



연구용 원자로 ‘하나로’ 운전 3000일 돌파

이충성

한국원자력연구원 하나로운영부장



서울대 원자핵공학과 졸업

현대엔지니어링/원자력 사업 개발

한국원자력연구소 입소(1987)

하나로 설계, 시운전 및 노심 관리업무

하나로 운전과제 책임자

하나로운영부장(2014 -)

국내 유일의 연구용 원자로 ‘하나로’가 2월 10일 오전 00:00시를 기해 운전 시간 3000일을 기록했다. 하나로는 1995년 2월 8일 첫 임계(원자로에서 외부 도움 없이 핵분열 연쇄반응이 지속되기 시작하는 현상)에 도달해 운전을 시작하여 약 19년 만에 3000일을 달성한 것이다.

하나로는 국내 자력 기술로 설계·건조·운영하고 있는 열출력 30MW의 다목적 연구로로 운전 시간 3000일 달성은 순수 국내 기술로 설계한 원자로가 우수한 운영 기술로 안전하게 운영되었다는 것을 의미한다.

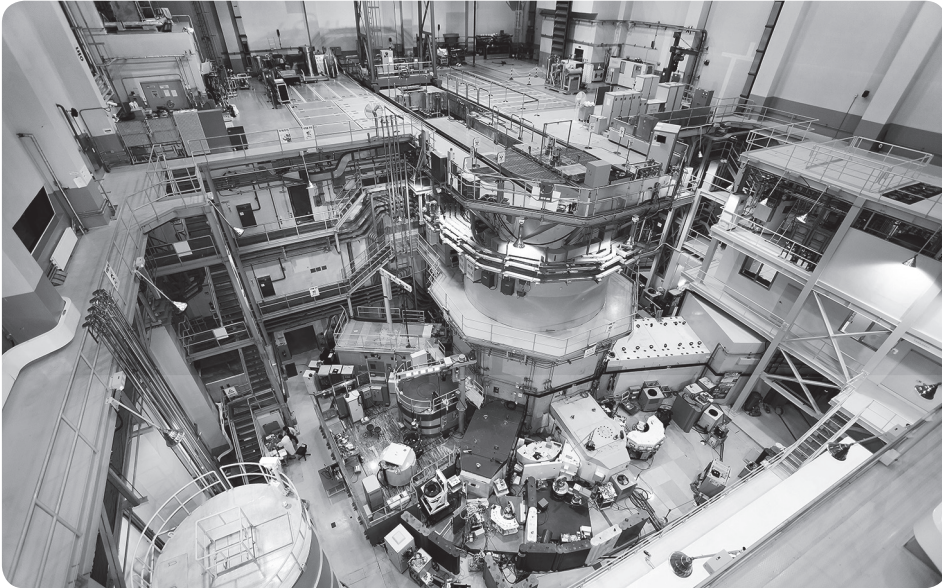
하나로 이전에 연구용 원자로로는 서울 공릉동에 연구로 1호(TRIGA Mark-II)와 연구로 2호(TRIGA Mark III)가 있었다. 이 두 연구로는 열출력 250kW와 2MW로 하나로 준공 후 정지하고 폐로 작업을 완료하였으며 현재는 하나로가 국내 유일한 연구용 원자로다.

하나로는 1985년 1월 다목적 연구용 원자로(Lorea Multipurpose Research Reactor)설계 건조 사업으로 시작하였다. 이후 1986년 12월 부지 정지 공사를 착공하여 1993년 8월 원자로 설치를 시작하였고 1994년 8월부터 계통 기능 시험을 거쳐 1995년 2월 2일 핵연료 장전을 시작하여 2월 8일 16시 09분에 첫 임계에 도달하였다.

하나로의 성과

다목적 연구용 원자로인 하나로는 발전용 원자로와는 활용 범위가 크게 달라, 전기를 생산하는 것이 아니라 발전용 원자로의 핵연료 및 원자로 재료 조사 시험을 비롯해 방사성동위원소와 규소 반도체 등 산업 및 의료 제품 생산, 중성자 빔을 이용한 기초 연구 및 첨단 소재 개발 등에 쓰인다.

2010년 완공된 ‘냉중성자 연구시설’은 나노 기술과 바이오 기술을 위



하나로 전경. 여러 가지 목적을 가진 하나로로는 단일 목적 원자로와 비교하여 매우 다양한 특성과 복잡한 시설을 갖추고 있다. 이러한 고성능 다목적 연구로를 19년 동안 3000일 이상 운전한 성과는 세계적으로도 인정받는 것이다. 이러한 성과를 바탕으로 2009년 요르단에 하나로를 참조한 연구로를 수출하는 쾌거를 이루었으며, 최근에는 말레이시아 원자로 개조 사업도 수행하고 있고, 네덜란드, 남아프리카공화국, 사우디아라비아 등의 신규 연구로 건설 사업 수주에 노력을 기울이고 있어 앞으로 창조 경제에 기여하는 좋은 소식이 기대되고 있다.

한 핵심적인 측정, 분석에 이용되고 있다. 지금까지 1,015개 기관에서 7,755명의 연구자들이 하나로를 이용해 각종 연구를 수행하였다.

동위원소 생산에서는 비파괴 검사, 정량 측정 기기 등에 산업용 방사성동위원소 1,682,000 퀴리(Ci), 암진단 및 치료 등 의료용으로 12,308 퀴리(Ci)를 각각 생산해 관련 업계에 공급했다. 국내 신약 3호인 동화약품의 간암 치료제 밀리칸주는 간으로 잘 전달되는 화합물인 키토산에 홀뮴이라는 동위원소를 붙여 간암 세포를 선택적으로 죽이는 치료제이다.

하나로에서 발생하는 중성자 빔은 전기를 띄지 않는 중성자의 특성으로 물질 내부를 들여다볼 수 있을 뿐만 아니라 물질을 변형시켜 새로운 물질을 만들어낸다. 대표적인 예로 병원에서 엑스선으로 인체 내부를 촬영하듯이 수소 연료 전지나 엔진 내부, 토양 속 인삼 뿌리, 항공기 부품, 폭발물, 문화재 등을 파괴하지 않고 내부의 정보나 결함 등을 알 수 있다. 하나로로는 원

자로에서 생산되는 중성자를 이용한 비파괴 검사를 국내외 연구자들에게 개방하고 있다.

또한 모든 산업용 소재들은 수명과 직접적인 연관을 갖고 있는 ‘잔류 응력’을 갖고 있는데, 하나로 내 중성자 잔류 응력 장치는 잔류 응력을 가장 정확히 측정해 준다. 하나로로 잔류 응력 장치를 이용해 원자력과 기계 부품 산업에 활용되는 인코넬 튜브, 스테인리스 스틸 용접 시편, 표면 개질 기계 부품 등의 잔류 응력 측정이 이뤄지고 있다. 최근 80mm 두께의 대형 선박용 강판의 잔류 응력을 측정해낸 성과는 세계 최고의 성능으로 평가받고 있다.

핵연료나 원자로에 사용되는 부품들은 수명 기간 동안(약 40~60년) 방사선에 노출되면 재료의 특성이 변형되어 수명과 성능에 영향을 줄 수 있어 사용 전에 방사선의 영향을 확인하여야 하는데 하나로 원자로에서 발생하는 중성자의 양이 세계 10위권 이내의 고성능이라, 1년 내외의 단시간 동안의 조사 시험으로 그 영향을

〈표〉 ‘하나로’ 주요 이정표

일시	내용	일시	내용
1985. 1. 1	다목적 연구용 원자로 (KMRR) 설계 건조 사업 시작	2004. 12. 23	하나로 정격 열출력 30MW 운전 시작
1987. 12. 21	다목적 연구용 원자로 건설 및 운영 허가 (제 219차 원자력위원회)	2005. 3. 4	국산 하나로 핵연료 집합체 첫 출하
1989. 3. 25	다목적 연구용 원자로 기공	2006. 5. 10	냉중성자 실험동 기공
1993. 8. 1	원자로 설치 착수	2007. 11. 29	하나로 국산 핵연료 전량 장전 완료
1994. 12. 31	원자로 건물 준공	2008. 4. 28	2000일 운전 달성
1995. 2. 2	핵연료 장전 시작	2009. 9. 3	첫 냉중성자 생산
1995. 2. 8	첫 입계	2009. 9. 18	핵연료 노내 조사 시험 설비 시운전
1995. 3. 25	다목적 연구용 원자로 ‘하나로’로 명명	2010. 3.	요르단 연구로 계약 체결
1996. 1. 10	하나로 열출력 15MW 운전 시작	2012. 9.	연구용원자로 재료 시험용 장주기 캡슐 장전
1997. 6. 24	하나로 방사성동위원소 생산 시설 가동	2012. 1.	하나로 업무 전산화(ANSIM) 전면 시행
2002. 12. 14	NTD 조사 상용 서비스 시작	2012. 12.	하나로 시뮬레이터 개발

알려줄 수 있다. 최근에는 국내 원자력발전소의 재료는 물론 연구로 재료 개발에도 활발하게 사용되고 있다.

중성자를 나노 또는 바이오 실험 재료에 충돌시켜 재료 내의 수소 원자의 위치와 물 분자 배치 등 생체 고분자의 3차원 입체 구조를 해석한다. 이를 통해 질병 제어, 유전병의 교정, 노화 방지와 관련된 중요한 생명 시스템 연구가 이뤄지고 있다.

하나로에서 최고급 실리콘 반도체도 생산된다. 부도체인 고순도 실리콘에 중성자를 쬐이면 극미량의 인(P)이 생겨 최고급 전력용 실리콘 반도체로 거듭난다. 이 방법을 이용해 생산된 실리콘 반도체는 KTX 같은 고속 열차나 프리우스 같은 하이브리드 자동차, 자기 부상 열차, 전기 자동차, 풍력 발전소에 사용되는 반도체로 보통 PC에 들어가는 반도체보다 전류의 세기가 1000배 가량 높다. 현재 하나로에서 생산되는 중성자 도핑 실리콘은 세계 수요의 10~15%를 차지하고 있다.

요오드-131, 이리듐 192 등 20여종의 의료 및 산업용 방사성동위원소를 개발해 질병 진단, 암 치료 등 의료 분야와 비파괴 검사, 종자 개량, 식품 보존 처리 등 다양한 분야에서 활용하고 있다.

이러한 국민 복지를 위한 하나로에 기여가 인정되어 2017년 완공 목표로 방사성동위원소와 실리콘 반도체 생산을 주목적으로 하는 신형 연구로를 기장에 건설하는 프로젝트가 진행 중이다.

냉중성자는 하나로에서 나온 중성자를 영하 250도의 액체 수소에 통과시켜 온도를 확 낮춘 것이다. 이렇게 하면 중성자는 에너지가 낮아지며 파장이 대략 4~20옹스트롬(1Å=0.1나노미터)으로 짧아져 기존 분석 장치로는 볼 수 없던 나노 영역을 훤히 볼 수 있게 된다.

여러 가지 목적을 가진 하나로는 단일 목적 원자로와 비교하여 매우 다양한 특성과 복잡한 시설을 갖추고 있다. 이러한 고성능 다목적 연구로를 19년 동안 3000일 이상 운전한 성과는 세계적으로도 인정받는 것이다.

이러한 성과를 바탕으로 2009년 요르단에 하나로를 참조한 연구로를 수출하는 계약을 이루었으며, 최근에는 말레이시아 원자로 개조 사업도 수행하고 있고, 네덜란드, 남아프리카공화국, 사우디아라비아 등의 신규 연구로 건설 사업 수주에 노력을 기울이고 있어 앞으로 창조 경제에 기여하는 좋은 소식이 기대되고 있다. 