

## 마이크로버블을 이용한 세정장치 개발 및 세정성능 강화

전중선, 추주영, 이상현, 이상철, 한병섭, 김위수

(주)에네시스, 대전시 유성구 구암동 328

[nunkijs@gmail.com](mailto:nunkijs@gmail.com)

### 1. 서론

국내 및 해외에서도 마이크로버블을 활용한 세정기술은 초기단계이다. 마이크로버블의 특성 및 버블붕괴현상을 연구하였고 이를 반영하여 폐기물 세정 시 2차 폐기물의 발생을 최소화 할 수 있는 마이크로버블을 이용한 세정장치를 개발하였다. 마이크로버블 이동 및 붕괴시간 등의 특성을 고려하여 방사성오염물 중 세정에 적합한 배관재를 세정대상으로 선정하여 세정장치를 개발하였다. 마이크로버블 발생장치, 세정조와 산액관, 세정액의 오염물질을 제거하는 여과장치, 세정액 pH 조절장치 및 오존발생장치 등을 구성하였다. 산화물 세정성능을 개선하기 위해서 진동 장비를 추가하였고 추가장비 개선 전후의 세정성능을 확인하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 마이크로버블 세정장치 개발

##### 2.1.1 마이크로버블 발생부

본 연구에서 사용한 마이크로버블 발생장치는 고속선회방식으로서 최대유량 11.3 m<sup>3</sup>/hr, 총 수두 157 m, 3600 rpm 및 3.7 kw의 성능을 보이는 입형다단펌프를 이용하여 마이크로버블을 생성한다. 이 때 20 L/min의 유속으로 버블수를 생성하며, 분당 2 L 이하의 기체를 주입(펌프 수차 1 회전 당 0.56 ml 기체 주입)하여 용액에 혼합하여 버블을 생성한다.

##### 2.1.2 세정장치 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 이물질을 정화하고 마이크로버블 발생부와 동시에 운전할 수 있다. 산화력 강화를 위하여 2 L/min의 용량을 가지는 오존발생장치를 부착하였다.

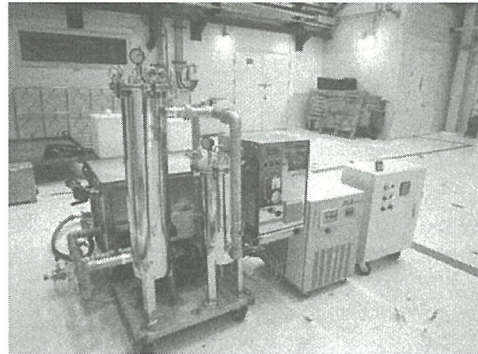


Fig. 1. Manufactured micro-bubble cleaning system. (cleaning capacity: 300 L).

#### 2.2 마이크로버블 세정시험

##### 2.2.1 모의부식시험

일반 철재배관을 5 cm 길이로 일정하게 절단한 시료를 물속에 2년간 침지하여 자연적인 부식현상이 발생하도록 보관하여 모의부식시험을 제작하였다. 부식 전 철재 배관에 비해서 부식 후 평균 3.9% 무게가 증가하였다. 대부분의 부식은 배관 내부에 발생하였고 마이크로버블 세정장치의 장점인 물리적 세정이 어려운 배관 내에 마이크로버블을 공급하여 버블 붕괴 시 발생하는 고온 고압의 캐비테이션으로 배관 내 부식물을 제거하였다.

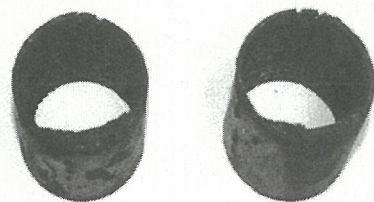


Fig. 2. Cleaning test specimen with simulated corrosion.

### 2.2.2 마이크로버블 세정 비교시험

마이크로버블의 붕괴에너지 및 붕괴시점을 향상시키기 위한 진동자를 세정조 측면 또는 하단에 부착하여 세정시험을 수행하였다. 세정성능 비교군으로 기존 세정방식과 같이 마이크로 버블만 사용해서 처리한 결과, 마이크로 버블 없이 진동자 작동, 세정액 순환만으로 처리한 결과, 마이크로버블과 진동자 작동 처리결과와 초음파 세정 결과를 비교 분석하였다.

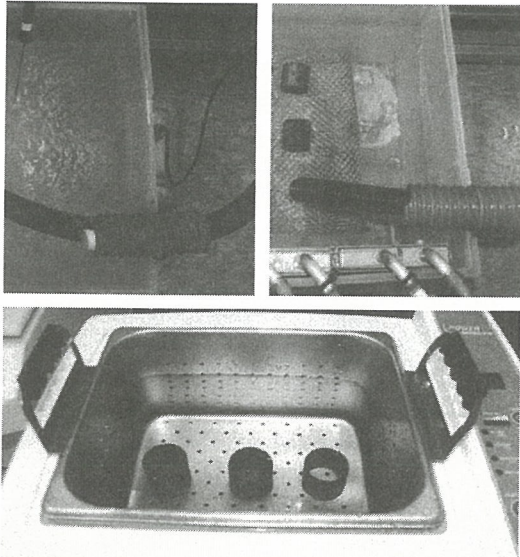


Fig. 3. Cleaning comparison test. (Top clockwise: microbubbles and side low vibration, microbubbles and bottom low vibration, ultrasonic cleaning).

조건에 따라 다양한 실험을 수행한 후 시험 전, 후의 시편무게 변화를 통해서 제거된 산화물의 비율을 계산 및 평가하였다.

Table 1. Oxide removal rate according to methods.

Test Method	Oxide weight (g)	Weight change (g)	Oxide removal rate (%)
Microbubble cleaning	3.339	0.033	0.97
Vibration and pump circulation cleaning	3.266	0.026	0.80
Microbubbles and side vibration cleaning	3.199	0.070	2.20
Microbubbles and bottom vibration cleaning	3.670	0.167	4.47
Ultrasonic cleaning	6.930	0.967	14.00

### 3. 결론

산화물 제거율로 보면 초음파세정이 평균 14.0%로 가장 우수한 결과를 보이고 마그네틱진동과 펌프순환 만으로 세정결과와 마이크로버블 만으로 세정한 결과가 각각 평균 0.8%와 1.0%로 가장 낮은 세정율을 보인다. 마이크로버블과 마그네틱진동으로 같이 세정한 결과 평균 세정율이 3.3%이고 마그네틱 진동으로 세정액에 진동을 가하여 세정대상 표면에 위치한 마이크로버블의 버블붕괴를 촉진하여 버블붕괴 효과를 상승시켜 산화물의 제거율이 상대적으로 높아졌다. 초음파세정에 비하면 낮은 수치이지만 사용장소와 적용거리가 제한적인 초음파세정에 비해 마이크로버블 세정방법은 세정액이 위치한 곳에 세정액의 순환만 되면 세정이 가능하기 때문에 일반적인 세정법을 적용하기 어려운 장소나 배관류 세정에는 적합한 세정법으로 판단된다.

### 4. 감사의 글

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

### 5. 참고문헌

- [1] Masayoshi Takahashi, Journal of Physical Chemistry B, The potential of Micro-bubbles in Aqueous solutions, 109, p21858-21864, 2005/11.
- [2] Ohnari, H. Journal of MMIJ, The Characteristics and Possibilities of Micro Bubble Technology, Vol. 123, p89-96, 2007.
- [3] Young Park, Yong Ju Choi, Seheum Moon, Do Yun Shin, Kyoungphile Nam, Journal of Hazardous Materials, Microbubble suspension as a carrier of oxygen and acclimated bacteria for phenanthrene biodegradation, 163, p761-767, 2009/7.