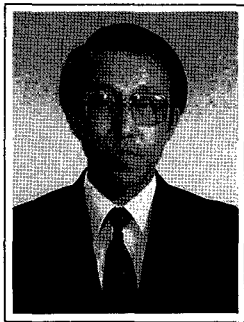


# 하나로의 역할과 전망

채 성 기

한국원자력연구소 하나로센터장



**97**년말 현재 전세계에서 가동 중인 발전용 원자로는 모두 437기이며, 이들로부터 생산되는 전력이 전체의 17%를 점유하여 에너지의 안정 공급과 환경 보호에 크게 기여하고 있다는 것을 많은 사람들은 익히 알고 있다.

그러나 연구용 원자로가 원자력 기술 발전의 토대가 되어 왔으며, 아울러 기초 과학 및 응용 기술 연구를 위한 기반 시설로서 커다란 역할을 해오고 있는 데 대해서는 잘 인식되어 있지 않다.

연구로는 발전로보다 20년 가량

앞선 40년대 중반부터 설치되기 시작하여 초창기에는 핵반응에 관한 기초 실험 등에 이용되었고, 50년대 와서야 재료 시험을 할 수 있는 고출력의 연구로가 출현하였다.

이들로부터 얻은 실험 자료와 연구 결과는 60년대 이후에 상용 발전로를 설계·건설하는 데 활용되었다.

세계적으로 지금까지 모두 약 570기의 연구로가 건조되었으며, 그 중에서 임무를 마치거나 수명을 다하고 퇴역한 300여기의 원자로를 제외하면 현재도 270기 정도가 운전 중에 있다.

우리 나라에서는 연구로 1호기인 TRIGA Mark-II (250kW) 및 연구로 2호기인 Mark-III (2MW)가 62년과 72년에 각각 운전을 시작하여 기초 연구, 인력 양성 및 방사성 동위원소 생산 등에 활용되어 왔다.

이들 두 연구로는 95년에 다목적 연구로인 하나로(30MW)가 완공됨에 따라 운전을 중단하고 폐로를 기다리고 있다.

이외에 경희대학교에 소형 교육용 원자로인 KRR(0.1W)이 76년에 미

국으로부터 기증되어 학부 학생과 대학원생들을 위한 실험에 쓰이고 있다.

95년 2월 8일 하나로가 10년여에 걸친 건설 과정을 마치고 첫 임계를 달성함으로써 우리 나라 원자력 연구 개발 역사에 커다란 한 획이 그어지게 되었다.

그것은 하나로가 우리의 원자력 초창기에 가지고 있던 TRIGA 연구로의 경우와는 달리, 성능 면에서 매우 우수한 신형 연구로일 뿐만 아니라 원자로의 설계·건조가 우리의 기술 주도로 이루어졌다는 데에 큰 의미가 있기 때문이다.

80년대초 원자력 발전 기술 자립 계획이 활발하게 추진되기 시작하면서 원자력 산업 확대에 따른 연구로 활용 수요 증대에 부응하고, 산업 구조의 선진화를 위한 첨단 기술 개발에 필수적인 핵심 연구 시설로서의 역할을 담당하며, 노후화 되어가는 소규모 TRIGA 연구로를 대체할 2000년대 연구로의 필요성이 대두되었다.

한국은 핵연료와 원전 부품을 국산화하고 개량 핵연료와 신형 원자로

〈표 1〉 하나로 사업 연혁

연 월	진 행 내 용
85. 1	설계 착수
87. 12	건설·운영 허가 획득
89. 3	기공식
92. 3	원자로 건물 골조 공사 완료
93. 12	원자로 설치 완료
94. 12	계통 기능 시험 완료
95. 2	핵연료 장전 및 첫 임계 달성(2. 8)
95. 4	준공식(4. 7)

도 개발하고 있다.

따라서 재료의 조사 시험이 필수적으로 뒤따라야 한다.

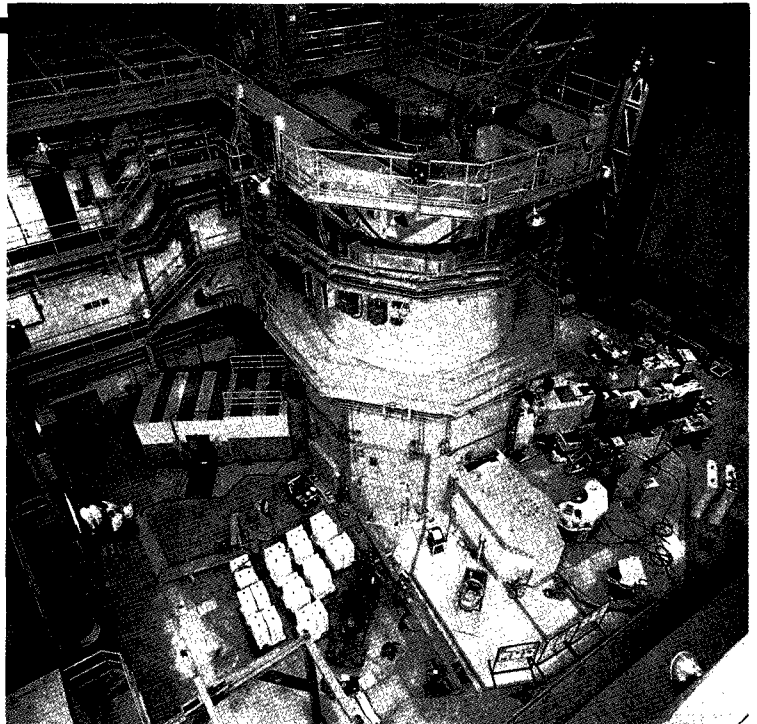
또한 산업 기술이 부품 조립 단계에서 원료 생산 단계로 발전하려면 이를 뒷받침하기 위한 기초 물성 연구가 필요하며, 그 유용한 도구로서 중성자 빔이 매우 중요하다.

한편 국민의 생활 수준 향상과 더불어 의료용 방사성 동위원소의 수요가 급증하게 되며, 따라서 단반감기의 동위원소의 안정적 공급이 절대적으로 요구된다.

하나로는 이와 같은 재료 조사 시험, 중성자 빔 이용 실험, 동위원소 생산 등 수요를 모두 수용할 수 있는 능력을 갖추고 있는 다목적 연구로이다.

85년 정부의 허가로 하나로 사업이 착수되었으며, 원자로 건설 기간 동안에 수많은 문제의 해결과 귀중한 경험을 통하여 상당한 연구로 기술의 축적도 이룩할 수 있었다.

하나로 사업의 추진 경위를 요약하면 〈표 1〉과 같다.



하나로 원자로를 전경. 13.4미터 높이의 원자로를 중심으로 각종 실험 장치들이 설치되고 있다.

‘하나로’란 명칭은 공모로 선정된 것으로서 순수한 우리말로 뚜렷한 의미를 함축하고, 외국인도 부르기 쉬우며, 영문 명칭의 약자이기도 하다.

‘하나’는 ‘유일’ 또는 ‘ 으뜸’이란 뜻으로 세계 유일의 원자로로서 성능 또한 세계 정상 수준임을 나타내며, ‘하나로’는 분열에서 단합으로, 분단에서 통일로 간다는 의미이다.

또한 영문 표기 ‘HANARO’는 ‘High-flux Advanced Neutron Application ReactOr’의 약자로서 고성능 연구로란 의미를 내포하고 있다.

하나로의 완공후에 원자로에 대한 각종 특성 시험과 여러 단계에 걸친 성능 시험들이 성공적으로 수행되어 만족스러운 결과를 얻음으로써 설계와 성능에 대한 검증이 이루어졌으며, 현재 장시간 시험 운전이 계속되고 있다.

하나로를 활발하게 이용하기 위해서는 〈표 2〉에서 보는 바와 같이 많은 활용 시설이 필요하다.

그러나 재원과 인력 배분의 어려움 등으로 원자로의 건설과 병행하여 활용 시설들이 적기에 설치되지 못하였다.

92년부터 추진된 원자력 연구 개발 중장기 사업의 연구비 지원으로 방사화 분석 시설, 재료 시험용 캡슐 장치, 방사성 동위원소 및 의약품 생산 시설, 중성자 빔 이용 시설 등이 전부 또는 부분적으로 사용할 수 있게 되어 준공 후 3년여가 지난 이제서야 하나로가 다목적 연구로로서의 면모를 갖추기 시작하였다.

중성자의 특유한 성질은 물질과의 상호 작용에 의하여 그 물질의 구조와 거동을 규명하는 강력한 도구로서 연

구로의 유용성을 확고히 하게 되었다.

현재 선진국에서는 연구로의 이용 분야가 중성자 분광 장치를 사용한 중성자 빔 실험 연구에 가장 많이 치중되고 있으며, 중성자 빔에 의한 재료에 대한 연구 및 분석이 결정 구조 해석, 원자 운동 해석 등에서 잔류 응력 측정, 결함 탐지 등으로 다양화되고 있다.

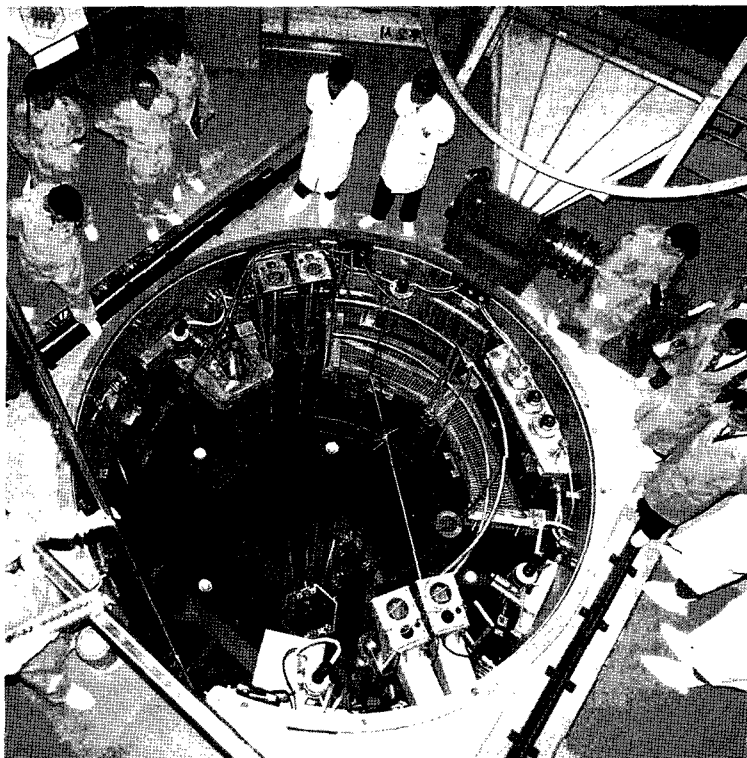
열중성자에 비하여 온도가 극히 낮은 냉중성자는 큰 분자로 구성된 물질의 특성과 구조를 해석하는 데 적합하여, 냉중성자원과 냉중성자용 분광 장치를 갖추는 데 상당한 시설비가 소요되나, 생체 고분자와 거대 분자를 다루는 생명 공학·석유 화학 등 분야에 대한 활용이 점차 증가하고 있다.

방사성 동위원소는 의학·공학·농학·생물학 등에 광범위하게 이용되어 왔으며, 특히 각종 질환의 진단과 치료에 응용됨으로써 의료 분야의 발전에 커다란 기여를 하고 있다.

하나로에서는 진단용으로 가장 수요가 큰 Tc-99m을 비롯하여 여러 가지 핵종들이 생산, 공급되고 있다.

세계 최초로 개발된 신물질인 <sup>166</sup>Ho-CHICO는 간암 치료제로 상품화하기 위해 임상 시험이 수행되고 있으며, Ho-166 패취제도 피부암 치료용 신약으로 개발이 진행 중이다.

독자적인 원자력 개발 계획을 유지하면서 핵연료와 원전 부품을 제작하고 원자로 기술을 수출하는 나라는 이를 뒷받침하기 위한 재료의 개발



하나로의 최초 핵연료 장전(95. 2) 모습



하나로 전경. 왼쪽이 동위원소 건물, 가운데가 조사제 시험 설비 건물, 오른쪽이 원자로 건물이다.

및 개량, 핵연료와 부품의 조사 시험을 위한 연구가 계속 필요하다.

현재 또는 가까운 장래에 원자력 개

발에 관심이 있는 나라도 요원 훈련, 전문 기술의 개발 및 유지를 위해서 다목적 연구로를 계속 이용하여야 한다.

〈표 2〉 하나로를 활발하게 이용하기 위하여 필요한 설비

구분	시설명	주요 설비	용도	이용자
연구 개발	중성자 빔 이용 시설	·중성자 분광 장치 (HRPD/FCD/PNS/SANS/TAS/Reflectometer)	- 재료 물성 연구 - 첨단 신소재 개발	· 학계 · 연구 기관 · 산업체
	냉중성자원 시설	· Helium 극저온 설비 · Neutron Guide Hall	- 복합재료/고분자물질 개발 - 생체 생명 현상 규명 및 생명 공학 연구	· 학계 · 연구 기관 · 산업체
	암치료 연구 시설	· 중성자 조사 장치 · 붕소 농도 분석 장치	- 암 치료 연구 - 뇌종양 치료 - 즉발 감마 방사화 분석	· 의료 기관 · 연구 기관 · 학계
제품 생산	동위원소 생산 시설	· 핫셀 (21기) · KGMP 시설	- 산업용/의료용 동위원소 생산 공급 - 방사성 의약품 개발	· 산업체 · 의료 기관
	규소 반도체 생산 시설	· 중성자 도핑 설비(2)	- 고품위 규소 반도체 생산 공급	· 산업체
	Fission Moly 생산 시설	· 핫셀 (5기) · Tc-99m 생산 설비 · 폐기물 저장 시설	- 의료용 Mo-99 생산 공급 - 의료용 Tc-99m 생산 공급	· 의료 기관
시험/분석	조사 시험용 캡슐 시설	· 표준형 재료 캡슐 · 핵연료 캡슐 · 특수 목적 캡슐	- 원전 재료의 조사 취화 시험 - 신형 핵연료 조사 - Creep, fatigue 시험	· 연구 기관 · 산업체 · 학계
	노내 조사 시험 시설	· 루프	- 핵연료 및 노재료 시험	· 연구 기관 · 산업체
	방사화 분석 시설	· 중성자 조사 장치 (2 PTS) · $\gamma$ -Counting System	- 물질의 극미량 원소 분석 및 검증	· 연구 기관 · 산업체 · 학계
	중성자 라디오 그래피	· 중성자 라디오그래피 장치 (NR)	- 중성자 비파괴 검사	· 산업체 · 연구 기관

원자료를 보유하지 않고 있으나 에너지 확보 대안으로 원자력을 고려하고 있는 나라도 원자력의 규제와 운영 경험을 축적하고 이에 대한 자신감을 얻기 위해 연구로를 가지려고 할 것이다.

전세계를 통해서 가동중인 연구로

의 50% 이상이 지은 지 30년이 넘었고, 나머지의 약 절반이 20~30년 동안 운전된 것들이다.

계속되는 연구로의 수요를 충족시키기 위해서는 수명이 다한 연구로를 개조하거나 새로운 연구로를 건설하는 것이 불가피하다.

최근에 캐나다·독일·러시아·태국·중국·호주·브라질 등이 연구로를 건설중이거나 건설을 계획하고 있으며, 몇 개국에서는 하나로의 설계와 경험에 대하여 상당한 관심을 나타내고 있어서 연구로 기술의 수출 가능성도 엿보인다.

이와 같이 하나로는 첫째로, 중성자를 이용한 기초 과학 연구의 활성화 및 첨단 기술 연구 기반 구축에 기여하고, 둘째로, 핵연료/노재료 개발을 통한 원자력 기술의 선진화 및 방사성 동위원소의 산업 이용 확대에 따른 방사선 응용 기술의 고도화를 촉진하고, 셋째로, 고품위 의료용 동위원소의 공급 및 뇌종양 치료 기술의 개발로 핵의학 발전을 선도하고 국민 복지 향상에 이바지하며, 넷째로, 연구로 활용과 관련된 국제 공동 연구 및 연구로의 개조와 신규 건조에 대한 기술 협력으로 국제 기술 교류를 촉진하는 등 그 활용의 효과는 매우 크고 다양하다.

하나로에 설치된 활용 시설들이 활발하게 이용되고, 그 연구·시험 결과가 학계·의료계·산업계에서 국제적인 경쟁력을 가지고 유용하게 쓰여질 때 하나로의 우수성이 인정받게 될 것이며, 한국이 세계 10대 원자력 발전국 중의 하나인 것에 걸맞게 하나로도 세계 10대 고성능 연구로 중의 하나로 명실공히 자리를 굳힐 것이다. 또한 이러한 날이 머지않아 반드시 올 것으로 믿는다. ☞