



공로상

— 한국전력기술(주) 방사성폐기물그룹

방사성 폐기물 처리 기술 제고

신 영 호

한국전력기술(주) 방사성폐기물그룹 그룹장



사업 추진 배경 및 성과

1. 중·저준위 방사성 폐기물 관리

90년대 초반 한전은 방사성 폐기물 발생량을 미국·일본 등 선발국 수준으로 줄여나간다는 목표를 세우고 각종 조사 및 구체화 작업에 착수하였다.

당시 우리 나라는 1개 원전에서 1년에 약 650드럼(200리터 드럼 기준)의 방사성 폐기물이 발생되고 있었으며, 해외 선발국 원전은 약 200~250드럼 수준으로서 우리나라의 3분의 1 수준이었다.

발생된 방사성 폐기물 드럼의 구성을 분석한 결과, 총발생 드럼의 53%는 압고체 폐기물, 35%는 농축 폐액의 시멘트 고화체였으며, 나머지 12%는 폐수지·폐필터 등이었다.

이와 병행하여 해외 선발국들 중 모범적인 원전의 설비 현황을 조사한 결과 처리 기술면에서 차이를 보이고 있었으며<표 1>, 관리 방법면에서도 방사선 관리 구역으로 인입되거나 발

생되는 모든 폐기물들을 철저히 분류 처리함으로써 방사성 폐기물 발생량을 최소화하고 있었다.

이에 착안하여 우리 나라도 선발국 원전 수준인 250드럼을 목표로 91년 설비 개선 사업을 착수하여 <표 2>와 같은 설비를 도입하였으며, 그결과 97년에는 선발국들의 수준인 250드럼 시대를 열 수 있었다.

원전에서 발생하는 방사성 폐기물을 관리하기 위하여 기체·액체 및 고체 방사성 폐기물 계통들이 설치되어 있으며, 방사성 폐기물 발생량은 액체 및 고체 방사성 폐기물의 처리 방법, 즉 처리 설비의 종류 및 성능 등에 따라 달라진다.

방사성 폐기물 처리 방법을 기준으로 할 때, 우리 나라 원전의 방사성 폐기물 계통은 현재 제3세대를 맞고 있다.

고리 1호기부터 올진 3·4호기까지는 폐액 증발기를 중심으로 한 처리 계통으로서, 원전으로부터 발생하는 방사성 폐액을 폐액 증발기를 통해 약 20%(보통 농도 기준) 정도로

원

전으로부터 발생하는 방사성 폐기물은 중·저준위 방사성 폐기물과 고준위 방사성 폐기물 등 크게 두 가지로 구분할 수 있다.

중·저준위 방사성 폐기물은 원전의 운전, 유지 및 보수중에 발생하는 압고체·폐액·폐수지·폐필터 등으로, 적절한 처리를 거쳐 최종 처분을 위해 법정 규격에 따라 200리터 드럼에 포장, 보관중에 있으며, 고준위 방사성 폐기물은 사용후 연료로서 원전 내 사용후 연료 저장 수조에 안전 관리중에 있다.



농축한 후 이를 시멘트와 1:3으로 혼합하여 200리터 드럼에 담아 건조·양생시켜 밀폐·보관하는 방식으로 이를 제1세대로 분류할 수 있다.

이 방법은 오랜 기간의 운영 경험을 통하여 입증된 방법이기도 하나, 폐기물 발생량을 3배로 증가시키는 문제가 있어 고리 1호기 등 오래된 원전들부터 농축 폐액 건조 설비를 도입하여 폐액 증발기로 농축된 폐액을 완전 건조 후 파라핀으로 고화, 포장함으로써 폐기물 발생량을 7분의 1 수준으로 줄일 수 있었다.

또한 액체 방사성 폐기물 처리의 주설비인 폐액 증발기의 성능 진단을 통하여, 운전 연수가 증가함에 따라 노후되어 성능 및 운전이 영향을 미치는 원전은 설비 보수, 부품 교체, 대체 설비 추가 등의 성능 복구 사업이 추진중에 있다.

제2세대인 영광 5·6호기, 울진 5·6호기는 원심 분리 및 선택적 이온 교환 설비를 중심 설비로 한 처리 방법으로서, 미국 및 독일 원전의 운영 경험을 토대로 개발되었으며, 이를 통해 방사성 폐기물 발생량을 최소화하고 설비의 운전·유지 및 보수의 어려움을 원천적으로 해결한 개량된 운전 개념이다.

제3세대는 가압 경수형 후속 원전으로 추진중인 개량형 원전에 대비한 것으로서, 방사성 폐액의 수집 및 처리 방법을 개념적으로 개선하여 원전에서 발생된 모든 방사성 폐액은 원

(표 1) 방사성 폐기물별 처리 기술 비교

대상 폐기물	우리 나라	해외 원전
잡고체 폐기물	종류별로 분류하여 10톤 압축기로 압축, 보관	<ul style="list-style-type: none"> • 청정 쓰레기 분류, 산업 폐기물화 • 10톤 압축기로 1차 압축 후 2000톤 초고압 압축기로 2차 압축 • 일부 원전은 소각 처리
농축 폐액	증발기로 약 20% 농축 후 시멘트 고화 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 증발기로 약 20~50% 농축 후 건조 처리 설비를 이용하여 완전 건조 처리 • 건조 후 파라핀·폴리머·중량 시멘트 등으로 안정화 처리
폐수지	탈수 후 시멘트 고화 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 탈수·건조 후 고건전성 용기에 보관 • 일부 원전 산처리 후 소각 처리

(표 2) 국내 원전 방사성 폐기물 처리 기술 도입 현황

원전별	농축 폐액 건조 설비	청정쓰레기 분류 설비	초고압 압축 설비	폐수지 건조 설비
고리 1발전소	○	○	이동식으로 전원전 공용	○(공용)
고리 2발전소	○	○		○(공용)
영광 1발전소	○	○		제작중(공용)
울진 1발전소	○	○		제작중(공용)

전 내에서 재활용함으로써 궁극적으로 원전 외부로의 방출을 제로(zero)화하는 개념의 설비이다.

이는 원자력 발전에 동의하지 않는 그룹의 이해 추구와 향후 다가올 공업 용수 고갈 사태에 대비한 것으로 원전 부지 선정의 유연성에 다소 도움이 있을 것으로 판단된다.

국민들의 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 방사성 폐기물 처리 분야에서도 환경 친화적인 측면에서 경제성이 제고된 고도의 기술이 개발되고 있으므로 한국전력기술(주)는 신기술에 대한 동향 파악과 적용 방안에 대한 꾸준한 기술 개발을 수행하고 있다.

2. 고준위 방사성 폐기물 관리

고준위 방사성 폐기물이라 함은 사용후 연료, 사용후 연료 재처리 폐기물 등이 있으나, 우리나라의 경우는 산업 여건상 사용후 연료가 해당된다.

사용후 연료는 반감기가 긴 원소들로 인해 수만년간의 장기 관리를 필요로 하며, 원전 내 관리, 중간 저장 관리, 최종 처분 관리로 분류할 수 있다.

현재 세계 각국의 후행 핵연료 주기 정책을 보면, 재처리를 국가 정책으로 정한 국가가 22개국(옛 소련 동구 7개국 제외) 중 18개국으로 대부분을 차지하고 있으며, 직접 처분을 정책으로 하고 있는 국가는 미국·캐나다·스웨덴 3개국, 그리고 멕시코

코·파키스탄·남아공·한국이 정책 결정을 미루고 있는 나라들이다.

그러나 후행 핵연료 주기 정책에 관계없이 발생된 고준위 방사성 폐기물을 처리/처분하기 위해서는 특정 처분 용기의 개발을 중심으로 하여 성능 평가, 인공 방벽, 처분 시설 건설/운영, 지질 환경 등 방대한 범위의 주변 기술의 개발이 병행되어야 하며, 원자력 선발국들은 50~20년 전부터 동 분야 전반에 대한 기술 개발에 장기적으로 대처해 오고 있다.

이에 비해 우리 나라는 초기 단계의 기술 개발로 요소 기술의 수목 체계 및 기술 분류, 국내의 기술 여건/동향, 연구 개발 계획 정도의 정책 입안을 위한 데이터 베이스가 구축되어 있는 상태이다.

우리 나라 원전은 일반적으로 약 10년분의 사용후 연료를 저장할 수 있도록 설계되어 있으며, 습식 저장을 표준으로 하여 스테인리스 스틸재 저장대를 채택하고 있다.

이는 원전 수명 기간 동안에 발생하는 사용후 연료 총발생량의 4분의 1로서 차후 중간 저장 혹은 다른 저장 대안을 전제로 한 저장 용량이다.

그러나 사용후 연료 중간 저장 시설을 건설하기 위한 부지의 불확실성으로 인해 한시적인 대안으로 조밀 저장대로의 교체를 통한 원전 내 저장 능력 극대화, 건식 저장 용기를 활용한 부분적인 원전 내 건식 저장 등의 방안을 채택하여 90년대 초반부터

(표 3) 사용후 연료 저장 능력 확장 사업 현황

호기 구분	확장 연도	저장 능력(셀)		사업 내용 및 결과
		확장 전	확장 후	
고리 3호기	1994년	746	1,193	○저장조 내 여유 공간에 Borated S/S재 조밀 저장대 447셀 추가 설치 ○2000년 말 준공을 목표로 기존 저장대 교체 사업 추진중(약 1,000셀 증가 예상)
고리 4호기	1996년	746	1,152	○저장조 내 여유 공간에 Boral재 조밀 저장대 406셀 추가 설치
영광 1·2호기	1997년	746	1,152	○저장조 내 여유 공간에 Boral재 조밀 저장대 406셀 추가 설치
울진 1호기	1996년	472	1,114	○Boral재 조밀 저장대로 전면 교체
울진 2호기	1990년	472	893	○1990년 Boraflex재 조밀 저장대로 전면 교체 ○1996년 연료 농축도 증가로 인해 비상 노심 저장 구역 저장대 교체
	1996년	893	875	
월성 1호기	1992년	32,976	76,176	○사일로 형식의 건식 저장 용기를 이용한 확장 ○2회에 걸쳐 확장
	1998년	76,176	119,376	

운영중인 원전의 사용후 연료 저장 능력 확장 사업을 시작하였다.

조밀 저장대로의 교체를 통한 저장 능력 확장 기술은 미국 내에서 오래 전 부터 일반화되어 적용된 기술로서, 저장대를 중성자 흡수 물질이 포함된 물질로 제작함으로써 저장 연료 간의 간격을 좁히고, 기존의 신연료를 저장 대상으로 설계하던 보수적인 해석 방법을 연소 연료를 대상으로 연소도를 고려한 해석 방법을 적용함으로써 더욱 조밀하게 설계하는 기술이다.

조밀 저장대에 사용하는 재질은 Boral, Boraflex, Borated S/S, Cadminox 등이 상용화되어 있다.

조밀 저장 기술을 사용할 경우 일반적으로 저장 능력을 2배로 확장할 수

있고, 조밀 저장대를 Free-Standing Type으로 설계함으로써 손쉽게 저장대를 교체할 수 있기 때문에 세계 각국은 저장 능력의 확장이 필요할 경우 첫 번째 대안으로 고려하는 일반적인 기술이다.

미국의 경우 상업용 고준위 폐기물 처분장의 건설 지연으로 인해 원전 내 저장 능력의 한계성을 극대화하기 위해 다음과 같은 저장 능력 확장 방법들을 시도하고 있다.

- ① 저장조 냉각 배관 절단을 통한 저장 능력 극대화
- ② 저장 수조 인근의 Cask Loading Pit를 활용한 저장 능력 극대화
- ③ 2층 저장을 통한 저장 능력 극대화



④ 연료봉 해체 저장(Rod Consolidation)을 통한 저장 능력 극대화

또한 운전 연수가 오래된 원전들은 원전 내 저장 능력을 확보하기 위한 방안의 하나로 건식 저장 설비를 원전 내에 설치하고 있으며, 최근에는 건식 저장 기술도 급속히 발전되어 당초의 저장 전용 용기에서 현재는 저장/수송 겸용 용기가 상용화되어 있고, 향후 저장/수송/최종 처분 겸용 용기도 개발될 전망이다.

향후 사업 추진 목표

1. 중·저준위 방사성폐기물 관리

우리 나라 원전의 중·저준위 방사성 폐기물 관리 기술은 세계적인 수준으로서, 특히 방사성 폐기물의 발생량의 경우 미국·일본 등 해외 선발국들과 유사한 200~250드림 수준이며, 소각로·유리화 설비 등 첨단 설비를 도입하기 전에는 더 이상의 발생량 감축은 어려운 실정이다.

따라서 관리 목표 또한 종전의 발생량 감축으로부터 향후 최종 처분에 대비하여 안전 관리로 전환되어야 하며 개략적인 내용은 다음과 같다.

- ① 포장 및 최종 처분 용기의 효율화 및 표준화
- ② 방사성 폐기물의 추적 관리를 위한 전산화 및 데이터 베이스 구축
- ③ 폐수지·폐필터 등 중준위 방사

성 폐기물 처리 방법 개선

- ④ 방사성 물질 무방출에 대비한 설비 개선
- ⑤ 소각로, 유리화 설비 등 고효율 설비 도입

2. 고준위 방사성 폐기물 관리

조밀 저장 기술을 활용하여 원전 내 저장 능력을 확장하여도 그 능력에 한계가 있으며, 특히 2000년 말부터 순차적으로 도래할 원전의 수명 종료에 따른 사용후 연료의 관리를 고려할 때 건식 저장 기술의 개발은 필수적이라 할 수 있다.

96년 고리 원전을 대상으로 하여 건식 저장 시설의 기본 설계를 완료한 바 있으나, 그동안 저장 전용 용기 기술에서 저장/수송 겸용 용기 기술로 발전되었으며, 가까운 기간 내에 저장/수송/최종 처분 다목적 용기 기술이 개발될 전망이다.

미국·일본 등 선발국들은 각국 실정에 적합한 개념의 용기를 자체적인 기술 개발을 통하여 사용하고 있으나 우리 나라는 아직 초기 단계에 머무르고 있는 실정으로서 지금 기술 개발에 착수하지 않으면 몇 년 후부터는 높은 비용을 감수하고 수입에 의존해야 하며 장기적으로 볼 때 고준위 방사성 폐기물 최종 처분 용기까지 외국 기술에 의존해야 할 수밖에 없을 것으로 판단된다.

사용후 연료 수송 용기, 저장 용기, 최종 처분 용기의 설계 기술은 같은

기술이 적용되는 유사 기술로서, 지금부터라도 해외 공동 개발에 참여 등의 방법을 통하여 동 기술 분야에 대한 기술 확보가 시급하다고 하겠다.

수상 소감

78년 한국전력공사에 입사하여 5년간을 원자력 건설 분야에 종사하다 83년 한국전력기술(주)에 입사하여 지근 16년이 지났으니 이제 22년째 원자력 분야에서 일하는 셈이다.

그런데 아직도 모르는 게 태반이니 원자력이 어렵기는 어려운 분야인 것 같다.

그 동안 한전 등 관련 분야에서 일하시는 수많은 분들이 지원과 격려를 아끼지 않으셨기에 우리 10명의 그룹원들이 마음껏 일할 수 있었고 설계 보다는 운영 관점으로 한발 다가서서 일할 수 있었다.

우리 그룹은 22년 경력의 고참부터 3년차 신선한 초심자까지 다양한 경력의 기술진이 함께 일하고 있다. 수레바퀴의 원이 든든한 살대에 의해 버터나가듯이 좀 더 다듬어진 조직력과 일당백의 정신 무장으로 방사성 폐기물 분야 만큼은 세계 최고의 기술력을 인정받는 것이 우리의 목표이다.

오늘의 영광이 있기까지 도와주신 관계 기술진 여러분께 다시 한번 감사의 말씀을 드리며 우리 그룹의 발전하는 모습을 지켜봐 주시기를 부탁 드린다. ☺