

## 균열 대수층의 정호 함양 시험

석희준, 김형수, 백건하, 정수은, 김진삼

한국수자원공사 수자원연구소(e-mail : sxh60@kowaco.or.kr)

### <요약문>

이동장수 먹는샘물 공장부지내에 파쇄대에 위치한 관정에서 인공수압파쇄 및 인공함양 시험을 실시하여 대수성 산출 증대효과와 저장 증대효과를 살펴보았다. 인공수압파쇄 시험은 두개의 관정(MW-2, O-7)에 실시하였고, 마찬가지로 인공함양 시험도 다른 두개의 관정(O-7a, MW-7)에 대해서 실시하였다. 또한 대수성 산출능의 효과를 살펴보기 위하여 인공수압파쇄 및 인공함양시험 전후에 각각 양수 시험을 실시하여 비양수량, 투수계수, 및 수위강하를 구하였다. 따라서 사전 사후 대수성 시험 비교 결과 인공수압파쇄 시험에서는 평균적으로 약 367 %의 투수계수의 증가율과 271 %의 비양수량의 증가를 나타내었다. 마찬가지로 인공함양 시험 결과 O-7a는 약 110%의 투수계수의 증가와 약 75%의 비양수량의 증가를 보였다. 반면에 MW-7는 거의 변화가 없었다. 인공함양시험은 인공수압파쇄시험보다 낮은 투수계수 증가율을 보이거나 거의 변화를 일으키지 못했지만 주변에 있는 관정에 주입압과 비슷한 양상을 갖는 수위변화를 일으키는 것으로 보아서 함양된 주입수가 주변의 대수층에 널리 퍼져 있을 것으로 추측된다.

주요어 : 인공함양시험, 인공수압파쇄시험, 투수계수, 비양수량, 균열대수층

### 1. 서론

연구지역은 행정구역상으로 경기도 포천군 이동면 도평 3리 산 269번지 일원으로 이동장수샘물공장의 위치는 그림 1에 도시하였고, 취수정, 관측정, 그리고 감시정을 표시하였다.

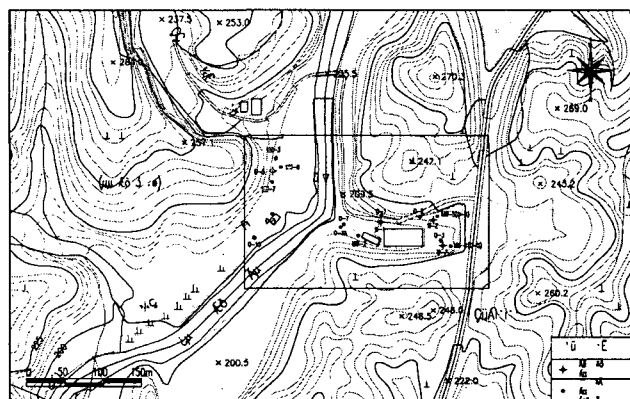


그림 1. 이동장수샘물내에 취수정, 관측정, 감시정의 위치도

## 2. 인공수압파쇄/함양 시험

이동장수샘물 공장부지에서 MW-2, O-7a, O-10, 그리고 MW-7 우물에서 인공수압파쇄 시험과 인공함양시험을 실시하였다. MW-2와 O-10 우물에서는 인공수압파쇄시험을 시행하였고, O-7a와 MW-7 우물에서는 인공함양시험을 실시하였으며, 팩커는 확장형 (Inflatable) 팩커를 사용하였다. 인공수압파쇄시험 대상공의 우물구조와 주대수대의 분포구간 및 인공수압파쇄 수행시 팩커 장착지점을 파악하기 위하여 인공수압파쇄 작업개시 전에 공내 TV검층을 실시하였다. MW-2 우물은 사전 공내 TV검층 결과에 의해 1단계로 28m 정도에 확장형 팩커를 물려 인공수압파쇄 시험을 실시하고, 상부에 발달한 절리대의 수리적 연결성과 연장성을 확장하기 위해 심도 21.7m에 확장압 148kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 팩커를 장착하고, 2단계 인공수압파쇄시험을 실시하였다. MW-2 우물에서 실시한 인공수압파쇄 시험의 영향을 규명하기 위해 상류구간에 위치한 W-1, O-2, MW-5, 그리고 하류구간의 O-7, O-7a 등 5공의 취수정 및 감시정(관측정)에 수위계를 설치하여 수위변동을 측정하였다. 그림 2는 MW-2 관정의 인공수압파쇄 시험시 시간-주입수압의 변화를 도시한 것이고, 그림 3은 MW-2 우물에서 실시한 인공수압파쇄시험으로 인한 시험정 주변에 위치한 취수정 및 관측정의 수위변동을 나타낸 것이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 W-1과 O-7a는 MW-2의 수압파쇄 기간 동안 수위변동이 크게 달라지는 것을 볼 수 있다. 이는 MW-2 우물이 비교적 지리적으로 가까운 위치에 있는 W-1과 O-7a와 수리적으로 잘 연결되어 있음을 의미한다. 반면에 O-7은 비교적 멀리 떨어져 있지 않음에도 수위변동이 없는 이유는 수리적으로 MW-2와 다른 시스템 하에 있음을 의미한다고 볼 수 있다. MW-2와 마찬가지로 인공수압파쇄 시험을 O-10 우물에 실시하였고 이에 대한 시간에 따른 주입압 변화 곡선을 그림 4에 나타내었다. 그리고 O-10 우물에서 실시한 인공수압파쇄 시험의 영향을 규명하기 위해 상류구간에 위치한 MW-7과 O-9 등 2공의 감시정(관측정)에 수위계를 설치하여 수위변동을 측정하였다. O-10 우물에서 실시한 인공수압파쇄시험으로 인한 주변 관측정의 수위변동은 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 MW-7과 O-9은 수위변동이 크게 나타나는 것으로 보이는데 이것은 O-10과 수리적으로 연결이 잘 되어 있음을 암시한다. 인공수압파쇄와는 개념적으로 다른 기작을 갖는 인공함양시험을 MW-7 우물에 실시하기 위하여 마찬가지로 사전 공내 TV 검층을 하였고 TV검층 결과에 의해 심도 12.1m 정도에 확장형 팩커를 설치한 후 3일간 실시하였다. 인공함양 시험은 인공수압파쇄와는 다르게 약 5배 정도 낮은 주입압으로 오랜 기간동안 물을 주입하여 대수층의 저장 능력을 높이기 위한 방법으로서 MW-7에서 실시한 인공함양시험의 시간에 따른 주입압 변화는 그림 6에 나타내었다. 또한 MW-7 우물에서 실시한 인공함양시험의 영향을 규명하기 위해 상류구간에 위치한 MW-3, MW-6과 W-5, 그리고 하류구간에 위치한 O-9 및 O-10 관측정 등 5공의 감시정(관측정)에 수위계를 설치하여 인근 지하수계의 수위변동을 측정하였다. 그림 7은 MW-7 시험정의 인공함양으로 인한 시험정 인근의 지하수계에 위치한 관측정의 수위변동을 나타낸 것이다. 그림 7에서 보듯이 MW-7는 주변에 있는 다섯 개의 관정과 모두 수리적으로 잘 연결되어 있음을 알 수 있다. 그 중 특히 MW-6은 MW-7의 주입압과 거의 같은 위상을 갖고서 지하수위가 변하는 것으로 보아서 수리적으로 직접적으로 연결되어 있음을 알 수 있고, 나머지 4개의 주변 감시정에서는 전체적인 변화의 양상이 비슷하지만 약간의 지연효과와 진폭의 크기가 줄어드는 것으로 보아서 MW-7과 네 개의 관측정 사이에 난대수층이나 불투수성 물질이 협재되어 있을 가능성이 있다고 할 수 있다. 따라서 인공함양시험에 의해서 주입된 물이 주변의 관측정에 퍼져서 저장 되었을 것으로 추측된다. 하지만 이에 대한 좀 더 정확한 판단을 하기 위해서는 파쇄대 구조에 대한 정밀한 파악과 수리 지질학적인 여건등의 파악이 필수적이다. 마지막으로 O-7a 우물의 인공함양시험은 사전 공내 TV검층 결과를 통하여 심도 21.7m 정도에 확장형 팩커를 설치한 후 약 24시간동안 실시하였다. 평균 주입율은 28.978 l/min이고 주입압은 3.13 kg/m<sup>3</sup>에서 4.23 kg/m<sup>3</sup>으로 서서히 증가시켰다.

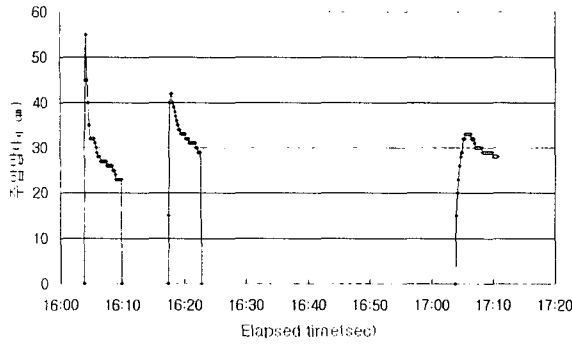


그림 2. MW-2 인공수압파쇄시험 시간-주입수압 곡선도

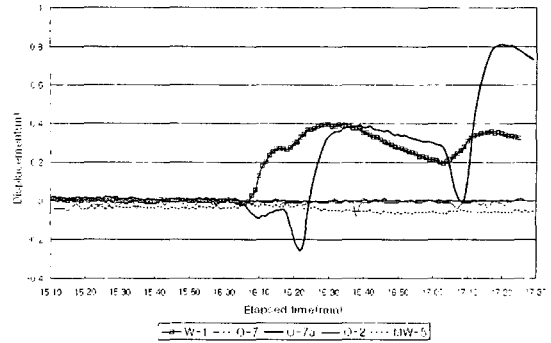


그림 3. MW-2 인공수압파쇄 시험 중 인근 관측점에서 측정된 지하수위 변동

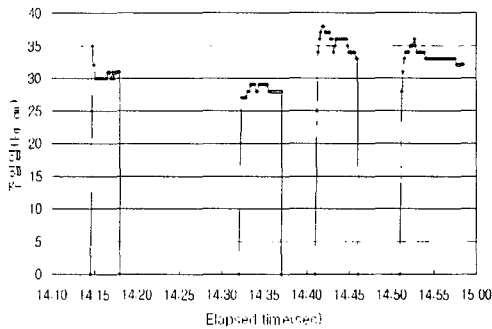


그림 4. O-10 인공수압파쇄시험 시간-주입수압 곡선도

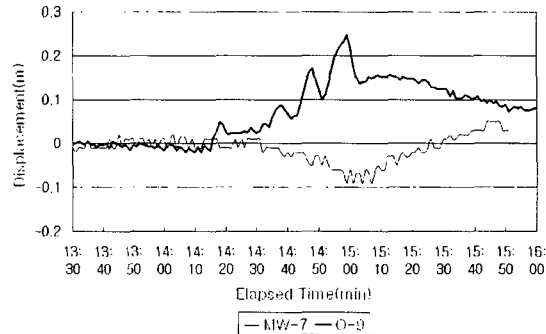


그림 5. O-10 인공 수압파쇄 시험 중 인근 관측점에서 측정된 지하수위 변동

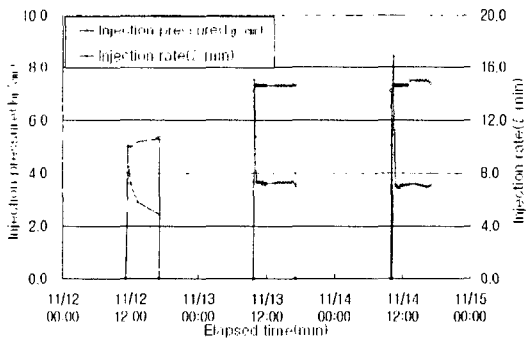


그림 6. MW-7 인공함양시험 시간-주입수압/주입율 곡선도

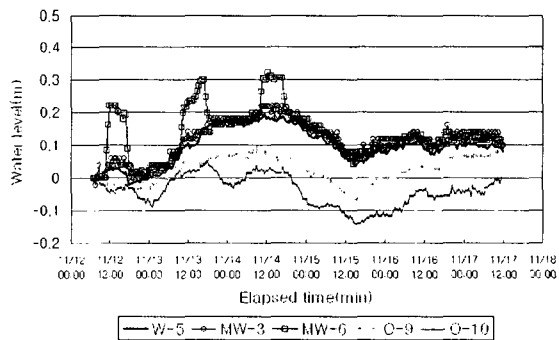


그림 7. MW-7 인공 함양 시험 중 인근 관측점에서 측정된 지하수위 변동

### 3. 사전/사후 대수성 시험의 비교

인공수압파쇄 및 인공함양 시험 결과로 대수성의 수리적 특성의 변화를 파악하기 위하여 MW-2, O-7a, O-10, 그리고 MW-7 등 4공의 시험점에서 각각 사전, 사후 대수성 시험을 실시하였다. 대수성 시험은 양수 시험을 이용하였고 수리 상수를 구하기 위하여 AQTESOLV 3.1 프로그램을 이용하였다. 또한 위에서 언급한 네 개의 시험관정 모두 파쇄대내에 위치하기 때문에 Moench with slab blocks 방법을 이용하여 분석하였다. 이에 대한 결과는 표 1에 정리하였다.

## 4. 결론

표 1의 결과에 의하면 수압파쇄 시험 후 MW-2는 약 228%의 투수계수 증가율을 보이고, O-10는 약 506%의 투수계수 증가율을 보이는 것으로 나타났다. 반면 인공함양 시험후 MW-7는 거의 변화가 없고, O-7a는 약 110%의 증가율을 보였다. 이는 수압파쇄 이후 대수층내 열극의 생성 혹은 확장 및 균열 내의 광물학적, 생물학적 막힘 물질이 제거되면서 산출 증대 효과가 크게 나타나는 것으로 해석할 수 있다. 혹은 수리적으로 높은 에너지를 갖는 대수층과의 연결에 의해서 투수계수의 높은 증가율을 나타낸다고 생각할 수 있다. 반면에 인공함양 시험후 특히 MW-7의 경우는 투수계수에 변화가 거의 없었다. 마찬가지로 비양수량을 보면 MW-2는 수압 파쇄후 207%의 증가율을 보이고, O-10는 335%의 높은 증가율을 보이는 반면 MW-7는 거의 변화가 없음을 볼 수 있다. MW-7의 경우에 주입 수압의 변화에 의해 주변의 관정에 미치는 지하수위 변화가 비슷한 양상을 보이므로 MW-7에 주입된 물이 지하수 대수층에 퍼져서 저장되었을 것으로 사료된다, 하지만 수리적으로 낮은 에너지를 갖는 대수층과 연결되든가 혹은 주변의 영평천이나 다른 지역으로 단지 유출되었을 가능성을 배제하기는 곤란하므로 추후 이에 대한 좀 더 정밀한 규명을 위하여 지질학적, 수리학적 연구가 필요할 것으로 생각된다.

표 1. 사전 사후 대수성 시험 비교

적용 방법	시험정		투수계수 (m <sup>2</sup> /day)	비양수량 (m <sup>2</sup> /day)	저류계수	수위강하 (m)	양수량 (m <sup>3</sup> /day)
인공수압 파쇄시험	MW-2	사전	0.1687	0.78	3.55e-3	23.16	17.97
		사후	0.5718	2.40	8.25e-3	8.49	20.41
	O-10	사전	0.3062	0.51	1.30e-3	24.42	12.47
		사후	1.8555	2.27	3.95e-3	5.03	11.44
인공함양 시험	MW-7	사전	0.1609	0.24	2.21e-3	45.20	10.70
		사후	0.1613	0.23	5.91e-3	48.43	10.91
	O-7a	사전	0.7586	1.16	1.11e-4	10.04	11.64
		사후	1.6041	2.04	1.78e-4	14.13	28.78

## 사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비 지원(과제번호 : 3-4-1) 및 한국 수자원공사 현물투자 지원에 의해 수행되었다. 연구비를 지원해 준 사업단 및 한국수자원공사 측에 감사드린다.