

종사자 방사선량, 방사성폐기물, 원전 주변 환경 방사능 완벽 관리

종사자 피폭 글로벌 최고 수준의 호기당 평균 0.34man-Sv, 중저준위 방폐물 3,529드럼 영구처분



이희환

한국수력원자력(주) 방사선안전실장

- 서울과학기술대학교 산업대학원 졸업
- 한빛본부 제3발전소 설비개선실장
- 한빛본부 제3발전소 기술실장
- 품질안전본부 방사선안전실장
- 대한방사선방어학회 재무이사
- 한국방사성폐기물학회 사업이사

종사자 방사선량 관리

1. 종사자 방사선량 관리

2020년 한수원은 'Global Top 수준의 종사자 피폭 방사선량 달성'을 위해 수립된 제4차 중장기(2017~2026) 종사자 방사선량 저감화 계획을 바탕으로 제도·문화, 오염 확산 방지, 선량·선원항 저감 분야 추진 과제를 지속 수행함으로써 방사선으로부터 안전한 작업 환경을 구현하여 종사자 안전 확보 및 대국민 신뢰도 제고에 이바지하였다.

2020년 26기 원전 운영에 투입된 방사선 작업 종사자 16,844명의 총방사선량은 8.7만시버트(man-Sv)로 호기당 평균 0.34man-Sv를 달성하여 Global Top 수준의 피폭 방사선량을 달성하여 <표 3>과 같이 세계 원전의 평균 피폭 방사선량 대비 매우 낮은 수준을 유지하고 있다.

한편, 2020년도 원전 종사자 연간 개인 평균

선량은 0.52mSv로, 원자로 하부 관통관 예방정비, 증기발생기 교체 등으로 2019년도 대비 소폭 증가하였으나, 1991년부터 수립 및 추진해 온 중장기 종사자 피폭 방사선량 저감화 계획의 적극적인 이행과 계획예방정비 기간 중 피폭 방사선량 저감화를 위한 ALARA(As Low As Reasonably Achievable) 위원회/실무위원회 활동, 피폭 방사선량 저감 기술 공유 등을 통해 지속적으로 피폭 방사선량 저감화에 적극적으로 노력하고 있다.

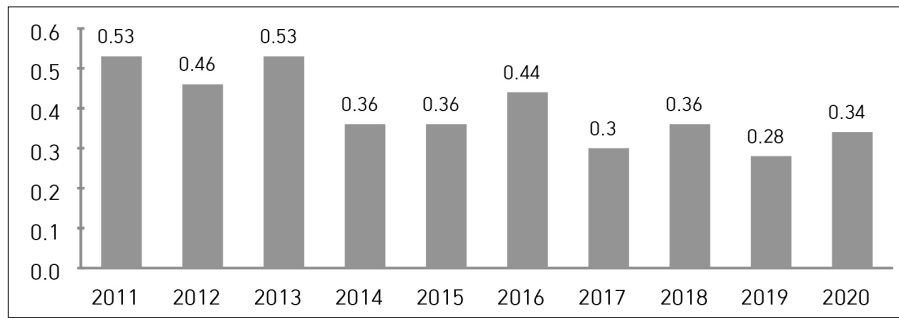
2. 방사선 안전관리 전문가 육성 및 기술 교류

2020년에는 코로나19로 인해 국내 집합교육 금지 및 해외파견교육 취소 등 교육여건이 좋지 않은 가운데서도 방사선안전관리원의 기술 능력 향상을 통한 원전 방사선 관리 신뢰성 제고를 위해 인재개발원의 기본교육 과정 및 한국원자력안전아카데미, 한국방사선진흥협회 등 25

〈표 1〉 최근 10년간 연도별 방사선량

연도	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
총방사선량 (man-Sv)	11.2	10.5	12.1	8.3	8.9	11.0	7.5	9.0	7.0	8.7
호기당 평균 방사선량 (man-Sv/호기)	0.53	0.46	0.53	0.36	0.36	0.44	0.30	0.36	0.28	0.34
중사자 수(명)	14,691	14,715	14,785	14,260	14,926	14,386	14,501	15,877	16,223	16,844

* 수시 출입자 제외



〈그림 1〉 최근 10년간 연도별 방사선량 추이 (단위 : man-Sv/호기)

〈표 2〉 최근 10년간 연도별 중사자 개인 평균선량

(단위 : man-Sv/호기)

연도	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
개인 평균 선량	0.76	0.71	0.82	0.58	0.59	0.76	0.52	0.57	0.43	0.52

* 수시 출입자 제외

〈표 3〉 최근 5년간 국내 원전과 세계 원전 평균 방사선량 비교(WANO PI 실적 기준)

(단위 : man-Sv/호기)

연도	한국	미국	프랑스	러시아	세계 평균
2015	0.36	0.72	0.68	1.40	0.72
2016	0.44	0.56	0.76	1.47	0.66
2017	0.30	0.66	0.61	1.25	0.63
2018	0.36	0.60	0.67	1.37	0.64
2019	0.28	0.55	0.74	1.24	0.60

개 국내 위탁 과정으로 구성된 실무교육 과정 운영함으로써 연인원 255여 명의 방사선안전관리원이 교육을 이수하였으며, 전체 방사선안전관리원을 대상으로 위탁 교육자 전달 교육을 통해 교육 효과를 공유할 수 있도록 하였다.

2020년 12월에는 온라인으로 개최된 국제방사선피폭정보기구(ISOE, Information System on Occupational Exposure) 아시아 심포지엄에 국내 전문가가 참석하여 국내 원전의 피폭 방사선량 저감 우수 실적 공유 및 해외 우수 사



2020년 26기 원전 운영에 투입된 방사선 작업 종사자 16,844명의 총방사선량은 8.7man-Sv로, 호기당 평균 0.34man-Sv를 달성하여 세계 최고 수준의 피폭 방사선량을 달성하였다.

레 벤치마킹을 통해 피폭 방사선량 저감화 기술 능력 제고에 노력하고 있다.

이와 같은 교육·훈련 강화 및 기술 교류를 통하여 원전 종사자의 총방사선량과 개인 선량을 지속적으로 줄일 수 있었고 원전의 방사선 안전성을 확보할 수 있었다.

방사성폐기물 관리

1. 액기체 방사성폐기물

원전 운영 중에 발생한 액기체 상태의 방사성 폐기물은 환경으로 배출하기 전, 처리 설비를 이용하여 방사성물질을 제거하고, 방사성물질의 시료를 채취·분석하여 발전소 부지 경계에서 원자력안전위원회 고시 제2019-10호(방사선방호 등에 관한 기준)에 따른 배출 관리 기준을 초과하지 않도록 감시하면서 배출하고 있다. 이는 원자력안전법 시행령에서 액기체 방사성물질 배출

로 인한 발전소 인근 주민의 방사선 영향이 연간 선량 한도를 넘지 않도록 제한하기 위함이다.

발전소 인근 주민에게 얼마나 영향을 주었는지는 배출되는 방사성물질의 종류별 방사능의 양, 기상 상태, 사람의 생체 신진대사, 지역 사회의 산업 활동 등의 사회생활 자료를 활용하여 국내 사회환경에 적합하게 국제적인 기준에 따라 개발된 발전소 인근 주민 피폭 선량 계산 프로그램(ODCM, Offsite Dose Calculation Manual)을 사용하여 확인한다.

2020년도 기체 방사성물질은 호기 당 평균 5.6테라베크렐(TBq), 액체 방사성물질은 호기 당 평균 8.1TBq이 배출되었고, 이로 인한 발전소 인근 주민에 대한 방사선 영향을 평가한 결과는 <표 4>와 같다.

방사선에 관하여 세계 최고 권위 기관인 국제방사선방호위원회 및 원자력안전법에서 정한 일반인에 대한 연간 선량 한도는 1밀리시버트(mSv)로, 인간이 자연으로부터 받는 연간 선량이 약 2.4mSv인 것을 고려하면 원자력발전소에서 나오는 액기체 방사성물질로 인한 방사선 영향은 거의 미미한 수준이다.

한편, 2016년 원자력안전법 개정에 따라 신규 인허가 문서인 「액체 및 기체 상태의 방사성 물질등의 배출계획서」를 개발 및 제출하여 현재 규제기관 인허가 심사 중에 있으며, 배출계획서는 호기별, 경로별, 핵종(군)별 배출 총량을 설정하여 방사성물질 배출량을 제한함을 목적으로 한다.

〈표 4〉 2020년도 액기체 방사성물질 배출에 의한 주민 선량 평가

(단위 : mSv)

구분	고리/새울	한빛	월성	한울
기체	0.02056	0.006218	0.06548	0.004794
액체	0.00002113	0.000000935	0.0007534	0.000002087

〈표 5〉 2020년도 중저준위 고체 방사성폐기물 발생 및 처분 인도 현황

(단위 : 200L 드럼)

구분	고리/새울	한빛	월성	한울	합계	
2020년도 방폐물 발생량	폐수지	80	35	85	105	305
	슬러지	0	0	0	0	0
	폐필터	0	0	3	0	3
	잡고체	498	1,009	615	446	2,568
	합계	578	1,044	703	551	2,876
방폐물 발생량 누계	46,063	27,298	15,922	22,052	111,335	
2020년도 처분 인도량	1,638	1,000	503	388	3,529	
처분 인도량 누계	4,338	6,400	4,569	5,988	21,295	

2. 중저준위 고체 방사성폐기물

고체 방사성폐기물은 액체 방사성폐기물 처리에 사용된 여과재, 이온교환수지와 액체 방사성폐기물 증발기의 농축 폐액, 그리고 방사선 작업자가 사용한 작업복, 공구, 제염지 등의 잡고체로 구분할 수 있다. 2020년도에 가동 중인 원전에서 고체 방사성폐기물은 총 2,876드럼(200L 드럼 기준)이 발생하였고, 방사성폐기물 관리 절차 강화 및 종류별로 적절한 처리를 통하여 안전하고 효율적으로 관리하고 있다.

또한 방사성폐기물 드럼의 특성을 평가하고 관리함으로써 처분 안전성을 확보하고 있으며, 최종적으로 경주 방폐장으로 처분 인도하고 있다. 2020년도 중저준위 고체 방사성폐기물 발생 및 처분 인도 현황은 〈표 5〉와 같다.

2010년, 한울/월성 원자력발전소를 시작으로 고체 방사성폐기물을 경주 방폐장에 안전하게 처분 인도하고 있으며, 현재까지 총 21,295드럼을 처분 인도하였다.

2019년도에는 한국원자력연구원(KAERI) 방사성폐기물 핵종 분석 오류로 인하여 경주 방폐장으로의 반입 중단이 장기화하면서 처분 인도 실적이 없었으나, 민관합동조사단 조사결과 '처분 및 운반 재개'로 결정됨에 따라 월성본부부터 처분 인도가 착수되어 2020년도에 3,529드럼을 처분 인도하였다.

또한, 중저준위 고체 방사성폐기물 인도 규정에 따라 방사성폐기물의 종류, 물리적·화학적·생물학적 특성과 방사성폐기물에 포함된 방사능 농도를 평가하는 등 철저히 안전성을 확인하

고 있다.

중장기적으로 2019년도 수립한 중장기 중저준위 고체 방사성폐기물 처리·처분 로드맵에 따라 고체 방사성폐기물 재포장 확대 등 처분 적합성 확보 조치를 추진하고 있으며, 단계적으로 처분 인도 수량을 증가시켜 원전 내 보관 중인 방사성폐기물 저장량 감소를 통해 다수 호기 원전 해체에 대비할 예정이다.

3. 환경 방사선(능) 관리

원자력발전소 운영으로 인한 주변 지역 및 주민에게 미치는 방사선(능) 영향을 조사하여 주민이 받는 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 환경시료 채취, 분석 및 평가를 시행하고 있으며, 조사 결과의 객관성과 신뢰성을 확보하기 위해 원자력발전소가 소재한 지역의 대학교에 환경 방사능 조사 업무의 일부를 위탁하고 있다.

한편 원자력발전소 소재지 별 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 환경방사능 감시기를 통

해 실시간으로 감시하고 있으며, 열형광선량계를 이용하여 분기별 누적 방사선량을 확인하고 있다.

방사능 농도는 원자력발전소 주변 지역의 공기, 토양, 물, 농산물, 해산물, 해수 등의 시료를 환경 방사능 조사계획에 따라 채취하여 시료 별 전처리 과정을 거쳐 고순도 감마핵종분석기, 저준위 알파베타계수기 등을 이용하여 방사능을 분석하고 있다. 조사 내용은 <표 6>과 같다.

원자력발전소는 조사 결과를 「원자력발전소 주변 환경방사능 조사 및 평가보고서」에 수록하여 정부, 지자체 등에 배포 및 홈페이지를 통해 공개하고 있으며, 연간 1회 환경 방사능 감시 결과를 주민 설명회를 통해 이해 당사자에게 설명했으나, 2020년도에는 코로나-19 확산으로 인하여 주민 설명회를 개최하지 못하는 상황이 발생하여 설명회 대신 조사결과에 대한 원전본부 별로 보도자료 배포 및 브로셔 제작하여 배포하였다.

2020년도 원전 주변 공간 감마 방사선량률은 원자력발전소가 없는 일반 지역과 유사한 값을 보이며, 자연 방사선 수준과 차이가 없었다.

한편 원전 주변 토양, 물, 농축산물, 해수, 해저 퇴적물 등 20여 종의 환경 시료를 분석한 결과 ^{14}C , ^3H 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 대학, 환경 영

〈표 6〉 환경 방사능 조사 내용

구분	환경매체	조사항목	주기	지점 수(원전별)
환경 방사선	공간 선량률	감마선량(ERMS)	연속	12~24개소
		집적선량	분기	31~42개소
육상 시료	공기	전베타, 감마핵종, ¹⁴ C, ³ H	주, 월	8~10개소
	토양	감마핵종, ⁹⁰ Sr	분기, 반기	2~6개소
	물	전베타, 감마핵종, ³ H	월, 분기	2~8개소
	우유	감마핵종, ¹⁴ C, ³ H, ⁹⁰ Sr	월, 분기	1~2개소
	농산물	감마핵종, ¹⁴ C, ³ H, ⁹⁰ Sr	반기, 년	6~14개소
	솔잎, 쭉	감마핵종, ⁹⁰ Sr	반기	2~10개소
	육류	감마핵종, ¹⁴ C, ³ H	반기	2개소
해양 시료	해수	전베타, ³ H, 감마핵종, ⁹⁰ Sr	월, 분기	2~10개소
	해조류 등	감마핵종, ⁹⁰ Sr	반기	2~15개소

향 평가 대행 기관 등이 참여하여 ‘원전 주변 환경 조사 지침’에 따라 원전 주변 인근 육상 및 해역에 대해 생물학적·화학적·물리학적 조사 등을 실시하고 있다. 지금까지의 조사 결과, 5개 원전 주변 육상·해양 생태계 및 환경은 전반적으로 자연 생태계와 유사하였으며, 특이사항도 관찰되지 않았다.

맺음말

2020년도 원전 방사선 안전 관리는 중사자 방사선량 관리, 중저준위 방사성폐기물 처리 등 모든 분야에서 알찬 성과를 거두었던 것으로 평가되어 보다 안정적인 원전 운영에 이바지하였다.

그러나 이러한 결과에 안주하지 않고 원전의 방사선 안전성 확보가 한수원이 추구하는 최우선의 가치임을 가슴 깊이 새기고, 최신 기술의

적용, 설비·제도·문화 분야의 개선 노력, 운영 능력 향상 등을 바탕으로 하여 원전 방사선 안전 관리에서 한 치의 빈틈도 허용하지 않고자 한다.

2021년도에는 제4차 중장기 중사자 피폭 방사선량 저감화 계획에 따라 무선통신 기반 스마트 전자선량계 개발, Dose Ownership Program(작업부서별 선량관리 프로그램) 개발 등의 실행 과제를 충실히 수행하여 중사자 피폭 방사선량 저감에 공헌할 것이며, 중저준위 방사성폐기물 종합 관리 로드맵에 따라 원전 해체 방사성폐기물 대량 발생에 대비하고 경주 방폐장 인수 기준에 부합하는 방사성폐기물 관리를 통해 원전 운영에 대한 우호적인 국민 여론 형성에 이바지하고, 미래 먹거리 사업인 원전 수출 사업의 든든한 기반이 될 수 있도록 최선을 다하고자 한다. **KMIF**