

국내원전의 방사성유출물 배출현황과 특성에 대한 고찰

손중권, 공태영, 최종락, 김희근
한수원중앙연구원

2012년 5월 18일 접수 / 2012년 7월 4일 1차 수정 / 2012년 7월 30일 2차 수정 / 2012년 8월 1일 채택

국내에서는 2010년 말 기준으로 21기의 원전이 운전 중에 있다. 이에 따라 원전에서 배출되는 방사성유출물은 지속적으로 늘어나 2010년에는 547.12 TBq이 배출되었다. 국내원전의 기체와 액체 방사성유출물 배출량은 2001년에서 2010년까지 10년 동안 경수로원전의 경우에는 연평균 11.61 TBq/호기 수준으로 유지하고 있으며, 중수로원전의 경우 118.12 TBq/호기 수준으로 유지되고 있다. 이들 기체나 액체 방사성유출물의 배출 핵종의 대부분은 삼중수소로 나타났다. 이러한 배출경향과 분석 결과를 바탕으로 국내원전의 방사성유출물 관리에 대한 특성을 제시하였다.

중심어: 방사성유출물, 삼중수소, 요오드, 입자, 불활성가스, 일반인선량

1. 서론

국내에서는 1978년 고리1호기의 상업운전을 시작으로 2010년 말 경수로원전 17기와 중수로원전 4기 등 21기의 원전이 운전 중에 있다. 이에 따라 원전의 설비용량이 1978년 587 MWe에서 2010년 말에는 18,716 MWe로 증가되었다. 이러한 설비용량의 증가에 따라 원전에서 생산되는 전력량이 지속적으로 늘어나, 국내 전체 전력 소비량의 약 40% 정도를 점유하고 있다. 표 1에 국내원전의 설비용량을 보여주고 있다[1,2].

원전가동에 따른 방사성폐기물 발생은 기체 방사성폐기물, 액체 방사성폐기물 및 고체 방사성폐기물로 구분된다[2]. 이 중에서 기체 방사성폐기물이나 액체 방사성폐기물은 원전의 운전 중에 따라 불가피하게 발생되는데, 적절한 감쇄와 처리방법을 거쳐 정해진 배출경로를 통해 환경으로 배출하고 있다. 이 경우 방사성유출물에 대한 배출관리기준 등을 적용하여 엄격한 감시 하에 소외로 배출하고 있다. 반면에 고체 방사성폐기물은 발전소 내에서 처리하여 방사성폐기물저장고에 보관하고 있기 때문에 소외로 배출될 가능성은 거의 없다고 본다.

원전의 가동호기 증가에 따라 환경으로 배출되는 방사성유출물의 총량은 지속적으로 늘어나고 있으며, 이와 더불어 국민의 관심이 증가하는 추세이다. 특히, 후쿠시마 원전 사고 이후 일반 대중은 원전의 안전성과 방사성유출물에 매우 민감한 반응을 나타내고 있다. 이러한 상황을 바탕으로 정부나 규제기관의 원전에 대한 규제가 더욱 엄격해지고 있는 상황으로, 원전에서 방사성유출물은 더욱 철저하게 관리되어야 할 것으로 판단된다.

이 논문은 국내 원전의 방사성유출물의 배출에 관한 현황과 특성을 파악하기 위해 작성되었다. 이를 위해 2001년에서 2010년까지 10년간 국내 원전의 기체 및 액체 방사성유출물의 배출현황을 분석하였다. 또한 노형별 방사성유출물의 배출특성을 분석하였고, 이러한 분석 결과를 바탕으로 국내원전의 방사성유출물 관리에 대한 특성을 제시하였다.

2. 재료와 방법

2.1 원전 방사성유출물 감시기준

원전 운영으로 인해 발생할 수 있는 방사선학적 위험을 방지하고자 원전에서는 방사성유출물을 지속적으로 감시하고 있다. 이를 위해 원전에서는 방사성핵종에 대해 농도기준으로 배출관리기준(effluent control limits)을 만족하도록 방사성유출물의 배출을 감시하고 있다[2-4]. 한편, 배출된 기체 및 액체 방사성유출물이 피폭경로를 거쳐 인간에게 섭취되는 경우를 고려하여 원전주변에 거주하고 있는 주변주민의 선량이 일반인 선량한도와 원전 운영에 따른 환경상의 위해방지조항을 만족하도록 관리하고 있다[3,4]. 원자력안전위원회고시 방사선방호 등에 관한 기준(방사선.001)에는 각 방사성핵종의 배출관리기준과 일반인에 대한 선량기준이 제시되어 있다[4]. 표 2에 원전 설계 및 운영에 적용되는 환경상의 위해방지 조항을 나타내었다[4].

이렇듯, 원전에서 방사성유출물의 배출에는 핵종별 농도 기준인 배출관리기준과 피폭방사선량에 대한 기준을 동시에 만족하도록 규정하고 있으나, 경수로 원전 호기별로 배출된 방사성유출물의 총량에 대해 별도로 규제하지

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

Table 1. Nuclear 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*	PWR (OPR-1000)	1,000MWe	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 (OPR-1000)	1,000 MWe	March 1995
Yonggwang 4	PWR (OPR-1000)	1,000 MWe	January 1996
Yonggwang 5	PWR (OPR-1000)	1,000 MWe	May 2002
Yonggwang 6	PWR (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	PWR (OPR-1000)	1,000 MWe	August 1998
Ulchin 4	PWR (OPR-1000)	1,000 MWe	December 1999
Ulchin 5	PWR (OPR-1000)	1,000 MWe	July 2004
Ulchin 6	PWR (OPR-1000)	1,000 MWe	April 2005
Total: 21		18,716 MWe	

*2010년 5월 시험운전 시작으로 상업운전 전이나 방사성유출물 실적을 집계하였음(Fig. 1 및 Fig. 2).

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

않고 있다[5-8]. 다만, 중수로원전의 경우 연속배출(continuous release) 형태를 고려하여 배출관리기준과 피폭방사선량 기준 외에 추가적으로 각 방사성핵종별 배출 총량을 정하여 감시하고 있다[9]. 이를 유도배출한계(derived release limits; DRLs)라 한다. 예를 들어 중수로원전 호기별 기체 삼중수소의 경우 1.05×10⁵ TBq로 정하고 있으며, 액체 삼중수소는 3.48×10⁴ TBq로 정하고 있다[10].

2.2 원전 방사성폐기물 처리계통과 배출관리

원전의 기체 방사성폐기물 처리계통은 다양한 발생원으로부터 유입되는 기체폐기물을 처리하여 배출을 최소화하고 있다.

주요 기체폐기물 발생원은 1차 계통 탈기, 원자로냉각재 배수탱크 배기, 체적제어탱크 배기 등으로, 발생된 공기중 입자성 방사성물질은 필터 등에 의한 여과방법이 사용되며, 방사성요오드와 불활성가스 등의 방사성 기체는 활성탄에 의한 흡착이나 감쇄 등의 방법이 사용되고 있다[5-9].

원전에서는 운전 중 발생하는 액체 방사성물질을 환경으로 배출할 경우 그 양을 배출관리기준 이하로 감소시키고, 기기냉각수로 희석하여 배출하고 있다[5-9]. 액체 방사성폐기물 처리계통은 발전소별로 방사성폐기물의 특성에 따라 다양한 처리공정을 이용하고 있다. 바닥배수, 시

료채취구역 배수 및 장치 배수 등과 같이 고체 성분의 비율이 높고, 방사능 준위가 다양한 액체폐기물은 보통 증발기에 의해 처리되며, 발생된 증발기 응축액은 이온교환수지에 의해 다시 처리된다. 이외에 액체방사성물질의 처리를 위해 역삼투막처리와 선택성 이온교환수지 등이 이용되고 있다[5-9].

2.3 국내 원전의 방사성유출물 배출 현황

원전 운영으로 인해 발생하는 기체와 액체 방사성유출물의 배출량은 원전 방사선관리연보나 원자력발전소 주변 환경방사선 조사보고서에 기록되어 있다. 이 논문에서는 원전 방사선관리연보와 원전주변 환경방사선 조사보고서에 근거하여 2001년부터 2010년까지 10년간의 기체 및 액체 방사성유출물의 배출현황과 특성을 분석하였다 [2,3].

2.4 배출에 따른 일반인 선량 분석

원전에서는 배출된 방사성유출물 또는 방사선에 의하여 원전부지 주변 일반인이 받는 피폭방사선량을 주기적으로 계산하고, 기준치와 비교를 수행하도록 규정하고 있다[11]. 이러한 방사성유출물 배출 과정에서는 호기별로 방사성물질의 배출 전에 배출량과 풍하 방향 등을 고려하여 원전주변에 거주하는 일반인이 받는 예비적인 선량(projected dose)을 계산하고 있으며, 최종적으로는 호기별 방사성유출물의 배출량을 합산하여 원전 부지별 일반인 선량을 주기적으로 계산하는 방식으로 수행되고 있다 [5-9]. 이러한 일반인 선량평가를 위해 현재 국내 원전에서는 KDOSE-60 전산 코드를 사용하고 있다. 이 전산 코드는 ICRP 60 권고와 국제원자력기구(IAEA)에서 1996년 발간된 방사선방호에 관한 기본안전기준에 근거하여 개발된 일반인에 대한 선량계산 전산 코드로서 기체 방사성

물질로 인한 선량 계산, 액체 방사성물질로 인한 선량 계산, 대기확산인자 등을 계산하는 전산코드 패키지 등으로 구성되어 있다[12].

3. 결과와 논의

3.1 기체 방사성폐기물 배출량과 선량분석

2001년에서 2010년까지 10년간 국내 원전에서 배출된 기체 방사성유출물의 총 방사능량은 4,283.37 TBq로 나타났다. 이 중에서 중수로원전(월성원전)의 방사성유출물 배출량이 기체 방사성유출물 총 방사능량의 약 86%로 대부분을 차지하고 있으며, 경수로원전인 고리원전 약 6%, 영광원전 약 5%, 울진원전 약 3% 순으로 배출되었다. 이처럼 월성원전이 높은 배출경향을 보이는 것은 중수로원전의 경우 냉각재와 감속재로 사용된 중수의 증성자 방사화 과정(neutron activation process)에서 생성된 삼중수소의 배출이 주를 이루고 있고, 이외에도 불활성가스의 배출량이 많은 데 그 이유가 있다. 그럼에도 불구하고 월성원전은 경수로원전에 비해 배출량이 높은 특성을 보이고 있지만 유도배출한계(DRLs) 기준대비 최대 0.35%에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

기체 방사성유출물이 최대로 배출된 해는 2002년으로, 배출 총량은 572.81 TBq으로 나타났고, 최소로 배출된 해는 2010년으로 배출 총량은 252.02 TBq으로 나타났고, 이처럼 방사성유출물의 배출 총량은 2002년을 정점으로 점차 감소하는 추세를 보이고 있다. 이는 국내원전에서 가동호기가 늘어남에도 불구하고 방사성유출물 저감을 위해 지속적으로 노력한 결과로 판단되었다[2,3]. 그림 1에서 최근 10년간 국내원전의 기체 방사성유출물의 배출량과 경향을 제시하였다.

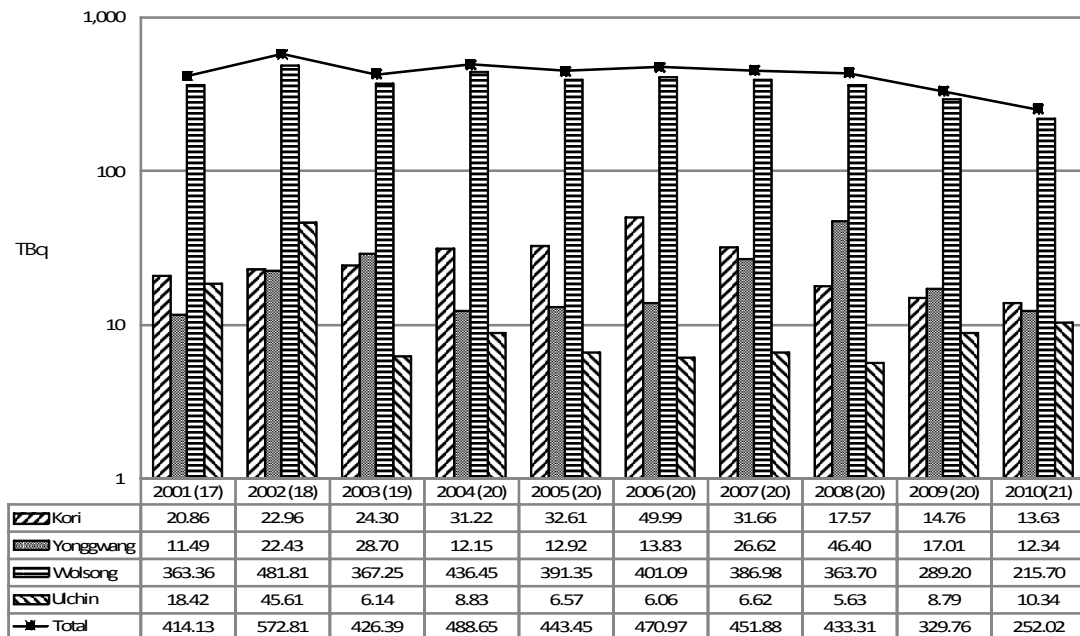


Fig. 1. Annual gaseous radioactive effluents from Korean nuclear power plants (Year: 2001-2010) (Unit: TBq).

Table 3. Total Radioactivity and Ratio of Major Gaseous Effluents from Korean Nuclear Power Plants from 2001 to 2010.

	Kori		Yonggwang		Wolsong		Ulchin	
	TBq	%	TBq	%	TBq	%	TBq	%
Noble Gas	55.04	21.20	67.24	32.98	539.86	14.60	57.48	46.72
Iodine	5.63×10^{-4}	2.17×10^{-4}	1.17×10^{-3}	5.73×10^{-4}	2.22×10^{-5}	5.99×10^{-7}	4.90×10^{-3}	3.98×10^{-3}
Particulate	6.91×10^{-6}	2.66×10^{-6}	0.15	7.41×10^{-2}	1.92×10^{-5}	5.19×10^{-7}	2.28×10^{-4}	1.86×10^{-4}
^3H	204.52	78.80	136.50	66.95	3,151.00	85.23	65.54	53.27
^{14}C	-	-	-	-	6.03	0.16	-	-
Total	259.56	100.00	203.90	100.00	3696.89	100.00	123.02	100.00
Percent of Derived Release Limit for Tritium	-	-	-	-	1.05×10^5	0.35	-	-
Total Radioactivity per Year	25.96	-	20.39	-	369.69	-	12.30	-
Average Radioactivity per Unit	64.21	-	34.37	-	924.22	-	26.04	-
Annual Average Radioactivity per Unit	6.42	-	3.44	-	92.42	-	2.60	-

*: 중수로원전의 호기별 기체 삼중수소의 유도배출한계(Derived Release Limit: DRL)을 나타냄.

Table 4. Average Public Dose and Ratio Due to Major Gaseous Effluents from Korean Nuclear Power Plants from 2001 to 2010.

	Kori		Yonggwang		Wolsong		Ulchin	
	mSv(y·man) ⁻¹	%	mSv(y·man) ⁻¹	%	mSv(y·man) ⁻¹	%	mSv(y·man) ⁻¹	%
Noble Gas	1.57×10^{-4}	3.12	6.73×10^{-4}	13.83	2.94×10^{-4}	5.49	4.72×10^{-4}	12.34
Iodine	8.94×10^{-6}	0.18	1.32×10^{-5}	0.27	5.79×10^{-7}	0.01	4.19×10^{-4}	10.93
Particulate	1.07×10^{-6}	0.02	3.67×10^{-5}	0.75	1.84×10^{-7}	3.43×10^{-3}	7.40×10^{-5}	1.93
^3H	4.87×10^{-3}	96.68	4.14×10^{-3}	85.15	3.43×10^{-3}	64.09	2.86×10^{-3}	74.80
^{14}C	-	-	-	-	1.63×10^{-3}	30.41	-	-
Total	5.03×10^{-3}	100.00	4.86×10^{-3}	100.00	5.35×10^{-3}	100.00	3.83×10^{-3}	100.00
Dose per Unit	1.25×10^{-3}	-	8.16×10^{-4}	-	1.34×10^{-3}	-	8.03×10^{-4}	-
Percent of Dose Limit (1 mSv·y ⁻¹)	-	0.50	-	0.49	-	0.54	-	0.38

경수로원전에서 삼중수소와 불활성기체가 방사성유출물의 대부분 배출량을 점유하고 있으며, 중수로원전에서는 삼중수소와 불활성기체 외에 ^{14}C 핵종이 배출량이 높은 방사성핵종으로 나타났다. 이러한 분포는 미국원전이나 캐나다 원전의 방사성유출물의 배출과 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다[13-17]. 표 3에 2001년에서 2010년까지 최근 10년간 각 원전별 기체 방사성유출물 배출량과 구성비를 나타내었다.

원전주변에 거주하는 일반인에 대한 선량은 삼중수소에 의한 일반인 선량이 최대를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 일반인 피폭방사선량 중에서 삼중수소가 차지하는 비율은 고리원전의 경우 약 97%, 영광원전의 경우 약 85%, 월성원전의 경우 약 64% 그리고 울진원전의 경우 약 75%로 나타나고 있다. 월성원전의 경우 ^{14}C 핵종에 의한 피폭방사선량이 약 30%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이렇게 월성원전에서 ^{14}C 피폭방사선량이 높은 이유는 중수로원전의 배출특성을 고려하여 일찍부터 ^{14}C 에

대한 방사성유출물 감시를 수행한 결과에 기인한 것으로 판단되었다[2,3]. 이러한 국내원전의 방사성핵종별 일반인의 선량은 미국원전이나 캐나다 원전과 유사한 경향을 보이는 것으로 확인되었다[13-17].

국내원전의 기체 방사성유출물에 의한 선량은 대략 4.96×10^{-3} mSv(y·man)⁻¹로 평가되었는데, 이는 유효선량 한도의 약 0.5% 정도로 나타났다. 전체 선량 중에서 방사성핵종의 비율은 원전별로 약간 다르게 나타났다. 고리원전과 월성원전의 경우 불활성기체에 의한 선량이 차지하는 비율은 전체 일반인 선량 중에서 5% 이하로 나타났지만, 영광원전과 울진원전의 경우 12~13%를 차지하고 있는 것으로 확인되었다. 한편, 요오드에 의한 일반인 선량이 차지하는 비율은 전체 일반인 선량 중에서 울진원전의 경우 약 11%를 차지하고 있지만 다른 부지는 1% 이하를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이렇게 울진원전에서 요오드에 의한 일반인 선량이 높은 이유는 2002년 핵연료 결합에 의한 계획예방정비기간 중에 발생한 요오드의 환

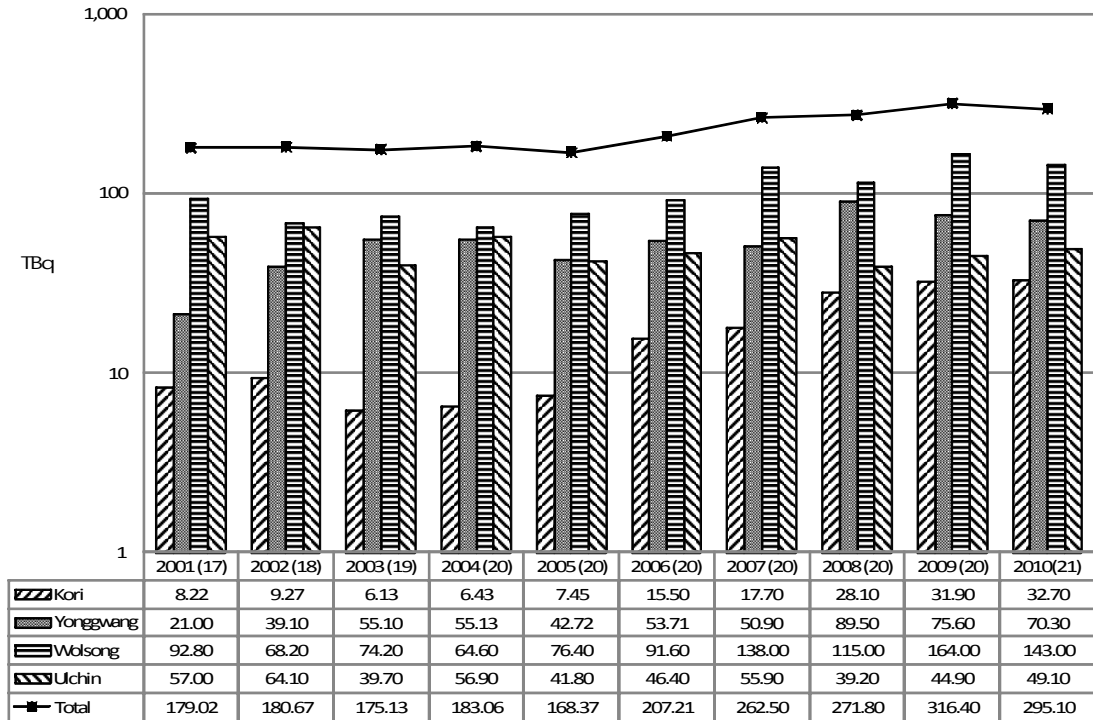


Fig. 2. Annual liquid radioactive effluents from Korean nuclear power plants (Year: 2001-2010) (Unit: TBq).

경으로 배출에 따른 영향으로 판단되었다. 한편, 미립자에 의한 일반인 선량은 모든 부지에서 1% 이하로 일반인 선량에 미치는 영향은 미미하다고 판단되었다. 이런 선량 특성은 특정 연도별로는 해외원전과 약간의 차이를 보이거나 전체적으로 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 확인되었다[13-17]. 표 4에 2001년에서 2010년까지 국내원전의 기체 방사성유출물의 배출에 의한 주요 방사성핵종별 일반인 선량의 분포를 나타내었다.

3.2 액체 방사성폐기물 배출량과 선량분석

2001년에서 2010년까지 최근 10년간 국내 원전에서 배출된 액체 방사성유출물의 총 방사능량은 2,239.27 TBq로 나타났다. 월성원전에서 배출된 액체 방사성유출물의 총 방사능량이 약 46%로서 대부분을 차지하고 있다. 영광원전은 약 25%를 차지하고 있으며 울진원전은 약 22%를 차지하고 있다. 고리원전에서 배출된 액체 방사성유출물 방사능량은 액체 방사성유출물 방사능량의 약 7%로 가장 낮게 나타났다. 이러한 이유는 월성원전의 삼중수소에 의한 배출이 주된 원인으로 확인되었다[2,3]. 그럼에도 불구하고 유도배출한계 기준대비 최대 0.30%에 미치지 못하는 것으로 확인되었다.

한편, 액체 방사성유출물이 최대 배출된 해는 2009년으로 배출 방사능량은 316.40 TBq이고 최소로 배출된 해는 2005년으로 168.37 TBq으로 나타났다. 액체 방사성유출물의 배출 총량은 2005년을 저점으로 일정 수준을 유지하는 추세를 보이고 있다. 이러한 경향을 보이는 이유는 영광 5,6호기 및 울진 5,6호기의 상업운전으로 가동호기 수가 증가되었으나, 체계적인 방사성유출물의 저감

활동의 추진에 의한 것으로 판단되었다[2,3]. 그림 2는 최근 10년간 액체 방사성유출물의 배출량을 보여주고 있다.

국내 원전부지에서 액체 방사성유출물의 방사성핵종별 구성은 삼중수소가 99% 이상 점유하고 있으며, 불활성기체, 옥소, 미립자 등은 아주 미량 배출하고 있는 것으로 나타났다. 영광원전의 경우 미립자가 차지하는 비율이 약 0.01%로 나타났으나, 유의할 수준은 아닌 것으로 판단되었다. 이러한 분포는 미국이나 캐나다 원전의 방사성유출물의 배출과 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 확인되었다[13-17]. 표 5는 2001년에서 2010년까지 총 10년간 국내원전 부지의 주요 핵종별 액체 방사성유출물의 배출량과 구성비를 나타내었다.

국내원전의 액체 방사성유출물에 의한 선량은 대략 $2.11 \times 10^{-4} \text{ mSv(y-man)}^{-1}$ 로 나타났는데, 이는 유효선량 한도의 약 0.02% 정도로 나타났다. 전체 일반인 선량 중에서 방사성핵종의 비율은 원전별로 약간 다르게 나타났다. 고리원전, 영광원전, 월성원전의 경우 삼중수소와 미립자에 의한 일반인 선량이 99.9%를 차지하고 있다. 반면에 울진원전의 경우 삼중수소와 미립자에 의한 일반인 선량은 약 96.4%를 차지하고 있으며, 요오드에 의한 일반인 선량이 약 3.6%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 액체 방사성유출물에 의한 비율과 일반인 선량 분포는 미국이나 캐나다 원전의 방사성유출물의 배출과 유사한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다[13-16]. 표 6에 2001년에서 2010년까지 액체 방사성유출물의 배출에 의한 주요 핵종별 일반인 선량평가 결과의 평균과 비율을 나타내었다.

Table 5. Total Radioactivity and Ratio of Major Liquid Effluents from Korean Nuclear Power Plants from 2001 to 2010.

	Kori		Yonggwang		Wolsong		Ulchin	
	TBq	%	TBq	%	TBq	%	TBq	%
Noble Gas	-	-	5.47×10 ⁶	9.89×10 ⁷	3.62×10 ⁶	3.52×10 ⁷	6.79×10 ⁷	1.37×10 ⁵
Iodine	-	-	3.65×10 ⁵	6.60×10 ⁶	1.07×10 ⁶	1.04×10 ⁷	-	-
Particulate	7.57×10 ⁴	4.76×10 ⁴	6.20×10 ²	0.01	7.41×10 ⁻³	7.21×10 ⁴	3.30×10 ⁻³	6.67×10 ⁴
³ H	163.40	99.99	553.00	99.98	1,027.80	99.99	495.00	99.99
Total	163.40	100.00	553.06	100.00	1,027.81	100.00	495.00	100.00
Percent of Derived Release Limit for Tritium	-	-	-	-	*3.48×10 ⁴	0.30	-	-
Total Radioactivity per Year	16.34	-	55.31	-	102.78	-	49.50	-
Average Radioactivity per Unit	39.22	-	92.88	-	256.95	-	93.92	-
Annual Average Radioactivity per Unit	3.92	-	9.29	-	25.70	-	9.39	-

*: 중수로원전의 호기별 액체 삼중수소의 유도배출한계(Derived Release Limit: DRL)을 나타냄.

Table 6. Average Public Dose and Ratio Due to Major Liquid Effluents from Korean Nuclear Power Plants from 2001 to 2010.

	Kori		Yonggwang		Wolsong		Ulchin	
	mSv(y·man) ⁻¹	%	mSv(y·man) ⁻¹	%	mSv(y·man) ⁻¹	%	mSv(y·man) ⁻¹	%
Iodine	-	-	3.15×10 ⁻⁷	0.17	1.17×10 ⁻⁸	0.01	4.51×10 ⁻⁶	3.63
Particulate	2.54×10 ⁻⁶	11.31	1.66×10 ⁻⁴	89.87	2.55×10 ⁻⁴	81.76	2.54×10 ⁻⁵	20.43
³ H	1.99×10 ⁻⁵	88.69	1.84×10 ⁻⁵	9.96	5.69×10 ⁻⁵	18.23	9.43×10 ⁻⁵	75.95
Total	2.25×10 ⁻⁵	100.00	1.85×10 ⁻⁴	100.00	3.12×10 ⁻⁴	100.00	1.24×10 ⁻⁴	100.00
Dose per Unit	4.76×10 ⁻⁶	-	3.12×10 ⁻⁵	-	7.80×10 ⁻⁵	-	2.62×10 ⁻⁵	-
Percent of Dose Limit(1 mSv·y ⁻¹)	-	2.25×10 ⁻³	-	0.02	-	0.03	-	0.01

3.3 국내원전의 배출관리 및 선량특성에 대한 고찰

국내원전의 부지별 배출된 기체 방사성유출물은 울진 원전이 연평균 12.30 TBq로 최소를 보였으며, 고리원전은 25.96 TBq, 영광원전은 20.39 TBq, 월성원전이 최대인 369.69 TBq로 나타났다. 이러한 배경에는 중수로원전의 배출 특성 이외에 경수로원전의 노후 정도와 부지별 가동되는 호기수의 차이에 따른 것으로 판단되었다. 국내원전별 기체 방사성유출물에 의한 배출 방사능을 표 3에 나타내었다.

2001년부터 2010년까지 국내 경수로원전의 연평균 기체 방사성유출물의 방사능량은 19.55 TBq로 나타났다. 이에 비해 중수로원전 방사성유출물의 양은 경수로원전의 방사성유출물 양에 비해 약 20배 정도 높게 배출되는 경향을 보였다. 이와 같이 월성원전의 배출 방사성유출물의 총량이 높은 이유는 앞서 기술한 바와 같이, 냉각재와 감속제로 사용된 중수의 중성자 방사화 과정에서 다량 생성된 삼중수소의 배출에 의한 것이다[13]. 한편, 기체 방사성유출물에 의한 일반인 선량은 울진원전이 연평균 3.83×10⁻³ mSv(y·man)⁻¹로 가장 낮은 값을 보였으며, 고리원전은 5.03×10⁻³ mSv(y·man)⁻¹, 영광원전은 4.86×10⁻³ mSv(y·man)⁻¹, 월성원전이 5.35×10⁻³ mSv(y·man)⁻¹로 나타났다. 이들 일반인 선량의 분포 역시 미국원전이나 캐

나다원전의 일반인 선량 분포와 유사한 경향을 보이는 것으로 확인되었다[13-17]. 국내원전의 기체 방사성유출물에 의한 일반인 선량을 표 4에 나타내었다.

원전 부지별 액체 방사성유출물의 방사능량은 고리원전이 연평균 16.34 TBq로 최소를 보였으며, 울진원전은 49.50 TBq, 영광원전은 55.31 TBq, 월성원전이 102.78 TBq로 나타났다. 이에 따른 일반인 선량은 고리원전이 연평균 2.25×10⁻⁵ mSv(y·man)⁻¹로 가장 낮은 값을 보였으며, 울진원전은 1.24×10⁻⁴ mSv(y·man)⁻¹, 영광원전은 1.85×10⁻⁴ mSv(y·man)⁻¹, 월성원전이 가장 높은 값인 3.12×10⁻⁴ mSv(y·man)⁻¹을 보여주었다.

경수로원전의 호기당 기체와 액체 방사성유출물을 합한 연평균 총배출 방사능량은 11.61 TBq이고 중수로원전의 호기당 연평균 총배출 방사능량은 118.12 TBq로 중수로원전이 약 10배 높게 나타났다. 이에 따른 경수로원전의 호기당 일반인 선량은 9.21×10⁻⁴ mSv(y·man)⁻¹이고 중수로원전의 호기당 일반인 선량은 1.42×10⁻³ mSv(y·man)⁻¹로서 연간 일반인 유효선량 한도의 법적기준치 1 mSv 대비 약 0.57% 수준으로 나타났다. 이와 같이 중수로형 원전의 배출량이 경수로형 원전에 비해 상대적으로 많음에도 일반인 선량평가 결과가 유사하게 나타난 것은 주민선량을 평가하는 주요 입력변수인 대기확산인자의

산정방법에서 차이가 있었기 때문이다[3,12].

2012년부터 국내 경수로원전에서는 기체 방사성유출물에 대한 ^{14}C 감시를 수행 중에 있다. 월성원전의 방사성유출물 감시결과에서 알 수 있듯이 ^{14}C 핵종은 일반인 선량에 기여가 큰 핵종으로, 향후 이를 철저히 감시하여야 할 것으로 보인다[18]. 최근 국제방사선방호위원회의 ICRP-103 신권고에서 일반인의 방사성유출물에 대한 선량제약치를 권고함에 따라, 한국원자력안전기술원에서는 일부 항목에 대해서 이미 규제기준으로 제정하였거나, 추가로 원자력안전법령에 반영하기 위해 검토 중에 있다 [19-21]. 또한 미국원자력위원회에서도 2009년 원전 방사성유출물 감시지침을 개정한 바 있다[22]. 이처럼 원전 방사성유출물에 대한 규제는 지속적으로 강화되고 있는 추세이다. 이러한 점을 고려하여 원전의 방사성유출물에 대한 합리적인 감시방안 수립을 위한 기술개발을 추진 중에 있다[23].

4. 결론

국내원전의 2001년부터 2010년까지 기체 및 액체 방사성유출물의 배출현황을 분석하였다. 그 결과 중수로원전의 기체나 액체 방사성유출물 배출량이 경수로원전에 비해 높게 나타났다. 한편, 방사성핵종은 원전별로 약간의 차이는 있으나 기체나 액체 방사성유출물 모두 삼중수소가 주요 배출 핵종이었다. 이에 따른 원전주변의 일반인 선량도 대부분 삼중수소에 기인하고 있는 것으로 확인되었다.

한편, 국내원전의 배출현황은 방사성유출물 감시 규제기준에 비해 훨씬 낮게 유지하고 있는 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고, 국내원전에서는 방사성유출물을 지속적으로 저감하고자 이에 대해 노력하고 있다. 또한 국내외적인 방사선방호 기준의 개정을 고려하여 기술개발을 추진 중에 있고, 해외원전의 방사성유출물 저감 사례를 반영하기 위한 검토를 진행 중에 있다. 이에 따라 국내원전의 방사성유출물 배출량은 지속적으로 낮게 유지될 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 논문은 한국수력원자력(주)의 연구개발사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 한국수력원자력(주), Available at <http://www.khnp.co.kr/nuclear/020100/jsp/02010000>. Updated April 2012.
2. 한국수력원자력(주). 원전 방사선관리연보. (2001-2010년도 연보). 2010.
3. 한국수력원자력(주). 원자력발전소 주변 환경방사능 조사 및 평가 보고서. (2001-2010년도 연보). 2010.
4. 원자력안전위원회. 고시 제2011-29호(방사.001) 방사선방호 등에 관한 기준. 2011.
5. 한국수력원자력(주). 울진 5,6호기 최종안전성분석보

- 고서. 2010.
6. 한국수력원자력(주). 영광 3,4호기 최종안전성분석보고서. 2010.
7. 한국수력원자력(주). 고리 3,4호기 최종안전성분석보고서. 2010.
8. 한국수력원자력(주). 울진 1,2호기 최종안전성분석보고서. 2010.
9. 한국수력원자력(주). 월성 3,4호기 최종안전성분석보고서. 2010.
10. 김희근, 공태영, 정우태, 김석태. 중수로원전 방사성유출물관리와 유도배출한계 설정방법에 대한 고찰, *Journal of Radiation Protection*. 2010;35(4):172-177.
11. 원자력안전위원회. 고시 제2011-05호(원자.007) 원자력이용시설 주변의 방사선환경 조사 및 방사선환경영향평가에 관한 고시. 2011.
12. 한국수력원자력(주). 원자력발전소 주변 주민선량계 산지침서, Rev.2. 2010.
13. Canadian Nuclear Safety Commission, Radioactive release data from Canadian nuclear power plants 2001-2010. INFO-0210/Rev.14. 2012.
14. Ontario Power Generation. 2006 Results of radiological environmental monitoring programs. N-REP-03481-10005-R001. 2007.
15. Harris JT, Miller DW. Radiological effluents released by U.S. commercial nuclear power plants from 1995-2005. *Health Phys*. 2008;95(6):734-743.
16. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Radioactive effluents from nuclear power plants, 2007 Annual Report. 2007.
17. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Radioactive effluents from nuclear power plants, 2008 Annual Report. 2008.
18. 한국수력원자력(주). ICRP-103 방사선방호 신권고의 원자력시설 인프라구축 연구과제 최종보고서(경수로원전의 C-14 감시계획). 2012.
19. International Commission on Radiological Protection. 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Oxford; Pergamon Press. 2007.
20. 한국원자력안전기술원. KINS 규제기준 13.7 선량제약치, 13.8 대표인, 13.9 참조준위. 2010.
21. 조건우. IAEA BSS 개정현황 및 ICRP-103 국내제도화 방향(제14차 피폭방사선량평가 워크샵). 문경 STX 리조트. 2010.
22. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Measuring, evaluating, and reporting radioactive material in liquid and gaseous effluents and solid waste. Regulatory Guide 1.21, Rev.2. 2009.
23. 한국수력원자력(주). 원전 방사성유출물 배출감시 최적 기술개발. 2012년 연구개발 계획. 2012.

A Review and Characteristics for Radioactive Effluents from the Nuclear Power Plants in Korea

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

Abstract - As of the end of 2010, 21 nuclear power reactors were operating in Korea. Radioactive effluents from nuclear power plants (NPPs) had been increased continuously and the radioactivity of effluents released in 2010 was 547.12 TBq. From 2001 to 2010, the annual average radioactivity of gaseous and liquid effluents per reactor was 11.61 TBq for pressurized water reactor (PWR) plants and 118.12 TBq for PHWR (pressurized heavy water reactor) plants. Most of the radioactivity from gaseous and liquid effluents was came from ^3H . Based on the results of release trends and analysis, effluents characteristics was suggested for the management of radioactive effluents from NPPs.

Keywords : Radioactive effluents, Tritium, Iodine, Particulate, Noble gases, Public dose