학술기사/지하수

지하수 양수에 따른 영향범위 분석 시스템 개발을 위한 수리 매개변수 추정

최 윤 영 (경북도립 경도대학 건설환경과 교수)

1. 서론

우리나라의 지역별 강수분포특성을 살펴보면, 섬진강을 중심으로 한 남해안 일대가 강수량이 제일 많은 반면에 낙동강 유역의 강우량이 가장 적으나 한강을 중심으로 한 5대강 유역(전 국토 70%)의 하천 유출량은 비교적 풍부한 편이다. 하지만 이 외(전 국토 30%)지역에서는 하천 유출수에 의한 혜택을 충분히 받지 못하고 있어 물부족에 대한 용수공급 체계가 절실히 요구되고 있다. 따라서 시 · 공간적 변동이 심한 상태하에서 장래의 원활한 용수공급을 위해서는 수자원으로서 지표수의 정량적 증가를 위한 확보방안과 동시에 지하수의 효율적인 이용방안이 병행되어야 할 것이다. 또한, 무엇보다 유동체계가 안정된 지하수 장기개발과 지표수의 막대한 손실량을 지하수 체계로 조화시키는 운영 등이 시급히 이루어져야 할 것이다.

장기적인 가뭄현상, 무분별한 관정 개발과 이로 인한 지하수 역순환 발생 등은 하천수 고갈을 더욱 가중시키고 있다. 따라서, 현실적으로 직면한 무분별한 관정 개발 등을 억제함과 동시에 기존 관정의 효율적인 운영을 위해선 무엇보다 지하수 관정의 개발 · 이용시에 따른 영향원에 대한 상호간섭 문제 등을 정확히 해석할 필요가 있다.

지하수 개발 혹은 이용 시 피압 또는 비피압 대수층에서 우물을 설치하면 우물 상호에 간섭현상이 발생되므로 집단 우물군을 개발하거나 기존 우물이 있는 지역에서의 우물을 개발하고 이용할 시, 안정적으로 유지 관리되기 위해서는 우물간의 상호 영향권을 반드시 고려해야 된다. 우물의 영향반경은 지하수 관정 개발 시 기존 우물에 있어서는 기득권 확보차원에서, 그리고 개발하려는 우물에 있어서는 안정적 물확보 측면에서 해결되어야 할 문제점이다. 또한 대수층의 경계조건을 설정하기 위해서도 영향권 설정은 중요한 기술로써 지금까지는 대수성시험 결과에 의한 지하수 경계면 측정 등의 영상정기법을 사용하여 해결하고 있지만 해결방법이 복잡하고 주변에 반드시 관측정이 있어야 되는 불편함으로 거의 사용되지 않고 있는 실정이다. 이런 점을 고려하여 본 연구에서는 개발지역의 대수층 수리상수만 얻을 수 있다면 관정 상호간에 간섭현상 없이 안정적으로 양수문제를 해결할 수 있는 영향권 해석 프로그램을 개발하기 위한 선행 작업으로서 실제 유역을 선정하고 관측자료 등을 통하여 정확한 수리 매개변수를 추정하고 검토하였다.

2. 대상유역 현황 및 자료수집

지하수는 인류가 향유하고 있는 귀중한 자원으로서 지반을 구성하는 토지환경자원과 수자원으로서의 성격을 겸하고 있다. 수자원으로서의 지하수는 지표수에 비해서 매우 안정된 성격을 가지고 있다. 지하수의 이용에 있어 유동방향과 함양량 및 유출량의 관계가 명확히 파악되면 양수량을 자연적인 유출량의 아래로 억제함으로서 지하수를 영구적인 수자원으로서 이용할 수 있으며 더 나아가 우물 상호간의 영향

권을 명확히 파악할 수 있다면 보다 안정적인 수자원 확보 방안을 제시할 수 있을 것이다. 이러한 연구 수행의 기초 단계로서 관측 유역을 선정하였으며, 유역의 관측정 및 양수정의 펌프설치 대수와 그 제원은 다음과 같다.

2.1 연구 대상유역 선정

본 연구 대상유역은 동경 127° 51′ ~ 128° 13′, 북위 36° 25′ ~ 36° 50′ 사이에 위치하고 있으며 행정구역상으로 경북 상주시 양촌동 150번지 일대이며 지형특성은 완만한 구릉지이고 인근에 병성천이 유하하고 있다. 총 관정수는 5개 지점이고 이 중에서 2개 지점(P, P1)은 양수정이며 각 관측정의 제원은 다음의 표 1과 같다.

▶ 양수정 : 2개소
관측정 : 3개소
총 관정수 : 5개소 (P, P1, P2, P3, P4)

▶ 양수정 재원
- P 지점(EL. 185m) : 3마력, 양수량 Q=5 m^3/hr
- P1 지점 : 1마력, 양수량 Q=1.5m^3/hr

표 1. 양수정 및 각 관측정의 지형자료

(단위 : m)

관측정 No.	P	P1	P2	P3	P4
지반고 (EL.)	185.000	186.949	186.341	182.994	183.024
안정수위 (EL.)	182.050	183.557	183.458	180.992	180.871
P지점과의 표고차	0.000	1.949	1.341	-2.006	-1.976
P지점과의 거리	0.000	96.265	170.583	183.094	150.771

본 연구를 위하여 대상유역에 대한 지형측량을 실시하였으며 지질조사와 더불어 관측지점에 대한 세부사항을 도시하였다. 펌프를 설치하여 양수를 하는 지점은 P와 P1지점이고 관측정은 P2, P3, P4지점이다. 단일정에 대한 영향원 해석을 위해서는 양수정이 1지점만 필요하나 군정에 의한 양수정의 상호 간섭 현상을 파악하기 위해서는 2개 지점에 대한 양수정이 필요하다.

따라서, 향후 양수정간의 상호 간섭현상을 해석하기 위하여 2개 지점에 대한 양수관정을 설치 확보하였으며 양수시 배제되는 물의 침투를 막기 위해 양수된 물은 주변 200평 가량 되는 전 · 답지에 비닐을 설치하여 그 위에 양수량을 배출시키고 있다. 다음의 그림 1, 2는 현장에 대한 관측정의 위치도와 관측정의 세부 상세도를 도시한 것이다.

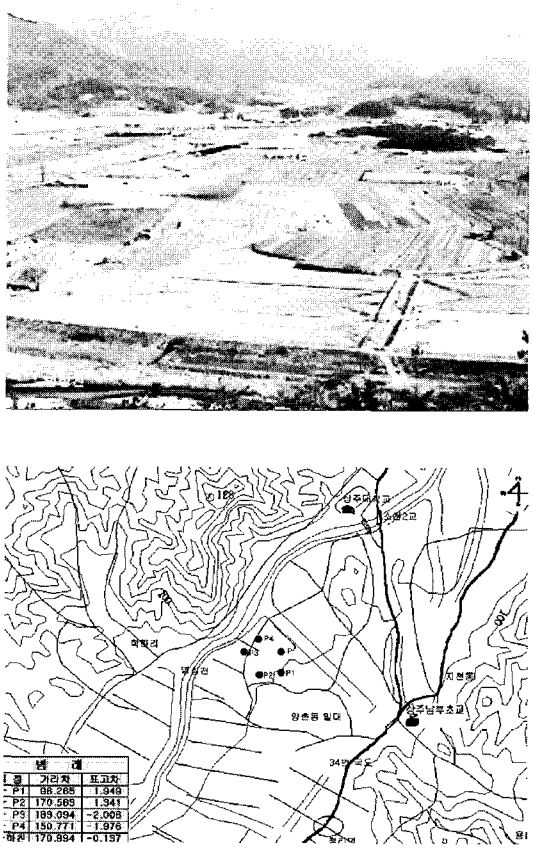
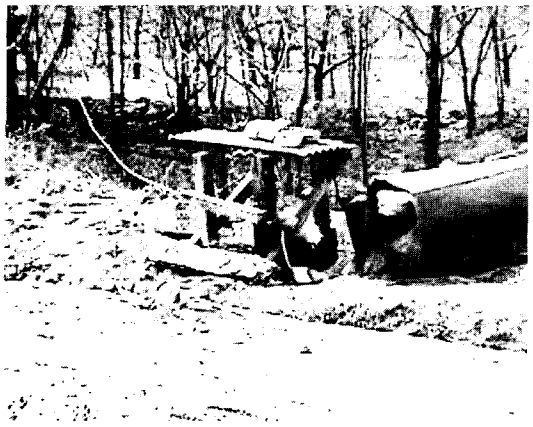
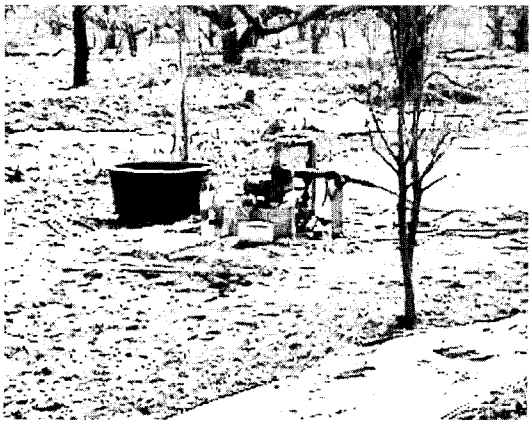


그림 1. 연구 관측지점 현황



P (양수정)지점

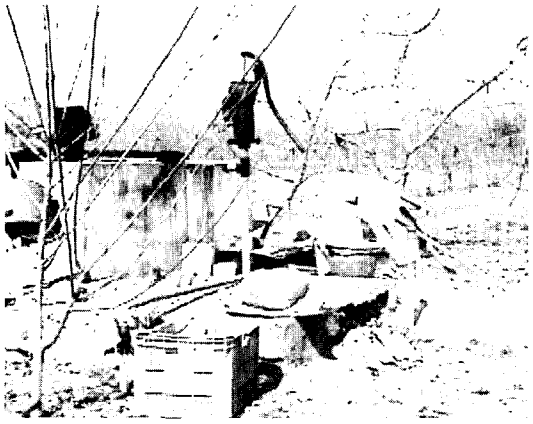
P3 (관측정)지점



P1 (양수정, 관측정)지점

P4 (관측정)지점

그림 2. 각 양수정 및 관측정의 상세도



P2 (관측정)지점

2.2 기상학적 특성

연구 대상유역인 상주시는 경상북도의 북서부 내륙지방에 위치하며 기후는 대륙성이 강하고 위도에 비하여 하계기온이 높고 기온의 연교차가 비교적 큰 지역으로 분지형 산악기후에 속한다. 기상현황을 조사 분석하기 위하여 1992년~2001년 10년간의 월별 및 연도별에 따른 기온, 강우량 및 상대습도 등의 기상상태를 조사하였다.

본 유역의 연평균 기온은 12.2℃ 이며, 연평균 최

고 및 최저기온은 각각 34.2℃ 와 (-) 14.1℃ 이다. 연 최대 강수량은 1998년의 2,042.7㎜이고, 연최소 강수량은 1994년 857.8㎜로 변화의 폭이 심하며 년 평균 강수량은 1,285.0㎜정도이다.

표 2. 상주시 년별 기상현황(1992~2001년)

항목 / 년도	기온(℃)			강우량	상대습도(%)		풍속(m/sec)		일조시간	풍향
	최저	최고	평균	(mm)	평균	최저	평균	최대	(hr)	
1992	-12.4	34.2	12.7	1,084.6	69.0	9.0	1.5	9.2	2,182.6	W
1993	-13.6	31.4	12.0	1,474.7	67.0	14.0	1.8	12.5	2,194.4	NW
1994	-12.8	36.6	12.5	857.8	56.0	14.0	2.0	11.6	2,470.9	NW
1995	-13.0	35.1	11.2	984.6	62.0	12.0	1.9	11.2	2,535.0	NW
1996	-15.3	35.0	11.3	1,040.0	68.9	14.0	1.8	10.2	2,433.2	NW
1997	-15.3	35.0	12.2	1,380.7	65.0	14.0	1.5	9.0	2,520.1	NW
1998	-12.9	32.4	12.7	2,024.7	64.6	13.0	1.4	10.7	2,070.2	NW
1999	-13.8	34.5	12.0	1,651.8	65.0	12.0	1.6	12.2	2,490.8	W
2000	-13.0	35.2	11.8	1,328.6	64.0	13.0	1.5	()	2,151.8	WNW
2001	-17.4	35.2	11.7	826.6	70.0	12.0	1.5	-	3,469.5	WNW
평균	-14.1	34.2	12.2	1,285.0	65.1	12.9	1.65	10.6	2,307.8	NW

(자료) 기상연보(1992-2001), 기상청

표 3. 상주시 월별 평균 기상현황(1992~2001년)

항목 / 월	기온(℃)			강수량	풍속(m/sec)	
	평균	최저	최고	(mm)	평균	최대
1	-0.8	-11.5	11.2	0.8	2.6	9.9
2	1.0	-13.8	12.7	7.8	2.7	9.7
3	5.5	-5.6	17.7	79.1	1.8	9.4
4	12.6	-2.0	28.4	121.4	2.1	10.1
5	17.1	7.0	28.8	131.7	1.7	11.1
6	21.7	12.0	34.5	206.5	1.2	6.8
7	23.1	14.3	32.0	232.5	1.0	7.4
8	23.8	17.2	34.3	325.1	0.8	10.7
9	21.1	10.9	31.3	405.0	0.8	6.3
10	12.3	-1.6	24.1	119.0	1.2	8.9
11	6.4	-6.5	19.4	15.0	1.6	11.3
12	0.2	-11.4	12.4	8.0	2.0	12.2
평균	12.0	0.75	23.9	137.7	1.6	9.5

(자료) 기상연보(1992-2001), 기상청

2.3 지형 · 지질학적 특성

본 유역이 위치하고 있는 상주시의 지형여건은 서북이 소백산맥의 지맥으로 에워싸고 있고, 동쪽으로 영강이 흐르고 있으며, 서쪽으로는 지산천이 위치하며 대부분이 구릉지로서 비교적 개방된 시가지를 형성하고 있다.

하천은 동쪽에 영강, 남쪽에 이안천, 서쪽에 이안천의 지류인 지산천이 있으며, 영강과 이안천이 시가지 동남쪽에서 합류하여 낙동강으로 유입되고, 평야의 형성은 영강과 이안천을 따라 시가지방향으로 광활하게 형성되어 있다.

본 연구유역은 병성천에 위치한 평탄지(그림 3)로 지구내 경사도는 동서방향 1/200~1/300, 남북방향 1/300~1/400정도로 완만한 편(그림 4)이며, 임상은 양호한 편이다. 지질형태는 초장년기를 나타내고 있으며, 중생대 백악기 불국사층군의 하상층 및 석영반암과 화강반암이 지질경계를 형성하고 있다. 연구유역을 중심으로 남동쪽으로는 중생대 백악기 영동군층에 속하는 명륜동층이 형성되어 있고, 명륜동층의 남쪽으로는 고생대 선캠브리아기의 흑운모 편마암이 분포되어 있다. 그리고 남서쪽으로는 동정리층 하부층과 지질경계를 형성하고 있는 중생대 백악기 반암류의 석영반암이 분포되어 있다.

본 연구유역의 지층형태는 대부분 제4기 충적층으로 구성되어 있으며, 상부로부터 토사층, 풍화토층, 풍화암층 및 연암층 순서로 형성되어 있다. 분포형태는 연암층인 기반암층 상부로는 기반암의 풍화대층이 기반암의 풍화 및 변질정도에 따라 분포범위가 국부적으로 불규칙하게 나타나고 있고, 풍화대층 상부로는 퇴적층이 풍화대층과는 부정합으로 분포하고 있으며, 이러한 퇴적층을 매립층, 또는 전 · 답토층이 피복하고 있다. 본 유역의 지질현황은 그림 5에 나타내었다.

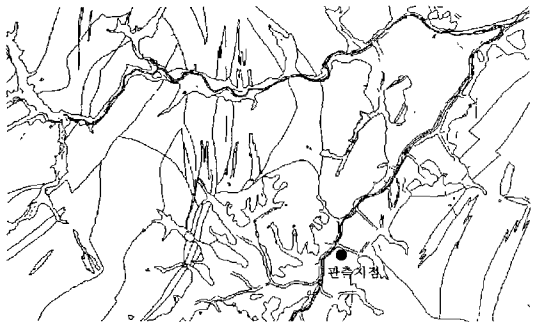
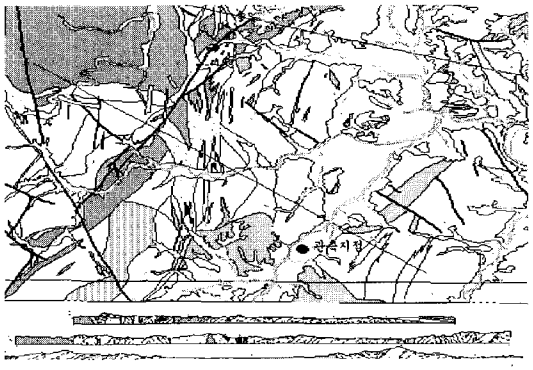


그림 3. 수계 현황도

그림 4. 지형고도 분포도



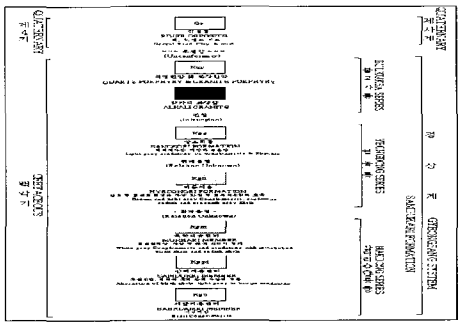


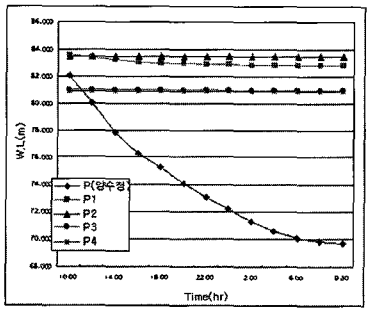
그림 5. 지질분포 및 지질계통도

3. 양수량에 따른 기간별 관측현황

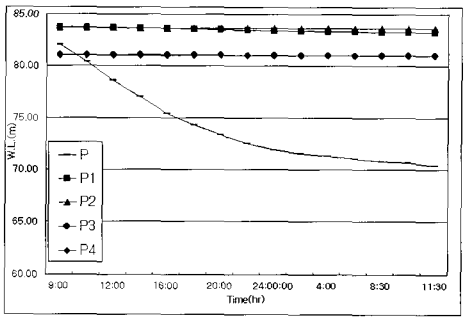
지하수의 개발은 적정양수량의 산정을 위한 지하수 조사가 반드시 필요하며 무분별한 개발로 야기되는 지하수재해는 규모면에서 피해가 클 뿐 아니라 회복속도가 느리기 때문에 재해가 발생되지 않도록 체계적인 관리가 필요하다. 따라서, 개발지역의 대수층 수리상수만 얻을 수 있다면 관정 상호간에 간섭현상 없이 안정적으로 양수문제를 해결할 수 있는 영향권 해석 프로그램을 개발하기 위한 선행 작업으로서 실제 유역을 선정하였다. 이로부터 관측자료 등을 통한 정확한 수리 매개변수를 추정하기 위하여 지속적인 양수측정을 실시하였다.

양수측정에 따른 관측자료 수집을 위하여 2002년 1월 14일 오전 10:00부터 15일 오전 9:30, 2월 17일 오전 12:00부터 18일 오전 11:00까지 지속적인 양수측정을 실시하였다. 양수정은 P지점이며 양수량은 5m³/hr였다(그림 6). 그리고 P지점에서 양수량 4 m³/hr로서 4월 5일 오전 9:00부터 6일 오전 11:30, 4월 19일 오전 10:00부터 20일 오전 11:00까지 지속적인 양수측정을 실시하였다(그림 7).

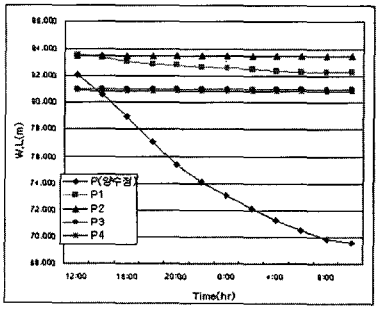
본 관측에서 양수정(P)의 양수량을 5m³/hr에서 4 m³/hr로 1m³/hr를 작게 하여 관측을 2회에 걸쳐 실시한 결과 같은 양수 지속시간일 경우에 5m³/hr 일 때는 P지점에서 약 12~13m 수두저하가 일어났다. 하지만 4m³/hr일 경우에는 약 9~10m 정도의 수두저하가 발생되었으며 인근 관측공의 수두저하도 다소 적은 변화폭을 나타내었으나 그 수두저하 변동 특성은 일부 관측공을 제외하곤 비교적 유사하게 나타났다. 향후 관측횟수 증가에 따른 지속적인 관측자료들의 축적이 필요하며 기왕의 자료와 비교검토를 실시할 필요가 있다.



양수측정 : 1월 14일

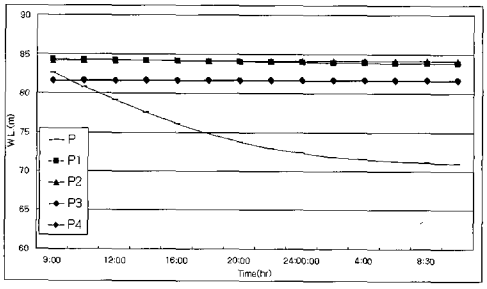


양수측정 : 4월 5일



양수측정 : 2월 17일

그림 6. 각 관측공의 수두저하 변동분포 (P지점 : Q=5m³/hr)



양수측정 : 4월 19일

그림 7. 각 관측공의 수두저하 변동분포 (P지점 : Q=4m³/hr)

4. 대상유역의 수리 매개변수 추정

Theis(1935)는 피압대수층에 있어서 양수량에 의한 수두변화에 관하여 다음의 식 (1)를 유도하였다.

$$s = \frac{Q}{4\pi T}\int_u^{\infty} \frac{e^{-y}}{y}\,dy \qquad (1)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \qquad (2)$$

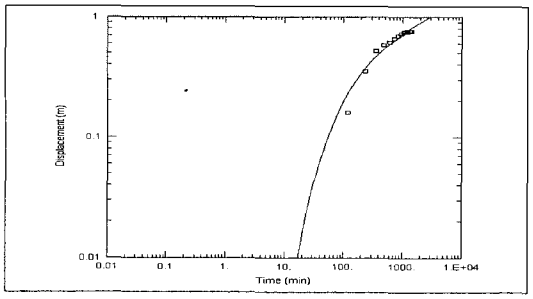
여기서, s는 수두차, Q는 양수량, T는 투수량계수, y는 적분변수, r은 반경, S는 저류계수 및 t는 시간을 나타낸다. 이 때 w(u)의 Theis 우물함수로써 Theis 수두저하방정식을 다음의 식 (3)과 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$s = \frac{Q}{4\pi T}\,w(u) \qquad (3)$$

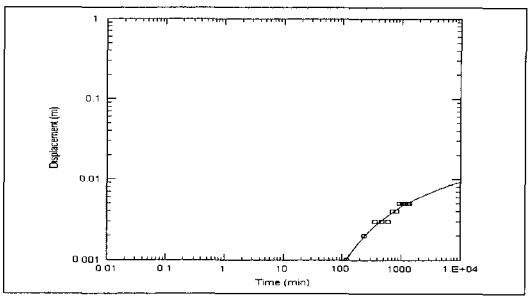
본 유역에 대한 분석결과는 표 2에서 보는 바와 같이 Theis 방법에 의해 결정된 투수량 계수가 P1, P2, P3 및 P4지점의 경우에 각각 0.000345, 0.021654, 0.005678 및 0.006304(m^2/sec)를 나타내었고, 저류계수는 각각 0.001065, 0.085958, 0.010314 및 0.016418로 분석되었다. 다음의 그림 8 및 9는 연구대상유역에 있어 양수량(P지점 : Q=4m^3/hr, Q=5m^3/hr)에 따른 각 관측지점의 투수량계수 및 저류계수를 분석한 결과이다.

표 2. 각 관측공의 평균 매개변수

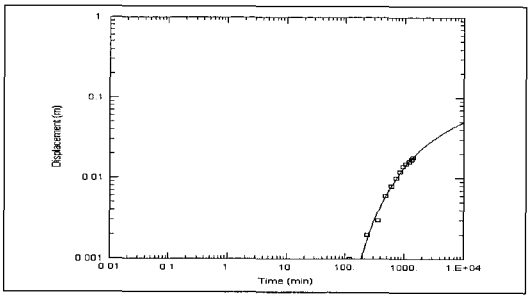
매개변수 / 관측공	T(m^2/sec)	S	Residual Statistics			
			Mean	Var.	S.E.	
					T(m^2/sec)	S
P1	0.000345	0.001065	0.002028	0.000902	0.000028	0.000060
P2	0.021654	0.085958	0.000071	0.000005	0.002919	0.006724
P3	0.005678	0.010314	0.000083	0.000005	0.000550	0.000388
P4	0.006304	0.016418	0.000116	0.000006	0.001246	0.001222



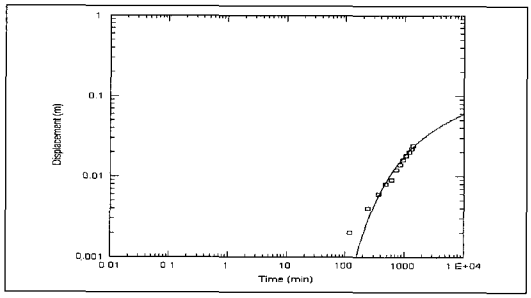
1월 14일 (P1지점)



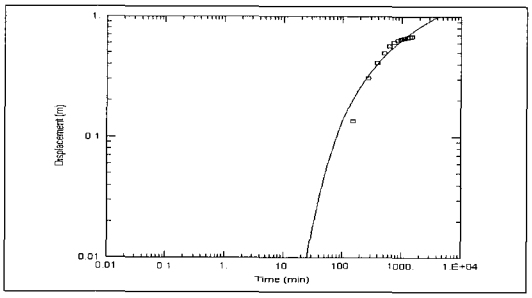
1월 14일 (P2지점)



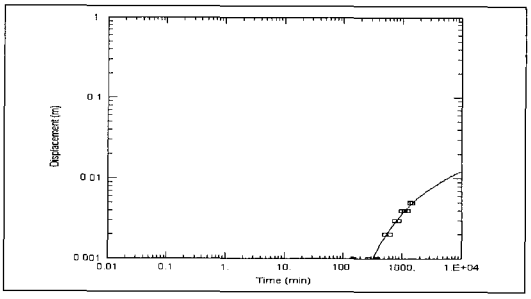
1월 14일 (P3지점)



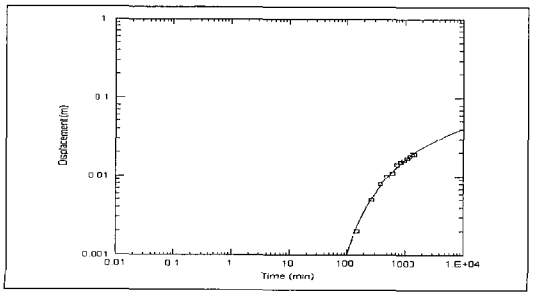
1월 14일 (P4지점)



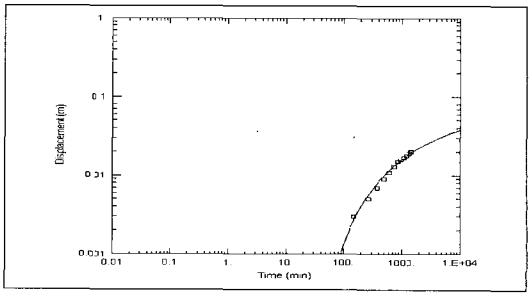
2월 17일 (P1지점)



2월 17일 (P2지점)

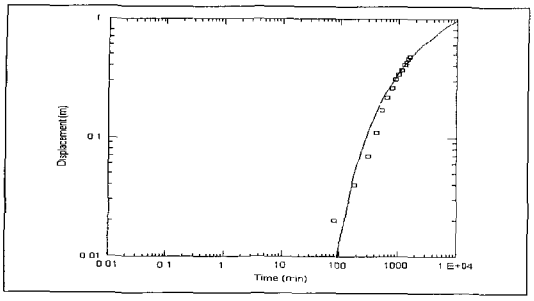


2월 17일 (P3지점)

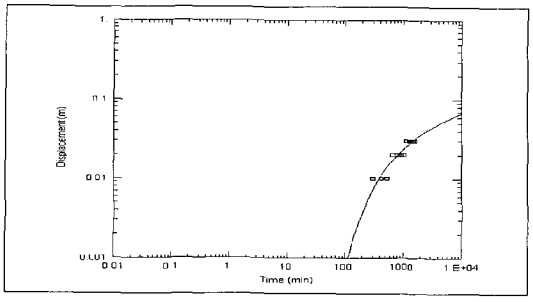


2월 17일 (P4지점)

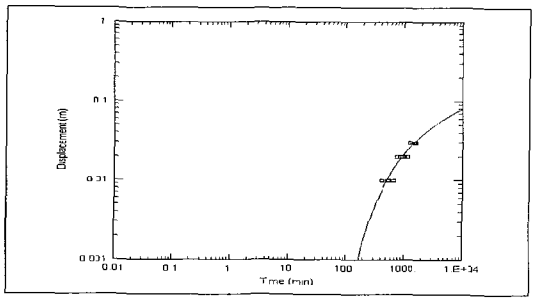
그림 8. 양수량에 따른 각 관측정의 수두저하분포 (P지점 : Q=5㎥/hr)



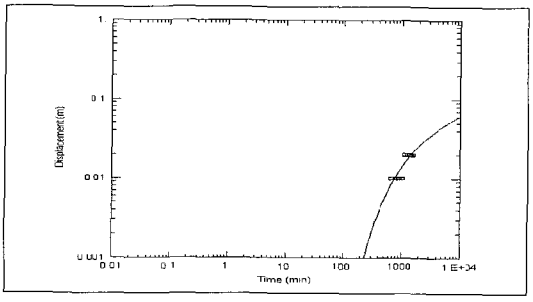
4월 5일 (P1지점)



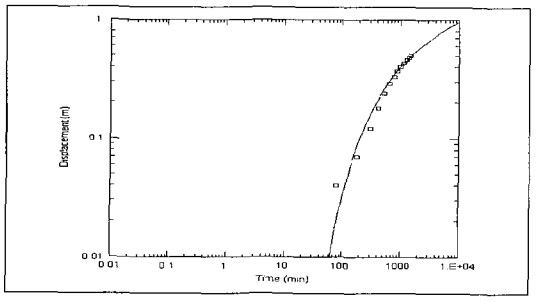
4월 5일 (P2지점)



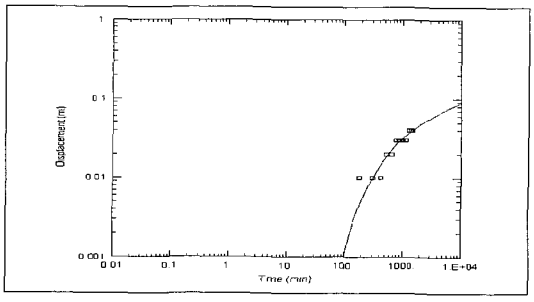
4월 5일 (P3지점)



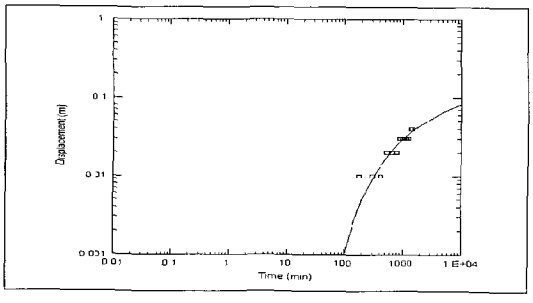
4월 5일 (P4지점)



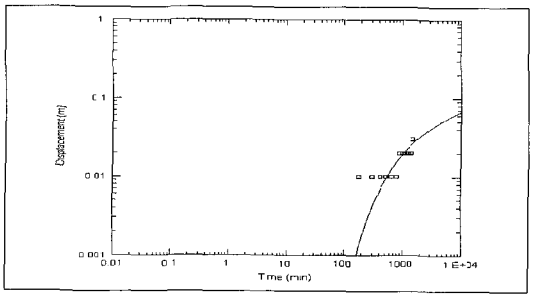
4월 19일 (P1지점)



4월 19일 (P2지점)



4월 19일 (P3지점)



4월 19일 (P4지점)

그림 9. 양수량에 따른 각 관측정의 수두저하분포 (P지점 : Q=4㎥/hr)

5. 결 론

연구수행에 따른 실제 관측 자료구축에 있어 현장 여건의 불확실성과 미비점들을 보완할 수 있는 적합한 지역 선정은 많은 어려움을 내포하고 있는 것이 사실이다.

영향원 해석 프로그램 개발을 위하여 선행되어야 할 조건은 정확한 관측자료이며, 영향원 해석 프로그램 개발을 위한 가장 1차적인 접근방법으로서 본 연구 대상유역의 현장 조사 및 현장 제원들을 나타내었다. 본 연구를 위해서는 실제유역에 대한 현장측정 자료 및 기존의 양수측정자료를 수집하고 양수량 변화와 양수정간의 간섭현상 분석을 위하여 지속적으로 관측자료들을 축적해 나가야 하며 향후 수치해석을 통한 비교 검토를 수행하여야 한다. 따라서 관측자료의 축척은 양수량에 따른 영향권 해석과 군정에 의한 간섭현상을 분석하기 위한 영향권 해석 프로그램 개발에 이용되어 진다.

본 지역은 연구수행 과정을 충족시킬 수 있는 지역으로서 실제 자료 및 분석결과들은 내륙지역 특성 반영과 현장 적용성을 최우선으로 하는 영향원 프로그램 개발과정에 있어 가장 기초적인 자료들이 될 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 3-3-1)에 의해 수행되었습니다.

〈 참고문헌 〉

선우중호(1996), 지하수개발 · 이용에 따른 바람직한 지하수 기초조사와 영향평가 방안, Vol. 29, No. 6, pp. 58~61.

한정상(1998), 지하수환경과 오염, pp. 978~997.

Koenig, L. (1963), Economics of Groundwater Utilization. Journ. AWWA, 55. Soki Yamamoto (1983), 지하수조사법, PP. 713~730.

Freeze, R. A. and Witherspoon, P. A.(1966), Theoretical analysis of regional groundwater flow : 1. Analytical and numerical solutions to the mathematical model, Water Resour. Res., 2, 641-656.

Hurley, D. G., and G. Pantelis(1979), Unsaturated and Saturated Flow through a Thin Porous Layer on a Hillslope, Water Resources Research, Vol21, No. 6, pp 821-824.

Jacob Bear(1979), Hydraulics of Groundwater.

Otto D.L. Strack(1989), Groundwater Mechanics.

Scheidegger, A. E.(1960), The Physics of Flow through Porous Media, Univ. of Toronto Press, Toronto.

Talsma, T. and Hallam(1980), P. M., Hydraulic Conductivity Measurement of Forest Catchments. Aust. J. Soil., 18, 139-148.