

팩카그라우팅 공법을 이용한 지표하부 오염방지 시공 및 응용 연구

조희남, 성익환*, 이병대*, 조병욱*

(주)지앤지테크놀러지, * 한국지질자원연구원

dsgweac@chollian.net, * sih@kigam.re.kr, blee@kigam.re.kr, cbw@kigam.re.kr

요 약 문

일반세균, 질산성질소, 탁도로 오염된 지하수 관정의 2개공에 대해 수질개선을 시행하였다.

그 결과 2개공 모두 음용수 기준에 적합한 수질개선 효과를 가질 수 있음으로 하여 수질오염 발생의 주요 요인 중의 하나가 지하수 지표하부 오염방지 시설인 그라우팅이 부실함으로써 기인함을 규명할 수 있었다.

따라서, 본 연구를 통해 수질이 오염된 지하수 관정의 수질개선이 가능하다는 확인은 물론 또한, 지하수 관정내 지표수의 유입을 방지하기 위해서 지하수 상부오염방지 시설의 설치가 적극적으로 추진되어야 할 것이다. 지하수 오염을 예방하기 위해서는 지하수 개발 단계에서부터 지하수 지표하부 오염방지 시설이 연암 암반층까지 견실하게 적용되어야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

지하수는 대장균 등의 세균 오염이 없고 다량의 미네랄을 함유하고 있을 뿐만 아니라 수량과 수질이 급격한 변동없이 일정하여 항구적인 음용수원이 될 수 있다.

우리나라에서도 불과 십 수년 전까지만 해도 시골 웅덩이나 20~30m 깊이로 굴착한 지하수는 수질 오염이 없는 상태에서 안심하고 마시고 살아 왔다.

그러나 지금은 도심지내 지하수는 오염이 심해 음용수로서 부적합하다는 생각과 함께 세차나 화장실 세척수 등으로 이용되는 경우가 많은 실정이다. 이는 그 동안 체계적인 지하수 개발·이용 및 보전관리 미흡과 지하수가 생명수나 다름없는 소중한 지하자원이라는 것을 의식하지 못하는 국민의 인식 부족이 그 원인이라 할 것이다.

2. 본론

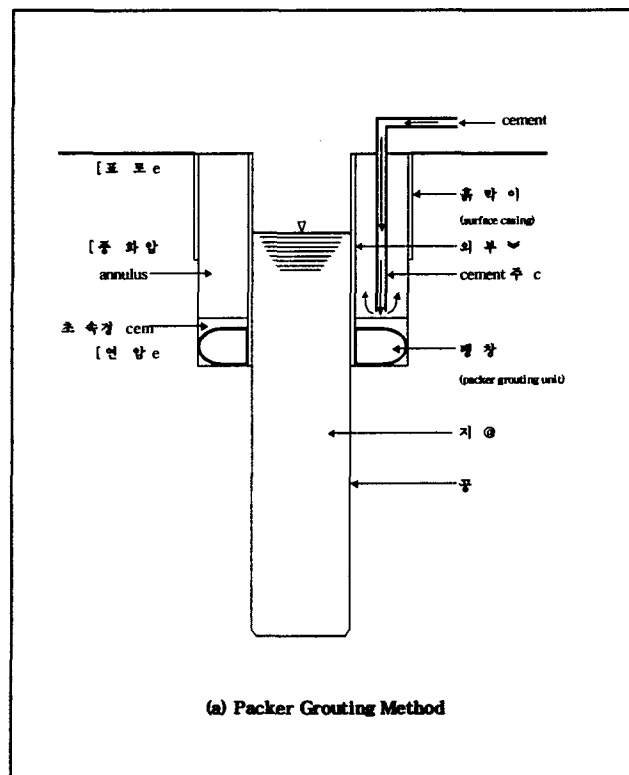
금번 연구를 통해 지하수 관정 수질오염의 주요인을 분석·조사하고 그 자료를 바탕으로 수질개선을 시도하여 그 결과를 얻음으로써 지하수개발 단계에서부터 적합한 지하수 오염방지시설 공법을 시행하는데 기초자료를 제공하고자 한다.

2.1. 팽창 팩커를 이용한 그라우팅 오염방지 공법

2.1.1. 팽창 팩커를 이용한 오염방지 공법의 개요

금번 지하수 수질 개선을 위해 사용된 오염방지 기술은 팽창 팩커를 이용한 그라우팅 공법(팩카그라우팅공법)으로써 다음과 같은 공법상의 특징을 가지고 있다.

- 1) 굴착된 지하수 심정에 유입되는 상층오염지하수의 유입을 1차 팽창 팩커를 이용하여 차폐한다.
- 2) 초속경 시멘트를 하부에 주입하여 양생시킴으로써 단시간내에 2차적인 차수벽을 형성시킨다.
- 3) 하부에서부터 일반 그라우트 제재(밀크시멘트)를 주입하여 에널러스(annulus)를 채운다.



<그림 1>

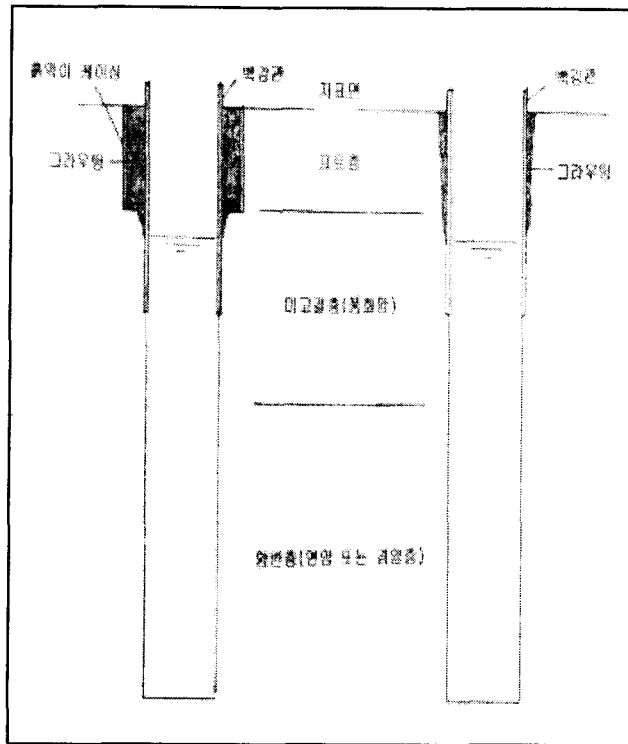
2.1.2. 지하수 오염방지 발생요인 분석

일반적으로 지금까지 대다수 지하수 개발 과정에서 지하수 지표하부 오염방지 시설은 간과된 상태로 진행되어 왔다.

오염방지를 시행하였다는 시설 역시 지하수의 수질 보전 등에 관한 규칙은 <표1>에 나와 있는 규정대로 암반선까지의 그라우팅은 실행되지 못하고 있는 상황이다.

그 원인은 통상적으로 사용되는 백강관의 삽입처리와 상부에서 시멘트액을 단순히 주입하고 있다는 데 있다 하겠다.

지하수 개발 과정에서 백강관의 삽입은 흠막이케이싱의 용도와 하부부분을 암반까지 억지 박음 처리함으로써 상층오염 지하수의 유입을 차폐하는데 그 목적을 두었다.



<그림 2>

그러나 지하수 관정의 굴착 과정에서 굴착공이 직진성이 확보되지 않은 사례가 많으며 직진성이 확보되었다 할 지라도 8" (200mm) 굴착의 경우 굴착 비트의 외직경이 200mm인데 반해 200A의 백강관의 외경은 216mm임으로 인해 암질이 약간 단단한 풍화암내에서까지는 더 이상의 깊이까지 삽입이 어려운 상태에 도달하게 되어 무리한 힘을 가하게 되면 끝이 구부러지는 사태가 발생하게 되었다.

구 분	비트외경	백강관외경
크기(mm)	200mm	216mm

<표 1>

그 결과 굴착이 완료된 심정내에서는 백강관 하부를 통해 상층오염지하수의 유입이 활발해 질 수 밖에 없어 암반대수층 지하수와 혼합으로 결과적으로 양수된 지하수의 오염으로 나타날 수 밖에 없는 문제점을 안고 있다.

또한, 주 요인 중의 하나는 양수량 위주의 계약으로 인해 암반대수층 지하수를 개발하지 못하고 지표천층수를 개발함으로써 오염에 취약한 상층지하수를 취한다는 것이다.

2.2. 수질 오염된 지하수 관정의 개선방안

2.2.1 지하수 지표하부 오염방지

수질을 개선하기 위해 시행되어야 할 1차적인 조치로 상층오염지하수가 유입되는 백강관 하부를 차폐하는 것이며 더 나아가 암반층까지의 심도까지 규정에 적합한 두께로 별도의 차수벽을 형성하여 관정 내부로의 상층오염지하수 유입을 근본적으로 차단할 수 있도록

하는 것이다.

2.2.2 지하수 상부 오염방지 시설

금번 본 연구에서는 한국지질자원연구원과 (주)지앤지테크놀러지가 특허를 공유한 지하수 심정에 침수방지장치를 설치하도록 하였다.

본시설은 종래 지하수 관정의 덮개 장치가 개방되었던 것을 관정 내·외부가 완전히 차폐되도록 한 것이며 별도의 필터 탱크 외에 공기 인입구에 불탑밸브를 설치함으로써 홍수 등 침수시에도 오염된 지표수가 관정 내부로 일절 유입되지 않도록 하였다.

2.3. 수질개선을 위한 오염방지 방법

수질이 오염된 지하수 관정의 수질을 개선하기 위해서는 대수층의 분포 및 특성 파악, 지하수 관정 내부의 오염상층지하수의 유입 구간 및 심도, 유입량 확인, 지하수위·수질의 정기 관측 및 해석, 지하수 오염원, 오염경로 분석 등을 통해 현재의 지하수 오염 정도를 조사·분석한 후 상층 오염 지하수를 완전히 차단할 수 있도록 하여야 한다.

이와 같은 조사 사항이 선행되고 난 후 오염된 지하수 관정의 수질 개선은 다음과 같은 공정으로 시행되었다.

- 1) 지하수 관정 내 심정펌프 및 양수파이프를 인양하였다.
- 2) 지하수 관정 내 설치된 내부케이싱과 유공관을 외부로 인발하여 제거하였다.
- 3) 공내 CCTV 촬영을 통해 지하수 관정 내부의 지질 상태와 상층오염지하수의 유입 위치 등을 확인하였다.
- 4) 그라우팅 예정 심도에 예비 팩커를 설치하여 양수시험을 함으로써 그라우팅 이후 양수량과 수질 상태를 예비적으로 확인하였다.
- 5) 예비 팩커를 설치했던 심도까지 팩커 그라우팅 유니트를 하부에 설치한 외부케이싱을 삽입 설치하였다.
- 6) 팩커 그라우팅 유니트의 팽창 팩커를 팽창시켜 그라우팅 구간과 비 그라우팅 구간을 차폐하고 난 뒤 1차로 초속경 시멘트를 하부에서부터 주입하여 단시간내에 양생하였다.
- 7) 2차로 일반 시멘트액을 하부에서부터 주입하여 지표면까지 충전하고 양생시켰다.
- 8) 지표 상부에는 지하수 침수방지 장치를 설치하여 지하수 관정 내·외부를 완전 밀폐시켜 지표수 유입을 차단하였다.

2.4. 수질개선 공사 전·후 비교

창원시 소담동 민방위 비상급수시설의 경우 공사전에는 일반세균이 7000CFU/ml, 탁도는 157.0NTU였던 것이 일반세균은 0CFU/ml, 탁도는 0.97NTU로 저감되었다.

또한, 창원시 서상동 창원초등학교의 경우에도 수질개선 공사 전 질산성질소가 10.3mg/l였던 것이 수질개선 공사 후 질산성 질소가 6.5mg/l로 저감되어 먹는물 기준 10mg/l 이하로 나타나 2개 공 공히 음용이 가능하게 되었다.

검사항목	기 준	창원 소담동 민방위		창원 초등학교	
		공사 전	공사 후	공사 전	공사 후
일반세균	100CFU/ml	7000	0	19	20
탁도	INTU	157.0	0.97	0.05	0.08
질산성질소	10mg/ℓ	-	-	10.3	6.5

<표 2>

2.5. 팩카 그라우팅 공법의 적용

금번 연구를 통해 지하수 관정의 주 오염 요인 중의 하나는 지표 상층의 오염된 지하수의 유입으로 기인하고 있다는 것을 알 수 있다.

따라서, 지하수 개발 단계에서부터 연암 암반층까지 그라우팅을 위한 팽창 팩커를 설치한 외부케이싱을 삽입 설치해 하부에서부터 건설한 그라우팅을 시행함으로써 수질오염을 사전에 예방할 수 있다.

지하수 개발 단계에서부터 그라우팅 두께를 확보하면서 굴착 직경이 각각 상이한 축심을 일치시킬 수 있는 그라우팅 유니트 또한 개발된 바 있어 활용의 폭을 넓힐 수 있게 되었다.

3. 결론

금번 연구를 통해 지하수 관정의 수질오염 일부는 상층 오염지하수의 유입으로 기인한다는 사실을 규명하였다.

따라서 지하수 개발 단계에서 부적합한 오염방지시설을 지양함으로써 사전에 지하수 오염을 예방할 수 있는 방안에 대한 강구가 가능할 것이다.

또한, 수질개선 과정에서 기 설치된 내부케이싱의 인발 과정에서 지하수 관정의 함몰사고 등을 방지하기 위해 내부케이싱 절단·절삭을 통한 새로운 그라우팅 공법의 필요성이 증대되고 있다 할 것이다.

4. 참고문헌

- 4.1. 성익환 등, “광주지역 지하수 오염방지 및 치유개선 기술 연구”, 한국지질자원연구원,(2001)
- 4.2. 건설교통부, 한국수자원공사, “지하수관리 기본계획 보고서(2002.12)
- 4.3. 한국수자원공사, 지하수반 교재(2001)