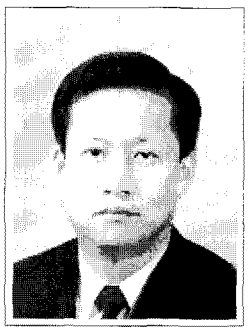
종사자 방사선량, 방사성폐기물, 주변 환경 완벽 관리

유리화 설비 운영, 중·저준위폐기물 영구 처분 시설 인도 준비

강 덕 구

한국수력원자력(주) 안전기술처 처장



지난해 어려운 여건 속에서도 우리 회사는 원전 안전 최우선 경영의 기치 아래 이용률 93%, 발전 정지 호기당 0.3회를 목표로 한 '9303'을 달성하였다. 고리 1호기가 2주기 연속 기록을 달성한 것을 포함하여 총 7기가 무고장 운전을 기록하였으며, 원전 종사자의 피폭 방사선량은 호기당 0.82 맨·시버트를 기록한 한 해였다.

이러한 기록은 월성 1호기 압력관 교체와 같은 대규모 설비 개선 작업을 성공적으로 진행하면서 거둔 성과이기에 더욱 값진 결과일 것이며, 지난해 이룬 원전 해외 수출의 교두보가 됐으리라 확신한다.

종사자 방사선량 관리 분야

1. 종사자 방사선량 관리

2009년도에 총 20기의 원전 운영에 투입된 방사선 작업 종사자 11,723명의 총방사선량은 16.320맨·시버트(man·Sv), 호기당 평균 방사선량은 0.82맨·시버트로 지난 2008년의 총방사선량 10.137 맨·시버트, 호기당 평균 방사선량 0.51 맨·시버트보다 증가했다.

이는 2009년 4월부터 시작된 월성 1호기의 대규모 설비 개선 작업이 진행되고 있기 때문인데, 이를 제외한다면 호기당 평균 방사선량은 지난해와 비슷한 수준인 0.51 맨·시버트를 기록한 것이다.

총방사선량과 밀접한 관계가 있는 계획예방정비는 총14개 원전에서 677일간 수행되었는데 2008년도에 15개 원전에서 461일간 수행했던 것보다 210일이 더 늘어남에 따라 총방사선량 및 호기당 평균 방사선량이 증가된 것이다. 월성 1호기 압력관 교체 작업은 2010년 말까지 계

연세대 행정대학원 졸업

한전 홍보실 전력홍보부장, 홍보실장
한수원(주) 원자력발전기술원 중저준위기술실장, 한강수력발전처장
안전기술처장(2009~)
한국동위원소협회 이사

속될 예정이다.

<그림 1>에서 볼 수 있듯이 국내 원전과 세계 원전[1]의 호기당 평균 방사선량을 비교해 볼 때 우리 원전이 낮은 수준을 유지하고 있으나 세계 원전의 방사선량 또한 지속적으로 감소하고 있다.

한편, 원전 종사자의 연간 개인 평균 선량은 1.38 밀리시버트(mSv)로 지난해보다 증가했는데 이 또한 월성 1호기 압력관 교체 작업에 투입된 주작업자들의 방사선 피폭이 증가했기 때문이다.

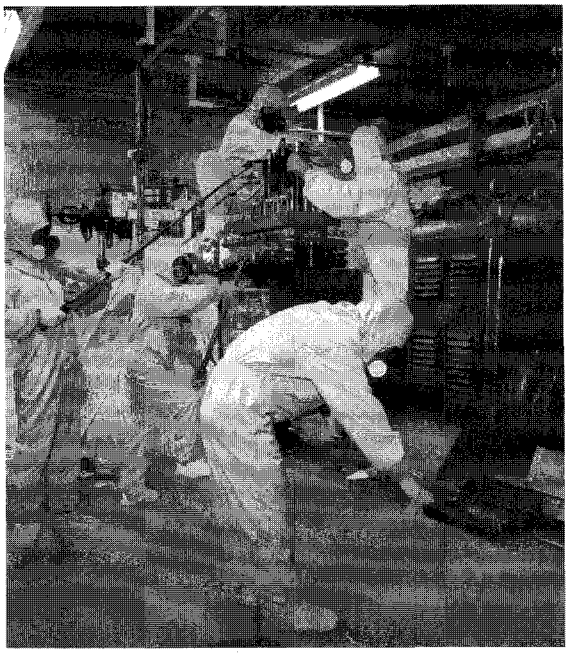
월성 1호기는 원자로를 구성하고 있는 압력관이 노후화되어 발전소 안전성 확보를 위해 교체하고 있으며, 캐나다의 Pt. Lepreau 원전의 교체 경험을 바탕으로 2009년 4월부터 2010년 12월까지 작업이 진행될 예정이다.

이 작업에 투입된 작업자의 개인별 피폭 선량은 법적 선량 한도인 '연간 50밀리 · 시버트 범위 내에서 5년간 100밀리 · 시버트[2]' 를 준수하면서 방사선 피폭을 최소화하기 위하여 작업 내용별로 주작업자는 40밀리 · 시버트, 보조 작업자는 30밀리 · 시버트, 나머지 일반 작업자는 20밀리 · 시버트를 적용하여 관리하고 있다.

그 결과 <표 3>에서와 같이 월성 1호기에 투입된 전체 종사자의 약 51%가 일반인에 대한 연간 법적 제한치인 1 밀리 · 시버트의 1/10 이하의 낮은 방사선 피폭을 받았고, 13 밀리 · 시버트 이상 피폭된 작업자가 129(4.6%)명이었으며, 40밀리 · 시버트를 초과한 작업자는 한 명도 없었다.

2. 방사선량 평가 신뢰도 제고 및 방사선 분야 운영 개선

종사자 방사선량 평가 신뢰도 및 기술력 향상을 위하여 「원전 종사자 C-14 내부 피폭 선량 평가 기술 개발」 과제를 완료하여 2009년 4월에 절차서에 반영하고 「피부 피폭 선량 평가 프로그램 개발」 과제 결과를 신규 절차서로 반영하여 2009년 12월부터 원전에 적용하였다.



2009년도에 총 20기의 원전 운영에 투입된 방사선 작업 종사자 11,723명의 총방사선량은 16.320맨 · 시버트(man · Sv), 호기당 평균 방사선량은 0.82맨 · 시버트로 나타났다.

또한 2009년 4월 22일부터 이틀간에 걸쳐 강원도 정선에서 20개 기관 약 100여명이 참여한 제13차 피폭 방사선량 평가에 관한 워크숍을 개최하여 피폭 선량 평가에 관한 제고 및 관련 기관과의 유대를 강화하는 기회를 가졌다.

종사자 방사선 방호 교육 분야에서는 신규 방사선 작업 종사자 및 수시 출입자 교육을 위한 동영상 교재 3편과, 원전 종사자에 대한 연간 재교육 6시간 중 4시간에 대한 사이버 교육 시스템을 개발하여 활용하고 있다.

이러한 교육 프로그램은 한수원 종사자는 사내 그룹 웨어 시스템 또는 원자력교육원 사외 홈페이지를 통하여, 협력 회사 종사자는 원자력교육원 사외 홈페이지를 통하여 수강할 수 있다.

운영 측면에서는 발전소별로 상이하게 운영중이던 절차서 관리 시스템을 표준화하고 있다. 1단계로 총 614건의 운영절차서를 검토한 후 절차서 번호와 제목을 통일하였으며, 유사한 내용의 절차서를 통합하

1) 세계 원전의 호기당 평균 선량은 최근 5년간(2004~2008)의 평균임
2) 1시버트 = 1,000밀리시버트

〈표 1〉 연도별 방사선량

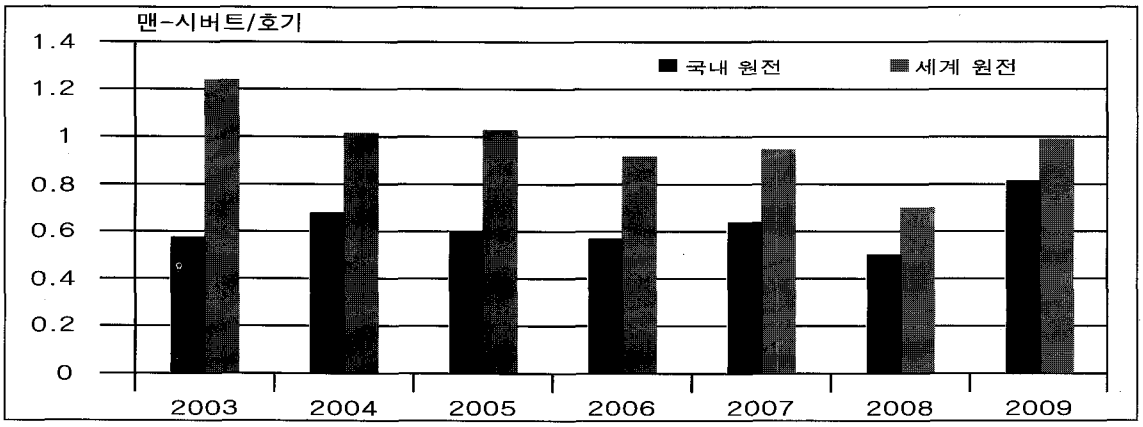
연 도	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
총방사선량 (맨 · 시버트)	10.288	13.025	11.930	10.958	12.807	10.137	16.320
호기당 평균 방사선량 (맨 · 시버트/호기)	0.57	0.69	0.60	0.55	0.64	0.51	0.82
종사자 수(명)	8,741	9,867	9,810	10,154	11,366	10,840	11,723

〈표 2〉 연도별 종사자 개인 평균 선량

연 도	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
개인 평균 선량(mSv)	1.18	1.32	1.22	1.08	1.13	0.94	1.39

〈표 3〉 2009년 월성 1호기 종사자 개인 평균 선량 분포

구 분	피폭 선량(밀리 · 시버트)							총계
	0.1미만	0.1~6미만	6~13미만	13~16미만	16~20미만	20~30미만	30~40미만	
인원(명)	1,449	942	310	49	31	49	0	2,830



〈그림 1〉 국내 원전과 세계 원전의 호기당 평균 방사선량 비교

고 불필요한 절차서 폐기하였으며 휴대용 계측기와 관련된 24건의 절차서는 1개의 표준기술행정절차서로 통합한 후 최종적으로 118건의 표준운영절차서를 확정하였다.

현재 진행중인 2단계는 절차서의 내용 구성을 표준화하는 것인데, 절차서 목차와 목차에 포함되어야 할 내용을 표준화하여 전 원전에 공통으로 적용할 예정이다.

절차서가 표준화 되면 발전소 간 운전 경험 교류 및 상호 내용 비교 등이 용이하여 원전 운영에 대한 안전성이 크게 향상될 것으로 기대된다.

또한 3단계에서는 원전 수출에 대비하여 절차서 영문화 작업을 추진할 예정이다.

3. 방사선 안전 관리 전문가 육성 및 기술 교류

2009년도에도 사내 방사선안전관리요원의 기술 능력 향상을 통한 원전 방사선 관리 신뢰성 제고를 위하여 원자력교육원의 기본 교육 과정 및 12개 국내 위탁 과정으로 구성된 실무 교육 과정과 3개 해외 위탁 교육 과정으로 이루어진 전문 교육 과정을 운영함으로써 연 인원 약 210명의 방사선안전관리원이 실무 및 전문 교육 과정, 해외 위탁 교육을 이수하였으며, 국내외 위탁 교육자 전달 교육을 통해 교육 효과를 제고할 수 있도록 하였다.

또한 2009년 11월에는 방사선보건연구원에서 사내 및 협력사들이 참여한 방사선 안전 관리 워크숍을 개최하여 원전 종사자의 방사선 피폭 저감 및 방사성폐기물 관리의 안전성 향상 등 관련 정보 교류 및 토론의 기회를 마련하였다.

이와 같은 교육, 훈련 강화 및 기술 교류를 통하여 원전 종사자의 총방사선량과 개인 선량을 지속적으로 저감하고 원전의 방사선 안전성을 확고히 할 수 있었다.

방사성폐기물 관리 분야

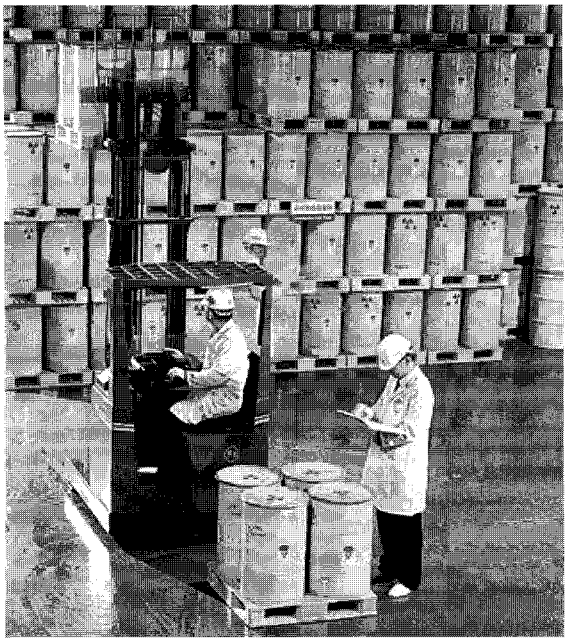
1. 기체 방사성폐기물

기체 방사성폐기물 방출은 크게 다음 두 가지 방법으로 관리하고 있다.

첫째, 발전소 부지 경계에서 교육과학기술부 고시 제2009-37호(방사선방호 등에 관한 기준)에서 정하는 배출 관리 기준을 초과하지 않도록 배출을 제한한다.

기체 폐기물은 여과 및 감쇄 장치를 이용하여 기체 폐기물 중의 방사성 물질의 양을 배출 관리 기준보다 훨씬 낮게 처리하고, 외부로 배출하기 전에 방사성 물질의 종류 및 농도를 측정하여 인근 주민이 거주하는 지역에서 법이 정한 배출 관리 기준을 초과하지 않음을 확인한다.

또한 배출 중에도 방사선 감시기를 통해 연속적으로 감시하여 방사능 농도가 설정치 이상이 되면 자동으로 배출을 차단시키도록 되어 있다.



각 원전 내에 저장중인 중 · 저준위 방사성폐기물

둘째, 발전소 인근에 거주하는 주민에 대한 선량 기준치를 넘지 않도록 배출을 제한한다.

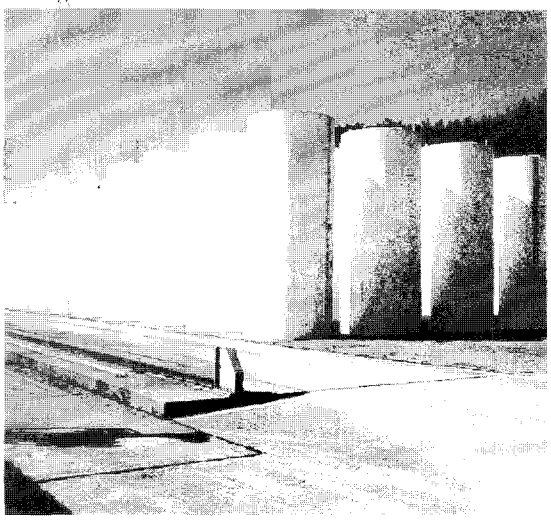
발전소 인근 주민에게 얼마나 영향을 주었는지 여부는 배출되는 방사성 물질의 종류별 방사능의 양, 기상 상태, 사람의 생체 신진대사, 반경 80㎞ 이내 지역 사회의 산업 활동 등 사회생활 자료를 활용하여 국내 사회 환경에 적합하게 국제적인 기준으로 개발된 발전소 인근 주민 방사선 영향 평가 프로그램(ODCM)을 사용하여 확인한다.

2009년도 기체 방사성폐기물은 연간 호기당 평균 0.97테라베크렐(TBq)이 배출되었으며 이로 인한 방사선 영향을 평가한 결과 발전소 주변 주민이 전신에 받은 방사선의 양은 최대 0.00563밀리 · 시버트(mSv)로 평가되었다.

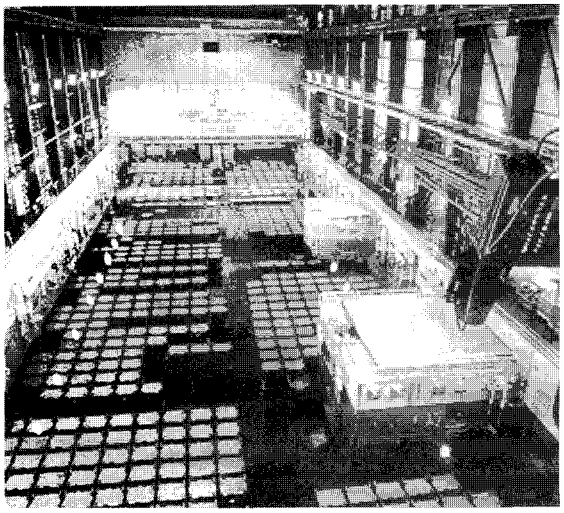
2. 액체 방사성폐기물

액체 방사성폐기물 방출 역시 크게 두 가지 방법으로 관리하고 있다.

첫째, 발전소 부지 경계에서 교육과학기술부 고시 제2009-37호에서 정하는 배출 관리 기준을 초과하



사용후연료 건식 저장 시설



사용후연료 습식 저장 시설

〈표 4〉 2009년도 중 · 저준위 고체 폐기물 발생량

(단위 : 드럼)

구 분	고리	영광	울진	월성	계
농축 폐액	37	82	52	0	171
폐 수 지	30	40	35	153	258
폐 필 터	0	0	0	12	12
잡 고 체	898	1,090	874	1,604	4,466
슬 러 지	71	0	0	0	71
소 계	1,036	1,212	961	1,769	4,978
누 계	40,387	20,776	16,290	9,304	86,757

지 않도록 한다.

액체폐기물은 증발, 여과 및 이온 교환 방법 등으로 방사성 물질을 제거한 후 배출하기 전에 시료를 채취하여 방사성 물질의 종류 및 방사능 농도를 측정하여 배출 여부를 결정한다.

또한 배수구에서는 방사선 감시기를 통해 연속적으로 감시하고 방사능 농도가 설정치 이상이 되면 배출을 자동으로 차단시키도록 되어 있다.

원전의 액체 폐기물을 법정 허용치 이내로 배출하고 있으나, 친환경 에너지원으로써 원전 운영에 의한 환경 영향을 최소화하기 위하여 기존 처리 설비의 성능을 향상시키기 위해 설비를 개선하고, 최적으로 관리되도록 절차를 보완하며, 종사자 교육 훈련 등을 통해 지속적으로 방사능 배출을 최소화하는 개념을 도입하여 관리하고 있다.

2009년도에 가동 중인 원전으로부터 배출된 액체 폐기물의 배출량은 연간 호기당 평균 0.00013 테라베크렐이었다.

둘째, 발전소 인근 주민에 대해서도 물론 기준치를 넘지 않도록 관리한다.

발전소 인근 주민이 기준치를 초과하는 영향을 받았는지 여부는 기체 폐기물과 같이 발전소 인근 주민 방사선 영향 평가 프로그램(ODCM)에 해당 자료를 입력하여 평가한다.

〈표 5〉 사용후핵연료 저장 관리 현황

구 분	시설 용량 (다발)	저장량		예 상 포화년도
		톤	다발	
고리(4기)	6,004	1,707	4,364	2016
영광(6기)	7,418	1,661	4,084	2016
울진(6기)	6,582	1,365	3,315	2017
월성(4기)	508,752	5,737	311,414	2018
계	528,756	10,470	323,177	-

〈표 6 〉 환경 방사능 조사 내용

구분	환경 매체	조사 항목	주 기	지점수(원전별)
환경 방사선	공간 선량률	감마선량(ERMS)	연속	10~12 개소
		감마선량(휴대용 측정기)	월, 분기	22~49 개소
		집적선량	분기	42~43 개소
육상 시료	공기	전베타, 감마핵종, ^{14}C, ^{3}H	주, 월	10 개소
	토양	감마핵종, ^{90}Sr	분기, 반기	12~15 개소
	물	전베타, 감마핵종, ^{3}H	월, 분기	10~19 개소
	우유	감마핵종, ^{14}C, ^{3}H, ^{90}Sr	월, 분기	1~2 개소
	농산물	감마핵종, ^{14}C, ^{3}H, ^{90}Sr	반기, 년	8~12 개소
	솔잎, 쑥	감마핵종, ^{90}Sr	반기	6~8 개소
	육류	감마핵종, ^{14}C, ^{3}H	반기	2 개소
해양 시료	해수	전베타, ^{3}H, ^{90}Sr	월, 분기	4~9 개소
	해조류 등	감마핵종, ^{90}Sr	반기	15~23 개소

2009년도 발전소 인근 주민에 대해 액체 방사성폐기물에 의한 방사선 영향을 평가한 결과 발전소 주변 주민이 전신에 받은 방사선의 양은 최대 0.0000741 밀리 · 시버트로 나타났다 .

방사선에 관하여 세계 최고 권위 기관인 국제방사선방호위원회가 일반인에 대해 권고한 선량과 원자력법에서 정한 일반인의 연간 선량 한도가 1밀리시버트이고, 원자력 시설이 없어도 우리 인간이 자연으로부터 받는 연간 선량이 약 2.4밀리시버트인 점을 감안해 본다면 원자력발전소에서 나오는 기체 방사성폐기물로 인한 방사선 영향은 거의 무시할 정도이다.

3. 중 · 저준위 고체 방사성폐기물

고체 방사성폐기물은 액체 폐기물 처리에 사용된 여과재, 이온 교환 수지와 액체 폐기물 증발기의 농축 폐액, 그리고 방사선 작업자가 사용한 작업복, 공구, 제염지 등의 잡고체로 구분할 수 있다.

폐기물은 종류별로 적절한 처리를 통하여 안전성을 높이고 발생량을 줄일 수 있도록 노력하고 있다.

2009년도에 가동중인 원전에서 발생된 고체 방사성폐기물은 총4,978드럼(200리터 드럼 기준)이었으며 2015년까지 방사성폐기물 50% 이상 저감을 목표로 TDR 과제를 수행하여 목표(6,500 드럼) 대비 1,500드럼을 저감하는 성과를 거두었다.

한수원은 중·저준위 방사성폐기물 발생량을 줄이기 위하여 다각적인 노력을 기울이고 있으며 발생량 저감은 물론 방사성폐기물 처분에 대비하여 폐기물의 안전성을 높이고자 유리화설비를 상용화하여 안전하게 운전하고 있다.

유리화 설비는 2009년 10월 최종적인 정상 가동 승인에 따라 울진 5·6호기에서 발생되는 가연성 폐기물을 처리하고 있다.

2009년 중·저준위 방사성폐기물 발생 현황은 <표 4>와 같다.

4. 사용후핵연료

사용후핵연료는 그 속에 포함된 핵분열 생성물 때문에 원자로에서 꺼낸 이후에도 상당 기간 동안 방사선과 열을 방출하므로 고농도의 붕산수가 채워진 사용후연료 저장조에 저장한다.

사용후연료 저장량이 증가됨에 따라 저장 효율을 높이기 위해 기존 저장대를 조밀 저장대로 교체 및 추가 설치하고 있다.

2006년도에는 고리 4호기 및 영광 3,4호기에 조밀 저장대를 설치하였고 2007년 2월에 영광 1호기 저장대를 조밀 저장대로 교체하였으며, 2008년에는 울진 3,4호기 저장대를 조밀 저장대로 교체하였다.

근래에는 수중에 저장하는 기술 외에도 콘크리트로 방사선을 막고 공기로 열을 제거하는 기술을 이용한 건식 저장 방법이 발달하여 해외의 여러 원전에서 사용되고 있다.

우리나라에서도 월성 원자력발전소에 이러한 공기냉각식 콘크리트 구조물 형태의 건식 저장 시설을 1992년, 1998년, 2002년 및 2006년 4회에 걸쳐 건설하였으며, 2009년에 기존 건식 저장 시설보다 부지 면적이 적게 소요되는 조밀 건식 저장 시설을 건설하였다.

현재 원전 부지별로 2016~2018년까지의 저장능력을 확보하고 있으며, 제253차 원자력위원회(2004.12.17)의 의결에 따라 사용후연료를 발전소 내에 2016년까지 저장할 수 있도록 호기 간 운반, 저장 계획을 수립하여 시행할 예정이다.

2009년 말 현재 사용후연료의 저장 관리 현황은 <표 5>와 같다.

환경 관리 분야

원자력발전소 운영이 주변 지역 및 주민에게 미치는 방사선(능) 영향을 조사하여 주민들이 받게 되는 방사선량이 연간 선량 한도 이내로 충분히 안전하게 유지되고 있는지 확인함으로써 주민 안전을 확보할 뿐만 아니라 만약의 경우 환경의 방사능 오염을 조기 탐지하여 오염이 최소화되도록 노력하고 있다.

조사는 원자력발전소에서 환경실험실을 운영하면서 환경 시료 채취 및 분석·평가를 시행하고 있으며 조사 결과의 객관성과 신뢰성을 제고하기 위해 원자력발전소가 소재한 지역의 대학교에 환경 방사능 조사 업무의 일부를 위탁하고 있다.

한편 원자력발전소 소재지 별로 민간 주도로 민간환경감시기구가 설립되어 주요 환경 방사능 항목에 대한 독자적 감시를 수행하고 있다.

환경 방사능 감시 대상은 방사선량률 및 방사능 농도로 구분된다.

방사선량률은 원자력발전소 주변에 고정 설치된 환경방사능감시기를 통해 실시간으로 감시하고 있으며, 40여개소에 설치된 열형광선량계를 이용하여 분기별 누적 방사선량을 확인하고 있다.

방사능 농도는 원자력발전소 주변 지역의 공기, 토양, 물, 농산물, 해산물, 해수 등의 시료를 환경 방사능 조사 계획에 따라 채취하여 시료별 전처리 과정을 거쳐 고순도감마핵종분석기, 저준위알파베타계수기 등을 이용하여 방사능을 분석하고 있다. 조사 내용은 <표 6>과 같다.

원자력발전소는 조사 결과를 '원자력발전소 주변 환경 방사능 조사 및 평가 보고서'에 수록하여 정부, 지자체 등에 배포하고 있으며 연간 1회 환경 방사능

2009년도 원전 방사선 안전 관리는 종사자 방사선량 관리, 유리화 설비 허가 취득 및 중·저준위 폐기물의 영구 처분 시설로의 인도 준비를 비롯한 모든 분야에서 알찬 성과를 거두었던 것으로 평가된다. 그러나 이러한 결과에 만족하지 않고 원전의 방사선 안전성 확보는 한수원이 추구하는 최우선의 가치임을 깊이 새겨 최신의 기술과 설비/제도의 개선, 운영 능력 향상을 바탕으로 원전 방사선 안전 관리에 무결점을 추구하고자 한다.

감시 결과를 주민설명회를 통해 이해 당사자에게 설명하고 있다.

2009년도 원전 주변 공간감마선량률은 원자력발전소가 없는 일반 지역과 유사한 값을 보이고 있다. 한편 원전 주변 토양, 물, 농축산물, 해수, 해저 퇴적물 등 20여종의 환경 시료를 분석한 결과 14C, 3H, 95Nb 등 원자력발전소 운영에 의한 인공 핵종이 일부 검출되고 있으나 그 양이 극히 미약하여 환경에 미치는 영향은 무시될 정도였다.

일반 환경 조사는 1986년부터 한전 전력연구원, 서울대학교 및 원전 소재 지역 대학이 참여하여 '원전 주변 환경 조사 지침'에 따라 원전 주변 인근 육상 및 해역에 대해 생물학적, 화학적, 물리학적 조사 등을 실시하고 있다.

2009년도 조사 결과를 종합해 볼 때, 고리, 월성, 울진 원전 주변의 수질은 환경법에서 정한 해역별 수질 기준 Ⅰ등급을, 영광 원전은 Ⅰ~Ⅱ등급을 유지하고 있으며, 해양 생태계 중 온도 변화에 민감한 해조류나 저서동물의 출현 종수나 현존량은 전반적으로 자연 생태계와 유사한 군집 구조를 나타내고 있다.

또한 원전 주변 해역의 해양 생태계 서식 환경을 보호하기 위해 주변 해역에 방치되어 있는 그물 등의 폐어구, 불가사리와 같은 유해 생물 등을 주기적으로 제거하고 있으며, 원전에서 배출되는 온배수의 안전성과 유용성을 홍보하고 어민 소득 증대에 기여하기 위해 영광·월성 원전 부지 내 온배수를 이용한 양식장에서 어민들이 선호하는 고급 어·패류를 양식하여 지속적으로 원전 주변 해역에 방류하고 있다.

맺음말

2009년도 원전 방사선 안전 관리는 종사자 방사선량 관리, 유리화 설비 허가 취득 및 중·저준위 폐기물의 영구 처분 시설로의 인도 준비를 비롯한 모든 분야에서 알찬 성과를 거두었던 것으로 평가된다.

그러나 이러한 결과에 만족하지 않고 원전의 방사선 안전성 확보는 한수원이 추구하는 최우선의 가치임을 깊이 새겨 최신의 기술과 설비/제도의 개선, 운영 능력 향상을 바탕으로 원전 방사선 안전 관리에 무결점을 추구하고자 한다.

2010년도에는 종사자 피폭 방사선량 관리와 방사성폐기물 발생량 저감 목표 달성을 통한 원전의 지속 경영을 위한 우호적 국민 여론 조성에 이바지하고 또 계속되는 원전 수출의 든든한 기초 확보에 최선을 다하고자 한다.