

Diffused Aeration System(DAS)을 이용한 지하수내 TCE 제거 효율 평가: 주입 공기량에 따른 제거효율 비교

김진훈 · 박성민 · 석희준 · 김형수

한국수자원공사 수자원연구원
e-mail: jinhoon95@hanmail.net

요 약 문

본 연구에서는 지하수내 TCE 농도가 높은 2개 지역을 선정하여 3회에 걸쳐 공기탈기법 시험을 실시하였다. 2개 지역의 지하수내 TCE 배경 농도는 각각 0.360, 0.317 mg/L이며 반응조에 주입된 공기는 각각 17.14, 44.78, 76.51 L/min의 비율로 주입하였다. 또한 반응조에서 배출되는 기체내의 TCE의 농도를 측정하기 위해 PID(photo-ionization detector)를 장착하여 측정하였다. PID를 이용하여 배출되는 기체를 측정된 결과, TCE 농도는 6~8분만에 최고 농도로 배출되었고 시간이 지날수록 천천히 감소하는 형태를 나타내었다. 반응조내의 TCE 농도 변화는 공기 유입 속도에 따라 매우 큰 변화를 나타내었다. TCE가 17.14 L/min의 공기유입속도에서 160분 동안 64%, 44.78 L/min에서 135분 동안 93%, 76.51 L/min에서 120분 동안 95.3%가 제거되었다. 따라서 TCE를 제거하기 위한 DAS 기법은 공기의 주입비율에 따라 제거 속도의 큰 변화를 보였다.

key word : 공기탈기법, TCE

1. 서론

공기 탈기법은 diffused aeration, countercurrent packed column, cross-flow towers, 그리고 coke tray aeration을 포함한 4가지의 기본적인 형태로 이루어져 있다. 본 시험에서는 지하수내의 TCE를 제거하기 위한 방법으로 하수처리 공정에서 기본적으로 사용되고 있는 폭기조와 비슷한 형태의 DAS(diffused aeration system)가 사용되었다. 일반적으로 현재 공기 탈기법이 활용되고 있는 오염현장에서는 다른 형태의 system보다 VOCs 제거 효율이 높은 타워형 공기탈기법을 사용하고 있지만, 본 시험이 수행된 연구지역의 지하수내 탁도가 심해서 타워형 공기탈기법을 사용할 수 없었다(Mead and Leibbert, 1998). 따라서 탁도가 높은 지역에서 사용 가능한 DAS가 적용되었다. DAS에서는 공기를 세분화시키기 위해 공기 분사기가 사용되었다. 이 공기 분사기는 기체와 액체를 접촉시키는 방법으로 액체로부터 VOCs를 제거하였고, 이 결과 액체에서 기체로 휘발성 화합물들이 전이되었다. 이때, 배출되는 기체는 대기로 방출되거나 또는 활성탄 흡착기법과 같은 방법으로 처리한 후 대기로 방출시킨다. DAS의 효율을 증가시키기 위해서는 반응조의 깊이를 증가시키거나 더 작은 공기 방울을 분출시킨다. DAS의 운영 방침, 분석 방정식 그리고 pilot 시험의 결과에 대한 전체적인 리뷰는 (Roberts et al., 1984; James and Montgomery, 1985)에 자세히 나와 있다. 본 시험에서는 TCE로 오염된 지하수를 정화하기 위해 DAS를 적용할 때 DAS의 적용 타당성 및 주입 공기량에 따른 TCE 저감 속도를 평가하였다.

2. 시험방법

반응조는 용량이 1000 L인 물저장탱크를 사용하여 구축하였다. 물저장탱크 바닥에는 분사기를 설치하여 공기가 일정한 크기로 분출되도록 설계하였고, 분사기를 설치한 후 약 30 cm 정도 위에 분사기에서 분출된 공기가 반응조 전체에 균등하게 분포하게 하기 위해 지름 3 mm로 이루어진 격자방식의 철망을 설치하였다.

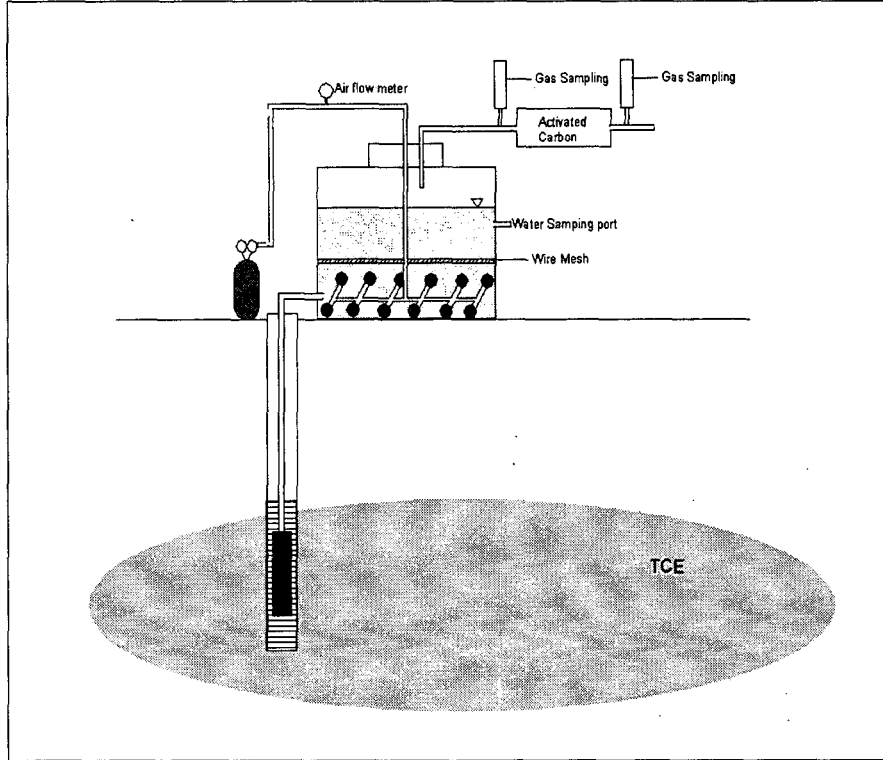


그림 1. DAS의 현장 설치 모식도

공기의 주입은 주입량 조절이 가능한 2.5 HP의 공기 발생장치를 사용하였고, 공기의 주입량을 측정하기 위해 유량계를 설치하여 주입되는 공기의 양을 측정하였다. DAS에 의해 용액 내에 존재하던 TCE가 대기로 방출되어 2차 대기오염의 유발을 방지하기 위해 반응조 상부에 공기 배출구를 설치하고 이를 활성탄 칼럼에 연결하였다. 그리고 DAS에 의해 액체에서 기체로 전이된 TCE의 농도를 측정하기 위해 배출구와 활성탄 칼럼 사이에 가스 포집 장치를 설치하였다 (그림 1). 지하수내에 존재하는 TCE의 농도를 측정하기 위해 Teflon-lined cab을 갖춘 40 mL VOA vial을 이용하여 지하수 시료를 채취하였다. 실시간으로 감소하는 TCE의 농도를 관측하기 위해 PID(photo ionization detector)와 검지관을 사용하여 시험동안의 TCE 농도를 조사하였다. 본 시험은 공기의 주입량을 변화시키며 총 3번 실시하였다. test 2는 test 1을 수행하였던 관정으로부터 약 100m 가량 떨어진 곳의 관정을 이용하였다. test 2, 3에서 사용된 반응조는 새로운 설계법을 적용하여 철망과 분사기를 조정하였다. test 1에서 사용한 철망의 지름이 너무 작아서 공기 방울들이 철망을 통과하는 양이 적었고, 철망 밑에 넓게 공기 방울 plume을 형성하였다. 그래서 test 2, 3에서는 철망의 지름을 1 mm에서 3 mm로 증가시켰다. 그리고 분사기의 배치도 중앙 집중형에서 분산형으로 수정, 설치하였다.

3. 결과

공기 주입량에 따른 TCE의 농도 감소는 각각의 공기 유입량에 따라 차이를 나타내었다. 공기 주입량에 따라 초기 농도의 50% 감소되는 지점까지 걸리는 시간은 test 3이 test 1에 비해 약 3.3배정도 단축되었다. 이 결과는 공기 주입량을 높이면 질량 전이할 수 있는 공기의 표면적이 커지므로 수중에 용존해 있던 TCE가 더욱 빨리 저감된다는 사실을 나타낸다. 시험결과는 표 1과 그림 2에 나타내었다. test 1에서 TCE의 DAS의 결과 TCE의 초기 농도는 360 ppb로 나타났지만 DAS 후 초기 10분 동안 농도가 오히려 증가하는 경향을 보였다. 이것은 액체 시료를 채취할 때 튜브 내에 존재하던 액체를 충분히 배출시키지 않아서 반응조 전체의 농도를 나타내지 못하고 양수 초기에 채워진 지하수내 TCE 농도를 나타내는 것으로 사료된다. test 1에서 초기 농도의 64%가 제거되는데 약 2.7시간이 소요되었다. 농도 감소의 폭이 적은 것은 철망의 설계상의 문제점으로 인하여 공기방울이 제대로 분산되지 않은 것과 적은 공기 주입 때문이다. test 2는 농도의 93%가 제거되는데 약 2.2시간이 소요되었다. test 3은 농도의 95%가 제거되는데 약 2시간이 소요되었다. test 1보다 test 2, 3의 TCE 농도감소 시간이 줄어든 것은 공기 주입량의 증가, 분사기의 배치, 철망 격자 크기 증가 그리고 균등한 공기의 배분 등에 기인한다.

표 1. TCE 처음 농도의 50%와 90%가 제거될 때 걸리는 시간, 공기유입량의 관계 비교

Test	air injection rate (L/min)	C _{50%} (min)	C _{90%} (min)
Test 1	17.14	107	- ^a
Test 2	44.78	53	121
Test 3	76.51	32	73

^a: finish the test 1 when concentration degradation comes at 64% of initial concentration (it takes 160 minute at 64%)

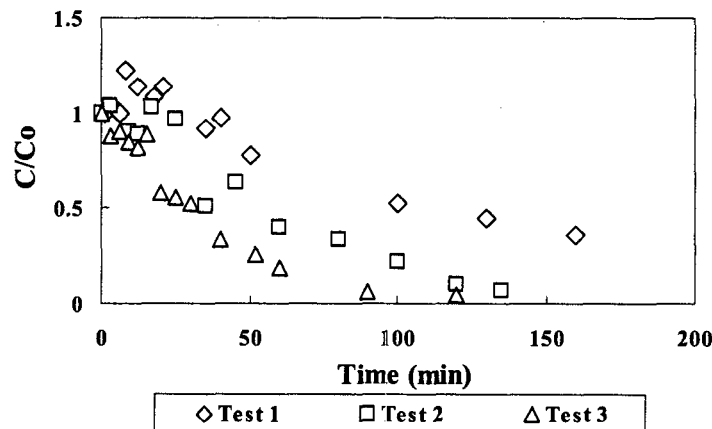


그림 2. 공기 탈기법에 의한 TCE 농도 감소

4. 결론

본 연구는 DAS 방법을 이용하여 액체와 기체사이의 물질전달에 의한 지하수내 TCE를 물리학적 복원 타당성 평가 방법을 제시하였다. 현장 DAS 시험은 공기 주입률을 변화시키며 진행한 결과 공기 주입률에 따라 TCE 저감정도가 변화하는 것을 알 수 있었다. 공기 주입률에 따라 다소 차이는 있지만 초기 농도의 90%를 저감시킬 때 약 2시간정도 소요되는 것으로 나타났다. 본 시험 결과에 의해 공기 방울의 지름을 최대한 작게 하고 공기 주입률을 증가시킨다면 지하내

의 TCE 저감에 소요되는 시간은 줄어들 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서 제시한 DAS 시험 방법 및 결과 해석 방법은 TCE를 포함한 VOCs로 오염된 지하수의 복원 타당성 평가 방법으로 용이하다고 사료된다. TCE로 오염된 현장의 복원 설계를 위하여 DAS 방법의 적절한 공기 주입률과 철망의 격자에 대한 검증을 위해 향후 연구가 이루어져야 한다고 사료된다.

5. 사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-4-2)에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해주신 사업단 측에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- James, M., and Montgomery, Consulting Engineers, Inc., 1985. Water Treatment Principles & Design, John Wiley & Sons, New York, pp. 237-261.
- Mead, E., and Leibbert, J. A., 1998, Comparison of packed-column and low-profile sieve tray air strippers. proceedings of the 1998 conference on hazardous waste research. p. 328-334.
- Roberts, P.V., C. Munz, and P. Dandliker, 1984. Moderling Volatile Organic Solute Reveal by Surface and Bubble Aeration, J. Water Pollution Control Federation, pp. 157-163.