

ORIGINAL ARTICLE

## 마이크로나노버블 토양세척시스템 및 산세척 복합공정의 산 농도변화에 따른 중금속 제거효율에 관한 연구

정진희 · 최호은<sup>1)</sup> · 정병길<sup>2)</sup> · 성낙창 · 이기철<sup>3)</sup> · 최영익\*

동아대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>대한환경(주), <sup>2)</sup>동의대학교 환경공학과, <sup>3)</sup>동아대학교 조경학과

### Heavy Metal Removal Efficiency in Accordance with Changes in Acid Concentrations in a Micro-nano Bubble Soil Washing System and Pickling Process

Jin-Hee Jung, Ho-Eun Choi<sup>1)</sup>, Byung-Gil Jung<sup>2)</sup>, Nak-Chang Sung, Gi-Chul Yi<sup>3)</sup>, Young-Ik Choi\*

Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 49315, Korea

<sup>1)</sup>Daehan Environment(Co), Gimhae 50802, Korea

<sup>2)</sup>Department of Environmental Engineering, Dong-Eui University, Busan 47340, Korea

<sup>3)</sup>Department of Landscape Architecture, Dong-A University, Busan 49315, Korea

#### Abstract

This study was aimed at determining the changes in heavy metal removal efficiency at different acid concentrations in a micro-nanobubble soil washing system and pickling process that is used to dispose of heavy metals. For this purpose, the initial and final heavy metal concentrations were measured to calculate the heavy metal removal efficiency 5, 10, 20, 30, 60, and 120 min into the experiment. Soil contaminated by heavy metals and extracted from 0~15 cm below the surface of a vehicle junkyard in the city of U was used in the experiment. The extracted soil was air-dried for 24 h, after which a No. 10 (2 mm) was used as a filter to remove large particles and other substances from the soil as well as to even out the samples. As for the operating conditions, the air inflow rate in the micro-nano bubble soil washing system was fixed at 2 L/min.; with the concentration of hydrogen peroxide being adjusted to 5%, 10%, or 15%. The treatment lasted 120 min. The results showed that when the concentration of hydrogen peroxide was 5%, the efficiency of Zn removal was 27.4%, whereas those of Ni and Pb were 28.7% and 22.8%, respectively. When the concentration of hydrogen peroxide was 10%, the efficiency of Zn removal was 38.7%, whereas those of Ni and Pb were 42.6% and 28.6%, respectively. When the concentration of hydrogen peroxide was 15%, the efficiency of Zn removal was 49.7%, whereas those of Ni and Pb were 57.1% and 42.6%, respectively. Therefore, the efficiency of removal of all three heavy metals was the highest when the hydrogen peroxide concentration was 15%.

**Key words** : Zn, Ni, Pb, Micro-nano bubble soil washing system

#### 1. 서론

경제규모의 성장과 다양한 산업 활동의 증가로 인하여 날로 환경이 오염되고 있으며 환경보존의 문제

Received 23 June, 2016; Revised 18 August, 2016;

Accepted 2 September, 2016

\*Corresponding author : Young-Ik Choi, Department of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 49315, Korea  
Phone: +82-51-200-7675  
E-mail: youngik@dau.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

가 큰 관심사로 부각되어지고 있다. 환경오염은 크게 수질, 대기, 토양오염의 문제로 분류할 수 있다. 이 중 토양오염은 수질오염이나 대기오염과는 달리 이동성이 적으며 육안으로 판별하기 쉽지 않아 깨끗한 토양처럼 보일 수 있다. 이러한 이유로 인해 사회적 인식 및 기술적 자립도가 낮은 실정이다(Jang et al., 2002).

사고에 의해서 또는 고의적으로 땅속에 폐기된 독성 유기물질, 유류 또는 중금속 등은 인근 토양과 지하수를 오염시키는 물론 다양한 경로를 통하여 직, 간접적으로 인간에게 피해를 주게 된다(Yeom et al., 1997).

토양 중금속오염은 산업지역, 도로, 철도, 폐광산 등의 오염원에서 유발된다. 특히 인구밀도가 높은 우리나라의 경우 오염원에 인접한 주거지역이 중금속 오염토양에 노출될 가능성이 높다. 중금속 오염 토양은 사람피부에 직접 접촉되거나 비산 흡입되어 인체 건강에 직접적인 영향을 미칠 수 있으며, 지하수 및 농업용수 등 간접적으로 노출경로를 통해서도 사람의 건강에 영향을 미칠 수 있다(Kim et al., 2009).

폐기물 및 광석 등에 고형 입자 형태로 존재하는 중금속은 시간 경과에 따라 더 작은 입자로 분쇄되어 토양에 존재하다가 강우 또는 홍수의 영향으로 오염 범위를 확산시키기도 한다. 토양 중금속의 용해도는 토양의 pH, Eh, 이온 교환 능력, 유기물과 결합 및 킬레이트화 등에 의해 결정된다(Jeong et al., 2009).

근자에 들어 중금속이나 난분해성 물질을 처리하기 위한 기술로서 주목받고 있는 기술이 토양세척법(Soil washing)이다. 이 기술은 굴착토양을 세척용매와 접촉시켜 오염물질을 추출하는 공정으로 세척 후 정화된 토양은 용액으로부터 분리하여 현장에 재 매

립하고 토양과 분리하고 남은 용액은 폐수처리 과정을 통해 오염물질을 회수하고 용매로 재사용 된다(Van et al., 1994; Reddy et al., 2000).

토양세척법 중 기존에 일반적으로 적용되던 토양오염 세척 방식인 펜톤산화를 이용한 토양오염 처리는 과량의 과산화수소와 철 촉매의 주입, 혼합방식에 의한 처리효율 감소로 야기되는 고비용의 경제적 손실과 고농도의 과산화수소 주입으로 발생하는 발암성 오염물질의 잔류 및 토양 미생물에 악영향을 미치는 2차 오염을 발생시킨다.

마이크로나노버블 발생장치의 경우 강제공기 주입에 의한 기포발생방법이 아닌 액체의 선화유동특성에 따라 산소가 자연적으로 유입되게 하여 발생된 미세 기포 크기를 이용하기 때문에 수중에서 상승속도가 느리게 됨으로써 체류시간을 길게 할 수 있을 뿐만 아니라 산세척제의 반응속도와 토양과의 비표면적을 크게 만들어 오염토양 내 유기오염물질 및 중금속 제거에 효과적일 것으로 기대된다.

펜톤산화를 이용한 공정의 단점을 보완하기 위해 마이크로나노버블 토양세척시스템과 산세척 공정을 복합적으로 사용할 것이다. 본 연구에서는 마이크로나노버블 토양세척시스템 및 산세척 복합공정의 산 농도변화에 따른 중금속제거효율에 관한 연구에 그 목적이 있다.

## 2. 재료 및 분석방법

### 2.1. 실험재료

실험에서 사용된 오염토양은 U시에 위치하고 있는 폐차장에서 표층 0~15 cm에서 채취한 중금속 오염토양을 사용하였다. 채취된 토양은 24시간 동안 풍건한

**Table 1.** Physical and chemical properties of contaminated soil

Items	Contaminated soil
Texture	Sandy loam
Sand (2~0.05 mm)	60.2%
Silt (0.05~0.002 mm)	22.7%
Clay (<0.002 mm)	17.1%
Moisture content (%)	1.5
Field capacity (%)	40
pH	9.4

**Table 2.** Characteristics of TPH and heavy metals of contaminated soil

Items	TPH	Zn	Ni	Pb
Heavy metal(average)	4,914~5,998 (5,456)	1,850~2,283 (1,967)	60.8~68.9 (64.1)	34.0~48.3 (41.2)

후 토양에 함유된 큰 입자와 기타물질을 제거하여 시료를 균등화하기 위해 No.10(2 mm)을 이용하여 체거름 하였다. 오염토양의 물리·화학적 특성 및 오염토양의 농도는 Table 1 및 Table 2에 나타내었다.

2.2. 실험장치 및 방법

2.2.1. 실험장치

반응조는 너비 700 mm, 폭 500 mm, 높이 400 mm의 유효용적 140 L로 제작되었으며, 너비 500 mm, 폭 300 mm, 높이 400 mm의 유효용적 60 L 유량조정조를 거쳐 둘레 1,100 mm, 높이 400 mm의 유효용적 38.5 L의 마이크로나노버블 생성기 및 펌프 및 스트레이너로 구성되며, 산처리시 낮은 pH를 견디기 위해서

스테인레스 재질로 제작되었다.

2.2.2. 실험방법

본 연구에서 측정할 항목은 오염토양 성분 분석결과 Zn, Ni, Pb의 농도가 기준치를 상회하거나 비슷하게 나타나 3개의 금속을 대상으로 실험하여 분석을 행하였다. 마이크로나노버블 유입 공기유량을 2 L/min으로 고정하고 과산화수소의 농도를 5, 10 및 15%로 변화시켜 각각 120분 동안 처리하였다.

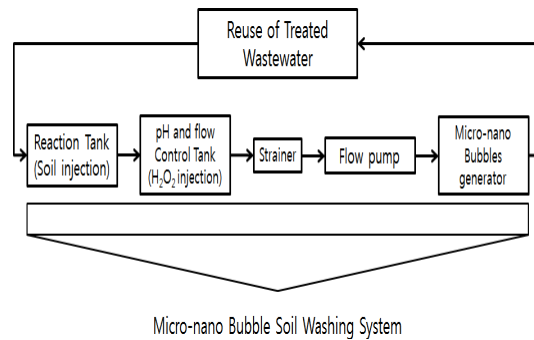
실험을 위한 장치의 운전조건과 중금속 분석 방법에 대한 사항은 Table 3 및 Table 4에 나타내었다.

2.2.3. 분석방법

수질오염공정시험법을 이용하여 분석하였으며 세부 방법은 Table 4에 제시하였다.



**Fig. 1.** Photographs of micro-nano bubbles soil washing system.



**Fig. 2.** A Schematic diagram of micro-nano bubbles soil washing system.

**Table 3.** The operating conditions

Items	Units	Conditions
Sampling time	min	0, 5, 10, 20, 30, 60, 120
Contaminated-soil	kg	10
Air flow	L/min	1, 2, 3

**Table 4.** Analysis method of heavy metals

Items	Analysis method
Zn	ES 07406.1b
Ni	ES 07403.1b
Pb	ES 07402.1b

**3. 결과 및 고찰**

**3.1. Zn 농도 변화 및 제거효율**

Zn의 제거효율이 마이크로노버블 토양세척시스템 및 산세척 복합공정의 과산화수소의 농도에 따라 어떻게 달라지는지 알아보기 위해 2 L/min의 유입 공기 유량과 5, 10 및 15%의 과산화수소로 처리하였다.

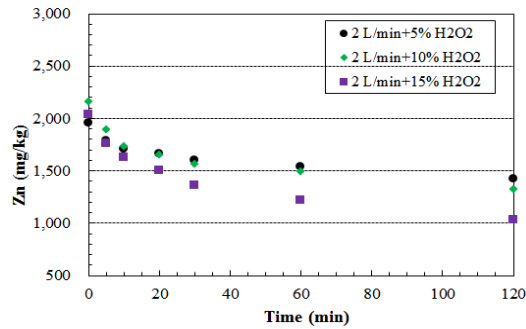
120분간 진행된 Zn 농도 변화 및 제거효율을 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. 과산화수소의 농도를 변화시켜 실험한 결과 과산화수소의 주입 농도가 증가할

수록 제거효율이 더 높게 나타났다.

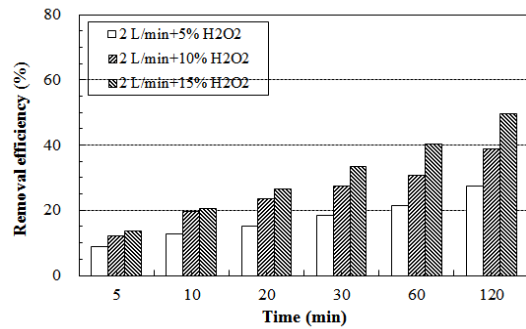
**3.2. Ni 농도 변화 및 제거효율**

Ni의 제거효율이 마이크로노버블 토양세척시스템 및 산세척 복합공정의 과산화수소의 농도에 따라 어떻게 달라지는지 알아보기 위해 2 L/min의 유입 공기 유량과 5, 10 및 15%의 과산화수소로 처리하였다.

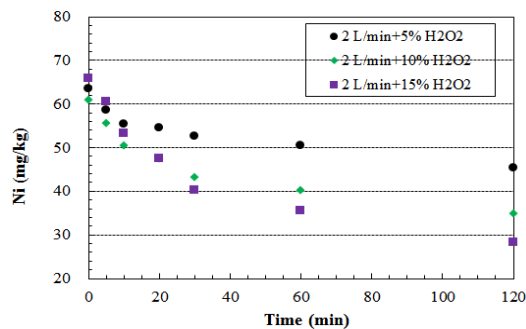
120분간 진행된 Ni 농도 변화 및 제거효율을 Fig. 5 및 Fig. 6에 나타내었다. 과산화수소의 농도를 변화



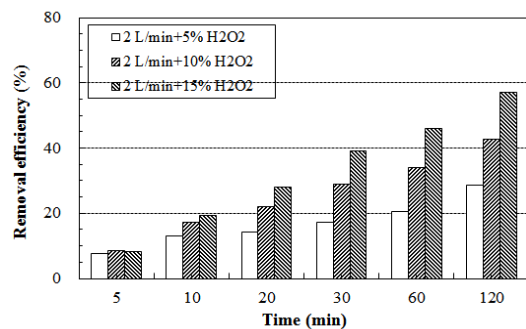
**Fig. 3.** Zn concentration vs. time.



**Fig. 4.** Zn removal efficiency vs. time.



**Fig. 5.** Ni concentration vs. time.



**Fig. 6.** Removal efficiency vs. time.

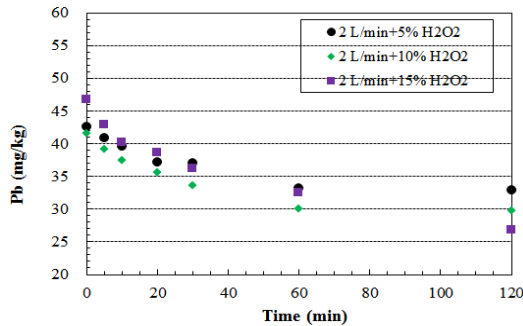


Fig. 7. Pb concentration vs. time.

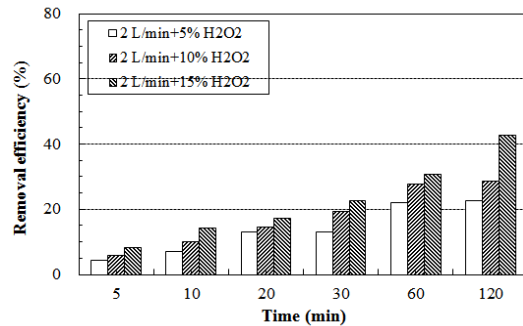


Fig. 8. Pb removal efficiency vs. time.

시켜 실험한 결과 과산화수소의 주입 농도가 증가할수록 제거효율이 더 높게 나타났다.

### 3.3. Pb 농도 변화 및 제거효율

Pb의 제거효율이 마이크로나노버블 토양세척시스템 및 산세척 복합공정의 과산화수소의 농도에 따라 어떻게 달라지는지 알아보기 위해 2 L/min의 유입 공기 유량과 5, 10 및 15%의 과산화수소로 처리하였다.

120분간 진행된 Pb 농도 변화 및 제거효율을 Fig. 7 및 Fig. 8에 나타내었다. 과산화수소의 농도를 변화시켜 실험한 결과 과산화수소의 주입 농도가 증가할수록 제거효율이 더 높게 나타났다.

## 4. 결론

본 연구에서는 마이크로나노버블 토양세척시스템 및 산세척 복합공정을 이용한 오염토양의 분해시 유입 공기유량을 2 L/min 으로 고정하고 과산화수소의 농도 변화에 따른 중금속 제거효율을 연구하는 것이 목적이다.

1) 과산화수소의 농도가 5% 일 때 마이크로나노버블 유입 공기유량을 2 L/min으로 고정하여 120분 동안 처리시 Zn, Ni 및 Pb의 농도변화는 42.6 mg/kg에서 32.9 mg/kg 으로 나타났고 41.6 mg/kg에서 29.7 mg/kg으로 나타났으며 46.7 mg/kg에서 26.8 mg/kg으로 나타났다. 과산화수소의 농도가 10% 일 때 마이크로나노버블 유입 공기유량을 2 L/min으로 고정하여 120분 동안 처리시 Ni의 제거효율은 28.7%, 42.6% 및 57.1%로 나타났으며, 과산화수소의 농도가 15%

일 때 마이크로나노버블 유입 공기유량을 2 L/min으로 고정하여 120분 동안 처리시 Pb의 제거효율은 22.8%, 28.6% 및 42.6%으로 나타났다.

2) 과산화수소의 농도가 5%, 10% 및 15% 일 때 마이크로나노버블 유입 공기유량을 2 L/min으로 고정하여 120분 동안 처리시 Zn의 제거효율은 27.4%, 38.7% 및 49.7%으로 나타났고 과산화수소의 농도가 5%, 10%, 15% 일 때 마이크로나노버블 유입 공기유량을 2 L/min으로 고정하여 120분 동안 처리시 Ni의 제거효율은 28.7%, 42.6% 및 57.1%로 나타났으며, 과산화수소의 농도가 5%, 10% 및 15% 일 때 마이크로나노버블 유입 공기유량을 2 L/min으로 고정하여 120분 동안 처리시 Pb의 제거효율은 22.8%, 28.6% 및 42.6%으로 나타났다.

위의 결과를 토대로 마이크로나노버블 토양세척시스템 및 산세척 복합공정을 이용한 오염토양의 분해시 유입 공기유량을 2 L/min으로 고정하였을 때 가장 높은 제거효율을 나타내는 과산화수소의 농도는 15%로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 동아대학교 교내 연구비지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

Jang, K. S., Kang, B. H., Kim, W. T., 2002, Remediation of heavy metals from contaminated ground by soil

- washing technique, *Journal of Korean Society of Soil and Groundwater Environment*, 44-48.
- Jeong, S. W., Ahn, Y. J., Lee, B. J., 2009, *Soil remediation engineering*, DongHwa Technology Publishing Co., Korea, 53.
- Kim, H. S., Xiang, J. G., 2003, The effects of PAC (Powdered Activated Carbon) on water treatment performance of an immersed membrane system using flat-sheet membrane module, *Korean Society of Water and Wastewater*, 21(2), 195-201.
- Kim, J. T., Possibility evaluation of NaCl as washing solution for heavy-metal removal in soil washing process, *Journal of Korea Solid Wastes Engineering Society*, 26(7), 587-595.
- Reddy, K. R., 2000, Chinthamreddy, S., Comparison of extractants for removing heavy metals from contaminated clayey soils, *Soil and Sediment Contamination*, 9(5), 449-462.
- Van Benschoten, J. E., Reed, B. E., Mastumoto, M. R., McGarvey, P. J., 1994, Metal removal by soil wash for an iron oxide coated sandy soil, *Water Environment Research*, 66(2), 168-174.
- Yeom, I. T., Ahn, G. H., 1997, In situ surfactant flushing of contaminated site, *Journal of Korea Soil Environment Society*, 2(2), 9-24.