

## 예비패커를 이용한 오염지하수 관정 상·하부 대수층의 지하수 수질 평가

조희남\* · 조윤철 · 김주영 · 최상일

광운대학교 환경공학과

### Groundwater Quality Evaluation for Upper and Lower Aquifers of Cotaminated Groundwater Well Using Preliminary Packer

Heuy-Nam Cho\* · Yun-chul Cho · Joo-Young Kim · Sang-il Chol

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

#### ABSTRACT

Two different aquifers with different characteristics developed in the study area - a lower and upper aquifer zone. Nitrate contamination of the lower aquifer zone was likely due to infiltration of nitrate-contaminated groundwater of the upper aquifer zone through abandoned groundwater wells. In order to evaluate the feasibility of a preliminary packer designed to prevent nitrate migration through abandoned groundwater wells NO<sub>3</sub>-N concentrations of the upper and lower part of preliminary packer installed at four sampling sites were measured. Nitrate concentrations of the upper and lower part of Yechun sinwolri were 10.3 mg/L and 5.0 mg/L, respectively. Yechun eosinri, Yechun jeowooriis, and Andong hoegokri were NO<sub>3</sub>-N concentrations in the upper (11.3, 11.0, and 14.6 mg/L) and lower (8.8, 1.6, and 8.0 mg/L), respectively. NO<sub>3</sub>-N contents of all groundwater samples in the lower part after the preliminary packer installation showed 22~85% lower than those of the upper part.

**Key words :** Aquifer, Preliminary packer, Groundwater contamination, NO<sub>3</sub>-N

#### 요 약 문

연구대상지역내에는 지하수수질이 상이한 상·하부 대수층이 각각 발달되어 있었다. 하부 대수층내 지하수의 주 오염원인은 상부의 질산성질소로 오염된 천부지하수가 지하수공 내로 유입되었기 때문으로 사료된다. 폐기 또는 방치 지하수공을 통한 질산성질소의 하부 대수층으로 오염 확산 억제를 위하여 예비팩커를 공 내부에 설치하고 패커 상·하부의 질산성질소 함량을 측정하였다. 예비팩커 설치후 상·하부 구간의 질산성질소 함량은 예천군 신월리 경우, 상부는 10.3 mg/L 이었으나 하부는 5.0 mg/L로 상부에 비해 50% 낮은 함량을 나타내었다. 예천군 어신리는 상부는 11.3 mg/L 이었으나 하부는 8.8 mg/L로 상부에 비해 22% 낮은 함량을 보였다. 예천군 저우리는 상부는 11.0 mg/L 이고 하부는 1.6 mg/L로 상부에 비해 85% 낮은 함량을 보였다. 안동시 회곡리는 상부는 14.6 mg/L 이었으나 하부는 8.0 mg/L로 상부에 비해 45% 낮은 함량을 나타내었다. 연구지역에서 예비팩커를 적용한 결과 패커 하부의 질산성질소 함량은 상부에 비해 22~85% 낮게 나타내었다.

**주제어 :** 대수층, 예비 팩커, 지하수오염, 질산성질소

#### 1. 서 론

지하수는 충적층 및 풍화대 지하수와 암반 대수층 지하수로 크게 분류할 수 있다. 일반적으로 지하수가 부존

하고 있는 충적층 및 풍화대의 평균 공극률은 35~45%인데 반해 암반대수층이 존재하는 공극률은 1% 미만으로 알려져 있다. 일반적으로 우리나라의 대수층은 충리, 절리 및 단층선 등의 파쇄대 발달정도에 지배를 받는 암반대수

\*Corresponding author : ggpgu@hanmail.net

원고접수일 : 2009. 10. 20 심사일 : 2009. 10. 20 게재승인일 : 2009. 12. 5  
질의 및 토의 : 2010. 2. 28 까지

층으로 수질이 안정된 양질의 지하수이다. 암반대수층은 일차 공극에 지배를 받는 미고결 및 층적층 대수층과는 부존량과 개발량에 있어 큰 차이를 보인다. 지금까지의 지하수 개발 계약 관행은 지하수 채수량과 수질에 대한 책임을 지하수 개발이용시공업체에게 전담시키고 있어 채수량이 계약된 수량을 충족시키지 못한 경우 불용공으로 처리하여 원상복구를 시행하게 하였다. 이는 지하수 개발과정에서 수량을 확보하기 위하여 층적층 또는 풍화암층의 지하수를 공내로 유입하게 하는 요인으로 작용하였다. 한편, 지하수 개발시 상층 오염지하수 유입 차단 기술의 미비로 오염지하수의 유입을 근본적으로 차단하는데 한계가 있었다. 따라서 지하수 오염을 방지하고 지하수를 오염물질로부터 원천적으로 차단하는 기술 개발의 필요성이 제기되고 있다.

최근 패커를 이용한 지하수 오염방지 기술과 관련된 연구가 활발히 진행 중이다. 조희남 외(2003)는 패커그라우팅 공법을 이용한 지표하부 오염방지시설 설치에 관한 연구를 수행하였으며, 성익환 외(2003; 2000)는 도시지역의 오염지하수 수질을 개선시키는 연구를 수행하였다. 이병대 외(2002)는 질산성질소 및 탁도로 오염된 지하수공에 대한 오염방지 기술을 보고하였다. 임승태(2001)는 폐공의 발생원인 분석 및 대책방안에 대한 연구를 수행하였다. 농업기반공사는 지하수 폐공과 관련하여 지하수 폐공관리와 폐공찾기 실시 요령 등에 대한 시범사업 연구를 수행하였다(농업기반공사, 2001), 김창욱 외(2006)는 예비패커를 이용하여 제주도 서부해안 지역의 대수층별 지하수 산출능력에 대한 연구를 수행하였다.

금번 연구의 목적은 예비패커를 이용하여 대수층별 지하수의 수질을 파악하여 오염물질을 차단해야 할 구간을 설정함과 동시에 수질개선 여부를 평가하는데 있다. 이를 위하여 우리나라 지하수에서 빈번하게 검출되는 오염물질인 질산성질소를 대상물질로 선정하여 예비패커를 공 내부에 설치하여 예비패커 지점을 이동시키면서 패커 상, 하부의 농도를 측정하였다. 또한 이러한 확인 과정을 통해 이미 오염된 지하수공의 수질을 원래 용도에 적합한 수질로 개선복구 할 수 있는지 여부에 대한 가능성을 평가하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 연구지역

본 연구를 위해 경상북도 예천군에서 시행한 농어촌생활용수 수질개선복구 사업지인 보문면 신월리, 지보면 어

신리, 호명면 저우리, 그리고 소규모수도시설 시설개량 사업지인 안동시 풍산읍 회곡리 등 4개소를 연구지역으로 선정하였다. 이들 지역에 설치된 지하수공은 모두 상층 지하수의 오염인자인 질산성질소가 먹는물 수질 기준치인 10 mg/L을 초과하였다. 예천군과 안동시에서는 이들 공들에 대하여 질산성질소 함량을 먹는물 수질기준 이하로 저감시키고 시설 개량을 시행할 계획을 수립하였다. 그리하여 예천군과 안동시에서 조사비와 시설개량비를 부담하여(주)지앤지테크놀러지가 공사를 시행하였다.

### 2.2 연구방법

연구지역에 예비패커를 설치하기 이전에 먼저 김창욱 외(2006)의 제주도 서부 해안지역의 대수층별 지하수 산출능력 연구를 통해 예비패커 적용에 대한 연구방법의 타당성에 대해 검증하였다. 그리고 연구지역의 현장여건과 급수가구 및 인원수, 주변 오염원 유무, 시설개량을 위한 투입장비의 접근 편리성, 주변 농경지의 작물재배 여부와 손상에 따른 배상 유무, 상부 오염방지시설의 적정성 여부, 시설개량 작업 중 급수 중단에 따른 급수 방안 등을 검토하였다. 이러한 여러 여건들을 종합하여 필요 공정들을 결정하였고 예비패커 설치 계획을 수립하였다. 현장에서의 설치 공정은 다음과 같다.

- (1) 지하수공 내부의 양수시설물을 외부로 인양한다.
- (2) 내부 우물자재를 지상으로 인발하여 제거한다.
- (3) 지하수공 내부로 수중카메라를 투입하여 촬영 녹화하여 분석한다.
- (4) 예비패커를 설치하고 대수층별 양수시험을 시행하여 대수층별 양수량과 시료를 채취하여 수질을 분석한다.
- (5) 수질분석 결과를 통해 조사 전, 후 시설개량 가능성 여부를 판단한다.
- (6) 시설개량 후 수질개선복구가 가능하다고 판단되면 시설개량을 시행한다.

특히, 조사지역에서 시행되었던 각 시군의 시설개량 사업과 관련한 자료의 입수

와 정리를 통해 더욱 효율적인 연구가 이루어질 수 있도록 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 예비패커 설치지역 기존연구 분석

예비패커 설치후 예비패커 상, 하부의 대수층별 수질 특성을 파악하기 위하여 김창욱 외(2006)의 제주도 서부 해안지역에 위치한 6개 관측정에 대한 예비패커 설치 자료

를 분석하였다. 6개의 관측정중에서 질산성질소로 오염된 용수 1호공과 무릉 1호공의 자료를 이용하였다. 김창욱 외(2006)의 연구에 적용된 예비패커는 (주)지앤지테크놀러지가 개발한 차폐용 고무패커인 예비패커를 사용하여 각 대수층 구간을 구분하여 완전히 차폐시킨 다음 수중모터 펌프를 패커 상, 하부에 설치하였다. 질산성질소의 변화양상을 분석하기 위해 각 대수층별 수질시료를 채수하여 제주도보건환경연구원에 의뢰하여 지하수수질분석을 시행하였다. 또한, 양수에 따른 질산성질소의 시간대별 변화양상을 분석하기 위하여 한시간 간격으로 채수하여 간이수질 분석기(DR-2010)로 분석하였다.

관측공은 예비패커 설치 당시 나공 상태였으며 예비패커 하부에는 양수파이프에 연결된 수중모터펌프를 설치하였다. 상부에는 양수파이프를 연장하여 지상으로 지하수가 양수될 수 있도록 하고 수질검사를 위한 시료의 채수가 용이하도록 구성하였다. 예비패커의 설치 모식도는 Fig. 1과 같다.

용수 1호공은 61 m 지점에 예비패커를 설치하였고, 무릉 1호공은 35 m 지점에 예비패커를 설치하였다. 그 결과 용수 1호공은 패커 상부의 질산성질소 농도가 19.7~37.6 mg/L 인데 비해 패커 하부에서는 0.9~2.0 mg/L 범위로 나타났다. 무릉 1호공의 경우는 질산성질소의 농도가 패커 상부에서는 평균 13.7 mg/L 인데 비해 패커 하부에서는 평균 2.7 mg/L을 유지하였다(Table 1). 두 지역 모두 패커 하부의 질산성질소 농도가 상부에 비해 훨씬 낮게 나타났다.

### 3.2 연구지역의 지하수공 오염방지시설 형태

연구지역중 예천군의 지하수공은 농어촌생활용수로 개

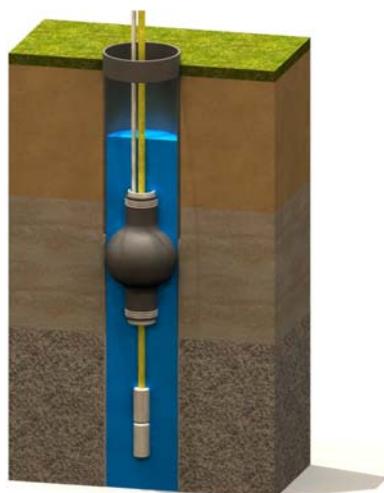


Fig. 1. A schematic illustration of preliminary packer.

Table 1. NO<sub>3</sub>-N concentration of Yongsu-1 and Murung-1 after preliminary packer installation.

Well No.	Packer installation (m)	Upper part NO <sub>3</sub> -N(mg/L)	Lower part NO <sub>3</sub> -N(mg/L)
Yongsu-1	61	19.7~37.6	0.9~2.0
Murung-1	35	13.7	2.7

발되어 운용중이었으며 안동시의 지하수공은 소규모수도 시설로 개발하여 운용중인 시설이다. 두 지역 모두 농촌 주민들에게 식수를 공급하기 위해 시설된 수도시설이라는 공통점을 가지고 있다. 연구지역의 지하수는 모두 질산성 질소가 먹는물 수질기준인 10 mg/L을 초과하여 식수로 부적합한 공이다. 그리하여 오염원인과 시설개량 가능성 여부를 판단하기 위해 대수층별 지하수 수질을 파악하였다. 수도시설로 사용되는 연구지역의 지하수공 오염방지시설은 Fig. 2와 같은 구조로 되어 있다. 지표면 아래로 암반대수층까지 굴착한 다음, 내부에 양수시설물을 보호하기 위한 내부우물자재(PVC 파이프)와 유공관을 연결하여 삽입 설치한다. 공 내부에 수중모터펌프와 양수파이프, 동력케이블 등 양수시설물을 설치하고 지상부에는 상부보호공을 설치한다. 상부보호공은 건축물이거나 콘크리트로된 사각 맨홀 또는 금속재로 제작된 밀폐식 상부보호공을 시설해야 한다. “지하수의 수질보전등에 관한 규칙” 제2조 별표 1에 따르면 상층 오염지하수의 유입을 방지하기 위하여 바. 케

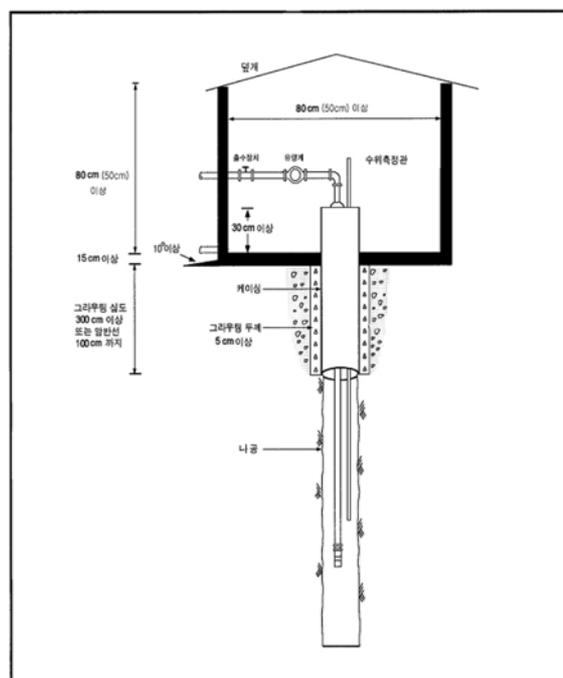
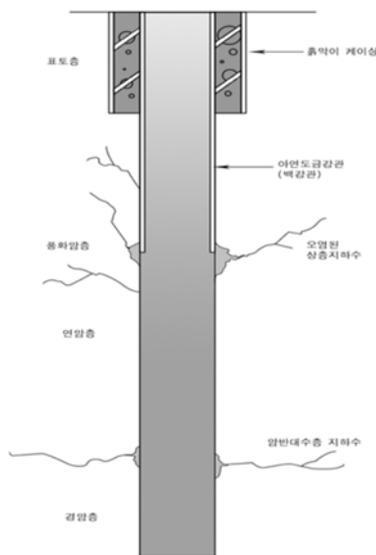


Fig. 2. A schematic illustration of contamination protection in groundwater well.

이상의 하단부는 지표 이하 3 m 이상 깊이까지 설치하며, 암반층을 굴착하는 경우에는 암반(연암층)선 아래로 1 m 이상 깊게 설치하여야 한다. 사. 케이싱 외부의 그라우팅 두께는 5 이상 되어야 하며, 차수용 재료를 사용하되, 케이싱 하부로 누출되지 아니하도록 케이싱의 하단부에서부터 채워 올려야 한다라고 규정하고 있다. 특히 케이싱 하단부가 암반(연암층)선 1 m 이상 깊게 설치하도록 규정한 것은 충적층 지하수와 암반대수층 지하수가 혼입되지 않도록 하기 위함이다. 그러나 질산성질소로 오염된 지하수공의 경우에는 대부분 케이싱의 삽입 깊이가 Fig. 3과 같이 충적층 지하수의 유입이 용이한 풍화암층 깊이까지만 삽입 설치된 경우가 많다. 따라서 이 연구에서는 예비패커의 설치 깊이를 연암층 1 m 이상 깊이에 설치하도록 하여 수질검사를 실시하였다.

**3.3 예비패커 설치후 대수층별 수질 특성**

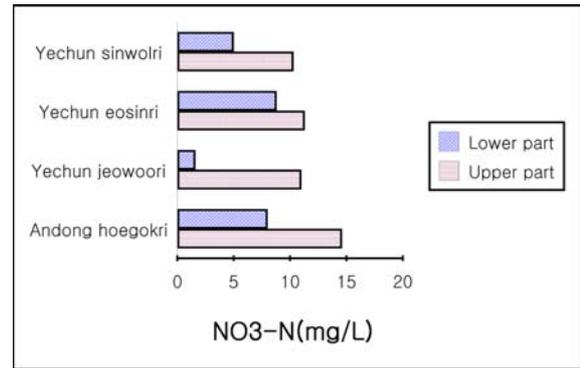
연구지역의 지하수공에 대한 대수층별 지하수 수질을 파악하기 위하여 예비패커를 공 내부에 설치하고 패커 상, 하부의 질산성질소 함량을 측정하였다(Table 2, Fig. 4).



**Fig. 3.** A schematic illustration showing casing installed in weathering zone.

**Table 2.** NO<sub>3</sub>-N concentration after preliminary packer installation.

Location	Well depth(m)	Preliminary packer depth(m)	NO <sub>3</sub> -N (ppm)	
			Upper part of packer	Lower part of packer
Yechun sinwolri	100	27	10.3	5.0
Yechun eosinri	102	26	11.3	8.8
Yechun jeewoori	124	28	11.0	1.6
Andong hoegokri	132	31	14.6	8.0



**Fig. 4.** NO<sub>3</sub>-N concentration of upper and lower part after preliminary packer installation.

예비패커를 적용한 결과 패커 하부의 질산성질소 함량은 상부에 비해 22~85% 낮게 나타났다. 예천군 신월리의 경우, 지하수공의 심도는 100 m로 예비패커는 27 m 지점에 설치하였다. 패커 설치후 상부의 질산성질소 함량은 10.3 mg/L 이었으나 하부는 5.0 mg/L로 상부에 비해 50% 낮은 함량을 보이고 있다. 한편, 어신리 지하수공의 심도는 102 m이며 예비패커는 26 m 지점에 설치하였다. 패커 설치후 상부의 질산성질소 함량은 11.3 mg/L 이었으나 하부는 8.8 mg/L로 상부에 비해 22% 낮은 함량을 보이고 있다. 예천군 저우리의 경우, 지하수공의 심도는 124 m이며 예비패커는 28 m 지점에 설치하였다. 패커 설치후 상부의 질산성질소 함량은 11.0 mg/L 이었으나 하부는 1.6 mg/L로 상부에 비해 85% 낮은 함량을 보이고 있다. 마지막으로 안동시 회곡리 지하수공의 심도는 132 m이며 예비패커는 31 m 지점에 설치하였다. 패커 설치후 상부의 질산성질소 함량은 14.6 mg/L이었으나 하부는 8.0 mg/L로 상부에 비해 45% 낮은 함량을 보이고 있다.

**4. 결 론**

연구대상지역의 심층 지하수는 상부의 오염된 천부지하수가 지하수공내로 유입되면서 질산성질소로 오염되었다. 연구지역과 같이 오염인자가 질산성질소의 경우 충적층

지하수에서 유입되는 농도가 암반층 지하수에서 유입되는 농도보다 높게 유지됨을 확인할 수 있었다. 즉, 예비패커가 암반층에 설치되어 있다 할지라도 패커 상부는 층적층 지하수가 파쇄대를 통해 유입될 수 있기 때문에 주의가 요구된다.

예비패커 설치후 상, 하부 구간의 질산성질소 함량은 예천군 신월리는 상부는 10.3 mg/L 이었으나 하부는 5.0 mg/L로 상부에 비해 50% 낮은 함량을 보였으며, 예천군 어신리는 상부는 11.3 mg/L 이었으나 하부는 8.8 mg/L로 상부에 비해 22% 낮은 함량을 보였다. 예천군 저우리의 경우, 상부는 11.0 mg/L 이고 하부는 1.6 mg/L로 상부에 비해 85% 낮은 함량을 보였으며, 안동시 회곡리는 상부는 14.6 mg/L 이었으나 하부는 8.0 mg/L로 상부에 비해 45% 낮은 함량을 보였다. 연구지역에서 예비패커를 적용한 결과 패커 하부의 질산성질소 함량은 상부에 비해 22~85% 낮게 나타났다. 이와 같은 사실로 압축패커 그라우팅 공사를 하기 이전에 먼저 예비패커를 설치하고 예비패커 상, 하부의 질산성질소 함량을 분석하여 최적의 그라우팅 실시 지점과 압축패커 장치 설치 지점을 선정하는 것이 효과적인 방법으로 판단된다. 또한 적용 연구는 질산성질소 이외에도 암모니아성질소 및 탁도 등과 같이 외부 오염물질이 공내로 유입되어 오염된 지하수공에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 환경부의 “토양지하수복원관리 환경기술교육 혁신지원사업단”의 연구비 지원을 받은 과제입니다.

## 참 고 문 헌

- 김창욱 서정진 고기원 박윤석, 2006, 제주도 서부해안지역의 대수층별 지하수 산출능력 연구 p. 31.
- 농업기반공사, 2001, 지하수 폐공관리 시범사업 보고서, p. 225
- (사)한국지하수수질보전협회, 2009, 지하수 관정을 이용한 소규모수도시설 운용·유지관리 요령, p. 135
- 성익환, 김상연, 김석중, 김연기, 김통권, 김형찬, 류충렬, 성기성, 송경선, 송덕영, 윤욱, 이병대, 이봉주, 이정화, 이종철, 이춘오, 임현철, 전치완, 조민조, 지세정, 최병인, 심병완, 2003, 도시지역 지하수오염 저감기술 연구, 한국지질자원연구원, p. 289
- 성익환, 이병대, 조병욱, 함세영, 추창호, 김정숙, 이인호, 2000, 오염된 지하수의 치유개선을 위한 사례 연구, 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회, p. 90.
- 이병대, 조병욱, 성익환, 함세영, 정상용, 윤성택, 2002, 오염방지 시설을 이용한 지하수 환경성 복원 연구, 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회, p. 155-158.
- 임승태, 2001, 폐기방치공의 발생원인 분석 및 대책 연구, 부경대학교 석사학위 논문, p. 150.
- 조희남, 성익환, 이병대, 조병욱, 2003, 팩카그라우팅 공법을 이용한 지표하부 오염방지 시공 및 응용 연구, 한국지하수토양환경학회 춘계학술대회, p. 77-81.