

# 원전 해체 시 2차 폐기물 생성을 고려한 금속 절단기술 선정

임석남<sup>1\*</sup>, 김민수<sup>1</sup>, 박장순<sup>2</sup>, 조규왕<sup>2</sup>, 박재석<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(주)엑트알엠티, 대전광역시 유성구 테크노 1로 11-3, N302

<sup>2</sup>세안기술(주), 서울특별시 금천구 가산디지털2로 184

\*limsn53@hanmail.net

## 1. 서론

원전 해체 시 원자로계통의 구조물에 대한 절단 기술의 선정은 원전 해체수행을 위하여 중요하며 합리적인 절단기술을 선정하기 위하여 여러 선정기준이 고려되어야 한다. 그 선정기준으로서 비용, 산업적 위험도, 재질의 종류, 기하학적 구조, 접근성, 방사성물질의 존재 여부 등이 있다.

원전 원자로계통의 절단작업은 오염되거나 방사화 물질을 다루게 된다. 원격장비가 아닐 경우 외부피폭을 저감하기 위하여 절단기술은 그 속도가 중요하다. 플라즈마 등 열적 절단기술은 다른 절단기술에 비하여 더 많은 2차 폐기물을 생성한다. 절단과정에서 생성된 금속성 먼지는 여러 위험을 유발할 수 있다. 또한 흡입에 의한 내부피폭을 야기할 수 있다. 따라서 원자로계통의 절단작업은 작업자의 방사선위험이 고려되어야 한다.

여러 가지 절단 기술은 다음과 같이 크게 나눌 수 있다.

- 기계적 절단기술(절단, 깎기, 갈기 등)
- 열적 절단기술(산소 절단기, 플라즈마 아크 등)
- 수력학적 절단기술(연마제 첨가 고압 수 등)

절단작업은 공기 중과 수중으로 구분할 수 있고 수중에서 절단할 경우 방사선방호는 개선되지만 절단 주변의 작업장 시야는 감소하는 특성이 고려되어야 한다.

원전 해체의 경우 대형 금속 구조물 절단 시 2차로 생성되는 폐기물, 먼지, 에어로졸의 생성량과 이에 대한 방사선방호를 고려하여 절단기술이 선정되어야 한다.

## 2. 2차 폐기물 생성량

### 2.1 절단기술의 특성

절단 시 생성되는 에어로졸 및 먼지의 크기에 대한 분포는 여러 가지 인자에 달려 있다. 그 인자로서 절단기술, 절단변수, 통기, 재질, 환경적 조건

등이 있다. 열적 절단에 의해 생성되는 에어로졸의 크기는 기계적 절단 보다 큰 것으로 나타난다. 그러나 절단 조건에 의하여 많은 영향을 받는다.

### 2.2 절단 시나리오

절단 대상에 따른 효율적인 절단기술이 선정되면 모사시험(Mock-up Test)을 통하여 여러 가지 최적변수가 선정되어야 하고 절단작업을 실행하기 위한 절단계획을 수립하며 아래와 같은 사항을 고려하여야 한다.

- 크기, 구조 및 재질 구성
- 무게, 지지구조, 운반수단
- 제거성/고착성 표면오염 정도
- 작업지역 방사선량률
- 1회 절단 단위(크기, 형태 등)

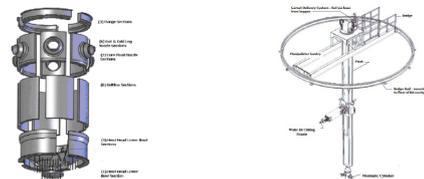


Fig. 1. Rancho Seco Rx Vessel Segmentation Plan (Water jet Manipulator).

### 2.3 2차 폐기물 생성량

원전 원자로냉각재계통의 배관을 대상으로 절단 폐기물 발생량 및 재부유 오염량은 아래와 같이 산정할 수 있다. 배관 내부의 오염표면적을 계산(산식 1)하고 여기에 오염도를 반영하면 재부유 오염량이 산정(식 2)되고 절단 폐기물의 양은 지름, 절단면적을 반영하면 산정(식 3)된다.

$$S = \pi \cdot Di \cdot L \quad (1)$$

$$Cr = S \cdot Cz \quad (2)$$

$$V = \pi(D_o^2 - D_i^2)/4 \cdot L \quad (3)$$

여기서

S : 내부표면 절단면적 (m<sup>2</sup>)

Cr : 재부유 오염량 (Bq)

- V : 폐기물량 (m<sup>3</sup>)
- L : 절단 폭 (m)
- Do/Di : 바깥/안지름 (m)
- Cz : 절단지역 오염도 (Bq/m<sup>3</sup>)

## 2.4 먼지 발생량

절단 시 공기 중으로 부유되는 양은 매우 적고 대부분이 작업장 바닥에 떨어진다. 절단량의 매우 적은 양 만이 호흡이 가능한 부유물로 된다. 스테인레스 스틸의 경우 약 1%로 알려져 있다.

플라즈마 절단기술을 적용할 경우 흡과 먼지의 발생량은 환경조건, 모양, 재질, 구조물의 기울기, 절단 방향, 가스와 가스 유량, 침적물 존재, 절단 속도 등에 따른다. 또한 입자 크기의 분포는 쌍봉 낙타형태(Bimodal)로서 공기역학적 크기의 중간 값은 0.2 mm, 최대 사이즈는 7 mm 이다.

이태리 트리노 원전의 1차 축 주기기에 대하여 이론적 계산결과로서 열적 절단기술인 플라즈마와 산소연료의 먼지 발생 예상량은 아래와 같다.

Table 1. Cutting Dust generated from metal component segmentation

구 분	절단기술	배 관	세관(SG)	가압기
절단 속도 (cm/분)	플라즈마	25	100	-
	산소연료	50	70	40
총 절단 시간(hr)	플라즈마	4.8	24	-
	산소연료	2.4	34.2	2.5
총 먼지 발생량 (kg)	플라즈마	0.76 ~ 7.23	0.12 ~ 1.18	1.70 ~ 16.11
	산소연료	0.06 ~ 0.95	0.01 ~ 0.15	0.14 ~ 2.12

스테인레스 스틸의 절단에 의하여 생성되는 흡의 구성은 조건에 따라 큰 폭으로 변하며 그 구성은 철 38 ~ 44%, 크롬 12 ~ 20%, 니켈 4 ~ 8%, 망간 4 ~ 10%, 구리 2 ~ 6%, 몰리브덴 1% 정도이다. 산소연료 절단의 경우 대부분은 금속산화물 형태이다. 플라즈마 절단기술을 적용할 경우 생성되는 먼지는 산소아세틸렌 절단 기술에 비하여 약 2 ~ 5배가 많다.

## 2.5 작업자 안전관리

고온절단에 의하여 절단지역으로부터 발생하는 입자는 기화된 물질이 응축되거나, 용융물질 또는 파편으로 방출되는 2가지 경로를 통해서 생성된다. 기화물질의 응축은 기화물질이 절단 지역으로부터 멀리 확산될 경우 냉각이 일어나고 이어 에어로졸

입자의 핵심생성(Nucleation)이 시작되면서 진행된다. 생성된 입자의 공기역학적 크기의 중간 값은 1 μm 보다 작다. 따라서 이들 입자는 PM-10 으로 고려된다.

흡의 구성 원소는 작업장에 침강되거나 환경으로 확산될 수 있다. 여과계통에 걸러지는 먼지의 양은 플라즈마 절단의 경우 절단되는 중량의 0.6 ~ 5.7% 이고 산소연료절단의 경우 0.05 ~ 0.75% 로 평가 될 수 있다. 방사성 먼지의 흡입에 의한 작업자의 내부피폭은 마스크를 착용하여 보호할 수 있다. 작업환경관리를 위하여 H13 등급 이상의 HEPA 여과계통이 절단작업장 가까이에 설치되어야 한다.

## 3. 오염 금속 절단기술 선정

원전 해체 시 1차 축의 주요 금속 재질 구성품의 절단기술 선정에는 절단기술의 일반적 특성, 절단대상 특성을 우선 검토하고 2차 폐기물 발생량 그리고 생성되는 먼지의 특성과 작업자 안전관리 등을 고려하여 최종적으로 선정되어야 한다. 여기에 작업자 및 환경보호 대책이 절단계획에 적절히 반영되어야 한다.

선정된 기술은 실제상황과 유사하게 모사시험을 통하여 최적 조건이 분석되어야 한다. 특히 오염금속 절단에 열적 절단기술을 적용할 경우 모사시험을 통하여 금속 성분의 에어로졸과 먼지 생성은 유의 깊게 분석되어야 한다.

분석된 결과는 작업자 및 환경보호를 위하여 절단계획 수립이전에 검토되어야 한다.

## 4. 참고문헌

- [1] L. Bonavigo, "Radioactivity release and dust production during the cutting of the primary circuit of a nuclear power plant : The case of E. Fermi NPP", Progress in Nuclear Energy. May 2010 (2010).
- [2] EPRI, "Rancho Seco Reactor Vessel Segmentation Experience Report" (2008).