

화성지역 지하수 유기화합물 오염 특성 규명

김용철^{1)*} · 문상호¹⁾ · 고동찬¹⁾ · 원종호²⁾ · 안정환²⁾

1. 서 론

화성(양감) 국가지하수 관측소는 2003년 설치되어 일년에 두 번씩 정기적으로 수질검사를 해 오고 있다. 2004년 6월 정기검사 결과 암반관측정에서 0.047 mg/L, 충적관측정에서 0.008 mg/L의 Trichloroethylene(TCE)(수질기준 0.03 mg/L 이하)가 검출되었고, 2005년 9월에는 1.859mg/L의 톨루엔(수질기준 1 mg/L 이하)이 검출되었다. TCE는 유기염소계 용제로서 휘발성이고 발암물질로 알려진 오염원이다. 따라서 본 연구에서는 이 지역의 유기화합물에 의한 지하수 오염 원인을 분석하고 대책을 마련하고자 하였다.

2. 본 론

연구 지역의 유기화합물에 의한 오염원인을 분석하기 위해서 주변의 기초환경조사, 지하수 장기관측자료 분석, 수문 및 지하수 환경조사, 수질분석 조사를 실시하였다. 이 지역은 중소규모의 공장이 관측소 상류지역 곳곳에 들어서 있어 오염원인 제공을 의심케 한다. 관측소가 위치한 곳에서 북쪽으로 약 2km 정도 떨어진 대양리공업단지에서 농업용 지하수 개발 과정에서 기준치의 4350배가 넘는 1,1-Dichloroethylene (1,1-DCE)를 비롯하여 사염화탄소, TCA 등이 검출된 사례가 있어 이곳의 오염원과의 관계도 아울러 조사하였다.

장기관측 자료 분석한 결과 지하수위는 암반층에서 약 1m의 변동폭을 갖고 강우에 비례하여 반응하고, 암반층 지하수의 전기전도도는 6월이 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 최저값을 갖고 12월이 약 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 최고값을 기록한 반면 충적층 지하수의 전기전도도는 4월이 최저(240 $\mu\text{S}/\text{cm}$)이고 9월이 최고값(350-490 $\mu\text{S}/\text{cm}$)을 기록했다.

관측소가 위치한 신왕리 지역 지하수 및 하천수, 그리고 대양리공업단지 지역의 지하수의 수질을 분석하였고, 관측소에서는 다중심도로 수질을 분석하였다. 신왕리의 지하수는 주로 Ca-HCO₃형이고 용존산소는 주로 0.5 mg/L이하로 혐기성환경을 지시하고, 두 개소에서 질산성질소 수질기준을 초과하였다. 대양리의 지하수는 Ca-Cl형이 Ca-HCO₃형 보다 약간 우세하고 용존산소는 혐기성과 호기성 환경이 공존한다. 신왕리 지역의 한이피골 하천수는 Ca-HCO₃형이 우세하다.

퍼지-트랩 질량 분석 가스 크로마토그래피 시스템을 이용하여 유기오염물질을 분석하였다. 분석결과는 표 1에 요약하였다. 수질분석 결과 1,1,1-trichloroethane(1,1,1-TCA)가 2개소, TCE 1개소, Dichloromethane(DCM) 5개소, 벤젠 1개소, 1,1-dichloroethene(1,1-DCE) 1개소, Tetrachloromethane(CT) 8개소, Trichloromethane(CF) 6개소에서 수질기준을 초과하였다. 대양리 공업단지 지역은 현재도 여전히 다양한 유기화합물에 의해 심각하게 오염되어 있음이 확인되었다. 특히 SW-17, SW-18, SW-19 관정에서는 3가지 이상의 VOCs가 기준치를 초과하였고 그 농도도 먹는물 기준과 비교하여 매우 높게 검출됨으로써, 이들 관정을 중심으로 반경 50m 이내에 VOCs plume이 존재할 가능성이 높은 것으로 추정되었다. 신왕리와

주요어 : 유기화합물, 화성, 국가지하수관측소

- 1) 한국지질자원연구원 (yckim@kigam.re.kr)
- 2) 수자원공사

대양리 지역에 공통적으로 검출되는 유기오염물질은 DCM과 톨루엔이다. 대양리 지역의 주요 유기오염물질은 1,1,1-TCA, CF, CT이고 신왕리 지역의 주요 유기오염물질은 TCE와 DCM이다. 두 지역의 주요 오염물질의 종류가 상이한 것으로 보아 관측소가 위치한 신왕리 지역의 오염물질은 대양리의 오염원과 다른 기원을 가짐을 알 수 있다.

신왕리 지역에서 TCE가 기준을 초과한 지역은 관측소 남서쪽 상류에 위치한 공장안의 관정이 유일하고, DCM은 관측소관정이 유일하다. TCE가 검출된 관정이 위치한 공장은 현재 폐쇄상태로, 신왕리 지역 공업단지 업종현황에 따르면 과거에 가정용 전열기 제조업, 기타가정용 전기기기 제조업, 방송수신기 및 기타영상, 음향기기 제조업으로 분류되어 있고, 증기탈지작업 또는 냉각세척공정에 TCE 사용이 의심된다.

관측소 관정에서 다중심도에서 수질을 분석한 결과 DCM은 심도가 깊어질수록 농도가 증가하였고, 톨루엔은 심도가 깊어질수록 농도가 감소하였다. 이것은 DCM이 DNAPL이고 톨루엔이 LNAPL이라 밀도에 따른 영향으로 해석된다. 이처럼 유기화합물로 오염된 지역에서 지하수의 수질을 분석할 때는 깊이에 따라 농도가 달라지므로 다중심도에서 농도를 측정하여 분석할 필요가 있다.

표 1. 조사지역 지하수 관정에서 검출된 휘발성 유기화합물

Compound		CAS No.	Formula	Drinking water standard (µg/L)		Number of detected wells in study area	Number of wells Exceeding the standard
IUPAC nomenclature	Common name			Korea	US-EPA		
1,1,1-trichloroethane	1,1,1-TCA	71-55-6	CH ₃ CCl ₃	100	200	4	2
Tetrachloroethene	PCE	127-18-4	C ₂ Cl ₄	10	5	2	-
Trichloroethene	TCE	79-01-6	C ₂ HCl ₃	30	5	8	1
Dichloromethane	DCM,	75-09-2	CH ₂ Cl ₂	20	5	29	5
Benzene		71-43-2	C ₆ H ₆	10	5	3	1
Toluene		108-88-3	C ₆ H ₅ -CH ₃	700	1000	19	-
1,1-dichloroethene	1,1-DCE	75-35-4	CH ₂ =CCl ₂	30	7	3	1
Tetrachloromethane	CT(Carbon tetrachloride)	56-23-5	CCl ₄	2	5	8	8
Trichloromethane	CF(Chloroform)	67-66-3	CHCl ₃	80	80*	6	6
2-methyl-2-propanol	TBA	75-65-0	(CH ₃) ₃ COH	-	-	1	-

3. 결 론

금번 조사 결과, 화성(양감) 관측소 자체에서는 2004년 6월과 2005년 9월을 제외하고는 모든 시기에 유기화합물이 기준치 이상 검출되지 않았다. 따라서, 관측소에서 관찰되었던 유기화합물 수질장해는 지속적으로 나타나는 현상이 아닌 것으로 파악되었다. 그러나, 관측소 인근에 위치한 관정들 중 일부 지점에서 dichloromethane과 TCE가 각각 21 µg/L, 128.8 µg/L 검출되어 먹는물 기준치 이상을 보였으며, 다른 관정들에서도 기준치 이하이긴 하나 대부분 유기화합물이 검출되었다. 따라서, 관측소가 위치한 신왕리 지역 지하수의 유기화합물 오염은 현재로서는 심각한 수준은 아닌 것으로 관측되었으나, 전반적으로 유기화합물 오염에 노출될 위험이 많은 것으로 사료된다.

화성(양감) 관측소를 오염시켰던 TCE 오염원은 신왕리 공업단지내 산지의 수계 경계부근에

위치한 공장 부지(관정 SW-11 주변)에 위치하는 것으로 추정되며, 이곳에서 관측소까지 하류 구배를 따라 이동한 것으로 추정된다(그림 1). 그러나, 이 TCE 오염원으로 추정되는 곳에 있던 공장 부지에는 기존의 공장이 폐쇄되어 새로운 공장건물의 건설이 진행중이라 과거의 이력을 알아내는데 한계가 있었다.

화성(양감) 관측소에서 TCE와 toluene이 서로 다른 시기에 한 번씩만 검출된 이후 이번 정밀 조사를 포함한 기간 동안에 다시 검출되지 않거나 기준치보다 매우 낮은 수준으로 나타났다. 따라서 화성(양감) 관측소 자체에서의 유기화합물 수질장해는 지속적인 현상이 아닌 것이 되었다. 그러나 관측소 인근 관정들을 조사한 결과에 의하면, 몇몇 관정에서 DCM과 TCE가 기준치 이상 검출되었고, 기준치 이하이긴 하지만 다른 관정들에서도 유기화합물들이 검출되고 있는 실정으로서 관측소 서측의 한피이골과 그 남측 산지 부근을 따라 전반적인 오염 현상이 우려되고 있다. 따라서 현재로서는 오염 지하수 제거 등 적극적인 대책이 시급하진 않지만, 관측소 뿐 아니라 주변의 몇 개 관정들에 대하여도 수질을 정기적으로 감시할 필요가 있다.

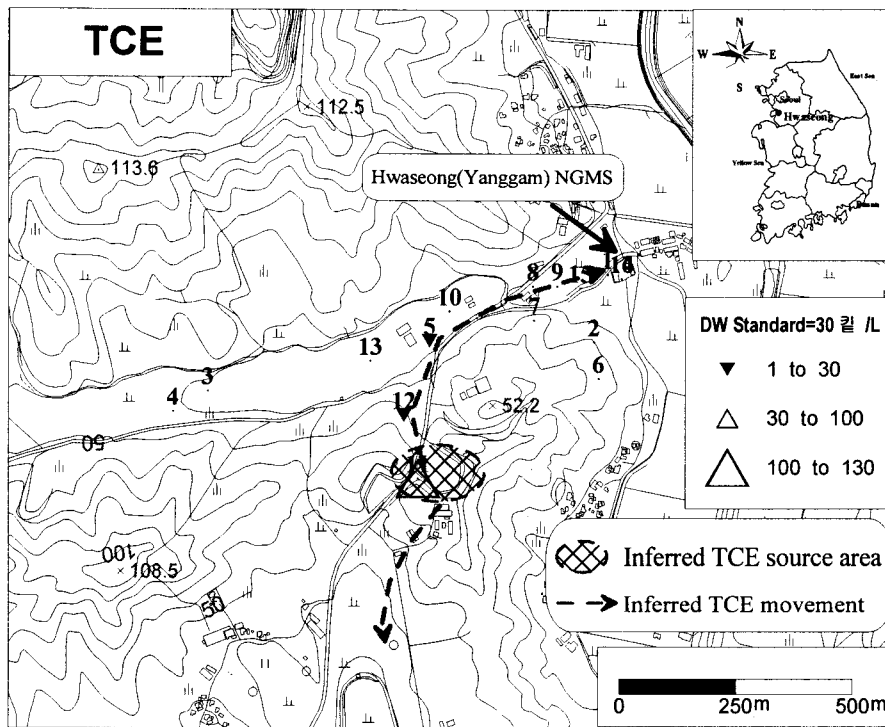


그림 1. 화성(양감) 관측소 주변에서의 TCE 오염원 및 오염 이동 경로 추정