

중수로원전 방사성유출물 관리와 유도배출한계 설정방법에 대한 고찰

김희근, 공태영, 정우태, 김석태
한전 전력연구원

2010년 8월 23일 접수 / 2010년 11월 22일 1차수정 / 2010년 12월 16일 2차수정 / 2010년 12월 17일 채택

중수로원전에서 환경으로 배출되는 방사성유출물의 양은 경수로원전에 비해 상대적으로 많고, 방사성유출물을 계속적으로 배출하는 연속배출(Continuous release) 방식으로 운용되고 있다. 이 때문에 원자로건물 배기 굴뚝(Stack) 등 주요 배출지점에 방사선검출기(Radiation detector)를 설치하여 방사성유출물의 농도를 실시간으로 감시하고 있다. 또한 방사성핵종 별로 연간 배출 가능한 유도배출한계(Derived Release Limits: DRLs)를 정하고, 이들 설정 값을 초과하지 않도록 엄격하게 관리하고 있다. 본 논문은 중수로원전 방사성유출물에 대한 배출관리 방식, 유도배출한계의 설정기준, 설정 방법론과 설정 현황을 조사하여 검토하였다.

중심단어: 중수로원전, 방사성유출물, 유도배출한계, 핵종농도법, 원소형 삼중수소

1. 서론

원전으로부터 환경으로 배출되는 기체나 액체 방사성 유출물은 원전 주변에 거주하는 일반인에게 공기 중에 존재하는 방사성물질의 흡입 또는 방사성물질로 오염된 음식물의 섭취 등의 피폭경로(Exposure pathway)를 통해 방사선피폭을 유발할 수 있다. 따라서 원전에서 배출되는 방사성유출물에 의해 원전주변 주민에 대한 방사선피폭이 합리적으로 달성 가능한 낮게(As Low As Reasonably Achievable: ALARA) 유지되도록 관리하고 있다[1]. 또한 어떠한 경우에도 일반인에 대한 법적 선량한도(Dose limit)를 초과하지 않도록 배출이 엄격히 제한된다.

중수로 원전은 기체 방사성유출물을 환경으로 연속배출(Continuous release)하는 방식으로, 그 배출량 또한 상대적으로 경수로원전에 비해 많기 때문에 방사성물질의 배출감시(Release monitoring)가 더욱 중요하다[2]. 이를 위해 원자력법에서 정하는 배출관리기준(ECL)을 준수하고 있으며, 이외 핵종별 배출량을 별도로 정하고 있다. 또한 원자로건물 배기 굴뚝(Stack) 등의 주요 배출지점에는 경수로원전 등과 같이 방사선감시기(Radiation monitor)를 설치하여 배출에 따른 방사성유출물을 실시간으로 감시하고 있다[2].

중수로원전에서 각 방사성핵종별로 정하는 월간 또는 연간 배출할 수 있는 방사성유출물의 배출총량을 유도배출한계(Derived Release Limits: DRLs)라고 정의한다[3]. 이러한 방사성핵종별로 설정된 유도배출한계는 일반인에

대한 법적 선량한도에 이르게 할 수 있는 단일 방사성핵종에 대한 연간 최대 배출량을 의미한다. 그런데 원전에서 배출되는 방사성핵종은 혼합핵종이므로, 다수 혼합 방사성핵종의 동시 배출에 따른 일반인 선량한도를 초과하지 않도록, 각 방사성핵종별로 유도배출한계의 1-5% 범위에서 별도로 운전 목표치(Operating targets)나 월간 또는 연간 목표배출량을 설정하여 운영하고 있다[4,5]. 이러한 중수로원전의 유도배출한계 설정과 운영은 연속배출 등을 고려한 중수로원전 고유의 특성으로, 보다 엄격한 방사성유출물의 관리를 위한 조치로 여겨진다.

본 논문은 중수로원전의 연속 배출관리 방식과 이를 감시하는 설비에 대해 간략히 조사하였다. 또한 중수로원전에만 적용되고 있는 유도배출한계 설정기준과 설정 방법론에 대해 검토하였고, 국내외 원전의 유도배출한계의 설정현황을 비교하였다.

2. 재료 및 방법

가. 중수로원전의 배출관리 특성

원전에서 방사성유출물을 배출하는 방식은 크게 배치배출(Batch release)과 연속배출로 나누어진다. 배치배출은 발생하는 방사성유출물을 수집, 저장탱크 등을 이용하여 저장하였다가 필요한 시점에 배출함으로써 배출관리가 효과적으로 가능한 방식이다. 이러한 배치배출은 경수로원전의 격납건물의 기체 방사성유출물관리 등에 적용되고 있다. 이에 비해 연속배출은 발생된 방사성유출물을 수집탱크 등에 저장·지연하지 않고 계속적으로 배출하

책임저자 : 김희근, hkkim@kepri.re.kr
대전시 유성구 문지동 103-16

는 방식이다. 이때 발생하는 방사성유출물은 시료채집이나 방사선감시기를 이용하여 배출한도를 초과하지 않도록 방사성물질의 농도를 감시하고 있다[6]. 연속배출은 중수로원전의 기체 방사성유출물의 배출에 적용되고 있다. 이에 비해 액체방사성유출물은 중수로원전이나 경수로원전에서 배치배출 형식을 취하고 있다.

중수로원전의 기체방사성유출물은 원자로건물 배기 굴뚝을 통해 배출되는데, 배출지점에서 환경으로 최종 배출 전에 방사능농도를 측정하거나, 일부 핵종의 경우 배출량

을 계속 감시하고 있다. 표 1에 월성 1호기의 방사성유출물의 시료채취지점, 주기, 분석형태와 검출준위 등을 나타내었다[4,5]. 한편, 원전 방사선관리구역의 방사선량율이나 공기중 방사성물질의 농도를 감시하고, 배출지점에서 방사성유출물의 농도를 감시하기위해 방사선감시계통(Radiation Monitoring System: RMS)이 설치되어 있다. 이들 월성 1호기 방사선감시계통의 운전제한조건 및 점검요건은 표 2와 같다[5].

Table 1. Sampling, Radionuclides, and Lower Limit of Detection of Radioactive Effluents from a PHWR (Wolsong NPP Unit 1).

Monitoring Locations or Systems	Sampling Sites	Frequency	Radionuclide	LLD(Bqm ⁻³)
Liquid Waste Tank	Sampling Sink	Before Discharge	Gamma	1.85 x 10 ⁴
			³ H	3.7 x 10 ⁵
	Area for Representative Samples	Month	Pure Alpha	3.7 x 10 ³
		Quarter	⁸⁹ Sr, ⁹⁰ Sr	1.85 x 10 ³
Steam Generator Blow-down Water	Basement of Turbine Building Sampling Sink	Week	Gamma	1.85 x 10 ⁴
			³ H	3.7 x 10 ⁵
Turbine Building Sump	Sump at Turbine Building	Month	Gamma	1.85 x 10 ⁴
			³ H	3.7 x 10 ⁵
Gaseous Effluent Monitor (Particulate Filter)	Gaseous Effluent Monitor	Week	Gamma	3.7 x 10 ¹
Gaseous Effluent Monitor (Iodine Filter)	Gaseous Effluent Monitor	Week	Gamma	3.7
Gaseous Effluent Monitor (Tritium Bubbler)	Gaseous Effluent Monitor	Day	³ H	3.7 x 10 ⁴
Gaseous Effluent Monitor (Carbon-14 Bubbler)	Gaseous Effluent Monitor	Month	¹⁴ C	3.7 x 10 ⁴
Containment Stack	Gaseous Effluent Monitor	Day	Gamma	3.7 x 10 ⁶

Table 2. Radiation Monitoring Systems at a PHWR (Wolsong NPP Unit 1).

No.	Monitoring Systems	Channel	Operation Type	Detection Range	Alarm Set-point
1	Fixed Area Monitor	Area Gamma Rate	Continuous	10 ⁻¹ ~ 10 ⁵ mRh ⁻¹	Depending on the Adjacent Dose
2	Airborne Tritium Monitor	Airborne Tritium	Batch	0 ~ 3.7×10 ⁵ Bqm ⁻³	Depending on the Airborne Concentration
3	Gaseous Effluent Monitor	Noble Gas	Continuous	7.4×10 ⁻² ~ 7.4×10 ⁴ Bqcc ⁻¹	2.2×10 ¹² Bq-MeVd ⁻¹
		Particle	Continuous	1.4×10 ⁻⁷ ~ 1.4×10 ⁻¹ Bqcc ⁻¹	2.40×10 ⁸ Bq-MeVd ⁻¹
		Iodine	Continuous	5.9×10 ⁻³ ~ 5.9×10 ⁻² Bqcc ⁻¹	1.44×10 ¹⁰ Bq-MeVd ⁻¹
4	Gaseous Effluent Monitor at Reactor Building	Noble Gas	Continuous	7.4×10 ⁻² ~ 7.4×10 ⁴ Bqcc ⁻¹	2.2×10 ¹⁰ Bqcc ⁻¹
		Particle	Continuous	1.4 × 10 ⁻⁷ ~ 1.4×10 ⁻¹ Bqcc ⁻¹	1.3×10 ⁻³ Bqcc ⁻¹
		Iodine	Continuous	5.9×10 ⁻³ ~ 5.9×10 ⁻² Bqcc ⁻¹	4.1×10 ⁻³ Bqcc ⁻¹
5	Liquid Effluent Monitor	Liquid (Pure Beta, Gamma)	Continuous	7.4×10 ⁻¹ ~ 7.4×10 ³ Bqcc ⁻¹	ECL × Dilution Factor

나. 일반인 선량한도와 배출관리기준의 변경

국내에서는 2003년 이후 ICRP-60이 국내 원자력법령에 반영되어 시행중에 있다[7,8]. 이에 따라 방사선가중계수(W_R)와 조직가중계수(W_T)가 ICRP-60의 방사선방호 지침을 기준으로 변경되었으며, 방사선방호량으로 이들 W_R과 W_T에 근거를 둔 유효선량(Effective dose)이 적용되고

있다. 이러한 가중계수는 중수로원전의 유도배출한계 설정이나 일반인 선량평가 등에 적용되고 있다[7].

한편, 국내 원자력법령에서 일반인 선량한도는 ICRP-60의 권고를 수용하여 2003년 이전에 5 mSvy⁻¹에서 1 mSvy⁻¹으로 변경되었다. 하향 조정된 일반인 선량한도에 상응하여 최대허용농도(Maximum Permissible Con-

centrations: MPCs)가 배출관리기준(Effluent Control Limits: ECLs)으로 변경되어 새로이 설정되었고, 교육과학기술부 고시의 첨부물로 반영되었다[7]. 이러한 일반인 선량한도와 배출관리기준을 근거로 중수로원전 유도배출한계를 새로이 설정하였으며, 이러한 결과는 2004년 월성원전의 운영기술지침서(Technical specifications)와 최종안전성분석보고서(Final Safety Analysis Report: FSAR) 등에 반영되었다[4,5].

다. 유도배출한계 설정방법과 현황

중수로원전에서 유도배출한계는 환경으로 배출되는 방사성유출물의 배출에 따라 일반인 선량한도를 초과하지 않도록 설정되는 방사성핵종의 배출 총량으로 정의된다 [3]. 이러한 유도배출한계의 설정에는 여러 가지 불확실성을 고려하여 단일 방사성핵종의 배출량으로 정의하며, 총량의 일정비율(1~5%)을 운전목표치로 설정하고 있다 [4,5]. 이렇게 설정된 유도배출한계는 운영기술지침서와 최종안전성분석보고서에 반영되었다[4,5]. 이러한 유도배출한계의 설정방법에는 배출관리기준을 기준으로 설정하는 핵종농도방법과 각 방사성핵종의 배출에 따른 환경 매질에서의 피폭경로를 고려하는 시스템분석방법으로 구분된다[2].

핵종농도법은 과거에 최대허용농도(MPC)를 기준으로 하고 있기 때문에 MPC 분석법으로 잘 알려져 있다. 이 방법은 피폭대상에 대해 법적으로 설정된 최대허용농도를 초과하지 않도록 유도배출한계를 설정하여 방사성물질의 배출을 제어하는 것이다[2]. 이러한 핵종농도법은 특정 환경조건을 세밀히 고찰하여 얻는 것이 아니라, 광범위한 피폭경로를 일반화하여 도출하는 방법이다. 따라서 식수나 공기와 같은 비교적 단순한 피폭경로에 관해서는 적절한 방법이나, 환경 매질의 먹이사슬(Food chain)이나 복잡한 피폭경로에 관한 상황을 적절히 고려하기에는 부적절한 면이 있다. 따라서 이 방법을 적용할 경우 여유도(Margin)를 크게 잡는 것이 일반적이다. 핵종농도법에 의한 유도배출한계 설정방법은 아래와 같이 산정한다[2].

$$DRL_a^i = \frac{ECL_a^i(\text{or } MPC_a^i)}{X/Q} \quad (1)$$

$$DRL_w^i = ECL_w^i(\text{or } MPC_w^i) \times F \quad (2)$$

여기서,
 ECL_i, MPC_i = 공기/수중에서 핵종 i 의 배출관리기준 혹은 최대허용농도(Bqm^{-3})
 X/Q = 대기확산인자(sm^{-3})
 F = 배출유량(회석수량)($m^3 s^{-1}$)

이에 비해 시스템분석법은 방사성물질이 원전에서 배출되어 인체에 피폭을 주는 모든 피폭경로를 고려하는 방법이다. 즉, 방사성핵종이 배출된 후 호흡에 의한 내부피폭, 토양침적에 따른 외부피폭, 동식물 전이 농축과 섭취에 따른 내부피폭 등 아주 복잡한 경로(Pathway)를 모두 고려하는 것이다. 이러한 과정에는 다양한 사회환경인자 등을 필요로 하며, 또한 모든 피폭경로를 고려하여 선량

을 평가하기 위해서 별도의 전산프로그램이 필요하다. 따라서 복잡한 경로를 적절히 모사함으로써 각 경로별 피폭선량을 모두 계산할 수 있으며, 결정경로에 대한 해석까지 가능하게 할 수가 있다. 이에 비해 다양한 피폭경로의 해석과 각 사회환경인자의 수집 등에서 발생하는 불확실성은 여전히 존재하게 된다[3,9].

시스템분석법을 이용하여 원전에서 방출되는 방사성핵종 i 에 대한 연평균 g 의 선량(E_g^i)은 식(3)과 같이 계산할 수 있다[3].

$$E_g^i = D_g^i F_i \quad (3)$$

여기서, E_g^i = 방사성핵종 i 에 대한 연평균 g 의 유효선량($Sv y^{-1}$)
 D_g^i = 핵종 i 의 단위 배출과정에서 피폭연평균 g 가 받는 선량($Sv Bq^{-1}$)
 (즉, 외부피폭, 섭취 및 흡입에 의한 피폭을 모두 고려)
 F_i = 핵종 i 의 배출량($Bq y^{-1}$)

방사성핵종 i 의 단위 배출과정에서 피폭연평균 g 에서의 최대 피폭방사선량을 D_{max}^i 라 정의하고, 일반인에 대한 연간선량한도를 ADL (Annual Dose Limit)이라 할 때, 핵종 i 에 대한 연간 유도배출한계(DRL)는 식(4)와 같이 계산될 수 있다[3].

$$DRL_i = \frac{ADL}{D_{max}^i} \quad (4)$$

여기서, DRL_i = 핵종 i 에 대한 연간 유도배출한계 ($Bq y^{-1}$)
 ADL = 일반인에 대한 연간선량한도($Sv y^{-1}$)
 D_{max}^i = 방사성핵종 i 의 단위 배출과정에서 피폭연평균 g 에서의 최대 피폭방사선량 ($Sv Bq^{-1}$)

위 식 (4)에 따르면, 방사성핵종 i 를 유도배출한계 만큼 환경으로 배출하면 원전 부지경계선에서 거주하는 일반인은 연간 법적선량한도에 도달하게 된다. 결과적으로 다른 방사성핵종은 배출할 수 없게 된다. 그러므로 원전의 유출물관리에서 배출 예상핵종의 실제 배출량과 유도배출한계의 총 분율이 1을 넘지 않도록 운영되고 있다.

$$\sum_i \frac{R_i}{DRL_i} \leq 1 \quad (5)$$

여기서, R_i = 핵종 i 의 실제 배출량

일반적으로 중수로원전에서는 유도배출한계의 1~5%를 운전목표치(R_{Opt})로 설정하여 운영하고 있다. 이는 다수 핵종의 배출 등에 따른 방사선관리에서 야기되는 불확실성을 피하며, 원전의 방사선관리를 보수적으로 운영함

을 의미한다. 한편, 이러한 내용은 2004년 이후 기체유출물의 경우 일일 1% DRLs에 대해 5% DRLs로 변경되었고, 일일 운전목표값 대신에 월간 배출목표 값을 설정하여 운영하고 있다[4,5].

$$R_{O,T}^i = 0.01 DRL_i \quad (2004\text{년 이전}) \quad (6)$$

$$R_{O,T}^i = 0.05 DRL_i \quad (2004\text{년 이후}) \quad (7)$$

라. 국내 중수로원전의 유도배출한계 설정현황

2004년 개정된 유도배출한계 설정과정에서는 일반인 선량한도 1 mSv⁻¹와 이에 상응하는 배출관리기준을 기준으로 하였고, 최종안전성분석보고서 등에서 규정하고 있는 핵종농도법을 계속 적용하여 유도배출한계를 설정하였다[4,5]. 기체 방사성유출물에 대한 유도배출한계는 표 3에, 액체 방사성유출물에 대한 유도배출한계는 표 4에 제시하였다[4,5].

Table 3. Derived Release Limits (DRLs) for Gaseous Radioactive Effluents at Wolsong NPP Unit 1.

Radionuclide	ECLs for Discharge (Bqm ⁻³)	DRLs	
		Bqmonth ⁻¹	Bqy ⁻¹
Noble Gas	4.7×10 ² (Bq-MeVm ⁻³)	1.35×10 ¹⁵ (Bq-MeV)	1.6 x 10 ¹⁶ (Bq-MeV)
³ H	3×10 ³	8.75×10 ¹⁵	1.05×10 ¹⁷
¹³¹ I	3×10 ⁰	8.75×10 ¹²	1.05×10 ¹⁴
Particle	5×10 ⁻²	1.46×10 ¹¹	1.75×10 ¹²

Table 4. Derived Release Limits (DRLs) for Liquid Radioactive Effluents at Wolsong NPP Unit 1.

Radionuclide	ECLs for Discharge (Bqm ⁻³)	DRLs	
		Bqmonth ⁻¹	Bqy ⁻¹
³ H (HTO)	4×10 ⁷	2.92×10 ¹⁵	3.48×10 ¹⁶
¹³¹ I (All Compounds)	3×10 ⁴	2.19×10 ¹²	2.61×10 ¹³
¹³⁷ Cs (All Compounds)	5×10 ⁴	3.65×10 ¹²	4.35×10 ¹³
¹³⁴ Cs (All Compounds)	4×10 ⁴	2.92×10 ¹²	3.48×10 ¹³
⁹⁰ Sr (Etc. All Compounds)	2×10 ⁴	1.46×10 ¹²	1.74×10 ¹³
⁸⁹ Sr (Etc. All Compounds)	3×10 ⁵	2.19×10 ¹³	2.61×10 ¹⁴
⁶⁰ Co (Etc. All Compounds)	2×10 ⁵	1.46×10 ¹³	1.74×10 ¹⁴
¹⁴⁰ Ba (All Compounds)	3×10 ⁵	2.19×10 ¹³	2.61×10 ¹⁴
¹⁴⁰ La (All Compounds)	3×10 ⁵	2.19×10 ¹³	2.61×10 ¹⁴
¹⁰⁶ Ru (All Compounds)	1×10 ⁵	7.30×10 ¹²	8.70×10 ¹³
⁹⁵ Zr (All Compounds)	8×10 ⁵	5.84×10 ¹³	6.96×10 ¹⁴
⁹⁵ Nb (All Compounds)	1×10 ⁶	7.30×10 ¹³	8.70×10 ¹⁴
¹⁴⁴ Ce (All Compounds)	1×10 ⁵	7.30×10 ¹²	8.70×10 ¹³
⁶⁵ Zn (All Compounds)	2×10 ⁵	1.46×10 ¹³	1.74×10 ¹⁴
⁵⁹ Fe (All Compounds)	4×10 ⁵	2.92×10 ¹³	3.48×10 ¹⁴
Total Beta-Gamma Activity	5×10 ⁴	3.65×10 ¹²	4.35×10 ¹³

핵종분석법에 근거한 유도배출한계 설정과정에는 각 방사성핵종의 배출관리기준 외에 대기확산인자와 희석유량이 중요한 변수이다. 월성원전의 운영기술지침서나 최종안전성분석보고서에 따라 대기확산인자(X/Q) 8.64×10⁻⁷sm⁻³을 적용하였다[4,5]. 한편, 기기냉각해수(Component Cooling Water: CCW)의 희석수 유량은 각각 8.7×10⁸ m³y⁻¹과 7.3×10⁷ m³month⁻¹을 적용하였다[4,5].

마. 외국원전의 유도배출한계 설정현황과 비교

캐나다의 Point Lepreau, Gently, Bruce-A, Bruce-B,

Pickering-A, Pickering-B, Darlington 원전에서도 방사성 유출물의 엄격한 관리를 위해 국내원전과 유사하게 유도배출한계를 적절히 설정하여 운영하고 있다[10]. 기체 방사성유출물에 대해서는 수증기형 삼중수소(Tritiated water vapor), 불활성가스(Noble gases), 요오드(¹³¹I), 입자방사성물질(Particulate), Carbon-14 등에 대해 설정하고 있다. 액체상에서 설정하는 핵종으로는 수증기형 삼중수소(TWV), 전베타 감마 방사능(Gross beta-gamma activity), Carbon-14 등에 대해 설정하고 있다. 이를 표 5와 표 6에 나타내었다[10].

Table 5. DRLs for Gaseous Effluents (Including Elemental Tritium) in Canadian NPPs.

Nuclear Generating Station	Tritium* (TBq)	Iodine-131 (TBq)	Noble Gases (TBq-MeV) †	Particulates (TBq)	Carbon-14 (TBq)
Point Lepreau	4.3×10 ⁵	9.9	7.3×10 ⁴	5.2	⁽¹⁾ 3.3×10 ³
Bruce-A	8.8×10 ⁴	1.2	5.0×10 ⁴	2.1	5.7×10 ²
Bruce-B	9.3×10 ⁴	1.3	1.2×10 ⁵	2.5	6.0×10 ²
Darlington	4.6×10 ⁴	3.3×10 ⁻¹	3.1×10 ⁴	9.4×10 ⁻¹	1.5×10 ²
	(HTO)				
	4.6×10 ⁵				
	(HT) ‡				
Pickering-A	7.0×10 ⁴	2.2	1.7×10 ⁴	1.2	1.8×10 ³
Pickering-B	7.0×10 ⁴	2.2	1.7×10 ⁴	1.2	1.8×10 ³
Gentilly-2	4.4×10 ⁵	1.3	1.7×10 ⁵	1.9	9.1×10 ²

* Tritium water vapour (HTO).

† TBq= 1012Bq, TBq-MeV (Terabecquerel-million electron volts).

‡ Derived release limit for elemental tritium (HT) resulting from the tritium removal facility at Darlington nuclear generating station.

Table 6. DRLs for liquid effluents in Canadian NPPs.

Nuclear Generating Station	Tritium* (TBq)	Gross beta-gamma activity (TBq)	Carbon-14 (TBq)
Point Lepreau †	1.6×10 ⁵	1.2×10 ¹	3.0×10 ²
Bruce-A ‡	4.5×10 ⁴	5.8×10 ⁻¹	1.1×10 ¹
Bruce-B	6.0×10 ⁴	4.9	9.1×10 ¹
Darlington	8.8×10 ⁵	2.6×10 ¹	6.0×10 ²
Pickering-A	1.7×10 ⁵	2.0	2.6×10 ¹
Pickering-B	1.7×10 ⁵	2.0	2.6×10 ¹
Gentilly-2	1.2×10 ⁶	5.3	1.0×10 ²

* Tritium water vapour(HTO)

† The derived release limit for tritium in liquid release at Point Lepreau is higher than for the other nuclear generating stations because the effluent is discharged to sea water, thus eliminating the drinking water pathway to humans.

‡ The liquid DRLs for Bruce-A provided here are based on one condenser cooling water pump operating. Other liquid DRLs are available for 2, 3 or 12 pumps operating.

캐나다 원전의 DRL 설정에서는 ICRP-60의 일반인 선량 한도 1mSv⁻¹를 기준으로 하고 있다. 설정방법은 시스템 분석법을 적용하며, 캐나다 표준협회(Canadian Standard Association: CSA)에서 제정한 유도배출한계 계산지침인 CAN/CSA_N288.1-M87을 기준으로 하고 있다[10,11]. 한편, 캐나다 원전의 경우도 설정된 DRL에 대해 5%를 원전의 운전목표 값으로 설정하여 배출관리에 적용 중에 있다 [10]. 캐나다 원전의 DRL 설정현황은 표 5와 표 6에 나타내었다.

한편, 삼중수소 제거시설(Tritium Removal Facility: TRF)에서 주로 발생하는 원소형 삼중수소(Elemental tritium)의 유도배출한계에 대해 조사하였다. 기체 방사성 물질의 경우 삼중수소제거시설을 운영하고 있는 Darlington 원전에서는 4.6×10⁵ TBq (4.6×10¹⁷ Bq)로 설정하고 있다[10]. 다른 원전에서는 TRF를 운영하고 있지 않기 때문에 원소형 삼중수소에 대한 유도배출한계는 설정하지 않고 있다. 한편, 액체 방사성물질의 경우 캐나다의 여타 원전에서도 원소형 삼중수소에 대한 유도배출한계를 설정하지 않고 있다.

3. 결론

지금까지 본 논문에서는 국내 중수로원전의 방사성유출물 특성과 관리방법, 유도배출한계 설정기준과 설정방법, 그리고 설정 현황을 살펴보았다. 또한 캐나다 원전의 유도배출한계 설정현황을 조사하여 제시하였다. 2007년 이후 월성원전에서는 삼중수소 제거시설을 월성원전의 추가설비로 운영 중에 있다. 삼중수소 제거시설에서는 원전에서 주로 발생하는 수증기형 삼중수소 외에 원소형 삼중수소가 추가로 발생되고 있다. 따라서 방사성유출물관리에는 기존 감시항목 외에 원소형 삼중수소가 추가되어야 하며, 향후 이에 대한 유도배출한계를 설정하여 제시할 예정이다.

감사의 글

본 논문은 한국수력원자력(주) 안전기술처와 한전전력 연구원의 전력사 공동중장기 연구 개발사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 원자력법. 제97조 방사선장해 방지조치. 교육과학기술부. 2009.
2. 교육과학기술부. 중수로원전 유출물감시기 경보설정 및 주민선량 평가체계 개선 기술 개발. 한전전력연구원. 2007
3. 교육과학기술부. 원전 방사성유출물 평가 및 관리 기술개발. 한전전력연구원. 2005.
4. 한국수력원자력(주). 월성1호기 운영기술지침서. 2004.
5. 한국수력원자력(주). 월성1호기 최종안전성분석보고서. 2004.
6. Ken Sejkora. RETS-REMP (Radiological Effluents Technical Specifications - Radilological Environmental Monitoring Program) Program in USA. 2001.
7. 교육과학기술부. 고시 제2008-31호: 방사선방호등에 관한 기준 고시, 2008.
8. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60 : 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press, 1991.
9. Stantec Consulting Ltd. IMPACT User Manual. Version 4.0. 2004.
10. Whillans DW. Ontario Power Generation (OPG) 국외전문가 자문 결과 보고서. 한전전력연구원. 2003-2007.
11. Canadian Standards Association. Guidelines for Calculating Derived Release Limits for Radioactive Material in Airborne and Liquid Effluents for Normal Operation of Nuclear Facilities. CAN/CSA-N288.1-M87, 1987.

Review on the Management for Radioactive Effluent and Methodology for Setting of Derived Release Limits at Pressurized Heavy Water Reactors in Korea

Hee-Geun Kim, Tae-Young Kong, Woo-Tae Jeong, and Seok-Tae Kim
KKEPCO Research Institute

Abstract - The radioactive effluents from pressurized heavy water reactors (PHWRs) are relatively larger than those from pressurized water reactors (PWRs). Furthermore, radioactive effluents from PHWRs are released continuously. Thus, the discharge of radioactive effluents is strictly controlled. To do this, radiation detectors are installed at stacks of reactor buildings to monitor the concentration of radioactive effluents in real-time. Derived release limits (DRLs) of annual discharge are also set up for each radionuclide and effluents are rigidly controlled not to exceed those limits. In this paper, the discharge process of radioactive effluents, the standard for establishment of DRL and its methodology, and current status for PHWRs were reviewed.

Keywords : Pressurized heavy water reactor, Radioactive effluents, Derived release limits, Radionuclide concentration method, Elemental tritium