

## 고리 1호기 해체 사업 수행 위해 기업이 준비해야 할 사항

손희동

두산중공업(주) 원전해체기술개발/사업팀장



- 한양대 원자력공학 학사, 석사, 박사
- 한국화학융합시험연구원
- 두산중공업 입사('96)
- 원전해체기술개발/사업팀장

### 원전 해체 산업의 특징과 기업의 대응 전략

최근 언론에서 자주 접할 수 있는 원전 해체 분야는 원자력계의 새로운 사업으로 각광을 받고 있으며 블루오션으로 국내 기업들의 관심의 대상이 되고 있다. 언론 보도자료에 따르면 전 세계 시장 규모가 수백조원에 이르고 있으며 국내 시장 규모도 약 15~20조원 내외로 예상된다.

그러나 원전 해체는 국가별, 사업주별 해체 정책과 해체 자금 조달 문제 등 여러 요인으로 인하여 사업 기간이 짧게는 10~15년에서 길게는 60~100년까지 걸리며 긴 사업 기간 동안 기술적, 제도적 변화가 발생할 가능성이 있음에 따라 해체 사업에 참여하고자 하는 기업은 이러한 환경 변화에 대한 적절한 대응 방안을 마련해놓는 것이 필요하다.

또한 원전 해체는 다른 사업 분야와 마찬가지로 특정 기술과 사업 수행 능력을 보유한 몇 개의 기업이 단독으로 할 수 있는 분야가 아니다. 전기, 화학, 기계, 원자력 등 다양한 분야에서 전문 기술을 보유한 많은 기업들이 서로 유기적으로 협력하면서 안정적인 Supply Chain을 구축하여야만 원활한 사업 수행이 가능하다.

이에 원전 해체 산업은 기업 규모가 크고 대형 EPC(Engineering Procurement and Construction) 사업 수행 능력과 해체 핵심 기술을 보유하고 있는 기업이 전체 사업을 이끌면서 사업 수행 리스크를 지고, 중·소/중견 기업은 각 기업이 보유하고 있는 고유 기술을 기반으로 영역별 책임 시공과 리스크를 최소화 할 수 있는 방향의 기업 간 협력 구도가 바람직하다.

실제로 미국에서 원전 해체 사업 수행 경험이 많은 에너지 솔루션스(Energy Solutions)는 70여개의 중·소/중견 기업들로 구성된 Supply Chain을 보유하고 있는 대형 해체 전문 기업이며 또 다른 대형 기업과 컨소시엄을 구성하여 해체 사업을 수행하고 있다.

지난 12월 8일 개최된 원전 해체 비즈니스 포럼에서 한국수력원자력(이하 한수원)이 발표한 「고리 1호기 해체 사업 추진 계획」에 따르면 해체 사업 추진 체계가 크게 5개 그룹, 3개 단위 계약, 그리고 사업 총괄은 한수원이 수행하는 것으로 작성되어 있다.

5개 그룹 중 기업 간 컨소시엄 및 Supply Chain을 구성하여 사업 참여가 가능한 분야는 3개 그룹(엔지니어링 / 폐기물 관리, 제염, 철거 / 부지 복원)이며 3개 단위 계약(계통 제염 / 원자로설비 절단, 철거 / 방사선 측정, 평가, 검증)은 기술을 보유한 전문 기업이 수행할 수 있는 분야로 구분되어 있다.

이에, 고리 1호기 해체 사업에 참여를 준비하고 있는 기업은 3개 그룹과 3개 단위 계약에 대한 상세 기술 분석을 통해서 어느 분야에 기술을 확보할 것인지 판단해야 한다.

상세 기술 분석을 위해서는 한수원에서 작성한 원전 해체 필요 상용화 기술 58개 분류와 한국원자력연구원(이하 한원연)에서 작성한 38개 핵심 기술 분류를 참고하면 되며, 각 분류별로 확보된 기술과 미확보된 기술 현황을 파악하는 것도 필요하다.

한수원이 계획하고 있는 고리 1호기 해체 사업 총 기간은 약 15년으로서 '17년 6월 영구정지 후부터 '32년 부지 복원이 완료되어 운영 허가가 종료되는 시점까지이다.

위에서 언급된 해체 사업 3개 그룹 중 첫번째로 시작되는 '엔지니어링'은 '17년부터 '30년까지 약 13년간 수행되는 분야로서 세부 수행 내역은 '해체 공정/공사

설계, 폐기물 처리 시설 설계 등'이다.

두 번째 그룹인 '폐기물 관리, 제염, 철거' 분야는 '22년부터 '30년까지 수행이 지속되며 터빈 건물을 포함한 비방사성 계통/구조물 철거, 방사성 계통/구조물 제염/철거 그리고 폐기물 처리 시설 구축/운영이 해당된다.

마지막 사업 분야인 부지 복원은 '31년부터 '32년까지 약 2년간 수행되는 분야이며 부지 상태 조사 및 부지 복원 공사가 해당된다.

해체 사업 참여를 준비하고 있는 기업은 각 기업별로 보유하고 있는 기술이 어느 시점에 적용이 될 것인지 파악하고 기술 개발 계획과 인력 확보/운영 계획을 수립하는 것이 필요하다. 또한 고리 1호기 외에 국내 해체 시장 규모 및 해외 해체 시장 진출 가능성도 염두에 두고 기술을 확보하는 것이 필요하다.

현재 국내에서 운영중인 25기 원전이 계속운전을 하지 않는다고 할 경우 2020년대 말까지 수명이 만료되는 원전은 고리 1호기를 제외하고 총 11기이다.

국내에서 두 번째로 영구정지가 예상되는 원전은 월성 1호기이나, 월성 원전은 1호기와 2호기 공용 설비가 많아 1호기 단독으로 해체 착수가 어렵고 2호기 수명 만료 시점(26년)까지 기다려야 한다.

고리의 경우 2호기가 '23년, 3호기가 '24년, 4호기가 '25년에 설계 수명이 만료된다. 그러므로 '20년대까지 수명이 만료되는 원전이 11기라고 하더라도 실질적으로 해체 작업이 시작되는 시점은 '28년부터(고리 2호기가 수명 만료 후 계속운전 없이 영구정지된다는 전제)이며 본격적인 해체 작업은 '30년대가 되어야 활성화된다.

이에, 각 기업들은 향후 국내 해체 시장에서 원전별 수명이 만료되는 시점을 파악하는 것도 중요하지만 수명 만료 후 최소 5년간의 Transition 기간과 발전소 내

에 저장되어 있는 사용후핵연료가 모두 반출되는 시점 등 해체 작업이 진행되는 일정을 명확히 인식하는 것이 필요하다.

해외 원전의 경우도 국가별, 사업주별 해체 정책과 사업 추진 체계, 그리고 주변 환경 요인에 대하여 꼼꼼히 따져봐야 한다.

우선 국가별 해체 정책은 중요한 요인 중 하나이다. 즉시 해체를 선호하는지 아니면 지연 해체를 적용하는지, 또한 즉시 해체와 지연 해체를 혼합하여 적용하는지 여부에 따라 해체 일정이 다양하게 변할 수 있다.

다음으로는 자국 내에 해체 전문 기업들 분포 특성을 파악해야 한다. 해체 역무별 전문 기업들이 어느 정도 분포하고 있으며 이들의 기술 수준과 수행 경험은 어느 정도인지 그리고 해당 국가에서 차지하고 있는 비중은 얼마나 되는지 분석을 해야 한다. 이는 국내 기업들이 해외 시장 진출 시 진입 장벽과도 연계가 되므로 반드시 확인을 해야 한다.

또한 사업주의 해체 사업 추진 체계도 해외 시장 진출 시 중요한 고려 요인이다. 사업주가 사업 관리 능력을 보유하고 있으면서 전체적인 사업을 이끌고 부분적으로 수행 역량이 없는 부분만 전문 기업을 활용하는 경우가 있으며, 원전 소유주가 해체 사업권을 모두 규모가 큰 대형 컨소시엄 기업에 이양하여 컨소시엄이 해체 사업을 주관하는 경우가 있다. 국내 기업 입장에서는 대형 컨소시엄의 공급자(Supplier)로 참여하는 것이 해체 사업의 기회를 획득할 가능성이 커진다고 볼 수 있다.

마지막으로 해외 해체 시장의 환경을 이해하는 것도 중요하다. 국가별로 지역별로 타지역 기업의 참여를 제한하는 경우도 있으며 수출 통제 등의 문제로 해외 기업의 자국 내 사업 참여에 제한을 두는 경우도 있다.

이러한 요인들에 대한 면밀한 분석이 해외 해체 시

장 진출 시 시행 착오를 줄일 수 있으며 기업 입장에서는 해체 시장 진출 계획이나 전략을 수립하는데 큰 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

### 부족 기술 확보 및 기술 개발 완성도 향상 방안

고리 1호기는 상업용 원전으로서는 국내에서 처음으로 해체가 결정되어 현재 본격적인 해체 작업 전 안전 관리 단계가 진행중이다.

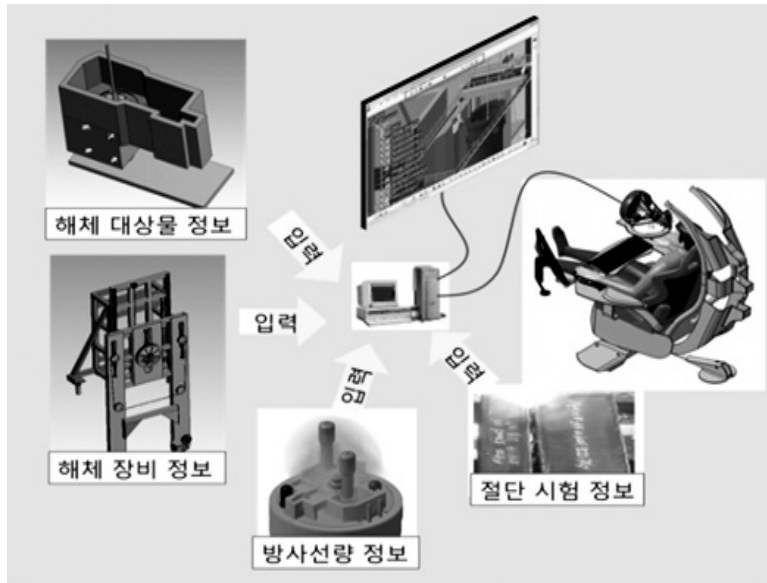
해외의 경우 상업용 원전에 대한 해체 경험을 보유한 나라는 많지 않다. 미국이 해체 완료 실적을 보유하고 있는 유일한 국가이며, 유럽은 상업용 원전 해체가 진행중인 곳은 많이 있으나 아직 완료된 원전은 없다.

해체 완료라고 함은 부지 복원까지 끝나고 인허가가 종료되는 시점을 의미하므로 원전 내 기기 및 구조물이 철거되었다고 해서 해체 완료로 인식이 되는 것은 아니다.

국내에는 앞서 언급된 바와 같이 산업계에서는 한수원과 공/민간 기업, 연구계에서는 한원연, 그리고 학계에서 중심이 되어 해체 기술 개발이 활발하게 진행되고 있으며 한국에너지기술평가원과 한국연구재단에서 공모하는 국책 과제도 꾸준히 추진되고 있다.

다른 산업 분야와 마찬가지로 원전 해체 기술도 크게 신기술 개발과 기존에 개발이 되었거나 산업계에서 적용되어 오던 단위 기술을 해체 환경에 적합하도록 융합하고 최적화시키는 기술로 구분될 수 있다.

신기술은 원전 해체를 위한 기반 기술을 주로 의미하며 학계와 한원연을 중심으로 꾸준히 개발되어 왔다. 한원연은 국내 대표적인 연구기관으로서 고리 1호기 해체가 결정되기 오래 전부터 기술 개발에 역점을 두고 다양한 분야에 걸쳐 많은 성과를 창출하였으며 선진 해외사와 비교해도 뒤지지 않는 우수한 기술을



〈그림 1〉 전산 프로그램을 활용한 해체 기술 개발 결과의 검증

보유하고 있다. 또한 자체적으로 작성된 기술 개발 로드맵과 기술 분류 체계를 기준으로 앞으로도 계속 신 기술 개발을 추진할 것으로 예상된다.

한수원을 중심으로 한 산업계에서는 실용화/상용화 기술 위주로 해체 기술이 개발되고 있으며 성공적인 고리 1호기 해체를 위해 개발된 기술의 검증과 완성도 향상에 중점을 두고 진행되고 있다.

특히 방사성 물질에 의해 오염된 기기나 오랜 기간 동안 원전 운전으로 인하여 중성자 조사로 소재가 방사화되어 스스로 방사능을 지니게 되는 기기나 구조물 해체를 위한 기술 개발이 한수원 주도하에 순수 국내 업체만으로 진행되고 있다.

방사성 물질에 오염된 기기 해체나 방사화 구조물 해체는 원전 해체의 핵심 분야로서 방사선 환경에서 모든 작업이 진행되므로 고도의 원격 제어 기술부터 최신 제염/절단 기술, 그리고 방사화 평가, 최적 공정

설계를 비롯한 엔지니어링 기술과 각종 해체 장비 설계/제작 기술 등이 유기적으로 결합된 종합 해체 기술이라 할 수 있다.

이러한 기술은 방사선 환경에 의한 각종 장비들의 고장이나 오작동을 사전에 방지하는 방안도 함께 고안되어야 하는 등 매우 복잡하고 고난도의 기술로서 전 세계적으로도 기술을 보유한 기관이 손으로 꼽을 정도이다.

실용화/상용화 기술은 개발 과정에서 기술의 완성도를 향상시키고 해체 현장 친화적인 기술로 만들기 위해서 반드시 결과물에 대한 검증 작업을 거쳐야 한다.

일반적으로 많이 사용하는 검증 방법은 전산 프로그램을 활용하는 Simulation 방법과 실물 크기로 시험 시설을 구축하는 실증 Mockup 방법이 있다.

전산 프로그램을 활용하는 방법은 국내외 많은 기관에서 사용하는 방법으로서 Simulation 전용

Hardware 및 Software와 대형 스크린 시스템을 구축해놓고 해체 대상 기기와 주변 구조물을 3D로 모델링한 다음 기술 개발 과정에서 산출된 각종 Output을 입력한 후 해체 순서에 따라 작업을 해보는 것이다.

이렇게 함으로써 해체 작업 과정에서 작업자 안전상에 문제는 없는지, 주변 구조물과의 간섭 사항은 어떠한지, 해체 공정은 최적화되어 있는지, 그리고 해체 폐기물량은 최소화 될 수 있는지 등을 검증하는 것이다.

검증 과정에서 나타나는 요인들은 다시 Feedback 되어 기술 개발 결과물 수정 및 보완 작업에 활용되고 최종 기술 개발 결과물에 반영된다. 다음으로 실증 Mockup은 여러 가지 의미에서 중요성을 함유하고 있다.

첫째로 원전 해체는 많은 작업이 방사선 환경에서 수행되므로 실제 작업 환경을 그대로 구현해 놓고 사전에 작업자의 교육과 훈련을 하는 것이 필요하다.

해체를 위한 준비 단계와 장비 설치부터 작업 중 각종 Tool 교체, 그리고 모든 작업이 완료된 후 뒷정리까지 일련의 과정을 실증 Mockup 시설에서 경험을 해보고 실제 작업에 임해야 한다. 이는 작업자의 안전뿐만 아니라 정해진 기간 내에 작업을 완료하기 위해서 반드시 필요한 절차이다.

둘째는 해체 과정에서 다소 보수적 평가로 인하여 발생할 수 있는 폐기물량을 최소화하기 위해 실증 Mockup이 필요하다.

기기 구조가 복잡하거나 구조물 간 간섭 사항이 많은 경우 실증 Mockup을 해보지 않고 해체 작업을 하게 되면 폐기물로 분류되지 않아도 되는 부분도 폐기물로 분류가 되는 경우가 발생할 수 있다.

이런 경우 작업자의 불필요한 작업량이 많아지고 궁극적으로 해체 기간이나 비용 증가로 이어질 수 있으므로 현장 상황을 그대로 구현해놓고 작업 전에 실증

Mockup을 하는 것이 필요하다. 단, 실증 Mockup 설비는 대상 기기나 구조물 형상뿐만 아니라 재질과 주변 구조물까지 실제 상황과 유사하게 구현해야 한다.

국내에서 상업용 원전으로는 처음으로 고리 1호기가 해체되는 만큼 고리 1호기 해체 현장을 실제로 크기로 구현해놓고 개발되는 기술을 접목시키는 작업은 기술 개발 완전성 차원에서 매우 중요하다고 할 수 있다.

### 대·중·소기업 간 Supply Chain 구성의 중요성

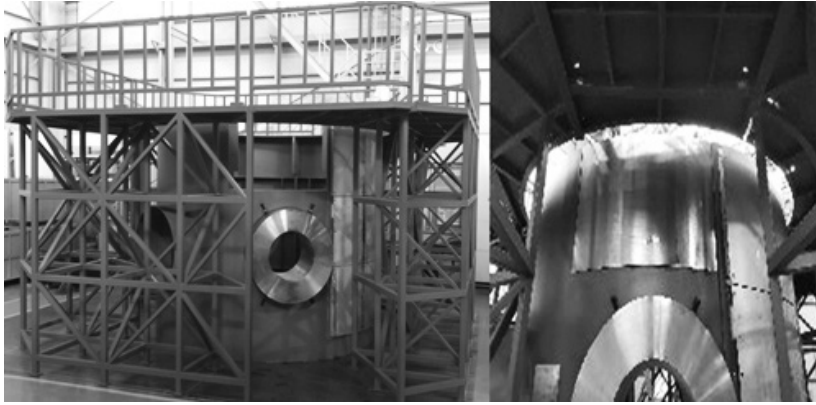
앞서 언급된 바와 같이 해체 사업은 다양한 분야의 전문 기업들이 상호 유기적으로 협력하여 부족한 부분을 보완해줌으로써 원활한 사업 수행이 가능하다.

그리고 협력 관계는 기술 개발 단계부터 순차적으로 형성이 되어야 한다. 중·소/중견 기업들은 우선 각자가 보유하고 있는 고유 기술을 기반으로 해체 사업으로의 사업 다각화를 염두에 두고 기술을 확보해야 한다.

단, 해체 사업의 시장 특성과 사업 기간 등 위험 요인을 명확히 파악하여 기술 개발 투자 규모와 인력 및 장비 유지 전략을 수립해야 한다.

기업별 고유 기술이 있으면 자체적으로 기술 개발 과제 참여가 가능하고 대기업과 연계하여 대규모 국책 과제 참여도 가능하다. 기술 개발 단계에서부터 유관 기관과의 연대 및 다른 대·중·소 기업과의 협력은 추후 사업으로 이어지는 데 큰 기반으로 작용이 될 것이다.

대기업 또한 기술 개발 단계부터 우수한 기술력을 보유한 중·소/중견 기업을 찾아서 육성하고 협력해서 Supply Chain 구축에 많은 노력을 기울여야 한다. 다양한 분야에서 다양한 기술을 보유한 기업과의 협력 관계 구축은 추후 사업 수행을 위해서도 꼭 필요한 과정이다.



〈그림 2〉 고리 1호기 원자로 압력용기 해체 기술 개발을 위한 실증 Mockup 시설  
 (좌 : 플랜지, 입·출구 Nozzle, 상부 Shell 및 Insulation 절단 시편 장착 - 고리 1호기와 동일 크기)  
 (우 : 압력용기 전체 골격에 부위별 절단 시편 장착 - 고리 1호기와 동일 크기)

2016년에 한수원과 한국원자력산업회의의 주관으로 국내 기업을 대상으로 해체 사업 분야별 공급자 조사를 하였으며 대부분의 해체 관련 기업들이 포함되어 있는 것으로 알고 있다. 향후에도 지속적으로 공급자 관리가 진행될 것으로 예상된다.

### 결론

해체 작업을 하면서 습득한 많은 경험 지식과 Know-how, 그리고 Lessons Learned를 후속 호기 해체 사업에 반영할 수 있으면 가장 이상적이고 시행 착오를 줄일 수 있을 것이다.

그러나 국내는 아직까지 한국원자력연구원 주관으로 수행된 연구용 원자로 해체와 우라늄 변환 시설 해

체 경험만 있고 상업용 원전 해체 경험은 전무한 상태이다.

이에 국내 최초 해체 원전인 고리 1호기의 성공적인 사업 수행을 위해서는 무엇보다 선진 해외 기업들이 보유하고 있는 기술 못지않은 우수한 기술력을 확보하는 것이 필요하다.

또한 확보된 기술은 반드시 검증 과정을 거치면서 모두가 신뢰할 수 있는 수준으로 기술의 완성도를 높이는 절차가 필요하다. 아울러 다양한 분야의 해체 기술은 결코 몇 개의 특수한 기업이 모두 수행할 수 있는 것이 아니므로 각 분야별로 전문 기업을 육성하고 기업 간 Supply Chain을 형성하여 원활한 사업 수행 준비를 하여야 한다. 🍌