

# 국내 복수호기 원전 운영을 고려한 일반인 선량제약치 설정에 대한 고찰

공태영, 최종락, 손중권, 김희근  
한수원 중앙연구원

2012년 4월 13일 접수 / 2012년 5월 16일 1차 수정 / 2012년 6월 28일 2차 수정 / 2012년 6월 29일 채택

국제방사선방호위원회(ICRP)는 2007년 발행된 ICRP 103 권고를 통해, 행위와 개입으로 대변되는 방사선방호 지침을 각 피폭상황 별로 적용하도록 변경하여 권고하였다. 이 지침에는 계획피폭상황에서 방사선방호 최적화의 수단으로 방사선작업종사자와 일반인에 대해 선원중심의 선량제약치(dose constraint)를 설정하여 운영하도록 권고하고 있다. 이 논문에서는 계획피폭상황에서 일반인 선량제약치를 설정하는데 필요한 국내 원전의 방사성물질의 배출량과 이에 따른 주변주민의 피폭방사선량 평가 결과를 분석하였다. 이를 바탕으로 국내 원전의 동일부지 내 복수호기 원전의 운영을 고려한 선량제약치 설정 방안을 제시하였다.

중심어: ICRP 103, 선량제약치, 복수호기 원전, 방사성물질 배출량, 일반인 선량

## 1. 서론

국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection: ICRP)는 기존 ICRP 60 권고에 비해, 방사선방호 최적화의 중요성을 강조한 ICRP 103 권고를 2007년에 발행하였다[1-3]. 한편, 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency: IAEA)는 ICRP 103 권고를 반영하여 방사선방호 실무에 쉽게 적용할 수 있도록 기본안전기준(Basic Safety Standards: BSS)을 2011년에 개정하였다[1]. 한편, 국내에서는 ICRP 103 권고와 개정된 IAEA의 기본안전기준 등을 근거로 이를 방사선방호 규제 지침에 반영하기 위해 한국원자력안전기술원(Korea Institute of Nuclear Safety: KINS)을 중심으로 중장기 연구개발 과제를 2011년에 완료하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 ICRP 103 권고를 반영한 원자력 안전 법령이 2012년 이후에 개정될 것으로 예상하고 있다[2].

ICRP 103 권고에서는 방사선피폭이 발생하는 상황을 크게 계획피폭상황, 비상피폭상황 및 기존피폭상황 등 3가지로 분류하였고, 이들 상황에 적합하게 방사선방호 지침을 권고하고 있다[3,4]. 서로 다른 피폭상황에서 방사선방호 최적화(optimization)를 달성하는 방안으로 선원중심의 선량제약치(dose constraint) 또는 참조준위(reference level)를 설정하여 운영하도록 권고하고 있다. 원전에 근무하는 방사선작업종사자나 원전주변에 거주하고 있는 일반인에 대한 방사선피폭은 계획피폭상황(planned

exposure situation)에 해당된다. 이 경우 계획된 원자력 시설의 운영으로 인해 발생할 수 있는 전망적인 피폭방사선량의 예상 값을 선량제약치로 설정하여 운영함으로써 방사선방호 최적화가 달성될 수 있다고 판단하고 있다. 이러한 선량제약치는 항상 개인의 선량한도 아래에 위치하는 값으로써, 각 구성원 간에 일어나는 피폭방사선량의 불균형을 줄이는 역할을 하며, 방사선방호의 최적화를 달성하는 수치적인 기준으로 적용될 수 있을 것으로 보인다[3,4].

이 논문은 계획피폭상황에서 원전주변에 거주하는 일반인에 대한 선량제약치 설정을 위해, ICRP 103 권고 및 국내 규제기준에서 정의하고 있는 선량제약치의 개념과 국내 원전에서 운영중인 유사 선량제약치에 대한 사례를 조사하였다. 또한, 국내 원전의 복수호기 운영으로 주변 환경으로 방출되는 방사성물질의 배출량을 연도별로 분석하였고, 이에 따른 일반인 선량의 추이를 분석하였다. 이러한 분석결과를 바탕으로 복수호기 원전의 운영을 고려한 일반인 선량제약치 설정방안을 제시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 ICRP의 선량제약치 개념과 기준

ICRP 103 권고에서는 계획피폭상황의 방사선방호를 위해 ICRP 60 권고와의 연속성을 유지하는 차원에서 선량제약치라는 용어를 계속 사용할 것을 제안하였다. 이러한 선량제약치는 개인의 피폭방사선량을 제한하기 위해 방호최적화 과정에서 적용하는 개념으로 경제적, 사회적 인자를 고려해 합리적으로 달성가능한 낮은 수준으로 피

책임저자 : 김희근, hkkim1@khnp.co.kr  
대전시 유성구 유성대로 1312번길 70

폭방사선량을 감축하는 것을 지향하고 있다[3,4]. 또한, 계획피폭상황에서 선량제약치는 시설의 건설이나 운영과 같은 계획단계에서 전망적인 예상 값으로 적용하며, 선량 제약치가 초과되지 않음을 보장하기 위하여 선량을 예측할 수 있다는 사실을 제시하고 있다[3,4]. 한편, 비상피폭 상황(emergency exposure situation)과 기존피폭상황(existing exposure situation)에서는 선량제약치라는 용어 대신에 참조준위라는 용어를 사용하도록 제안하였다 [3,4]. ICRP가 이렇게 비상피폭상황과 기존피폭상황에서 참조준위라는 용어를 사용한 것은 선량제약치라는 의미가 규제적인 의미를 내포하고 제한한다는 어감을 고려한 것으로 보인다[4]. 각 피폭상황의 유형이나 피폭범주에 따른 ICRP 103의 선량 제한체계(한도, 제약치, 참조준위)의 다양한 유형들을 표 1에 나타내었다[3,4].

**Table 1.** Dose Constraints and Reference Levels Used in the ICRP 103 Recommendation.

Type of situation	Occupational exposure	Public exposure	Medical exposure
Planned exposure	Dose limit Dose constraint	Dose limit Dose constraint	Diagnostic reference level
Emergency exposure	Reference level	Reference level	N.A.*
Existing exposure	Reference level	Reference level	N.A.*

\* Not Applicable.

선량제약치는 최초로 ICRP 60에서 제안된 개념으로, 방사선방호의 최적화 과정에서 방사선피폭의 불평등을 해소하고자 도입되었다[5]. 즉, 최적화 과정에서 일부 작업종사자나 일반인이 해당 구성원의 평균 피폭방사선량보다 훨씬 높게 피폭되거나 피폭될 가능성이 있어, 각 구성원 간에 피폭의 불균형을 방지하는 의도로 도입되었다. ICRP 60에서 선량제약치는 반드시 지켜야할 의무사항이 아니었으나, ICRP 103에서는 방사선방호 최적화 과정의 핵심부분으로 방호 최적화 원칙을 적용할 때 선량제약치를 반드시 설정하도록 기본 요건으로 권고하고 있다[3,4]. 이러한 선량제약치는 계획피폭상황에서 단일선원(single source)에 의해 발생하는 개인의 피폭방사선량에 대해 선원 중심적이고 전망적인 제약 값으로, 해당선원에 대한 방호최적화 과정에서 예상선량의 상한선 역할을 하고 있다[3,4]. 또한, 선량제약치는 항상 해당 선량한도보다 낮게 설정된다. 한편, 개인의 피폭방사선량이 선량제약치를 초과한 경우 원전사업자 또는 규제기관은 수행된 방사선 방호 최적화가 달성되었는지, 적절한 선량제약치가 채택되었는지, 또는 바람직한 준위로 선량을 낮추기 위한 추가 조치가 필요한 지에 대한 판단을 위해 조사를 수행하여야 하지만, 이는 규제의 대상에는 해당되지 않는다고 밝히고 있다[3,4].

ICRP는 직무피폭(occupational exposure)의 경우, 종사자의 개인선량을 선량제약치 아래로 낮출 수 있을 것으로 예상되는 최적화 방안들을 고려하여 원전사업자 또는 운영자가 자율적으로 선량제약치를 설정할 수 있음을 밝히고 있다. 반면, 일반인 피폭에 대해서는 제어 가능한 선

원의 계획된 운영으로 인해, 이들이 받을 수 있는 연간 피폭방사선량의 상한 값을 고려하여 정부나 규제기관이 선량제약치를 설정할 수 있음을 밝히고 있다[3,4,6]. ICRP는 선량제약치에 대한 구체적인 값은 국가 또는 지역적 특성과 선호도 등을 고려하여 최적화의 과정으로 설정하도록 권고하고 있으며, 국제적 지침과 기타 모범관행들을 함께 참조할 수 있음을 제시하고 있다[3,4]. 한편, ICRP에서는 선량제약치의 구체적 예시의 범위로서 직무피폭의 경우  $20 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  이하, 일반인 피폭에 대해서는  $1 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  미만을 제시하였다. 또한, 방사성폐기물의 처분이나 장반감기 핵종의 폐기물 처분에서는  $0.3 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  미만, 장기간 피폭의 경우  $0.3 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  범위에서 선량제약치를 설정하도록 제시하고 있다[3,4,7].

## 2.2 선량제약치의 적용을 위한 준비

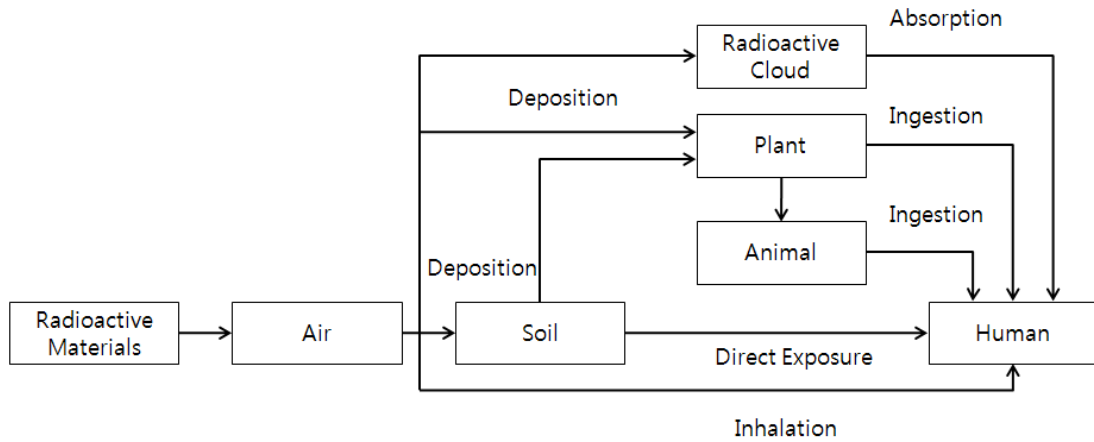
2010년 말 KINS는 선량제약치에 대한 일반적인 규제 기준을 마련하였다[8]. 이 규제기준은 계획피폭상황에서 피폭방사선량이 합리적으로 달성 가능한 낮게 유지될 수 있도록 종사자와 일반인에 대한 선량제약치를 설정하고 운영하는 요건을 규정하고 있다. 이 기준에서 선량제약치는 주어진 피폭원에 대해 그 값 이상에서는 방호가 최적화되지 않았다는 것을 의미할 수 있는 선량으로 방호조치를 취해야할 선량준위로 규정하고 있다. 이러한 선량제약치는 방호 최적화 방안을 수행하여 개인선량이 선량제약치를 넘지 않도록 제한하는 일차적인 기능을 하게 되며, 방사선피폭을 받을 수 있는 여러 행위로부터 개인이 받는 피폭방사선량의 합이 선량한도를 초과하지 않도록 하는 이차적인 기능을 지니게 된다.

선량제약치의 설정 및 운영과 관련하여 직무피폭에서는 원자력사업자가 선량제약치를 설정하는 것을 원칙으로 하며, 일반인 피폭에 대해서는 정부나 규제기관이 설정하도록 규정하고 있다. 사업자는 특정 선원 또는 작업에 대해 방호와 최적화를 고려하여 해당 선량제약치를 설정하고 운영하여야 하며, 일반인 피폭에 대해 설정된 선량제약치 등을 고려하여 방사성물질의 환경 배출을 관리하도록 규정하고 있다. 특히, 일반인 피폭의 경우 일반적으로 단일 방사선원으로 인해 불특정 다수에게 피폭을 일으키기 때문에, 보다 높은 준위의 피폭을 받는 그룹이나 사람을 대표하는 대표인(representative person) 개념을 적용하여 선량제약치를 설정하도록 규정하고 있다. 이러한 대표인 개념에 대해 KINS는 별도의 규제기준을 마련하여 대표인의 설정 및 선량평가 방법을 규정하고 있다 [9].

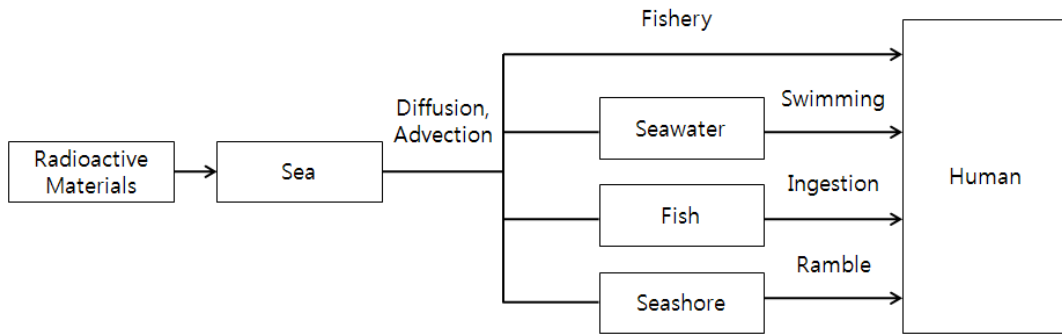
한편, 계획피폭상황에서 원자력사업자가 자율적으로 설정하는 직무피폭에 대한 선량제약치와는 달리 일반인 피폭에 대한 선량제약치는 정부나 규제기관이 설정하기 때문에 지시형 규제한도로서 잘못 적용될 것이라는 우려가 제기될 수 있다. 선량제약치가 선량한도와 차이가 있다면 선량한도의 초과는 위법으로서 법적 제재의 대상이 되지만, 선량제약치의 초과는 문제의 원인을 조사하고 대책을 강구하거나, 나아가서는 규제기관이 제약치의 적절성을 재검토할 필요성을 제기할 뿐 법적제재의 대상은 아니라는 점을 강조하고 있다[4]. 현재 KINS에서 제시한 선

**Table 2.** Standards Applied to the Design of Nuclear Facilities (at the Boundary of Exclusion Area).

Classification	Item	Annual dose limits per unit	Annual dose limits per site
Gaseous radioactive effluents	Air absorbed dose by gamma ray	0.1 mGy·y <sup>-1</sup>	In case of the operation of multi-nuclear reactor facilities at one site - Effective dose: 0.25 mSv·y <sup>-1</sup> - Thyroid equivalent dose: 0.75 mSv·y <sup>-1</sup>
	Air absorbed dose by beta ray	0.2 mGy·y <sup>-1</sup>	
	Effective dose by external radiation exposure	0.05 mSv·y <sup>-1</sup>	
	Skin equivalent dose by external radiation exposure	0.15 mSv·y <sup>-1</sup>	
	Human organ equivalent dose by particle radioactive substances, <sup>3</sup> H, <sup>14</sup> C and radioiodine	0.15 mSv·y <sup>-1</sup>	
Liquid radioactive effluents	Effective dose	0.03 mSv·y <sup>-1</sup>	
	Human organ equivalent dose	0.1 mSv·y <sup>-1</sup>	



**Fig. 1.** Pathway of gaseous radioactive effluents.



**Fig. 2.** Pathway of liquid radioactive effluents.

량제약치 규제기준에는 일반인 선량제약치에 대한 개념, 설정, 운영방법과 초과시 조치 방안 등이 비교적 구체적으로 제시되어 있다. 하지만 선량제약치에 대한 구체적인 수치는 포함되어 있지 않다[8].

이러한 직무피폭에서 사용자의 의무사항, 선량제약치의 설정, 선량제약치의 운영 및 선량제약치의 초과시 조치 등 종사자에 대한 선량제약치의 설정에 관한 검토는 이미 수행한 바 있다[6]. 여기에서는 선량제약치와 참조준위는 적절한 방호수준을 보장하는 최적화의 핵심부분으로 정의하였다. 특히, 일반인 피폭에 대해서는 규제기관과 국가에서 설정하는 것을 원칙으로 하나, 상황에 따라

합의하고 논의하여 결정할 수 있음을 밝히고 있다. 또한, 선량제약치를 적절하게 설정하고 운영하는 것은 규제나 법적제재를 하기 위한 것이 아니라, 방사선방호를 최적화하기 위한 수단임을 강조하고 있다[6].

**2.3 운영원전의 배출 및 선량평가 절차**

원전 운영으로 인해 발생할 수 있는 환경에 미치는 방사선학적 위해를 방지하고자 원전에서는 기체 및 액체 방사성물질의 배출을 감시하고 있다. 이처럼 원전에서 기체 및 액체 방사성물질의 배출에 대한 선량 제한기준은 일반인 선량제약치의 유사 개념으로 적용되어 왔다. 원자력안

전위원회 고시 제2012-29호 “방사선방호 등에 관한 기준” 제16조에는 일반인에 대한 연간선량 값이 수치적으로 제시되어 있다[10]. 표 2에 원전 설계 및 운영에 적용되는 환경상의 위해방지 조항을 나타내었다[11]. 환경상의 위해방지 조항에는 선량제약치라는 직접적인 표현을 하지 않고 있으나, ICRP 103에서 제시한 선량제약치의 개념을 실질적으로 내포하고 있고, 또한 일반인 선량제약치에 대한 실질적인 역할을 한다고 말할 수 있다. 따라서 국내 원전의 계획피폭상황에서 일반인에 대해 선량제약치를 제안하는 내용은 이를 근거로 하였다.

원전주변에 거주하는 일반인 선량 평가와 관련하여, 원자력안전위원회 고시 제2012-05호 “원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 고시” 제7조(환경영향평가)에는 원전에서는 배출된 방사성물질 또는 방사선에 의하여 원전부지 주변 일반인이 받는 피폭 방사선량을 주기적으로 계산하고, 연간허용치와 비교를 수행하도록 규정하고 있다[12]. 이러한 과정에서 수행되는 일반인 선량 평가는 방사성물질의 배출 전에 전망적 선량(projected dose)으로 계산하고 있으며, 호기별 방출량을 집계하여 부지별 선량을 주기적으로 계산하는 방식으로 수행되고 있다. 이와 관련하여, 현재 국내 원전에서는 KDOSE 60이라는 전산프로그램을 사용하고 있다 [13]. KDOSE 60은 ICRP 60 권고와 IAEA BSS에 근거하여

개발된 일반인 선량계산 전산프로그램으로 GAS(기체 방사성물질로 인한 선량 계산코드), LIQ(액체 방사성물질로 인한 선량 계산코드), XQDQWQ(대기확산인자 계산 코드) 등으로 구성되어 있다[14]. 일반인 선량 계산 프로그램에 반영된 방사성물질의 이동에 관한 피폭경로를 그림 1과 2에 나타내었다[13].

#### 2.4 신규원전의 일반인 선량평가

신규원전의 건설허가와 운영허가 과정에서는 방사선 또는 방사성물질이 주변 환경에 미치는 영향을 평가하도록 규정하고 있다[10,12]. 건설허가나 운영허가 단계에서는 대형냉각재 상실 가상사고시 제한구역거리에서 피폭 방사선량 평가 결과의 연간허용치 만족여부를 통해 제한 구역 설정거리가 적절한지를 확인하고 있다[15-17]. 또한, 건설허가나 운영허가 과정에서 부지 내 모든 원전의 정상 운전 시 제한구역 경계에서의 피폭방사선량 평가 결과가 연간허용치 이내임을 확인하도록 규정하고 있다. 가상사고시 제한구역 경계에서의 허용치는 갑상선에 대해 3,000 mSv이며, 전신에 대해 250 mSv로 정하고 있다. 한편, 정상운전시 제한구역 경계에서의 연간허용치는 유효선량에 대해  $0.25 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ , 갑상선에 대해  $0.75 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ 로 정하고 있다.

Table 3. Power Reactors Operating in Korea.

Reactor	Type	Net capacity	Commercial operation
Kori 1	PWR - Westinghouse	587 MWe	April 1978
Kori 2	PWR - Westinghouse	650 MWe	July 1983
Kori 3	PWR - Westinghouse	950 MWe	September 1985
Kori 4	PWR - Westinghouse	950 MWe	April 1986
Shin Kori 1	OPR-1000	1,000 MWe	February 2011
Wolsong 1	PHWR - Candu 6	679 MWe	April 1983
Wolsong 2	PHWR - Candu	700 MWe	July 1997
Wolsong 3	PHWR - Candu	700 MWe	July 1998
Wolsong 4	PHWR - Candu	700 MWe	October 1999
Yonggwang 1	PWR - Westinghouse	950 MWe	August 1986
Yonggwang 2	PWR - Westinghouse	950 MWe	June 1987
Yonggwang 3	PWR (Syst 80)	1,000 MWe	March 1995
Yonggwang 4	PWR (Syst 80)	1,000 MWe	January 1996
Yonggwang 5	OPR-1000	1,000 MWe	May 2002
Yonggwang 6	OPR-1000	1,000 MWe	December 2002
Ulchin 1	PWR - Framatome	950 MWe	September 1988
Ulchin 2	PWR - Framatome	950 MWe	September 1989
Ulchin 3	OPR-1000	1,000 MWe	August 1998
Ulchin 4	OPR-1000	1,000 MWe	December 1999
Ulchin 5	OPR-1000	1,000 MWe	July 2004
Ulchin 6	OPR-1000	1,000 MWe	April 2005
Total: 21		18,716 MWe	

Table 4. Reactors under Construction, on Order or Planned in Korea.

Reactor	Type	Gross capacity	Start construction	Commercial operation
Shin Kori 2	OPR-1000	1,000 MWe	May 2005	December 2011
Shin Kori 3	APR-1400	1,400 MWe	September 2007	September 2013
Shin Kori 4	APR-1400	1,400 MWe	September 2007	September 2014
Shin Kori 5	APR-1400	1,400 MWe	September 2013	December 2018
Shin Kori 6	APR-1400	1,400 MWe	September 2013	December 2019
Shin Wolsong 1	OPR-1000	1,000 MWe	October 2005	June 2012
Shin Wolsong 2	OPR-1000	1,000 MWe	October 2005	January 2013
Shin Ulchin 1	APR-1400	1,400 MWe	April 2010	April 2017
Shin Ulchin 2	APR-1400	1,400 MWe	April 2010	April 2018
Shin Ulchin 3	APR-1400	1,400 MWe	September 2014	June 2020
Shin Ulchin 4	APR-1400	1,400 MWe	September 2014	June 2012
Total: 11			14,200 MWe	

### 2.5 동일부지내 국내 원전의 복수호기 운영

국내 원전의 건설과 운영과정에서 핵심 중에 하나는 원전부지 경계에서 일반인 피폭방사선량 평가로 판단된다. 국내 원전의 경우 신규부지 확보는 매우 어려운 실정이기 때문에, 동일부지에 건설되는 원전의 수가 계속 늘어나고 있는 실정이다. 고리원전 부지의 경우 4개 호기가 가동 중에 있다. 또한, 여기에 4개 호기가 운영되거나 건설 중이고, 추가로 신규원전의 건설을 계획 중에 있다. 영광원전 부지의 경우 6개 호기가 운영중에 있다. 한편, 월성원전 부지의 경우 중수로원전 4개호기에 경수로원전 2개 호기가 가동 또는 건설 중에 있다. 월성원전의 부속설비이기는 하나 삼중수소제거시설(Tritium Removal Facility: TRF)을 동일부지에 운영중에 있다. 또한, 월성부지 내에 중저준위 방사성폐기물처분장이 건설 중에 있다. 울진원전 부지의 경우 현재 6개 호기가 가동 중에 있다. 또한, 신울진 1,2호기가 건설중이며, 여기에 신규원전을 추가로 건설할 계획 중에 있다. 표 3과 4에 현재 국내에서 가동 중인 원전과 건설 또는 준비 중인 원전의 현황을 각각 나타내었다[18].

이처럼 국내 원전의 경우 수년 내에 동일부지에 운영되는 원전이 최소 6개에서 10개 호기로 늘어날 것으로 예상되고 있다. 따라서 국내 원전과 같이 동일부지 내에 복수호기가 운영되는 경우에는 원전부지의 지역적 특성을 고려하여 합리적으로 적용가능한 일반인 선량제약치를 도출하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

## 3. 결과와 논의

### 3.1 운영원전의 배출량 및 주민선량 분석

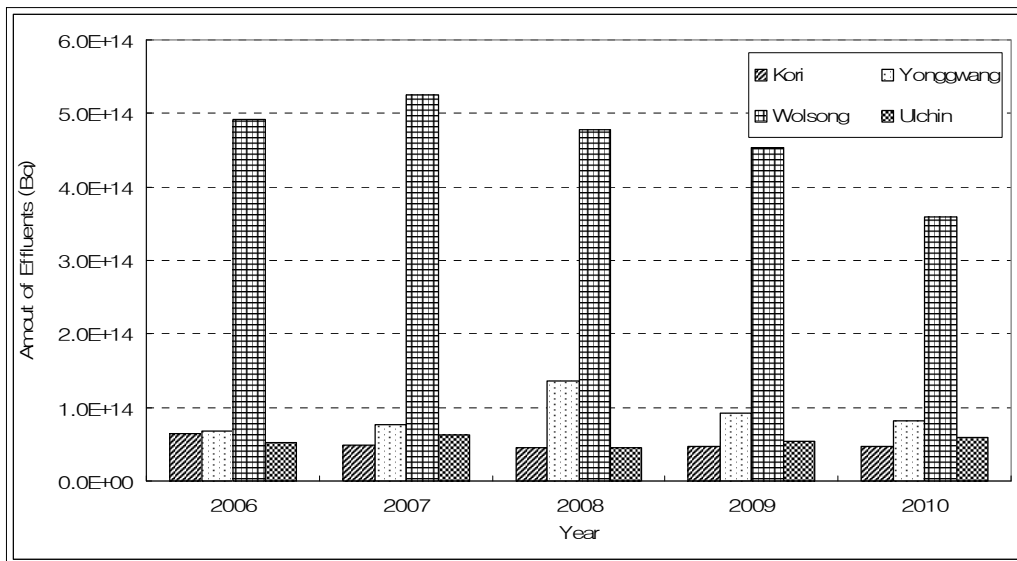
국내에서 운영중인 원전에서 배출된 방사성유출물 현황을 분석하였다. 2006년부터 2010년까지 5년 동안 배출

된 총 방사능량은  $3.29 \times 10^{15}$  Bq로, 이중 중수로원전인 월성원전이  $2.31 \times 10^{15}$  Bq로 총 방사능량의 약 70%를 차지하였으며, 영광원전  $4.56 \times 10^{14}$  Bq (14%), 울진원전  $2.73 \times 10^{14}$  Bq (8%), 고리원전  $2.53 \times 10^{14}$  Bq (8%) 순으로 방사성물질이 배출되었다. 연도별로는 5년 동안 모두 비슷한 수준의 배출량을 보여주었다. 한편, 핵종별 방사능량 분석결과, 배출된 방사능의 대부분이 삼중수소에 기인한 것으로 밝혀졌다. 표 5와 그림 3에 2006-2010년 국내 원전의 방사성물질 배출량을 나타내었다[13,19-22].

이 기간 동안 국내 원전에서 배출된 기체 및 액체 방사성물질로 인한 일반인 선량은 평균  $0.00502 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ 로 부지당 연간허용치인  $0.25 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ 의 2.01% 수준으로 나타났다. 한편, 일반인 유효선량한도인  $1 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  대비 0.50% 수준으로 원전운영으로 인해 예상되는 일반인 선량은 높지 않음을 알 수 있었다. 원전부지별로는 고리원전  $0.00602 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ , 영광원전  $0.00550 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ , 월성원전  $0.00632 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ , 울진원전  $0.00221 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  수준으로 부지 설계기준치 대비 0.89-2.53% 수준이었으며, 유효선량 한도 대비 0.22-0.63% 수준이었다. 부지별로는 울진원전이 다른 원전에 비해 상대적으로 낮은 일반인 선량 평가 결과를 나타내었다. 연도별로는 2006년  $0.00416 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ , 2007년  $0.00726 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ , 2008년  $0.00609 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ , 2009년  $0.00394 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ , 2010년  $0.00364 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  수준으로 부지 연간허용치 대비 1.46-2.90% 수준이었으며, 연간 유효선량 한도 대비 0.36-0.73% 수준이었다. 연도별 일반인 선량은 2007년 이후 감소하는 경향을 나타내었다. 한편, 일반인 선량의 대부분이 기체 방사성물질에 기인한 것으로 주 피폭경로는 농작물 섭취와 호흡이었다. 또한, 일반인 선량에 가장 크게 기여한 핵종은 삼중수소로 나타났다. 표 6과 그림 4에 국내 원전의 방사성물질 배출량과 일반인 선량평가 결과를 나타내었다 [13,19-22].

**Table 5.** Annual Radioactive Effluents from Korea Nuclear Power Plants (Year: 2006-2010) (Unit: Bq).

Year \ Site	Kori	Yonggwang	Wolsong	Ulchin	Total
2006	$6.54 \times 10^{13}$	$6.75 \times 10^{13}$	$4.93 \times 10^{14}$	$5.25 \times 10^{13}$	$6.78 \times 10^{14}$
2007	$4.94 \times 10^{13}$	$7.74 \times 10^{13}$	$5.25 \times 10^{14}$	$6.25 \times 10^{13}$	$7.14 \times 10^{14}$
2008	$4.56 \times 10^{13}$	$1.36 \times 10^{14}$	$4.78 \times 10^{14}$	$4.48 \times 10^{13}$	$7.04 \times 10^{14}$
2009	$4.67 \times 10^{13}$	$9.26 \times 10^{13}$	$4.53 \times 10^{14}$	$5.37 \times 10^{13}$	$6.46 \times 10^{14}$
2010	$4.63 \times 10^{13}$	$8.27 \times 10^{13}$	$3.59 \times 10^{14}$	$5.94 \times 10^{13}$	$5.47 \times 10^{14}$
Total	$2.53 \times 10^{14}$	$4.56 \times 10^{14}$	$2.31 \times 10^{15}$	$2.73 \times 10^{14}$	$3.29 \times 10^{15}$



**Fig. 3.** Annual amount of radioactive effluents in Korean NPPs (Year: 2006-2010).

**Table 6.** Annual Public Dose by Radioactive Effluents from Korean Nuclear Power Plants (Year: 2006-2010) (Effective Dose per Site, Unit: mSv).

Year \ Site	Kori	Yonggwang	Wolsong	Ulchin	Total
2006 <sup>a</sup>	0.00664	0.00485	0.00348	0.00165	0.00416
2007 <sup>a</sup>	0.01510	0.00604	0.00579	0.00209	0.00726
2008 <sup>a</sup>	0.00460	0.00957	0.00831	0.00190	0.00609
2009 <sup>a</sup>	0.00226	0.00433	0.00707	0.00209	0.00394
2010 <sup>b</sup>	0.00152	0.00274	0.00696	0.00333	0.00364
Average	0.00602	0.00550	0.00632	0.00221	0.00502
Comparison to design criteria of nuclear facilities <sup>c</sup>	2.41%	2.20%	2.53%	0.89%	2.01%
Comparison to annual public dose limit <sup>d</sup>	0.60%	0.55%	0.63%	0.22%	0.50%

<sup>a</sup> Age group: Adult; Number of reactors: 20

<sup>b</sup> Age group: Infant (5 years old); Number of reactors: 21

<sup>c</sup> Annul dose limit per site of standards applied to the design of nuclear facilities:  $0.25 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  (effective dose)

<sup>d</sup> Annul public dose limit:  $1 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  (effective dose)

<sup>e</sup> Total effective doses from 2006 to 2010 showed the level of 1.46-2.90% and 0.36-0.73% for design criteria of nuclear facilities and annul public dose limit, respectively.

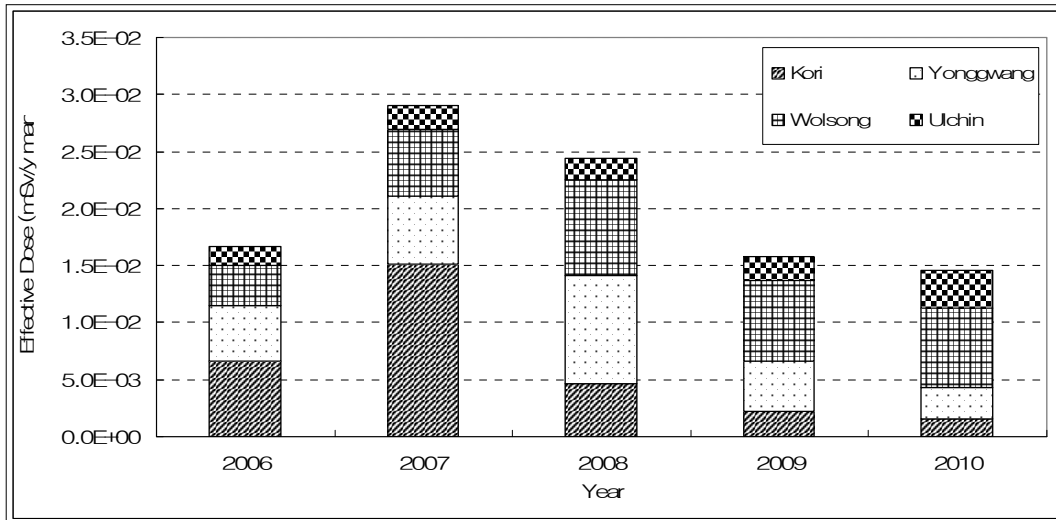


Fig. 4. Annual off-site dose (effective dose) adjacent to Korean NPPs (Year: 2006-2010).

Table 7. Results of Licensing for Construction and Operation of Korean Nuclear Power Plants in 2011.

License	Condition	Classification	Dose limits(mSv)	Assessment result(mSv)
Construction of Shin Ulchin 1 & 2	Emergency	Thyroid dose	3,000	42.1
		Whole body dose	250	0.356
	Normal Operation	Thyroid dose	0.75	0.286
		Effective dose	0.25	0.202
Operation of Shin Kori 2	Emergency	Thyroid dose	3,000	28.3
		Whole body dose	250	0.250
	Normal Operation	Thyroid dose	0.75	0.447
		Effective dose	0.25	0.138
Operation of Shin Wolsong 1	Emergency	Thyroid dose	3,000	25.0
		Whole body dose	250	0.23
	Normal Operation	Thyroid dose	0.75	0.309
		Effective dose	0.25	0.221

### 3.2 신규 원전의 선량평가 현황

신규 원전의 인허가 과정에서 부지 제한구역 경계에서의 일반인 선량은 사고선량 평가와 정상선량 평가로 구분하여 수행하고 있다. 사고선량 평가의 경우 가장 높은 피폭을 유발하는 대형 냉각재 상실사고를 가정하여 제한구역거리에서 피폭방사선량을 계산하게 된다. 한편, 정상선량 평가는 핵연료 결함율(0.12%)에 의해 배출될 수 있는 예상방사선원량과 과거에 배출된 핵종의 최대 값을 고려하여 부지 경계에서 피폭방사선량을 계산한다. 신규 원전의 경우 사고선량 평가 결과 전신선량은 0.25-0.4 mSv, 갑상선 선량은 20-40 mSv 수준으로 허용치 대비 여유를 가지고 있는 것으로 나타났다. 그러나 정상 선량평가의 경우 복수호기 원전 운영을 고려한 예상피폭선량 평가결과 연간허용치 대비 약 90% 수준에 이르는 것으로 나타났다. 신울진 1,2호기 건설허가에서는 피폭방사선선량이 0.202 mSv · y<sup>-1</sup>(동일부지에 있는 기존의 6개 원전에서 발생된 피폭방사선량 포함)로 나타났으며, 신월성 1호기 운영허가에서는 피폭방사선량이 0.221 mSv · y<sup>-1</sup>(부지 전체

의 6개 원전 및 삼중수소 제거설비에서 발생된 피폭방사선량 포함)로 나타나 연간허용치에 거의 도달되는 것으로 평가되었다. 국내원전의 인허가과정에서 수행된 피폭방사선량 평가 결과를 표 7에 나타내었다[15-17].

### 3.3 일반인 선량제약치 설정방안

현재 국내에는 21개 호기의 원전이 운전 중에 있는데, 앞으로 계속 늘어날 것으로 예상되고 있다. 그러나 원전 부지 확보의 어려움으로 인해 기존의 원전부지가 점차 대형화되고 있는 추세이며, 동일부지에 최소 6개 호기 이상의 복수호기 원전이 운영될 것으로 예상되고 있다. 특히, 월성 원전부지의 경우 중수로원전 4기, 경수로원전 2기, 삼중수소 제거시설, 중저준위 방사성폐기물 처분장 등의 복수의 원자력시설이 위치하고 있다. 이들 원전이나 처분장 등은 ICRP에서 규정하는 단일선원(single source)으로 동일 부지에 다수 선원이 존재하게 되는 상황으로 판단된다[3,4,6].

국내 원전에서는 방사선 및 방사능물질이 주변환경에

미치는 영향을 평가하는 방안으로, 선량제약치와 유사한 개념을 갖는 환경상의 위해방지 기준을 적용 중에 있다. 이러한 기준은 미국 원자력규제위원회의 방사성유출물 규제기준인 10 CFR Part 50 Appendix I에 근거하고 있다 [23]. 이는 미국에서 동일부지 내에 최대 3개 호기의 원전 가동을 고려하여 제정된 것으로 알려져 있다[24]. 이러한 내용은 미국 우라늄 연료 주기시설부터 발생한 방사성유출물에 의한 피폭방사선량이 연간허용치(갑상선:  $0.75 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ , 유효선량:  $0.25 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ )를 만족하도록 규정하고 있지만, 부지당 4개 이상의 호기가 운영될 경우 피폭방사선량이 연간허용치를 초과할 수 있음을 제시하고 있다[25]. 이는 앞에서 기술한 원전부지당 3개 호기를 고려하여 기준이 제정되었음을 알 수 있는 내용으로 판단된다.

앞서 분석한 바와 같이, 과거 국내 원전의 방사성유출물의 배출에 따른 일반인 선량 분석결과 부지당 연간허용치( $0.25 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ ) 대비 약 3%미만, 일반인 선량한도( $1 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ ) 대비 약 1% 미만으로 나타났다. 그러나 신규 원전의 인허가와 관련한 일반인 선량평가에서는 선량평가 값이 연간허용치에 근접하여 여유가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 지금까지의 분석과 검토 결과 등을 종합하여 고려해볼 때 일반인 선량제약치를 보다 여유를 갖도록 설정할 필요가 있다고 판단되었다. 이러한 점을 고려하여, 국내원전의 부지에 적용할 선량제약치로서 ICRP가 예시로서 제시한 단일선원에 의한 선량제약치( $0.3 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ )의 두 배 정도로  $0.6 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ 를 국내원전에 적용할 선량제약치로 제시하고자 한다. 이는 현재 국내원전의 부지당 적용 중에 있는 연간허용치( $0.25 \text{ mSv}$ )의 약 2 배 수준에서 선량제약치를 설정하는 방안과도 일관성을 갖는다고 판단된다.

한편, 원전 호기별로 배출되는 기체 및 액체 방사성유출물을 별도로 구분하기 보다는 통합하여 선량제약치를 설정하는 것을 함께 고려해볼 수 있다. 이는 원전에서 배출된 기체나 액체 방사성유출물이 최종적으로는 인간에게 영향을 미치며, 그 영향은 피폭방사선량으로 표시되고 있기 때문에, 기체와 액체 방사성유출물의 영향을 구분하지 않아도 된다고 판단된다. ICRP에서도 방사선피폭의 형태(예, 외부피폭과 내부피폭 등)에 따른 영향을 별도로 구분하지 않고 있으며, 유효선량이라는 단위로 인체에 대한 방사선 및 방사성물질의 영향을 종합하여 평가하고 있어, 별도로 구분할 필요가 없다고 판단되었다. 특히, 원전 방사성유출물의 배출에는 고시에서 정한 농도단위로서 배출관리기준이 추가로 적용되기 때문에 통합하더라도 방사선/농도 위함은 충분히 제어가능하다고 판단되었다 [10]. 이런 근거에서 단일호기 원전에 대한 기체 및 액체 방사성물질의 설계에 적용하는 수치적 기준으로 기체와 액체 방사성유출물을 통합하여 호기당  $0.2 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ 를 제시하고자 한다. 이는 기체 방사성유출물에 의한 선량  $0.05 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ 와 액체 방사성유출물에 의한 선량  $0.03 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ 의 합인  $0.08 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ 의 두 배를 고려한 값이다. 참고로, 국내 원전의 액체 방사성물질에 의한 피폭방사선량은 기체 방사성물질에 의한 영향보다 훨씬 낮기 때문에(3개 오더 정도 차이) 기체와 액체를 통합함으로써

선량제약치 운영에 더 많은 융통성을 줄 수 있다고 판단되었다.

#### 4. 결론

국내 원전의 정상운전 과정에서 방사성물질의 배출에 따른 원전주변 일반인 선량평가 결과, 가동 중인 원전에서 배출된 방사성물질에 의해 원전주변 주민이 받는 피폭방사선량은 약  $4-8 \mu\text{Sv} \cdot \text{y}^{-1}$  수준으로 복수호기 운영시 부지별 연간허용치인  $0.25 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  대비 3% 미만 수준이었으며, 선량한도 대비 1% 미만이었다. 따라서 현재 가동 중인 원전으로 인해 예상되는 일반인 선량은 매우 낮음을 알 수 있었다.

이에 비해 신규 원전의 건설에 따라 동일부지에서 운영되는 원전의 수가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 특히, 국내 원전의 건설 및 운영허가 과정에서는 복수호기 원전의 경우 피폭방사선량은 부지 설계기준치의 약 90% 수준에 도달하게 되어, 원전주변 일반인 선량 평가에 여유가 없는 것으로 나타나고 있다. 이러한 신규 원전의 예상 문제점을 고려하여 일반인 선량제약치를 보다 여유를 갖도록 부지당  $0.6 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$ , 호기당  $0.2 \text{ mSv} \cdot \text{y}^{-1}$  수준에서 설정할 필요가 있다고 판단되었다.

#### 감사의 글

본 논문은 한국수력원자력(주)의 연구개발사업에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. International Atomic Energy Agency. Interim report of Basic Safety Standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Draft version, IAEA, Vienna, 2011.
2. 교육과학기술부. 방사선 리스크 저감 선진기술 개발 1단계 최종보고서. 한국원자력안전기술원, 2011.
3. International Commission on Radiological Protection. 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Oxford; Pergamon Press, 2007.
4. 이재기. 2007년 국제방사선방호위원회 권고 - ICRP 간행물 103. 대한방사선방어학회, 2009.
5. International Commission on Radiological Protection. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford; Pergamon Press, 1991.
6. 김용민, 조건우. ICRP 권고에 따른 직무피폭에서의 선량제약치 국내 적용 방안 연구. Journal of Radiation Protection, 2011;36(3):127-133.
7. International Commission on Radiological Protection. Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81. Oxford;



- Pergamon Press, 1998.
8. 한국원자력안전기술원. 규제기준 13.7 선량제약치. 2011.
  9. 한국원자력안전기술원. 규제기준 13.9 대표인. 2011.
  10. 원자력안전위원회. 고시 제2012-29호 방사선방호 등에 관한 기준. 2012.
  11. 원자력안전법 시행령. 제174조 환경상의 위해방지. 2011.
  12. 원자력안전위원회. 고시 제2012-05호 원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 고시. 2012.
  13. 한국수력원자력. 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 및 평가 보고서 (2010년도 연보). 2010.
  14. 한국수력원자력. 원자력발전소 주변 주민선량계산지참서, Rev.2. 2010.
  15. 원자력안전위원회. 신고리원전 2호기 운영허가(안). Available at <http://www.nssc.go.kr>. 2011.
  16. 원자력안전위원회. 신월성원전 1호기 운영허가(안). Available at <http://www.nssc.go.kr>. 2011.
  17. 원자력안전위원회. 신울진원전 1,2호기 건설허가(안). Available at <http://www.nssc.go.kr>. 2011.
  18. 한국수력원자력. 지식센터. Available at <http://www.khnp.co.kr/nuclear/020100/jsp/02010000>. Updated April 2012.
  19. 한국수력원자력. 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 및 평가 보고서 (2006년도 연보). 2006.
  20. 한국수력원자력. 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 및 평가 보고서 (2007년도 연보). 2007.
  21. 한국수력원자력. 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 및 평가 보고서 (2008년도 연보). 2008.
  22. 한국수력원자력. 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 및 평가 보고서 (2009년도 연보). 2009.
  23. US Nuclear Regulatory Commission, 10CFR Part 50 Appendix I - Numerical guides for design objectives and limiting conditions for operation to meet the criterion "As Low as is Reasonably Achievable" for radioactive material in light-water-cooled nuclear power reactor effluents. Available at <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part050/>. 2012.
  24. Key Solutions, Inc.. Training program for the radiological effluents and off-site dose calculation. 2005.
  25. US Nuclear Regulatory Commission, Methods for demonstrating LWR compliance with the EPA uranium fuel cycle standard (40 CFR Part 190). NUREG-0543. 1980.

## A Preliminary Establishment of Dose Constraints for the Member of Public Taking into Account Multi-unit Nuclear Power Plants in Korea

Tae Young Kong, Jong Rack Choi, Jung Kwon Son, Hee Geun Kim  
KHNP Central Research Institute

**Abstract** - In the 2007 recommendation, the ICRP evolves from the previous process-based system of practices and intervention to the system based on the characteristics of radiation exposure situation. In addition, ICRP recommends the application of source-related dose constraints under the planned exposure situation as a tool for the optimization of protection to workers and the member of public. In this study, the analysis of radioactive effluents from Korean nuclear power plants and the public dose assessment were conducted in reference with the use of dose constraints. Finally, the measure to implement the dose constraints for the member of public was suggested taking into account multi-unit reactors operating at a single site in Korea.

**Keywords** : ICRP 103, Dose constraint, Multi-unit reactors, Radioactive effluents, Public dose.