \frac{365 \times 24 \times 3600\ s}{1y} \quad (2)$$

액체 유도배출한계($Bq\ y^{-1}$)

$$= \frac{\text{액체 배출관리기준}(Bq\ m^{-3})}{\text{해양희석인자}(s\ m^{-3})} \times \frac{365 \times 24 \times 3600\ s}{1y} \quad (3)$$

2.3.2. 배출제한치

방사성유출물의 방사능량 규제와 관련하여 원자력안전법 시행규칙 제16조(운영허가의 신청 등) 제6항에는 국내 원자력발전소 가동으로 인해 발생되는 액체 및 기체 방사성유출물에 대해 방사능 총량이 포함된 배출계획서를 수립하여 배출관리에 적용하도록 규정하고 있다[20]. 이러한 배출계획서 작성을 위해 원자력안전위원회 고시 2017-4호 "발전용원자로 및 관계시설의 액체 및 기체 상태의 방사성물질 등의 배출계획서 작성에 관한 규정"이 공표되어 배출계획서 작성에 대한 요건을 제공하고 있다[21]. 특히, 본 고시는 원자력시설 중 원자력발전소에 대해서만 적용되는 규정으로 기존의 국내 원자력발전소에서 방사성유출물에 대한 감시기준으로 방사선량과 방사능 농도를 적용하던 것을 경수로를 포함한 전체 원자력발전소에 대해 방사능량 감시기준을 추가 확대하는 규제이다. 현재, 국내 원자력발전소별로 배출계획서 인허가가 진행 중에 있으며 규제기관의 배출계획서 인허가가 완료되면 국내 원자력발전소의 방사성유출물은 방사선량(환경상의 위해방지 조항), 방사능 농도(배출관리기준), 방사능 총량(배출제한치) 세 가지 기준에 의해 감시 및 관리가 이루어지게 된다.

국내 원자력발전소의 방사성유출물 배출제한치는 원자력안전위원회 고시 제2019-10호 "방사선방호등에 관한 기준" 제16조(환경상의 위해방지) 제2항 제1호에 제시된 해당시설의 설계에 적용할 선량기준과 제2항 제2호에 동일부지 내의 다수의 원자력관계시설을 운영하는 경우에 적용할 선량 기준을 모두 적용하고 있다[3]. 즉, 해당 원자력발전소에서 배출되는 방사성유출물로 인해 주변주민이 받게 되는 방사선량이 호기별 설계기준을 초과하지 않고 부지별 운영기준을 만족하도록 배출제한치가 설정되게 된다. 이러한 배출제한치는 유효선량 기준으로 원자력발전소 호기에 대해 기체는 0.05 mSv y^{-1}를 액체는 0.03 mSv y^{-1}를 적용하여 방사능 총량을 정한다. 동일부지의 경우, 부지 제한구역 경계에서의 유효선량 기준인 0.25 mSv y^{-1}을 적용하여 해당 부지의 배출제한치를 설정하게 되는데 이는 일반인 선량한도에 25%에 해당되는 값이다. 따라서, 배출계획서에 제시된 배출제한치는 앞에서 언급한 연간 1 mSv를 기준으로 설정된 배출관리기준과 유도배출한계보다 엄격한 방사선방호 기준이 적용되고 있음을 알 수 있다. 또한, 이러한 배출제한치는 방사선량을 기준으로 피폭경로와 대기확산인자 및 해양희석인자 등의 여러 요소를 고려하여 방사능량으로 유도된 수치이다. 따라서, 배출관리기준과 환경상의 위해방지 조항에 명시된 방사선량은 동일한 값이 국내 모든 원자력발전소에 적용되나 배출제한치의 경우 해당 원자력발전소별로 환경조건에 따라 배출될 수 있는 방사능 총량이 각각 산출되어 발전소별로 적용 값이 달라진다.

3. 국내 원자력발전소 방사성유출물 배출관리 절차

국내 원자력발전소는 원자력 관계법령에서 정한 방사성유출물에 의한 환경상의 위해 방지를 위해 모든 배출관련 규제기준을 준수하고 있다. 또한, 원자력발전소에서 환경으로 배출되는 방사성유출물을 합리적으로 달성 가능한 낮게 유지하기 위한 ALARA 조치로 자체 배출제한계

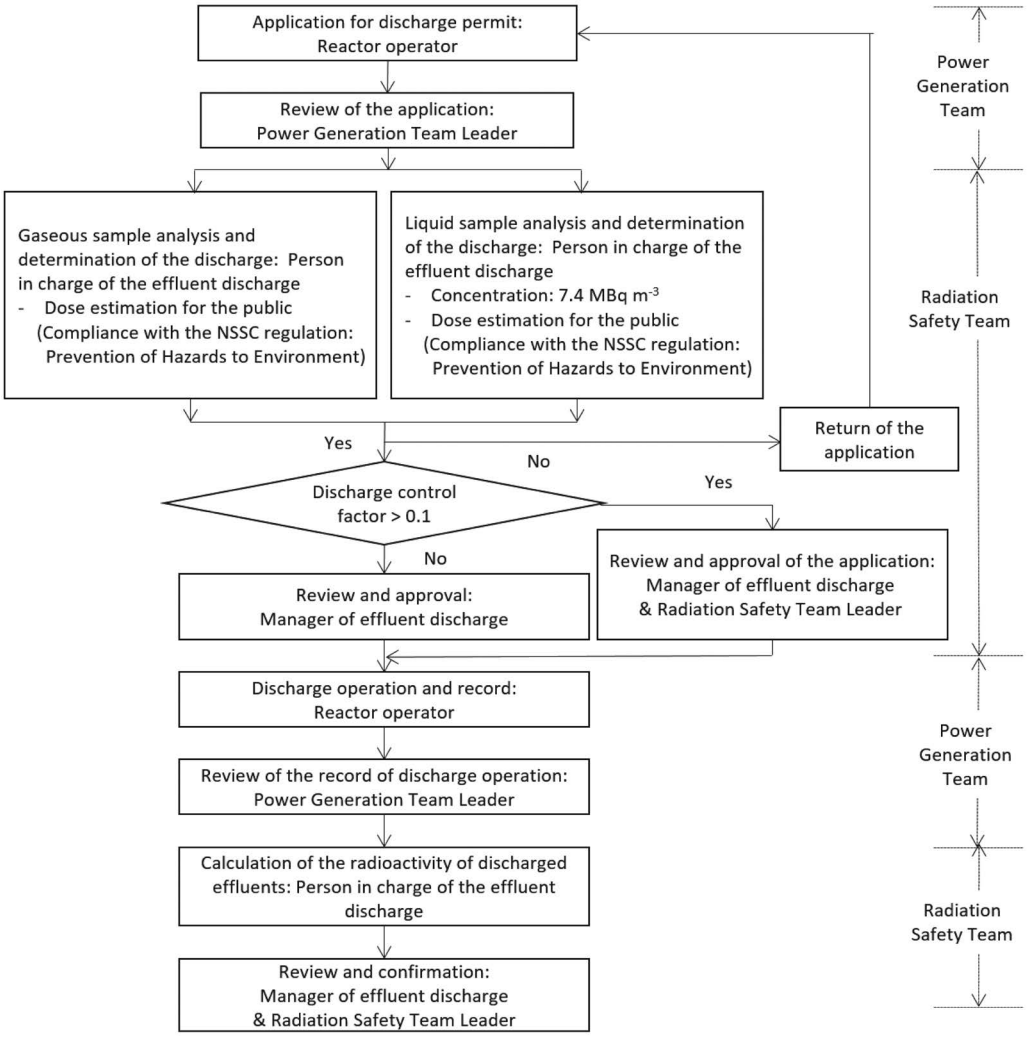

Fig. 1. Discharge Control of Radioactive Effluents Released from Korean Nuclear Power Plants.

수를 적용하고 있으며 이를 통해 보다 엄격한 배출관리가 발전소 현장에서 이루어진다[22-24]. 방사성유출물 배출관리 절차와 관련하여 원자력발전소 가동으로 인해 발생된 방사성유출물의 배출허가는 발전소 운전원이 신청하고 이러한 신청서를 발전부장이 검토한 후 방사선안전부에 배출 판정을 의뢰한다. 방사선안전부 배출 담당자는 기체 또는 액체 방사성유출물의 시료 분석을 시행하고 해당 방사성유출물 배출로 인해 받게 되는 일반인 예상 방사선량을 평가하여 원자력안전위원회 고시에서 명시한 환경상의 위해방지 조항 준수 여부를 확인한다. 만약, 예상되는 일반인 방사선량이 원자력안전위원회 고시에 명시된 기준 값을 초과하게 되면 해당 배출허가 신청서는 반려된다. 해당 방사성유출물의 예상 방사선량이 기준을 만족하면 ALARA 측면에서 자체 배출제한계수를 계산하여 환경으로 배출되는 방사성유출물의 방사능 농도가 배출관리기준 대비 10% 이하가 되도록 확인하게 된다[22,23]. 이러한 국내 원자력발전소의 배출제한계수 계산식을 아래에 나타내었다.

$$\text{배출제한계수} = \sum \frac{i\ \text{핵종의 배출시료 농도} \times \text{희석인자}}{i\ \text{핵종의 배출관리기준}} \leq 0.1 \quad (4)$$

배출하고자 하는 방사성유출물의 배출제한계수 계산결과가 0.1 이하이면 방사선안전부의 배출허가 담당 차장이 검토 후 해당 배출을 승인을 하게 된다. 만약, 배출제한계수가 0.1 이상이면 방사선안전부는 해당 방사성유출물에 대한 배출 유무를 추가로 검토하고 방사선안전부장이 최종 결정하게 된다. 그러나, 배출제한계수가 1이 넘으면 해

당 배출허가 신청서는 추가 검토 없이 반려된다. 일반인 예상 방사선량과 배출제한계수를 모두 만족하여 배출 승인을 받은 방사성유출물은 발전부 운전원이 배출운전을 통해 환경으로 배출한다. 발전부 운전원은 배출 운전사항을 기록하고 이를 발전부장이 검토하게 된다. 방사선안전부의 배출 담당자는 방사성유출물 배출 방사능을 집계한 후, 이를 배출허가 담당 차장의 검토와 방사선안전부장의 최종 확인을 받는다. 이러한 국내 원자력발전소 방사성유출물 배출관리 절차를 Fig. 1에 도시하였다. 한편, 국내 원자력발전소에서는 환경으로 배출되는 방사성유출물에 의한 일반인 예상 방사선량이 원자력안전위원회 고시의 환경상의 위해방지 조항 선량기준의 약 2% 수준에서 유지되도록 희석, 여과, 지연 배출 등의 폐기물관리계통 운영 절차를 마련하여 시행하고 있다[24].

4. 결 론

국내 원자력발전소에서 배출되는 방사성유출물은 크게 세 가지 측면에서 관리 및 감시되고 있다. 첫째는 방사성유출물로 인한 주변주민의 연간선량, 둘째는 방사성유출물의 방사능 농도, 셋째는 방사성유출물의 방사능 총량이다. 일반인 방사선량 측면에서 원자력안전위원회 고시 제2019-10호는 환경상의 위해방지 조항을 규정하고 있다. 국내 원자력발전소에서는 이러한 선량기준이 실질적으로 선량제약치 개념으로 사용되고 있으며 원자력발전소는 환경으로 배출되는 방사성유출물에 의한 주변주민의 선량이 이러한 선량기준 이하가 되도록 지속적인 관리와 감시를 수행하고 있다. 방사능 농도 측면에서 원자력안전위원회 고시 제2019-10호는 배출관리기준을 규정하고 있다. 배출관리기준은 핵종별 방사능 농도 제한치로서 이러한 농도를 갖고 대기중 또는 수중으로 배출되는 방사성유출물을 흡입 또는 섭취할 경우에 받는 방사선량이 일반인 선량한도(1 mSv y^{-1})에 이르게 되는 유도된 수치이다. 국내 경수로 원자력발전소에서는 이러한 배출관리기준을 적용하여 방사성유출물 관리에 활용하고 있다. 한편, 국내 중수로 원자력발전소에서는 방사성유출물의 방사능 총량을 감시기준으로 적용하고 있으며 총량 값인 유도배출한계를 방사성유출물 관리에 활용하고 있다. 이와 더불어 2017년에는 원자력안전위원회 고시 2017-4호가 공표되어 국내 원자력발전소 가동으로 인해 발생되는 액체 및 기체 방사성유출물에 대해 방사능 총량이 포함된 배출계획서를 수립하여 배출관리에 적용하도록 규정하고 있다. 이는 기존의 국내 원자력발전소에서 방사성유출물에 대한 감시기준으로 일반인 방사선량과 방사능 농도를 적용하던 것을 경수로를 포함한 전체 원자력발전소에 대해 방사능 총량 감시기준을 추가 확대하는 규제이다. 현재, 국내 원자력발전소별로 배출계획서 인허가가 진행 중에 있다. 국내 원자력발전소는 원자력 관계법령에서 정한 방사성유출물에 의한 환경상의 위해 방지를 위해 모든 배출관련 규제기준(방사선량, 방사능 농도, 방사능 양)을 준수하고 있다. 또한, 원자력발전소에서 환경으로 배출되는 방사성유출물을 합리적으로 달성 가능한 낮게 유지하기 위한 조치로 자체 방사성유출물 배출관리 절차를 적용하고 있으며 이를 통해 보다 엄격한 배출관리가 발전소 현장에서 이루어지고 있다. 본 논문의 고찰 내용은 국내 원자력발전소에서 배출되는 방사성유출물의 ALARA 기준을 이해하고 방사성유출물 배출관리 개선에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2020학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었습니다.

참고문헌

1. Kong TY, Kim SY, Lee Y, Son JK and Maeng SJ. 2017. Radioactive Effluents Released from Korean Nuclear Power Plants and the Resulting Radiation Doses to Members of the Public. *Nuclear Engineering and Technology* **49**(8):1772-1777. https://doi.org/10.1016/j.net.2017.07.021
2. Republic of Korea. 2021. Nuclear Safety Act. Act No. 18238.
3. Nuclear Safety and Security Commission. 2019. Standards for Radiation Protection, etc. Notice No. 2019-10, NSSC, Seoul (Korea).
4. International Commission on Radiological Protection. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
5. Kong TY, Kim HG, Ko JH, Akabani G and Lee GJ. 2014.

A dose constraint proposal for members of the public taking into account multi-unit nuclear power plants in Korea. *Journal of Nuclear Science and Technology* **52**:739-747. https://doi.org/10.1080/00223131.2014.969347

6. Kong TY, Akabani G and Poston J. 2019. A Study of a Dose Constraint for Members of the Public Living Around Nuclear Power Plants in the United States. *Nuclear Technology* **205**(6):781-789. https://doi.org/10.1080/00295450.2018.1546536
7. Republic of Korea. 2021. Enforcement Decree of Nuclear Safety Act. Presidential Decree No. 31824.
8. Kim KH, Lee JO, Seo HS, Kwon J, Lee MY and Kim KP. 2019. Evaluation of Effluent Concentration Limits and Radiation Protection Cost by Adoption of ICRP 103 Recommendations. *J. Radiat. Ind.* **13**(4):389-394.
9. Kong TY, Kim SY, Lee Y and Son JK. 2018. Regulations on radioactive effluents released from Korean nuclear power plants. *International Journal of Environmental Studies* **75**(1):154-159. https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1389568
10. 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. *Journal of Radiation Industry* **15**(4):259-266. https://doi.org/10.23042/radin.2021.15.4.259
11. Kong TY, Kim SY, Lee Y and Son JK. 2019. Operating margin for radioactive effluent released to the environment from Korean pressurized water reactors compared to the effluent control limits, obtained by monitoring the concentration of radioactive effluent with radioactive effluent monitors. *Journal of Nuclear Science and Technology* **56**(8):764-769. https://doi.org/10.1080/00223131.2019.1617205
12. International Atomic Energy Agency. 1996. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Vienna, Austria: IAEA; Safety Series No. 115.
13. International Commission on Radiological Protection. 1994. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. Oxford, UK: Pergamon Press; ICRP Publication 66.
14. International Commission on Radiological Protection. 1975. Report of the Task Group on Reference Man. Oxford, UK: Pergamon Press; ICRP Publication 23.
15. International Commission on Radiological Protection. 1981. Limits for Inhalation of Radon Daughters by Worker. Oxford, UK: Pergamon Press; ICRP Publication 32.
16. International Commission on Radiological Protection. 1993. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. Oxford, UK: Pergamon Press; ICRP Publication 65.
17. International Commission on Radiological Protection. 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).
18. CSA Group. 2014. Guidelines for calculating derived release limits for radioactive material in airborne and liquid effluents for normal operation of nuclear facilities, CSA N288.1:14.
19. Korea Electric Power Corporation. 2007. Development on the Alarm Setpoint Determination of CANDU Effluent Monitors and Upgrade of Offsite Dose Assessment Technology, KEPCO Research Institute, TRKO200800067816. KEPCO, Naju (Korea).
20. Republic of Korea. 2021. Enforcement Regulation for the Nuclear Safety Act. Ordinance of the Prime Minister No. 1740.
21. Nuclear Safety and Security Commission. 2017. Regulations on the preparation of discharge plans for liquid and gaseous radioactive materials in nuclear power facilities. Notice No. 2017-4, NSSC, Seoul (Korea).
22. Korea Hydro & Nuclear Power. 2015. Operation procedure of Shinkori 2: Discharge control of gaseous radioactive wastes. Radiation - 8630, Revision 2, KHNP, Gyeongju (Korea).
23. Korea Hydro & Nuclear Power. 2015. Operation procedure of Shinkori 2: Discharge control of liquid radioactive wastes. Radiation - 8650, Revision 3, KHNP, Gyeongju (Korea).
24. Korea Hydro & Nuclear Power. 2015. Technical specification of Shinkori 2: Discharge plan for liquid and gaseous radioactive wastes. Technical specification - 8470, KHNP, Gyeongju (Korea).