대덕부지 원자력관련시설 운영에 따른 주민피폭선량 현황분석

정해선, 김은한, 정효준, 한문희, 박미선, 황원태
한국원자력연구원

2013년 12월 2일 접수 / 2014년 1월 10일 1차 수정 / 2014년 1월 28일 2차 수정 / 2014년 1월 29일 채택

본 연구에서는 대덕 원자력부지에 위치한 원자력관계시설들에 의한 방사선환경의 안전성을 확인하기 위해, 기체상 및 액체상 유출물에 의한 주민선량평가를 수행하였다. 이를 위해 2010년부터 2012년까지의 3년간 대덕부지의 기상자료 및 환경으로 방출된 선원항 자료를 기반으로 하여 개인 최대피폭선량을 평가, 분석하였다. 기체상 유출물의 대기확산인자 및 침적인자는 XOQDOQ 전산코드를 이용하여 계산하였다. 기체상과 액체상 방사성물질의 방출에 의한 최대개인선량(이하 개인선량)계산은 각각 ENDOS-G와 ENDOS-L 코드를 사용하였고, 원자력안전위원회 고시 제 2012-29에 제시된 부지당 연간기준치와 비교하였다. 최대피폭지점에서의 개인의 유효선량과 갑상선선량을 계산하였고, 이에 대한 피폭영향에 미치는 기여도를 분석하였다. 그 결과, 최대 피폭연령군은 소아로 평가되었으며 하나로 운영에 의한 영향이 90% 이상 지배적인 것으로 나타났다. 또한 기체상유출물에 의한 주요피폭경로는 섭취와 호흡에 의한 것이며, 유효선량에는 삼중수소가, 갑상선 등가선량에는 방사성옥소가 가장 영향을 많이 미치는 것으로 분석되었다. 선량평가 시 기체상유출물이 90% 이상 기여하였고 액체상유출물에 의한 기여도는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 결과적으로, 대덕부지의 원자력관계시설들에 의한 부지 내 개인선량은 최대 기준치의 3% 이내로 평가되어 환경에 미치는 영향이 매우 적은 것으로 확인되었다.

중심어: 대덕원자력시설, 최대개인선량, 기체상유출물, 액체상유출물

1. 서론

대덕 원자력부지는 대전광역시 유성구 덕진동에 위치하며 한국원자력연구원 및 한국원자력환경공단, 한전원자력연료를 포함한다. 각 기관 내에는 하나 이상 다양한 특성의 원자력 관련시설들이 운영되고 있으며, 국내 원자력 관련법규에 근거하여 시설의 운영중 방사성유출물 관리의 건전성을 입증해 오고 있다. 한국원자력연구원은 하나로 연구용 원자로(이하 하나로)를 포함한 조사후 시험시설, 방사성폐기물 처리시설, 자연증발시설, 고화폐기물 시험시설, 가연성폐기물 처리시설, 연구로용 연료 가공시설을, 한국원자력환경공단은 방사성동위원소 관리시설을, 한전원자력연료는 원전연료 가공시설과 열분해시설을 각각 운영중에 있다[1]. 각 시설에 따라 여러 종류의 방사성핵종들이 운영중 미량이지만 불가피하게 방출되기 때문에, 주민들의 불안감을 해소하고 시설운영의 신뢰성을 높이기 위해서는 이들에 대한 정량적 환경영향평가와 관리가 필요하다. 따라서, 대덕 원자력부지에 포함된 각 관련 시설들의 운영으로부터 발생된 환경방출 선원항으로 인한 주민선량을 계산하여, 원자력안전위원회고시 제 2012-29호 방사선방호 등에 관한 기준[2]에서 제시된 기준치와 비교가 필요하다.

본 논문에서는 2010년부터 2012년까지 최근 3년간 대덕부지에 위치한 모든 원자력 시설의 운영으로부터의 기체상/액체상 유출물에 따른 최대 개인의 유효선량과 갑상선선량을 계산하였고, 해당 기준치와 비교하였다. 또한, 이에 대한 피폭영향에 미치는 항목별 기여도를 분석하였다. 기체상 유출물의 대기확산인자와 침적인자 계산은 XOQDOQ 전산코드를 이용하였고, 기체상/액체상 유출물에 대한 선량평가로 각각 ENDOS-G와 ENDOS-L 코드를 사용하였다.

2. 재료와 방법

2.1. 방사성유출물의 환경방출

대덕 원자력부지에 위치한 주민선량평가를 위한 대상시설들을 Table 1에 나타내었다. Table 2에는 기체상 유출물을 방출하는 한국원자력연구원의 하나로를 비롯한 해당 원자력시설들에 대하여 2010년부터 2012년까지 환경으로 방출된 방사선원의 재고량을 제시하였다. 특히, 하나로는 최대 열출력 30 MW로 다양한 스펙트럼의 높은 중성자속을 제공하여 여러 시험에 이용될 수 있도록 설계

교신저자 : 정해선, haesunin@kaeri.re.kr
대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111 한국원자력연구원 (305-353)

Table 1. Representative Daedeok Nuclear Facility for Radiological Dose Analysis to the Public.

한국원자력연구원 운영시설
▪ 하나로 연구용 원자로 (HANARO Research Reactor) - 원자로실 (Reactor Hall) - 원자로 콘크리트 구조물 (Reactor Concrete Island) - 방사성동위원소생산시설 및 조사재시험시설 굴뚝 (Radioisotope Production Facility-Irradiated Material Examination Facility) - 보조굴뚝 (Sub-stack)
▪ 조사후연료시험시설 (Post-Irradiation Examination Facility)
▪ 방사성폐기물처리시설 (Radioactive Waste Treatment Facility)
▪ 자연증발처리시설 (Natural Evaporation Treatment Facility)
▪ 고화폐기물시험시설 (Solidified Waste Test Facility)
▪ 가연성폐기물처리시설 (Flammable Waste Treatment Facility)
▪ 연구로용 연료가공시설 (Nuclear Fuel Fabrication Facility for Research Reactor)
한국원자력환경공단 운영시설
▪ 방사성동위원소 폐기물관리시설 (Radioisotope Waste Management Facility)
한전원자력연료 운영시설
▪ 원전연료가공시설 핵연료1동 (Nuclear Fuel Fabrication Facility for Commercial Reactor 1)
▪ 원전연료가공시설 핵연료2동 (Nuclear Fuel Fabrication Facility for Commercial Reactor 2)
▪ 열분해시설 (Pirolysis Facility)

Table 2. Gaseous Radioactive Effluents Released from the Nuclear Facility in Daedeok Site from 2010 to 2012.

Source Zone		Nuclide	Environmental release (Bq/yr)			Release Mode
			2010	2011	2012	
HANARO	Reactor Hall	^{41}Ar	-	7.16E+09	5.25E+10	Elevated Release
		^{131}I	1.28E+05	3.08E+05	1.41E+06	
		^{132}I	-	-	2.09E+05	
		^{133}I	-	-	2.46E+05	
		^{3}H	2.89E+11	4.22E+11	5.45E+11	
	RCI*	^{41}Ar	5.52E+09	3.47E+09	3.80E+09	
		^{85}Kr	9.22E+08	-	-	
		^{131}I	1.20E+05	1.18E+05	7.41E+05	
		^{132}I	-	-	4.68E+05	
		^{3}H	2.18E+12	2.39E+12	3.40E+12	
	RIPF/IMEF†	^{85}Kr	4.36E+11	5.15E+11	3.98E+11	
		^{131}I	2.75E+08	1.25E+08	4.87E+08	
		^{82}Br	3.06E+05	1.38E+06	8.08E+05	
		^{99m}Tc	2.79E+08	2.79E+08	-	
		^{99}Mo	1.11E+05	1.18E+05	-	
		^{3}H	8.69E+10	1.57E+11	2.60E+11	
	Sub-stack	^{131}I	7.02E+07	9.56E+07	2.35E+08	Ground Release
		^{99m}Tc	3.40E+06	-	2.16E+06	
		^{7}Be	-	-	8.64E+04	
PIEF‡		^{85}Kr	8.67E+10	3.14E+11	1.13E+12	Elevated Release
		^{137}Cs	8.51E+01	-	-	
RWTF§		^{137}Cs	5.33E+02	3.57E+04	-	Ground Release
		^{7}Be	8.53E+03	-	-	
NETF‖		^{3}H	2.66E+09	4.35E+08	1.22E+10	Ground Release
SWTF¶		^{137}Cs	5.06E+02	2.32E+03	-	Ground Release
		^{7}Be	5.83E+04	4.48E+04	-	
FWTF#		α emitter	-	-	8.48E+01	Ground Release

*RCI: Reactor Concrete Island
†RIPF-IMEF: Radioisotope Production Facility-Irradiated Material Examination Facility
‡PIEF: Post-Irradiation Examination Facility
§RWTF: Radioactive Waste Treatment Facility
‖NETF: Natural Evaporation Treatment Facility
¶SWTF: Solidified Waste Test Facility
#FWTF: Flammable Waste Treatment Facility

Table 3. Gaseous and Liquid Effluents Released from the Nuclear Facility in KEPCO NF from 2010 to 2012.

Source / Zone		Nuclide	Environmental release (Bq/yr)			Release Mode
			2010	2011	2012	
Gas	CR1*	α emitter	7.90E+04	1.57E+06	8.48E+04	Elevated Release
		β emitter	1.41E+05	2.83E+05	2.42E+05	
	CR2†	α emitter	7.77E+04	5.76E+04	7.18E+04	Mixed Release
		β emitter	7.27E+04	7.33E+04	5.51E+04	
	PF‡	α emitter	5.62E+02	9.68E+02	1.71E+03	Ground Release
		β emitter	1.21E+03	1.39E+03	3.34E+03	
Liquid	CR1*	α emitter	6.73E+06	6.23E+06	4.03E+06	-
		β emitter	4.73E+06	3.35E+06	3.95E+06	
	CR2†	α emitter	1.67E+07	1.12E+07	1.34E+07	
		β emitter	8.97E+06	5.64E+06	5.96E+06	

*CR1: Nuclear Fuel Fabrication Facility for Commercial Reactor 1
†CR2: Nuclear Fuel Fabrication Facility for Commercial Reactor 2
‡PF: Pirolysis Facility

된 다목적 연구용 원자로로서, 다양한 조사공이 노심/반사체 영역에 배치됨으로써 핵연료 및 원자로 재료 조사시험, 동위원소 생산, 방사화 분석, NTD (Neutron Transmutation Doping)를 이용한 Si 반도체 생산, 비파괴 분석 등의 연구를 위해 주로 이용되고 있다. 다양한 실험 지원을 위해 중성자속을 높이기 위해 고출력밀도(High Specific Power)로 원자로를 운전하며, 이를 구현하기 위해 저농축우라늄(Low Enriched Uranium)의 한계치인 19.75%의 농축도를 사용하므로 단위 우라늄당 발생열량이 매우 높다. 또한 하나로는 개방수조형(Open-tank in Pool Type) 원자로로서, 경수(H_2O)에 의한 상향 강제대류방식으로 냉각된다. 따라서 하나로는 전력생산 목적의 상업로와 원자로 구조 및 핵연료 형태, 운영방법 등이 달라 발생하는 방사선원항의 특성 또한 차이를 보인다[3-4]. 이 중, 불활성기체인 ^{41}Ar(반감기 1.83시간)은 핵분열생성물이 아닌 ^{40}Ar(n,γ)^{41}Ar 반응에 의해 생성되는 방사화핵종으로, 개방수조형 연구로의 정상가동중 환경 방출되는 주요핵종 가운데 하나이다. 또한, 불활성기체 중 ^{85}Kr 핵종(반감기 10.76년)은 다른 핵종들에 비해 많은 방출을 나타낸다[5-8]. 방사성옥소의 경우 하나로 원자로 뿐 아니라 동위원소생산시설에서도 방출된다. 반면, 한국원자력연구원의 시설중 연구로용 연료가공시설과 한국원자력환경공단의 방사성동위원소 폐기물관리시설은 지난 3년간 운영이 되어 왔지만 방사성핵종이 검출되지 않았다.

액체상 유출물은 한국원자력연료의 원전연료 가공시설을 제외한 기타 모든 시설에서는 자연증발시설에서 수집되어 증발 처리된다. 원전연료 가공시설에서는 핵종별 구분없이 알파선과 베타선 방사능만을 측정하고 있으며, 이에 따른 2010년부터 2012년까지 기체상과 액체상 유출물의 방출량을 Table 3에 제시하였다.

2.2. 대기확산인자 및 침적인자

부지 기상자료는 2010년 1월부터 2012년 12월까지 한국원자력연구원에 위치한 74.5 m 높이의 기상관측탑의 3개 측정고도(지상 10 m 및 27 m, 67 m)에서 관측되었다. 이에 따라, 3년간 수집 및 분석된 고도별 바람장미(wind rose)를 Fig. 1에 제시하였다. 동심원 내 표기된 숫자는 정온(calm)상태 발생빈도의 백분율을 나타낸다. 67 m와 27 m에서 측정된 바람은 주로 북풍 및 남서풍계열이 우세한 것으로 나타났다. 대기안정도는 10 m와 67 m의 온도차이로 추정하였는데, 3년간의 대기안정도별 발생빈도를 Fig. 2에 나타내었다.

대기중으로 방출된 기체상유출물은 주변의 기상과 지형조건 등에 영향을 받아 확산된다. 기체상유출물의 연간 평균 대기확산인자 및 침적인자는 기상관측탑에서 관측된 기상자료를 분석하여 작성된 대기안정도별 결합빈도분포(joint frequency distribution)를 XOQDOQ 전산코드를 이용하여 계산된다. XOQDOQ는 미국 원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Commission, NRC)에서 개발한 전산코드로, 동 위원회의 규제지침 1.111의 직선궤적 가우시안플륨모델(Gaussian Plume Model)을 근간으로 하며, 기체상유출물의 방출유형은 지표방출 및 혼합방출, 고도방출로 구분한다.

XOQDOQ에서의 기상자료는 실측값이 아닌 대기안정도에 따른 풍향과 풍속의 발현빈도가 사용된다. Table 4에는 평가된 각 시설의 최대피폭지점에서의 연도별 대기확산인자 및 침적인자를 제시하였다. 최대피폭지점은 하나로의 최대 대기확산인자가 나타나는 NE(북동)방향에서의 부지경계(하나로에서 반경 약 0.8km)로 하였다.

2.3. 피폭경로

대덕부지 환경영향평가에 고려된 기체상유출물 및 액체상유출물에 대한 피폭경로를 Fig. 3에 나타내었다. 기체상유출물에 의한 인체 방사선 피폭은 일반적으로 플륨(plume)이나 지표침적에 의한 외부피폭(External Exposure)과 호흡과 음식물섭취로 인한 내부피폭

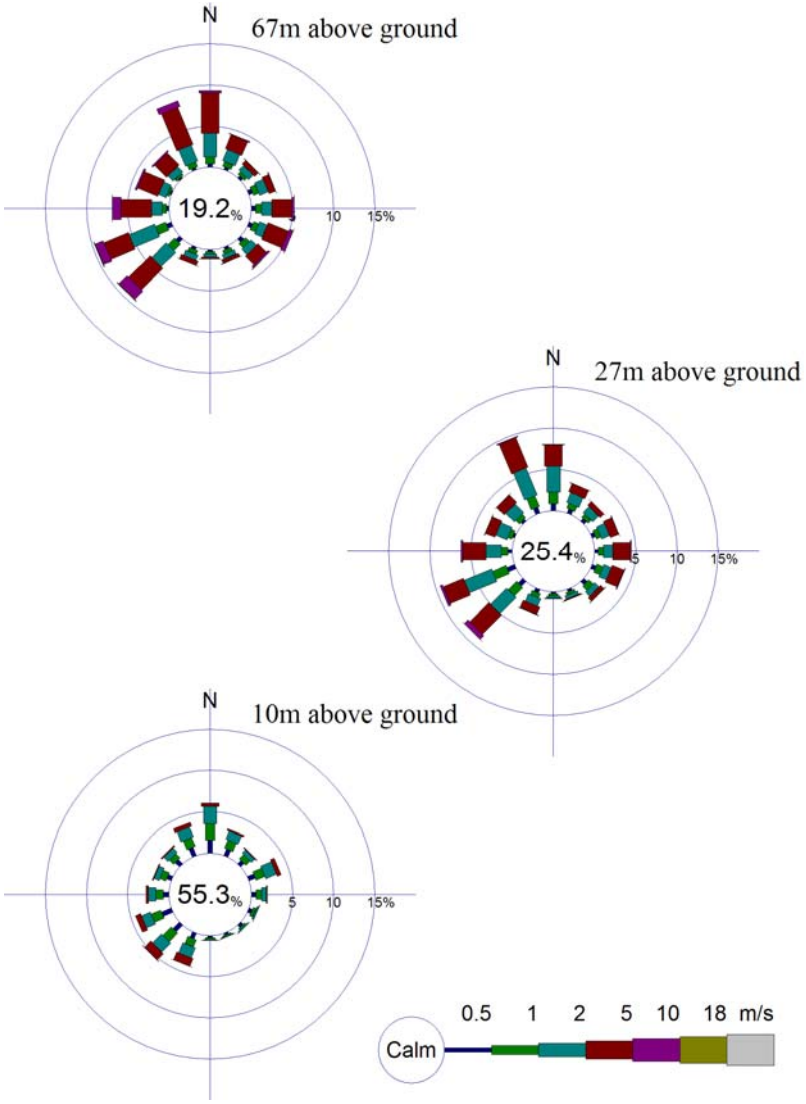

Fig. 1. The three-years averaged wind roses (2010 to 2012) observed at the height of 10 m, 27 m, and 67 m above ground.

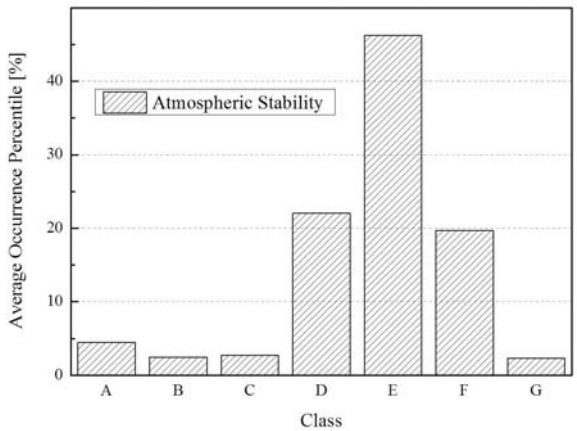

Fig. 2. The three-years averaged occurrence percentile (2010 to 2012) according to the classes of atmospheric stability.

(Interna Exposure)이 고려된다. 액체상유출물은 한국원자력연료의 원전연료 가공시설에 대해서만 고려되는 사항이며, 강변침적물, 수영 및 수상활동으로부터 외부피폭이 발생된다고 가정하였다. 한편, 오염수로부터 관개된 농작물이나 오염된 식수원과 수생식품, 지하수 등을 음용하는 경로는 내부피폭에 관여된다. 그러나, 대부분의 액체상유출물은 지표수와 함께 이동하며 희석되어 지하매질을 통한 이동 가능성이 매우 적고, 우라늄계열의 핵종은 지하수로 이동하기까지 수십년이 소요되며, 유출물의 지표방출 경로만으로 인체피폭 영향평가에 충분한 보수성을 가지므로 지하수 음용에 의한 영향은 무시하였다. 또한, 해당 평가지역이 내륙인 점을 감안할 때 수상활동의 가능성이 매우 적고, 해당시설의 방류선원항이 알파선과 베타선 방출체로 이에 대한 피폭경로가 무시 가능하므로 수상활동은 평가경로에서 제외하였다. 따라서, 액체상유출물의 경우 이를 제외한 다섯 가지 경로에 대하여 선량평가를 수행하였다. 피폭경로에 따른 선량평가는 NRC의 규제지침 1.109에 근거한 GASDOS와 LIQDOS를 한국원자력연구원에서 국내 부지특성에 맞게 수정/보완한 ENDOS-G와 ENDOS-L 전산프로그램을 이용하여 수행하였다.

Table 4. Annual Atmospheric Dispersion and Deposition Factors at the Maximum Exposed Location.

		χ/Q [sec m^{-3}]*			$(\chi/Q)^D$ [sec m^{-3}]†			$(\chi/Q)^{DD}$ [sec m^{-3}]‡			D/Q [m^{-2}]§		
		2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
HANARO	Reactor Hall	8.34E-06	7.27E-06	7.52E-06	8.28E-06	7.22E-06	7.47E-06	8.16E-06	7.09E-06	7.38E-06	1.31E-08	1.42E-08	1.10E-08
	RCI	1.43E-05	1.20E-05	1.26E-05	1.42E-05	1.19E-05	1.25E-05	1.38E-05	1.16E-05	1.22E-05	1.80E-08	1.91E-08	1.54E-08
	RIPF-IMEF	6.37E-06	5.67E-06	5.79E-06	6.33E-06	5.64E-06	5.76E-06	6.27E-06	5.57E-06	5.71E-06	1.03E-08	1.10E-08	8.31E-09
	Sub-stack	4.27E-05	4.32E-05	3.70E-05	4.22E-05	4.28E-05	3.66E-05	3.89E-05	3.94E-05	3.37E-05	2.24E-08	2.16E-08	1.98E-08
PIEF		2.98E-05	2.73E-05	2.86E-05	2.95E-05	2.70E-05	2.83E-05	2.71E-05	2.48E-05	2.60E-05	2.31E-08	2.25E-08	2.03E-08
RWTF		5.11E-05	4.73E-05	4.00E-05	5.06E-05	4.68E-05	3.96E-05	4.66E-05	4.31E-05	3.64E-05	2.45E-08	2.14E-08	1.97E-08
NETF		4.67E-05	4.73E-05	4.00E-05	4.62E-05	4.68E-05	3.96E-05	4.25E-05	4.31E-05	3.64E-05	2.22E-08	2.14E-08	1.97E-08
SWTF		4.67E-05	4.73E-05	4.00E-05	4.62E-05	4.68E-05	3.96E-05	4.25E-05	4.31E-05	3.64E-05	2.22E-08	2.14E-08	1.97E-08
FWTF		4.67E-05	-	4.00E-05	4.62E-05	-	3.96E-05	4.25E-05	-	3.64E-05	2.22E-08	-	1.97E-08
KEPCO NF	NFFF-CR1	2.56E-05	2.35E-05	2.44E-05	2.53E-05	2.33E-05	2.42E-05	2.33E-05	2.14E-05	2.23E-05	2.25E-08	2.20E-08	1.97E-08
	NFFF-CR2	4.47E-05	4.59E-05	3.72E-05	4.43E-05	4.54E-05	3.68E-05	4.07E-05	4.18E-05	3.39E-05	2.01E-08	1.96E-08	1.74E-08
	PF	4.32E-05	4.38E-05	3.74E-05	4.28E-05	4.34E-05	3.70E-05	3.94E-05	3.99E-05	3.41E-05	2.22E-08	2.14E-08	1.97E-08

*χ/Q: Dispersion factors are not considered both radioactive decay and plume depletion.
†$(\chi/Q)^D$: Dispersion factors are considered radioactive decay only.
‡$(\chi/Q)^{DD}$: Dispersion factors are considered both radioactive decay and plume depletion.
§D/Q: Deposition factors

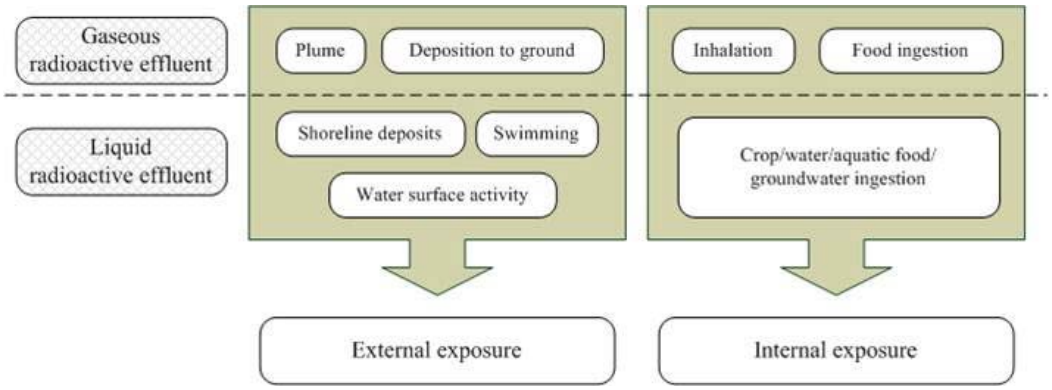

Fig. 3. Exposure pathways from radioactive effluents considered for radiological assessment.

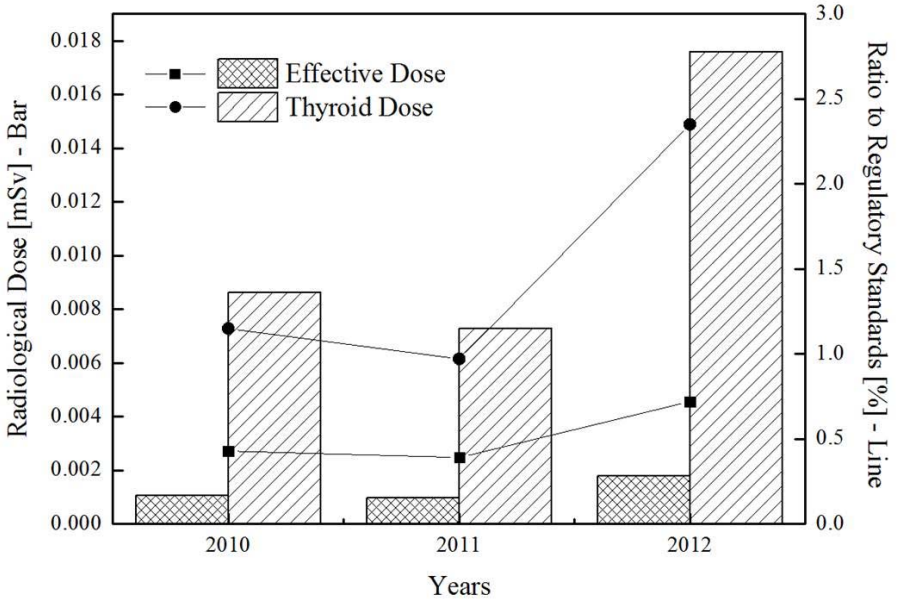

Fig. 4. Maximum individual doses and the ratio to regulatory standards from the operation of Daedeok nuclear facility.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는, 대덕 원자력부지에 위치한 원자력시설의 2010년부터 2012년까지의 3년 동안의 방사선유출물에 의한 최대개인선량을 평가하였다.

최대개인선량에 대한 시설별 기여도를 평가해본 결과, 대덕부지 원자력관련 시설 중에서 하나로 연구용 원자로의 기여도가 90%로 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서 대덕부지의 최대개인선량 평가 최대피폭지점으로 하나로 운영에 의한 주민의 방사선 피폭이 최대가 되는 NE 방향의 부지경계(하나로에서 반경 약 0.8 km)를 선택하였다.

Fig. 4는 각 연도별 대덕 원자력시설 운영에 따른 최대피폭지점에서의 최대개인선량을 나타낸다. 유아 및 소아, 십대, 성인의 총 4 가지 연령군에 대하여 평가한 결과 부지의 최대 피폭연령군이 소아로 나타남에 따라 Fig. 4의 최대개인선량값으로 소아의 유효선량 및 갑상선 등가선량을 사용하였다. 원자력안전위원회 고시 제 2012-29호 방사선방호 등에 관한 기준 제16조는 동일부지 내에 다수의 원자력관계시설을 운영하는 경우 제한구역 경계에서의 연간 유효선량과 갑상선 등가선량에 대한 방출기준치로 각각 0.25 $mSvyr^{-1}$, 0.75 $mSvyr^{-1}$를 제시하고 있다.

평가 결과, 유효선량이 2010년에는 1.03×10^{-3} $mSvyr^{-1}$, 2011년에는 9.79×10^{-4} $mSvyr^{-1}$, 그리고 2012년에는 1.79×10^{-3} $mSvyr^{-1}$의 값을 보였으며, 이들 값들이 기준치의 1% 이내의 매우 적은 값으로 평가되었다. 마찬가지로, 소아의 갑상선 등가선량에서도 8.64×10^{-3} $mSvyr^{-1}$, 7.30×10^{-3} $mSvyr^{-1}$, 1.76×10^{-2} $mSvyr^{-1}$로 평가되어 기준치의 최대 3% 이내 수준을 나타내었다. 계산 결과는 부지의 기상조건(대기확산인자)과 시설에 의한 핵종별 방출량에 기인한다. 2012년의 경우 시설이용의 증대로 피폭선량이 증가하는 것으로 나타났지만, 피폭선량의 절대적 수치가 기준치를 훨씬 하회하고 있으므로 의미있는 값으로 보기는 어렵다.

소아의 유효선량 및 갑상선에 대한 피폭경로별 기여도는 다음과 같다. 먼저 기체유출물에 대한 피폭경로로 선정된 플륨과 지표침적으로 인한 외부피폭, 호흡 및 음식물섭취에 의한 내부피폭에 의한 해당 연도별 최대피폭연령군인 소아의 유효선량 및 갑상선 등가선량을 Fig. 5와 Fig. 6에 제시하였다. 2010년, 2011년 및 2012년의 유효선량에 대한 섭취에 의한 내부피폭의 기여도는 각각 58%, 56%, 59%로 나타났으며, 호흡에 의한 내부피폭의 기여도도 약 40%대로 상당히 큰 것으로 분석되었다. 그러나 섭취 및 호흡에 의한 유효선량이 각각 약 0.001 mSv 및 0.0008 mSv 이하로 나타나 절대량은 매우 미미한 것으로 나타났다. 마찬가지로 2010년, 2011년 및 2012년의 갑상선 등가선량에 대한 섭취에 의한 내부피폭의 기여도는 75%, 70%, 72%로 나타났으며, 호흡에 의한 내부피폭의 기여도도 각각 25%, 30%, 28% 영향으로 나타났다. 갑상선 선량 역시 섭취와 호흡에 의한 절대적인 선량값은 각각 0.007 mSv 및 0.005 mSv 이하로 나타나 기준치에 비해 매우 적은 값을 보였다. 한편, 유효선량과 갑상선 등가선량 모두에서 플륨과 지표침적에 의한 외부피폭의 기여도는 거의 대부분 1% 이내로 나타나 상대적으로 무시 가능하였다. 따라서, 부지 주변 주민의 피폭을 야기하는 주된 피폭경로는 내부피폭인 것으로 판단된다.

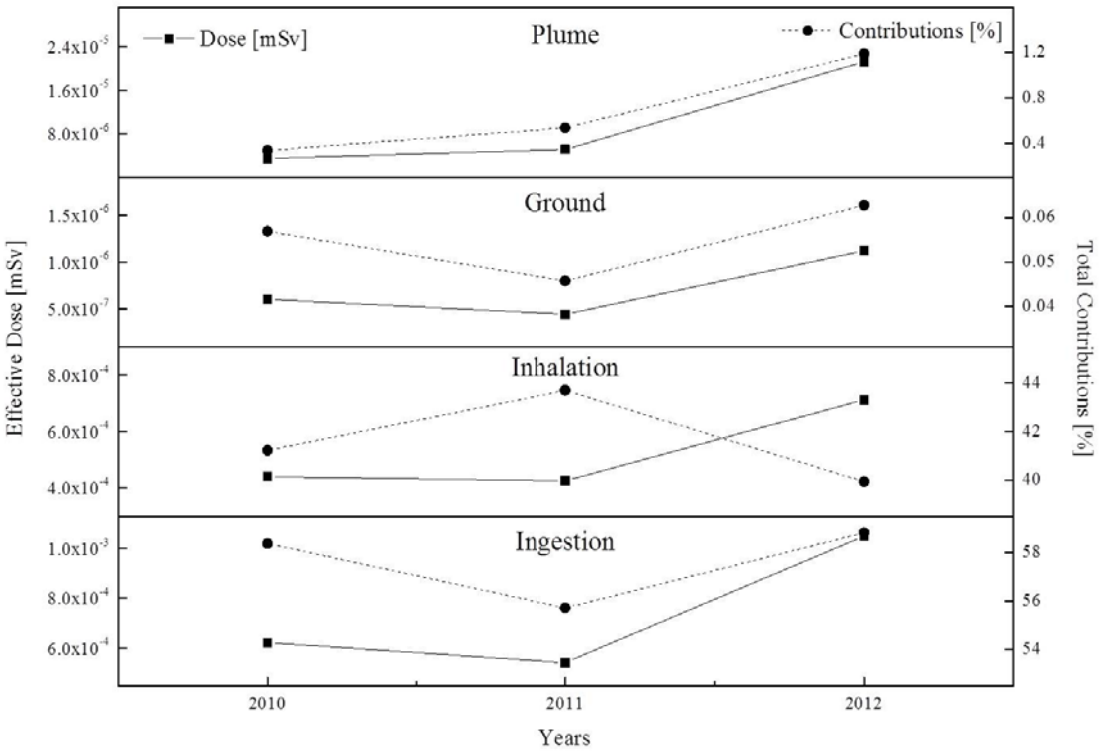

Fig. 5. The effective dose and its contributions according to the exposure pathways (2010 to 2012).

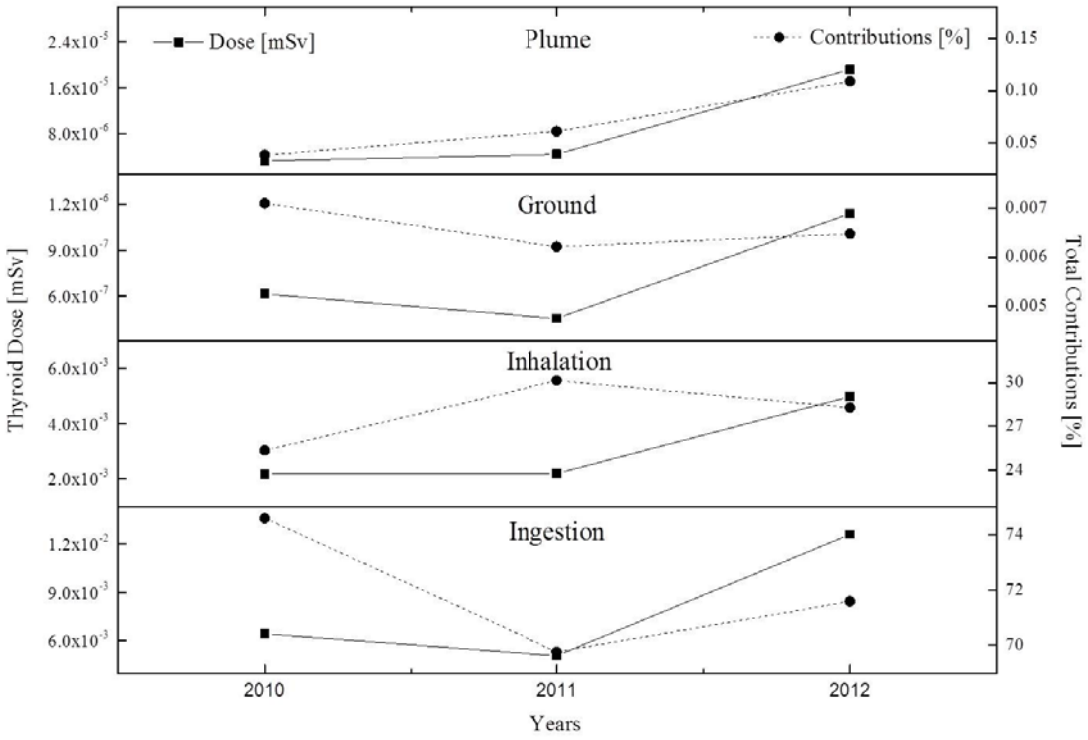

Fig. 6. The thyroid dose and its contributions according to the exposure pathways (2010 to 2012).

대덕부지 원자력관련시설로부터 방출되는 방사선원항에 의한 영향을 평가한 결과, 삼중수소와 방사성옥소를 포함한 할로겐족이 유효선량과 갑상선 등가선량에 중요한 영향을 미치는 핵종이었으며, 3년간의 유효선량에 대한 중요도는 삼중수소가 53-64%, 할로겐족이 36-46% 정도를 나타내었다.

원전연료 가공시설을 제외한 대덕부지내 모든 원자력시설들에서 발생되는 액체상유출물은 자연증발시설에서 수집/처리된다. 액체상유출물에 의한 피폭경로별 기여도는 관개농작물의 섭취로 인한 영향이 60% 이상을 나타냈으며, 수생식품, 음용수 섭취에 의한 내부피폭 순으로 나타났다. 그 외 외부피폭선량은 매우 낮아 상대적으로 무시 가능하였다.

유효선량에는 기체상유출물이 90% 이상 기여하였으며, 액체상유출물에 의한 기여도는 상대적으로 낮게 평가되었다. 이러한 피폭선량에 대한 중요도의 차이는 핵종의 방출량 및 환경에서의 거동, 방사선학적 위해도 등 다양한 원인들에 기인한다.

4. 결론

본 연구에서는 최근 3년간 대덕부지내 원자력관련시설들의 운영으로부터 발생되는 기체상/액체상 유출물들에 의한 환경영향평가를 수행하였다. 이를 위해 부지내 환경방출 선원항 자료와 기상자료를 기반으로 하여 최대개인의 유효선량과 갑상선 등가선량을 평가하였고, 각 시설의 피폭경로, 방출핵종, 기체/액체에 따른 선량에 대한 기여도를 기술하였다. 대기확산인자와 침적인자 계산은 XOQDOQ 전산코드를 이용하였고, 기체상과 액체상으로 방출된 방사성물질에 대한 선량계산은 각각 ENDOS-G와 ENDOS-L 선량평가코드를 사용하였다. 원자력안전위원회 고시 제 2012-29호의 연간방출 기준치와 비교한 결과, 대덕부지의 원자력관계시설들에 의한 최대 개인선량은 기준치의 3% 이내인 것으로 평가되어 환경에 미치는 영향이 매우 적은 것으로 확인되었다. 결과적으로, 시설들의 운영으로 인한 주민의 피폭영향은 미미한 것으로 확인됨으로써, 방사성유출물 관리의 건전성 및 주민들의 안전성이 충분히 입증된 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부와 원자력안전위원회의 중장기연구개발사업으로 수행되었습니다. (과제번호: NRF-2012M2A8A4025914 및 NRF-2012M5A1A1028803)

참고문헌

1. 한국원자력연구원. 대덕 원자력 관련시설의 운영중 방사선 환경영향평가 (2010년보). KAERI/CR-383/2010. 2011.
2. 원자력안전위원회. 방사선방호 등에 관한 기준. 원자력안전위원회. 고시 제2012-29호. 2012.
3. 이병철, 김학노. 하나로의 핵연료 조사설비 성능요건 검토. KAERI/TR-1592/2000. 한국원자력연구원. 2000.
4. 조동건, 국동학, 최희주. 처분시스템 설계를 위한 하나로 사용후핵연료의 방사선원항 평가. KAERI/TR-

3803/2009. 한국원자력연구원. 2009.
5. Jun BJ, Lee BC, Kim MS. Estimation of aluminum and argon activation sources in the Hanaro coolant. Nuclear Engineering and Technology. 2010;42(4): 434-441.
6. Kang YH, Lee DS, Kim HM, Kim BG, Kim HR. Shielding consideration for advanced fuel Irradiation experiments. Journal of Nuclear Science and Technology. 2008;Supplement(5):66-69.
7. Kim MS, Jung HS, Park SJ, Hong KP. Improvement of data processing of the tritium monitor installed at the HANARO stack. Third International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications. Marseille. June 23-27. 2013:140.
8. Kim MS, Kim YC, Kim JU, Park SJ. Investigation of gasification rate for several radionuclides dissolved in HANARO pool water. Journal of Nuclear Science and Technology. 2008; Supplement (5):698-701.

Radiological Dose Analysis to the Public Resulting from the Operation of Daedeok Nuclear Facilities

Hae Sun Jeong, Eun Han Kim, Hyo Joon Jeong, Moon Hee Han, Mi Sun Park, and Won Tae Hwang
Korea Atomic Energy Research Institue

Abstract - This paper describes the results of assessment of radiological dose resulting from operation of the Daedeok nuclear facilities including the HANARO research reactor, which has been performed to assure whether or not to comply with the regulation standards of the radioactive effluents releases. Based on the meteorological data and the radiation source term, the maximum individual doses were evaluated from 2010 to 2012. The atmospheric dispersion and the deposition factors of gaseous effluents were calculated using the XOQDOQ computer code. ENDOS-G and ENDOS-L code systems were also used for maximum individual dose calculation from gaseous and liquid effluents, respectively. The results were compared with the regulation standards for the radioactive effluents presented by the Nuclear Safety and Security Commission (NSSC). The effective doses and the thyroid doses of the maximum individual were calculated at the maximum exposed point in the Daedeok site, and contributions of exposure pathways to the radiological doses resulting from gaseous and liquid radioactive effluents were evaluated at each facility of the Daedeok site. As a result, the maximum exposed age was analysed to be the child group, and the operation of HANARO research reactor had a major effect more than 90% on the individual doses. The main exposure pathways for gaseous radioactive effluent were from ingestion and inhalation. The effective doses and the thyroid doses were considerably influenced by tritium and iodine, respectively. The gaseous radioactive effluents contributed more than 90% on the total doses, whereas the contributions of the liquid radioactive effluents were relatively low. Consequently, the maximum individual dose due to radioactive effluents from the nuclear facilities within the Daedeok site were less than 3% of the regulation standard over 3 years; therefore, it can be concluded that radioactive effluents from the nuclear facilities were well managed, with the radiation-induced health detriment for residents around the site being negligible.

Keywords : Daedeok nuclear facility, Maximum individual dose, Gaseous radioactive effluents, Liquid radioactive effluents