

TRIGA Mark II 및 III호기 연구용 원자로
제염·해체 사업 추진 현황
Current Status of the Decommissioning Program of
the TRIGA Mark II&III Research Reactors

이지복, 정기정, 안기정, 정운수, 우종섭, 이병직, 오원진
한국원자력연구소

요 약

1962년 국내 최초로 가동에 들어간 TRIGA Mark II와 1972년 가동에 들어간 TRIGA Mark III 연구용 원자로는 1995년 1월과 12월에 각각 운전을 정지한 다음, 1997년 1월부터 3년여에 걸친 제염·해체 사업에 들어갔다. 우리나라는 한국원자력연구소를 중심으로 제염·해체와 관련한 연구를 방사성 폐기물 처리 연구와 함께 지속적으로 추진하여 왔으나, 아직까지 원자력 시설에 대한 실질적인 제염·해체를 해본 경험은 없다. 따라서 본 사업 수행을 위해서는 사업 주계약자는 국내 업체로 하되, 경험이 많은 외국 회사를 협력사로 선정, 차질 없는 제염·해체 사업을 수행하므로서, 국내 업체에게는 향후 원자력 시설 해체에 대한 경험을 쌓게 하는 계기가 되도록 하고자 한다. 한편 한국원자력연구소는 그 동안의 연구 경험을 바탕으로 TRIGA 연구로 제염·해체 Project와 관련한 사업 관리, 기술 지원 및 도서 검토 등을 수행하고, 또 제염·해체 현장 작업 수행 시에는 원자력 연구소에서 기개발하였거나 개발 예정으로 있는 기술들이 실증될 수 있도록 하며, 나아가서는 향후 원자력 시설의 해체시 기술적으로도 응용 될 수 있도록 할 예정이다. 본고에서는 TRIGA 연구용 원자로에 대한 개략적인 설명과 함께, 사업의 향후 추진 방향을 기술하고자 한다.

I. 서론

서울 공릉동에 소재한 TRIGA Mark II 연구용 원자로(1호기)는 1955년 제네바 국제 회의에서 원자력의 평화적 이용을 목적으로 미국이 우방국에 원자로 건설을 제의함에 따라, 우리나라도 1958년 12월 General Atomic사와 도입 계약을 체결, 1959년 7월에 착공하여, 1962년 3월 19일 첫 임계에 도달한 우리나라 최초의 연구용 원자로이다.

본 연구용 원자로는 1969년 초기의 100KW에서 250KW로 용량을 증가하였으나, 새로운 연구용 원자로의 필요성이 대두되어 1972년에 2MW급 TRIGA Mark-III 연구용 원자로(2호기)를 준공, 가동에 들어갔다.

TRIGA Mark II 및 III는 30여년동안 우리나라의 원자력 과학기술 발전과 원자력 과학교육 및 동위원소 생산 등에 커다란 기여를 하였다. 그러나 1984년 한국원자력연구소가 연구 인력들과 함께 대전으로 이주를 하게 됨에 따라, 서울에 소재한 연구용 원자로는 인력 지원 문제, 재정 지원 문제등 운영상의 어려움을 겪게 되었다.

게다가, 대전의 한국원자력연구소 부지 내에 건설된 30MW급 다목적 연구용 원자로(하나로)가 1995년 준공·가동에 들어감에 따라, 본 두기의 연구용 원자로 활용도가 더욱 더 감소하였는데다, 원자로 및 주변 시설 부지를 포함한 구 한국원자력연구소 부지가 한국전력에 매각됨에 따라 1, 2호기는 1995년 1월과 12월에 각각 가동을 정지하고 한국전력으로의 부지 이관을 위한 제염·해체를 하기로 결정했다.

이러한 기본 방침에 따라, 과학기술처에서는 1996년 3월 원자력이용개발전문위원회에 연구용 원자로 1, 2호기 폐로 계획을 보고한 바 있다. 이 보고 내용에 따르면, 1, 2호기를 가능하면 빠른 시일내에 폐로 및 철거하되, 1호기는 국내 최초의 원자로로서 교육적, 역사적 가치가 있으므로 기념관화를 추진하는 것으로 되어 있다.

또한 본 연구용 원자로의 제염·해체 사업은 연구용 원자로 1, 2호기를 운영하였던 한국원자력연구소가 주관하는 것으로 되어 있으며, 여기에는 관련 인·허가 도서 작성, 제염·해체 계획 수립 및 설계 작업, 제염·해체 작업, 발생 폐기물 처리 및 부지 복구 작업 등이 포함된다. 그리고 공릉동의 구 원자력 연구소 부지의 새로운 소유주인 한국전력은 1호기에 대한 기념관화 수행 및 이에 대한 운영을 담당하도록 명시하고 있다.

이에 따라 한국원자력연구소에서는 1996년 하반기에 원자로 1, 2호기의 제염·해체를 위한 사업 계획서를 작성, 과학기술처에 제출하였으며, 1997년부터 1999년 말까지 약 3년여에 걸쳐 약 90억원의 사업비가 투입되는 사업을 결정, 현재 추진 중에 있다.

II. 본론

II. 1. TRIGA Mark II 및 III 현황

TRIGA 연구로는 1995년 가동을 정지한 이래, 현재는 원자로 내의 냉각수 정제 장치만 간혹 운전을 하고 있으며, 이로부터 발생하는 폐기물 처리를 위한 처리시설들도 부정기적으로 가동하고 있다. 현재 시설관리등 잔무처리를 위해 약 25명 정도의 연구소 직원들이 1, 2호기 원자로 업무를 담당하고 있는 실정이다.

그림 1은 연구용 원자로 1, 2호기 및 주변 건물 배치 현황을 보여 주고 있는데, 우선 회색으로 나타낸 건물들이 방사성 물질을 취급하였던 곳으로 오염이 되었거나 오염이 되었을 가능성이 있는 건물들이며 나머지는 비방사성 구역 건물들이다.

오염예상 주요시설로는 연구용 원자로 1, 2호기, Hot-Cell, 각종 실험실, 방사성폐기물 처리시설, 방사성폐기물 저장시설 등이 있다.

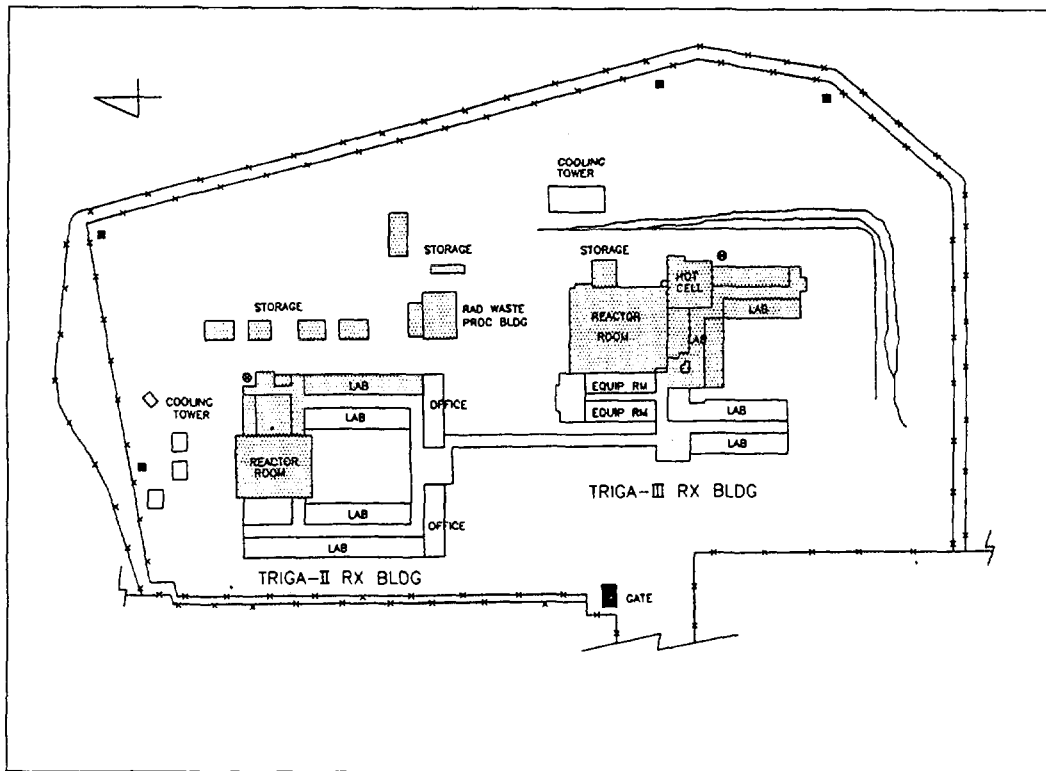


그림 1. 연구용 원자로 부지

우선 연구용 원자로 1, 2호기의 경우, 로내 구성 재료는 알루미늄 합금(Al-606)으로 되어 있어 재질의 방사화가 크게 일어나지 않았기 때문에, 로내의 방사선 준위가 2-5R/h 정도로, 미국 Cintichem 5MW 연구용 원자로의 1500R/h에 비해 훨씬 낮은 것으로 나타났다¹⁾. 다만 로심내의 볼트나 너트, 빔 등이 스텐레스강으로 되어 있어, 이의 방사화로 인해 Co-60등이 생성된 것으로 보고 되어 있으며, 그외 주요 핵종으로는 Zn-54, Zn-55, Fe-55, Ni-63 등 방사화 핵종들과 Cs-137, Eu-152, Eu-154 등의 핵분열생성 핵종 등이 있으나, 방사능 세기는 상당히 낮다²⁾.

따라서 미국이나 프랑스, 일본 등의 연구용 원자로에 비해 방사능 세기가 낮아, 제염·해체 작업이 상대적으로 용이할 것으로 예상은 되지만, 해체 설계전 전구역의 방사능 측정에 의해서만이 정확한 방사선 준위와 작업난이도 등을 판단할 수 있을 것으로 보인다.

그리고, 원자로 1, 2호기 수조는 냉각수로 완전히 채워져 있는데, 그 용량은 약 170,000ℓ 이다. 핵연료의 일부는 현재 2호기 수조에 보관중이며, 이의 처리 문제는 실질적인 제염·해체작업 이전에 확정될 것으로 예상된다. 본 수조에 저장되어 있는 액체폐기물은 해체작업이 시작되면 소형 자연증발시설을 현장에 설치, 농축시킨 다음 농축폐액은 대전으로 운송하여 시멘트고화할 예정으로 있다.

한편 원자로 주변은 오염 상태가 그렇게 심각하지 않은 것으로 나타났으나³⁾, 방사성 폐기물 최소화 차원에서 주변기거나, 각종 기자재 및 기사용된 부품등은 오염여부 및 방사능 측정을 통해 철저한 분류 작업을 하여야 한다.

원자로 이외에도 Hot-cell 이나 실험실 및 방사성폐기물 처리시설 등은 어느 정도 오염이 되어 있을 것으로 보인다. 기타 다른 건물들은 오래 전부터 사용을 하지 않아, 방사능 세기는 극히 낮을 것으로 보여 단순한 제염 작업으로도 비방사성 구역으로 될 가능성이 있다. 그러나 이러한 모든 시설들에 대한 오염 여부도 제염·해체 설계 이전에 모두 확인, 반영할 계획이다.

그러나 부지를 인수받을 한국전력측과 어느선까지 제염·해체 및 건물 철거를 해주어야 하는지 등에 대한 정확한 업무범위는 구체적으로 결정되지는 않았다. 또한 방사능 무구속 방출에 대한 법적 제한치도 아직 규제화되지 않아 제염 작업 및 환경복원 작업을 어느 수준까지 수행해야 하는지에 대한 결정을 내리지 못하고 있다.

표 1은 연구용 원자로 1, 2호기의 전반적인 특성과 운전이력을 보여주고 있다. 1호기의 경우, 로심이 고정형으로 되어 있는 반면, 2호기는 이동형으로 되어 있어 목적에 따라 로심을 이동시켜 가면서 사용할 수 있도록 되어 있었다. 총 운전 시간은 1, 2호기가 각각 36,000시간과 55,000시간이며, 총 열출력은 3,700MWH와 69,000MWH였다. 이 열출력량은 미국 Cintichem 5MW 연구용 원자로의 906,000MWH⁴⁾에 비해 극히 낮은 수준으로, 로내의 방사화 정도나 오염정도 등이 낮은 것을 반증해주고 있다.

표 1. TRIGA Mark - II 및 III 의 특성 및 운전실적

원자로명	연구로 1호기 TRIGA MARK-II	연구로 2호기 TRIGA MARK-III	
첫 임계	1962. 3	1972. 5	
가동 정지	1995. 1	1995. 12	
원자로형	수조형 (Open Pool, Fixed Core)	수조형 (Open Pool, Movable Core)	
Pool 냉각수 용적(ℓ)	17,146	153,000	
열 출력	250 KW _{th}	2MW _{th}	
최대 중성자속 (N/cm ³ ·sec)	1 x 10 ¹³	6 x 10 ¹³	
냉각재	H ₂ O	H ₂ O	
감속재	H ₂ O	H ₂ O	
반사체	Graphite	H ₂ O	
제어봉	B ₄ C	B ₄ C	
핵 연 료	U-235 농축도	20%	20 및 70%
	피복재	알루미늄	SUS-304
	화학조성	UZrH 금속 합금	ErUZrH 금속 합금
	핵연료 장전량	2.96Kg	12.6Kg
총 운전시간 (Hours)	36,000	55,000	
총 열출력 (MWH)	3,700	69,000	

II. 2. 연구용 원자로 제염·해체 계획

표 2는 본 사업에 대한 전반적인 업무 추진 계획을 보여주고 있다. 계획에 의하면 우선 1997년 중반부터 1998년 중반까지 제염·해체 엔지니어링을 추진하는 것으로 되어 있다. 여기에는 '97년 하반기에 이루어질 해체 설계를 위한 국내업체 선정과 설계 작업 등을 포함하고 있는데, 본 해체 설계에 참여하는 주계약자는 국내 업체로 하되 외국의 경험이 많은 회사와 기술제휴 조건으로 참여하는 것을 고려하고 있다. 또한 이 기간동안 환경 영향 평가가 이루어지며, 이는 한국원자력연구소에서 별도의 Project로 수행 중에 있다.

설계 작업 및 환경 영향 평가 등이 끝나면, 바로 인·허가를 위한 도서 검토를 안전

기술원에 의뢰할 예정이다. 현재 인·허가 기간은 약 6개월 정도로 예상하고 있는데, 한국원자력안전기술원에서는 관련 법규나 지침 등도 동시에 마련할 것으로 추정된다.

인·허가와 동시에 사업 주체인 한국원자력연구소에서는 '98년 하반기경 실제 해체 현장 작업을 위한 2차 용역 발주가 나갈 예정으로 있다. 여기에는 제염·해체를 위한 현장 작업과, 이로부터 발생하는 방사성 폐기물 처리 및 운반 등이 포함될 것이다. '99년 말경 해체 작업이 완료되면 전체 부지에 대한 방사능 측정을 하고, 오염된 부분이 없음을 확인한 다음, 환경복원을 위한 부지정지 작업이 끝나는 대로 부지 및 제염된 건물들을 한국 전력에 이관할 예정이다.

표 2. TRIGA Mark-II & III호기 제염 해체 사업 추진 일정

내용	연도	1997	1998	1999	2000
1. 사업관리		[1997년 초부터 1999년 말까지]			
2. 제염 해체 설계		[1997년 중반부터 1998년 중반까지]			
3. 환경 영향 평가		[1997년 초부터 1998년 초까지]			
4. 인·허가			[1998년 중반부터 1999년 초까지]		
5. 제염 및 해체 작업				[1999년 초부터 2000년 초까지]	
6. 방사성 폐기물 처리·운반				[1999년 초부터 2000년 초까지]	
7. 방사선 방호			[1998년 중반부터 2000년 초까지]		
8. 기술 개발 및 실증		[1997년 초부터 2000년 말까지]			

이러한 일련의 과정에서 한국원자력연구소에서는 그 동안 개발한 제염·해체 기술을 바탕으로 인·허가용 도서부터 지속적으로 검토를 하며, 동시에 실제 제염·해체작업 수행 중에는 기개발된 기술들을 최대한 실증 및 활용하므로써 기술확보에도 주력할 예정이다.

특히 본 사업의 차질 없는 수행을 위해서는, 우선 사업 추진을 위한 해체 설계가 완벽하게 이루어져야 하며, 이어 인·허가 역시 기간 내에 차질 없이 수행되어야 할 것이다. 병행하여 사업 추진을 위한 예산도 계획대로 뒷받침되어야 할 것으로 본다.

그러나 선진국에서 제염·해체를 사업을 수행한 경험을 보면, 발생 방사성폐기물을

최소화하면서 시설을 철거하는 작업이기 때문에, 당초 설계한 내용과 상이한 경우가 많아 공사 중단이 자주 발생할 소지가 있고, 또 이를 재검토하여 작업 결정을 내릴 때까지 상당한 시간을 요하는 경우가 많았다.

일례로 미국의 TLG 사가 수행한 5MW급 Cintichem 연구용 원자로 해체 사업의 경우⁴⁾ 당초 3년으로 예상하였던 제염·해체 작업이 7년반으로 지연되었는데, 이의 가장 큰 이유는 당초에는 예상치 못하였던 오염 문제 등이 작업 과정에서 계속 발생하여 작업 중단이 지속적으로 이루어졌기 때문이다. 다만 작업과정에서 발생하는 문제는 현장에서 작업 책임 엔지니어와 관련 엔지니어들이 협의를 거쳐 최종 결정을 내린다음 작업 지시서를 작성하면 별도의 규제기관 승인 없이 제염·해체 작업을 수행하였다. 물론 NRC에서는 부정기적으로 현장 확인을 나왔으며, 자료 검토 등도 수행하였다.

우리의 경우는 Cintichem 원자로 규모에 비해 소형일 뿐만 아니라 전체 운전 시간도 짧고, 또 총열출력량도 적기 때문에 방사능 세기와 오염정도가 낮아 Cintichem과 같은 많은 불확실성은 예상되지 않으나, 충분한 대비는 필요하다고 보여진다.

한편, 제염·해체사업 수행 중 발생하는 방사성폐기물 관리와 관련하여서는, 1996년 12월 30일 개정된 전기 사업법에 의하면, 한국전력(원자력환경기술원)은 방사성 폐기물의 처리 및 처분을 담당하도록 되어 있고, 사업주(한국원자력연구소)는 발생 방사성 폐기물에 대한 포장 및 운반을 책임지도록 규정 짓고 있다.

제염·해체와 관련한 연구분야를 보면, 한국원자력연구소에서 TRIGA 연구용 원자로의 성공적인 제염·해체사업 지원과, 이에 대한 기술실증의 기회로 삼기위해 원자력 연구개발 중장기계획의 일환으로 계통제염 기술개발, 콘크리트 제염 및 분진처리 연구, 오염 검사 및 제염을 위한 벽면 주행 원격장비 개발, 해체 공정 전산모사, 부지 제염 복구 및 해체 폐기물 재활용 연구 등을 수행하고 있다⁵⁾.

일본의 경우, JPDR 제염·해체 계획을 수립할 때⁶⁾, 원자력 개발 이용 장기 계획에 의해 JPDR의 실제 해체사업 착수 10여년 전부터, 이를 제염·해체 기술 개발의 좋은 기회로 활용하기 위하여, 방사능 총량 평가기술 개발, 제염 기술 개발, 해체 공법 기술 및 방사성 폐기물 처리 기술 개발등 연구개발계획을 수립하였고, 그 결과 많은 기술 축적을 한바 있다.

한편, 원자력 이용개발 전문 위원에 보고된 바대로 원자로 1호기는 국내 최초의 연구용 원자로로서 교육적, 역사적 가치가 있으므로 기념관화를 추진하는 것으로 되어 있다. 기념관화의 선진국 선례를 보면, 미국 INEEL의 EBR-I(Experiment Breeder Reactor-I)⁷⁾의 기념관화, 프랑스의 ZOE⁸⁾ 연구용 원자로의 기념관화, 일본의 JRR-1⁹⁾의 기념관화 등에서 보는 바와 같이, 가능하면 원형을 최대한 보존하여 그 역사적, 과학적 가치를 살려 나가는 쪽으로 하여야 할 것으로 보인다.

II. 3. 사업 조직

본 사업의 성공적인 수행을 위해 사업 조직에서 고려해야 할 중요 분야를 보면, 그림 2에서 보는 바와 같이 크게 사업 관리, 해체 설계 및 인허가, 제염·해체 및 방사성 폐기물 관리, 보건 관리, 공사 관리, 산업 안전 관리, 품질 보증 분야 등으로 보인다. 본 사업의 조직에 대해서는 조만간 마무리 지을 계획으로 있다.

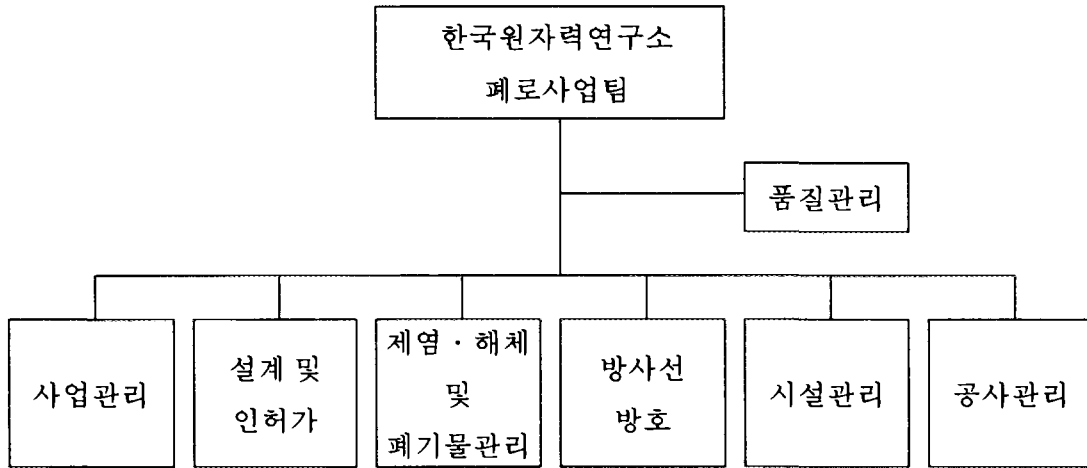


그림 2. 페로사업 예상조직표

III. 결론

본 사업의 성공적인 수행을 위해서는 우선 사업에 대한 정확한 업무 범위가 확정되어야 하고, 또 원자력 시설의 제염·해체시 방사능의 무구속 방출 제한치에 대한 법적 제도가 빠른 시일내에 마련되어야 할 것으로 보인다.

본 사업은 우리 나라 최초의 원자력 시설 해체 사업으로서, 원자력 시설 제염·해체에 대한 국내 기술 축적에 많은 역점을 두는 한편, 사업 주관부서인 원자력 연구소는 제염·해체에 대한 개발된 기술 실증의 기회로 최대한 활용할 수 있어야 할 것이다. 동시에 TRIGA Mark II의 경우는 우리 나라 최초의 연구용 원자로로서, 그 과학적·역사적 의의가 큰 만큼, 다른 국가들과 마찬가지로 가능하면 원형이 최대한 보존되는 차원에서의 기념관화 사업이 추진되었으면 한다.

참고문헌

- 1) 정기정외, “TRIGA해체 사업 관련 해외(미국)유사 현장 방문 및 폐로기술 조사”, 한국원자력연구소, KAERI/OT-354/97, 1997.
- 2) “Decommissioning Study for KAERI TRIGA Mark II Reactor”, Bechtel, 1987.
- 3) 오원진외, “방사성폐기물 처리/기반 기술 개발”, 과학기술처, KAERI-NEMAC/RR-176/96, 1996.
- 4) Adler, Internal Presentation paper, TLG Services, 1997.
- 5) Won-Zin Oh et al. “Current Status and Prospects of Radioactive Waste Treatment Technology Development in Korea” OECD/NEA Programme, 1977.
- 6) 서두한(역) , “일본 원자력 연구소 동해 연구소 원자로 시설(JPDR)의 해체신고” 한국원자력연구소, 1996.
- 7) “INEEL Overview Brochure”, INEEL, 1997.
- 8) “CEA Brochure”, CEA, 1997.
- 9) 서두한, “연구용 원자로 폐로 연구 출장보고서”, KAERI/OR-160/93, 1993.

M E M O

Lined area for writing the memo content.

**NEXT PAGE(S)
left BLANK**

소각 및 고화 분야