

## 마이크로버블을 이용한 제염장치 개발 및 성능평가

전종선, 박상규, 이상현, 이상철, 김위수, 한병성

(주)에네시스, 대전시 유성구 구암동 328

[nunki@enesys.co.kr](mailto:nunki@enesys.co.kr)

### 1. 서론

마이크로버블이용 기술은 화학약품사용을 최소화하는 친환경기술 산업분야로 활용분야가 빠르게 확산되고 있다. 이런 기술적 특징을 활용하여 마이크로버블을 이용하여 폐기물 제염 시 2차 폐기물의 발생을 최소화하는 제염장치를 개발하고자 한다. 국내 및 해외에서도 마이크로버블을 활용한 제염기술은 초기단계이며 일반적으로 제염하기 쉬운 배관재를 대상으로 제염장치를 개발하고자 한다. 기술 개발을 위해서는 마이크로버블 발생장치, 세정조와 산액관, 세정액의 오염물질을 제거하는 여과장치, 세정액 pH 조절장치 및 오존발생장치 등 구성하여 마이크로버블 제염장치를 개발하였다. 위와 같은 구성으로 제작된 마이크로버블 제염장치를 이용하여 금속배관재류에 대한 예비제염실험을 수행하여 제염조건 및 제염효율을 확인하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 마이크로버블 제염장치 개발

##### 2.1.1 마이크로버블 발생부

본 연구에서 사용한 마이크로버블 발생장치는 고속선회방식으로 유량 1.5 m<sup>3</sup>/hr, 총 수두 90 m, 3450 rpm 및 2.2 kw의 성능을 보이는 입형다단펌프를 이용하여 마이크로버블을 생성한다. 이때 20 L/min의 유속으로 버블수를 생성하며, 분당 2 L 이하의 기체를 주입(펌프 수차 1회전 당 0.58 ml 기체 주입)하여 용액에 혼합하여 버블을 생성한다.

##### 2.1.2 버블 작용

마이크로버블을 이용한 제염기술은 마이크로버블의 수축·소멸과정에서 발생하는 붕괴에너지를 이용하여 산화물 및 부식생성물을 제거하고자 한다. Young-Laplace 공식  $P = P_0 + 4\sigma/D$ 에 따라

먼 마이크로버블의 자기 가압효과에 의한 기포 내부의 압력상승은  $\Delta P = 4\sigma/D$ 와 같이 버블 크기에 반비례하며 미세 크기의 버블을 제염에 적용하는 것이 제염에 효과적이다. 마이크로버블 발생장치에서 발생시킨 마이크로버블 평균 직경을 20 μm라고 가정할 때 평균 버블체적은  $4.1 \times 10^{-9}$  cm<sup>3</sup>이고 버블의 밀도는  $9.5 \times 10^6$  개/cm<sup>3</sup>가 된다.

##### 2.1.3 제염장치 구성

마이크로버블 발생부, 세정조 및 세정용액 냉각기, 세정액 순환부로 분리하여 구성하였다. 300 L 용량의 316 SUS 재질의 세정조를 중심으로 주변에 마이크로버블 발생부와 세정액 순환부를 장착하였다. 마이크로버블 발생부 상단에 약품주입탱크를 부착하여 세정액의 pH를 조절할 수 있게 하였다. 세정액 순환부에 250 L/min 용량의 순환펌프, 혼합수지와 마이크로필터를 구성하여 세정액 순환하면서 이물질질을 정화하고 마이크로버블 발생부와 동시에 운전할 수 있다. 산화력 강화를 위하여 2 L/min의 용량을 가지는 오존발생장치를 부착하여 제염성능을 강화하였다.

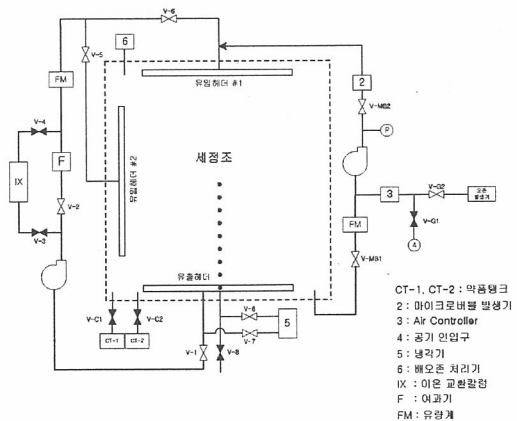


Fig. 1. 마이크로버블 제염장치 개념도

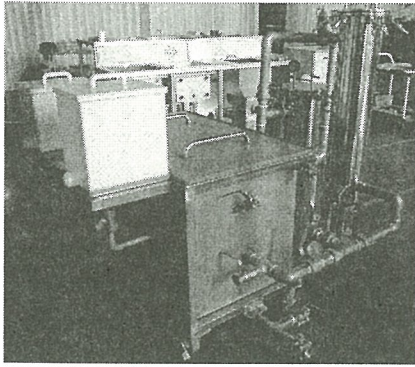


Fig. 2. 제작된 마이크로버블 제염장치

## 2.2 예비 제염실험

원자력시설에서의 금속 배관재류 내벽의 표면 제염에서 주 제거대상 이물질은 스케일(Scale) 또는 산화피막(녹 포함)이다. 산화부식된 모의 배관 시편을 이용하여 실험하였다.

### 2.2.1 금속표면에 발생한 부식산화물 제거 시험

마이크로버블 제염장치에서 부식산화물이 부착된 200 g 정도의 모의금속배관 시료를 시간대별로 제염 후 시편의 무게 변화를 확인하였다.

마이크로버블을 발생시키지 않고 세정액을 순환한 제염시험, 마이크로버블을 발생하여 세정액을 순환한 제염시험 및 세정액 조성을 변경 등 다양한 조건에서 실험을 수행하였다.

실험조건으로 마이크로버블 제염시간은 최대 180 min, 세정액량은 20 L, 제거효율을 증가시키기 위해서 30 V의 전압을 걸어주었다. 표 1과 그림 3과 같이 산화물이 제거되는 효과를 확인하였다.

Table 1. Decontamination efficiency of metal oxide

구분	제염시간			
	30min	60min	120min	180min
A*	0.19%	0.50%	1.58%	2.38%
B**	0.07%	0.08%	0.09%	0.09%
C***	0.07%	0.12%	0.19%	1.90%
D****	0.10%	0.33%	0.89%	1.74%

\*A:마이크로버블사용, 0.01M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 세정액 사용

\*\*B:마이크로버블사용, 0.1M NaOH 세정액 사용

\*\*\*C:마이크로버블사용, 0.1M HNO<sub>3</sub> 세정액 사용

\*\*\*\*D:마이크로버블사용안함, 0.01M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>세정액사용

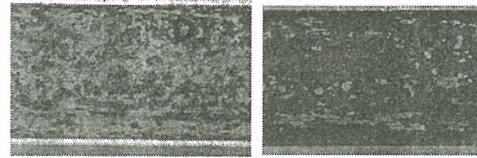


Fig. 3. Decontamination test of metal oxide used microbubble generator. [before test(L), after test(R)]

마이크로버블을 발생시키지 않고 제염한 경우는 시료 무게 변화가 1.7%이고 마이크로버블을 사용한 경우에는 시료 무게 변화 표 2와 같이 2.4% 정도 제염되는 것을 확인하였다.

## 3. 결론

본 연구에서는 마이크로버블 제염장치의 구성 및 제작하였으며, 산화부식 모의시편에 세정액의 종류와 제염시간 등을 변화하여 마이크로버블 제염장치의 제염성능과 최적의 세정조건 등을 확인하였다. 예비실험 결과, 시료대상 및 실험조건에 따라 시편의 무게변화율을 최대 2.4%까지 시편의 무게변화율을 확인하였다.

모의 방사성 물질의 이용한 부식산화물 제거시험을 추가하여 제염장치의 정확한 제염효율을 확인하고자 한다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부 기술혁신사업 중 원자력 발전기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다. (No. 2009T100100645)

## 5. 참고문헌

- [1] Joo Young Park, Yong Ju Choi, Seheum Moon, Do Yun Shin, Kyoungphile Nam, Journal of Hazardous Materials, 163, p761-767, 2009/7, "Microbubble suspension as a carrier of oxygen and acclimated bacteria for phenanthrene biodegradation".
- [2] 방사성 토양 및 콘크리트 제염을 위한 pilot 규모 전기화학세정장치 개발, KAERI/RR-3052/2009.