

압축패커를 이용한 보은지역의 질산성질소에 의한 오염지하수 수질개선

이병대^{1*} · 윤욱¹ · 윤성택² · 조희남³

¹한국지질자원연구원 지구환경연구본부

²고려대학교 지구환경과학과

³(주)지앤지테크놀로지

Improvement of Water Quality for Contaminated Groundwater by NO₃-N using Compression Packer in Boeun

Byeong-Dae Lee^{1*}, Uk Yun¹, Seong-Taek Yun², and Heuy-Nam Cho³

¹Geologic Environment Div., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

²Dept. of Earth and Environmental Science, Korea University

³G&G Tchnology Company, Ltd.

연구지역의 오염된 대부분의 지하수는 상부의 오염된 천부지하수가 지하수공내로 유입되면서 질산성질소로 오염되었다. 공내 카메라 검층 결과 오염된 공들은 그라우팅 불량과 찢어진 유공관으로 인하여 오염된 천부지하수가 공내로 유입되어 지하수질을 악화시켰다. 오염된 천부지하수는 야외 지질조사시 확인된 동남동-서북서 방향, 북북서 방향, 북서-남동 방향, 남북 방향의 단층 및 절리, 파쇄대를 따라서 공내로 유입되었다. 금번 연구의 목적은 질산성질소로 오염된 지하수 공에 대하여 압축패커 기법을 이용하여 상부 오염물질 유입을 차단함으로써 지하수 수질개선 여부를 평가하는 것이다. 본 연구를 위하여 연구지역내 46개소의 지하수공을 대상으로 질산성질소 분석용 시료를 채취하였다. 질산성질소 함량이 10 mg/L 이상으로 먹는물 수질기준을 초과하거나 먹는물 수질기준에 가까운 공은 9개소로 전체 시료수의 약 20%이다. 압축패커 장치를 설치한 후 모든 공들의 질산성질소 함량이 설치 전에 비하여 26~81% 감소되었다.

주요어 : 지하수, 수질, 단층, 질산성질소, 압축패커

Most of contaminated groundwater in the study area was contaminated by NO₃-N due to inflow of contaminated shallow surface groundwater inflow into groundwater well. Poor grouting and teared screen have increased contaminated shallow surface groundwater inflow into groundwater well. Contaminated shallow surface groundwater was inflowed into groundwater well throughout faults, joints and fracture zone of ESE-WNW, NNW, NW-SE and NS direction. The objective of this paper is to evaluate an improvement of water quality for contaminated groundwater by NO₃-N using compression packer. For this study groundwater samples collected from 46 groundwater wells were analyzed to clarify NO₃-N contents. Groundwater wells over 10 mg/L in NO₃-N content is 9 wells showing 20% among total samples. NO₃-N contents after compression packer installation showed 26~81% low value compared with before compression packer.

Key words : groundwater, water quality, fault, NO₃-N, compression packer

서 론

지하수공 굴착시 토양층과 풍화암층을 완벽하게 차단하여 오염물질이 지하수 공내로 유입되는 것을 방지하

여야 한다. 그러나 많은 지하수 공들이 그릇된 굴착공법 및 차단기술의 미비로 인하여 오염된 지표수가 유입되어 지하수가 오염된 지역이 많이 있다. 따라서 지하수 오염을 방지하고 지하수를 오염물질로부터 원천적으로 차단하기

*Corresponding author: blee@kigam.re.kr

위하여, 지하수를 오염물질 유입으로부터 어떻게 보호하며 차단할 것인가 하는 문제가 중요한 관건이다.

오염물질 차단기술을 이용한 오염지하수 수질개선 연구로는 조희남 외(2003)는 패커그라우팅 공법을 이용한 지표하부 오염방지시설 설치에 관한 연구를 수행하였다. 성익환 외(2000; 2003)는 도시지역의 오염지하수 수질을 개선시키는 연구를 수행하였다. 이병대 외(2002)는 질산성질소 및 탁도로 오염된 지하수공에 대하여 지하수 환경성 복원에 관한 연구를 보고하였다. 임승태(2001)는 폐공의 발생원인 분석 및 대책방안에 대한 연구를 수행하였다. 이외에도 일반 지하수 수질 및 오염에 대한 연구로는 이병대 외(2007)의 울산지역 지하수 수질 및 오염 특성 연구, 윤옥 외(2003)의 광주지역 지하수 오염과 오염원 분석 연구, 조병욱 외(2006)의 심부지열수의 수리지화학적 연구, 원종석 외(2004)의 지하수 질산성질소 분포 영향요인 분석 연구 등 많은 연구가 이루어졌다.

이 논문의 연구지역은 상수원으로 지하수의 비율이 높고 지하수 행정에 대한 관심도가 높은 충청북도 보은지역의 마을상수도 지하수공을 대상으로 하였다. 금번 연구의 목적은 질산성질소로 오염된 지하수 공에 대하여 압축패커를 이용하여 상부의 오염지하수 유입을 차단함으로써 지하수 수질개선 여부를 평가하는 것이다. 이 연구를 위하여 보은지역의 마을상수도에 대한 현장수질 측정과 용존이온 분석을 실시하였다. 금번 연구는 오염 지하수 유입을 차단하여 질산성질소로 오염된 지하수의 수질을 개선하는 연구로 용존이온 분석을 실시한 후 질산성질소 항목에 대해서만 기술하였다. 또한 지질 및 지질구조 조

사와 공내 카메라 검증을 통하여 지하수 유동경로와 오염물질 유입구간을 규명하였다. 오염물질을 차단해야 할 구간을 설정하고 그라우팅과 압축패커 장치를 설치하여 수질개선 여부를 평가하였다.

지질 및 지질구조

연구지역의 지질은 연구지역 좌측에는 옥천층군의 시대 미상인 문주리층 및 황강리층으로 명명된 천매암, 석회암질 편암, 함역니질 등으로 녹색편암상에 속하는 변성퇴적암류로 고생대 후기 및 중생대 초기에 강한 변형작용을 받았다(Cluzel et al., 1990; 김옥준외, 1977). 우측에는 이들을 관입한 삼척기의 보은화강암, 백악기의 속리산화강암 및 반상화강암, 페름기의 백록화강암이 분포한다(Fig. 1). 연구지역의 지하수 유동과 관련된 주지질구조는 지구조적 규모의 충상단층대 및 주향이동성 단층대와 북북서-남북방향의 암맥류(dykes)이다. 마로 면에서는 옥천습곡대를 예각으로 절단하는 고생대-중생대의 충상단층과 한반도를 동남동-서북서 방향으로 횡단하는 좌수향의 주향이동단층이 형성되어 있다. 특히 주향이동단층 운동에 수반하여 나타나는 동서방향의 전단단층(R-shear)이 특징적인 양상이다. 보은읍에서는 추가령단층과 양산단층의 좌수향운동에 의한 전단작용의 산물(R-shear)이거나, 옥천습곡대의 좌수향 전단운동 결과 형성된 북북서방향의 전단단열(X-shear)이 발달되어 있다. 이들 전단단열을 따라서 관입한 암맥류들이 많이 발달되어 있다.

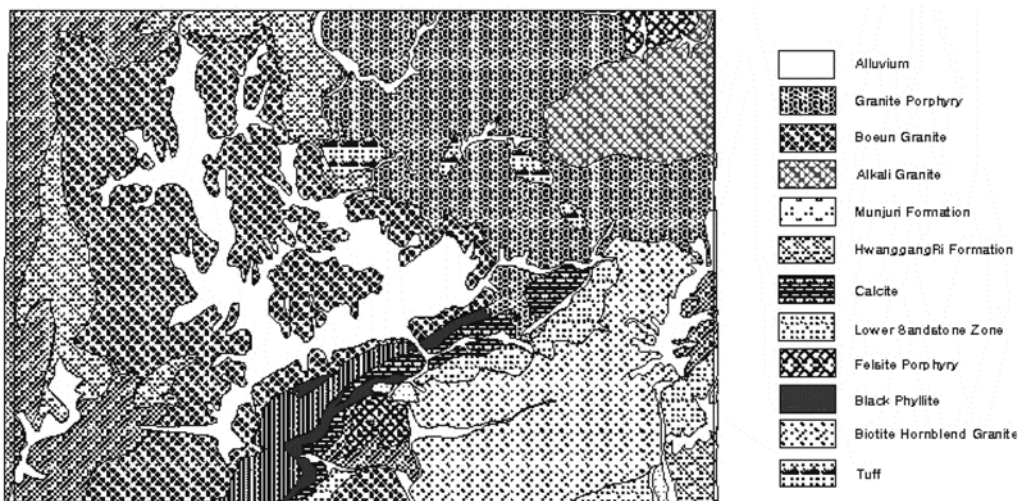


Fig. 1. Geological map of the study area (after Kim et al., 1977).

시료채취 및 질산성질소 분석

본 연구를 위하여 보은군에서 지하수공 시설이 노후화 되어 시설개선이 필요하다고 추천한 공과 보은군의 수질 검사 성적서를 바탕으로 질산성질소에 의해 오염된 마을 상수도 지하수공을 대상으로 질산성질소 분석용 시료를 채취하였다(Fig. 2). 시료채취는 46개소의 지하수공을 대상으로 2007년 11월 20일부터 11월 23일까지 실시하였으며 연구지역의 토지이용을 고려하여 지하수공이 공간적으로 고르게 분포하도록 선정하였다. 채수한 시료의 질산성질소

분석 자료를 이용하여 보은지역 지하수의 질산성질소에 의한 오염상태를 파악하였다. 지하수 공에서의 시료 채취는 수질의 안정을 위해 10~20분 동안 양수공 체적의 약 3~5배를 양수한 후 채취하였다(Barcelona et al., 1985).

연구지역의 질산성질소에 대한 분석 자료는 Table 1에 정리하였고 Fig. 3에 각 공들간의 질산성질소 함량을 비교 도시하였다. 질산성질소는 지하수에 존재하는 대표적인 무기 오염물질로서 유이에게 청색증을 유발하는 것으로 보고되어 있다. 질산성질소는 자연적 지질 매체와의 반응이 아닌, 유기물 부식, 생활하수나 축산 폐기물에 의한 오염 등

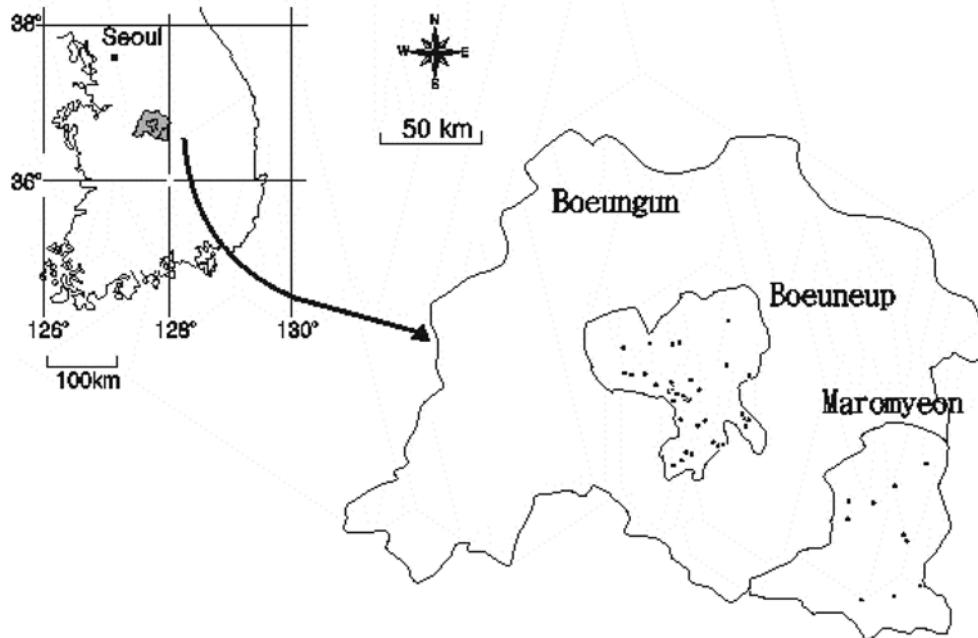


Fig. 2. Location map of groundwater sampling in Boeun area.

Table 1. NO₃-N concentration for groundwater samples in the study area.

Sample No.	NO ₃ -N (mg/L)	Sample No.	NO ₃ -N (mg/L)	Sample No.	NO ₃ -N (mg/L)	Sample No.	NO ₃ -N (mg/L)
BO-01	5.04	BO-13	4.38	BO-25	9.9	MA-01	2.10
BO-02	0.36	BO-14	0.11	BO-26	5.58	MA-02	11.6
BO-03	0.23	BO-15	3.71	BO-27	14.5	MA-03	9.6
BO-04	5.11	BO-16	0.14	BO-28	2.76	MA-04	3.23
BO-05	0.11	BO-17	0.54	BO-29	3.23	MA-05	1.65
BO-06	1.83	BO-18	0.38	BO-30	0.50	MA-06	2.31
BO-07	19.93	BO-19	10.0	BO-31	0.41	MA-07	0.57
BO-08	0.11	BO-20	3.23	BO-32	0.72	MA-08	16.6
BO-09	16.0	BO-21	0.18	BO-33	8.75	MA-09	0.09
BO-10	5.18	BO-22	3.71	BO-34	5.92	MA-10	0.29
BO-11	4.59	BO-23	1.45	BO-35	0.99		
BO-12	18.5	BO-24	5.09	BO-36	1.06		

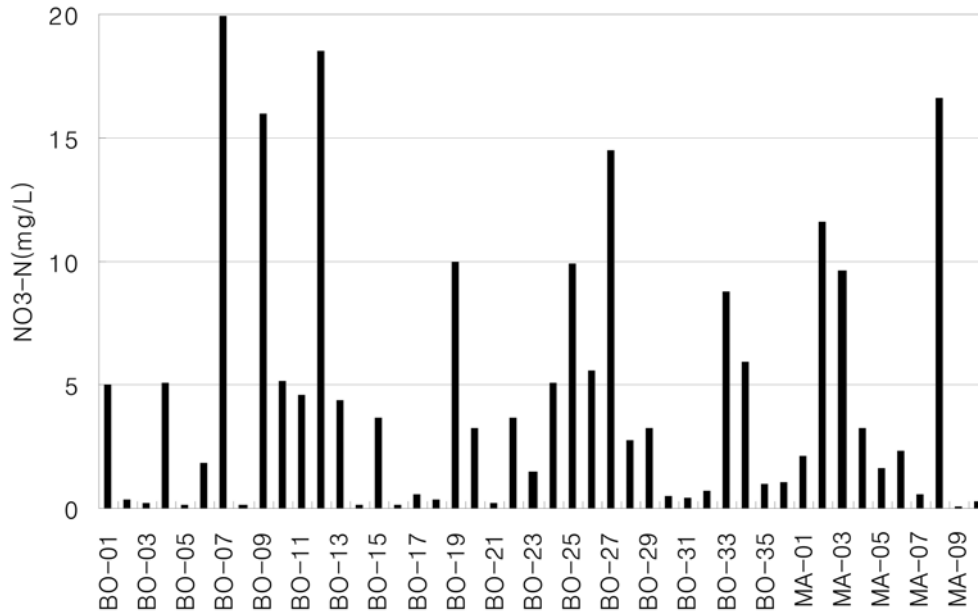


Fig. 3. Comparison of NO₃-N concentration for each wells in the study area.

외부적 기원에 의하여 물 속에 존재하게 된다(Witkowski and Rubin, 1999). 일반적으로 그 농도의 범위가 수 백 mg/L 까지 도달하는데, 오염의 영향이 없을 때는 거의 4.5 mg/L 를 초과하지 않는다. 그러나 Hounslow(1995)는 2.25 mg/L 이상일 때 오염에 의한 결과로 예측할 수 있다고 하였다. Wagner와 Sukrisno(1994)는 자연(natural or background) 기원을 갖는 최소의 질산성질소 농도는 < 0.45 mg/L 이 하라고 보고하였다.

Fig. 4는 연구지역 46개 시료의 질산성질소 농도 자료를 통계 분석한 결과를 도시한 그림이다. Fig. 4에서 질산성질소의 범위는 0.09~19.93 mg/L로 넓은 농도 범위를 나타내고 있다. 평균 농도와 표준편차는 각각 4.61 mg/L와 5.38 mg/L로 높은 값을 보여주고 있다. 이는 연구지역의 많은 지하수공들이 질산성질소로 오염되어 있다는 것을 나타낸다. Fig. 3과 Fig. 4에서 질산성질소에 대한 먹는물 수질기준값인 10 mg/L를 초과하거나, 수질 기준값에 가까운 지하수공은 BO-7; 19.3 mg/L, BO-9; 16.0 mg/L, BO-12; 18.5 mg/L, BO-19; 10.0 mg/L, BO-25; 9.9 mg/L, BO-27; 14.5 mg/L, MA-2; 11.6 mg/L, MA-3; 9.6 mg/L, MA-8; 16.6 mg/L의 9개소로 전체 시료수의 약 20%로 오염이 심한 편이다. BO-7, 9, 12, MA-8의 경우는 질산성질소의 함량이 특징적으로 높게 나타나고 있어 농업활동과 관련된 비료 사용과 생활 오수의 유입이 다른 지역에 비해 상대

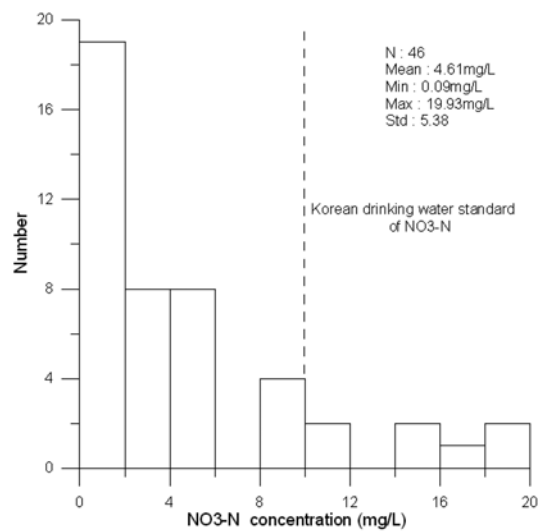


Fig. 4. Distribution for each range of NO₃-N concentration in the study area.

적으로 많은 것을 알 수 있다. 먹는물 수질기준값을 초과하거나 수질기준값에 가까운 7개 공을 제외한 나머지 공들 중에서도 Hounslow(1995)의 연구에 의하면 BO-01, BO-04, BO-09, BO-10, BO-11, BO-13, BO-15, BO-20, BO-22, BO-24, BO-26, BO-28, BO-29, BO-33, BO-34, MA-04,

MA-06 등 17개 공은 질산성질소 함량이 2.25 mg/L 이상으로 오염에 의한 결과로 예측할 수 있다.

압축패커를 이용한 수질개선 평가

오염원인 분석

연구지역의 지하수공 시설은 대부분 과거 지하수 개발 공법에 의해 개발된 지하수공으로서, 지하수 오염 및 수질 환경 등에 무방비 상태에 놓여 있는 지하수 공들이 대다수이다. 보은군의 수질검사 성적서에 의하면 연구지역의 지하수는 유기유해원소에 의한 오염은 거의 없었고, 오염된 지하수 공들의 대부분은 질산성질소에 의하여 오염된 것으로 나타났다.

연구지역의 지하수중 질산성질소 함량이 먹는물 수질 기준값인 10 mg/L를 초과하여 음용수로 이용하기에 부적합하게 오염되었거나 거의 수질기준값에 가깝게 오염된 공들에 대하여 오염원인을 분석하고 압축패커 장치를 설치하였다. 질산성질소로 오염된 공들의 공통적인 특징은 정호 덮개가 단순히 정호 내부에 설치된 배관과 모터펌프를 지탱 해주는 역할만 하고 있어 오염된 지표수가 쉽게 정호 내부로 유입될 여지가 많이 내포되어 있다. 또한 개발 당시 지표수의 유입을 차단하기 위한 그라우팅을 실시하여야 하나 수량 확보를 위하여 그라우팅을 시행하지 않아 지하수공 상부층으로 지표수가 유입되었다. 지하수공 주변에 논, 밭과 하천이 위치하고 있어 농번기시 사용하는 농약 및 각종 유해물질과 오염된 하천수가 그대로 유입될 가능성이 높았다.

압축패커 장치의 원리

지표하부 오염방지시설 중 압축패커 장치는 케이싱과 지하수공벽 사이의 차폐용 패커를 수축하기 위하여 상호 슬라이딩 혹은 수축하는 내·외부 수축관을 장착하였으며, 외부 수축관의 외주면에 원통형의 압축고무 튜브를 결합시킨 후 관정 내부에 삽입 설치하도록 하였다(Fig. 5). 또한 지상에서 안전장치를 풀면 내·외부 수축관의 작용으로 압축 고무튜브가 확장되어 케이싱과 지하수공벽 사이를 차폐함으로써 상부 오염물질을 하부 암반대수층으로 유입되지 못하게 하는 장치이다. Fig. 6은 지하수공 외부 케이싱에 패커를 설치한 상태의 모식도이다. 여기서 처리장치는, 실리콘 튜브(24)를 가지는 차폐판(2)을 시추공에 삽입하여 로우프(5)로 지지시킴으로써 시추공을 막도록 이루어진다. 상기 차폐판(2)은, 지지관(21)과 상기 지지관(21)의 상단부 및 하단부 둘레에 삽입되는 상부판(22) 및

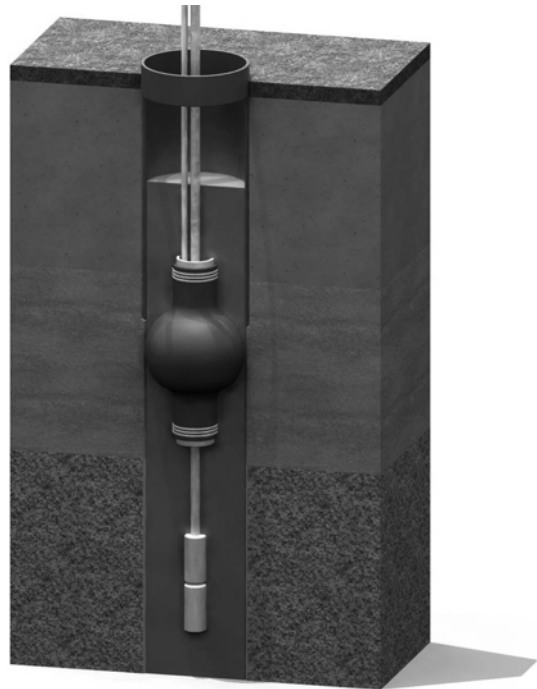


Fig. 5. A schematic illustration of the compression packer.

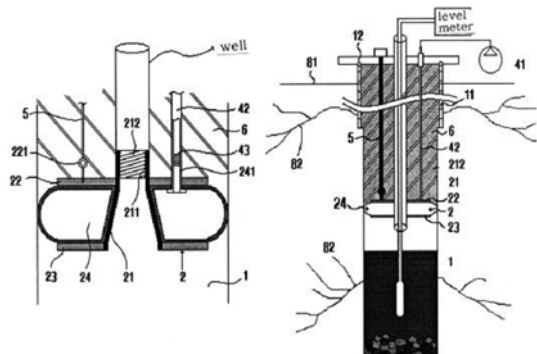


Fig. 6. A schematic illustration showing installation of the compression packer in casing.

하부판(23), 상기 상, 하부판에 삽입된 실리콘 튜브(24)를 포함하여 이루어진다.

압축패커 적용 방법

압축패커 장치를 설치하여 케이싱과 지하수공벽 사이를 차폐함으로써 상부 오염물질이 지하수공내로 유입되지 못하도록 원천적으로 차단하였다. 압축패커를 이용한 오염 방지시설을 설치하기 위해서 오염 지하수공 주변의 대수층 분포와 특성을 규명하였다. 주변 대수층 분포와 특성을

규명하기 위하여 오염된 지하수공에 대한 공내촬영을 수행하여 지하수공내의 단열상태 및 오염된 지표수 유입구간 등을 파악하였다. 이들 자료를 근거로 그라우팅 구간과 압축패커 장치를 설치할 지점을 선정하였다. 이렇게 선정된 지점에 압축패커 장치를 적용하는 방법은 ① 공 내부의 양수펌프 및 파이프와 같은 시설물 인양 ② 공내 PVC 인케이싱파이프 외부로 인발 ③ 공내 카메라 검층 ④ 예비패커 설치 후 양수량 및 수질검사 ⑤ 케이싱에 패커 유닛 조립 설치 ⑥ 케이싱 및 패커, 그라우팅 주입 호스 공내 삽입 설치 ⑦ 패커 안전장치 해제 및 케이싱 차폐시행 ⑧ 패커 상단에 속경성 시멘트 주입 양생 ⑨ 그라우팅 주입펌프를 이용한 일반 그라우팅 ⑩ 양수펌프 및 파이프 시설물 설치 ⑪ 양수시험을 통한 양수량 및 수질검사를 실시한다.

공내촬영 및 압축패커 장치 설치

오염된 지하수에 대한 대수층의 분포 및 특성파악, 지하수공내 지표수의 유입구간, 지하수 오염원 등을 규명하기 위하여 지하수공 내의 수증모터를 인양하고 공내촬영을 실시하였다. 각 공의 공내촬영 분석 결과는 Table 2에 정리하였다.

BO-7 공의 심도는 170 m이며, 외부 케이싱은 직경 250 mm로서 27.2 m 구간까지 설치되어 있으며, 그 하부로

Table 2. Borehole camera logging. data for packer grouting well in Boeun.

Well No.	Well depth(m)	Out casing depth(m)	Fracture zone(m)	Packer grouting depth(m)
BO-7	170	27.2	38, 54	40
BO-9	140	11.8	14.7-19.5 30, 56	20
BO-12	150	16	11.1-17.0 40.1-41.8 140	25
BO-19	120	7.8	22, 31, 56	25
BO-25	160	15	10 12.1-17.0 41	20
BO-27	102	16.5	15, 21, 82	18
MA-2	110	17	18 30.5-32.8 62	22
MA-3	112	15	17 27.7-30.3 56	20
MA-8	140	11.8	21.5 35.8-40.4 58	32



Fig. 7. Inflow of contaminated groundwater into groundwater well due to teared screen.

직경 150 mm의 내부케이싱이 최하부 심도 구간까지 설치되어 있다. 38 m 구간과 54 m 구간에서 동남동 방향의 비교적 큰 규모의 단열대가 확인되었으며, 이 구간이 주대수층 구간인 것으로 판단된다. 내부 케이싱은 최하부 구간까지 설치하였으나 찢어진 유공관으로 설치하여 오염된 지표수가 유입되었다(Fig. 7). 공내촬영에서 오염된 지표수가 유입되는 구간인 40 m 지점까지 그라우팅을 실시하고 패커 장치를 설치하였다.

BO-9 공은 심도가 140 m이며, 외부 케이싱은 직경 250 mm로서 11.8 m 구간까지 설치되어 있으며, 그 하부로 직경 150 mm의 내부케이싱이 최하부 심도 구간까지 설치되어 있다. 14.7~19.5 m, 30 m, 56 m 구간에서 북북서 방향 및 동남동-서북서 방향의 큰 규모의 단층 및 파쇄대가 발달하고 있다. 개발 당시 그라우팅을 완벽하게 하지 않아 상부층의 오염된 지표수가 공내로 유입되어 지하수질을 악화시켰다. 공내촬영 분석 자료를 근거로 20 m 지점까지 그라우팅을 실시하고 패커 장치를 설치하였다.

BO-12공은 심도가 150 m이며, 외부 케이싱은 직경 250 mm로서 16 m 구간까지 설치되어 있다. 11.1~17.0 m, 40.1~41.8 m, 140 m 구간에서 북서 방향의 큰 규모의 단층 및 파쇄대가 발달하고 있으며 이 구간이 주대수층 구간인 것으로 판단된다. 이 공 역시 개발 당시 그라우팅을 완벽하게 하지 않아 상부층의 오염된 지표수가 공내로 유입되어 지하수질을 악화시켰다. 공내촬영 분석 자료를 근거로 25 m 지점까지 그라우팅을 실시하고 패커 장치를 설치하였다.

BO-19 공은 심도가 120 m이며, 외부 케이싱은 직경 250 mm로서 7.8 m 구간까지 설치되어 있다. 22 m, 31 m, 56 m 구간에서 북북서 방향 및 북북서-남북 방향의 큰 규모의 단열대가 발달하고 있다. 그라우팅 미비와 찢어진 불량 유공관으로 인하여 오염된 지표수가 공내로 유입되어 지하수질을 악화시켰다. 공내촬영 분석 자료를 근거로 25 m 지점까지 그라우팅을 실시하고 패커 장치를 설치하였다.

BO-25공은 심도가 160 m이며, 외부 케이싱은 직경 250 mm로서 15 m 구간까지 설치되어 있다. 10 m, 12.1~17.0 m, 41 m 구간에서 북북동 방향의 큰 규모의 단층 및 파쇄대가 발달하고 있다. 그라우팅 미비와 찢어진 불량 유공관으로 인하여 오염된 지표수가 공내로 유입되어 지하수질을 악화시켰다. 공내촬영에서 오염된 지표수가 유입되는 구간인 20 m 지점까지 그라우팅을 실시하고 패커 장치를 설치하였다.

BO-27공은 심도가 102 m이며, 외부 케이싱은 직경 250 mm로서 16.5 m 구간까지 설치되어 있다. 15 m, 21 m, 82 m 구간에서 큰 규모의 단층 및 파쇄대가 발달하고 있다. 그라우팅 미비와 찢어진 불량 유공관으로 인하여 오염된 지표수가 공내로 유입되어 지하수질을 악화시켰다. 공내 촬영에서 오염된 지표수가 유입되는 구간인 18 m 지점까지 그라우팅을 실시하고 패커 장치를 설치하였다.

MA-2공은 심도가 110 m이며, 외부 케이싱은 직경 250 mm로서 17 m 구간까지 설치되어 있다. 18 m, 30.5~32.8 m, 62 m 구간에서 동남동-서북서 방향 및 북동 방향의 큰 규모의 단층 및 파쇄대가 발달하고 있다. 이 공 역시 그라우팅 미비와 찢어진 불량 유공관으로 인하여 오염된 지표수가 공내로 유입되어 지하수질을 악화시켰다. 공내

촬영에서 오염된 지표수가 유입되는 구간인 22 m 지점까지 그라우팅을 실시하고 패커 장치를 설치하였다.

MA-3공은 심도가 112 m이며, 외부 케이싱은 직경 250 mm로서 15 m 구간까지 설치되어 있다. 17 m, 27.7~30.3 m, 56 m 구간에서 거의 남북에 가까운 절리 및 파쇄 구간이 발달되어 있다. 이 공 역시 그라우팅 미비와 찢어진 불량 유공관으로 인하여 오염된 지표수가 공내로 유입되어 지하수질을 악화시켰다. 공내촬영에서 오염된 지표수가 유입되는 구간인 20 m 지점까지 그라우팅을 실시하고 패커 장치를 설치하였다.

MA-8공은 심도가 140 m이며, 외부 케이싱은 직경 250 mm로서 11.8 m 구간까지 설치되어 있다. 21.5~26.5 m, 35.8~40.4 m, 58 m 구간에서 북북서 방향의 절리 및 파쇄 구간이 매우 발달되어 있으며 이 구간이 주대수층 구간인 것으로 판단된다. 이 공 역시 그라우팅 미비와 찢어진 불량 유공관으로 인하여 오염된 지표수가 공내로 유입되어 지하수질을 악화시켰다. 공내촬영에서 오염된 지표수가 유입되는 구간인 32 m 지점까지 그라우팅을 실시하고 패커 장치를 설치하였다.

패커 설치후 수질개선

압축패커 설치전의 기존 지하수공들의 질산성질소 함량은 먹는물 수질기준값을 초과하여 음용수로 이용하기에 부적합하게 오염되었거나 거의 수질기준값에 가깝게 오염되었다. 이들 공들에 대하여 완벽한 그라우팅과 압축패커를 설치하고 약 1개월 동안 지속적인 양수를 한후 수질 분석을 실시하였다. 그 결과 모든 공들의 질산성질소 함량이 압축 패커 설치 전에 비하여 26~81% 감소되었다(Fig. 8). BO-7 은 설치전의 19.3 mg/L이서 설치후에는 8.5 mg/L로 56%

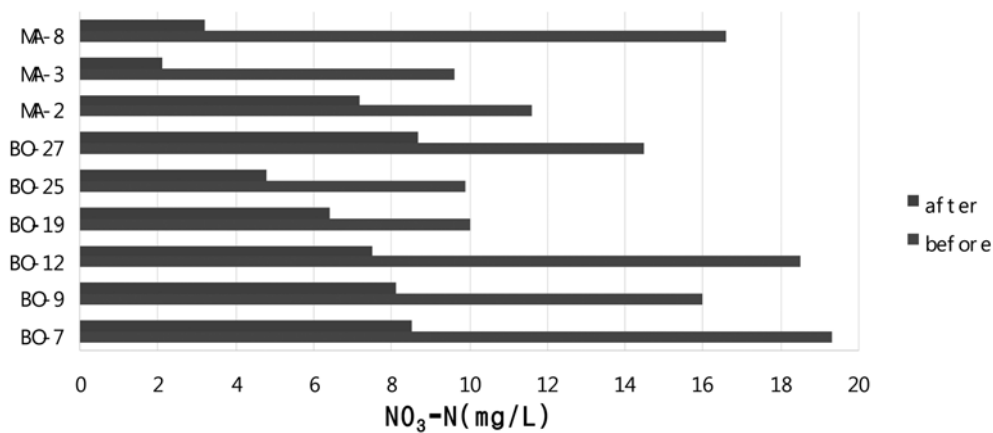


Fig. 8. NO₃-N concentration before and after packer grouting in Boeun.

감소되었다. BO-9는 16.0 mg/L에서 8.1 mg/L로 50%, BO-12는 18.5 mg/L에서 7.5 mg/L로 60%, BO-19는 10.0 mg/L에서 7.4 mg/L로 26%, BO-25는 9.9 mg/L에서 4.8 mg/L로 52%, BO-27은 14.5 mg/L에서 8.7 mg/L로 40%, MA-2는 11.6 mg/L에서 7.2 mg/L로 38%, MA-3은 9.6 mg/L에서 2.1 mg/L로 79%, MA-8은 16.6 mg/L에서 3.2 mg/L로 81% 감소되었다. 이들 공들중 특히 MA-3 공과 MA-8 공은 압축패커 장치 설치전에 비하여 각각 79%, 81%로 거의 완벽하게 수질이 개선되었다.

토의 및 결론

연구지역의 오염된 지하수 공들은 대부분 상부의 오염된 천부지하수가 지하수공내로 유입되면서 질산성질소로 오염되었다. 공내촬영 결과 그라우팅 불량과 찢어진 유공관으로 인하여 오염된 천부지하수가 공내로 유입되어 지하수질을 악화시켰다. 오염된 천부지하수는 야외 지질조사시 확인된 동남동-서북서 방향, 북북서 방향, 북서-남동 방향, 남북 방향의 단층 및 절리, 파쇄대를 따라서 공내로 유입되었다. 연구지역에서 질산성질소 함량이 10 mg/L 이상으로 먹는물 수질기준값을 초과하거나 먹는물 수질기준값에 가까운 공은 BO-7; 19.3 mg/L, BO-9; 16.0 mg/L, BO-12; 18.5 mg/L, BO-19; 10.0 mg/L, BO-25; 9.9 mg/L, BO-27; 14.5 mg/L, MA-2; 11.6 mg/L, MA-3; 9.6 mg/L, MA-8; 16.6 mg/L의 9개소로 전체 시료수의 약 20%로 오염이 심한 편이다. 자연(natural or background) 기원을 갖는 최소의 질산성질소 농도가 <0.45 mg/L인 점과 암반지하수 지질환경이 오염 취약성과 큰 상관성이 없음을 고려하면 연구지역 지하수의 질산성질소 농도는 인위적 오염에 의해 상당한 영향을 받고 있음을 보여주고 있다. 이는 연구지역의 질산성질소에 의한 오염은 지하수를 사용하기 위해 설치된 관정 시설이 오염의 유동에 매우 취약한 상황에 있음을 의미한다. 관정 자체가 지표와 심부 지질환경의 직접적인 유동경로 역할을 하고 있으며, 오염에 취약한 천부 지하수가 지하수 공 내로 유입되고 있음을 보여준다. 특히 케 이상의 노후화, 시설 미비, 소홀한 관리에 의해 이러한 현상이 발생하는 것으로 판단된다.

연구지역의 질산성질소로 오염된 지하수공들은 압축패커 장치를 설치한 후 모든 공들의 질산성질소 함량이 설치 전에 비하여 26~81% 감소되었다. 특히 MA-3, MA-8 공은 설치전에 비하여 각각 79%, 81%로 거의 완벽하게 수질이 개선되었다. 이는 압축패커를 이용한 그라우팅 및 패커 설치가 질산성질소로 오염된 지하수에 대하여 상부의 오

염된 지하수 유입을 완벽하게 차단하여 수질을 개선시킬 수 있는 새로운 오염방지시설 역할을 하고 있다는 것을 의미한다. 반면에 BO-19, MA-2 공은 압축패커 장치 설치후에도 질산성질소 함량이 각각 26%, 38% 감소되어 수질개선 정도가 다른 공들에 비해 상대적으로 미약하다. 이는 이 공에 대한 공내촬영 결과 절리 및 파쇄대가 많이 발달되어 있고 암반 자체의 상태가 매우 불량하여 그라우팅과 압축패커를 설치하여도 상부의 오염된 지하수가 조금씩 유입되는 것으로 판단된다. 또한 이 공들은 논과 하천 바로 옆에 위치하여 오염된 천부지하수가 다른 공들에 비하여 더욱 쉽게 공내로 유입될 수 있는 조건을 갖추고 있다.

이 연구를 통하여 압축패커를 이용하여 상부의 오염된 지하수 유입을 차단하는 공법이 질산성질소로 오염된 지하수공의 수질을 개선시킬 수 있는 효과적인 기법으로 규명되었다. 압축패커 장치는 질산성질소 이외에도 암모니아성 질소 및 탁도 등과 같이 외부 오염물질이 공내로 유입되어 오염된 지하수공에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 고려된다.

참고문헌

- 김옥준, 이대성, 이하영, 1977, 보은 지질도폭 설명서, 자원개발연구소
- 성익환, 김상연, 김석중, 김연기, 김통권, 김형찬, 류충렬, 성기성, 송경선, 송덕영, 윤옥, 이병대, 이봉주, 이정화, 이종철, 이준오, 임현철, 전치완, 조민조, 지세정, 최병인, 심병완, 2003, 도시지역 지하수오염 저감기술 연구, 한국지질자원연구원, 289p.
- 성익환, 이병대, 조병욱, 함세영, 추창호, 김정숙, 이인호, 2000, 오염된 지하수의 치유개선을 위한 사례 연구, 한국지하수도환경학회 춘계학술대회, 90.
- 윤옥, 조병욱, 음철현, 성익환, 2003, 광주광역시 지하수 중 휘발성유기화합물(VOCs)의 오염과 오염원 분석, 대한지질공학회, 13(4), 389-404.
- 이병대, 윤옥, 성익환, 2007, 울산지역 토지이용도에 따른 지하수 수질 및 오염특성, 한국지하수도환경학회, 12(6), 78-91.
- 이병대, 조병욱, 성익환, 함세영, 정상용, 윤성택, 2002, 오염방지시설을 이용한 지하수 환경성 복원 연구, 한국지하수도환경학회 춘계학술대회, 155-158.
- 임승태, 2001, 폐기방치공의 발생원인 분석 및 대책 연구, 부경대학교 석사학위 논문, 150p.
- 조병욱, 윤옥, 송윤호, 2006, 양주시험에 의한 포항 흥해지역 심부지열수의 수리지화학적 규명, 한국지하수도환경학회, 11(3), 20-30.
- 조희남, 성익환, 이병대, 조병욱, 2003, 팍카그라우팅 공법을 이용한 지표하부 오염방지 시공 및 응용 연구, 한국지하수도환경학회 춘계학술대회, 77-81.
- Barcelona, M.J., Gibb, J.P., Helfrich, J.A. and Garske, E.E., 1985, Practical guide for groundwater sampling, SWS Contract Report 374, p. 94.

- Cluzel, D., Cadet, J. and Lapierre, H., 1990, Geodynamics of the Ogcheon groundwater at Stripa, *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 53, 1765-1775.
- Hounslow, A.W., 1995, *Water quality data: analysis and interpretation*. CRC press, 55p.
- Wagner, W., and Sukrisno, 1994, Natural groundwater quality and groundwater contamination in the Bandung Basin, Indonesia, In *Groundwater Quality*(H. Nash and G.J.H. McCall. Ed.). Chapman & Hall, p.169-174
- Witkowski, A.J., and Rubin, K., 1999, Influence of the Upper Silesian agglomeration, Poland, on groundwater quality, In *Groundwater in the Urban Environmen* (Chilton, J. Ed.). A.A.Balkema Pub., p.267-272.

2009년 11월 12일 원고접수, 2010년 3월 2일 게재승인

이병대

한국지질자원연구원 지구환경연구본부
305-350 대전 유성구 가정동 30
Tel. 042-868-3088
e-mail blee@kigam.re.kr

윤육

한국지질자원연구원 지구환경연구본부
305-350 대전 유성구 가정동 30
Tel. 042-868-3118
e-mail yunuk@kigam.re.kr

윤성택

고려대학교 지구환경과학과
136-701 서울 성북구 안암동 5가 1번지
Tel. 02-3290-3176
e-mail styun@korea.ac.kr

조희남

(주)지앤지테크놀로지
405-300 인천 남동구 논현동 446-3 25L A동
e-mail ggpgu@hanmail.net