

# 2007 원전 방사선 안전 관리 실적

- 종사자 방사선량 · 방사성폐기물 · 환경 관리 -

이 태 호

한국수력원자력(주) 안전기술처장



지난 한해 국내 원전은 최초의 상업용 원자로인 고리 1호기에 대한 약 7개월간의 설비 개선 공사를 성공적으로 마무리하고 지난 1월 본격적인 재가동을 시작하였으며, 지속적인 고유가와 급변하는 에너지 환경 속에서도 국내 전력의 약 36%를 안정적으로 공급하여 국가 경제 발전에 크게 기여하여 왔다.

또한, 원전 안전 운영의 핵심 요체인 방사선 안전 관리 분야에서도 제3차 방사선량 저감화 계획의 수립, 아시아 지역 방사선량 저감화 심포지엄 개최, 방사능 함유 폐유 정제 처리 및 월성 사용후연료 조밀 건식 저장 시설 건설 착공 등 원전 종사자 피폭 방사선량 저감 및 방사성폐기물 관리의 안전성 제고를 위하여 지속적으로 노력하여 왔다.

그러나 2007년 3월 발생한 고리1호기 정비작업자의 경미한 화상 사건에서 볼 수 있듯이 원전의

방사선 안전은 사건의 경중을 떠나 언론과 국민의 관심이 집중되고 있음을 다시 한번 확인할 수 있었고 새로운 마음가짐으로 원전 방사선 안전을 위하여 최선을 다하고자 다짐한 한해이기도 하였다.

## 종사자 방사선량 관리 분야

### 1. 종사자 방사선량 관리 실적

2007년 총 20기의 원전 운영에 따른 방사선 작업 종사자 11,366명의 총 방사선량은 12.807맨·시버트(man·Sv) 이었으며, 호기당 평균 방사선량은 0.64맨·시버트로 나타났다.

또한 2007년도의 총 방사선량을 발전소 운전 상태별로 구분하여 보면 정상 운전 기간 중에 15%, 계획 예방 정비 기간 중에 85%를 차지하였다.

총 방사선량은 당해 연도에 수

고려대 전기공학과 졸업  
부산대 대학원 전기공학과 석사  
한전 고리원자력발전소 기술부장  
기술기획처 기술기획부장  
울진원자력발전소 안전부장  
한수원 원자력정책처장  
한국방사선동위원소협회 이사

<표 1> 연도별 방사선량

연 도	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
총 방사선량 (맨·시버트)	10.752	9.315	10.288	13.025	11.930	10.958	12.807
호기당 평균 방사선량 (맨·시버트/호기)	0.67	0.55	0.57	0.69	0.60	0.55	0.64
종사자 수(명)	8,331	8,346	8,741	9,867	9,810	10,154	11,366

<표 2> 연도별 계획 예방 정비 현황

연 도	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
계획 예방 정비 호기 수(호기)	13(12)	11	15	17(15)	14(13)	14	18
정비 일수(일)	515	443	519	717	521	467	774

( ) : 한국수력원자력(주) 원자력발전연보 착수일 기준

행된 계획 예방 정비 기간에 따라 크게 좌우되는데, 2007년도의 경우 총 18개 호기에서 년 774일간의 계획 예방 정비 작업이 수행됨으로써, 총 14개 호기에서 년 467일간의 정비 작업이 수행되었던 2006년도의 총 방사선량(10.958 맨·시버트)보다는 다소 증가한 수치를 나타내었다.

<그림 1>에서 볼 수 있듯이 국내 원전과 해외 타원전의 호기당 평균 방사선량을 비교해 볼 때 우리 원전의 방사선량이 낮은 수준을 유지하고 있으나 세계 원전의 방사선량 또한 지속적으로 감소하고 있어 보다 적극적이고도 새로운 선량 저감화 방안의 수립 및 추진이 필요할 것으로 판단된다.

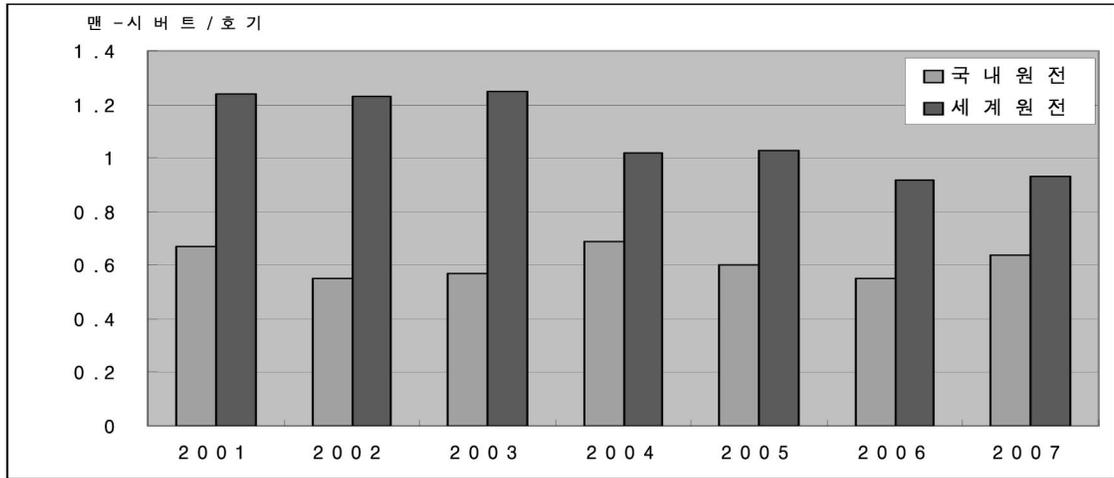
한편, 원전 종사자의 연간 개인 평균 선량은 1.13밀리시버트(mSv)로 집계되었고 개인 최대선량은 18.06밀리시버트로서 1999년 이후 2007년도까지 연간 20밀리시버트를 초과한 종사자가 한 명도 발생하지 않아 연평균 20밀리시버트(연간 50밀리시버트를 넘지 않는 범위에서 5년간 100밀리시버트)까지 허용되어 있는 원자력관계 법령을 잘 준수하고 있음을 보여주었다.

2007년도의 개인 선량 분포를 분석하여 보면 전체 종사자의 77%가 일반인에 대한 연간 법적 제한치인 1밀리시버트 이하의 방사선 피폭을 받았고, 15밀리시버트 이상 피폭자는 0.39%에 불과

하였으며, 특히 방사선 피폭이 전혀 없는 작업자가 47%를 차지(5,396명)하여 전반적으로 개인 선량이 낮게 유지되고 있음을 확인할 수 있었다.

이와 같은 방사선량 관리 실적은 1991년부터 수립, 추진해온 중장기 방사선량 저감화 계획의 적극적 이행과 방사선량의 대부분을 차지하는 계획 예방 정비 기간중의 방사선량 저감화를 위한 ALARA<sup>1)</sup> 위원회/실무위원회의 적극적인 저감 활동, ALARA 워크숍 등을 통한 방사선량 저감 기술 정보의 공유 등 방사선 작업에 종사하는 조직과 구성원 전체의 체계적인 방사선 저감화 노력에 기인한 것으로 보여진다.

1) As Low As Reasonably Achievable



<그림 1> 국내 원전과 세계 원전의 호기당 평균 방사선량 비교

<표 3> 연도별 종사자 개인 평균선량

연도	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
개인 평균 선량(mSv)	1.29	1.12	1.18	1.32	1.22	1.08	1.13

<표 4> 원전 종사자 선량분포

선량 범위 (mSv)	피폭 없음	0.01~0.1	0.1~1	1~2	2~3	3~5	5~10	10~15	15~20	20이상	계
인원 수(명)	5,396	743	2,572	868	460	527	516	240	44	0	11,366

\* 주 : 선량 범위 0.1 ~ 1 mSv는 0.1 mSv 이상 1 mSv 미만을 의미함

아울러 2010년까지 호기당 평균선량을 0.75mSv·시버트로 낮추려던 제2차 방사선량 저감화 계획 목표가 조기 달성됨에 따라 2016년까지 세계 상위 25% 원전 수준인 호기당 0.49mSv·시버트로 방사선량을 저감화하는 것을 목표로 제3차 방사선량 저감화 중장기 계획을 수립하여 추진하고 있다.

## 2. 방사선량 평가 신뢰도 제고를 위한 연구 개발

우리나라는 1998년 8월 ICRP-60 권고를 관계법령에 도입한 이후 2003년 1월 과학기술부 고시 제2002-23호 「방사선 방호등에 관한 기준」을 공포함으로써 ICRP-60 권고의 국내 제도

화를 완결하였으며, 2002년 12월 제정한 「내부 피폭 방사선량 측정 및 산출에 관한 규정」은 외부 피폭 방사선량 관리 위주에서 벗어나 균형 있는 선량 관리 체계를 확립하는 계기가 되었다.

이에 따라 한국수력원자력(주)은 내부 피폭선량 평가를 위한 표준절차서를 제정, 전 원전에 적용

하고, 지속적인 내부 피폭 선량 평가 신뢰도 향상을 위하여 「내부 방사능 오염 측정 및 평가 검증 체계 기술 개발」 연구를 2006년 9월 완료하고 연구 결과를 2007년 내부 피폭선량 평가 절차에 반영하였으며, 2006년 10월부터는 「원전 종사자 C-14 내부 피폭 선량 평가 기술 개발」 연구를 수행하는 등 내부 피폭 방사선량 평가 체계 확립 및 신뢰도 향상을 위하여 많은 노력을 기울이고 있다.

한편, 외부 피폭 방사선량 평가에 대한 신뢰도를 더욱 제고하기 위하여 「불균일 방사선장하에서 복수(複數) 선량계 착용시 유효 선량 평가를 위한 연구」를 수행하였고 규제 기관을 포함한 관계 전문가들의 의견 수렴 과정을 거쳐 2006년 3월부터 전 원전에 적용하고 있다.

또한 2006년 6월부터 피부 피폭 선량 평가 프로그램을 개선하기 위한 연구 개발을 수행하고 있으며, 2007년 10월부터는 「원전 종사자 수족 선량계 방사선량 측정 및 평가 기술 개발」을 추진하고 있다.

### 3. 방사선 안전관리 전문가 육성

2007년도에는 사내 방사선 안전 관리 요원의 기술 능력 향상을 통한 원전 방사선 관리 신뢰성 제고를 위하여 원자력교육원의 기본

교육 과정 및 11개 국내 위탁 과정으로 구성된 실무교육 과정과 캐나다 피커링 원전 및 미국 스리마일 원전 기술 교환 방문 등 6개 해외 위탁교육 과정으로 이루어진 전문 교육 과정을 운영하여 연인원 약 250명의 방사선안전관리원이 실무 및 전문 교육 과정 이수와 해외 우수 원전 벤치마킹을 실시하였다.

또한 2007년 9월 한국, 일본 등 아시아 지역 원전 운영자와 미국 및 ISOE<sup>2)</sup> 관계자 등 50여명이 참석한 아시아 지역 방사선량 저감화 심포지엄을 개최하여 원전 종사자의 방사선 피폭 저감 관련 정보 교류 및 토론의 기회를 마련하였다.

이와 같은 교육, 훈련 강화 및 기술 교류를 통하여 원전 종사자의 총 방사선량 및 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 과학기술부 고시 제2002-23호(방사선방호 등에 관한 기준)에 정하는 배출 관리 기준을 초과하지 않

도록 배출을 제한한다.

기체 폐기물은 여과 및 감쇄 장치를 이용하여 기체 폐기물 중의 방사성 물질의 양을 배출 관리 기준 보다 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 배출중에도 방사선 감시기를 통해 연속적으로 감시하여 방사능 농도가 설정치 이상이 되면 자동으로 배출을 차단시키도록 되어 있다.

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

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

2007년도 기체 방사성폐기물은 연간 호기당 평균 3.28테라베크렐(TBq)이 배출되었으며 이로 인한 발전소 인근 주민에 대한 방사선 영향을 평가한 결과는 <표 5>와 같으며 최대 0.0151밀리시버트

2) Information System on Occupational Exposure

<표 5> 기체 방사성폐기물 배출에 의한 주민 선량 평가

원전 부지	고 리	월 성	영 광	울 진
주민 선량(mSv)	0.0151	0.00579	0.00603	0.00203

<표 6> 액체 방사성폐기물 배출에 의한 주민 선량 평가

원전 부지	고 리	월 성	영 광	울 진
주민 선량(mSv)	0.00000521	0.000039	0.00000568	0.0000639

(mSv)로 평가되었다.

방사선에 관하여 세계 최고 권 위기관인 국제방사선방호위원회 가 일반인에 대해 권고한 선량과 원자력법에서 정한 일반인의 연간 선량한도가 1밀리시버트이고, 원 자력 시설이 없어도 우리 인간이 자연으로부터 받는 연간선량이 약 2.4밀리시버트인 점을 감안해 본 다면 원자력발전소에서 나오는 기 체 방사성폐기물로 인한 방사선 영향은 거의 무시할 정도이다.

## 2. 액체 방사성폐기물

액체 방사성폐기물 방출 역시 크게 두 가지 방법으로 관리하고 있다.

첫째, 발전소 부지 경계에서 과학기술부 고시 제2002-23호에 정하는 배출 관리 기준을 초과하 지 않도록 한다.

액체 폐기물은 증발, 여과 및 이 온 교환 방법 등으로 방사성 물질을 제거한 후 배출하기 전에 시료 를 채취하여 방사성 물질의 종류

및 방사능 농도를 측정하여 배출 여부를 결정한다. 또한 배수구에서 는 방사선 감시기를 통해 연속적 으로 감시하고 방사능 농도가 설 정치 이상이 되면 배출을 자동으 로 차단시키도록 되어있다.

원전의 액체 폐기물을 법정 허 용치 이내로 배출하고 있으나, 기 존 처리 설비의 성능 향상, 절차서 보완, 종사자 교육 훈련 등을 통해 지속적으로 방사능 배출을 최소화 하는 개념을 도입하여 관리하고 있다.

2007년도에 가동중인 원전으로 부터 배출된 액체 폐기물의 배출 량은 연간 호기당 평균 0.000103 테라베크렐로 매우 낮다.

둘째, 발전소 인근 주민에 대해 서도 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.

2007년도 발전소 인근 주민에 대해 액체 방사성폐기물에 의한 방사선 영향을 평가한 결과는 <표 6>와 같으며, 발전소 주변 주민이 전신에 받은 방사선의 양은 최대 0.0000639밀리시버트로 나타났 다.

## 3. 중·저준위 고체 방사성폐기물

고체 방사성폐기물은 액체 폐기 물 처리에 사용된 여과재, 이온 교환 수지와 액체 폐기물 증발기의 농축 폐액, 그리고 방사선 작업자 가 사용한 작업복, 공구, 휴지 등의 잡고체로 구분할 수 있다.

폐기물은 종류별로 적절한 처리 를 통하여 안전성을 높이고 발생 량을 줄일 수 있도록 노력하고 있 다.

2007년도에 가동중인 원전에서 발생된 고체 방사성폐기물은 총 6,018드럼(200리터 드럼 기준)으 로서 전년 대비 다소 발생량이 증 가하였는데, 이는 계획 예방 정비 시행 원전이 전년보다 많았기 때

<표 7> 중·저준위 고체 폐기물 발생량

단위 : 드럼

구 분		고리	영광	울진	월성	계
2007 년도분	농축 폐액	40	21	79	0	140
	폐수지	35	90	90	102	317
	폐필터	0	0	0	13	13
	잡고체	2,342	1,681	923	602	5,548
	계	2,417	1,792	1,092	717	6,018
	감소*	0	0	-463	0	-463
누계		37,977	18,246	13,506	6,752	76,481

주) \*이전 발생 잡고체 폐기물의 초고압 압축에 의한 감소

<표 8> 사용후연료 저장 관리 현황

구 분	저장 능력		연간 예상 발생량		저장량		예 상 포화년도
	톤	다발	톤	다발	톤	다발	
고리(4기)	2,253	5,448	65	162	1,623	4,027	2016
영광(6기)	2,686	6,396	113	270	1,491	3,568	2016
울진(6기)	1,642	3,910	113	270	1,214	2,863	2008
월성(4기)	5,980	316,512	389	20,600	5,092	269,064	2009
계	12,561	-	680	-	9,420	-	-

문이다.

한수원은 중·저준위 방사성폐기물을 유리화함으로써 처분안전성을 제고하고 방사성폐기물 드럼 발생량을 줄이고자 노력하고 있다.

유리화 설비는 2008년 2분기부터 울진 3·4·5·6호기에서 발생하는 가연성 폐기물과 농축폐액 처리를 목표로 건설이 추진되고 있다.

2007년 현재 중·저준위 방사성폐기물 저장 관리 현황은 <표 7>과 같다.

#### 4. 사용후연료

사용후연료는 그 속에 포함된 핵분열 생성물 때문에 원자로에서 꺼낸 이후에도 상당 기간 동안 방사선과 열을 방출한다.

사용후연료는 발전소 연료 건물 내의 물 속(이를 사용후연료 저장조라고 부른다)에 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 설치 완료하였고 2007년 2월에 영광 1호기 저장대를 조밀 저장대로 교체하였으며, 2008년 1월부터 울진 3, 4호기 저장대를 조밀 저장대로 교체중이다.

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

<표 9> 환경 방사능 조사 내용

대상 및 시료	조사 항목	주 기	지점수(원전별)
지상 1m 공간	방사선량률	연 속	10~11 개소
	방사선 집적 선량	분기 1회	40 개소 이상
공기	전베타, 감마핵종, <sup>131</sup> I	주1회~분기1회	10 개소
표층 토양, 솔잎	전베타, 감마 핵종	연 2회	5~15 개소
물 시료	감마핵종, 삼중수소	월1회~분기1회	2~3 개소 이상
해양 시료	전베타, 감마핵종	년 2회	2 개소 이상
우유	감마핵종, <sup>131</sup> I	월 1회	2 개소 이상
농수산물	감마핵종	연1~2회	2~3 개소 이상

우리나라에서도 월성 원자력발전소에 이러한 공기 냉각식 콘크리트 구조물 형태의 건식저장 시설을 1992년, 1998년, 2002년 및 2006년 4회에 걸쳐 건설하였으며, 기존 건식 저장 시설보다 부지면적이 적게 소요되는 조밀 건식저장 시설을 현재 건설 중에 있다.

현재 원전 부지별로 2008~2016년까지의 저장 능력을 확보하고 있으며, 제253차 원자력위원회(2004.12.17)의 의결에 따라 사용후연료를 발전소 내에 2016년까지 저장할 수 있도록 조밀저장대 설치 및 건식 저장소 건설 계획을 수립하고 저장 능력 확장 사업을 추진하고 있다. 2007년 말 현재 사용후연료의 저장 관리 현황은 <표 8>과 같다.

**환경 관리 분야**

원전 운영으로 인하여 주변 지역 및 주민에게 방사선(능)의 영향

이 있는지 조사하기 위하여 공기 중의 방사선량률을 측정하고, 주변 지역의 표층 토양이나 채소류, 곡류 및 인근 해역에서 해저 퇴적물과 해수, 어·패류를 채취하여 방사능을 분석함으로써 원전에 의한 영향이 있는지의 여부를 자체적으로 조사하고 있다.

또한 원전 주변 환경 방사능 조사 결과의 객관성과 신뢰성 확보를 위해 각 원전이 소재한 지역의 대학교에 위탁하여 환경 방사능 조사를 수행하고 있으며, 이 조사에는 부산대학교, 경북대학교, 조선대학교가 참여하고 있다.

그리고 각 원전 지역별로 지역 주민들의 독자적인 환경 감시를 위하여 민간환경감시기구가 발족되어 원전 주변의 환경 조사·분석 등 감시활동을 수행하고 있다.

2007년도 원전 주변 공간 감마선량률은 지점별 평균 9.2~14.1  $\mu$  R/hr로서 예전 및 원자력발전소가 없는 다른 지역과 유사한 값을

보이고 있으며, 원전 주변 표층 토양, 물, 농축산물, 해수, 해저 퇴적물 등 20여종의 환경 시료 방사능은 우리나라 전 국토에서 측정되는 자연 수준 이내였다.

따라서 원전 운영으로 인하여 주변 지역 및 주민에게 미치는 방사선(능) 영향은 없다고 판단된다.

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.

2007년도까지 21년간의 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 저서 동물의 출현 종수나 현존량은 전반적으로 자연 생태계와 유사한



월성원전. 2007년도 원전 방사선 안전 관리는 종사자 방사선량 관리를 비롯한 모든 분야에서 안정적이고 신뢰성 있는 성과를 거두었던 것으로 평가된다.

군집구조를 나타내고 있다.

또한 원전 주변 해역의 해양 생태계 서식 환경을 보호하기 위해 주변 해역에 방치되어 있는 그물 등의 폐 어구, 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

2007년도 원전 방사선 안전 관리는 종사자 방사선량 관리를 비롯한 모든 분야에서 안정적이고

신뢰성 있는 성과를 거두었던 것으로 평가된다.

아울러, 지속적인 기술 개발과 업무 개선을 추진하고 지역 주민과 함께하는 환경 방사능 관리를 통하여 원전 안전 운영의 신뢰 기반도 구축한 한해였다고 생각된다.

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

2008년도에는 울진 1호기 원자로 냉각재 계통 아연 주입 적용을 통한 계통 방사선량 저감 및 방사선 분야 자체 진단, 기술 교류 그룹 확대 운영 등 제3차 방사선량 저감화 중장기 계획의 적극 추진과 0.6

맨·시버트(man·Sv)로 설정한 호기당 평균 방사선량 목표 달성을 위하여 더욱 노력하고자 하며, 방사선 방호 사이버 교육 시스템 구축과 방사선 방호 동영상 교재 제작, 활용 등 방사선 방호 교육 강화를 통하여 종사자 방사선 안전 관리 의식 제고 및 자율 방호 능력을 배양하고자 한다.

또한, 방사성 슬러지 및 폐유的高화 처리, 폐필터 장기 보관 저장 시설 확보 등 고체 방사성폐기물 관리 및 시설 개선, 울진 3발전소 유리화 설비의 완벽한 시운전 및 적기 정상 가동 등을 통하여 원전 방사성폐기물 발생량 저감 및 방사성폐기물 관리의 안전성을 제고하고 나아가 원전 운영에 따른 환경 영향을 최소화 하는 데 최선을 다하고자 한다. 