

## 암반공압파쇄에 의한 지하수량 증대효과 분석

김혜빈 · 부성안 · 이기철, 김종태\*

농업기반공사 농어촌연구원

\*안동대학교 지구환경과학과

e-mail : booh2700@karico.co.kr

### 요약문

We carried out rock pneumatic fracturing test which to increase groundwater yield by injection of highly pressured air in artificially under the surface every four borehole. The result of test performing shows that effect of increasing groundwater was not found in three testhole around igneous and metamorphic formation area, but we can realized that about 15 percent increased wateryield appeared in number P-5 test hole at sedimentary rock formation.

**Key word** : pneumatic fracturing, pumping test, pumping rate, drawdown

### 1. 서론

본 논문은 지표 아래에 인공적으로 고압력의 공기를 주입하여 파쇄대의 공간을 넓히거나 새로운 파쇄구간을 생성시킴으로써 지하수 산출량을 증가시키기 위한 암반 공압파쇄 시험결과를 분석한 것이다. 궁극적으로는 본 공법을 현장에서 손쉽게 적용시킬 수 있는 기법을 개발함으로써 향후 부족되리라 예측되는 수자원의 일부분을 확보하는 기초기술이 되도록 하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1. 공압파쇄 시험방법

파쇄시험은 시험 예정심도의 공벽에 packer를 밀착시킨 후 고압의 공기를 주입하였다. 공기 주입압력은 25kg/cm<sup>2</sup>으로 하였으며, 파쇄주기는 20초씩 10분 간격으로 25차례 이상씩 시험하였다. packer는 총 길이 4m, 고무부분의 구경은 85mm×1,000mm, 슬리브는 외경 40mm, 내경 32mm의 스테인레스스틸 제품을 사용하였다. 각 시험정에 대한 파쇄시험 내역은 Table 1과 같다.

Table 1. The Present Conditions of Tested Boreholes

Study Area	Test Hole Number	Geology	Hole Depth (m)	Hole Diameter (mm)	Casing Length (m)	Static Water Level(m)	Major Fractured zone(m)	Testing Depth(m)
RRI-KARICO	P-2	Pre-Cambrian Period Granitic gneiss	152.5	250-150	16.7	2.7	33.5 74.1-75.3	33.5, 74.0
RRI-KARICO	P-4	Pre-Cambrian Period Granitic gneiss	167	250-150	20.7	3.6	40-46	40.0
Jinju-shi Sanbong-dong	P-5	Jurassic Period Sedimentary rock (black shale, light grey arcose sandstone)	291.5	350-150	8.5	3.0	40.5-41.5 141-143	28.5, 40.0
Sangju-shi Nakdong-myen Seoungkog-ri	P-6	Mesozoic Era Biotite Granite	118	250-150	6	7.6	68.5	68.5

## 2.2. 대수성시험 및 시험자료의 해석

본 연구지역의 대수층은 비정상류(nonsteady-state flow) 상태의 피압대수층으로 판단되며, 따라서 수리지질학에서 가장 널리 이용되고 있는 피압대수층의 해석학적인 방법으로서, Darcy의 법칙과 비정상류(nonsteady-state) 피압대수층의 기본 우물집수공식인 Theis(1935) 공식을 적용하였다. 시험정에 대한 양수시험은 단계양수시험 후 장기양수시험으로 나누어 실시하였다.

## 2.3. 각 시험정에 대한 공압파쇄 시험결과

(1) P-2공 : 연구지역은 경기도 안산시 농업기반공사 농어촌연구원내 부지이며, 분포지질은 선캠브리아기의 화강암질편마암으로 연구지역 주변에 넓게 분포하고 있고, 열리가 잘 발달되어 있는 세립질 내지 중립질암이다. P-2공은 1차년도에 암반파쇄대 변위시험을 위하여 설치한 P-1공에서 5m 거리에 설치하고 P-1공은 관측정, P-2공은 시험정 및 양수정으로 사용하였다. P-2공의 주파쇄대 및 주대수층의 심도는 33.5m와 74.1~75.3m 구간이며, 그 이하의 심도에서는 소규모이거나 거의 없었다.

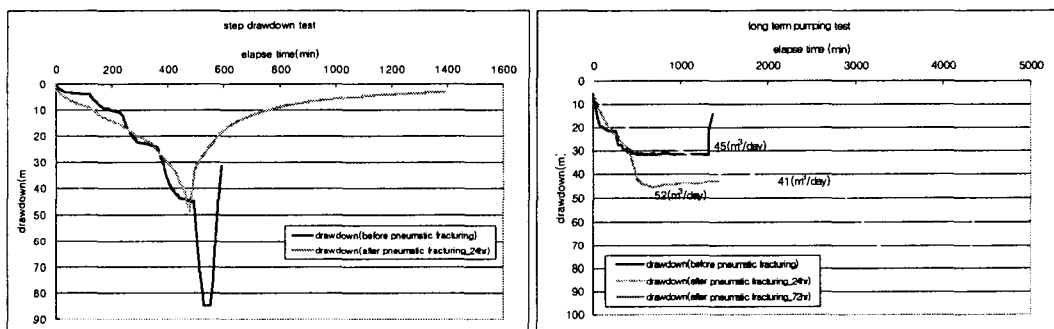


Fig.1. Drawdown curve at P-2 well before and after pneumatic fracturing test.

파쇄시험은 1차로 심도 74m에서 총 27차례 실시하였는데, 25kg/cm<sup>2</sup> 초기주입압력이 1~2분간 유지된 뒤 16~18kg/cm<sup>2</sup> 정도로 낮은 압력을 유지하다가, 시험을 실시한 지 약 1시간 10분이 지난 후 P-1공에서 P-2공에 주입된 공기와 지하수가 역류하기 시작하였다. 역류가 일어나고 3차례 더 실시한 결과 주입압력이 점점 낮아지다 거의 0에 가까운 값으로 떨어졌다. 상부의 33.5m에서 2차 파쇄시 주입압력은 0의 값을 나타내었다. 사전·후의 단계양수시험 비교 결과(Fig.1),

뚜렷한 수위강하량의 차이는 없었고, 사전의 45m<sup>3</sup>/day으로 장기양수시 수위강하량은 31.7m이고, 비양수량은 1.420m<sup>3</sup>/day이다. 사후의 52m<sup>3</sup>/day으로 장기양수시 수위강하량은 45.62m이며, 비양수량은 1.140m<sup>3</sup>/day이다. 즉 양수시험 분석결과, 본 공에서는 뚜렷한 수량증대 효과가 없는 것으로 보인다.

(2) P-4공 : P-4공은 P-2공과 같이 농업기반공사 농어촌연구원 부지 내에 설치하였다. 지질은 P-2공과 유사하나 과거 바닷물이 유입되던 간사지에 위치하여 염지하수가 산출되었다. 심도 40~46m의 약 6m 구간에서 크고 작은 규모의 파쇄대가 형성되어 있어 이 심도를 기준으로 실시하였다. 처음 2시간은 10초간 주입하다가 2시간 이후부터 20초간 12차례 공압을 주입하였으며, 초기주입압력은 서서히 감소하다가 20~22kg/cm<sup>2</sup>정도 유지하였다.

P-4공의 단계양수시험에서 60, 80, 100m<sup>3</sup>/day으로 양수시 사전·후의 수위강하량의 변화는 거의 비슷한 값을 나타낸다(Fig.2). 사전의 110m<sup>3</sup>/day으로 장기양수시 수위강하량은 32.16m이며 비양수량은 3.420m<sup>3</sup>/day이다. 사후에는 141m<sup>3</sup>/day으로 장기양수를 시작하였으나 420분이 지난 후 수위강하량이 79.6m로 급격하게 떨어져 121m<sup>3</sup>/day으로 조절하여 1020분간 양수시험을 계속하였으며 이때 안정수위강하량은 66.8m이며 비양수량은 1.811m<sup>3</sup>/day이다. 본 공의 양수량은 사전·후의 수위변화로 볼 때, 공압파쇄로 인한 수량증대가 거의 없는 것으로 보인다.

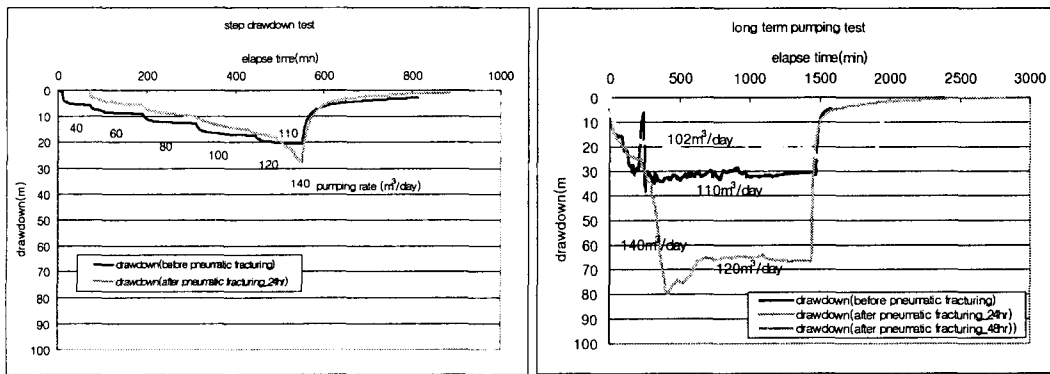


Fig.2. Drawdown curve at P-4 well before and after pneumatic fracturing test.

(3) P-5공 : P-5공은 경남 진주시 상봉동에 위치하며 근처 과수원에 농업용수를 공급하기 위해 개발되었으나 목표수량에 미달하여 본 시험공으로 인계되었다. 이 지역의 지질은 중생대 쥐라기의 퇴적암이며, 회색사암과 흑색셰일이 호층을 이룬다. 주파쇄대의 심도는 40.5~41.5m의 1m 구간과 심도 141~143m의 약 2m 구간이며, 이 두 구간에 대하여 시험하였다. 각각의 두 구간에서는 초기주입압력이 감소하다가 약 4~6kg/cm<sup>2</sup>정도의 낮은 압력을 꾸준히 유지하였으며, 사전·후 각각 총 27회 및 30회 파쇄시험을 실시하였다.

본 공에서의 단계양수시험 결과, 각 단계별로 양수량이 증가할수록 사전·후의 두 수위강하량이 뚜렷한 차이를 보인다(Fig.3). 즉 사후의 수위강하량은 사전의 것보다 적었으며, 4단계에서는 사후의 최종 수위강하량이 사전의 것보다 약 30m 낮은 수위를 나타낸다. 장기양수시험에서는 사전 양수량이 26m<sup>3</sup>/day, 수위강하량이 51.12m, 비양수량 0.509m<sup>3</sup>/day이며, 사후 양수량은 30m<sup>3</sup>/day, 수위강하량이 56.58m, 비양수량 0.530m<sup>3</sup>/day이다.

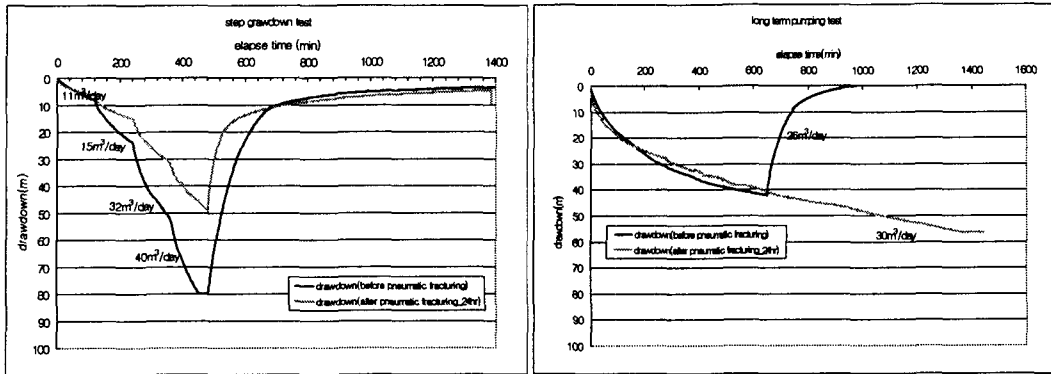


Fig.3. Drawdown curve at P-5 well before and after pneumatic fracturing test.

### 3. 결론 및 토의

총 4개 공에서 공압파쇄 시험한 결과 P-2공, P-4공 및 P-6공에서는 수량증대 효과가 거의 없었으나, P-5공에서는 당초보다 4m<sup>3</sup>/day이 증가되어 약 15%의 수량증대 효과가 나타났다. 다만 파쇄시험 전·후가 동일한 수위나 동일한 양수량으로 양수시험 한 후 비교하여야 되는데 시험과정에서 계획된 대로 되지 못하였다. 또한 double packer를 사용하지 못하고 single packer를 사용한 관계로 공압파쇄 효과가 정확히 나타나지 않은 것으로 보인다. 본 공에 대해서는 double packer 장비가 보완되는 대로 추가 시험을 할 계획이다.

### 사사(Acknowledgement)

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단, 농업기반공사 및 한국수자원공사의 연구비지원(과제번호#3-4-1)에 의해 수행되었습니다.