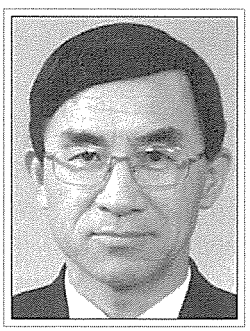
2005년도 원전 방사선 안전 관리 실적

종사자 방사선량 · 방사성 폐기물 · 환경 방사능

박 현 택
한국수력원자력(주) 안전기술처장



2005년은 19년간 끌어왔던 중 · 저준위 방사성 폐기물 처분 시설 부지가 주민 투표를 통해 경주로 선정되었고, 원전 이용률은 28년 원전 운영 역사상 최고 기록인 95.5%를 달성하는 눈부신 성과를 거두었으며, 원전 안전의 핵심인 방사선 안전 관리도 지속적인 업무 개선 및 종사자 안전 의식 제고를 통하여 알찬 결실을 이룬 한 해였다.

종사자 방사선량 관리 분야

1. 종사자 방사선량 관리 실적

2005년 4월 22일 상업 운전을 시작한 울진 6호기를 포함하여 총 20기의 원전 운영에 따른 방사선 작업 종사자 9,817명의 총방사선량은 11.930맨 · 시버트(man · Sv)였으며, 호기 당 평균 방사선량은 0.60맨 · 시버트로 나타났다.

2005년도의 총방사선량을 발전소 운전 상태별로 구분하여 보면 정상 운전 기간 중에 약 22%, 계획 예방 정비 기간 중에 약 78%를 차지하였다.

일반적으로 계획 예방 정비 기간에 따라 총방사선량이 좌우됨을 알 수 있으며, 2005년도의 경우 총14개 호기에서 연 515일간의 정비 작업이 수행되어, 총 15개 호기에서 연 717일간의 정비 작업이 수행된 2004년도의 총방사선량(13.025맨 · 시버트)보다는 다소 감소하였다.

〈그림 1〉에서 볼 수 있듯이 국내 원전과 세계 원전의 호기당 평균 방사선량을 비교해 볼 때 우리의 방사선량이 매우 낮은 우수한 방사선 안전 관리 실적을 보여주고 있으나 세계 원전의 방사선량 또한 지속적으로 감소하고 있음을 알 수 있다.

한편, 연간 개인 평균 선량은 1.22밀리시버트(mSv)로 집계되었고, 개인 최대 선량은 17.27밀리시버트로 1999년 이후 2005년도까지 연간 20밀리시버트를 초과한 종사자는 한 명도 발생하지 않았다.

2005년도의 개인 선량 분포를 분석하여 보면 전체 종사자의 약 76%가 1밀리시버트 이하의 방사선 피폭을 받았고, 15밀리시버트 이상 피폭자는 약 0.5% 에 불과하였다. 특히, 방사선 피폭이 전혀 없는 작업자가 약 50%를 차지(4,792명)하여 전반적으로 개인 선량은 낮게

〈표 1〉 연도별 방사선량

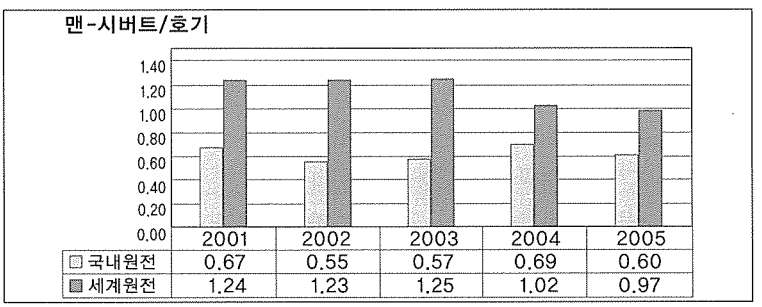
연 도	2001	2002	2003	2004	2005
총방사선량 (맨 · 시버트)	10.752	9.315	10.288	13.025	11.930
호기 당 평균 방사선량 (맨 · 시버트/호기)	0.67	0.55	0.57	0.69	0.60
종사자 수(명)	8,331	8,346	8,741	9,867	9,817

〈표 2〉 연도별 계획 예방 정비 현황

연 도	2001	2002	2003	2004	2005
계획 예방 정비 호기 수(호기)	12	11	15	15	14
정비일수(일)	515	443	519	717	515

〈표 3〉 연도별 종사자 개인 평균 선량

연 도	2001	2002	2003	2004	2005
개인 평균 선량(mSv)	1.29	1.12	1.18	1.32	1.22



〈그림 1〉 국내 원전과 세계 원전의 호기당 평균 방사선량 비교

유지되고 있음을 확인하였으며, 연평균 20밀리시버트(연간 50밀리시버트를 넘지 않는 범위에서 5년간 100밀리시버트)까지 허용되어 있는 국제방사선방호위원회의 권고(ICRP-60) 등 국제적 기준 및 국내 원자력 관련 법령을 잘 준수하고 있음을 보여주었다.

이와 같은 우수한 방사선량 관리 실적은 1991년 제1차 방사선량 저감화 중장기 계획의 수립, 시행 및 2001년에 수립하여 시행중에 있는 제2차 중장기 방사선량 저감화 계획의 철저한 이행뿐만 아니라 방사선량의 대부분을 차지하는 계획 예방 정비 기간 중의 방사선량 저감화를 위한 ALARA 위원회 및 실무위원회를 통한 적극적인 저감화 활동과 종사자의 방사선량 저감화 노력 및 ALARA 워크숍 등을 통한 방사선량 저감 기술 정보의 공유 및 개선방안을 도출하여 업무에 적용함으로써 얻어진 결과로 보여진다.

2. 방사선량 평가 신뢰도 제고를 위한 연구 개발

우리나라는 1998년 8월 ICRP-60 권고를 관계 법령에 도입한 이후 2003년 1월 6일 과학기술부 고시 제2002-23호 『방사선 방호 등에 관한 기준』을 공포함으로써 ICRP-60 권고의 국내 제도화를 완결하였으며, 2002년 12월 5일 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)는 2003년도에 한전 전력연구원과 공동으로 『내부 피폭 선량 평가 및 측정 신뢰도 향상 기술 개발』 과제를 수행하였고, 동 연구 결과를 반영한 내부 피폭 선량 평가를 위한 표준 절차서를 제정, 전 원전에 적용하고 있으며, 지속적인 내부 피폭 선량 평가 신뢰도 향상을 위하여 『내부 방사능 오염 측정 및 평가 검증 체계 기술 개발』 연구를 2005년 4월에 착수하였다.

아울러 2006년 10월부터는 『원전 종사자 C-14 내부 피폭 선량 평

가 기술 개발』을 수행할 계획으로 있는 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 수행하고 규제기관을 포함한 관계 전문가들의 의견 수렴 과정을 거쳐 적용 방안을 확립하였으며, 2006년 3월부터 전 원전에 적용할 계획이다.

3. 방사선 안전 관리 전문가 육성

2005년도에는 사내 방사선 안전 관리 요원의 기술 능력 향상을 통한 업무 능력 및 원전 방사선 관리 신뢰성 제고를 위하여 원자력교육원의 기본 교육 과정, 9개 과정의 국내 위탁 과정으로 구성된 실무 교육 과정 및 5개 과정의 해외 위탁 교육 과정으로 이루어진 전문 교육 과정을 신설하는 등 교육, 훈련 강화 계획을 수립하였으며, 2006년도부터 방사선 안전 관리 요원 233명에 대하여 1인당 연간 1.4회 이상의 교육, 훈련을 실시할 계획이다.

또한 방사선 안전 관리 요원 및 종사자에게 방사선 안전 관리 목표 및 정책 방향을 제시할 수 있도록 방사선 안전 관리 지침을 전면 보완 개정하였으며, 원전 방사선 안전 관리 요원 및 종사자의 사기 진작을 위하여 방사선 안전 관리 유공자 및 단체에 대한 포상을 확대 시행하고 원전 본부별 전문가 그룹을 구성하여 기술 발표회를 개최하는 등 전문성 향상을 추진하였다.

이와 같은 교육과 훈련 강화 및 방사선 방호 교육 개선 등을 통하여 자율 방호 능력을 향상함으로써 총방사선량 및 개인 선량을 지속적으로 저감하고 원전의 방사선 안전성을 확고히 하고자 한다.

방사성 폐기물 관리 분야

1. 기체 방사성 폐기물

기체 방사성 폐기물 방출은 다음 두 가지 방법으로 관리한다.

첫째, 발전소 부지 경계에서 과학기술부 고시 제2002-23호에 정하는 배출 관리 기준을 초과하지 않도록 방출을 제한한다.

기체 폐기물은 정밀한 여과 장치 및 감쇄 장치를 이용하여 기체 폐기물 중의 방사성 물질의 양을 배출 관리 기준보다 훨씬 낮게 처리한 후 외부로 방출하기 전에 방사성 물질의 종류 및 농도를 측정하여 인근 주민이 거주하는 지역에서 법이 정한 배출 관리 기준을 초과하지 않도록 확인한다.

또한 방출중에도 방사선 감시기로 연속적으로 감시하고 방사능 농도가 설정치 이상이 되면 방출을 차단시키는 신호를 발생시킨다.

둘째, 발전소 인근에 거주하는 주민에 대한 선량 기준치를 넘지 않도록 방출을 제한한다. 발전소 인근 주민에게 얼마나 영향을 주었는지 여부는 방출되는 방사성 물질의 종류별 방사능의 양, 기상 상태, 사람의 생체 신진 대사, 반경 80㎞ 이내 지역 사회의 산업 활동 등 사회 생활 자료를 활용하여 국내 사회 환경에 적합하게 국제적인 기준으로 개발된 발전소 인근 주민 방사선 영향 평가 컴퓨터 프로그램(ODCM)을 사용한다.

2005년도 기체 방사성 폐기물은 연간 호기당 1.30테라베크렐(TBq)이 방출되었으며 이로 인한 발전소 인근 주민에 대한 방사선 영향을 평가한 결과는 〈표 4〉와 같으며 최대 0.00511밀리시버트(mSv)로 평가되었다.

방사선에 관하여 세계 최고 권위 기관인 국제방사선방호위원회가 일반인에 대해 권고한 선량이나, 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 방사성 폐기물로 인하여 주민이 받는 방사선 영향은 무시할 정도이다.

〈표 4〉 기체 방사성 폐기물 배출에 의한 주민 선량 평가

원전 부지별	고 리	월 성	영 광	울 진
주민 선량(mSv)	0.00511	0.00299	0.00213	0.00326

〈표 5〉 액체 방사성 폐기물 배출에 의한 주민 선량 평가

원전 부지별	고 리	월 성	영 광	울 진
주민 선량(mSv)	0.00000897	0.0000261	0.000719	0.000124

〈표 6〉 연도별 방사선량

(단위 : 드럼)

구 분		고리 원전	영광 원전	울진 원전	월성 원전	계
2005년도분	농축 폐액	56	81	52	0	189
	폐 수 지	95	70	125	115	405
	폐 필 터	3	0	14	7	24
	잡 고 체	910	1,131	1,118	517	3,676
	계	1,064	1,282	1,309	639	4,294
	감 소*	0	0	-1,618	0	-1,618
누 계		34,099	14,325	13,136	5,328	66,888

주) * 이전 발생 잡고체 폐기물의 초고압 압축에 의한 감소

2. 액체 방사성 폐기물

액체 방사성 폐기물 방출 역시 두 가지 방법으로 관리한다.

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

액체 폐기물은 증발, 여과 및 이온 교환 방법 등으로 방사성 물질을 제거한 후 방출하기 전에 시료를 채취하여 방사성 물질의 종류 및 방사능 농도를 측정하여 방출 여부를 결정한다.

또한 배수구에서는 방사선 감시기로 연속적으로 감시하고 방사능 농도가 설정치 이상이 되면 방출을 차단시키는 신호를 발생시킨다.

원전의 액체 폐기물은 법정 허용치 이내로 방출하고 있으나, 기존 처리 설비의 성능 향상, 절차서 보완, 종사자 교육 훈련 등을 통해 방사능 방출을 최소화하는 개념을 도입하여 관리하고 있다.

2005년도에 가동중인 원전으로부터 방출된 액체 폐기물의 전 베타 · 감마선(β-γ)은 연간 호기당 0.001테라베크렐로 매우 낮다.

둘째, 발전소 인근 주민에 대해서도 기준치를 넘지 않도록 한다.

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

2005년도 발전소 인근 주민에 대해 액체 방사성 폐기물에 의한 방사선 영향을 평가한 결과는 〈표 5〉와 같으며, 발전소 주변 주민이 전신에 받은 방사선의 양은 최대 0.000719밀리시버트로 나타났다.

3. 중 · 저준위 고체 방사성 폐기물

고체 방사성 폐기물은 액체 폐기물 처리에 사용된 여과재, 이온 교환 수지와 액체 폐기물 증발기의 농축 찌꺼기, 그리고 방사선 작업자가 사용한 작업복, 공구, 휴지 등의 잡고체로 구분할 수 있다.

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

2005년도에 가동중인 원전에서 발생된 고체 방사성 폐기물은 총 4,294드럼으로서 2004년도 대비 776드럼이 증가하였는데, 이는 사용후연료 저장대를 좀 더 조밀한 저장대로 교체하는 과정에서 방사성 폐기물이 추가로 발생되었고, 원전 가동년수 증가에 따라 정비 작업 및 교체 작업이 증가되면서 관련 방사성 폐기물이 발생하고 있기 때문이다.

발생된 방사성 폐기물 드럼 중 잡고체 폐기물은 초고압 압축을 시

행하고 있는데, 초고압 압축은 방사성 폐기물 발생량을 감용하는 것으로서 잡고체 폐기물이 들어있는 200리터 드럼 2개를 압축하여 320리터 드럼에 재포장하고 있다.

한국수력원자력(주)는 국내외 연구 인력과 공동으로 중·저준위 방사성 폐기물을 유리화함으로써 처분 안전성을 제고하고 방사성 폐기물 드럼 발생량을 줄이고자 노력하고 있다. 유리화 설비는 2007년부터 울진 3·4·5·6호기에서 발생되는 가연성 폐기물과 농축 폐액 일부를 처리하는 것을 목표로 건설이 추진되고 있다.

4. 사용후연료

사용후연료는 그 속에 포함된 핵분열 생성물 때문에 원자로에서 꺼낸 이후에도 오랜 기간동안 방사선과 열을 낸다.

사용후연료는 발전소의 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.

2002년도에는 고리 3호기에 설치를 완료하였고, 2005년도에는 울진 2호기의 조밀 저장대를 교체하였으며, 2006년에는 고리 4호기 및 영광 1, 3, 4호기에 설치할 예정이다.

〈표 7〉 사용후연료 저장 관리 현황

구 분	저장 능력[1]		연간 예상 발생량[2]		저 장 량		예 상 포화년도
	톤	다 발	톤	다 발	톤	다 발	
고리(4기)	1,737	4,225	65	162	1,475	3,663	2008
영광(6기)	1,696	4,038	113	270	1,249	2,998	2008
울진(6기)	1,642	3,910	113	270	949	2,231	2008
월성(4기)	4,960	262,512	389	20,600	4,287	226,476	2006
계	10,035	-	680	-	7,960	-	-

주) 1. 추진중인 저장 용량 확장 사업 포함(고리원전)
2. 가동중 원전 대상

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 공기 냉각식 콘크리트 구조물 형태의 건식 저장 시설을 1992년, 1998년 및 2002년 3회에 걸쳐 건설하였으며, 향후에도 저장 시설을 증설할 예정이다.

현재 원전 부지별로 2006~2008년까지의 저장 능력을 확보하고 있으며, 제253차 원자력위원회(2004.12.17)의 의결에 따라 사용후연료를 발전소 내에 2016년까지 저장할 수 있도록 조밀 저장대 설치 및 건식 저장소 건설 계획을 수립하고 저장 능력 확장 사업을 추진해 나갈 것이다.

2005년 말 현재 사용후연료의 저장 관리 현황이 〈표 7〉에 정리되어 있다.

환경 관리 분야

원전 운영으로 인하여 주변 지역 및 주민에게 방사선(능)의 영향이 있는지 조사하기 위하여 공기중의 방사선량률을 측정하고, 주변 지역의 표층 토양이나 채소류, 곡류 등의 방사능을 분석하고, 인근 해역에서의 해저 퇴적물과 해수 그리고 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, 광주과학기술원, 조선대학교가 참여하고 있다.

그리고 각 원전 지역별로 지역주민이 독자적인 환경 감시를 수행하기 위하여 고리 원전, 영광 원전 및 울진 원전은 민간환경감시기구

〈표 8 〉 환경 방사능 조사 내용

대상 및 시료	조사 항목	주 기	지점수(원전별)
지상 1m 공간	방사선량률	연속	10~11 개소
	방사선 집적 선량	분기 1회	40 개소 이상
공기	전베타, 감마 핵종, I-131	주 1회~분기 1회	10 개소
표층 토양, 솔잎	전베타, 감마 핵종	년 2회	5~15 개소
물 시료	감마 핵종, 삼중수소	월 1회~분기 1회	2~3 개소 이상
해양 시료	전베타, 감마 핵종	년 2회	2 개소 이상
우유	감마 핵종, I-131	월 1회	2 개소 이상
농수산물	감마 핵종	년 1~2회	2~3 개소 이상

가 발족되어 원전 주변의 환경 조사 · 분석 등 감시 활동을 수행하고 있고, 월성 원전도 관할 지방자치단체가 중심이 되어 발족을 추진중에 있다.

2005년도 환경 방사선(능)을 조사 및 평가한 결과, 원전 주변 공간 감마선량률은 월 평균 8.2~14.1 μR/hr로서 예년과 유사한 값을 보이고 있으며, 원전 주변 각종 육상 및 해상 시료들의 방사능을 분석한 결과, 공기중의 월 평균 전베타 방사능은 0.09~3.94mBq/㎥로, 2004년도 0.15~2.23 mBq/㎥와 비슷하였다.

또한 표층 토양, 물, 농축산물, 해수, 해저 퇴적물 등 20여종의 환경 시료를 채취하여 방사능을 분석한 결과, 인공 방사성 핵종은 Cs-137이 표층 토양에서 최고 25.6 Bq/kg-dry, Sr-90이, 솔잎에서 최고 9.79 Bq/kg-Fresh 였으나, 이는 우리나라 전 국토에서 나타나는 일반적인 수준으로 과거 핵실험에 의한 방사성 낙진 등에 기인한 것으로 판단된다.

따라서 원전 운영으로 인하여 주변 지역 및 주민에게 미치는 방사선(능) 영향은 없는 것으로 나타났다.

원전 주변에 대한 환경 방사능 조사와 더불어 1986년부터 한전 전력연구원, 서울대학교 및 원전 소재 지역 대학이 참여하여 일반 환경 조사를 실시하고 있으며, 환경 조사의 객관성과 신뢰성 제고를 위해 해양 분야 환경 단체인 바다사랑실천운동연합(바실련)과 협약을 체결(2005. 4.)하여 원전 주변 해양 환경에 대한 공동 조사를 실시하고 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 고부가 가치 어 · 패류를 양식하여 지속적으로 원전 주변 해역에 방류하고 있다.

맺음말

2005년도 원전 방사선 안전 관리는 종사자 방사선량 관리를 비롯한 모든 분야에서 안정적이고 신뢰성 있는 성과를 거두었고, 지속적인 기술 개발과 업무 개선 및 방사선 안전 관리 요원의 전문 기술 능력 향상을 추진하였으며. 지역 주민과 함께 하는 환경 방사능 관리를 통하여 원전 운영의 신뢰를 구축하였다.

그러나 이러한 결과에 안주하지 않고 원전의 방사선 안전성 확보는 공공 기업으로서 우리 회사가 추구하는 최우선의 가치임을 깊이 인식하고 최신의 기술과 철저한 정신무장을 바탕으로 원전 방사선 안전 관리에 무결점을 추구하고자 한다.

2006년도에도 끊임없는 자기 혁신을 통하여 원전 종사자 및 주변 지역 주민의 안전성을 제고하고 원전 운영에 따른 환경 영향을 최소화하는 데 최선을 다하고자 한다.