

지하수 모니터링을 통한 오염물질(TEX)의 자연저감능 평가

이민호 · 윤정기 · 김 혁 · 김문수 · 이길철, 이석영*

국립환경연구원, *삼성건설(주)

e-mail: jkyun@me.go.kr

Abstract

The objective of this study was to evaluate petroleum hydrocarbon degradation processes governing natural attenuation at the contaminated site and accomplished through conducting on investigation of degradation rate, capacity, and mechanism of the monitored natural attenuation.

The monitoring results of the three years indicated that the concentrations of DO, nitrate, and sulfate in the contaminated area were significantly lower than these in the none-contaminated area. The results also showed a higher ferrous iron concentration, a lower redox potential and a neutral pH in the contaminated groundwater, suggesting that biodegradation of TEX is the major on-going process in the contaminated area. However, reduction of TEX in the groundwater was not only biodegradation but also dilution and reaeration during infiltration of uncontaminated surface and groundwater.

key word : groundwater monitoring, TEX, contaminant plume, natural attenuation

I. 서론

문명의 발달에 따라 수많은 화학물질이 개발되어 왔으며, 미국의 경우 72,000여종의 화학물질이 등록되어 있으며, 매년 2,300여종의 새로운 화학물질이 추가되고 있다¹⁾. 또한 우리나라도 국내 유통되는 화학물질이 3만6천종 이상으로, 이들 물질은 사용 후 회수되지 않는 상당부분은 환경의 최종수용체인 토양으로 유입되어 잠재적인 토양오염원이 되고 있다²⁾.

그러나 이러한 오염부지를 정화하기 위한 기존의 상업적 접근방법들은 미국의 경우 처리비용 및 처리효과에 대한 의문 등으로 오염부지정화정책은 인체에 직접적인 영향을 주지 않는 한 오염부지를 자연정화하는 방향으로 정책이 옮겨지고 있다³⁾. 예를 들어, 1994년에 77개소에서 수행된 양수처리에 의한 오염지하수의 정화사업에서 단지 8개소만이 성공적으로 정화목표에 도달한 것으로 조사되었다⁴⁾.

한편 유럽의 선진공업국가에서도 '80년대 이후 토양오염부지의 복원에 적극적으로 임하고 있으나 오염정화를 위한 비용의 증가로 주민의 건강과 직결되는 시급한 지역에 한해 물리·화학적, 생물학적 상업적인 기술이 적용되고 그 외 지역은 미국과 같이 자연정화쪽으로 복원의 초점을 맞추고 있다^{5),6)}.

따라서 본 연구는 오염부지복원에 대한 대안기술로 제시되고있는 MNA 기법에 의한 시기별 오염물질과 전자수용체 등 오염물질의 분해에 관여하는 지화학적 인자의 모니터링을 통하여 오염물질인 TEX의 분해저감특성을 조사하였다^{7),8),9)}.

II. 연구내용 및 방법

경기도 의왕시 고천동에 위치한 (주)H 화학과 (주) J모직 공장부지로, 연구대상지역의 면적은 119,361 m²이다. 본 연구에서는 이 지역의 오염현황을 정밀조사하기 위해 1998년 11월에 연구지역에 41개 지점에서 토양 시료를 깊이별로 채취하였고 같은 장소에 지하수 관측정을 각각 설치하였다. 또한 오염물질과 반응산물 그리고 수리화학적 조건의 변화를 장기 관측하기 위해 23개의 장기관측정을 1999년 5월에 더 설치하였다.

지하수 시료의 채취는 '99년 6월부터 '01년 9월까지 총 8회 걸쳐 이루어 졌다. 실내 화학분석을 위한 시료채취 전에 먼저 온도, pH, 전기전도도(EC), 산화환원전위(Eh), 용존산소(DO)는 현장에서 측정장비(Horriba model U-22)를 이용하여 측정하였으며, 2가 철(Fe²⁺)은 흡광도계(DR2010, HACH)를 이용하여 현장에서 직접 측정하였다. BTEX분석용 시료는 테프론 마개가 달린 70ml 유리병에 빈 공간이 없도록 물을 가득 채운 후 원자흡광광도계용 진한 염산을 일정량씩 넣어 pH 2이하가 되도록 하여 4℃에서 보존하였다. 한편 이온 분석용(NO₃⁻, SO₄²⁻)시료는 0.45μm 시린지용 필터로 여과하여 60ml HDPE(High Density Polyethylene)병에 각각 넣고 원자흡광광도계용 진한 염산을 일정량씩 넣어 보존하였다. NO₃⁻, SO₄²⁻은 IC(DX-120, DIONEX)로 분석하였다. BTEX는 P&T을 이용 GC/FID(HP 5890)로 분석하였고¹⁰⁾, 알카리도(Alkarinity)는 electrometric titration 방법으로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

(가) Dissolved-phase TEX(Toluene, Ethylbenzene, Xylene)

3년간의 지하수모니터링결과 오염물질인 TEX의 농도가 시일이 경과함에 따라 감소하였으며, 오염원의 규모 또한 감소하는 것으로 조사되었다. 오염원의 중심의 경시적 TEX농도를 보면, '99년 6월과 9월은 372.2 mg/l 와 308.0 mg/l, 2000년 1월, 4월과 9월은 234.7 mg/l, 122.7 mg/l 와 116.1 mg/l 이었고, 2001년 2월, 7월과 9월은 43.6 mg/l, 28.5 mg/l 와 110.8 mg/l 으로 시일이 경과할수록 이들 지역의 년도별 평균농도와 같이 뚜렷이 감소하는 경향이었으며, 1999년, 2000년, 2001년의 년도별 지하수 중 TEX의 평균농도는 101.4mg/l, 43.7mg/l, 22.1 mg/l 이었다.

(나) DO, nitrate(NO₃⁻), Ferrous iron(Fe²⁺), sulfate(SO₄²⁻)

DO, NO₃⁻, Fe²⁺, SO₄²⁻ 등의 지화학적 인자의 조사결과 전자수용체로 사용되는 DO, NO₃⁻, SO₄²⁻의 경우 배경지역보다 오염지역에서 그 농도가 크게 낮았으며, Fe²⁺의 경우 오염지역이 배경지역보다 그 농도가 크게 높았다. 이와 같은 현상으로 보아 대상부지는 혐기성 상태에서 미생물에 의한 오염물질의 생분해가 이루어지고 있는 것으로 판단되며, 시기별 전체평균값도 같은 경향을 보이고 있다.

(다) 기타(Alkalinity, ORP)

Alkalinity는 배경지역에 비해 오염지역에서 높게 나타났으며, ORP는 오염관측공에

서 측정치가 낮게 나타나 DO의 측정결과와 함께 현장부지는 강한 환원상태임을 보여주고 있으며, 시기별 전체평균값도 같은 경향을 보이고 있다.

한편, 오염원의 중심을 기점으로 거리별로 수 개 지점을 선정하여 TEX의 오염정도를 시기별로 나타내 보면 그림 1, 2에서와 같이 시기가 경과할수록 그리고 오염원으로부터의 거리가 멀어질수록 농도가 감소하고 있다는 것을 분명히 알 수 있다. 또한 지하수내 TEX농도의 감소와 함께 토착미생물의 활성화에 영향을 주는 DO, SO_4^{2-} , NO_3^- 의 농도가 모든 조사시기에서 오염지역이 비오염지역에 비해 크게 감소되었으며, Fe^{2+} 의 증가와 ORP의 현저한 저하, pH 중성 등의 지하수모니터링 결과를 볼 때 본 연구대상지역의 오염물질인 TEX의 주요한 분해경로가 토착미생물에 의한 생분해에 기인되는 것으로 판단할 수 있다. 그러나, 이러한 요인외에도 투수성이 큰 현장부지의 지질학적 특성상 강우에 의한 지하수의 재유입으로 인한 희석 및 분산도 영향을 주었을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

- 1) 3년간의 지하수모니터링결과 오염물질인 TEX의 농도가 시일이 경과함에 따라 감소하였으며, 오염원의 규모 또한 감소하는 것으로 조사되었다.
- 2) TEX의 농도와 전자수용체 등 지화학적 인자와의 관계분석결과 부지내 비오염지역에 비해 오염지역에서 DO, SO_4^{2-} , NO_3^- 농도의 뚜렷한 감소와 Fe^{2+} 의 증가와 ORP의 현저한 저하, pH 중성 등의 현상으로 미루어 보아 대상부지는 혐기성 상태에서 토착미생물에 의한 오염물질의 생분해가 이루어지고 있는 것으로 판단된다.
- 3) 지화학적 인자의 분석결과 현장부지는 황산환원에 의한 생분해가 가장 큰 비중을 차지하고 있다.
- 4) 한편, 투수성이 큰 현장부지의 지질학적 특성상 강우에 의한 지하수의 재유입으로 인한 희석 및 분산도 TEX의 감소에 부수적인 요인이 되었을 것으로 추정된다.

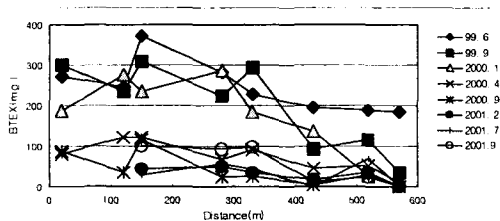


그림 1. 거리에 따른 시기별 지하수중 TEX농도변화

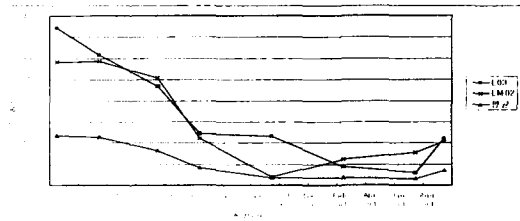


그림 2. 시기별 지하수중 TEX농도변화

참 고 문 헌

1. Bonaventura, C., and F. M. Johnson, 1997, Healthy environments for healthy people: Bioremediation today and tomorrow. Environmental Health Perspectives 105(Supplement 1) : 5~20.
2. 환경부 · 노동부, 1996, 기준화학물질목록.
3. Lee, S. Y., Lee, M. H., et al., 2000, Monitored Natural Attenuation for Contaminated Soil and Groundwater Remediation: Concept and Application, Proceedings of the

Commemorative International Symposium for the 40th Anniversary of KSACB : 45~63.

4. NRC., 1994, Alternatlues for Ground Water Cleanup. Washington. D.C. : National Academy Press.
5. Bitterfeld/Spittelwasser Site Case Study, Comparision of solutions for a large contamination based on different national policies, ConSoil 2000.
6. Todd H. Wiedemeir, Wilson, J.T., *et al.*, 1995, Technical Protocol for Implementing Intrinsic Remediation with Long-term Monitoring for Natural Attenuation of Fuel Contamination Dissolved in Groundwater, Vol I, Air Force Center for Environmental Excellence Technology Transfer Division, Brooks Air Force Base, San Antonio, Texas.
7. 이 민효, 이 석영외 7인, 1999, 자연정화촉진방법에 의한 유류오염부지에서의 유류분해능에 관한 연구(Ⅲ), 국립환경연구원보고서.
8. 이 민효, 이 길철외 9인, 2000, 자연정화촉진방법에 의한 유류오염부지에서의 유류분해능에 관한 연구(Ⅱ), 국립환경연구원보고서.
9. 이 민효, 이 석영외 10인, 1999, 자연정화촉진방법에 의한 유류오염부지에서의 유류분해능에 관한 연구(Ⅰ), 국립환경연구원보고서.
10. 환경부, 1999, 수질오염공정시험방법.