

세라믹 가스센서를 이용한 토양증기추출공정의 배출가스 모니터링 기법 연구

양지원, 조현정, 이재영, 곽무영*

한국과학기술원 생명화학공학과

*(주)드림바이오스

e-mail : jwyang@kaist.ac.kr

요 약 문

The goals of environmental monitoring are to locate and quantify the significant contamination, estimate the fate and transport, estimate the potential exposure and risks to humans and the environment, and track the performance of various remedial technologies. In this study, ceramic gas sensor system is proposed to enhance the effectiveness of soil vapor extraction (SVE) process by monitoring the effluent gas. SVE is a technique that is widely used to remediate unsaturated soils contaminated with volatile organic contaminants. The sensor response for benzene, toluene, and xylene, the representative effluent gas compositions of SVE process, was evaluated using the proposed sensor system. As a result, it was verified that the response of sensor was increased or decreased very sensitively according to the change of the effluent gas concentration. Besides, the sensor could detect the difference over a wide range of concentration and it was more sensitive in order of xylene, toluene, and benzene. It is expected that this VOC analysis method results in field monitoring costs saving and appropriate immediate action for process control. More detailed experiments are being conducted in our research group.

key word : process monitoring, ceramic gas sensor, SVE(soil vapor extraction) process, BTEX

1. 서론

최근 들어 주유소를 비롯한 각종 지하저장탱크의 누유로 인해 휘발성 유기오염물에 의한 토양 오염에 대한 우려가 높아지고 있다. 토양증기추출공정(Soil Vapor Extraction, SVE)은 휘발성 유기화합물로 오염된 토양 정화를 위해 실제 현장에서 가장 널리 이용되고 있는 기술이다. 이러한 토양증기추출공정을 현장에서 효과적으로 운영하기 위해서는 적절한 모니터링 기법의 도입을 통한 공정제어가 필수적이다. 특히 토양증기추출공정을 포함한 오염토양 복원공정의 경우, 정화하는 데 적게는 수개월에서 길게는 몇 년의 긴 시간이 소요되며 막대한 비용이 요구되므로 적절한 유지관리를 위한 현장(In-Situ), 실시간(On-Line) 모니터링의 필요성이 나날이 증대되고 있다. 따라서 본 연구에서는 (주)드림바이오스와 공동 연구 중인 세라믹 가스센서 시스템을 현장에서 실시간으로 토양증기추출공정 배출가스 모니터링에 적용하기 위하여 토양증기추출공정의 주요 배출가스에 대한 센서의 반응특성을 연구하였다.

2. 재료 및 방법

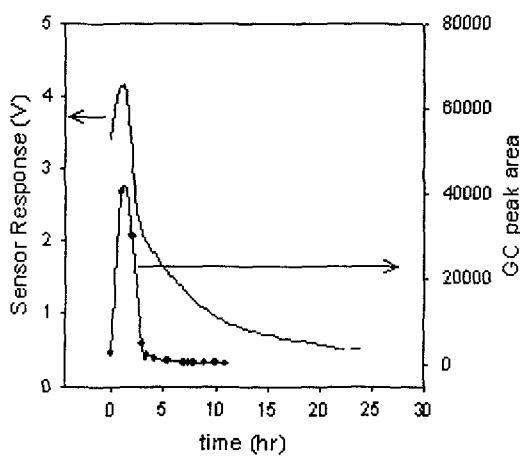
오염물로는 토양증기추출공정의 대표적 배출가스인 benzene, toluene, xylene을 선정하였다. 또한 토양증기추출공정을 모사한 컬럼 실험을 수행하면서, 컬럼으로부터 배출되는 가스는 센서가 장착된 반응조를 통과하도록 하여 센서와 반응시켰다. 컬럼의 충전물로는 이상적인 토양 모델로 이용되는 glass bead를 사용하였고, 컬럼의 직경은 22 mm, 길이는 150 mm, 충전물의 높이는 100 mm였다. 오염물은 residual saturation 조건으로 오염시켰으며, 공기유량은 45 ml/min 이었다. 배출가스와 센서의 반응조는 25°C로 유지하였고, 배출가스의 연속적인 흐름 조건 아래서 센서의 반응을 지속적으로 모니터링하는 동시에, 배출가스의 오염농도 변화를 검증하기 위하여 센서 반응조 내 가스를 gas-tight syringe를 이용하여 포집한 후 GC를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

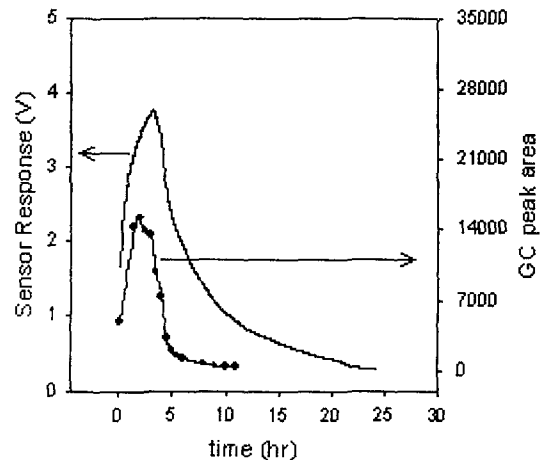
그림 1에서 보는 바와 같이 benzene, toluene, xylene의 각 오염물에 대하여 SVE 컬럼 실험을 수행하면서 센서 반응조 내에 포집된 배출가스를 모니터링하였다. 센서 반응조 내에서 초기에 배출 가스 농도가 급격히 증가하는 것은 공기의 유량에 비해 반응조의 부피가 크기 때문이며, 빠른 속도로 반응조 내의 가스 농도가 최대치에 도달한 이후에는 컬럼 내 오염물이 점차 감소함에 따라 배출가스 농도도 함께 감소하였다. 이 때 센서의 반응은 각 성분의 농도 변화에 비례하여 민감하게 증가, 혹은 감소함을 확인할 수 있었다. 또한 저농도 영역에서 센서 반응의 감소 속도가 실제 농도 감소에 비해 완만함을 확인할 수 있었는데, 이를 통해 본 연구에서 제안한 시스템에서는 저농도 영역에서 보다 민감하게 농도 변화를 감지할 수 있는 것으로 파악되었다. 따라서, 본 연구팀에서 개발 중인 센서가 토양증기추출공정의 전체 배출가스 농도 범위에서 유의한 반응특성 변화를 나타내고, 특히 저농도 영역에서도 충분한 민감성을 확보할 수 있음을 증명할 수 있었다.

또한 그림 1 (d)에서 보는 바와 같이, 배출가스의 최대 농도 및 농도 감소 속도는 각 성분별로 다른 특성을 보였으며, 센서의 반응 특성이 오염물의 종류에 따라서도 달라짐을 확인할 수 있었다. 연구 중인 센서는 대상 오염물 중 xylene에 대하여 가장 민감한 것으로 나타났으며, toluene, benzene의 순서로 농도에 대한 센서의 상대적 민감성이 감소하였다. 따라서 향후 복합 오염물에 대한 센서의 반응 특성과 오염물 농도 간의 상관관계를 규명하기 위해서 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

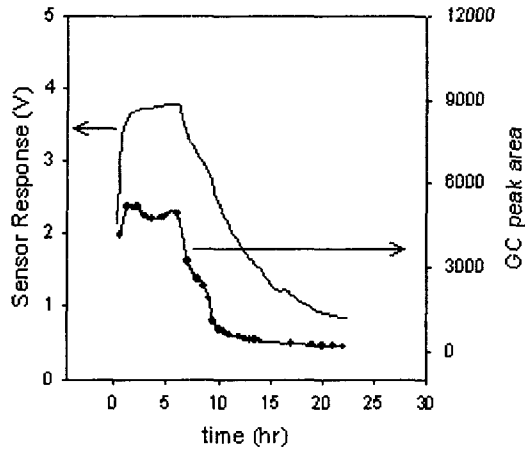
본 연구에서 제안한 센서 시스템이 확립될 경우, 보다 경제적이며 효과적인 토양증기추출공정의 모니터링이 가능하며, 이를 통해 복원 공정의 효율 향상을 도모할 수 있을 것으로 기대된다.



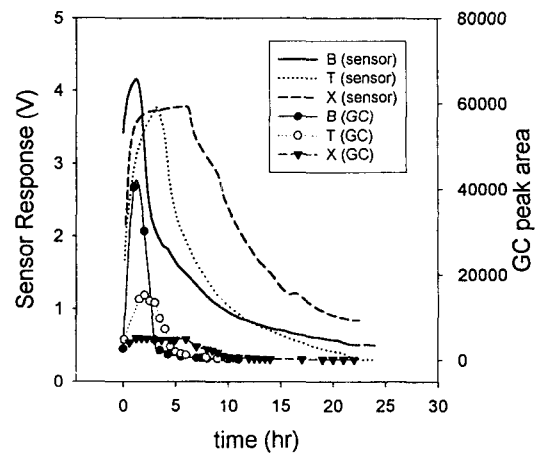
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 1. 토양증기추출 공정 중 배출가스 농도 변화에 따른 센서의 반응특성 변화

(a) benzene, (b) toluene, (c) xylene,

(d) 각 성분의 배출가스 농도에 따른 센서의 반응 특성 비교

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 환경모니터링 신기술 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.