

지하수 중 VOCs(휘발성 유기물질) 함유량에 관한 조사연구 -경기북부지역을 중심으로-

임준래 · 오조교 · 권경안 · 이강혁 · 정종필 · 박대근 · 송희일

경기도 보건환경연구원 북부지원 수질검사과

A study on the VOCs (Volatile Organic Compounds) Contents in Groundwaters

Jun-Rae Yim, Jo-Kyo Oh, Kyung-Ahn Kwon, Kang-Hyuck Lee, Jong-Pil Jung,
Dae-Geun Park and Heui-Il Song

*Division of Water Quality Inspection, Public Health and Environment of
Kyonggi-do(North Branch)*

Kaneung 2-dong 830-12, Euijungbu, Kyonggi-do 480-102, Korea

In this work, 148 groundwater samples gas stations located in the northern region of Kyonggi-do were analyzed to investigate VOCs from January to December in 1997. The results are as follows : 1) In gas stations, VOCs in groundwater samples were detected at 38.5%. 2) The mean concentrations of benzene, toluene and xylene were 0.9 $\mu\text{g/L}$, 4.8 $\mu\text{g/L}$ and 0.2 $\mu\text{g/L}$ respectively 3) The detection rate of VOCs was high at 83.3% for gas stations which had established before 1980s. In this study, contamination of groundwaters with VOCs was investigated not to be originated from oil leak. But the detection rate(38.5%) of VOCs in groundwater samples was meant for exposure to VOCs contamination. Therefore, the control systems on oil treatment in gas stations are demanded, and the proper water quality control systems of VOCs have to be worked out through the improvement of the existing system.

1. 서 론

음용수에서 검출되는 휘발성유기물질(Volatile Organic Compounds : VOCs)들은 비록 미량이지만 하나 인체에 대한 독성 또는 발암위해성을 지닌 물질들이 검출되고 있다¹는 점에서 중요성을 갖는다. 우리나라의 주유소에서 발생하는 VOCs는 주로 주유소 저장탱크의 누유 또는 주유공급시 취급부주의로 지면을 통해 지하로의 침투가 대부분이며, 토양에 확산 침투되어 지하수를 오염시키게 된다. 지하수가 VOCs에 오염되면 이들 화합물은 분해성이 낮아 장기간 지하에 존재하게 되어 지하수를 오염시키게 된다.^{2,3} 사람이 이를 지속적으로 마실 경

우 인체 내 축적으로 건강상의 장애를 초래하거나 중추신경계 억제작용이나 간과 신장에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.^{4,5} 특히 Trichloroethylene 은 간, 폐, 신장 등에 암을 일으키는 물질로 밝혀져 U.S. EPA에서는 이를 추정인간발암물질 (probable human carcinogen)로 규정하였다.⁶

경기북부지역에 대한 주유소 현황의 VOCs 물질의 오염실태조사는 아직까지 실시된 바 없으며 지하수의 오염여부 또한 밝혀진 바 없다. 따라서 본 연구는 오염배출원의 대부분을 차지하는 주유소에서 지하수에 대한 VOCs물질을 조사하여 그 위해성을 평가하고 지하수의 효율적인 보건관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상

경기북부지역에서 주유소 내에서 사용하는 지하수 148 건을 대상으로 1997년 1월부터 12월에 걸쳐 시료를 채취, 분석하였다.

2.2. 분석방법

2.2.1. 시료채취

분석에 정확성을 기하기 위하여 U.S. EPA에서 추천하는 시료병(약 45 mL)을 사전에 잘 세척한 후 400°C에서 1시간 이상 건조시켜 사용하였다. 또한 휘발을 방지하기 위하여 3~4 분 동안 배출시킨 후 기포가 생기지 않도록 조심스럽게 벽면을 따라 채수하여 곧바로 테프론 격막과 스크류 마개로 밀봉하여 실험실로 운반하였다.

2.2.2. 시료분석

운반된 시료는 40 mL의 n-hexane 10 mL로 추출한 용매추출시료로 1,1,1-trichloroethane, carbon tetrachloride, TCE, PCE를 HP6890 GC로 분석하였다. dichloromethane, 1,1-dichloroethylene, benzene, toluene, ethylbenzene, xylene은 채수시료를 직접 25 mL 시료 주사기 W/Luer Connector로 Purge & Trap (Tekmar3000) 장치를 통해 HP6890 GC로 분석하였다. 표준 크로마토그램은 Fig. 1과 같았고, 분석조건은 Table 1에 나타내었다.

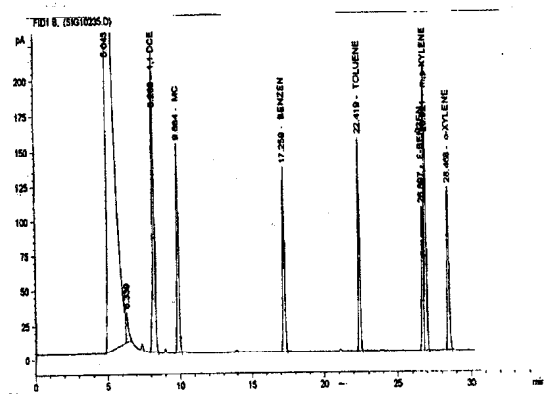
3. 결과 및 고찰

경기북부지역 10 개 시군 소재 주유소 148 개의 지하수 시료에서 검출된 VOCs의 지역별 평균농도 및 검출범위 그리고 주유소 영업 허가 연도별 VOCs 검출율은 다음과 같이 조사되었다.

3.1. Benzene

대상 주유소의 벤젠 검출농도는 0~0.0120 mg/L의 범위로 나타났으며, 지역별 평균농도는 모두 수질기준을 충족시켰다. Fig. 2에서와 같이 벤젠의 평균농도는 수질기준의 약 1/10 수준인 0.0009 mg/L이었으며, 검출율은 12.1% 이며 그 중 양주군이 0.003 mg/L로 상대적으로 높았으며, 연천, 의정부, 가평, 파주는 전혀 검출되지 않았다. 먹는물 관리법에 의하면 벤젠의 수질기준은 0.01 mg/L로 설정되어 있다.

(A)



(B)

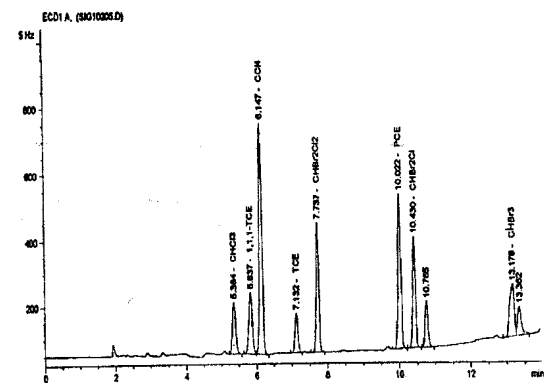
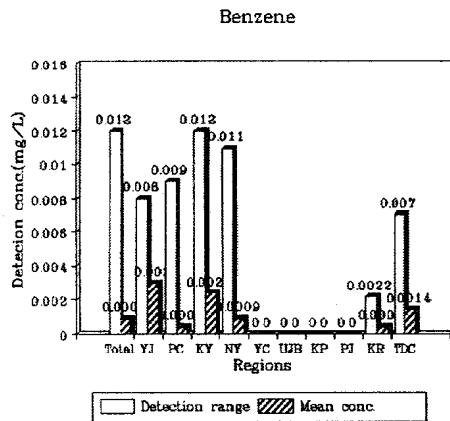


Fig. 1. Chromatogram of VOCs standards.

Table 1. Gas chromatography conditions of VOCs analysis.

Item	Gas Chromatography Conditions	
	HP6890 GC	Purge & Trap GC
Column	Supelco 2 - 5381 60m×0.53mm×3.0μm	Supelco 2 - 5358 105m×0.53mm×3.0μm
Make-up Gas	Nitrogen	Nitrogen
Flow rate	10 mL/min	10 mL/min
Oven	Temp. gradient 50°C ~130°C	Temp. gradient 37°C ~130°C
Injection Temp.	200°C	200°C
Detector Temp	250°C	230°C
Injection Vol	1 μl	25 mL
Detector	ECD	FID

서와 같이 등두천을 제외한 대부분 지역에서 고르게 분포되어 있었다. 벤젠과 크실렌에 비하여 상대적으로 높게 검출되었고, 평균농도 및 검출율이 각각 0.0048 mg/L, 33.8%로 조사되었다. 이것은 가솔린 성분 중 톨루엔의 함량이 높은 데 기인한다고 추측되며 석유 성분의 하나로 모두 수질기준을 충족하고 있었으며, 검출농도로 보아 주유소 저장탱크의 누유로 인한 오염은 아닌 것으로 사료된다. 본 조사결과에서의 평균검출농도는 수질기준의 약 7/100 수준이었다. 미국 EPA는 1988년에 조사한 연구에서 위험물 폐기장소의 20%의 지하수, 지표수 또는 토양에서 톨루엔을 발견하였다고 보고하였다. 또한 미국연방정부와 주정부는 2 ppb이하의 톨루엔이 검출되는 지하수가 1%된다고 추정하고 있으며, 지표수에서는 더 많은 곳에서 톨루엔이 검출되고 있다고 보고하고 있다.⁷



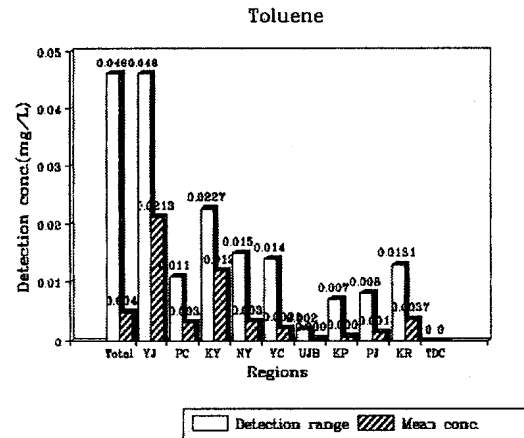
LEGEND

- KY : Koyang
- YYJ : Yangju
- YC : Yonchon
- KP : Kapyong
- KR : Kuri
- NYJ : Namyangju
- PC : Pochon
- UJB : Uijongbu
- PJ : Paju
- TDC : Tongduchon

Fig. 2. Benzene detection concentration of groundwater in gas stations.

3.2. Toluene

대상 주유소 내 지하수의 톨루엔 분포는 양주시역이 평균 0.0213 mg/L로 높게 나타났으며, Fig. 3에



LEGEND

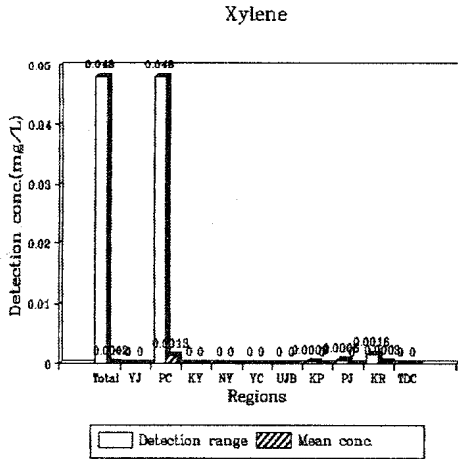
- KY : Koyang
- YYJ : Yangju
- YC : Yonchon
- KP : Kapyong
- KR : Kuri
- NYJ : Namyangju
- PC : Pochon
- UJB : Uijongbu
- PJ : Paju
- TDC : Tongduchon

Fig. 3. Toluene detection concentration of groundwater in gas stations.

3.3. Xylene

크실렌은 Fig. 4에서 조사된 바와 같이 평균농도 및 검출율이 각각 0.0002 mg/L, 5.4%로 나타났으며,

10 개 시군 중 포천군과 구리시가 각각 0.0013 mg/L, 0.0003 mg/L로 조사되었으며, 그 외는 모두 검출되지 않았다. 먹는물 수질기준 0.500 mg/L에 비해서는 미미한 수준이다.



LEGEND

- KY : Koyang NYJ : Namyangju
- YYJ : Yangju PC : Pochon
- YC : Yonchon UJB : Uijongbu
- KP : Kapyong PJ : Paju
- KR : Kuri TDC : Tongduchon

Fig. 4. Xylene concentrations in the groundwater sampled in gas stations.

Table 2. Detection rates of VOCs in the sampling sites.

Region	VOCs		Benzene	Toluene	Xylene
	No. of Samples	No. of Detection	Detection Rate(%)	Detection Rate(%)	Detection Rate(%)
Yangju	21	10	47.6	23.8	38.1
Pochon	25	13	52.0	12.0	44.0
Koyang	5	3	60.0	20.0	60.0
Namyangju	30	13	43.3	23.3	40.0
Yonchon	12	3	25.0	0	25.0
Uijongbu	5	1	20.0	0	20.0
Kapyong	18	2	11.1	0	11.1
Paju	22	8	36.4	0	36.4
Kuri	5	3	60.0	20.0	40.0
Tongduchon	5	1	20.0	20.0	0
Total	148	57	38.5	12.1	33.8

3.4. 기타

본 조사대상인 VOCs 중에서 1,1-dichloroethylene, dichloromethane, ethylbenzene, trichloroethylene, tetrachloroethylene, 1,1,1-trichloroethane, carbon tetrachloride 등 7 종은 검출되지 않았다. 주유소 허가 연도별 VOCs 검출율은 Fig. 5 에서와 같이 조사되었다. 그 중 1980년 이전에 설치된 주유소에서 VOCs 검출율은 83.3%로 높게 나타났으나, 본 조사에서처럼 대체적으로 오래된 주유소가 반드시 검출율이 높다고는 볼 수 없었다. 1988년 미 의회에 보고된 자료에 의하면 지하수질을 위협하는 주요한 오염물질 중 지하 저장탱크에서의 VOCs 문제가 두번째로 높은 빈도를 차지하였음에⁸ 비하여 본 조사대상 주유소 내 지하수에서의 VOCs 오염은 아직 심각한 상태는 아니라고 생각되나, VOCs가 인체에 미치는 건강상의 문제점을 감안할 때 주기적인 주유소 내 오염 방지를 위한 대책장구가 필요하다고 생각된다.

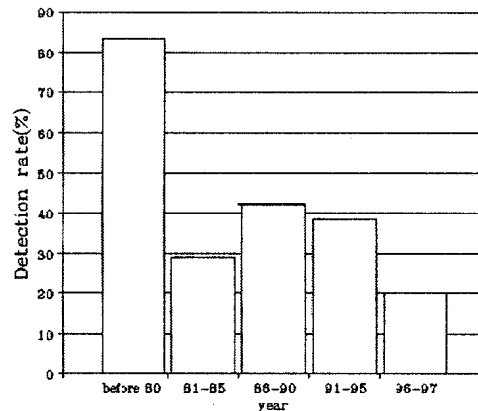


Fig. 5. Detection rates of VOCs in the groundwater gas stations by licensed year.

4. 결 론

경기북부지역 주유소 내 지하수 148 건에 대한 1997년 1월 ~ 12월간의 VOCs 조사결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주유소 내 148 개 지하수 중 38.5%에 해당하는 57 개 주유소에서 VOCs가 검출되었으며, 수질기준의 초과는 없었다.

2. 각 휘발성분의 평균농도는 벤젠, 톨루엔, 크실렌이 각각 0.0009 mg/L, 0.0048 mg/L, 0.0002 mg/L로 조사되었고, 그 이외에는 전혀 검출되지 않았다.
3. 주유소 허가 연도별 VOCs 검출율은 1980년 이전에 설치된 주유소에서 83.3%로 높게 검출되었으며, 그 이외에는 대체적으로 비슷하게 나타났다.

이상과 같은 조사에서 대상지역 내 지하수의 VOCs 검출농도는 유류 성분의 누유로 인한 직접적인 오염은 아니라고 사료되나 38.5%의 VOCs 검출율은 지하수가 VOCs 오염에 어느 정도 노출되고 있음을 간접적으로 시사하고 있다. 여기에 대비한 주유소 등 유류저장시설에 대한 확고한 관리체계가 필요하다고 생각되며 아울러 합리적인 수질 관리 체계를 확립할 수 있는 제도 개선이 강구되어야 할 것으로 본다.

참고문헌

1. WHO, 1984, "Guidelines for Drinking Water Quality" Vol. 2, *Health Criteria and other Supporting Information*. pp 155-246, WHO, Geneva.
2. 이창균, 이관희, 김은숙, 유우석, 홍현미, 백남출, 김홍락, 이철규, 1996, *주유소주변 지하수중 휘발성유기물질에 관한 조사연구*, 충남보건환경연구원보, 제7권, pp 141-153.
3. 이상호, 김영란, *서울 시정연구원보*, 1994, 2(2), 100-119.
4. 전옥경, 서병태, 이정자, *한국환경위생학회지*, 1994, 20(4), 53-59.
5. 신동천, 1988, *음용수중의 발암성 미량유기오염물질*, pp 14, 수도
6. U.S. EPA, 1984, *National Primary Drinking Water Regulations Volatiles Synthetic Organic Chemicals : Proposed Rulemaking*, Fed. Reg., Vol. 49, 24330-24335.
7. 박석기, 안승구, 엄석원, 1996, *먹는물의 수질관리*, pp 124-146, 동화기술.
8. Philip B. Bedient, Hanadi S. Rifai, Charles J. Newell, *Ground Water Contamination*, pp 66, PTR Prentice Hall.