

연구용 원자로 1, 2호의 폐로 계획

서 두 환

한국원자력연구소

요 약

한국원자력연구소는, 지금까지 연구로 1호(250 kW)는 33년째, 연구로 2호(2 MW)는 23년째 운전하고 있다. 그러나 이들 연구로는 노후하였고, 새로운 연구로 하나로(30 MW)가 금년 4월에 준공하였으며, 현재의 연구로 1, 2호가 있는 부지와 건물은 한국전력공사의 소유물이라는 이유로, 금년 말까지 연구로 1, 2호는 폐로할 계획으로 있다. 이 논문에는 연구로 1, 2호기에 대한 1)폐로 계획의 배경, 2)연구로의 이력, 3)폐로 계획 등을 기술하고 있다.

1. 폐로 계획의 배경

폐로 계획으로 있는 연구로 1호(TRIGA Mark-II ; 250 kW)와 연구로 2호(TRIGA Mark-III ; 2 MW)는 서울특별시 노원구 공릉동 170-2 번지에 있다. 연구로 1호는 1962년 3월 30일에 운전을 시작하여 현재까지 33년간, 연구로 2호는 1972년 5월 26일에 운전을 시작하여 지금까지 23년간 가동하고 있다.

일반적으로, 연구로의 수명은 25 ~ 30년으로 보고 있으며, 실제로 현재까지 폐로된 TRIGA 원자로는 13기이지만, 그 65 %가 15 ~ 20년간 운전한 후 정지하고 있다. 한국원자력연구소의 연구로 1, 2호는 20년간 이상 운전하였기 때문에 노후하였고, 새로운 연구로인 하나로(KMRR; 30 MW)가 금년 4월 7일에 준공하였으며, 현재의 연구로 1, 2호가 있는 부지와 건물은 한국전력공사의 소유물이라는 이유로, 그간 연구로 1, 2호에 대한 향후관리 방안이 몇 차례 거론되어 왔다.

1994년 10월, 과학기술처에서 열린 과학기술처, 관련 대학교, 학회, 한국전력공사, 한국원자력안전기술원 및 한국원자력연구소의 관계자가 참석한 “연구로의 향후 대책 관련회의”에서 연구로 1, 2호는 잠정적으로 폐쇄하기로 결정하였다.

2. 연구로 1, 2호의 이력

연구로 1, 2호인 TRIGA Mark-II/III는 미국의 GA(General Atomic)사가 건조한 교육훈

련(Training), 연구(Research) 및 동위원소 생산 (Isotope production)에 이용되는 저출력의 소형 원자로이다. 연료는 농축 U-수소화 Zr의 합금이며, 수소가 감속재 역할을 하고 있는 고체 균질형 원자로이다. 노심은 노수조의 밑부분에 있으며, 노전체의 사용 재료는 대부분이 AI 이다.

그간, 연구로 1호는 한국 최초의 원자로로써 노특성 연구, 노재료 시험, 물질구조 연구, 육종 개량, 방사화분석, 학생 교육과 원자력 인력 양성에, 연구로 2호는 그 이외에 중성자 비파괴검사, 신소재개발 등의 분야에 많은 업적을 올렸다.

TRIGA 원자로는 1994년말 현재, 세계의 13개국에서 51기가 가동중이며, 건설중인 것은 3기, 폐로된 것은 13기이다. 그러나 가동중의 약 70%가 20년을 경과하였기 때문에, 머지않아 폐로 되어야 할 것으로 보고 있다. 따라서, 한국원자력연구소는 그와 같은 상황을 전망하여, 1987년에 미국의 Bechtel사와 “Decommissioning Study for KAERI TRIGA Mark-II Reactor”를 공동 연구하였고⁹⁾, 1990년에는 “TRIGA Mark-II/III 관리방안수립 연구”를¹²⁾, 1993년부터 2년간 “연구용 원자로의 폐로 연구”를 수행하였다¹³⁾.

원자로를 폐로 하기 전에, 다음과 같은 예비 조사를 해야 한다^{12,3)}.

- 1) 원자로의 개요(운전 이력, 계통·장비 등)
- 2) 방사능 인벤토리
- 3) 폐로 방식(밀폐관리, 차폐격리, 해체철거)
- 4) 관련 법규(인허가, 기술기준 등)
- 5) 폐기를 처리·처분
- 6) 비용 추정, 재원 조달 방법 등

상기 중에서 조사 연구한 결과를 몇 가지 소개한다.

연구로 1호에 대한 33년간의 적산 출력은 156 MWD, 전출력환산일수는 1,137 EFPD, 연구로 2호에 대한 적산 출력은 2,738 MWD, 전출력환산일수는 2,090 EFPD 이다. 현재 보유하고 있는 연료봉 수는 연구로 1호에 사용중인 것이 76 개, 연구로 2호에는 109 개, 새연료는 12 개, 사용후연료는 113 개, 합계 310 개이다.

한편, 연구로 1, 2호의 관련자료(설계도, 운전일지, 각종 절차서, 지침서, 안전성분석보고서 등)를 수집, 정리하였다. 연구로 1호에 대해서는 방사능 inventory 평가, 제염방법 분석, 방사능 폐기물의 관리 방안 등을 제시하였다^{11,13)}.

폐로 비용은, 일반적으로 원자로 건설비의 10 % 이며, 경비추정자료의 오차는 25 %로 알려져 있다. 연구로 1호의 건설비는 약 100 만불(1960년), 연구로 2호는 약 250 만불(1970년)이다. 따라서 현재의 시가로 따지면 연구로 1호의 폐로 비용은 160 만불, 연구로 2호는 640 만불, 합계 800 만불로 추정하고 있다.

참고로, 몇몇 TRIGA 원자로의 폐로 비용을 소개하면,

- TRIGA Mark-F, Northrop (1 MW) : 100 만불(1085), 밀폐관리

- BRR UC, TRIGA Mark-III (1 MW)⁷⁾ : 235 만불(1990), 해체철거
- UT TRIGA Mark-II (250 kW)⁸⁾ : 75 만불(1985), 해체철거
- NUREG/CR-1756의 자료 (1 MW)²⁾ : 120 만불(1982), 추정치

3. 폐로 계획

계획하고 있는 폐로의 시기와 방식은, 금년 말에 연구로 1, 2호의 운전을 정지시키고, 사용후연료는 3개월 정도 냉각기를 두고 본소(대덕연구단지내)의 하나로 사용후핵연료 저장조로 수송, 이관하여, 원자로는 밀폐관리한다. 그후 폐로 프로젝트 팀을 조직, 폐로 계획을 수립하여 원자력위원회의 승인을 얻어 폐로 프로젝트를 추진한다.

현재, 검토중인 폐로 계획은 연구로 1호는 제염하여 원자력기념관으로 만들고, 연구로 2호는 완전히 해체철거하기로 되어 있다. 해체철거 기간은 NUREG/CR-1756의 자료²⁾에 따라 20개월로 잡고 있다. 생각할 수 있는 해체 순서는¹⁴⁾,

- 1) 핵연료의 인출, 수송
- 2) 노심 구조의 해체, 철거
- 3) 원자로 수조의 해체
- 4) 냉각계, 환기계의 철거
- 5) 시험, 실험 장치의 철거
- 6) 원자로 건물의 해체

등이다. 표 1에 프로젝트 팀의 조직을, 표 2에 주요한 프로젝트의 활동과 그 공정을 나타내고 있다.

연구로 1, 2호는 다음과 같은 이유로, 원자로 정지 후에 해체철거가 용이하다고 보고 있다¹⁴⁾.

- 1) TRIGA 원자로는 출력이 작고, 방사화된 재료가 적기 때문에, 장기간의 냉각은 필요치 않으며 작업자의 접근이 가능하다.
- 2) 정지후, 방사능 인벤토리의 대부분을 차지하는 단반감기 핵종은 수년 안에 감쇠한다.
- 3) 원자로의 운전관리에 종사한 인력을 활용할 수 있다.

4. 맺음말

본문에서 기술한 바와 같이, 연구로 1, 2호의 폐로를 실행하기 위해서는 원자력위원회의 의결이 선행되어야 할 것이다. 그리고 한국원자력연구소는 하루 빨리 부설 원자력환경관리센터에 폐로 프로젝트 조직을 구성하여, 확실한 폐로 계획을 수립하여 한국원자력안전기술원, 한국전력공사와의 협력 하에 폐로 프로젝트를 추진해야 할 것이다. 또한, 예산 확보와 함께 폐로 기술개발의 연구, 관련 법규, 기술기준 등의^{4,5,10)} 제정 및 준비가 있어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Planning and Management for the Decommissioning of Research Reactors and Other Small Nuclear Facilities; Technical Reports Series No. 351, IAEA('93).
- 2) Technology, Safety and Costs of Decommissioning Reference Nuclear Research and Test Reactors; NUREG/CR-1756('82).
- 3) American National Standard for Decommissioning of Research Reactors ; ANSI/ANS-15.10('81).
- 4) Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities ; 10 CFR 50.
- 5) Termination of Operating License for Nuclear Reactors ; Reg. Guide 1.86.
- 6) Decommissioning of TRIGA Mark-III ; Docket No. 50-227, GA.
- 7) Decommissioning Final Report and Termination Radiations Survey Results(BRR); Docket No. 50-224, Univ. of Ca.
- 8) Decommissioning Plan for the Univ. of Texas TRIGA Reactor; Docket No. 50-192.
- 9) Decommissioning Study for KAERI TRIGA Mark-II Reactor ; Bechtel('87).
- 10) 연구로시설의 폐지에 관한 인허가 절차 및 기술기준 ; KAERI/NSC-315/88.
- 11) 원자로 제염/해체기술개발 ; KAERI/RR-576/86.
- 12) TRIGA Mark-II/III 관리방안수립연구 ; KAERI/RR-904/90.
- 13) 연구용 원자로 폐로연구 ; KAERI/RR-1286/93 및 KAERI/RR-1473/94.
- 14) 서두환 ; TRIGA 원자로 폐지 현황, 원자력학회지, Vol. 26, No. 2 ('94).

표 1. 폐로사업의 조직

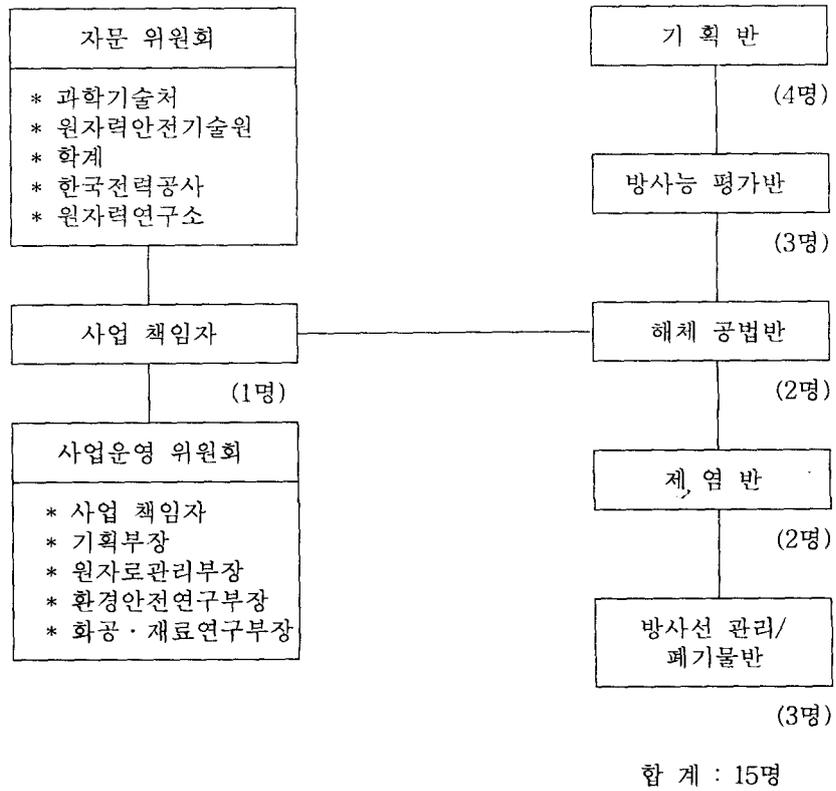


표 2. 폐로계획 일정

	1995	1996	1997	1998	1999	2000
o. 1, 2호 운영	정지					
o. 연료 인출, 이전		▽				
o. 1, 2호 밀폐관리 - 폐로 계획/준비 - 폐로 기술개발						
o. 1호 제염 - 기념관화						
o. 2호 해체 철거 - 폐로 후 조치						