

해체 핵심 기술 개발 현황 및 기술 경쟁력 확보 방안

서범경

한국원자력연구원 해체기술연구부 부장



· 부산대 물리학 학사
· 부산대 핵물리학 석사, 박사
· 한국원자력연구원 책임연구원 (02~)

우리나라 최초의 상업용 원자력발전소인 고리 1호기가 2017년 6월 18일 24시를 기해서 40년간의 전기 생산을 마치고 영구정지에 돌입하였다. 고리 1호기는 1972년에 건설을 시작하여 운전 시작을 알리는 최초 임계는 1977년 6월 19일 도달하였으며, 상업 운전은 1978년 4월 29일부터 시작하였다.

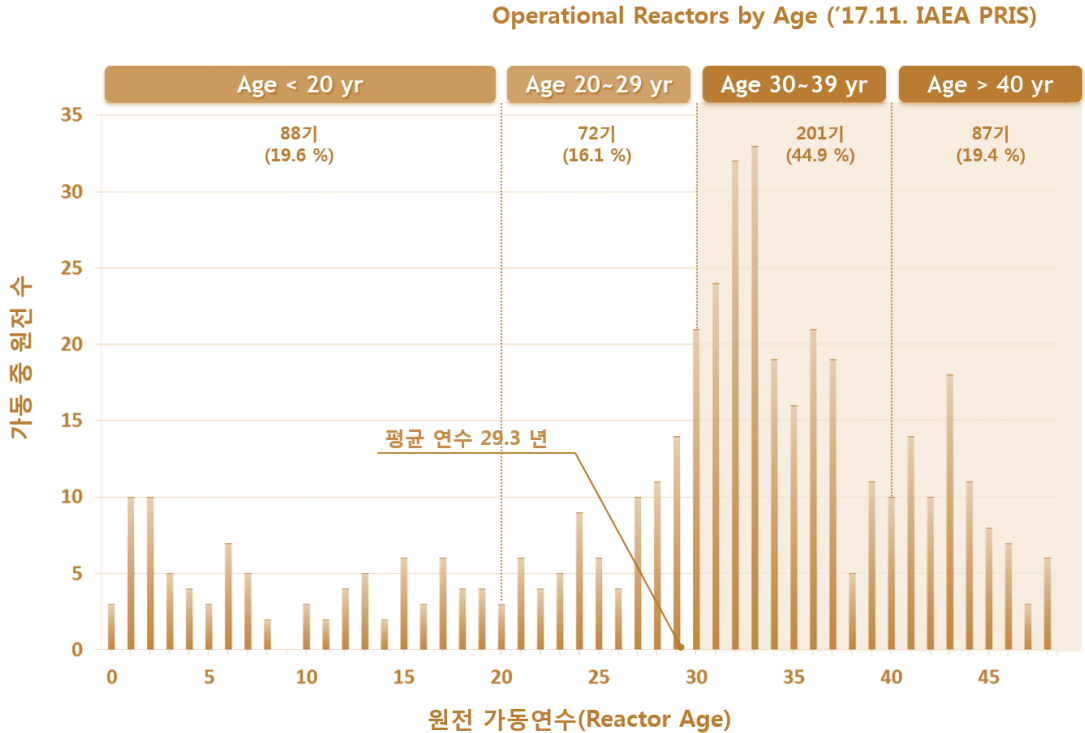
고리 1호기의 최초 운영허가 기간은 30년이었지만, 2007년 10년간의 계속운전 허가를 취득하였다. 그러나 후쿠시마 원전 사고 이후로 안전성 문제와 국민 불안감이 고조되면서 영구정지 문제가 제기되었다. 이에 한국수력원자력(주) 이사회는 2015년 영구정지를 결정하였다.

전 세계적으로 가동년수가 30년 이상인 노후 원전이 전체 가동 원전의 60%를 넘으면서 본격적인 노후화 단계로 진입함에 따라 향후 세계 해체시장이 급성장할 것으로 예상된다. (<그림 1>)

현재 세계적으로 영구정지된 원전은 164기로, 이 중 해체가 완료된 원전은 19기에 불과하다. 또한 운전 중인 448기의 원전도 상당수가 '20년대 중반부터 '40년대까지 영구정지될 예정이다. 즉, 세계 원전 해체시장은 '30년대부터 활성화될 전망이며, 각국의 치열한 해체시장 선점 경쟁이 예상된다.

국제 경쟁력 있는 해체 기술 자립 필요

원자력시설 해체 분야의 후발 주자로서 우리나라가 세계 해체시장에 진출하기 위해서는 국제 경쟁력 있는 해체 기술 자립이 필요하다. 기술 자립



〈그림 1〉 전 세계 운전 중인 원전의 가동연수

의 목표는 당면한 국내 원전 해체 문제 해결뿐만 아니라 궁극적으로 해외 해체시장 진출이다. 특히, 국내 원전 해체사업에 해외 기술을 도입하여 추진할 경우에는 당면한 국내 원전의 해체 문제는 해결이 가능하나, 국내 시장의 잠식과 더불어 독자적 해체 기술을 자립할 수 있는 기회는 상실하게 될 것이다. 또한, 향후 해외 해체시장 진출을 위한 국내 해체산업 육성에 큰 차질이 예상된다.

우리나라와 같이 해체 분야 후발 주자가 세계 해체 시장에 진출하기 위해서는 국제 경쟁력을 갖춘 세계 선도형의 혁신 기술이 필요하다. 해외 업체의 도움을 받아서 국내 해체 문제를 해결할 경우에는 특허권 미보유와 선진국 대비 경험 부재 등으로 향후 해외 시장 진출이 어려울 것이다. 일부 기술을 도입하여 해체사

업을 추진하더라도 원자로 제염과 절단 등의 고부가가치 기술을 수반하는 사업은 반드시 국내 시범 사업으로 추진하여 세계 선도형 혁신 기술을 완성해야 할 것이다.

해체 과정

해체란 허가 받은 시설의 운영을 영구적으로 정지(영구정지)한 후, 해당 시설과 부지를 철거하거나 방사성 오염을 제거함으로써 법의 적용 대상에서 배제하기 위한 모든 활동을 말한다.

해체 사업자는 영구정지한 날로부터 5년 이내에 정부(원자력안전위원회)에 해체 계획 등이 담긴 해체승인신청서를 제출해야 한다. 사업자는 해체 승인을 받



〈그림 2〉 해체 핵심 기반 기술 개발 확보 현황

은 이후에 본격적인 해체 작업을 시작할 수가 있다.

해체 작업은 운영 중에 발생한 오염을 제거하는 제염, 원전의 주요 시설(원자로 압력용기, 배관, 콘크리트 구조물 등)의 절단 및 철거, 해체 작업 과정에서 발생하는 방사성폐기물의 분류 및 처리, 마지막으로 부지의 오염 상황을 조사하여 복원하는 단계로 이루어진다.

이러한 모든 과정을 마친 후에 사업자는 해체완료보고서를 정부에 제출하고 심사한 후에 정부에서 운영허가 종료 여부를 결정하면 해체가 완료된다.

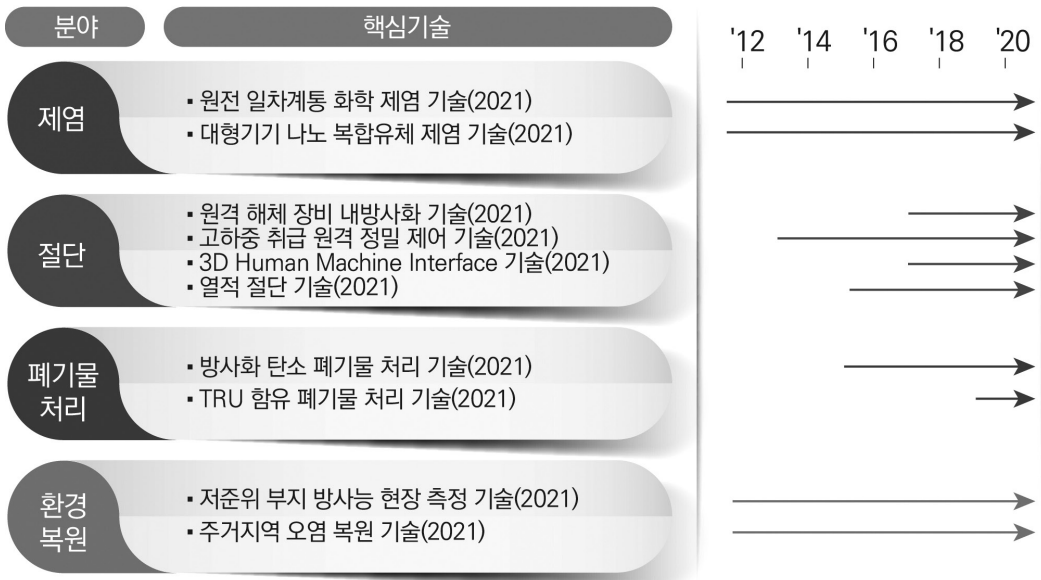
국내 해체 기술 개발

현재 미국, 영국, 독일, 일본 등 원자력 선진국에서는 원전을 완전히 해체하여 완료한 경험을 가지고 있으며 기술의 안전성 및 경제성 향상을 통한 경쟁력 확

보에 주력하고 있다. 이들 국가는 1950년대부터 원자력 기술 자립을 위해 많은 투자를 해왔고, 기술 개발 과정에서 건설되었던 다양한 원자로 등 노후 원자력시설의 해체를 통하여 대형 원자력시설의 해체 기술을 확보할 수 있었다.

아직 세계 해체시장은 완전히 활성화되지 않아서 이들은 자국의 원전 해체 문제에 집중하겠지만 앞으로 기술의 경쟁력을 담보로 세계 해체시장에서도 주도적 역할을 할 것으로 보인다. 특히 제로 원전을 선언하면서 해체 기술의 경쟁력 확보를 통해 새로운 시장을 주도하겠다고 나선 독일이 대표적인 경우다.

국내에서는 1997년부터 국내 최초 원자력시설인 연구로 1,2호기('97~'21 예정) 및 우라늄 변환 시설('01~'11)의 해체사업과 해체 핵심 기반 기술 개발('01~현재)을 통해 해체 경험과 독자적인 해체 기술을



〈그림 3〉 미확보 해체 핵심 기반 기술 개발 계획

축적해오고 있다. 특히, 원자력 연구 시설(연구로 및 우라늄 변환 시설) 해체를 통해 소규모 저방사능 시설의 해체 기술은 확보하였다.

후쿠시마 원전 사고 이후 정부는 국내 원전 해체시장에 대비한 기반 기술을 확보하기 위해 2012년에 '원자력시설 해체 핵심 기술 개발 계획'을 수립(12.11.)하여 원자력진흥위에서 의결한 바 있다. 또한, 고리 1호기 영구정지 결정 이후에는 '안전하고 경제적인 원전 해체와 원전 해체산업 육성을 위한 정책 방향'을 수립하였다(15.10.). 현재에는 동 계획에 따라 원전 등 대규모 시설의 해체에 필요한 핵심 기반 기술을 집중적으로 개발 중이다.

원자력시설 해체에 필요한 38개의 핵심 기반 기술 중 현재 28개 확보(17년 말 기준)하였고(〈그림 2〉), 미확보 10개는 '21년까지 모두 확보할 계획'이다(〈그림

3〉). 해체 분야의 기술 수준은 선진국(미국, 일본, 독일 등) 대비 약 80%이며, '21년까지 핵심 기술 확보를 통하여 100% 수준에 도달할 수 있도록 지속적인 연구 개발을 추진하고 있다.

해체시장을 향한 단계적 접근

세계 원전들의 영구정지로 인하여 해체시장은 점차 확대되는 추세이며, 전체 원전의 해체시장은 약 440조원(2014년 기준) 정도이다(딜로이트·KAERI, '15.08.). 이 중에서 우리가 실제로 진출이 가능한 시장 규모는 전체 시장의 38.5%인 약 170조원 정도로 추산된다. 이는 전체 해체시장 중에서 실제 사업 참여가 가능한 기술적인 부분을 나타낸다.

원전의 해체 비용 구조는 각 국가별로 원자로형, 운

〈표 1〉 원전 해체 매출 구조*

구분	설계·관리	제염·철거	부지 복원	폐기물 처리
매출 비중	28%	36%	10%	26%
기능별	인건비	45%	장비비	10%

* 원자력진흥위원회('15.10, 딜로이트)

〈표 2〉 원전 해체 비용 구조(OECD/NEA, 2003)

구분	비율(%)
철거 (Dismantling)	25 ~ 35%
폐기물 처리 및 처분 (Waste treatment and disposal)	17 ~ 43%
안전, 검사 및 유지 (Security, survey and maintenance)	8 ~ 13%
부지 복원 (Site cleanup and landscaping)	5 ~ 13%
사업관리, 엔지니어링 및 부지 유지 (Project management, engineering and site support)	5 ~ 24%

전 이력, 인건비 등의 특수한 환경에 의해 상당한 차이가 발생한다. 실제 진출 가능한 해체시장을 추산하기 위하여 〈표 1〉과 〈표 2〉의 자료를 활용하였다. 평균적인 해체 폐기물 처분 비용을 약 30% 정도로 가정하였으며(우리나라 41%), 인건비 비중은 45%를 적용하였다. 이로서 실제적인 해체 작업 중에서 기술적인 부분은 폐기물 처분 비용을 제외한 해체사업비 70% 중에서 인건비 45%를 제외하고 약 38.5% 정도이다.

현재 해외 선진국에서 자리 잡고 있는 해체산업체의 기술 장벽은 높은 편이다. 또한 국가 주도의 수직적 또는 강력한 supply chain을 구축하여 사업을 수행하고 있다.

향후 세계적으로 해체시장의 규모는 점차 확대가 예상되며, 해체의 안전성과 경제성 측면에서 신기술의 수요가 증가할 것으로 예상된다. 현재 해체시장은 일반 산업에서 적용했던 기술을 응용하는 방식으로 사업을 추진하고 있으며, 새로운 기술력을 갖춘 해체기업 출현에는 시간이 필요한 것으로 보인다.

우리나라가 국내 독자적인 해체 핵심 기술의 확보를

통하여 기술을 검증하고, 당면한 국내 해체사업을 시범 사업으로 추진하여 국내 산업체가 해체 경험을 확보할 수 있는 기회로 활용하면 향후 세계 해체시장 진출이 가능할 것이다.

궁극적으로 해외 진출을 위한 해체 기술의 상용화는 실제 원전 해체에 적용된 후에 완성되므로, 국내 최초 호기 원전 해체는 정부의 정책적 지원하에 국내 산업체 컨소시엄이 참여하는 시범 사업으로 추진하는 것이 바람직하다. 또한 원전 유지 보수 과정에서 발생한 폐기물(퇴역 SG, 폐수지/폐활성탄 등)의 처리 사업을 통하여 제염 해체 단위 기술의 현장 적용성을 시험할 수 있으며 이는 향후 해외 시장 진출의 발판이 될 것이다.

원전 해체 분야의 후발 주자로서 우리나라가 이러한 세계 원전 해체시장에 진출하기 위해서는 진입 장벽이 높은 국가와 낮은 국가로 나누어 단계적으로 접근하는 방법이 필요할 것으로 보인다.

우선, 기술력 및 산업적 역량이 부족한 동구권, 남미, 아시아 등을 대상으로 해체 기술 전수 등을 포함하고, 해체 비용의 일부를 개발 기술 적용 측면에서 지원

한다면 시장 진출을 포함하여 해체사업의 공동 참여가 가능할 것이다.

다음으로 선진국을 대상으로는 세계 선도형 혁신형 개념을 적용한 원전 일차계통 신제염 기술, 차세대 원격 절단 시스템 등 단위 기술을 활용하여 해외 업체와 컨소시엄을 구성하면 진출이 가능할 것으로 판단된다.

먼저, 원전 일차계통 화학 제염 기술은 해체 전 작업자의 방사선 피폭 감소를 통해 작업 안전성을 높일 수 있으며, 호기당 천만불 이상의 수익 창출이 가능할 것으로 판단된다. 또한 원전 고방사성 핵심 설비(원자로 압력용기 등)를 원격으로 절단하여 처리할 수 있는 기술은 해체 작업의 안전성과 경제성을 확보할 수 있는 기술로서 고방사성 핵심 설비 해체 시 30% 이상의 비용 절감이 가능하다.

이러한 선진국 기술 수준을 넘어서는 세계 선도형 혁신 기술의 개발을 통해 선진국 시장도 공개 경쟁을 통하여 진출이 가능할 것이다.

최근, 고리 1호기 영구정지 발표 이후에 국내 대기업 건설업체들이 원전 해체시장 진출을 겨냥하여 해외 선진 기업들과 기술 도입을 추진 중에 있다. 그러나 해외 기술을 도입하여 국내 원전 해체에 적용한다면, 국내 시장 잠식뿐만 아니라 국내 독자 해체 기술 자립의 기회가 상실될 것이다. 또한 2030년 이후에 본격적으로 열릴 것으로 예상되는 글로벌 해체시장 진출이 불가하며, 국내 신성장 동력으로서의 해체 산업 생태계 구축도 불가할 것이다.

해외 기술로 해체사업을 추진하더라도 고방사성 원자로 제염/해체 등의 고부가가치 기술을 수반하는 사업은 반드시 국내 시범 사업으로 추진하여 세계 선도형 혁신 기술을 완성해야 한다.

또한 해체 기술 자립을 위해서는 범부처 간 단계별 역할 분담 및 협력이 매우 중요하며, 개발한 기술이 산

업체에 확산되고 상용화되기 위해서는 산업체에 기술 이전과 시범 사업까지 연계되어야 하므로 산학연 등의 긴밀한 협력 체계 구축이 필수적이다.

국가 차원의 해체산업 육성 과제

결론적으로 말해서, 세계적으로 원전의 해체 시장은 활성화되고 국내에서도 일본 후쿠시마 원전 사고 이후 원전 해체 문제가 이슈화되면서 국가적 차원의 해체산업 육성과 관련하여 다음과 같은 준비가 필요하다.

첫째로, 국제 경쟁력 있는 해체 기술의 확보이다. 우리나라는 연구로 및 우리늄 변환 시설의 해체 경험이 있고 일부 단위 기술을 확보한 바 있지만 해체 기술 보유국에 비해서는 아직 경쟁력이 부족한 상황이다. 기술 보유국은 이미 원전의 해체 경험을 바탕으로 세계 해체시장에 활발하게 진출하고 있다.

해체 기술의 실험실 수준의 개발을 통하여 엔지니어링 및 방사선 환경 실증 등을 위해서는 최소 10년 이상 소요됨을 감안할 때 후발 주자로서 우리나라가 경쟁력을 갖추기 위해서는 경제성과 안전성 측면에서 기술 보유국보다 한 단계 우수한 기술 개발에 집중해야 할 것이다.

둘째로, 개발된 기술을 검증하여 상용화로 이어질 수 있도록 해체 기술을 검증할 수 있는 인프라 구축과 인력 양성 등 사업 능력의 배양이 필수적이다. 본격적인 해체 시장이 2030년대에 활성화될 예정이기 때문에 아직 준비할 시간은 있어 보이나 단계적 인프라 구축이 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로 해체를 위한 정책 및 규제 제도의 정비가 필요하다. 현재는 해체에 필요한 최소한의 절차만 규정되어 있어서 원전 해체에 필요한 세부 절차와 해체 규제 조건 등의 준비가 필요한 상황이다. 🍌