

연구로 1·2호기(TRIGA Mark II·III)의 해체

- 국내 최초의 원자력 시설 제염·해체 사업 -

정 기 정

한국원자력연구소 TRIGA 연구로 폐로사업팀장



있거나 기다리고 있는 중이다.

사실 평균 수명이 30~40년이라고는 하지만 이는 정상적으로 가동이 되어 천수를 다할 때의 이야기일 뿐, 현재까지 가동 정지된 원자력 시설들의 평균 수명을 보면 겨우 20년 남짓하다.

이는 원자력의 경제성 문제, 안전성 문제, 사고, 사회적 이유, 기술의 급진적 발전, 기술 기준 및 규제 기준의 강화 등 다양한 이유로 인하여, 특히 초창기의 원자력 시설들은 기대한 만큼의 삶을 살고 있지 못하였기 때문이라고 할 수 있겠다.

여하튼 우리 나라도 이제 서서히 원자력 시설의 제염·해체에 대비하여야 할 때가 오고 있다.

주지하다시피 원자력 시설은 필연적으로 방사성 물질에 오염되거나 방사화되기 때문에, 이의 소홀한 취급은 자칫 작업자와 환경에 치명적인 영향을 미칠 수도 있으므로 사전에 많은 연구 개발과 치밀한 대비 및 계획을 수립하여 두어야 한다.

특히 우리와 같이 원자력발전소 건

설을 위한 부지 확보가 어려운 나라에서는 원자력발전소 가동 정지 이후 즉시 해체 방식으로 갈 수밖에 없다.

따라서 사전의 치밀한 준비를 통해 계획에 따라 차질 없이 해체 작업을 수행하여 해체 기간을 단축하는 것은 원자력의 경제성 제고 측면이나, 작업자 보호, 환경적 측면 등 여러 가지 면에서 매우 중요한 요소이다.

특히 지난 97년부터 시작된 TRIGA Mark-II & III(연구로 1·2호기) 연구용 원자로의 해체 사업은, 이를 통해 해체와 관련한 기술을 최대한 확보하는 것이 커다란 목적 중의 하나이다.

또한 국내 산업체에게는 폐로 경험을 쌓게 하여 기술력 향상과 더불어 전문 인력도 확보하게 함으로써 추후 원자력발전소의 해체를 위한 대비도 하고자 하는 것이다.

뿐만 아니라 본 사업으로부터 얻을 수 있는 각종 경험을 통해 원자력 시설 제염·해체와 관련한 기술 기준 및 규정 마련에도 도움을 주는 것이 본 사업의 또 다른 목적 중의 하나라

모든 생명체가 태어나서 성장하고 노년기를 거쳐 끝내는 생명을 다하듯 인간이 만든 모든 기기나 시설도 같은 길을 걸어가게 마련이다. 여기에는 원자력 시설 또한 예외일 수는 없다.

원자력 시설의 평균 수명을 30~40년으로 볼 때 미국·영국·프랑스·독일 등 원자력 선진국들은 40~50년대부터 시설이 건설·가동되기 시작하였으므로, 이미 많은 수의 연구용 원자로·재처리 시설·실증로, 혹은 상업용 원자력발전소들이 수명이 다하여 제염·해체(또는 폐로) 과정에

하겠다.

본고에서는 TRIGA 연구로에 대한 역사를 간략하게 더듬어 보고, 해체 사업에 대한 그 동안의 경위와 향후 업무 계획 등의 현황에 대해 언급하고자 한다.

**국내 원자력 기술의 상실
TRIGA Mark-II & III**

우리 나라 최초의 연구용 원자로인 연구로 1호기(TRIGA Mark-II)는 55년 스위스 제네바에서 개최된 「원자력의 평화적 이용을 위한 국제 회의」에 우리 나라 대표단이 참석, 국내 원자력 개발의 필요성을 절감하고 도입을 추진함으로써 탄생하게 되었다.

당시 미국의 35만달러 원조를 포함한 총 75만달러의 예산으로 58년 12월 미국의 General Atomic(GA)사와 계약을 맺고 59년 7월 기공식을 가진 후 15개월 만인 60년 11월 원자로 건물이 준공되었으며, 이어 62년 3월 19일 16시 52분 역사적인 첫 임계에 도달함으로써 국내 원자력 과학 기술 개발의 효시를 이루게 된 것이다.

이렇게 탄생한 100kW급 연구로 1호기는 점차 그 활용도가 증대함에 따라 69년 출력을 250kW로 증가시켰으며, 95년 1월 운전을 정지하기까지 약 34년 동안 원자력 기술의 불모지인 우리 나라에 수많은 원자력 공학도 양성을 위한 교육 훈련과 중성자를 이용한 기초 연구, 동위 원소 생

산, 방사화 분석 연구, 원자로 특성 연구 등 다양한 분야에 활용됨으로써 국내 원자력 기술의 발전에 결정적 기여를 하였다.

한편, 연구로 1호기가 100kW에서 250kW로 용량이 증가하기는 하였으나, 연구로의 이용도가 점차 높아지고 다양해짐에 따라 고출력의 새로운 연구용 원자로 건설이 절실하게 되었다.

따라서 연구로 1호기가 가동된 지 3년만인 65년 제2의 연구로 건설이 계획되었지만, 예산 확보 등의 어려움으로 68년 12월에 가서야 GA사와 1차 구매 계약(38만 달러)을 체결할 수 있었고, 69년 2차 계약(30만 달러)과 함께 원자로 설계에 착수하였으며 건물 기공식도 가졌다.

이어 70년 3차 계약(41만4천 달러)으로 원자로 본체 건조에 착수하게 되었으며, 71년 준공을 하였다.

이듬해인 72년 3월 19일 첫 임계에 도달한 후, 95년 12월 30일 운전을 완전히 정지할 때까지 약 24년간 방사선 의약품, 농학 및 산업 분야에서 필요한 각종 방사성 동위원소 생산, 중성자를 이용한 재료 개발, 방사화 분석, 중성자 사진, 원자로 특성 연구 등 다양한 분야에 활용됨으로써, 새로운 연구로인 HANARO가 정상 가동될 때까지 연구로 2호기 역시 연구로 1호기와 함께 우리 나라 원자력 과학 기술 발전에 크게 공헌하였다.

〈표〉는 연구로 1·2호기에 대한 특성, 운전 이력 및 주변 기기에 대한

사양 등을 요약한 것이다.

열출력의 차이 이외에 연구로 1·2호기의 가장 큰 차이점은, 연구로 1호기의 경우 원자로가 고정형인데 비하여 연구로 2호기는 원자로심이 이동형으로 되어 있어 연구 목적에 따라 원자로심 위치를 변경할 수 있다는 점이다.

연구로 1·2호기의 폐로 결정

지난 85년 서울 공릉동에 위치한 옛 한국원자력연구소 부동산이 연구소의 대전 이주와 함께 한국전력공사에 매각됨으로써 연구로 1·2호기는 서서히 새로운 운명을 맞이하게 되었다.

서울의 연구로 1·2호기 및 주변 부지는 대전에 새로운 연구로를 건설·운영할 때까지 무상 사용하기로 한국전력공사측과 합의함으로써 한 시적 삶을 살게 된 것이다.

그리고 추후 본 부동산을 한국전력공사에 반환할 때에는 한국원자력연구소가 연구로 1·2호기, 관련 시설 및 부지를 제염·처리하여 반환하는 것으로 하였다.

95년 하나로가 준공·가동됨에 따라 동 1월과 12월에 연구로 1·2호기는 가동을 중단함으로써 마지막 삶을 살게 되었고, 이어 한국전력공사로부터 부지 반환 요청을 받게 되었다.

이에 따라 96년 3월 제12차 원자력이용개발전문위원회에 「연구용 원자로 1·2호기 폐로 계획(안)」을 보

(표) 연구로 1·2호기의 제원 및 부대 설비

구 분		연구로 1호기	연구로 2호기
원자로 특성	형태	Open pool Fixed core	Open pool Movable core
	최대 열출력	250kW	2MW
	노심 크기(cm)	45.7φ × 58.4H	54.1φ × 75.9H
	노심 channel 수	91개	127개
	냉각수 용량	4,500 gal	40,000 gal
	냉각재 및 감속재	H ₂ O	H ₂ O
	제어봉 수	3개	5개
운전 이력	반사체	Graphite	H ₂ O
	최초 임계일	1962. 3. 19	1972. 5. 10
	운전 정지일	1995. 1	1995. 12. 30
	운전 년수	34년	24년
	총운전 시간	36,000시간	55,000시간
	전출력 환산 일수	1,522일	2,301일
원자로 주변 기기	적산 출력	156MWD	2,864MWD
	Beam Port 수	4개	8개
	Thermal Column(Beam Port)	2개	4개
	열교환기 수	1개	1개
	원자로실 크기(m)	25.5L×17W×14H	29.3L×27W×19.8H
	수조 외부 크기(m)	8.2L×6.5W×6.4H	17.4L×9.7W×8.0H
	수조 내부 크기(m)	2.3φ×6D	7.6L×3W×7.6D
	1차 냉각 펌프 수	2	1
2차 냉각 펌프 수	1	2	

증대되고, 또 연구로 주변의 도시화 가속으로 인해 방치시 민원 야기의 소지도 있을 것으로 판단되어, 당초 계획대로 폐로를 추진하는 것이 가장 바람직한 것으로 결론을 지었다.

최소한의 연구와 폐로 폐기물 관리 방안을 고려한 사업 기간 확정

사업 확정 후 해외의 폐로 현장을 방문하고 해외 관련 전문가들과 의견을 교환한 결과는, 폐로 사업은 건설 사업과 전혀 달라서 예측치 못한 문제점들이 계속 발생할 수 있다는 사실이었다.

특히 방사성 물질로 오염되었거나 방사화된 부분들이 비방사성 물질들과 혼재하여 있기 때문에, 섬세한 분류 작업이 없으면 방사성 폐기물의 양이 지나치게 증가할 수도 있고, 작업 과정에서 제2의 오염도 피할 수 없으며, 또한 전혀 예측치 못했던 예전의 오염 문제도 있을 수 있다는 것이다.

이러한 문제 발생시 이의 해결을 위한 연구 검토 및 방안 확정, 그리고 처리에 많은 시간이 필요하여 당초 계획보다 사업 기간이 매우 늦어질 수도 있다는 사실을 알게 되었다.

그리고 일반적으로 원자력 시설 해체 공사시에는 짧은 기간 내에 다량의 방사성 폐기물이 발생하기 때문에, 방사성 폐기물 관리에 대한 방안이 우선적으로 확정되어야 한다.

고하고, 이어 본 사업이 97년도 예산에 반영됨으로써 97년 1월부터 99년 12월 30일까지 3년간 폐로 사업을 종료하고 관련 부동산은 한국전력공사측에 반환하는 것으로 확정하였다.

폐로 사업 확정 과정에서 연구로 2호기의 재가동에 대한 의견도 대두되었으나, 검토 결과 우선 서울에 연구로 1기를 가동하기 위한 별도의 인력이나 비용이 효용성에 비해 지나치게 크고, 핵비확산 정책에 따라 연구로 용 고농축 핵연료(70%) 생산이 중단되었을 뿐만 아니라, 연구로 및 관련

시설이 오늘날의 안전 규제에 맞도록 하기 위해서는 대대적인 보수를 필요로 하지만 관련 장비나 부품 생산이 더 이상 안되는 등 현실적인 어려움이 너무나 많은 것으로 나타났다.

또한 폐로 시기와 관련해서도 현상태대로 좀 더 관리를 하다가 추후 방사성 폐기물 처분장 준공 시기와 맞추는 것이 어떻겠느냐는 의견도 있었으나, 불용 시설을 유지·관리하는 데 불필요한 인력과 예산이 뒤따라야 할 뿐만 아니라 시설의 노후화 가속으로 방사선/능으로 인한 환경적 위험이

IAEA 기술 보고서, NRC 자료, DOE 자료, 영국·프랑스·일본 등의 선진 경험 국가들의 자료 등이 많은 참고가 되었다.

사용후 핵연료 미국으로 수송 완료

미국 정부는 핵비확산 정책의 일환으로 해외 연구로에서 사용된 미국 원산 사용후 핵연료를 회수하여 종합 관리하겠다는 정책을 확정하 바 있으며, 우리 나라 정부가 이에 동의함에 따라 TRIGA 연구로에서 사용된 모든 사용후 핵연료는 미국으로 반송하기로 결정하였다.

반송에 앞서, 수송 용기의 장전 기준과 저장 기준에 맞는 자료를 얻기 위하여 미국 에너지부(DOE) 주관으로 Lockheed Martin Idaho Technologies Co.사의 핵연료 검사팀이 97년 5월 20일부터 6월 12일 까지 서울의 연구로 2호기 원자로 수조와 대전의 하나로 작업 수조에 저장되어 있는 사용후 핵연료 형상 파악 및 분류 작업을 실시한 바 있다.

과학기술부는 정부 차원의 지원과 여러 관련 기관과의 업무 협조를 주관하였다. 그리고 수송과 관련한 수송선·수송 용기 등 모든 장비와 수송 비용은 미국측 책임으로 하였으며, 한국원자력연구소는 사용후 핵연료 이송을 위한 기술적인 업무를 지원하기 위하여 약 50여명으로 구성된 Task Force Team을 결성하고 미국

의 이송 일정에 따라 안전하게 이송 되도록 최선을 다하였다.

미국 DOE에 의해 선정된 육상 및 해상 운송 업체는 Nuclear Assurance Company(NAC)사로서 핵물질 전문 운송 업체이다.

NAC사의 전문가들이 수 차례 연구소를 방문하여 사용후 핵연료를 보관하고 있는 시설 현황을 파악하고, 연구소 실무자와 지속적인 협의를 통해 이송중에 일어날 수 있는 문제점들을 사전에 철저히 점검하였다.

특히 이송 3개월 전부터는 격주에 한번씩, 그리고 한 달 전부터는 매주 한번씩 DOE HQ(Washington), DOE IO(Idaho Falls), INEEL(Idaho Falls), NAC(Georgia) 및 원자력연구소(대전)를 동시에 연결하는 Conference Call을 운영하고 담당 업무의 진행 상황을 상호 점검·확인하는 등 핵연료 이송을 위한 만반의 준비를 하였다.

98년 6월 국내항을 떠난 299봉의 사용후 핵연료는 한치의 오차도 없이 무사히 미국 서부항을 통해 반송 완료됨으로써 한·미간의 원자력 협력 증진에 크게 기여하였다.

폐로 사업 측면에서 보면, 사용후 핵연료의 성공적 이송 완료로 사실상 폐로 사업에서 가장 힘들고 비용이 많이 들 뿐만 아니라, 처리 방법도 모호하였던 사용후 핵연료 문제가 완전히 해결됨으로써 TRIGA 해체 공사의 중요한 한 단계를 완료한 셈이다.

안전을 고려한 해체 설계

해체 설계를 위한 업체 선정은 공개 경쟁 입찰을 통해 현대 엔지니어링사로 결정되었으며, 97년 12월 26일 설계 용역 계약이 체결되었다.

그러나 원자력 시설에 대한 제염·해체 설계는 국내에서는 어떠한 회사도 수행한 경험이 없었기 때문에, 현대 엔지니어링사에서는 해외 유경험 업체인 영국의 BNFL사를 기술 지원 파트너로 선정하였다.

해체 설계 업무 과정에서는 연구로 1·2호기의 도면과 운전 이력에 대한 자료 검토 등이 많은 참고가 되었다.

그리고 원자로 주변 기기 및 원자로 수조 콘크리트에 대한 방사화 정도 예측에는 연구로 1·2호기와 유사한 영국의 ICI 연구로와 맨체스터 대학 연구로 등을 참고로 하여 UKAEA사에서 자체 개발한 FISPIN Code를 이용하여 계산하였다. 또한 시설 내·외부의 방사선 오염 정도를 측정하여 설계에 반영하였다.

예비 설계 과정에서는 방사화 정도, 오염 정도 및 작업 용이성 등을 고려한 제염·해체 방법이 제시되었고, 이를 국내의 전문가들이 재검토하여 설계에 반영할 수 있도록 의견을 제시하였다.

이러한 일련의 과정을 거쳐 얻어진 작업 절차 및 방법들은 다시 한번 국내외 전문가들이 안전성 분석을 포함

한 각 절차별 위해도와 작업성(HAZOP)을 재검토함으로써 작업 과정에서 발생할 수 있는 방사선 안전 사고 및 산업 안전 사고에 대비하였다.

해체 공사를 위한 인·허가 신청

해체 설계를 바탕으로 원자력법 제 31조에서 요구하는 해체 계획서와 환경영향평가 보고서를 작성하여 98년 말 인·허가 서류를 제출하였다.

이 서류는 현재 원자력 규제 기관인 한국원자력안전기술원에서 심사를 하고 있는 바, 99년 10월경에는 인·허가를 취득하여 99년 11월 본격적인 폐로 공사에 착수할 수 있을 것으로 보인다(그림 2).

해체 공사 업체는 정부의 공사 인·허가를 득한 후, 공개 경쟁 입찰을 통해 선정할 예정으로 있다.

해체 공사 업체도 해체 설계 업체와 마찬가지로 국내 업체를 주계약자로 하고, 필요시 그 회사로 하여금 해외 유경험 업체의 기술 지원을 받도록 함으로써, 국내 업체에게 폐로 경험과 기술 축적의 기회를 제공하여 추후 있을 발전용 원자로 폐로에 대비하고자 한다.

〈그림 2〉의 폐로 사업에 대한 주요 일정에서 나타난 바와 같이 해체 공사가 완료되는 2002년 말경에 부지 환경 복원을 할 계획이다.

그리고 2008년 중·저준위 방사성

내용	년도						
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003 ~ 2008
• 사업 계획 수립 및 준비							
• 환경 영향 평가							
• 해체 설계 및 인·허가 서류 작성							
• 사용후 핵연료 이송							
• 인·허가 관련 질의·응답							
• 제염·해체 공사							
• 부지 복원							
• 방사선 관리							
• 폐기물 처리·관리							
• 폐기물 이송(처분장)							
• 원자로실 제염 및 부동산 반환							

(그림 2) 폐로 사업 일정

폐기물 처분장이 건설·운영되면, 원자력연구소는 방사성 폐기물을 처분장으로 이송·완료하고 나머지 잔류 시설에 대해 제염을 한 후, 한국전력 공사에 부동산을 이관함으로써 폐로 사업을 완전 종료하게 된다.

해체 방사성 폐기물 관리

원자력 시설 제염·해체는 단기간에 걸쳐 대량의 방사성 폐기물을 발생하게 한다. 따라서 이의 효과적인 처리·저장 관리는 원자력 시설 제염·해체의 가장 중요한 작업 중의 하나이다.

특히 어디까지가 방사성 폐기물이고 어디까지가 비방사성 폐기물인가 하는 분류 기준의 설정은 방사성 폐기물 발생량에 결정적인 영향을 미치게 된다.

이와 관련하여 지난 99년 5월에는 최초로 OECD/NEA, IAEA 및 EC 주관으로 「규제 측면에서의 해체 워크숍」을 개최한 바 있다.

본 워크숍에서는 주요 원자력 선진국들이 자국의 원자력 시설 제염·해체 관련 규제 현황을 발표하고 문제를 제기하며 토론을 벌였는데, 각국마다 입장이 다르거나, 규제가 마련되어 있지 않아 Case-by-Case로 처리하는 경우가 매우 많음을 알 수 있었다.

또한 Exemption level, Clearance level, Unrestricted Release, Authorized Release... 등 용어도 매우 다양하며, 이들의 방사능 준위 역시 각국마다, 해체 시설마다 매우 상이함을 알 수 있었다.

특히 금속성 폐기물의 재활용과 관련한 철강 업체의 입장은, 고객에게 최상의 품질을 보증하는 상품을 제공

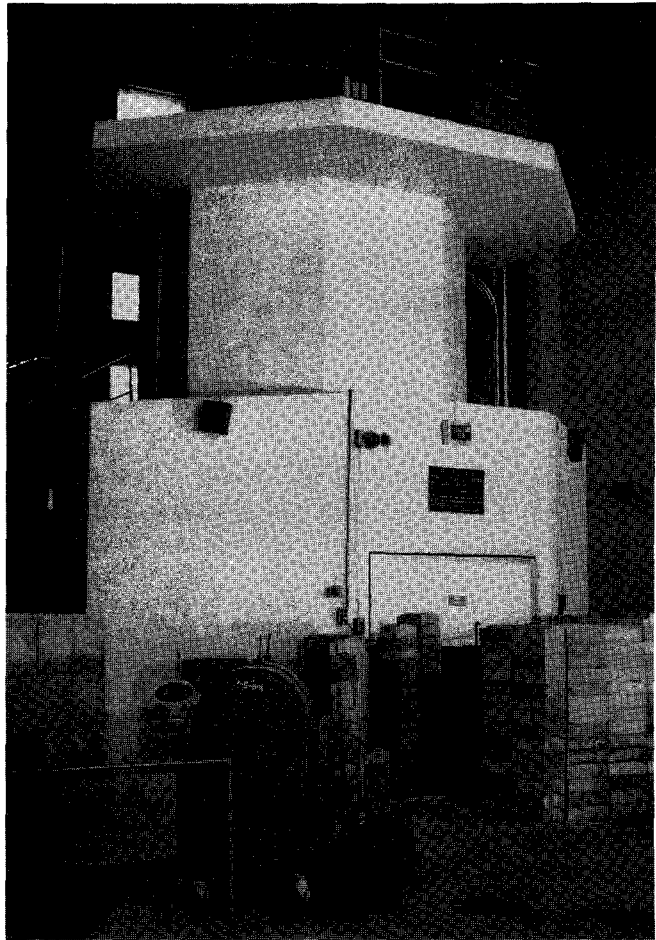
하는 것이 그들의 목표이기 때문에, 극히 미미할지라도 자칫 방사능을 떨 수도 있는 방사성 폐기물의 재활용에는 매우 신중한 입장을 보였다. 다만 극히 제한적인 분야의 재활용은 가능하지 않겠느냐는 의견도 제시하였다.

TRIGA 연구로 폐로의 경우, 국내에도 아직까지 관련 규정이 미비된 상태로 방사성 폐기물 처리시의 규제 면제 기준 등은 영국 BNFL사의 권고안을 따르기로 하였는데, 그 이유는 영국도 IAEA의 권고 기준을 따르고 있으며, ALARA(As Low As Reasonably Achievable)와 ALARP(As Low As Reasonably Practicable)원칙을 기본으로 하고 있기 때문이다.

어떻든 폐로 과정에서 방사성 폐기물의 양을 줄일 수 있는 가장 효과적인 방법은 우선 폐기물에 대한 철저한 분류 작업이다.

따라서 어느 나라든 제염·해체는 작업을 천천히 그리고 섬세하게 수작업을 하는 경우가 많아, 인건비가 차지하는 비중이 전체 공사비의 50~60%를 차지할 정도로 높다는 것이 일반적인 견해이다.

연구로 1·2호기 해체시 발생되는 방사성 폐기물은 그 물리적 형상에 따라 고체·기체 및 액체 폐기물로 구분할 수 있는데, 이들 각각에 대한 처리 개념을 개략적으로 설명하고자 한다.



연구로 1호기 원자로(TRIGA Mark-I). 100kW급 연구로 1호기는 점차 그 활용도가 증대함에 따라 69년 출력을 250kW로 증가시켰으며, 95년 1월 운전을 정지하기까지 약 34년 동안 원자력 기술의 불모지인 우리나라에 수많은 원자력 공학도 양성을 위한 교육 훈련과 증성자를 이용한 기초 연구, 동위 원소 생산, 방사화 분석 연구, 원자로 특성 연구 등 다양한 분야에 활용됨으로써 국내 원자력 기술의 발전에 결정적 기여를 하였다.

1. 고체 폐기물

주요 고체 폐기물로는 원자로 수조 내부의 원자로, 방사화된 주변 기기, 동위원소 시료 조사 튜브, 원자로 수조를 구성하고 있는 생물학적 차폐 콘크리트 중 방사화된 콘크리트, 수조수 정화 계통과 냉각 계통을 이루

고 있는 배관이나 펌프류, 레진 용기, 필터 용기, 열교환기, 필터류, 액체 폐기물 이송 배관, 액체 폐기물 저장 탱크, 액체 폐기물 처리 시설 및 설비, 자연 증발 시설 및 설비 등이 있다.

그리고 표면 오염이 된 콘크리트

바닥이나 각종 실험 기자재들 중 오염된 부분, Hood 및 원자로실을 비롯한 각종 환기 설비들의 배출 덕트 등 매우 다양하다.

이들 고체 폐기물들은 그 특성에 따라 대부분 4m³(혹은 폐기물 특성에 맞는 다른 용량) 용량의 철재로 제작된 ISO 컨테이너와 200리터 드럼(주로 가연성 방사성 폐기물)에 각각 포장하여 임시 저장 관리할 계획으로 있다.

이 과정에서 덕트류 등 압축이 가능한 철재류 등의 고체 폐기물들은 가능한 한 압축을 통해 최대한 부피를 감용하여 컨테이너에 포장할 계획으로 있다. 이 때 모든 방사성 폐기물에 대한 방사선/능 조사를 하고, 이를 모두 데이터 베이스화 하여 추후 처분에 대비할 계획이다.

우리 나라는 아직도 중·저준위 방사성 폐기물 처분장이 운영되지 않는데다 처분장 인수 기준도 마련되어 있지 않은 상태로, 현재는 IAEA 권고에 따라 대부분의 고체 폐기물을 ISO 컨테이너에 포장하여 임시 저장하여 두었다가 처분장이 건설·운영되면 이송·처분할 계획으로 있다.

2. 액체 폐기물

액체 폐기물은 연구로가 운영될 때 발생한 원자로 수조수를 비롯하여 사용후 핵연료 저장조의 수조수, 연구로 시설 주변에 산재되어 있는 각종 액체 폐기물 수집 저장조 폐액, 그리

고 해체 공사시 예상되는 제염수, 작업자의 샤워 및 작업복 세탁수 등으로서 약 500톤으로 추산하고 있다.

이들 액체 폐기물은 대부분 방사선 준위가 극히 낮아 원자력법에서 허용하는 자연 방출이 가능하나, 주변에 회석 방류할 수 있는 강이 없는 등의 주변 여건을 고려하여 배출하지 않기로 하였다.

따라서 모든 액체 폐기물은 자연 증발 처리 시설을 이용하여 전량 자연 증발 처리할 계획이다.

자연 증발 처리 후 남게 되는 농축 폐액과 슬러지는 시멘트 고화 장치에 의해 고화를 하거나 아예 건조시켜 용기에 밀봉하여 고체 폐기물로 관리할 계획이다.

특히 오염된 샤워 및 세탁 폐액은 막분리 장치로 분리한 후, 정제액은 자연 증발 처리 시설로 이송하여 추가 처리하고, 농축액은 건조시켜 별도의 용기에 보관 관리할 계획으로 있다.

3. 기체 폐기물

해체 공사시 발생하는 기체 폐기물은 핵연료가 모두 제거된 상태이므로 핵물질로부터 발생하는 오염 기체는 배제할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 방사화된 콘크리트 분진으로 말미암아 원자로실 내부를 모두 오염시킬 가능성이 충분히 있으므로, 원자로 수조 해체시에는 먼저 비방사성 콘크리트를 제거하고, 방사화된

콘크리트를 제거할 때에는 여과 장치가 부착된 임시 격납 시설을 설치한 후 해체 작업을 하게 된다.

임시 격납 시설의 여과 장치로부터 배출되는 공기는 원자로실의 환기 계통에 연결되어 직접 Stack으로 빠져나가기 때문에 원자로실을 오염시킬 가능성은 없다.

〈그림 3〉은 해체 공사 과정에서 발생하는 방사성 폐기물의 처리 흐름도를 보여주고 있다.

본 TRIGA 연구로 폐로 작업은 연구로 2호기를 필두로 연구로 1호기, 그리고 부속 시설 등의 순서로 2002년까지 완료할 계획이다.

그리고 폐로 작업 과정에서 발생하는 방사성 폐기물은 4m³ ISO 컨테이너(혹은 다른 크기의 ISO 용기) 200리터 드럼 등 적절한 용기에 담아 현지의 기존 시설을 활용하여 안전하게 임시 저장하였다가, 2008년 처분장이 건설·운영되면 수송을 완료하고 저장 시설을 제염한 후 부동산을 한국전력공사로 이관함으로써 폐로 사업을 완전 종료하게 된다.

제염·해체 관련 연구 개발

원자력 시설 제염·해체와 관련한 연구·개발은 많은 원자력 선진국들이 단위 요소 기술을 중심으로 70년대 중반부터 수행하여 왔으며, 수명이 다한 연구로나 실증로를 중심으로 기술 실증을 하였다.

수행하고는 있으나 체계적인 연구는 매우 부족한 편이다.

하지만 방사성 폐기물 처리 연구, 오염 물질 및 시설의 제염과 관련한 연구, 방사성 폐기물 처분 연구 등은 매우 활발히 진행되고 있기 때문에, 이를 효과적으로 통합·활용할 경우 추후 많은 도움이 될 것으로 보인다.

현재 TRIGA 연구로 폐로 사업을 계기로 연구 개발 및 응용을 목적으로 추진하고 있는 연구 및 실증 과제로는 우선 자연 증발 시설 활용을 들 수 있다.

이는 이미 대전의 원자력연구소에서도 훌륭하게 사용되고 있는 시설로서, 서울의 경우에도 방사성 액체 폐기물을 외부로 방출하지 않고 본 자연 증발 시설을 이용하여 향후 폐로 시 발생하는 모든 액체 폐기물을 증발 농축 처리할 예정으로 있다.

현재 예측되고 있는 액체 폐기물은 모두 500m³이하로 자연 증발 처리시 방사선적 안전성 여부를 검토한 결과 환경에 아무런 영향이 없는 것으로 나타났다.

또한 폐로 과정에서 발생하는 작업자의 샤워 및 세탁 폐액 처리를 위하여 막분리 시설을 활용할 목적으로 개발 단계에 있으며, 핫셀 내의 방사성 동위원소 시편이나 폐기물 등을 효과적으로 제거하기 위하여 로봇에 내방사선 카메라를 장착한 시스템도 개발하고 있다.

그 외에도 오염 토양의 효과적인

처리를 위한 오염 토양 제염 및 환경 복원 연구, 수중에서 작업이 가능한 금속 절단기 개발, 방사성 폐기물 감용을 위한 압축 장치 개발, 이동식 고화 장치 개발, 저장 탱크 내에 다량 침적되어 있는 슬러지 처리 및 장치 개발 연구, 수중 벽면 방사능 측정용을 위한 수중 벽면 주행 로봇 연구·개발 등이 수행되고 있다.

한편 한국원자력안전기술원에서는 OECD/NEA·IAEA 등과 협력해 나가면서 원자력 시설 제염·해체와 관련한 각종 기술 기준(특히 방사성 폐기물 관리와 관련한 기술 기준 설정), 규제 관련 법적 근거 마련 등의 연구를 수행하고 있다.

안전성과 경제성이 조화를 이루도록 사업 추진

전술한 바와 같이 원자력 시설의 제염·해체 과정에서 가장 중요한 일 중의 하나는 작업자 보호와 환경 보호일 것이다. 동시에 선정된 기술은 경제성과 작업 용이성도 겸비하여야 할 것이다.

이미 완성된 해체 설계서는 일종의 제염·해체 작업 순서로서, ALARA와 ALARP 원칙하에 이 목표를 달성할 수 있도록 작성하였다.

또한 폐로 과정에서 발생되는 방사성 폐기물은 최소화하도록 노력할 것이다.

이는 사전 교육을 충분히 받은 작

업자들에 의해 방사성 물질과 비방사성 물질 간의 철저한 분류 작업을 통해서 이루어질 것이며, 자연 증발 농축, 막분리 설비, 압축 설비 등 가능한 한 감용 방법을 모두 활용함으로써 방사성 폐기물 최소화를 해 나갈 것이다.

그리고 포장되는 모든 방사성 폐기물은 사전 핵종 분석을 통하여 핵종과 방사선 준위 등을 데이터 베이스화하여 언제든지 추적이 가능하도록 할 계획이다.

물론 모든 작업은 방사선 안전 관리 요원의 철저한 감시와 통제하에 이루어질 것이며, 각 개인에 대한 피폭 관리는 본 폐로 사업을 위해 특별히 설치한 자동 피폭 관리 시스템에 의해 자동 관리하게 된다.

본 폐로 사업은 원자력 시설 제염·해체의 기술 자립에도 역점을 두어, 해체 설계와 마찬가지로 해체 공사도 국내 업체로 하여금 해체 기술 축적의 기회를 갖도록 노력할 것이다. 또한 한국원자력안전기술원이 기술 기준 및 규제를 정립하는 데도 도움을 줄 수 있도록 하겠다.

다만 장기간에 걸쳐 사용한 원자력 시설인데다 각종 원자력 관련 실험을 수행한 연구소였기 때문에, 다른 나라와 마찬가지로 예측치 못한 문제점들이 발생할 수도 있을 것으로 보인다. 이러한 문제는 국민 보건과 환경 보존 차원에서 조화롭게 해결해 나가도록 최선을 다할 예정으로 있다. 