

대전 산업단지 폐수종말처리장 내 6가 크롬 오염 및 확산 평가

전철민^{1)*} · 문상호¹⁾ · 안주성¹⁾ · 김영식¹⁾ · 원중호²⁾ · 안경환²⁾

1. 서 론

국가지하수관측망의 하나인 대전(문평) 관측소는 대전 3·4산업단지내 폐수종말처리장에 위치하며 1998년부터 암반과 충적층 관정에서 전기전도도, 수온, 수위가 관측되어 왔다. 관측소 내 충적층 관정에서는 6가 크롬이 1999년에 0.53mg/L 검출되기 시작하여 최고 6.008mg/L(2003년 하반기)까지 검출되는 등 2005년까지 매년 생활용 수질기준(0.05mg/L)을 수십~수백배 초과하여 검출되고 있다. 2005년 하반기와 2006년 상반기 정기수질검사에서는 충적층 관정에서도 6가 크롬이 검출되지 않는 것으로 보고되어 일시적으로 6가 크롬에 의한 수질장해가 해결된 것처럼 보였으나, 2006년 7월 20일에 베일러 샘플러를 이용하여 채취한 충적층지하수 시료를 분석한 결과 0.1mg/L의 6가 크롬이 검출되었다. 따라서, 대전(문평) 관측소내 충적층 관정에서 검출되는 6가 크롬 함량이 2005년 하반기 이후 상당 수준 줄어들긴 했어도 여전히 수질장해 현상은 지속되고 있는 것으로 나타났다. 본 연구의 목적은 관측소 및 주변관정의 수질/수위 관측 및 코어/토양 시료의 분석을 통하여 연구지역의 6가 크롬 오염의 범위와 원인을 파악하고 그 확산의 정도를 평가하는 것이다.

2. 연구방법

대전(문평) 관측소에서 나타나는 6가 크롬(Cr^{+6}) 수질장해의 원인을 규명하고 6가 크롬의 오염 범위를 파악하기 위해 금번 연구에서는 보조 관측정을 설치·활용하였다(Table 1, Fig. 1).

Table 1. 수위/수질 관측을 위한 보조 관측정의 위치 및 제원

공번	주소	위치 (위도/경도)	굴착심도	내경	수위	목적	비고
MPH-0	대전 대덕구 문평동 69-1	위도:36°26'48.9" 경도:127°24'17.2"	23.5m / 72m	200mm	8.04m	국가지하수 관측망	기존공
MPH-1	대전 대덕구 문평동 69-1	위도:36°26'50.4" 경도:127°24'13.8"	20.5m	50mm	7.16m	수위/수질 관측정	시추공
MPH-2	대전 대덕구 문평동 69-1	위도:36°26'52.8" 경도:127°24'21.2"	20.0m	50mm	8.05m	수위/수질 관측정	시추공
MPH-3	대전 대덕구 문평동 69-4	위도:36°26'47.7" 경도:127°24'16.5"	20.0m	50mm	7.35m	수위/수질 관측정	시추공
MPH-4	대전 대덕구 문평동 69-4	위도:36°26'49.8" 경도:127°24'18.9"	20.8m	50mm	7.90m	수위/수질 관측정	시추공
MPH-5	대전 대덕구 문평동 78-6	위도:36°26'47.2" 경도:127°24'17.1"	-	50mm	-	수질 관측정	기존공
MPH-6	대전 대덕구 문평동 69-1	위도:36°26'52.2" 경도:127°24'09.9"	20.0m	50mm	6.79m	수위/수질 관측정	시추공
MPH-7	대전 대덕구 문평동 69-1	위도:36°26'51.7" 경도:127°24'09.9"	-	50mm	-	수질 관측정	기존공

주요어 : 6가 크롬, 지하수 수질오염, 6가 크롬환원능

1) 한국지질자원연구원 (femini@kigam.re.kr)

2) 한국수자원공사

신규 시추공의 코어 로깅을 실시하였으며 코어시료를 채취하였다. 이 시료는 수분 함량, L.O.I., pH, EC, 가용성 6가 크롬 함량 및 유효환원능 평가를 위한 분석에 사용되었다. 또한 관측 대상공에 대한 장기수위관측, 전기전도도/온도 검층 및 대수층 평가를 위한 양수시험을 실시하였다. 3회에 걸쳐 수질시료를 채취하였으며 주양이온 및 미량원소의 함량분석과 6가 크롬의 분석이 수행되었다.



Fig. 1. 수위/수질 관측을 위한 보조 관측정의 위치 및 지하수 유동 방향

3. 연구결과 및 토의

기존자료인 대전시청과 대전 3·4산업단지 환경사업소의 자료를 분석한 결과, 산업단지내 음용수 및 생활용수에서는 6가 크롬에 의한 광역적 오염 징후가 없는 것으로 나타났으며, 폐수종말처리장의 폐수가 6가 크롬의 직접적인 오염원이 아님도 재확인되었다. 또한, 충전층지하수에서 우려되었던 미량원소(Co, Ni, Cd, Pb, Cu)에 의한 광역적 수질장해의 위험도 없는 것으로 판단되었다.

3회의 수질분석 결과에서는 6가 크롬이 3.2~4.5mg/L 정도 검출됨으로써 6가 크롬에 의한 관측소 충전공의 수질오염은 지속되고 있음이 파악되었다. 그러나 주변 관측공에서는 검출되지 않아서, 6가 크롬 및 총 크롬 함량의 오염 범위는 관측소 주위 반경 50~100m 이내로 한정될 것으로 추정되었다. 또한 신규 5개 보조 관측정에서 채취한 77개의 시추 코어 및 슬라임 시료 모두에서 수용성/교환성 6가 크롬이 검출 한계(0.01mg/L) 이하로 나타나, 관측소를

중심으로 반경 50m 이상의 거리에 위치한 토양 및 풍화토에서 6가 크롬의 오염원이 확인되지 않는 것으로 관찰되었다. 이는 오염원 범위가 관측소 가까이로 한정되는 것을 의미하며, 대전(문평) 관측소에서 지속적으로 관찰되고 있는 6가 크롬 수질장해의 원인은 인근 업체의 산업 활동 결과로 보기에 어렵다. 금번 시추조사 결과, 폐수종말처리장 부지조성 당시의 불량 매립층이 확인되었으며, 이러한 불량 매립 산업폐기물이 관측소 인근의 6가 크롬 수질장해 원인으로 추론된다. 그러나 관측소 인접지역 하부에 위치한 오염원의 실체를 직접 확인할 수는 없었다.

지표매질의 6가 크롬 자연저감능 평가를 위해 초기 농도 5mg/L Cr(VI)을 이용한 6가 크롬 유효환원능을 분석하였다. 그 결과, 구 논토양으로 추정되는 암회색 점토층에서 각각 58%, 66%, 64% 정도의 높은 6가 크롬 저감율을 보였으며, 이는 유기물 함량과 상호 관련이 있을 것으로 판단되었다. 비포화대/충적층을 구성하고 있는 매질(토양, 퇴적물, 풍화암반 등)에 대한 6가 크롬 함량 및 자연저감 능력의 정량적 평가 결과, 매질에 의한 6가 크롬의 자연저감능이 확인되었으며 관정 주변으로의 오염 확산은 미약할 것으로 판단된다. 그러나 시추 관측정 및 기설 관정의 수가 부족했기 때문에 매우 제한적인 선택적 유동(preferential flow) 경로의 존재 가능성은 완전히 배제할 수 없다.

Table 2. 6가 크롬 유효환원능과 코어 시료 분석 자료의 피어슨 상관계수.

슬라임 시료 제외		moisture (%)	L.O.I. (%)	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Removed Cr(VI) (%)
moisture (%)	Pearson Correlation	1				
L.O.I. (%)	Pearson Correlation	0.801**	1			
pH	Pearson Correlation	-0.208	-0.089	1		
EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Pearson Correlation	0.097	0.302*	0.237	1	
Removed Cr(VI) (%)	Pearson Correlation	0.627**	0.550**	-0.423**	0.323*	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

4. 결 론

대부분의 관측소 주변 신규 관측정 및 주변 관정에서 뿐만 아니라 관측정 코어 및 슬라임 시료 모두에서 6가 크롬이 검출 한계(0.01mg/L) 이하로 나타나며, 관측소를 중심으로 반경 50m 이상의 거리에 위치한 토양 및 풍화토에서 6가 크롬의 오염원이 확인되지 않는 것으로 관찰되었다. 이는 6가 크롬 수질장해가 관측소 관정 인접/직하부에서 제한적으로 발생하고 있음을 의미한다. 대수층 매질에 의한 6가 크롬의 자연저감능 평가를 통해 그 확산이 충분히 제어되고 있는 것으로 판단된다. 해당지역에서 오염원의 실체를 찾아 적극적으로 제거하는 방안은 비용과 안전성 측면에서 비효율적인 것으로 판단되지만, 정기적인 양수작업을 통하여 지하수에 부화된 6가 크롬의 농도를 지속적으로 제거할 수 있는 간접적인 대책방안이 추천된다. 또한, 관측소내에 설치된 관정 및 금번 조사연구시 신규로 설치된 보조 관측정들을 지속적으로 활용하여 6가 크롬의 농도 변화 추이 및 시간의 흐름에 따른 오염 확산 여부를 지속적으로 관측하고 감시하는 방안이 필요할 것으로 판단된다.