

## 원전해체 사업 추진 현황 및 향후 계획

강창규

두산중공업 원전해체기술개발사업팀



**반**갑습니다. 저는 두산중공업 원전해체 기술개발사업팀의 김창규 차장이라고 합니다.

오늘 주제가 원전해체 과도기 상황에서 각 기업이나 기관들이 준비하고 있는 상황들을 공유하는 것 같습니다. 첫 번째 순서로 한국수력원자력에서 사업자로서 원전해체 과도기 기간에 어떤 준비를 하고 계신지 발표를 해주셨고, 두 번째 시간에는 원전해체 연구기관에서 어떤 준비를 하고 있는지를 발표를 해주셨고, 세 번째 순서는 원전해체 사업을 준비하는 기업으로서 어떤 준비를 하고 있는지에 대해서 공유를 해드리고자 합니다. 아시겠지만 두산중공업은 원자력

대표기업 중에 하나입니다. 저희도 미래 사업 중의 하나로 원전해체 사업을 정하고 준비하고 있습니다.

원전해체 사업 설명에 앞서서 저희 회사에 대해 소개하겠습니다. 저희 회사는 Global Leader in Power & Water 라는 비전을 가지고 있습니다. 비전에서 보시는 것처럼 발전과 담수 플랜트 사업에서 글로벌 사업자로 도약하기 위해서 노력하고 있습니다. 저희 회사는 1962년도에 현대양행으로 출발을 하였고 공기업으로 대한민국의 기자재 발전에 기여해오고 있습니다. 2001년부터 민영화 과정을 거쳐서 본격적으로 글로벌 시장에서 발전 기자재 산업과

EPC플랜트 산업들을 영해해오고 있습니다. 최근에 글로벌 에너지 시장이 급격하게 변하고 있습니다. 저희 회사도 글로벌 에너지 시장에 변화에 발 맞춰서 친환경 에너지 기업으로 변화를 추구하고 있습니다.

아시다시피 두산중공업은 발전, 담수, 플랜트, 기자재 산업에 있어서 소재에서부터 EPC, 서비스 사업까지 고객을 위한 토털 솔루션을 제공하고 있습니다. 특히 풍력발전 분야에서는 국내 독보적인 기술을 확보하고 있습니다. 가스터빈 분야에서 독자적인 기술개발을 완료함으로 세계에서 5번째로 가스터빈 기술을 보유한 국가가 되는데 기여하고 있습니다. 그 동안 두산중공업은 국내외에 원자력주기를 제작해서 공급하였고, 최근에는 SMR 분야에 글로벌 기업들과 협력을 통해서 기술개발을 진행하고 있습니다.

다. Service Business는 두산중공업이 가지고 있는 원자력주기에 대한 설계·제작 기술 능력을 바탕으로 그동안 주기기 교체 사업, 성능개선, 유지 보수 사업 등을 지속적으로 진행해왔습니다. 최근에 고리 1호기가 영구정지된 상황이고 월성 1호기도 영구정지와 함께 해체를 준비하고 있기 때문에 저희도 2015년부터 해체사업 등을 본격적으로 준비를 하고 있습니다.

### Nuclear Service Business

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Replacement</b>                | <p><b>Manufacturing</b><br/>Doosan supplies NS55 major components for replacement including Reactor Vessel Closure Head, Steam Generator and Pressurizer</p> <p><b>Construction</b><br/>SGR(Steam Generator Replacement) involves the most elaborate work in replacement for NPPs in service. Doosan has developed SGR technologies through its R&amp;D program and successfully applied them to 'Hansol 3' &amp; 'SGR Project'. Doosan also has successful records of replacing RVH(Reactor Vessel Head).</p> | <p>RVH Replacement Reactor Vessel Head</p> <p>SGR Steam Generator Replacement</p> <p>SGR (Steam Generator Replacement)</p> <p>RVH Reactor Vessel Head Replacement</p> |
| <b>Repair &amp; Maintenance</b>   | <p><b>Manufacturing</b><br/>In situ repair and special maintenance of NS55 primary components ranging from conventional rework to state-of-the-art service technologies.</p> <p><b>Construction</b><br/>Upgrading equipment performance through the modification for NS55 primary components, including SG tube inner-cleaning and PZR heater replacement</p>                                                                                                                                                  | <p>SG Closure Head Repair</p> <p>Fuel Handling Equipment</p>                                                                                                          |
| <b>Decommissioning &amp; Cask</b> | <p><b>Nuclear Decommissioning</b> : Engineering, Decontamination, Dismantling, Waste Treatment<br/> <b>Cask for Spent Nuclear Fuel</b> : Storage &amp; Transportation Cask</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                       |

[그림 1] 두산중공업의 원전해체 사업소개

두산중공업의 원전해체 사업은 Service Business의 일환으로 신성장 동력으로써 사용 후핵연료 cask사업과 함께 준비를 하고 있습니다.

### Engineering for Nuclear Decommissioning

**Design of Dismantling Process & Equipment**

The design of dismantling process is to develop the cutting method, the dismantling sequence and the cutting plan based on the result of the characteristic evaluation.

Design of the cutting device is to develop a field customized device. And they should be designed in consideration of reduction of worker exposure, minimization of secondary waste, and operational efficiency etc.

**Main Technology**

- Activation Evaluation
- Characteristic Evaluation
- Design of Cutting Plan
- Design of the Dismantling Sequence
- Design of the Customized Equipment

Activation Evaluation

Cutting Plan & Selection of the Cutting Method

Dismantling Sequence Design

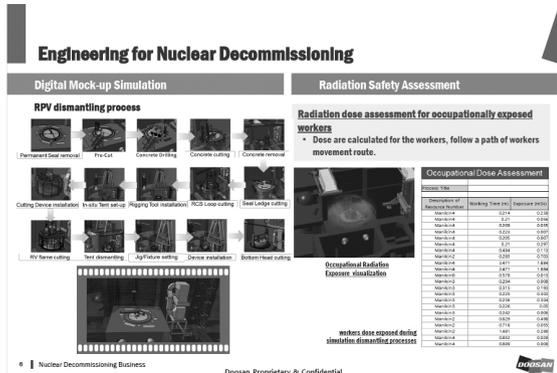
3 | Nuclear Decommissioning Business Doosan Proprietary & Confidential

[그림 2] 원전해체를 위한 엔지니어링

첫 번째로 말씀드릴 부분이 원전해체를 위한 엔지니어링 부분이 되겠습니다. 두산중공업이 가장 핵심적으로 가지고 있는 역량 중의 하나가 원자력주기에 대한 이해수준이 높고 방사선학적 특성 등 설계적 특성을 잘 이해하고 있기 때문에 해체할 때 이 부분에 대한 해체기술을 확보하는 것을 첫 번째 타겟으로 삼았습니다.

원자로 주변의 방사화 평가를 통해 어떤 부분까지 방사화가 되어있는지를 파악을 하고 방사화 평가 결과를 바탕으로 절단 방법들을 수립하게 됩니다. [그림 2]에서 보시는 것처럼 이런 방

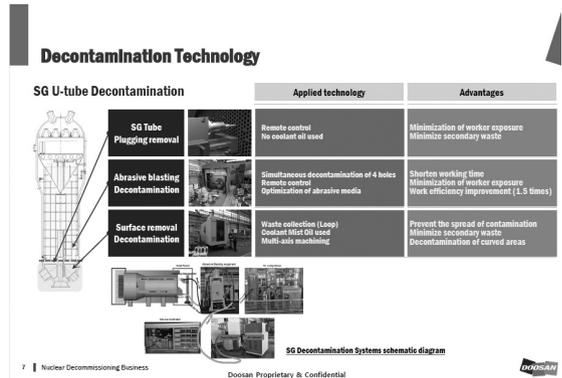
사화 평가에 따라서 커팅 플랜과 패키징 플랜을 수립하고 절단 공정 및 장치를 설계하는 부분이 해체 엔지니어링 부분의 하나라고 할 수 있습니다.



[그림 3] Digital Mock-up Simulation, Radiation safety assessment 소개

특히 이렇게 설계된 각 공정들은 'Digital Mock-up Simulation'이라는 프로그램을 통해서 각 공정들이 다 돌아갈 수 있도록 하였고 설계한 장치들을 다 반영하여 다른 공정들과 간섭이 발생하지 않는지, 주변 구조물들과의 간섭은 없는지, 최적화 할 수 있는 방법이 있는지 지속적으로 검토해서 최적화하는 과정을 수행하고 있습니다. 또한, 시뮬레이션 프로그램 안에 방사선량을 반영하게 되면 각 공정에 들어오는 작업자의 피폭선량을 계산할 수 있도록 시스템이 구축되어 있습니다. 그 결과를 바탕으로 작업자 차폐방법 또는 공정을 개선하는 방향으로 활용하고 있습니다.

다음은 제염기술입니다. 오늘 포럼에서 발표된 많은 제염기술들과는 다르게 두산중공업이



[그림 4] 제염기술

중점적으로 주목하는 부분은 방사화되어 있는 원자로 내부 구조물을 제외하고 증기발생기, 가압기, 원자로 냉각재 펌프들입니다. 이 부분은 냉각재와 직접적으로 접촉이 일어나면서 표면이 오염되어있습니다. 그 중에서 증기발생기 같은 경우에는 1차 측과 2차 측의 경계를 구성하고 있기 때문에 구조가 복잡하고 원전 주기기 중에서 가장 큰 구조물에 해당하게 됩니다. 따라서 저희는 이런 설계적 특성을 바탕으로 2차 측으로 오염이 확산되지 않도록 해체공정을 설계하고 그에 적합한 장치를 설계하였습니다. [그림 4]는 제염장치로서 전열관 내부를 블래스팅 제염 방식을 보여드리고 있습니다. 한번에 4개의 홀을 동시에 제염할 수 있도록 설계되어있습니다. 또한 수실의 경우에는 표면적으로 그리고 상당히 깊게 오염되어있는 것으로 파악되었기 때문에 밀링 제염장치를 통해서 제염할 수 있도록 구성하였습니다.

다음은 절단기술입니다. 원자로 압력용기 같은 경우에는 앞서 설명 드린 것처럼 방사화되어

있기 때문에 많은 검토를 통해서 여러 가지 절단 방법이 논의되었으나 고리 1호기의 경우에는 캐버티의 구조적 특성, 원자로의 두께 등을 고려하여 공기 중에서 진행되는 화염절단방식을 이용하는 것으로 결정하고 기술개발을 진행하였습니다. 화염절단은 흠이나 에어노즐이 발생할 수 있고 작업자의 내부 피폭이 일어날 수 있기 때문에 그것들을 방지하기 위해서 공기정화장치를 별도로 부착해서 흠이나 에어노즐을 다 제거할 수 있도록 장치를 구성하였고 대부분의 공정들이 다 원격으로 수행할 수 있도록 설계되었습니다.

또한, 원자로를 들어올리기 위해서 원자로 주변에 부착되어있는 각종 배관 등을 제거할 수 있는 기계적 절단장치들도 같이 개발하였습니다. 플랜지 상부에 서스로 클래딩되어 있는 부분들도 화염절단하기 위해서 일부 커팅을 해주어야 합니다.

Diamond Wire-Saw 기반으로 서스 클래딩 부위를 절단할 수 있는 기계적 절단 장치와 1차 측 배관을 절단할 수 있는 Band Saw와 Wire Saw 장치도 함께 개발했습니다. 원자로를 둘러싸고 있는 Insulation 제거를 위해서 완전히 전용 설비인 Hole Saw 장치도 함께 개발했습니다.

다음은 증기발생기 해체장치입니다. 앞서 증기발생기의 설계적 특성에 대해서 말씀드렸습니다. 두산중공업이 개발한 장비들은 2차 측으로 오염이 확산되지 않도록 하는 장비이며, 2차

### Dismantling Technology

Dismantling of Steam Generator

|                                                                                   | Applied technology                                                                                                                                                             | Advantages                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>SG Shell Cutting</b><br>Cutting method : Circular saw<br>Remote control<br>Inertial rotation function<br>No coolant oil used or mist of<br>Cutting capability : Max. 570 mm | Minimization of worker exposure<br>Minimize secondary waste<br>Minimize working time<br>US Patent (US-2016-0039445)         |
|  | <b>SG Lower Head Cutting</b><br>Cutting method : Wire saw<br>Remote control<br>Flexible cutting function<br>No coolant oil used<br>Cutting capability : Max. 4,300 mm          | Cutting for complex structure<br>Minimization of worker exposure<br>Minimize secondary waste<br>Excellent space utilization |
|  | <b>Segmentation Equipment</b><br>Cutting method : Band saw<br>Remote control<br>Turn table combination<br>No coolant oil used or mist of<br>Cutting capability : Max. 4,300 mm | Cutting for complex structure<br>Minimize secondary waste                                                                   |





Nuclear Decommissioning Business  
 Doosan Dismantling System for Steam Generator  
 Doosan Proprietary & Confidential

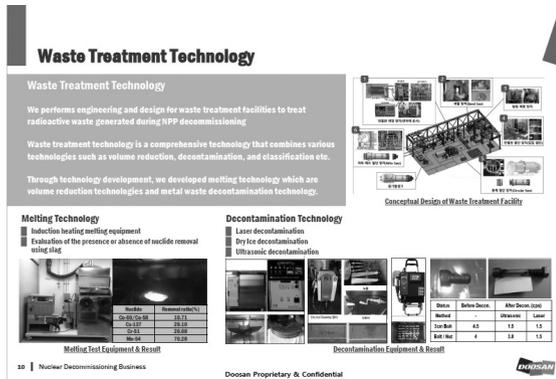
[그림 5] 증기발생기 해체장치

폐기물들을 최소화할 수 있도록 절삭률을 적용하지 않고 건식으로 절단 가능한 기계적 절단장치입니다.

첫 번째로 헬만 절단할 수 있는 Circular saw라는 장치입니다. 이 장치는 무한 회전이 가능하도록 설계되어 있어서 작업시간을 획기적으로 단축할 수 있는 특징이 있습니다. 이런 기능적 특징으로 미국 특허도 획득하였습니다. 두 번째로 수실을 절단할 수 있는 장치로 Diamond Wire saw가 있습니다. 국내에 있는 장비 중에서는 가장 큰 wire saw 장치로 예상됩니다. 이 장치는 한번에 수실을 절단할 수 있고 절단된 블록들 밑에 보이는 Band saw를 이용하여 세절할 수 있도록 장치를 구성하였습니다.

이런 장치들은 결국에는 어딘가에 설치가 되어서 사용해야 합니다. 말씀드린 것처럼 방사화되어있는 원자로나 내부구조물은 격납건물 안에서 In-Situ 방법으로 해체하게 될 것입니다. 증기발생기, 가압기, RCP 같은 경우에는 계통에서 통째로 분리해서 어떤 시설로 가지고 들어

와야 합니다. 통상 Waste Treatment System Facility라고 부릅니다. 원전해체 폐기물 처리 시설을 별도로 구축할 것으로 예상하고 있고 시설 안에 설비들을 집어넣어서 제염, 절단, 감용, 물류 등 작업들이 진행될 것으로 예상하고 있습니다. 이런 사업들을 위해서 별도의 개념설계를 진행을 하고 장비 구성 등도 같이 검토하고 있습니다.



[그림 6] 폐기물 처리 기술

또한 제염 또는 감용도 가장 중요합니다. 원자로를 해체하게 되면 단기간에 대량의 폐기물들이 동시에 발생될 수 있습니다. 이런 폐기물들을 효율적으로 처리하면서 동시에 폐기물을 획기적으로 줄일 수 있는 방법들을 찾는 것이 중요합니다. 그 해답 중 하나가 Melting 방식이라고 생각합니다. 따라서 두산중공업도 다양한 Melting 기술을 검토하고 있고 Melting 기술을 통해서 핵종을 Slug에 포집해서 제거할 수 있는 것들로 확인했습니다. 감용 측면에서도 우수한 효과가 있는 것으로 확인했습니다.

개발한 장비들을 실증적으로 Mock-up을 진

행하고 작업자들을 훈련하기 위해서 창원공장에 원전해체센터를 구축 해두었습니다.

두산중공업은 원전해체 사업을 단기적인 사업으로 보고 있지 않고 장기적으로 해외진출까지 고려하면서 3단계 추진 전략을 수립해서 진행하고 있습니다.

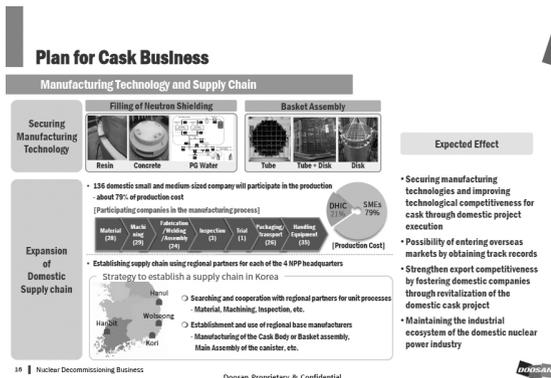
1단계는 핵심기술 확보와 사업을 준비하는 단계가 되겠고 앞서 설명드렸던 기술들은 3단계 중에 1단계에 해당하는 부분입니다. 현재는 기술개발과 함께 국·내외 협력체계 구축과 Supply Chain을 구축하기 위해 노력하고 있습니다. 2단계는 실질적인 프로젝트 수행을 통해서 실행 Record를 확보하고 해외 유관기관들과 협력을 통해서 해외사업 진출을 위한 노력입니다. 3단계는 해외 기술 협력사 또는 해외에 있는 회사와 함께 해외시장 진출하는 부문과 국내에 우수한 협력기관들과 함께 해외시장을 독자적으로 진출하는 것입니다. 이를 위해 계획을 세우고 준비하고 있습니다.

다음은 Cask 관련 사항입니다. 방사선 관리 구역을 해체하려면 먼저 사용후핵연료가 반출이 되는 것이 우선되어야 합니다. 두산중공업은 해당 사업들이 본격적으로 진행될 것으로 예상하고 2015년부터 미국의 NAC사와 기술협력을 통해서 기술개발을 진행해왔습니다. 두산중공업은 그동안 국·내외 다양한 설계사들의 설계를 가지고 Cask를 제작해서 공급한 실적을 가지고 있습니다.

이러한 제작 기술을 바탕으로 두산중공업의

독자적인 모델 개발을 진행하여 약 10종 정도의 자체 모델을 개발하였습니다. 만약 국내 사업이 활성화된다면 참여해서 사업수행을 준비하였습니다.

마지막으로 국산화 모델로 개발한 저장·운반 전용 용기와 금속 저장용기 관련하여 발표하겠습니다.



[그림 7] 캐스크 사업 계획

앞서 설명드린 엔지니어링 기술이나 설계 기술과 함께 중요한 부분이 제작 기술입니다. 차폐체 충전 기술 또는 Basket Assembly 기술들은 상당히 정교한 작업들이 요구되기 때문에 핵심

적인 제조기술도 확보하였습니다. [그림 7]에서 보시는 것처럼 실제 Cask 사업이 국내에서 발생하게 되면 많은 Supply Chain들이 필요합니다. 실제 사업을 수행할 때 약 80%의 규모는 중소기업의 물량으로 할당이 예상됩니다.

두산중공업도 이 사업을 위해서 Supply Chain을 지속적으로 구축하고 있고, 현재 약 130개 기업이 이 사업에 참여할 수 있을 것으로 예상하고 있습니다. 또한 각 원전 본부가 위치한 지역에 기여하기 위해서 각 원전 본부 별로 Supply Chain을 구성하는 방안도 함께 검토하고 있습니다.

현재 원자력계가 신규 원전 건설이 없다보니, 발주 물량이 없어서 상당히 어려움을 많이 겪고 있습니다. Cask 사업은 이러한 어려움을 타개할 수 있는 하나의 마중물이 될 수 있습니다. 그래서 사용후핵연료 Cask 사업이 진행되어서 많은 기업들이 이 사업에 참여할 수 있는 기회가 생겼으면 좋겠습니다. 이것으로 두산중공업 발표를 마치도록 하겠습니다. 감사합니다. **KIIF**