

# 스웨덴 원전의 주요 구성품 해체 및 제염기술 소개

강덕원\*, 김승일, 김을기

(주)금화피에스시, 서울특별시 강남구 테헤란로 25길 15-4

\*world2is@naver.com

## 1. 서론

원전 운영사업자는 원자력안전법에 의해 발전소 수명이 종료되는 시점에서 대상 발전소의 예상 해체비용 평가보고서 및 해체·제염 등을 안전하게 처리할 수 있음을 입증하기 위한 해체 사업계획서를 작성하여 규제기관에 제출하여야 한다. 본 논문은 총 8기를 운영하고 있는 스웨덴의 원전사업자가 수명이 다해가는 4개 부지의 발전소를 선정하여 해체 준비를 위해 작성한 타당성 조사보고서를 기반으로 그 중에서 가장 관심 있는 원전 주요구성품 (1차계통 제염, 원자로 내장품 절단, 원자로 압력용기, 대형 배관 등)의 제염 및 절단기술 중심으로 소개하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 부지 내 제염

폐로 프로젝트는 해체작업을 시작하기 전 냉각재 계통 전체에 대한 화학제염을 수행하는데 이는 계통 내 방사선량을 감소시켜 종사자 피폭선량을 감소(ALARA)시키기 위함이다. 주로 적용해 온 제염공정으로는 LOMI(저산화상태 금속이온) 또는 CITROX(구연산 및 옥살산) 제염공정과 미국 전력연구소(EPRI)의 폐로를 위한 제염(DfD) 및 독일 Siemens 사가 개발한 산화환원 화학제염(CORD) 공정이 있다. 폐로시의 제염절차는 운전 중에 적용하는 제염절차와는 상이하며 통상 가동 중 제염계수는 10 정도이고, 폐로를 위한 제염 시의 제염계수는 100 정도이다.

이러한 제염기술은 발전사업자들에 의해 폐로프로젝트 수행 시 만족스럽게 사용되어 왔다. 두 제염공정을 비교한 스웨덴의 Barseback 원전 공정 비교에서 보여주듯이(Table 1 참조) EPRI DfD 제염공정은 CORD 공정보다 제염시간, 제염계수 및 제염 폐기물 발생량 측면에서 불리한 것으로 나타났다.

Table 1. Comparison of Decontamination Process

NPP	Decon. Process	Real Decon. Period (day)	Total Necessary Period (day)	Decon. Factor (DF)	Amount of Spent Resin (m <sup>3</sup> )
Big Rock Point	EPRI DfD	15	63	27	16.4
Maine Yankee	EPRI DfD	20	71	31.5	17.7
Connecticut Yankee	Siemens CORD	25	122	15.9	13.2
Barseback 1	Siemens CORD	11		298	5
Barseback 2	Siemens CORD	11		93	4

### 2.2 원자로 내장품 절단

원자로 용기 내장품의 제거 및 절단과 연계하여 원자로 용기 자체처리가 프로젝트의 주 공정(Critical Path)이 될 것으로 보며 내장품의 제염은 물속에서 원격으로 절단하고 저장수조(Pool)에서 수행되며 적용 절단 기술은 다음과 같다.

#### 2.2.1 열적 절단법

일반적으로 절단 및 전개속도 측면에서 기계적 절단법보다 빠르며 원자로 내장품 절단시 선호하는 기술이다. 열적 절단법은 비 접촉, 비 반동기술로 어느 방향으로든 절단이 가능하고 복잡한 기하학적 구조물 절단에 적합하며 원격조작에 유용한 기술이다.

#### 2.2.2 연삭 물분사 절단법(AWJC)

고 방사능 원자로 내장품의 절단을 위한 대표적인 기술로 절삭 잔해물을 물 표면으로 밀어 올리지 않으며 매우 두꺼운 금속부분도 절단할 수 있는 장점을 가지고 있으나 AWJC는 열적절단보다 속도가 느리고, 사포와 같은 절단 연마제의 사용이 필요하며, 연마제가 폐기물로 추가되고 극단적인 경우 연마제의 양이 허용준위를 초과할 수 있다.

#### 2.2.3 기계식 절단법

이 기술은 매연이 발생하지 않으며 절단 부스러기가 큰 사이즈로 발생하기 때문에 작은 부스러기가 발생하는 열적 및 AWJC보다 원자로 수조 물속으로 흩어질 가능성이 낮아 오염 확산 및 시계의 감

소 가능성이 낮으며 별도의 특별한 기술이 요구되지 않는다. 적용기술로는 전단 기공과 톱질이다. 원형 톱과 티 톱을 사용하며 내장품 절단시 많이 사용한다.

## 2.2.4 내부구조물 절단기기

### 2.2.4.1 전단가공 절단기

막대(바)와 튜빙과 같은 길고 가는 품목에 대한 절단 및 노심지지 그리드와 같은 상대적으로 얇은 부분은 유압식 전단 가공 공기구를 사용하여 2차 폐기물 발생억제, 설치 및 사용이 용이하다.

### 2.2.4.2 톱

보다 넓고 복잡한 절단작업에 사용되며 띠톱과 회전 톱이 있다. 띠톱은 스웨덴 포스마크 원전에서 사용되었으며 톱날의 장력조절과 수평 및 수직절단이 가능하다. 이 기술은 노심 보호벽(Core Shroud) 상부에 있는 증기분리기 튜브 절단에 주로 사용된다.



Fig. 1. Band Saw(left) & Rig Saw for Core Shroud/Steam Dryer.

### 2.2.4.3 인적자원 구축

현장 작업팀의 구성은 품질보증 엔지니어, 현장 공사책임자 및 기계작업자로 구분되고 현장 팀은 현장 투입 전 및 투입 중에 Off-Site 프로젝트 관리, 엔지니어링 및 ALARA 지침 등에 대해서 지원을 받는다.

## 2.3 원자로 압력용기

미국 Big Rock Point, Yankee Rowe, Maine Yankee 및 Trojan과 같은 원전에서는 압력용기 그 자체를 운반용기로서 인증 받아 사용되기 때문에 별도 절단되거나 패키지화할 필요가 없었으나 처분시킬 경우는 열적 또는 기계식 절단이 사용될 수 있다.

## 2.4 대구경 배관

대구경 배관 절단 시에는 절단하려고 하는 배관의 방사선 준위와 주변의 작업장소에 따라 선택된다. 고 방사선 구역은 신속히 배관을 설치하고, 저 방

사선구역은 제염작업자가 원격으로 조작할 수 있는 기술이 일반적으로 적용된다.

### 2.4.1 배관 회전식 절단기(클램프 배관 절단기)

저렴한 기계식 방식인 배관 회전식 절단기가 대구경 배관절단에 사용될 수 있다. 이 방법은 고 방사선 배관, 원자로 용기 노즐절단 및 상당히 고품질의 절단이 가능하며 표면을 손상시키지 않고 열적 절단방식에서 발생하는 유독가스도 발생시키지 않는다. 또한 설치가 신속하며 절단하는 동안 작업자가 멀리 떨어져서 조작할 수 있으므로 불필요한 방사선 피폭을 방지할 수 있고 사용방법이 쉬워 작업자의 교육훈련이 신속하게 이루어진다.

### 2.4.2 다이아몬드 와이어 톱

다이아몬드 톱은 접촉해서 작업하는 것이 바람직하지 않은 경우와 배관 회전식 절단기를 설치하기에 공간이 충분하지 않거나 배관 두께가 배관 회전식의 용량을 초과할 경우 및 고 방사선량으로 인해 접촉 작업이 용이하지 않을 때 사용된다.

### 2.4.3 열적 절단기

손으로 직접 잡고 절단 시에는 플라즈마 절단기를 배관제거에 사용한다. 작업능률은 배관 크기, 좁은 공간 및 고공 작업 등 작업조건에 따라서 변화가 크다.

## 3. 결론

해체준비가 완료되면 1차계통의 화학제염과 설비의 오염 제거가 선행된다. 전 계통 화학제염이 완료되면 전체 시설을 절단하여 해체하는 작업이 진행되기 때문에 해체비용의 절감 및 작업자 피폭저감화를 위해서는 자체처분 및 제염 등을 통해 해체 폐기물량을 줄여야 한다. 원전 해체를 안전하고 효율적으로 수행하기 위해서 기존에 수행되었던 기술들을 비교 검토하여 우리 실정에 가장 적합하고 효율성과 경제성이 높은 해체기술을 도출하여야 하며 절차서 작성, 공기구 제작 및 분야별로 훈련된 요원을 양성하여 폐로사업을 통해 국가 산업경쟁력에 한수원(주)이 선도 역할을 주도해 나갈 것으로 기대한다.

## 4. 참고문헌

- [1] Decommissioning study of Forsmark NPP, Sweden. R-15-05, June 2013.
- [2] Decommissioning study of Oskarshamn NPP, Sweden. R-17-07, June 2013.